



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Análisis y diseño estructural comparativo entre los sistemas de muros
de ductilidad limitada y albañilería confinada para una vivienda
multifamiliar”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:

LINGÁN GUZMÁN, SARA ELIZABETH

ASESOR:

DR. ING. OMAR CORONADO ZULOETA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

DISEÑO SÍSMICO Y ESTRUCTURAL

TRUJILLO – PERÚ

2018

PÁGINA DEL JURADO

.....
PRESIDENTE
ING. HILBE SANTOS ROJAS SALAZAR

.....
SECRETARIO
ING. MARLON GASTÓN FARFÁN CÓRDOVA

.....
VOCAL
DR. ING. OMAR CORONADO ZULOETA

DEDICATORIA

A mis padres Pedro y Bella por la oportunidad que me dieron de forjar una carrera profesional, por la ayuda incondicional y su paciencia que día a día me brindaron, hasta lograr este arduo camino y haber llegado a este momento tan importante en mi carrera.

A mis hermanos por sus consejos y su ayuda moralmente que me han brindado día a día, y en especial a mi hermana Alicia que ha sido como una segunda madre para mí, apoyándome en los buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Cesar Vallejo y a los docentes que han compartido sus conocimientos durante mi permanencia en esta casa, compañeros y amigos de largas amanecidas de estudio.

Al Dr. Ing. Omar Coronado Zuloeta, asesor de tesis por su valioso tiempo y orientación para desarrollar este trabajo.

Ing. Germán Estela Castro, que aportó su experiencia y sus conocimientos facilitando la elaboración y añadiendo valor a este trabajo.

Gracias a todas las personas que de alguna u otra manera desinteresada me han apoyado a consolidar mi formación académica y profesional; agradecerles por su amistad, apoyo incondicional, y sobre todo por estar en momentos difíciles dándome ánimos de seguir luchando y no permitir que desista por nada ni por nadie.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Sara Elizabeth Lingán Guzmán, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo, identificado con DNI N° 73545445; a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, declaro bajo juramento que la tesis es de mi autoría y que toda la documentación, datos e información que en ella se presenta es veraz y auténtica.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto del contenido de la presente tesis como de información adicional aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, 20 julio del 2018

Sara Elizabeth Lingán Guzmán

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos, de la Universidad César Vallejo de Trujillo, presento ante ustedes la tesis titulada: “**Análisis y diseño estructural comparativo entre los sistemas de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada para una vivienda multifamiliar**”, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Agradezco por los aportes y sugerencias brindadas a lo largo del desarrollo del presente estudio y de esta manera realizar una investigación más eficiente. El trabajo mencionado determina la importancia y la influencia que tiene un proyecto de Estructuras en el ámbito constructivo, ya que con el análisis de nuevos sistemas constructivos garantizan calidad de las viviendas y seguridad para los habitantes evitando pérdida de vidas humanas.

Sara Elizabeth Lingán Guzmán

ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	v
PRESENTACIÓN	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE CUADROS	xii
RESUMEN	xv
ABSTRAT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	17
1.1. Realidad problemática	17
1.2. Trabajos previos	17
1.3. teorías relacionadas al tema	23
1.3.1. sistema de muros de ductilidad limitada (MDL).....	23
1.3.1.1. Criterios de la norma para el diseño de edificaciones con Muros de Ductilidad Limitada (EMDL)	24
1.3.2 sistema de albañilería confinada (AC)	28
1.3.2.1. Tipos de Falla	29
1.3.2.2. Criterios de la norma para el diseño de edificaciones con albañilería confinada (AC).....	29
1.3.3. Platea de cimentación	32
1.3.4. Cargas de diseño	32
a) Carga Muerta (CM)	32
b) Carga Viva (CV)	33
c) Carga de Sismo (CS)	33
1.3.5. Análisis sísmico - parámetros.....	33
1.3.6. Análisis estático - parámetros	37
1.3.7. Análisis dinámico	39

1.3.8. Junta sísmica	39
1.4. Formulación del problema	40
1.5. Justificación del estudio	40
1.6. Hipótesis.....	40
1.7. Objetivos	41
II. MÉTODO	42
2.1. Diseño de investigación	42
2.2. Variables, Operacionalización	42
2.2.1. Variables	42
2.2.2. Dimensiones	42
2.2.3. Operacionalización	43
2.3. Población y Muestra	45
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ...	48
2.4.1. Técnicas	48
2.4.2. Instrumentos	48
2.5. Métodos de análisis de datos	49
2.6. Aspectos éticos	49
III. RESULTADOS	50
3.1. Elementos estructurales: muros de ductilidad limitada	50
3.1.1. Característica de los materiales	50
3.1.2. Predimensionamiento.....	50
3.1.2.1. Predimensionamiento de Muros	50
3.1.2.2. Espesor Mínimo de Muros “t”.....	50
3.1.2.3. Predimensionamiento de Losa Aligerada	53
3.1.2.4. Predimensionamiento de Vigas	54
3.1.3. Análisis sísmico - Parámetros (RNE E.030 Diseño Sismorresistente).....	54

3.1.4. Análisis Estático (RNE E.030 Diseño Sismorresistente)	56
3.1.5. Análisis Dinámico de Muros de Ductilidad Limitada con el Etabs ..	67
3.2. Elementos estructurales: albañilería confinada	84
3.2.1. Predimensionamiento	84
3.2.1.1. Predimensionamiento de Losas Aligerados	84
3.2.1.2. Predimensionamiento de Vigas	84
3.2.1.3. Predimensionamiento de Columnas	87
3.2.1.2. Espesor Mínimo de Muros “t”	89
3.2.2. Análisis sísmico (RNE E.030 Diseño Sismorresistente) – Parámetros	91
3.2.3. Densidad mínima de muros reforzados	91
3.2.4. Análisis Estático (RNE E.030 Diseño Sismorresistente)	92
3.2.5. Análisis Dinámico de Albañilería Confinada con el Etabs	103
3.3. Análisis comparativo estructural y diseño sísmico	119
IV. DISCUSIÓN	124
V. CONCLUSIONES	127
VI. RECOMENDACIONES	128
VII. REFERENCIAS	129
ANEXOS	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Refuerzo de muros	27
Figura 2. Vista de Planta Típica del Primer piso del Edificio	46
Figura 3. Vista típica de los pisos 2°,3°,4° y 5° piso del Edificio	47
Figura 4. Procedimiento de Recolección de datos.....	48
Figura 5. Esquema de Muros de Ductilidad Limitada (MDL)	51
Figura 6. Diseño de losa aligerada	54
Figura 7. Vista en planta del Sistema de Muros de Ductilidad Limitada	67
Figura 8. Vista 3D del Sistema de Muros de Ductilidad Limitada	68
Figura 9. Importando del AutoCAD al Etabs, definiendo las cargas estáticas	68
Figura 10. Definición y asignación de diafragmas para las losas de los pisos	69
Figura 11. Definición del sistema de cargas dinámicas	69
Figura 12. Coeficiente basal para el análisis estático	70
Figura 13. Deformación debido al sismo en la dirección X (SSX)	70
Figura 14. Deformación debido al sismo en la dirección Y (SSY)	71
Figura 15. Diagrama de momentos debido a la carga muerta	71
Figura 16. Espectro de Sismo de Diseño (Sa/g)	73
Figura 17. Ventana de datos de los casos de carga	75
Figura 18. Excentricidad accidental del 5%	76
Figura 19. Exportación de la geometría del Etabs al Safe v16	81
Figura 20. Colocación de los muros de ductilidad limitada	82
Figura 21. Presiones en el suelo	82
Figura 22. Acero superior e inferior de la platea de cimentación	83
Figura 23. Diseño de Losa Aligerada – Albañilería confinada.....	84
Figura 24. Distribución de vigas – Albañilería confinada	85

Figura 25. Ancho tributario de las vigas principales	86
Figura 26. Área tributaria de Columna Central	87
Figura 27. Área tributaria de Columna Esquinera	88
Figura 28. Área tributaria de Columna Perimetral	88
Figura 29. Esquema de Muros de Albañilería Confinada (AC)	89
Figura 30. Vista en Planta del Sistema de Albañilería Confinada	104
Figura 31. Vista 3D del Sistema de Albañilería Confinada	104
Figura 32. Definición y asignación de diafragmas para las losas de los pisos	105
Figura 33. Deformación debido al sismo en la dirección X (SSX)	105
Figura 34. Deformación debido al sismo en la dirección Y (SSY)	106
Figura 35. Diagrama de momentos debido a la carga muerta	106
Figura 36. Espectro de Sismo de Diseño (S_a/g)	108
Figura 37. Ventana de datos de los casos de carga	110
Figura 38. Excentricidad accidental del 5%	111
Figura 39. Exportación de la geometría del Etabs al Safe v16	116
Figura 40. Colocación de placas y columnas	116
Figura 41. Presiones en el suelo	117
Figura 42. Acero superior e inferior de la platea de cimentación	118

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Pesos Unitarios de la CM	33
Cuadro 2. Cargas vivas repartidas	33
Cuadro 3. Factor de Zona	34
Cuadro 4. Factor de suelo “S”	34
Cuadro 5. Periodos T_p y T_L	35
Cuadro 6. Categoría de las Edificaciones y Factor de uso	36
Cuadro 7. Sistemas Estructurales	37
Cuadro 8. Características de los muros en el eje “x”	52
Cuadro 9. Características de los muros en el eje “y”	53
Cuadro 10. Peso Total de la Edificación de MDL	56
Cuadro 11. Datos del Centro de Masas dirección “X-X”	57
Cuadro 12. Datos del Centro de Masas dirección “Y-Y”	58
Cuadro 13. Calculo del Centro de Masas de la Edificación	58
Cuadro 14. Fuerza Cortante en la base de la Edificación	59
Cuadro 15. Fuerza Resistente	60
Cuadro 16. Distribución de la fuerza en la dirección “x-x”	61
Cuadro 17. Distribución de la fuerza en la dirección “y-y”	61
Cuadro 18. Centro de Rigidez	62
Cuadro 19. Momento Torsor de la dirección “x-x”	63
Cuadro 20. Momento Torsor de la dirección “y-y”	64
Cuadro 21. Control de Desplazamientos en la dirección “x-x”	64
Cuadro 22. Control de Desplazamientos en la dirección “y-y”	65
Cuadro 23. Juntas de separación sísmica en ambas direcciones	66
Cuadro 24. Control de giros en planta en la dirección “x-x”	66
Cuadro 25. Control de giros en planta en la dirección “y-y”	66

Cuadro 26. Propiedades del material	72
Cuadro 27. Datos del Espectro de Sismo de Diseño (Sa/g)	74
Cuadro 28. Fuerzas basales	75
Cuadro 29. Distorsiones de entrepiso de la edificación	76
Cuadro 30. Periodos de la edificación	77
Cuadro 31. Desplazamientos en X de la edificación	79
Cuadro 32. Desplazamientos en Y de la edificación	79
Cuadro 33. Características de los muros – Dirección “X-X”	90
Cuadro 34. Características de los muros – Dirección “Y-Y”	90
Cuadro 35. Parámetros de Análisis Sísmico.....	91
Cuadro 36. Peso Total de la Edificación de AC.....	93
Cuadro 37. Datos del Centro de Masas dirección “X-X”	94
Cuadro 38. Datos del Centro de Masas dirección “Y-Y”	94
Cuadro 39. Calculo del Centro de Masas de la Edificación	95
Cuadro 40. Fuerza Cortante en la base de la Edificación	96
Cuadro 41. Fuerza Resistente	96
Cuadro 42. Distribución de la fuerza en la dirección “x-x”	97
Cuadro 43. Distribución de la fuerza en la dirección “y-y”	98
Cuadro 44. Centro de Rigidez.....	99
Cuadro 45. Momento Torsor de la dirección “x-x”	100
Cuadro 46. Momento Torsor de la dirección “y-y”	100
Cuadro 47. Control de desplazamientos en la dirección “x-x”	101
Cuadro 48. Control de desplazamientos en la dirección “y-y”	102
Cuadro 49. Control de giros en planta “x-x”	102
Cuadro 50. Control de giros en planta “y-y”	103
Cuadro 51. Propiedades del material	107
Cuadro 52. Datos del Espectro de Sismo de Diseño (Sa/g)	109

Cuadro 53. Fuerzas Basales.....	110
Cuadro 54. Distorsiones de entrepiso de la edificación	111
Cuadro 55. Periodos de la edificación	112
Cuadro 56. Desplazamientos en X de la edificación	114
Cuadro 57. Desplazamientos en Y de la edificación	114

RESUMEN

En esta investigación se evaluó el comportamiento estructural de una vivienda multifamiliar de 5 pisos con los sistemas de muros de ductilidad limitada (MDL) y albañilería confinada (AC) frente a la amenaza sísmica. La estructuración del sistema de MDL fueron dimensionados con espesores de 0.12 m del 1° al 3° piso, en el 4° y 5° piso de 0.10 m en ambas direcciones y para el sistema de AC se dimensionaron con muros de 0.13 y 0.23 (0.15 y 0.25 tarrajeados) en ambas direcciones. Se realizó el análisis sísmico, estático y análisis dinámico, este último se desarrolló con el procedimiento de combinación espectral y se obtuvieron las distorsiones máximas de entrepiso, para el sistema de MDL en ambas direcciones una deriva de 0.00033; para el sistema de AC en la dirección “X” una deriva de 0.00031 y en la dirección “Y” de 0.00047. El sistema de AC tiene mayor deformación y tiende a ser más dúctil que el sistema de MDL.

Palabras clave: Diseño, comportamiento sísmico, muros, análisis dinámico.

ABSTRAT

In this research, the structural behavior of a 5-story multi-family dwelling with limited ductility (MDL) and confined masonry (AC) systems was evaluated against the seismic threat. The structuring of the MDL system was dimensioned with a thicknesses of 0.12 m from the 1st to the 3rd floor, in the 4th and 5th floors of 0.10 m in both directions and for the AC system they were dimensioned with walls of 0.13 and 0.23 (0.15 and 0.25 tarred) in both directions. The seismic, static analysis and dynamic analysis were performed, the latter was developed with the spectral combination procedure and the maximum displacements of the mezzanine were obtained, for the MDL system in both directions was a drift of 0.00033; for the AC system in the "X" direction, a drift of 0.00031 and in the "Y" direction of 0.00047. The AC system has greater deformation and tends to be more ductile than the MDL system.

Keywords: Design, seismic behavior, walls, dynamic analysis.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática:

Actualmente las buenas prácticas constructivas están siendo obviadas, y las construcciones se vienen realizando de una manera informal; es decir no ha intervenido un ingeniero especialista, la cual está generando tener edificaciones de baja calidad y con costos elevados. Las construcciones de viviendas en su gran mayoría se vienen haciendo de gran altura, las cuales requieren de menores espacios para su emplazamiento, es por ello que se deben analizar nuevos sistemas constructivos que garanticen calidad y seguridad para los habitantes.

En el Perú existe un índice de déficit cuantitativo, cualitativo y habitacional, según los resultados obtenidos a nivel nacional el 1.9% de los hogares presentan déficit cuantitativo de vivienda, en el área urbana el 2.4% y en el área rural asciende a 0.2%. En el déficit cualitativo de viviendas presenta el 9.3%, el mayor porcentaje se presenta en el área rural del país con un 19.2% mientras que en el área urbana alcanza el 6.3% y los hogares que tienen déficit habitacional el 11.2% y en la zona rural con 19.5% y en la zona urbana presenta 8.7%. En cuanto al déficit departamental, La Libertad presenta viviendas con 18.1% de déficit habitacional y según el área de residencia urbana y rural con 36 328 viviendas y 15 012 viviendas respectivamente. El déficit a nivel provincial, Trujillo con un total de 177 643 viviendas, según residencia con 36 754 viviendas, y con un déficit cuantitativo de 15 723 viviendas y cualitativo con 21 031 viviendas. (Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI, 2017).

En esta investigación para los problemas mencionados, se tomará como estudio comparativo a una edificación multifamiliar de 5 pisos con un área de terreno de 200 m², como alternativa de construcción, que tiene como objetivo determinar el análisis comparativo y diseño estructural, partiendo de un diseño arquitectónico, sean construidos con el sistemas de muros de ductilidad limitada o albañilería confinada, y que garanticen un comportamiento estructural ante la amenaza sísmica, para obtener un mejor desarrollo urbano y una adecuada calidad de viviendas, de tal forma dejar la autoconstrucción y deficiencias en los sistemas constructivos por su bajo conocimiento en la realidad.

Uno de los problemas que también se muestra es en definir qué tipo de método de construcción utilizar si muros de ductilidad limitada o albañilería confinada; las cuales deben de cumplir con los requisitos y exigencias de la norma peruana de edificaciones vigentes en el Perú, el primero es diseñado para resistir combinaciones de cargas con espesores reducidos, siendo sus elementos estructurales más confiables y con calidad estructural, en comparación con el segundo que es una técnica de construcción de una vivienda con más uso en nuestro medio debido a su mayor conocimiento sobre este, y en su gran mayoría se ejecutan sin ninguna sugerencia técnica ni profesional calificado.

1.1.1. Aspectos Generales:

Ubicación del proyecto: El proyecto se encuentra ubicado en el Departamento La Libertad, Distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo; en la Urbanización Rosas del Valle Mz. A – I Etapa. El terreno tiene un frente de 24 m y un fondo de 11 m, teniendo un área techada de 133.12 m² por cada nivel. Consta de dos departamentos con un área 66.55 m² por nivel, y cada departamento se divide en 2 habitaciones, una sala – comedor, una cocina, dos servicios higiénicos y un cuarto de estar.

1.2. Trabajos previos

Existe un déficit severo habitacional y carencia de soluciones constructivas de baja calidad, económica y accesibles a los sectores de la población; la investigación y mejora de calidad de materiales ha proporcionado una mayor seguridad que permiten reducir costos logrando optimizar recursos empleados; es por ello que usando nuevos sistemas de construcciones podemos satisfacer necesidades de resistencia estructural y eficiencia constructiva.

Cáceres y Enríquez (2017), realizaron una investigación de título “Análisis de costos, diseño sismoresistente- estructural comparativo entre los sistemas de muros de ductilidad limitada y albañilería estructural de un edificio multifamiliar”, tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil en la Universidad Nacional de San Agustín, su objetivo fue realizar una comparación entre la respuesta sísmica de una edificación de Albañilería estructural (AE) y una edificación de muros de concreto armado (MCA), concluyeron que

el sistema de AE tiene un peso de 671.86 Tn. mayor al sistema de MCA con un peso de 632.03 Tn; ambas estructuras tienen desplazamientos de entrepiso menores a los máximos valores permitidos en la norma E030, para el sistema (MCA) la d_{xx} es el 31.25% y para d_{yy} el 18%; para el caso de (AE) el d_{xx} es el 33.75% y el d_{yy} es 27%, siendo el sistema de muros de ductilidad menor en un 2.50% en la dirección X, en comparación con los muros de albañilería estructural. También determinaron que el sistema (MCA) tiene mejor ahorro en el tiempo y mano de obra a comparación del sistema (AE); en cuanto al costo el sistema de albañilería estructural es el 12.30% mayor al sistemas de muros de ductilidad limitada.

Sifuentes (2017), realizó el estudio titulado “Análisis técnico - económico entre los sistemas de muros de ductilidad limitada y de albañilería de un edificio de menor envergadura con relación largo ancho mayor a 5, en la urbanización los olivos”, tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil en la Universidad Nacional de Ancash, su objetivo fue analizar técnica y económicamente los sistemas mencionados; diseñó el edificio con los dos sistemas, concluyó que la fuerza cortante es mayor en el sistema de muros de ductilidad limitada (MDL) en comparación con el sistema de albañilería confinada (AC), también determinó el periodo de vibración del análisis dinámico de MDL en la dirección X-X un 19.032% menor al sistema de AC y en el eje Y-Y menor que 52.42% el sistema de MDL al de AC, el sistema de MDL su rigidez lateral es mayor al sistema de AC.

Quiroz (2016), realizó el proyecto de título “Comparación del comportamiento estructural de una vivienda multifamiliar proyectada mediante los Sistemas de Muros de Ductilidad Limitada y Albañilería Confinada en la ciudad de Cajamarca”, tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil en la Universidad Privada del Norte, su objetivo fue comparar el comportamiento estructural de una vivienda multifamiliar con los sistemas mencionados, concluyó que ambos sistemas cumplen con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). El diseño y análisis estructural de muros de ductilidad limitada presentan menos deformaciones en sus niveles teniendo 0.0016 y tiende ser más rígido y su falla puede ser explosivo, en cambio los muros de albañilería confinada contemplan más deformaciones de 0.0035 y tiende ser más dúctil y no tiene una falla explosiva. Los materiales usados para el modelamiento de ambos sistemas, presentan defectos y virtudes

en función a los requisitos mínimos de altura y espesor, los cuales deben ser verificadas con fuerza axial, flexocompresión, cortante y esbeltez, donde el desplazamiento máximo lateral de entrepiso del primer sistema es menor que del segundo sistema para las direcciones X e Y respectivamente, en el cual indica que la rigidez lateral del primer sistema es mayor a la de albañilería confinada.

Góngora y Huamán (2015), realizaron una investigación de título “Análisis y Diseño Estructural Comparativo de una vivienda multifamiliar de Muros de Ductilidad Limitada de Concreto Celular y Concreto Estructural en Chachapoyas” tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Realizaron análisis estático y dinámico a la estructura según la norma E.030 comparando derivadas y desplazamientos con los valores establecidos en la norma; también determinaron el presupuesto, tiempo de ejecución y el análisis comparativo. Concluyeron que en la estructura de concreto estructural, los desplazamientos máximos laterales de entrepiso son menores en un 16.68% a los de la estructura de concreto celular, también que el cascarón de la estructura de concreto el metro cuadrado es de 5.07 % menor al de concreto estructural, y en cuanto al tiempo de ejecución para ambos materiales no se encontraron diferencias significativas.

Santoyo (2015), realizó el estudio titulado “Análisis y diseño estructural comparativo entre el sistema de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada de una vivienda en la ciudad de Lircay”, tesis para obtener título de ingeniero civil en la Universidad Nacional de Huancavelica, cuya finalidad fue analizar cuál de los sistemas estructurales de una vivienda multifamiliar ofrece un comportamiento adecuado estructuralmente frente a la amenaza sísmica, también analizar los costos , tiempo de ejecución y evaluaron el impacto socioeconómico y ambiental. Concluyó que el sistema de Muros de Ductilidad Limitada (MDL) tiene mayores ventajas frente a eventos sísmicos que el sistema de Albañilería Confinada (AC), en cuanto a menos costos y tiempo de construcción el sistema de MDL es más ventajoso que el sistema de AC, y genera menos impacto ambiental ya que utiliza métodos constructivos eficaces.

García (2012), en su investigación titulada “Análisis Comparativo entre el Sistema de Muros de Ductilidad Limitada y Albañilería Confinada”, tesis para optar el título profesional de Ingeniero civil en la Universidad Nacional de Trujillo; cuyo objetivo fue analizar tiempos y costos de la ejecución de una vivienda multifamiliar con los sistemas estructurales antes mencionados; concluyó que el tiempo de construcción; del Sistema de muros de ductilidad limitada (MDL) es de 48 días hábiles mientras que la construcción de albañilería confinada (AC) es de 96 días hábiles, siendo el sistema de MDL con menos costo y tiempo de entrega de viviendas; también recalca que con el total de personal que se construye edificios con el sistema de MDL, se puede construir un solo edificio de AC.

Granados (2012), realizó el estudio titulado “Diseño de un edificio de muros de ductilidad limitada de cinco niveles”, tesis para obtener el título de ingeniero civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú, cuya finalidad fue desarrollar la estructuración, análisis y diseño estructural ante sollicitaciones dinámicas y estáticas con concreto armado de una vivienda multifamiliar de 5 pisos, cumpliendo como mínimo con las disposiciones de las normas; utilizó el criterio de estructuración en las losas macizas con un espesor de 10 cm, 15 cm en el hall y 20 cm en la zona de los baños, muros con espesores de 10 cm y altura de 2.5 m.; concluyó que la distribución en planta y en altura en ambas direcciones tienen una buena densidad de muros; la simetría del edificio en planta permitió no tener efectos de torsión. La estructura tuvo desplazamientos relativos, en la dirección X tuvo una deriva de 0.60/1000 y en la dirección Y de 0.49/1000; cumpliendo ambas direcciones con la exigencia de la norma.

Hernández (2012), realizó el estudio titulado “Diseño estructural de un edificio de vivienda de albañilería confinada”, tesis para obtener el título de ingeniero civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú, su objetivo fue diseñar un edificio de 5 pisos, diseñando simétricamente en planta y en altura, para evitar problemas de torsión ante un sismo; evitando daños durante un sismo leve, preservando la integridad física de sus ocupantes; concluyó que la ubicación de placas de concreto armado deben ir en el centro de la estructura como un núcleo rígido con un mejor comportamiento sísmico. Para el análisis sísmico empleó el coeficiente de reducción sísmica (R) de 6, este factor comprobó la resistencia sísmica para la estructura la cual asciende al 80% requerido por la norma.

Rodríguez (2011), en su investigación titulada “Comportamiento a fuerza cortante de muros de concreto de ductilidad limitada con 8 cm de espesor” , tesis para obtener el título de ingeniero civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú, su objetivo fue analizar muros de concreto con espesores de 8 cm para edificios de 5 pisos de altura y que tengan el mismo nivel de seguridad estructural de los edificios con muros de 10 cm; concluyó que ambos muros tuvieron un comportamiento similar ante la aplicación de la carga lateral, la falla predominante en ambos muros fue por corte y se produjo la falla por deslizamiento en la fase 7 (unión solera – muro), considerando una deriva máxima a 0.005, y factor de reducción (R) igual a 4.

Zavaleta (2009), en su investigación titulada “Análisis y Diseño Estructural Comparativo entre el sistema de Muros de Ductilidad Limitada y Albañilería Confinada de una vivienda multifamiliar en la Ciudad de Trujillo”, tesis para obtener el título de ingeniero civil en la universidad privada Antenor Orrego, su objetivo fue analizar y determinar el comportamiento estructural de ambos sistemas ante la amenaza sísmica, evaluación económica, impacto socioeconómico y ambiental con el sistema convencional de albañilería confinada (AC) o con el sistema industrializado muros de ductilidad limitada (MDL) de una vivienda multifamiliar; teniendo como calculo la fuerza cortante en la base para MDL de 180.94 Tn y para el sistema de AC igual a 125.63Tn, siendo con mayor fuerza cortante en la base el sistema de MDL, en ambas direcciones cumple con lo establecido en la norma que para estructuras regulares la fuerza cortante deberá ser mayor al 80% del valor calculado; concluyó que el sistema de MDL y AC presentan un real y adecuado comportamiento estructural sin ninguna amenaza sísmica, en cuanto a costos, impactos socioeconómicos y tiempo de ejecución, el sistema de MDL tiene mejores ventajas que un sistema de AC.

1.3. Teorías relacionadas al tema

1.3.1. Sistema de muros de ductilidad limitada (MDL)

Este sistema estructural se caracteriza porque sus muros son de concreto armado de ductilidad limitada, teniendo una resistencia sísmica y cargas de gravedad en sus dos direcciones la cual no pueden realizar importantes desplazamientos inelásticos, se prescinde de extremos confinados y su refuerzo vertical se dispone en una sola hilera. Estos muros tienen espesores reducidos, con sistemas de losa aligerada o losa maciza de entrepiso que desempeñan la función de diafragma rígido. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE E.060 – 2009).

Villareal (2013), nos menciona que este sistema reduce los desplazamientos laterales producidos por sismos, debido a la alta densidad de sus muros, ya que los ambientes son separados por muros estructurales; están compuestos por muros o placas de concreto armado de 10 o 12 cms. de espesor. Su función de los muros es soportar cargas verticales es decir carga muerta (peso propio de la edificación) y cargas vivas (producto del uso de la edificación), cargas laterales de sismo (depende de la ubicación geográfica, uso, tipo de terreno y el sistema estructural a utilizar) y de viento (depende de la ubicación geográfica y de la altura de la edificación).

También nos menciona que los MDL reducen los desplazamientos laterales producidos por sismos, debido su alta densidad de muros estructurales en todos los ambientes; este sistema es seguro ante sismos, pero la consideración a tener en cuenta en sismos severos, es reforzar las mallas electrosoldadas con acero corrugado en los extremos del muro, a fin de reducir la concentración de esfuerzos.

A inicios del año 2000 en nuestro medio se vienen utilizando, las edificaciones de muros de ductilidad limitada o muros de pared delgada; dicho sistema resulta conveniente para la construcción de edificios multifamiliares, por lo que no producen cambios bruscos de sus propiedades resistentes y especialmente de la rigidez. En el Perú este sistema ha facilitado al sector inmobiliario un gran crecimiento por el uso de concreto premezclado y encofrados estructurales, haciendo el trabajo más fácil y económico en este proceso constructivo.

Según el RNE E.030 nos indica que con este tipo de sistema estructural se puede construir como máximo 8 pisos, también especifica el máximo desplazamiento dividido entre la altura de entrepiso y que no debe de exceder de 0.005, y para los muros estructurales el límite de distorsión del entrepiso no debe exceder de 0.005.

Los edificios de MDL construidos en el Perú, utilizando muros de concreto armado con espesor delgado, han sido diseñados generalmente para edificios multifamiliares, que han sido económicos en el mercado. La Norma nos menciona que en edificios que tenga pisos mayores a 5 pisos se debe realizar la instalación de un ascensor, en cambio en edificios de 5 o menos pisos es muy raro encontrar alguno, ya que sería costoso la instalación de este.

1.3.1.1. Criterios de la norma para el diseño de edificaciones con muros de ductilidad limitada (EMDL)

Según la norma técnica de concreto armado E.060 – 2009, debemos cumplir con los siguientes requisitos:

En cuanto a los materiales la resistencia a la compresión del concreto como mínimo debe de ser de 175 kg/cm^2 y en los sistemas de transferencia deberá usarse como mínimo 280 kg/cm^2 . El refuerzo de acero longitudinal y transversal debe ser corrugado y cumplir con las disposiciones de ASTM A706M, también se permite el empleo de acero de refuerzo ASTM A615M y las mallas electrosoldadas debe ser de alambre corrugado, cumpliendo con lo especificado en ASTM A 497M y las intersecciones soldadas no deben estar separadas a más de 400 mm.

1. Diseño de Muros:

Según la norma E. 060 nos indica que las fuerzas de diseño son diseñadas para la acción de cargas axiales, momentos flectores y fuerzas cortantes, dependiendo del análisis a realizar. Para el sistema de Muros de Ductilidad Limitada el espesor no deberá ser menor que 10 cm y en muros de espesores reducidos el diseño de mezclas deberá tomar en cuenta la trabajabilidad, logrando homogeneidad en el concreto y la malla electrosoldada para el diseño de muros, deberá emplearse como valor máximo de $f_y=420 \text{ MPa}$ para el esfuerzo de fluencia.

El refuerzo distribuido verticalmente no necesita estar confinado por estribos a menos que su cuantía exceda a 0.01. En edificios de 3 pisos se podrá usar malla electrosoldada como refuerzo repartido, y en pisos mayores a tres se podrá usar malla sólo en pisos superiores que cumplan con el tercio inferior de la altura.

2. Cuantía de Refuerzo Mínima

La norma técnica E.60 concreto armado, nos especifica la cuantía mínima horizontal - vertical de refuerzo en muros que deberá cumplir con:

La fuerza cortante amplificada deberá ser mayor a 0.5 que la resistencia nominal al cortante, la cuantía horizontal y vertical deberá ser igual o mayor a 0.0025.

$$V_u > 0.5\phi V_c \rightarrow \rho_h \geq 0.0025 \quad \rho_v \geq 0.0025$$

Si la fuerza cortante es menor que 0.5 de la resistencia nominal al cortante, la cuantía horizontal será mayor o igual a 0.0020 y la vertical a 0.0015.

$$V_u < 0.5\phi V_c \rightarrow \rho_h \geq 0.0020 \quad \rho_v \geq 0.0020$$

Si $h_m/l_m \leq 2$ no excederá la cuantía de refuerzo vertical de la horizontal.

3. Diseño por Flexión y carga axial

Según Blanco, los elementos sometidos a flexión son los pisos o techos como losas aligeradas, macizas y nervadas en dos o una dirección, las vigas, las escaleras y todos aquellos que están sometidos a cargas perpendiculares a su plano.

La norma técnica E.060 nos indica que la máxima deformación unitaria utilizada del concreto en la fibra extrema sometida a compresión se asume igual a 0.003. En elementos $\phi P_n < 0.1 f'_c * A_g$, el refuerzo de acero en tracción no debe exceder de 0.75 A_{sb} . Para incrementar resistencia a los elementos sometidos a flexión, se permite el uso de refuerzo de compresión junto con el refuerzo adicional de tracción.

$$\text{Para } f'_c \text{ entre 17 y 28 MPa} \rightarrow \beta_1 = 0.85$$

$$\text{Para } f'_c \geq 56 \text{ MPa} \rightarrow \beta_1 = 0.65$$

Para f'_c entre 28 y 56 MPa, se interpola 0.85 y 0.65.

4. Diseño por Fuerza Cortante

Según la norma técnica E.060, los muros por corte para fuerzas coplanares deberá considerar:

$$\phi V_n \geq V_u$$

Dónde: V_u = Fuerza cortante amplificada

V_n = Resistencia nominal al cortante que es calculada con la siguiente fórmula: $V_n = V_c + V_s$

Dónde: V_c = Resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto

V_s = Resistencia nominal al cortante proporcionada por el refuerzo de la cortante.

También nos menciona la norma que la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto, no deberá exceder de $V_c = A_c w (\alpha_c \sqrt{f'_c})$, en el cual $\alpha_c = 0.25$, para:

$$\left(\frac{h_m}{l_m}\right) \leq 1.5, 0.17$$

$$\left(\frac{h_m}{l_m}\right) \geq 2.0$$

De donde: h_m = Altura total de muro.

l_m = Longitud total del muro.

5. Refuerzos de Muros

5.1. Refuerzo horizontal por corte:

Si la fuerza cortante amplificada excede a la resistencia nominal al cortante proporcionada por el concreto, se deberá colocar refuerzo por corte horizontal.

Se calcula con la siguiente formula:

$$V_s = \frac{A_v * f_y * d}{s}$$

El espaciamiento horizontal de refuerzo no debe de exceder de: $L/5$, $3t$ y 45 cm.

5.2. Refuerzo vertical por corte.

La cuantía del refuerzo vertical por corte será igual:

$$\rho_v = \left[0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{H_m}{L_m} \right) (\rho_h - 0.0025) \right] \geq 0.0025$$

Dónde: H_m = altura total del muro.

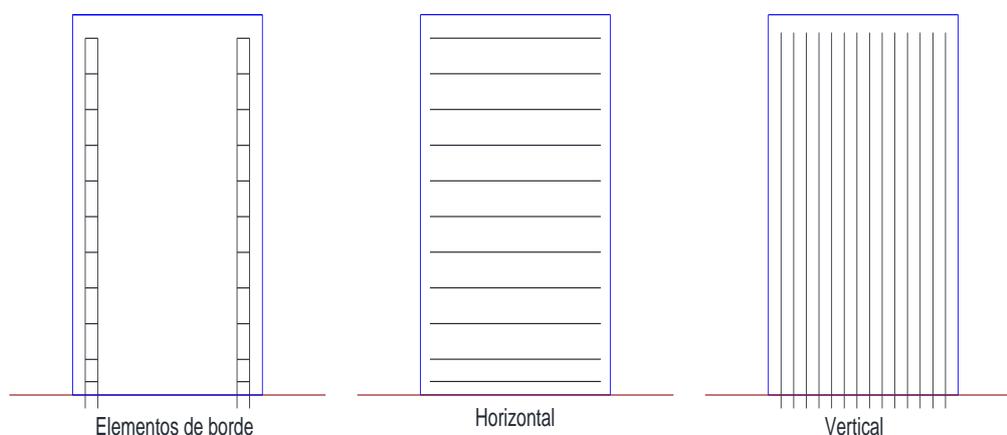
L_m = longitud total del muro.

El espaciamiento vertical de refuerzo no deberá ser mayor que: $L/3$, $3t$ y 45cm y si el espesor del muro es $\geq 25\text{ cm}$ el refuerzo horizontal y vertical se distribuirá en 2 direcciones.

6. Refuerzo de Muros de Ductilidad Limitada

Oviedo (2016), nos menciona que es necesario la disposición de acero de refuerzo en su longitud total del muro, para que dicho acero se introduzca en el rango inelástico. Para que se disipe la energía se colocaran elementos de borde, estos están ubicados en los extremos del muro con disposición del acero de refuerzo, importante confinamiento y con posibilidad de incrementar la sección. El acero de refuerzo se distribuye en: refuerzo horizontal y vertical, en ambas direcciones ortogonales del plano resisten la fuerza cortante, momento flector, fuerza axial y deslizamientos. El refuerzo diagonal puede ser utilizado en zonas de dinteles sometidas a fuerzas cortantes elevadas.

Figura 1. Tipos de refuerzo de muros



Fuente: Diseño Sismorresistente de Edificaciones de Concreto Armado (Dr. Ricardo Oviedo Sarmiento)

1.3.2. Sistema de albañilería confinada (AC)

Este tipo de sistema está constituido por elementos de concreto reforzado en todo su perímetro, se considerará para los muros del primer nivel como confinamiento horizontal a la cimentación de concreto. (RNE E.070 – 2009).

Según Arango (2002), con no más del 30% de área bruta se aplica exclusivamente con ladrillos perforados o macizos, para evitar fallas frágiles en compresión. Con el propósito de esparcir el agrietamiento, en la mayoría de casos se utiliza armadura en las hiladas horizontales. Los muros portantes pertenecientes a edificios diafragmados en zonas sísmicas, deberá poder evaluarse, en adición a sus propiedades resistentes, las características correspondientes a su comportamiento inelástico, tales como su ductilidad y su capacidad de disipación de energía.

Los muros de albañilería confinada en altura media son los más aplicados en el medio de las construcciones; las cuales presentan limitaciones importantes debido a la baja capacidad sísmica, para resistir tracciones y se producen agrietamientos cuando sufre un comportamiento frágil, es por ello que se requiere de refuerzos esbeltos de concreto armado (vigas y columnas), la cual deben de cumplir con las normas establecidas de diseño y cálculo, así lo menciona Gallegos y Casabonne (2005).

El sistema de albañilería en el Perú, en la construcción es una forma tradicional de construir edificios multifamiliares y viviendas hasta 5 pisos. Sus dimensiones varían entre 3 - 4.50 m, sus elementos verticales se utilizan para limitar espacios con funciones estructurales; en gran mayoría los materiales se encuentran en nuestro medio.

Según el (RNE E. 070 Albañilería – 2006) se podrán construir con este sistema hasta 5 pisos o 15 m de altura. Para la colocación de concreto en los elementos de confinamiento, lo que se debe de construir en primer lugar es el paño de albañilería dejando la conexión ya sea una conexión dentada o al ras, y los elementos de confinamiento empezaran desde la parte superior del cimiento, mas no del Sobrecimiento.

Según Villarreal (2013) este sistema es enmarcado por columnas y vigas de refuerzo en sus cuatro lados; las ventajas que tiene este sistema, es que sus materiales son incombustibles de alta resistencia al fuego, también es una de los métodos de construcción más utilizados en el medio, fácil de conseguir la mano de obra, es muy

resistente a sismos; en cuanto a sus desventajas los muros de albañilería no se pueden levantar más de 1.30 m de altura por día, el espesor del muro quita área en los ambientes y si en el futuro se requiere hacer modificaciones estas no se podrán realizar.

1.3.2.1. Tipos de falla

Según Arango (2002), pueden tipificarse de la siguiente manera:

a) Falla en Tracción por Flexión:

Se inicia en el confinamiento vertical y termina con la deformación del talón del muro comprimido. Solo se da en muros de esbeltez o de gran altura, su comportamiento es dúctil en la formación de una rotula plástica en la base del muro.

b) Falla de Corte por Cizalle:

A lo largo de una junta horizontal en el paño de albañilería, a la mitad de altura, los confinamientos verticales fallan por flexión o corte.

c) Falla en tracción diagonal y aplastamiento en las esquinas:

Se da en la esquina del paño de albañilería, en continuos ciclos de carga.

La falla en muros confinados la mayoría es en corte, que se forman los pisos blandos donde esta rotura ocurre. Para los muros de albañilería confinada existe un mecanismo plástico para las fallas en corte, el cual consiste en el acople de los muros mediante elementos horizontales de rigidez controlada; se puede utilizar dinteles estructurales de concreto armado que son continuación de los elementos de confinamientos horizontales de los muros, los cuales forman rotulas de flexión en sismos severos.

1.3.2.2. Criterios de la norma para el diseño estructural de edificaciones con albañilería confinada (AC)

La norma técnica E.070 Albañilería plantea las siguientes exigencias básicas en el procedimiento de construcción:

Los muros se trabajarán con plomo y en línea, no podrán ser asentados a una altura más de 1.30 m por jornada, las unidades de albañilería se asentarán en superficies libres de polvo y agua. En los tarrajeos su recubrimiento será de 2 cm y si es caravista será de 3 cm. Las juntas verticales y horizontales deberán quedar rellenas con mortero, siendo su espesor mínimo de 1cm y máximo de 1.5 cm, y en aquellas juntas que tengan refuerzo horizontal su espesor mínimo será de 0.6 cm, estas juntas de construcción entre jornadas de trabajos estarán limpias de partículas sueltas y serán previamente humedecidas. La distancia máxima entre juntas de control es de 8 m, en el caso de muros con unidades de concreto y de 25 m en el caso de muros con unidades de arcilla.

El concreto de las columnas de confinamiento se vaciará después de la construcción del muro de albañilería, y empezará desde el borde superior del cimientó. El espesor mínimo de las columnas y solera será igual al espesor efectivo del muro.

El recubrimiento mínimo de la armadura será de 2 cm cuando los muros son tarrajeados y 3 cm cuando son caravista.

1. Elementos de confinamiento

La norma E0.70, nos menciona que los elementos de concreto armado se deberán evitar espacios vacíos o cangrejeras; y el concreto deberá tener una resistencia a compresión $\geq 175 \text{ kg/cm}^2$. La distancia máxima que debe tener los elementos de confinamiento (columnas) debe ser dos veces la distancia que existe entre los elementos horizontales de refuerzo y no mayor a 5m.

También menciona que el espesor mínimo de las columnas y la solera serán igual al espesor efectivo del muro. El área mínima de la columna de confinamiento debe ser de 15 cm.

2. Espesor efectivo “t”

La norma E0.70 nos menciona que para calcular el espesor mínimo utilizaremos las siguientes formulas según su zona de ubicación del proyecto: $t \geq \frac{h}{20}$, para las zonas sísmicas 2 y 3. Para la zona 1 se utilizara: $t \geq \frac{h}{25}$. Donde h es la altura libre entre los elementos de arriostre horizontales.

3. Esfuerzo Axial Máximo

Para calcular el esfuerzo axial máximo (σ_m) producido por la carga de gravedad máxima de servicio (P_m) incluyendo el 100% de sobrecarga será inferior a:

$$\sigma_m = \frac{P_m}{t * l} < 0.2 * f'm * \left(1 - \left(\frac{h}{35 * t} \right)^2 \right) < 0.15 * f'm$$

Donde “L” es la longitud total del muro (incluyendo el peralte de columnas para el caso de los muros confinados). De no cumplirse esa expresión habrá que mejorar la calidad de la albañilería ($f'm$) aumentar el espesor del muro, transformarlo en concreto armado, o ver la manera de reducir la magnitud de la carga axial “Pm”. (Norma E.070 albañilería.2006)

4. Aplastamiento

La norma E.070 nos menciona que cuando existan cargas de gravedad concentradas que actúen en el plano de la albañilería; el esfuerzo axial de servicio producido por dicha carga no deberá sobrepasar a $0.375f'm$. Para determinar el área de compresión se considerará un ancho efectivo igual al ancho sobre el cual actúa la carga concentrada más dos veces el espesor efectivo del muro medido a cada lado de la carga concentrada.

5. Densidad Mínima de muros Reforzados

Según Gallegos y Cassabone la cantidad de muros en una edificación y en cada dirección es un parámetro importante para controlar el comportamiento de los muros y del edificio, también regula el esfuerzo cortante de los muros y sirve para evitar fallas frágiles por corte.

Para calcular la densidad de los muros portantes a reforzar en la dirección “X-X” y en la dirección “Y-Y” del edificio se obtendrá mediante la siguiente fórmula: $\frac{\Sigma Lt}{A_p} \geq \frac{Z * U * S * N}{56}$; de donde “Z”, “U”, “S” corresponden a los factores de zona sísmica que lo especifica la norma E.030 Diseño Sismorresistente, “N” es el número de pisos del edificio, “L” es la longitud total del muro, “t” es el espesor efectivo del muro. De no cumplirse la anterior expresión el espesor de los muros podrá cambiarse, o agregarse placas de concreto armado, para hacer uso de la formula, deberá amplificarse el espesor real de la placa por la relación E_c/E_m ;

donde E_c es el módulo de elasticidad del concreto y E_m es el módulo de elasticidad de albañilería. (Norma E.070 Albañilería. 2006).

1.3.2.3. Diseño y Análisis Estructural

Según la norma E.070 nos menciona que el diseño debe estar orientado en proteger a la estructura de daños ante eventos sísmicos frecuentes y a proveer la necesaria resistencia para soportar el sismo severo. Los muros deberán ser diseñados por capacidad de tal modo que puedan soportar la carga asociada a su incursión elástica, y que al edificio proporcionen una resistencia a corte mayor o igual que la carga producida por el sismo severo. El sismo moderado no debe producir la figuración de ningún muro portante. La distorsión máxima angular que debe tener la edificación ante un sismo severo que es $1/200$, para que el muro sea reparable pasado el sismo.

También especifica que el análisis estructural de albañilería se realiza por métodos elásticos considerando la carga viva, carga muerta y cargas de sismo.

1.3.3. Platea de cimentación

Según Blanco nos menciona que las plateas de cimentación también llamadas cimentaciones superficiales. Elemento de concreto armado, que transmite presiones uniformes al terreno de apoyo. Estas se utilizan para reducir el asentamiento de las estructuras.

Para la construcción de la platea el suelo debe ser uniforme y estable con el tiempo, especialmente frente a los cambios de humedad y a socavaciones por falta de confinamiento. Estas plateas de cimentación mayormente se utilizan cuando la presión admisible del terreno es menor de 0.80 Kg/cm^2 . Existen 3 tipos de plateas entre las cuales tenemos: plateas con capiteles, plateas de espesor constante y con vigas de rigidez

1.3.4. Cargas de diseño

Según la norma técnica E.020 Cargas, define:

- a) **Carga Muerta (CM):** Peso real de materiales de construcción, ocupantes, movimientos diferenciales, que es soportada por la edificación, y son calculados con los pesos unitarios.

Cuadro 1. Pesos unitarios de la CM

CARGA MUERTA (CM)	
MATERIAL	PU
Concreto armado	2400 Kg/m ³
Losa Aligerada (h=0.20 m)	300 Kg/m ²
Tabiquería	100 Kg/m ²

Fuente: RNE E0.20 Cargas – 2016

b) Carga Viva (CV): Peso de materiales, habitantes, muebles, equipos y elementos movibles.

Cuadro 2. Cargas vivas repartidas

USO	CARGA REPARTIDA
Viviendas	200 Kg/m ²
Corredores y Escaleras	200 Kg/m ²

Fuente: RNE E0.20 Cargas – 2016

c) Cargas de sismo (CS): actúa de manera permanente sobre la edificación a través de una carga por gravedad de magnitud constante.

1.3.5. Análisis sísmico – parámetros

La norma E.030 Diseño Sismorresistente - 2016, establece las condiciones sísmicas para los sistemas estructurales de EMDL y AC:

➤ **Zonificación:**

El Perú se encuentra dividido en 4 zonas, las que han sido distribuidas de acuerdo a la sismicidad observada, características de los movimientos sísmicos, se le asigna un factor Z según la zona de estudio, la cual interpreta a la aceleración sísmica máxima horizontal en el suelo rígido, pudiendo aumentar en 10 % pasado los 50 años.

Cuadro 3. Factor de zona

FACTOR DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: RNE E.030 Diseño Sismorresistente – 2016

➤ **Condiciones geotécnicas: Perfiles de suelo**

En el RNE, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (\bar{V}_S), o alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los \bar{N}_{60} obtenido mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{S}_u) para suelos cohesivos. Estas propiedades deben determinarse para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de la cimentación. Para el proyecto en estudio el tipo de perfil de suelo es:

PERFIL TIPO S₂: SUELOS INTERMEDIOS: Suelos rígidos, con velocidad promedio de propagación de ondas de corte, entre 180 m/s – 500 m/s, incluyendo: arena densa, gruesa a media o grava arenosa con promedio ponderado de ensayo de penetración estándar de 15 – 50 y los suelos cohesivos compacto, con resistencia no drenada entre 0.5 kg/cm² – 1 kg/cm².

Cuadro 4. Factor de Suelo “S”

FACTOR DE SUELO “S”					
ZONA	SUELO	S₀	S₁	S₂	S₃
Z4		0.80	1.00	1.05	1.10
Z3		0.80	1.00	1.15	1.20
Z2		0.80	1.00	1.20	1.40
Z1		0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: RNE E.030 Diseño Sismorresistente – 2016

➤ **Parámetros de sitio TP y TL**

El parámetro T_P define el espectro de Pseudo aceleraciones y el indica el inicio de constante desplazamiento.

Cuadro 5. Periodos T_P y T_L

PERIODOS “ T_P ” y “ T_L ”				
	Perfil de Suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
T_P (S)	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L (S)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: RNE E.030 Diseño Sismorresistente – 2016

➤ **Factor de amplificación sísmica (C)**

Al factor “C” se le conoce como factor de amplificación de la aceleración estructural con respecto de la aceleración en el suelo, tiene las siguientes fórmulas:

$$T < T_P \rightarrow C=2.5$$

$$T_P < T < T_L \rightarrow C=2.5*\left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L \rightarrow C=2.5*\left(\frac{T_P*T_L}{T^2}\right)$$

➤ **Categoría de las edificaciones y factor de uso**

Cada estructura se clasifica con las categorías indicadas en la tabla, el factor de importancia (U) se usará según la clasificación que se haga. Para los edificios con aislamiento n la base se podrá considerar $U=1$.

Cuadro 6. Categoría de las Edificaciones y Factor de uso.

CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR “U”		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A EDIFICACIONES ESENCIALES	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del 2° y 3° nivel, según normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: - Establecimientos de salud, puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones, estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía.	1.5
B EDIFICACIONES IMPORTANTES	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas.	1.3
C EDIFICACIONES COMUNES	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales.	1.0
D EDIFICACIONES TEMPORALES	Constructivas provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Fuente: RNE E.030 Diseño Sismorresistente – 2016

➤ **Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R₀)**

Se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración Sismorresistente de cada dirección de análisis. Si presenta más de un sistema estructural en la dirección de análisis se tomará el menor coeficiente.

Cuadro 7. Sistemas Estructurales.

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
SISTEMA ESTRUCTURAL	COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN R_o
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De Muros Estructurales	6
Muros de Ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera (Por Esfuerzos admisibles)	7

Fuente: RNE E.030 Diseño Sismorresistente – 2016

➤ **Regularidad Estructural**

Las estructuras pueden ser regulares o irregulares, para la determinación se ha tenido en cuenta las tablas de Irregularidades estructurales en altura y en planta de la norma E.030 Diseño Sismorresistente. La estructura en estudio no presenta cambios de peso, masa, discontinuidad, rigidez y desplazamientos importantes en la altura, y en planta tenemos la irregularidad de discontinuidad del diafragma, pero por área libre, pero según norma E 0.30 para que sea considerada como irregularidad debe ser mayor al 50 % del área bruta del diafragma; entonces se considera como una estructura regular y sus factores de I_a o I_p es igual a 1.0.

➤ **Coefficiente de Reducción de las fuerzas sísmicas (R)**

Según la norma E 0.30 nos especifica los valores del coeficiente de reducción del sistema estructural de ambas direcciones (X, Y) de análisis del proyecto, con ello permite diseñar las estructuras con fuerzas que soportan.

1.3.6. Análisis estático – parámetros

Se realizara este análisis para verificar que el cortante sísmico de la estructura sea menor al cortante admisible del concreto esto para garantizar que no ocurra falla por corte en los muros ya que estos absorben gran cantidad de la fuerza de corte.

➤ **Fuerza cortante en la base**

Según la norma técnica E. 030 de Sismorresistente – 2016, la fuerza cortante total en la base de la estructura, se calcula con la siguiente fórmula: $V = \frac{Z*U*C*S}{R} * P$, donde el valor de C/R debe ser mayor o igual a 0.125.

➤ **Periodo Fundamental de Vibración**

La norma nos permite calcular el periodo fundamental de vibración para cada dirección, con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{hn}{C_T}$$

$C_T = 60$ Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

hn = Altura total de la Edificación.

➤ **Distribución de la fuerza sísmica en altura:**

La norma E.030, indica que las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel, se calcula con la fórmula:

$$\alpha_i = \frac{\rho_i * h_i}{\rho_i * h_i + \rho_i * h_i}$$

➤ **Periodo fundamental de vibración**

El periodo fundamental para calcular en sus dos direcciones, utilizaremos la siguiente fórmula: $T=hn/C_t$, de donde hn es la altura total de la edificación y $C_t=0.60$ para edificios de albañilería, concreto armado, muros estructurales y muros de ductilidad limitada.

➤ **Desplazamientos laterales**

La Norma indica que los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando $0.75R$, los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

1.3.7. Análisis dinámico

Este análisis se desarrolla siguiendo los parámetros requeridos en la norma E.030. Este método es aplicable a cualquier edificio. El análisis que se utilizara es el procedimiento de combinación espectral; se considerará la idealización de la estructura a base de masas y resortes que nos permitirá determinar el desplazamiento lateral en ambas direcciones y también poder determinar el periodo del edificio.

1.3.8. Junta sísmica

San Bartolomé (1998), nos menciona que para evitar problemas de torsión, cambios bruscos de rigidez y de masas entre los pisos superiores debe hacerse subdivisiones en el edificio mediante las juntas sísmicas, de manera que entre bloques no interactúen entre si evitando choques. Será necesario realizar una junta siempre y cuando la edificación tenga una reducción en planta considerable, para evitar asentamientos.

Según norma E.030, indica que la distancia mínima que separa a dos estructuras para evitar el contacto durante el sismo, la distancia no será menor a $2/3$ de la suma de los desplazamientos máxima en los bloques, ni menor que: $S=0.006 \cdot h \geq 0.03$ m. donde h es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar s . Deberá separarse el edificio existente con $s/2$ que le corresponde más el $s/2$ de la estructura vecina, siempre y cuando no exista una junta sísmica reglamentaria.

En todas las juntas el refuerzo vertical distribuido en el alma del muro debe tener en cuenta la resistencia al corte de fricción, la cual se calculará con:

$$\phi v_n = \phi \mu (N_u + A_v \cdot f_y) \phi = 0.85$$

La fuerza normal (N_u) = $0.9 \cdot CM$ y para el coeficiente de fricción (μ) se tomara el valor correspondiente: i) concreto colocado monolíticamente= 1.4λ , ii) Concreto colocado contra concreto endurecido con la superficie de contacto intencionalmente rugosa (6mm o más)= 1.0λ , iii) Concreto colocado contra concreto endurecido con la superficie de contacto no intencionalmente rugosa= 0.6λ y iv) Concreto anclado a acero estructural laminado mediante conectores con cabeza o barras de refuerzo= 0.7λ .

Dónde: $\lambda=1.0$ Concreto Peso Normal, $\lambda=0.85$ Concreto liviano con arena de peso normal, $\lambda=0.75$ Concreto liviano en todos sus componentes.

1.4. Formulación del problema

¿Cuál de los Sistemas Estructurales diseñado por muros de ductilidad limitada o albañilería confinada de una vivienda multifamiliar tiene un mejor comportamiento frente a la amenaza sísmica?

1.5. Justificación del estudio

En nuestro medio las construcciones que existen, ya sean viviendas multifamiliares o unifamiliares, son con los sistemas de albañilería confinada, vienen siendo construidas por mano de obra no calificada y empleando métodos tradicionales y empíricos, siendo llamadas construcciones informales; construyendo viviendas no resistentes a eventos sísmicos, que de alguna u otra manera aceleran el tiempo de ejecución y con un bajo costo pero que no garantiza seguridad, calidad y durabilidad en las construcciones.

Es por ello que con esta investigación se implementara la evolución del mercado de construcción, en el cual ofrezca sistemas nuevos en las construcciones ya sean tradicionales o industrializados pero que deberían garantizar calidad, seguridad y obtener mejores sistemas urbanos.

El propósito de este trabajo es desarrollar, proporcionar resultados y dar a conocer los beneficios de construir con el sistema de muros de ductilidad limitada o albañilería confinada y poder optar por la mejor opción de construcción; la cual creará una nueva línea futura de construcción y mejora el sector construcción de viviendas multifamiliares acomodando a sus necesidades, durabilidad, resistencia y seguridad; permitiendo un acceso económico a cada uno y sobre todo salvaguardando las vidas humanas.

1.6. Hipótesis

El sistema de edificaciones de muros de ductilidad limitada presenta un mejor comportamiento estructural a comparación con un sistema de albañilería confinada de una vivienda multifamiliar frente a la amenaza sísmica, por ser un sistema con mayor ventaja económica social en su construcción.

1.7.Objetivos

General

Analizar el comportamiento estructural de los sistemas de edificaciones de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada frente a la amenaza sísmica en la construcción de una vivienda multifamiliar.

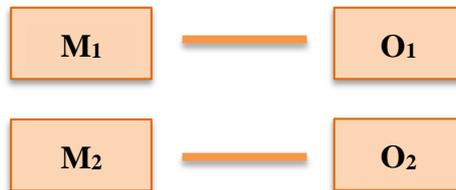
Específicos

- ✓ Desarrollar el diseño estructural, sísmico y el modelamiento de ambos sistemas, cumpliendo con la norma técnica peruana de una vivienda multifamiliar.
- ✓ Desarrollar el comportamiento estructural y sísmico, verificando desplazamientos máximos y mínimos y deformaciones de una vivienda multifamiliar con el sistema de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación

En el presente trabajo de investigación se empleó el Diseño de Investigación no experimental, transversal Descriptivo Comparativo.



Donde:

M₁: MUESTRA 1: Diseño de una vivienda multifamiliar con muros de ductilidad limitada.

M₂: MUESTRA 2: Diseño de una vivienda multifamiliar con albañilería confinada.

O₁: OBSERVACIÓN 1: Evaluación de vulnerabilidad sísmica del sistema con muros de ductilidad limitada.

O₂: OBSERVACIÓN 2: Evaluación de vulnerabilidad sísmica con el sistema de albañilería confinada.

2.2. Variables, Operacionalización

2.2.1. Variables

Comportamiento estructural.

2.2.2. Dimensiones

- ✓ Diseño estructural y modelamiento de ambos sistemas de una vivienda multifamiliar según norma técnica peruana.
- ✓ Comportamiento estructural, verificando desplazamientos máximos y mínimos y deformaciones de una vivienda multifamiliar con los sistemas en estudio.

2.2.3. Operacionalización

VARIABLE	DIMENSIONES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Comportamiento estructural de los sistemas de edificaciones para la construcción de una vivienda multifamiliar.	Diseño estructural y modelamiento de ambos sistemas de una vivienda multifamiliar según norma técnica.	El diseño estructural es la idealización de cargas y fuerzas que definen un comportamiento final de una edificación. El modelamiento es una representación gráfica de una estructura. (VILLAREAL 2013, p.08)	Se calculará el predimensionamiento de muros estructurales, cimentaciones, losa aligerada, columnas, vigas; y el modelamiento de una estructura, se realiza a través de una abstracción de lo real a un programa para que de esta manera permita diseñar y analizar.	Predimensionamiento de elementos estructurales (m, Kg/m ²)	De Razón
				Programas ETABS y SAFE (Kg/m ³)	De Razón

	Comportamiento estructural, verificando desplazamientos máximos y mínimos y deformaciones de una vivienda multifamiliar con los sistemas en estudio.	El comportamiento estructural constituye un ensamblaje de elementos para conformar un único objetivo de solución, la cual lo conforma distintos sistemas estructurales. (ARTHUR H., 1999, p. 31)	Se calculará fuerzas internas (desplazamientos laterales) en cada dirección, y las cargas de diseño (Carga viva, Carga muerta, carga de sismo).	Análisis estático (Kg, m, Tn)	De Razón
				Análisis sísmico (Kg/m ³ , m, cm)	De Razón
				Comparación de cálculos y resultados (m, Kg/m ² , Kg/m ³ , Tn, cm)	De Razón

2.3.Población y muestra

Población

Constituida con el sistema estructural de Muros de Ductilidad Limitada y el de Albañilería Confinada, los cuales vienen siendo aplicados en las diferentes construcciones de viviendas tipo multifamiliares.

Muestra

Constituida por una vivienda multifamiliar de 5 pisos proyectada con un área de 200 m², será analizada y diseñada con los sistemas estructurales en estudio, se tomarán planos de arquitectura como base.

Consta de dos departamentos con un área 66.55 m² por nivel, y cada departamento se divide en 2 habitaciones, una sala – comedor, una cocina, dos servicios higiénicos y un cuarto de estar.

En la figura 7 se muestra la planta típica de arquitectura del proyecto.

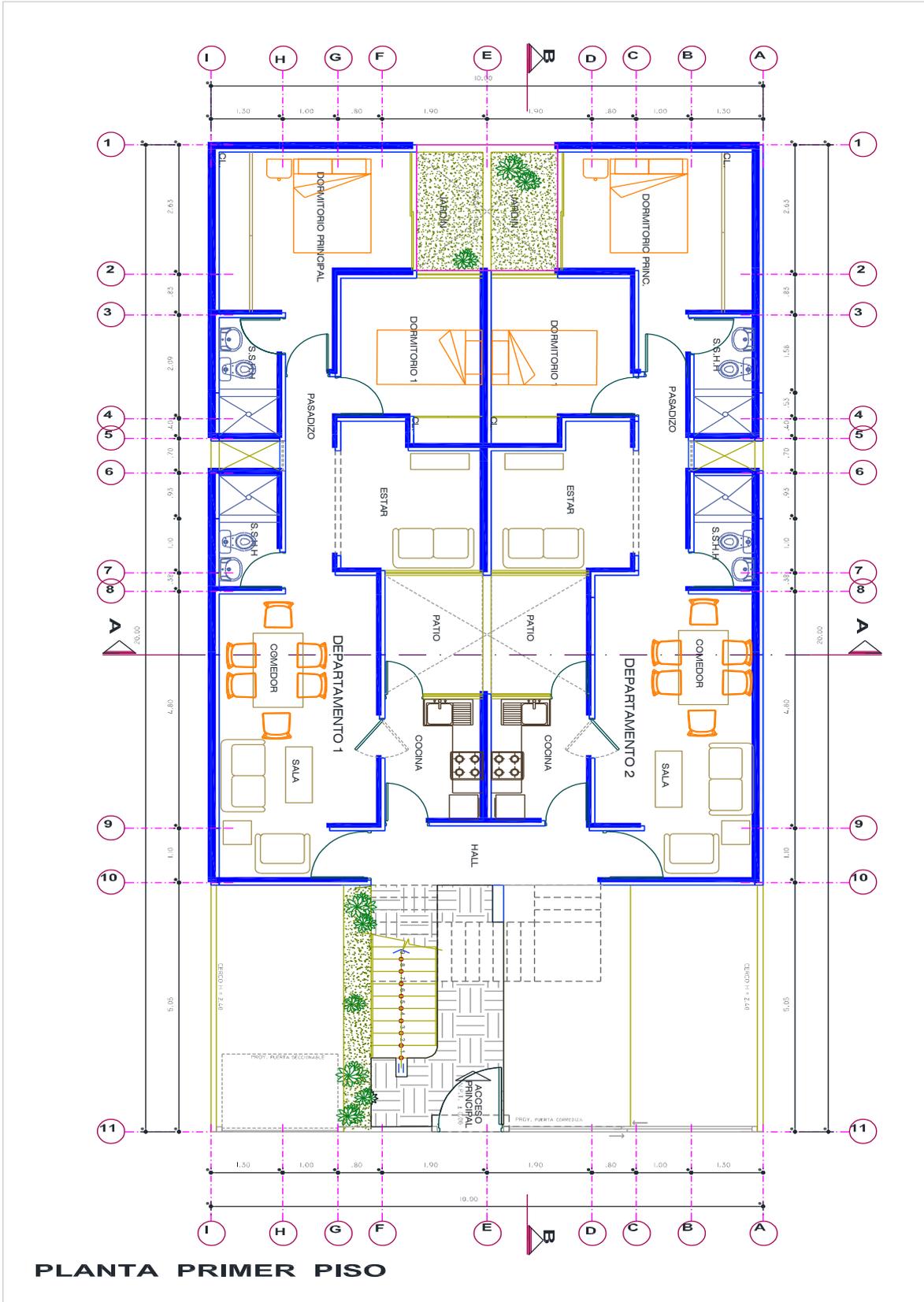


Figura 2. Vista Típica de Planta de Primer Piso del Edificio

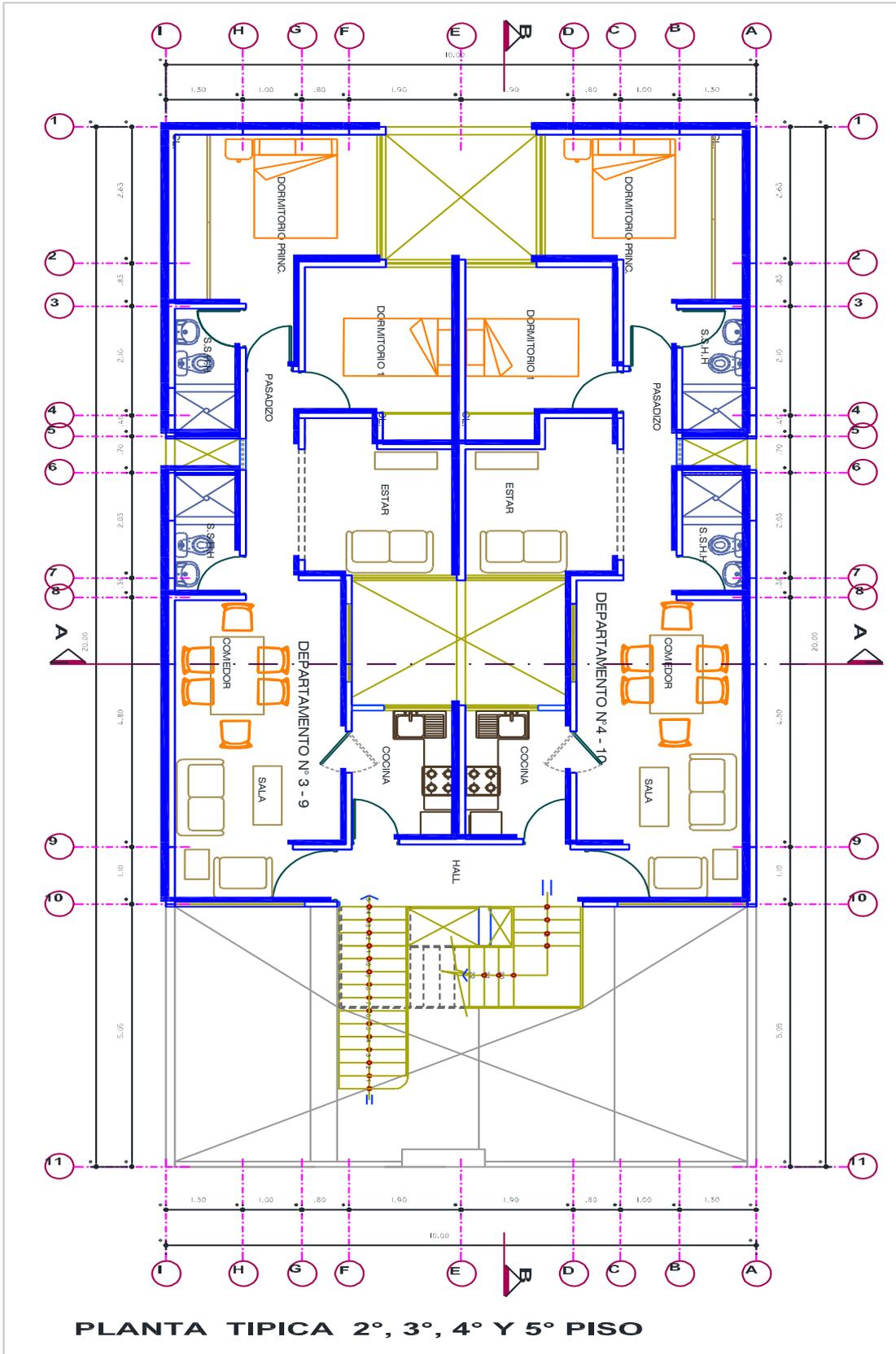


Figura 3. Vista típica de los pisos 2°, 3°, 4° y 5° piso del Edificio

2.4. Técnicas e instrumento de recolección, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas

- ✓ **Recolección de datos:** La obtención de datos se consiguió a través de planos de arquitectura de una vivienda multifamiliar.

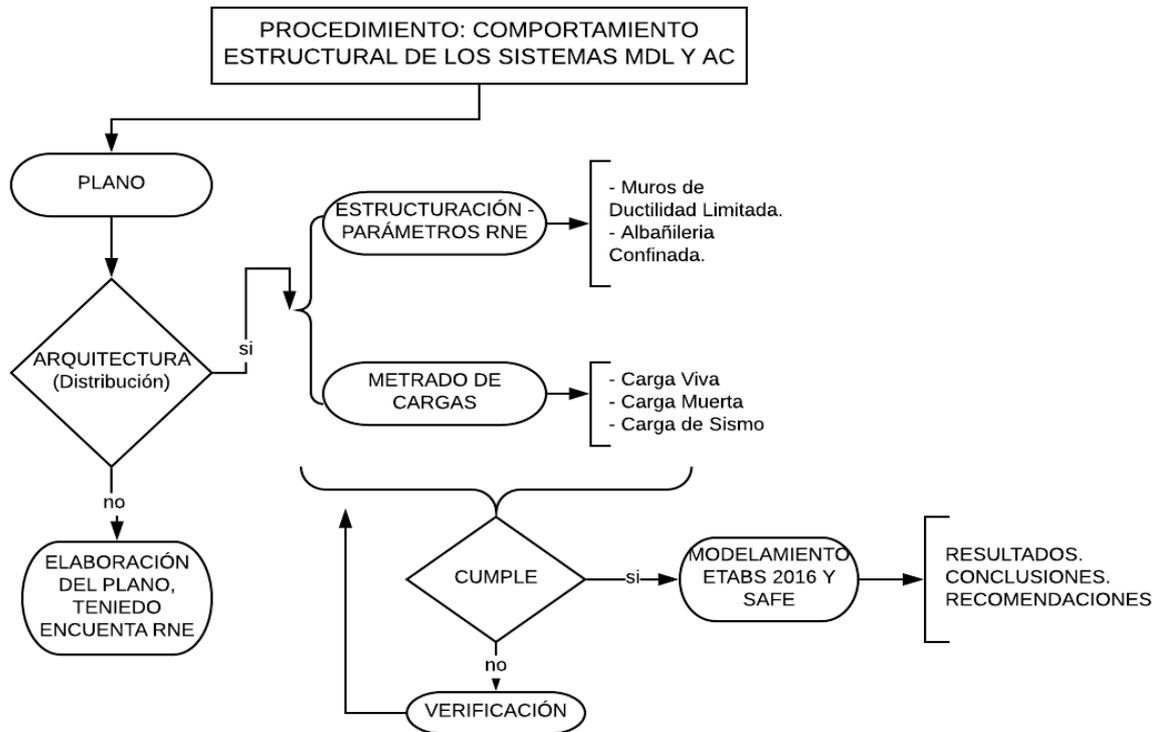


Figura 4. Procedimiento de Recolección de datos

2.4.2. Instrumentos

Para la obtención de la técnica antes indicada se utilizó procedimientos de recolección de datos, evaluación visual y toma de datos, la cual incluye:

- ❖ Plano de arquitectura.
- ❖ Estructuración de la edificación.
- ❖ Reglamento nacional de edificaciones (RNE).
- ❖ Guía de análisis de contenido, comprende ítems para recabar importante información para esta investigación.

2.5.Métodos de análisis de datos

Para el procesamiento de información se utilizó los programas estructurales como el ETABS, con este programa se realizó el cálculo estructural de la vivienda multifamiliar en los dos sistemas de investigación y el SAFE, este programa se utilizó para el dimensionamiento y análisis de cimentaciones; modelándolo y realizando el análisis de resultados, los cuales se representaron en gráficos y cuadros.

2.6.Aspectos éticos

La presente investigación pone en práctica la veracidad de los resultados, confidencialidad, empeño y dedicación en el desarrollo de esta investigación.

III. RESULTADOS

3.1 Elementos estructurales: muros de ductilidad limitada

3.1.1. Característica de los materiales: Según RNE E.060 Concreto Armado.

Resistencia del concreto : $f'c = 210$ (Kg/cm²)

Módulo de Poisson : $\mu = 0.20$

% de sobre carga : % s/c = 0.25

Peso Unitario del Concreto : $\gamma = 2400$ kg/m³

Módulo de elasticidad

F'c: Resistencia Especificada a la Compresión del concreto = 210 Kg/cm².

Concreto $E_c = 15000 * \sqrt{f'c}$: $E_c = 217,370.65$ (Kg/cm²)

3.1.2. Predimensionamiento

3.1.2.1. Predimensionamiento de Muros

Para el predimensionamiento de los muros de ductilidad limitada (MDL) en la dirección X y en la dirección Y, se ha tenido en cuenta lo especificado en la norma E 0.60, que son los que resistirán las fuerzas cortantes en su plano inducidas por sismos. Para poder determinar la densidad de muros, se hace una comparación de fuerza basal con la resistencia cortante de los muros.

En la figura 5 se muestran el esquema de los MDL del proyecto.

3.1.2.2. Espesor Mínimo de Muros “t”

Según la Norma E.060 Concreto armado nos menciona que para la Zona 4 donde se ubica el proyecto, el espesor de los muros no deberá ser menor de 1/25 de la altura entre elementos que le proporcionen apoyo lateral no deberá ser menor de 100 mm. La altura de entrepiso del proyecto es igual a 2.40 m.

$$t = \frac{2.40}{25} = 0.096 \approx t = 0.10$$

Para mayor detalle del cálculo de muros diseñados por fuerza cortante, flexión, ver anexo 1.

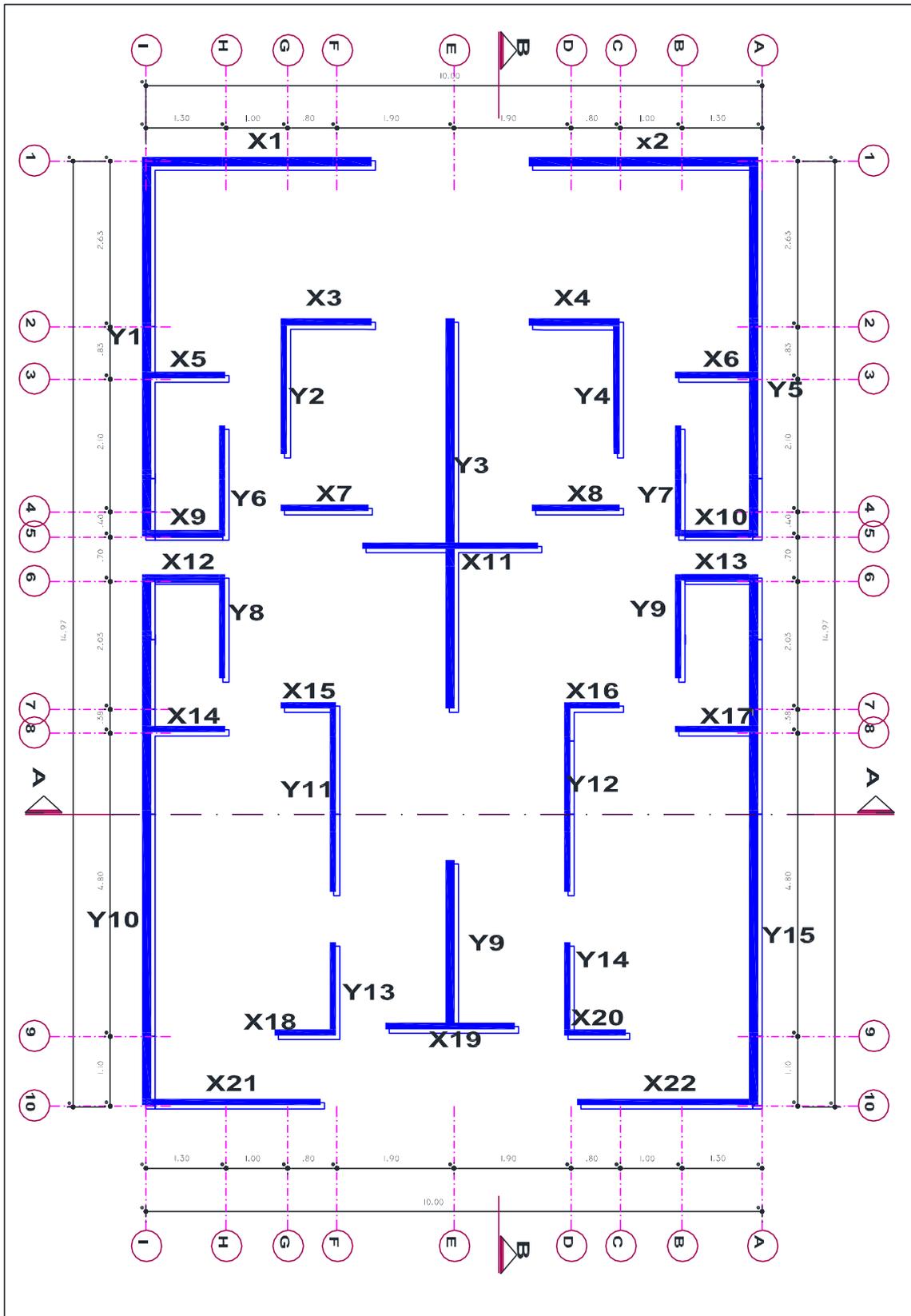


Figura 5. Esquema de Muros de Ductilidad Limita (MDL)

Cuadro 8. Características de los muros en el eje “x”

DIRECCIÓN	MURO	CANTIDAD	LONGITUD	ESPESOR t
DIRECCIÓN X-X	M X 1	1.00	3.73	0.12
	M X 2	1.00	3.73	0.12
	M X 3	1.00	1.48	0.12
	M X 4	1.00	1.48	0.12
	M X 5	1.00	1.35	0.12
	M X 6	1.00	1.35	0.12
	M X 7	1.00	1.43	0.12
	M X 8	1.00	1.43	0.12
	M X 9	1.00	1.35	0.12
	M X 10	1.00	1.35	0.12
	M X 11	1.00	2.85	0.12
	M X 12	1.00	1.35	0.12
	M X 13	1.00	1.35	0.12
	M X 14	1.00	1.35	0.12
	M X 15	1.00	0.90	0.12
	M X 16	1.00	0.90	0.12
	M X 17	1.00	1.35	0.12
	M X 18	1.00	1.00	0.12
	M X 19	1.00	2.10	0.12
	M X 20	1.00	1.00	0.12
	M X 21	1.00	2.90	0.12
	M X 22	1.00	2.90	0.12

$$\sum L * t = 3.863$$

Cuadro 9. Características de los muros en el eje “y”

DIRECCIÓN	MURO	CANTIDAD	LONGITUD	ESPESOR t
DIRECCIÓN Y-Y	M Y 1	1.00	6.00	0.12
	M Y 2	1.00	2.15	0.12
	M Y 3	1.00	6.18	0.12
	M Y 4	1.00	2.15	0.12
	M Y 5	1.00	6.00	0.12
	M Y 6	1.00	1.75	0.12
	M Y 7	1.00	1.75	0.12
	M Y 8	1.00	1.65	0.12
	M Y 9	1.00	1.65	0.12
	M Y 10	1.00	8.40	0.12
	M Y 11	1.00	3.00	0.12
	M Y 12	1.00	3.00	0.12
	M Y 13	1.00	1.48	0.12
	M Y 14	1.00	2.67	0.12
	M Y 15	1.00	1.48	0.12
	M Y 16	1.00	8.40	0.12

$$\sum L * t = 6.925$$

3.1.2.3. Predimensionamiento de Losa Aligerada

Una losa de concreto reforzado es una amplia placa plana, generalmente horizontal, cuyas superficies superior e inferior son paralelas o casi paralelas entre sí, puede estar apoyada en muros de concreto reforzado. (Arthur H. Nilson - 2001).

Según Antonio Blanco el peralte de las losas aligeradas podrá ser dimensionado considerando los criterios siguientes: $h = 17$ cms para luces menores de 4 mts, para $h = 20$ cms luces comprendidas entre 4 y 5.5 mts, $h = 25$ cms luces comprendidas entre 5 y 6.5 mts, y para $h = 30$ cms luces comprendidas entre 6 y 7.5 mts, de donde “h” expresa la altura o espesor total de la losa aligerada.

Según los requerimientos del proyecto en estudio, tiene una luz del lado menor de 4.20 m de donde se prefirió usar losas de 0.20 m y en los demás paños se estandarizo para tener un peralte uniforme y poder tener un mejor proceso constructivo.

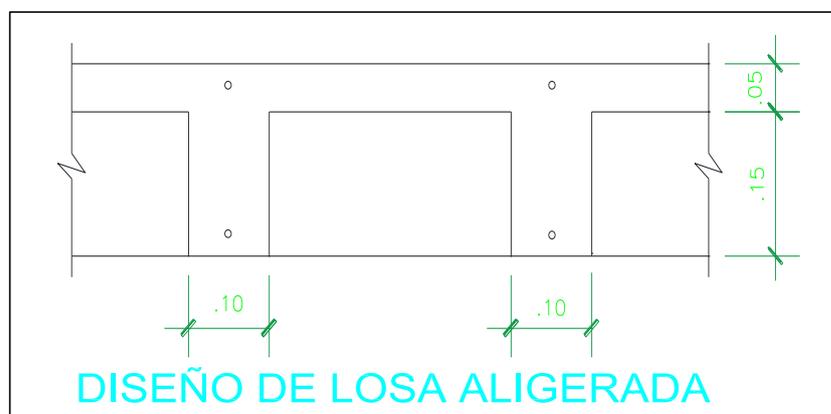


Figura 6. Diseño de Losa Aligerada

3.1.2.4. Predimensionamiento de Vigas

Las vigas se dimensionan generalmente considerando un peralte del orden de 1/10 a 1/12 de luz libre.

Vigas Principales:

$$\text{Luz libre} = 2.50 \text{ m}$$

$$H = \frac{2.50}{10} = 0.25 \text{ m} \Rightarrow H = 0.40$$

$$b = 0.25 \text{ m} \Rightarrow b = 0.30$$

3.1.3. Análisis sísmico - Parámetros (RNE E.030 Diseño Sismorresistente)

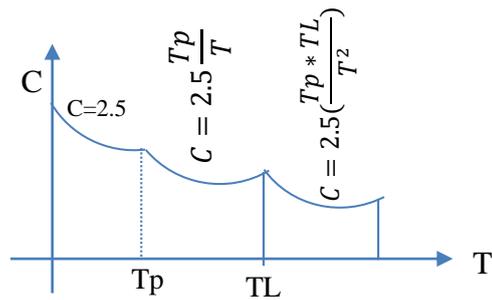
a) Zonificación:

El edificio en estudio se encuentra ubicado en el Distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad que se encuentra en la zona 4, su factor $Z=0.45$, como lo indica el ítem 2.1 del RNE E.030.

b) Condición geotécnica: “S”, “Tp”, “TL”

El perfil de suelo que le corresponde a nuestro estudio es el tipo S2 suelos blandos, que le asigna el valor de $S2=1.05$, $Tp = 0.6$ y $TL = 2.00$.

c) Factor de amplificación sísmica (C):



Dónde:

$$T_p = 1.05$$

H_n = altura total = 12

C_t = 60 muros de ductilidad limitada

$$T = \frac{h_n}{C_t} = \frac{12}{60} = 0.20 \text{ Seg}$$

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

$$0.20 < 1.05 \rightarrow (\text{OK}) \quad \leftrightarrow C = 2.5$$

Comprobamos la relación $C/R \geq 0.125$:

$$\frac{2.5}{4} = 0.625 \geq 0.125 \rightarrow (\text{Ok})$$

d) Categoría y factor de uso

La edificación en estudio pertenece a la categoría C denominada Edificaciones Comunes, es una vivienda multifamiliar, la cual tiene un valor de $U=1.0$.

e) Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R_o)

El proyecto pertenece a un sistema estructural de concreto armado (Muros de Ductilidad limitada), en dirección "X" y en dirección "Y" su coeficiente de reducción correspondiente es igual a 4.

f) Regularidad estructural

El proyecto es clasificado una estructura regular, porque no presenta irregularidades importantes, por lo que toman los valores $I_a = 1$ o $I_p = 1$.

g) Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R)

En el proyecto en las direcciones X-X e Y-Y su sistema de estructuración es de Muros de Ductilidad Limitada (MDL).

$$R = R_o * I_a * I_p$$

$$R = 4 * 1 * 1 = 4$$

3.1.4. Análisis Estático (RNE E.030 Diseño Sismorresistente):

a) Peso total de la edificación

La norma técnica E.030 2016, el peso (P) se calcula adicionando a la carga permanente y total de la edificación un % de la sobrecarga, para edificios de la categoría C, toma el 25% de la carga viva.

Cuadro 10. Peso Total de la Edificación de MDL

Nivel	Peso por nivel (KG)
1°	176 651.300
2°	173 876.700
3°	171 837.100
4°	166 750.300
5°	138 269.500
TOTAL	827 384.900

b) Periodo Fundamental de Vibración

Según norma E.030 nos indica para calcular el periodo fundamental de vibración para las direcciones “x-x” – “y-y”, con la siguiente formula:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

De donde: h_n : Altura total de la Edificación.

C_T : 60 muros de ductilidad limitada.

$$T = \frac{12}{60} = 0.20$$

c) Cálculo del Centro de Masas de la edificación

Para el cálculo del centro de masa de la edificación se determinó las distancias al centroide de cada muro en ambas direcciones, mediante las siguientes formulas se calculó las coordenadas de ubicación del centro de masas:

$$X_{cm} = \sum \frac{P_x}{P} \qquad Y_{cm} = \sum \frac{P_y}{P}$$

En los siguientes cuadros se detallan las características de los muros y las distancias en el eje “x” y en el eje “y”.

Cuadro 11. Datos del Centro de Masas dirección “X-X”

MURO	Centro	
	X - X	Y - Y
	Xg (m)	Yg (m)
M X 1	1.938	14.810
M X 2	8.138	14.810
M X 3	2.988	12.366
M X 4	7.013	12.366
M X 5	0.750	11.500
M X 6	9.250	11.500
M X 7	2.963	9.423
M X 8	7.038	9.423
M X 9	0.675	9.054
M X 10	9.329	9.054
M X 11	5.000	8.847

MURO	Centro	
	X - X	Y - Y
	Xg (m)	Yg (m)
M X 12	0.675	8.350
M X 13	9.329	8.348
M X 14	0.675	5.950
M X 15	2.700	6.329
M X 16	7.350	6.329
M X 17	9.329	5.950
M X 18	2.650	1.158
M X 19	5.000	1.250
M X 20	7.347	1.250
M X 21	1.450	0.000
M X 22	8.455	0.000

Cuadro 12. Datos del Centro de Masas dirección “Y-Y”

MURO	Centro	
	X - X	Y - Y
	Xg (m)	Yg (m)
M Y 1	0.000	12.000
M Y 2	2.300	11.375
M Y 3	5.000	9.363
M Y 4	7.635	11.375
M Y 5	9.934	12.000
M Y 6	1.235	9.875
M Y 7	8.700	9.875
M Y 8	1.300	7.575
M Y 9	8.700	7.575
M Y 10	0.000	4.200
M Y 11	3.025	4.875
M Y 12	6.900	4.875
M Y 13	3.100	1.838
M Y 14	5.070	2.530
M Y 15	6.900	1.838
M Y 16	9.925	4.200

Para obtener el cálculo de la carga total para sismo se multiplicó la carga muerta más la carga viva de la base del muro por la sobre carga que es 0.25, este cálculo será multiplicado por los pesos específicos del concreto (2 400 Kg/m³) y tarrajeo (1 800 Kg/m³), la altura libre (Hl) es 2.40 por la longitud y el espesor de cada muro según los cuadros 8,9, 11 y 12, obteniendo los resultados de centros de masas como se detalla en el cuadro 13.

Cuadro 13. Calculo del Centro de Masas de la Edificación

Nivel	$\sum P_i X_i$	$\sum P_i x$	$\sum P_i Y_i$	$\sum P_i y$	Xm	Ym
1°	582439.625	116446.272	4902978.160	744233.700	5.002	6.588
2°	448886.588	89745.216	3894001.182	591508.848	5.002	6.583
3°	326462.975	65269.248	2909351.076	442108.092	5.002	6.581
4°	204039.356	40793.280	1924700.964	292707.336	5.002	6.576
5°	102019.681	20396.640	940050.858	143306.580	5.002	6.560

d) Fuerza cortante en la base:

La fuerza cortante total en la base de la edificación se calculó con la siguiente formula y en las direcciones “X-X” – “Y-Y”.

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P$$

De donde:

Factor de zona (Z)=0.45

Factor de uso o importancia (U)=1.0

Coefficiente de Ampliación sísmica (C)=2.50

Factor de suelo (S)=1.05

Coefficiente de reducción sísmica (R)=4

Peso de la Edificación (P) = 827 384.900 Kg

Cuadro 14. Fuerza Cortante en la base de la Edificación

Dirección	C	R	C/R (>0,1)	Z	U	S	ZUSC/R	V
X - X	2.50	4.00	0.625	0.45	1.00	1.05	0.295	244337.100
Y - Y	2.50	4.00	0.625	0.45	1.00	1.05	0.295	244337.100

$$\rightarrow V=244337.100 \text{ Kg} \approx 244.337 \text{ tn}$$

La fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado, para cada dirección se considera el análisis.

$$V = 0.80 * 244.337 = 195.470 \text{ Tn}$$

Para hallar el esfuerzo cortante admisible (Va) se calculó con la siguiente formula:

$$V_a = 0.53\sqrt{f_c}$$

$$V_a = 0.53 * \sqrt{210} = 76.804 \text{ tn/m}^2$$

Para el cálculo del esfuerzo último (Vu), será igual a:

$$V_u = 0.85 * V_a$$

$$V_u = 0.85 * 76.804 = 65.283 \text{ tn/m}^2$$

En la figura 9 se muestra el esquema de MDL que está en concordancia con los cuadros 8 y 9 que muestra las características de los muros.

Determinación de la fuerza resistente, debe cumplir que la cortante admisible del sistema (V_{resist}) sea mayor a la cortante actuante (V):

Cuadro 15. Fuerza Resistente

Dirección X-X	$3.863*65.283=252.188$	>	244.337 tn	Cumple
Dirección Y-Y	$6.925*65.283=452.085$	>	244.337 tn	Cumple

En el cuadro 15, se puede observar que la fuerza cortante dinámica en ambas direcciones es superior al 80% V estático. Por lo tanto las fuerzas del análisis sísmico en el Etabs no se requieren.

e) Distribución de la Fuerza

Para calcular las fuerzas horizontales de cada nivel correspondiente a ambas direcciones, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\alpha_i = \frac{\rho_i * h_i}{\rho_i * h_i + \rho_i * h_i}$$

Las fuerzas horizontales F_x , F_y , son fuerzas de inercia aplicadas en cada nivel de la edificación y en ambas direcciones, y se calculan multiplicando el peso de cada piso por la altura de entrepiso, por la cortante basal (V_{xx}), (V_{yy}) y la fuerza del piso superior, los resultados se muestran en los cuadros 16 y 17.

DIRECCION X – X

Altura entrepiso h_{ei} (m) = 2.40

Cálculo de Fuerza en el piso superior "Fa"

Período de la estructura **T** = 0.20

Cortante basal **V_{xx}** = 244 337.10 **Fa** = 0.000

La fuerza del piso superior en la dirección X-X es $F_a=0.00$, porque el periodo de vibración de la estructura ($T=0.20$) no es superior a 0.7, eso quiere decir que la fuerza cortante total no se concentra en la parte superior de la estructura.

Cuadro 16. Distribución de la fuerza en la dirección “x-x”

Nivel	Peso Pi (Kg)	Pi Hei (Kg*m)	Fuerza Fi (Kg)	Fuerza Piso Superior (Kg)	Cortante Vi (Kg)
1°	176 651.300	423 963.120	52 167.300		244 337.000
2°	173 876.700	417 304.080	51 348.000		192 169.700
3°	171 837.100	412 409.040	50 745.600		140 821.700
4°	166 750.300	400 200.720	49 243.400		90 076.100
5°	138 269.500	331 846.800	40 832.700	0.000	40 832.700
		1 985 723.760	244 337.000		

DIRECCION Y – Y

Altura entrepiso he_i (m) = 2.40

Cálculo de Fuerza en el piso superior "Fa"

Período de la estructura $T = 0.20$

Cortante basal $V_{yy} = 244 337.10$ $F_a = 0.000$

La fuerza del piso superior en la dirección Y-Y es $F_a=0.00$, porque el periodo de vibración de la estructura ($T=0.20$) no es superior a 0.7, eso quiere decir que la fuerza cortante total no se concentra en la parte superior de la estructura.

Cuadro 17. Distribución de la fuerza en la dirección “y-y”

Nivel	Peso Pi (Kg)	Pi Hei (Kg*m)	Fuerza Fi (Kg)	Fuerza Piso Superior (Kg)	Cortante Vi (Kg)
1°	176 651.300	423 963.120	52 167.300		244 337.000
2°	173 876.700	417 304.080	51 348.000		192 169.700
3°	171 837.100	412 409.040	50 745.600		140 821.700
4°	166 750.300	400 200.720	49 243.400		90 076.100
5°	138 269.500	331 846.800	40 832.700	0.000	40 832.700
		1 919 204.880	244 337.000		

f) Centro de Rigidez

El centro de rigidez es llamado al punto central de los elementos verticales de un sistema que resiste fuerzas laterales, se calculó con las siguientes fórmulas:

$$K = \frac{E_m t}{4 * \left(\frac{h}{l}\right)^3 + 3 * \left(\frac{h}{l}\right)^3}$$

$$X_r = \sum K_{xi} * Y_i / K_{xi}$$

$$Y_r = \sum K_{yi} * X_i / K_{yi}$$

El punto central de los elementos verticales de los muros de cada piso en ambas direcciones nos indica donde se genera la masa y donde se ubicaría la fuerza sísmica producida por un sismo. En el cuadro 18 se muestran los cálculos obtenidos.

Cuadro 18. Centro de Rigidez

Nivel	$\sum k_{Yi} X_i$	$\sum k_{Yi}$	$\sum K_{Xi} Y_i$	$\sum K_{Xi}$	X_r (m)	Y_r (m)
1°	9 462 518 389	1902643555	5179984827	594957965	4.973	8.706
2°	10819431 565	2175363088	6223158336	719617974	4.974	8.648
3°	10819431565	2175363088	6223158336	719617974	4.974	8.648
4°	10819431565	2175363088	5185965251	599681642	4.974	8.648
5°	9016192971	1812802573	5185965251	599681642	4.974	8.648

g) Momento Torsor (Mt)

El momento torsor generado en cada piso se calculó con la siguiente fórmula $M_t = E_{total} * F_{ixx} \text{ de } c/\text{piso}$, y para la distribución de los efectos de torsión en cada piso, se utilizó la fórmula siguiente:

$$F_i = \frac{M_t * d_i * K_i}{\sum d_i^2 * K_i}$$

De donde:

Mt = Momento Torsor

Ki = Rigidez de cada piso

di = Distancia perpendicular de cada pórtico al centro de rigidez.

Para el cálculo de Mtx1 y Mtx2, se calculó multiplicando la fuerza (Fixx) de cada nivel por la longitud (Ly, Lx) y por la excentricidad. La excentricidad se obtuvo de la diferencia entre el centro de masas y el centro de rigidez. Los resultados del cálculo se muestran en el cuadro 19.

Las longitudes representativas de ambas direcciones (Ly) y de cada nivel son:

Longitud Ly (m):

1 : Ly = 6.000

2 : Ly = 2.150

3 : Ly = 6.180

4 : Ly = 2.150

5 : Ly = 6.000

Longitud Lx (m):

1 : Lx = 3.730

2 : Lx = 3.730

3 : Lx = 1.480

4 : Lx = 1.350

5 : Lx = 1.35

Cuadro 19. Momento Torsor de la dirección "x-x"

Dirección x - x						
Nivel	C. Masas Ym (m)	C. Rigidez Yr (m)	Fuerza Fixx (Kg)	Excentricidad ey (m)	Momentos torsores RNC	
					Mtx1 (Kg-m)	Mtx2 (Kg-m)
1�	6.588	8.706	52 167.3	-2.118	-79 189.960	-141 790.720
2�	6.583	8.648	51 348.0	-2.065	-94 993.800	-117 073.440
3�	6.581	8.648	50 745.6	-2.067	-73 530.370	-136 251.940
4�	6.576	8.648	49 243.4	-2.072	-91 444.990	-112 619.660
5�	6.560	8.648	40 832.7	-2.088	-60 759.060	-109 758.300

Cuadro 20. Momento Torsor de la dirección “y-y”

Dirección y - y						
Nivel	C. Masas Xm (m)	C. Rigidez Xr (m)	Fuerza Fiyy (Kg)	Excentricidad ex (m)	Momentos torsores RNC	
					Mtx1 (Kg-m)	Mtx2 (Kg-m)
1°	5.002	4.973	52 167.300	0.029	20 971.250	-17 945.550
2°	5.002	4.974	51 348.000	0.028	20 590.550	-17 715.060
3°	5.002	4.974	50 745.600	0.028	8 931.230	-6 089.470
4°	5.002	4.974	49 243.400	0.028	8 026.670	-5 269.040
5°	5.002	4.974	40 832.700	0.028	6 655.730	-4 369.100

h) Control de desplazamientos laterales

Los desplazamientos laterales se obtuvo multiplicando 0.75 veces el valor de la reducción de la fuerza sísmica (R), lo establece la norma E.030 Sismorresistente.

Se tomó en cuenta la cortante de cada nivel calculado en los cuadros 16 y 17, el total de rigidez lateral de entrepiso en ambas direcciones. Para calcular el desplazamiento relativo delta, la altura de entrepiso (h_{ei}) debe ser mayor a cero, si cumple esta relación dividimos la cortante de cada nivel y de ambas direcciones entre la rigidez de entrepiso; para el cálculo de la corrección $R*\Delta$ multiplicamos el desplazamiento relativo delta por la reducción de la fuerza sísmica (R) que tiene como factor a 4. El desplazamiento relativo de entrepiso permitido por la norma para MDL no deberá exceder de 0.005, por lo tanto cumple la verificación en cada nivel y en ambas direcciones.

Altura entrepiso h_{ei} (m) = 2.40

Cuadro 21. Control de Desplazamientos en la dirección “x-x”

Dirección x - x						
Nivel	Cortante V (Kg)	Rigidez Entrepiso K (Kg/m)	Desplazamiento Relativo Delta (m)	Corrección R*Delta (m)	Relación R*Delta/h_{ei}	Verificación CUMPLE
1°	244 337.000	594 957,965	0.00041	0.00164	0.00068	SI
2°	192 169.700	719 617,974	0.00027	0.00108	0.00045	SI
3°	140 821.700	719 617,974	0.00020	0.0008	0.00033	SI
4°	90 076.100	599 681,642	0.00015	0.0006	0.00025	SI
5°	40,832.700	599 681,642	0.00007	0.00028	0.00012	SI
					0.00183	

Del cuadro anterior se obtiene:

Deriva máxima 2° piso (X-X) = 0.00068 < 0.005 **(Cumple)**

Cuadro 22. Control de Desplazamientos en la dirección “y-y”

Dirección y - y						
Nivel	Cortante V (Kg)	Rigidez Entrepiso K (Kg/m)	Desplazamiento Relativo Delta (m)	Corrección R*Delta (m)	Relación R*Delta/hei	Verificación CUMPLE
1°	244 337.000	1 902 643 555	0.00013	0.00052	0.00022	SI
2°	192 169.700	2 175 363 088	0.00009	0.00036	0.00015	SI
3°	140 821.700	2 175 363 088	0.00006	0.00024	0.00010	SI
4°	90 076.100	2 175 363 088	0.00004	0.00016	0.00007	SI
5°	40 832.700	1 812 802 573	0.00002	0.00008	0.00003	SI
					0.00057	

Del cuadro anterior se obtiene:

Deriva máxima 1° Piso (Y-Y) = 0.00022 < 0.005 **(Cumple)**

i) Junta de separación sísmica

Toda edificación debe estar separada de otras construcciones vecinas, desde el nivel del terreno natural, una distancia mínima (S) para evitar contacto durante movimiento sísmico. Según RNE. 030 - 2016, se calculó con las siguientes fórmulas:

La distancia no debe ser menor a 2/3 de la suma de los desplazamientos máximos ni menor que: $S = 0.006 * h \geq 0.03$

$$S = 3 + 0.0004 * (12 * 100 - 500)$$

$$S = 3.280 > 0.03 \quad \text{(Cumple)}$$

De donde: s y h en centímetros

$$h = 12 \text{ m} = 1200 \text{ cm}$$

En el cuadro 23 se muestra los valores que define a la junta de separación sísmica.

Cuadro 23. Juntas de separación sísmica en ambas direcciones

Dirección	Desplazamiento Máximo (cm)	2/3 Desplazamiento Máximo (cm)	S/2 (cm)	Junta Sísmica (cm)
X - X	0.183	0.100	1.600	1.600
Y - Y	0.057	0.000	1.600	1.600

j) Control de giros en planta

La norma E.030 nos menciona que si el desplazamiento promedio de cualquier nivel es mayor al 50% del desplazamiento máximo permitido de acuerdo a los límites de deriva de una edificación de muros de ductilidad limitada (0.005), en los cuadros 24 y 25 se muestran los resultados, en donde indican que no hay necesidad de una verificación por torsión.

Cuadro 24. Control de giros en planta en la dirección “x-x”

Dirección x - x					
Nivel	Desplazamiento Relativo Delta (m)	Centro masas Xm (m)	Desplazamiento rela. centro masas (m)	1.75Despl CM (m)	Verificación CUMPLE
1	0.00164	5.002	0.002	0.00300	SI
2	0.00108	5.002	0.001	0.00200	SI
3	0.00080	5.002	0.001	0.00100	SI
4	0.00060	5.002	0.001	0.00100	SI
5	0.00028	5.002	0.001	0.00200	SI

Cuadro 25. Control de giros en planta en la dirección “y-y”

Dirección y - y					
Nivel	Desplazamiento Relativo Delta (m)	Centro masas Ym(m)	Desplazamiento rela. centro masas (m)	1.75Despl CM (m)	Verificación CUMPLE
1	0.00052	6.588	0.001	0.00100	SI
2	0.00036	6.583	0.005	0.00800	SI
3	0.00024	6.581	0.002	0.00300	SI
4	0.00016	6.576	0.005	0.00800	SI
5	0.00008	6.560	0.016	0.02800	SI

3.1.5. Análisis Dinámico de Muros de Ductilidad Limitada con el Etabs

3.1.5.1. Generalidades

Según norma E.030 establece que cualquier estructura puede ser diseñada utilizando el análisis dinámico modal espectral o el análisis tiempo – historia, por tratarse de una edificación de categoría común se empleó el procedimiento de combinación espectral.

El modelamiento del presente proyecto para la dirección “X-X” y para la dirección “Y-Y” los muros considerados de ductilidad limitada del 1° al 3° piso tienen un espesor de 12 cm y en los pisos 4° y 5° su espesor es de 0.10, con losas aligeradas de 20 cm. Para realizar el modelamiento hicimos uso del programa Etabs 2016, a continuación se muestra el modelo del proyecto.

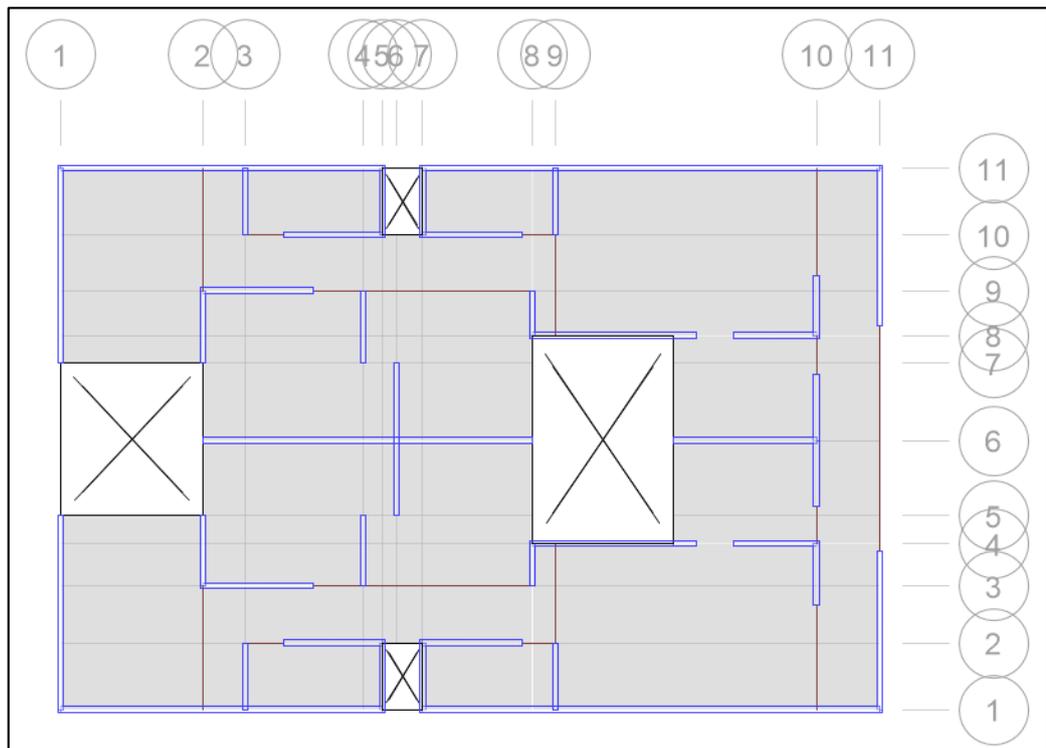


Figura 7. Vista en Planta del Sistema de Muros de Ductilidad Limitada

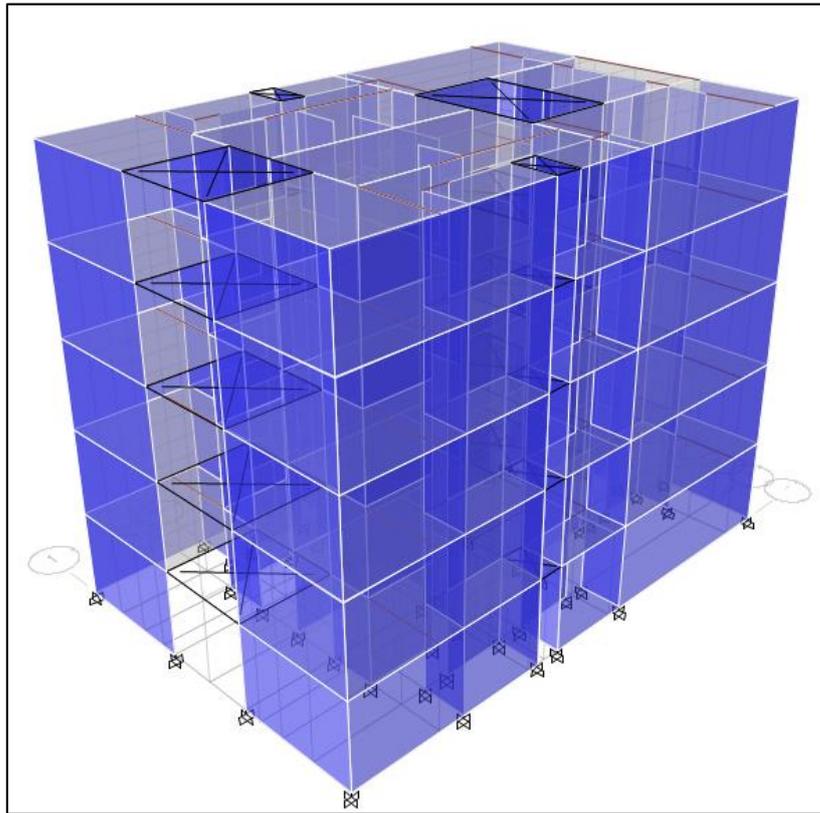


Figura 8. Vista 3D del Sistema de Muros de Ductilidad Limitada

En las siguientes figuras se muestra algunos de los procedimientos que se realizó en el programa Etabs para obtener los resultados que se muestran más adelante.

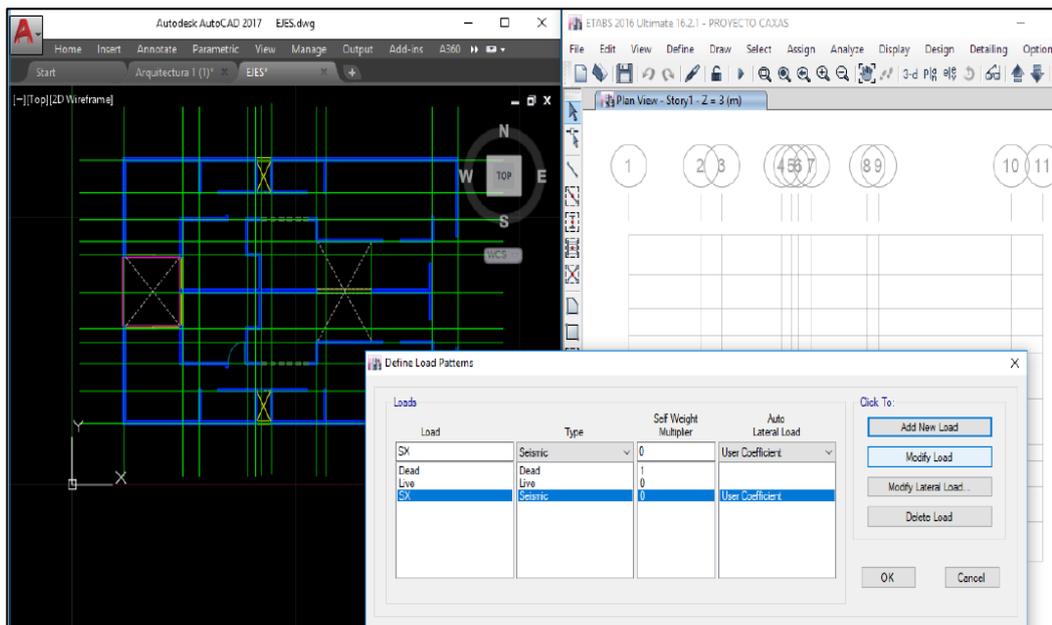


Figura 9. Importando del AutoCAD al Etabs, definiendo las cargas estáticas

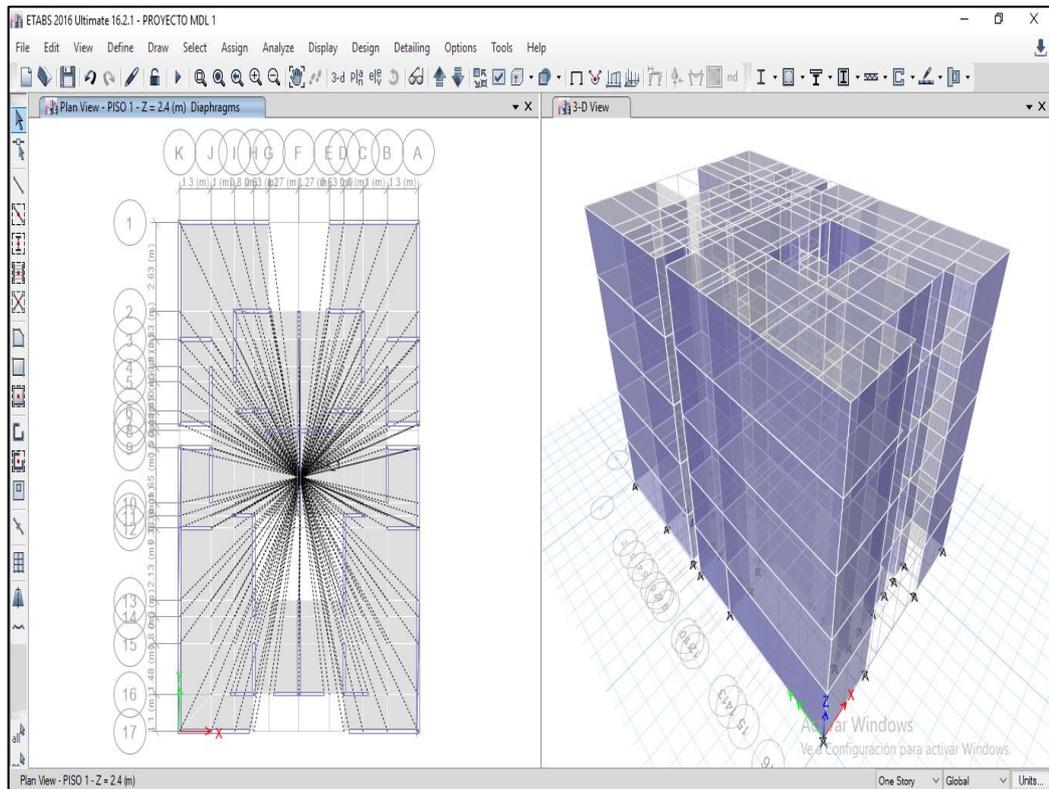


Figura 10. Definición y asignación de diafragmas para las losas de los 5 pisos

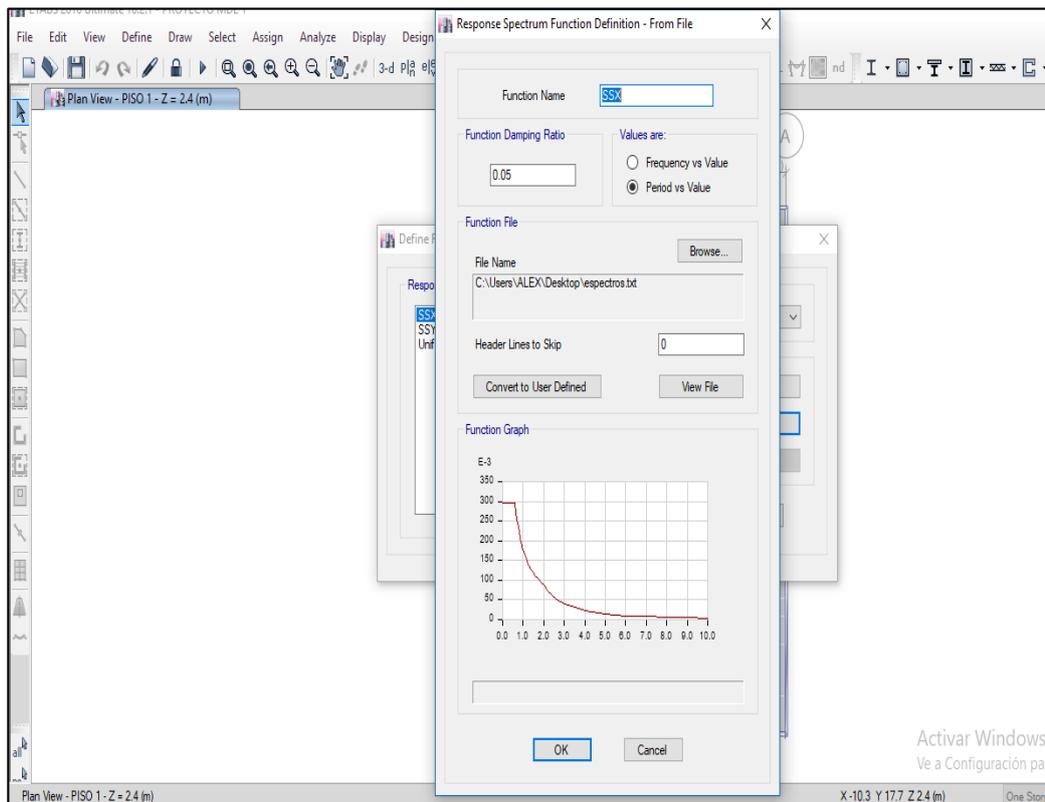


Figura 11. Definición del sistema de cargas dinámicas

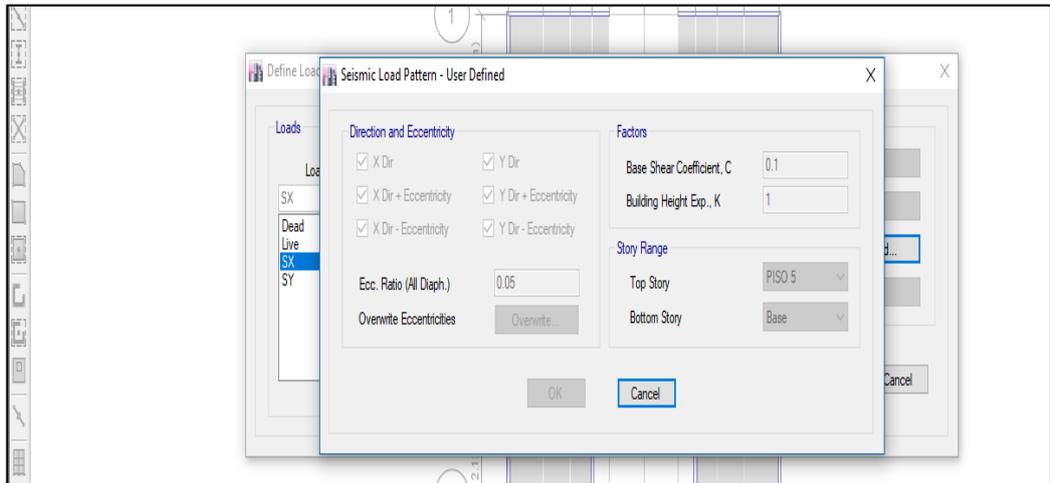


Figura 12. Coeficiente basal para el análisis estático

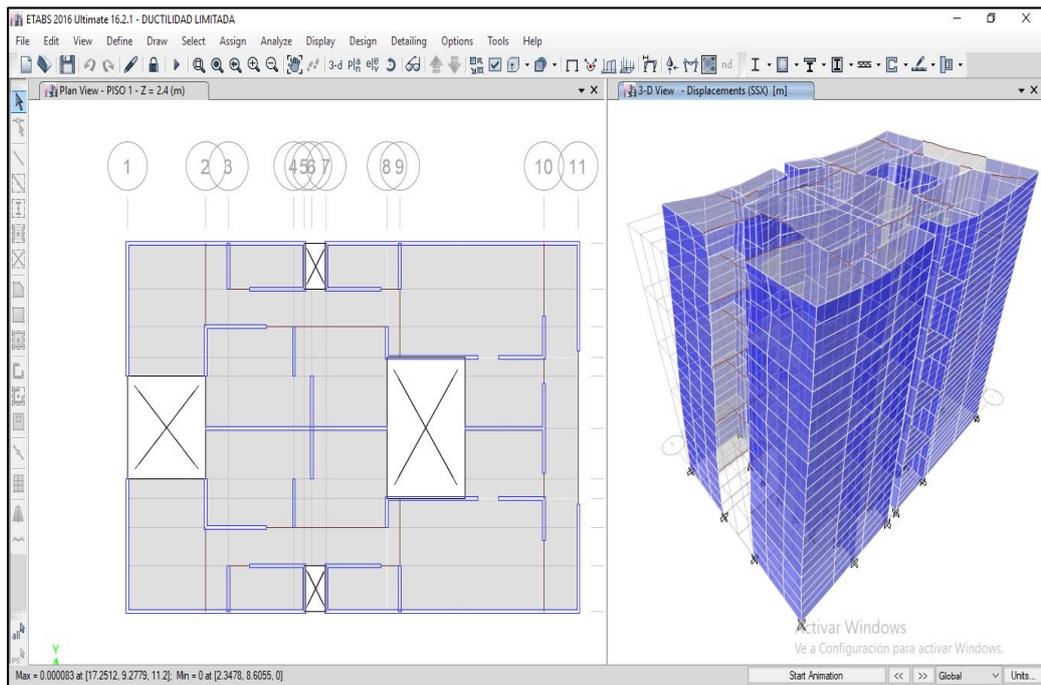


Figura 13. Deformación debido al sismo en la dirección X (SSX)

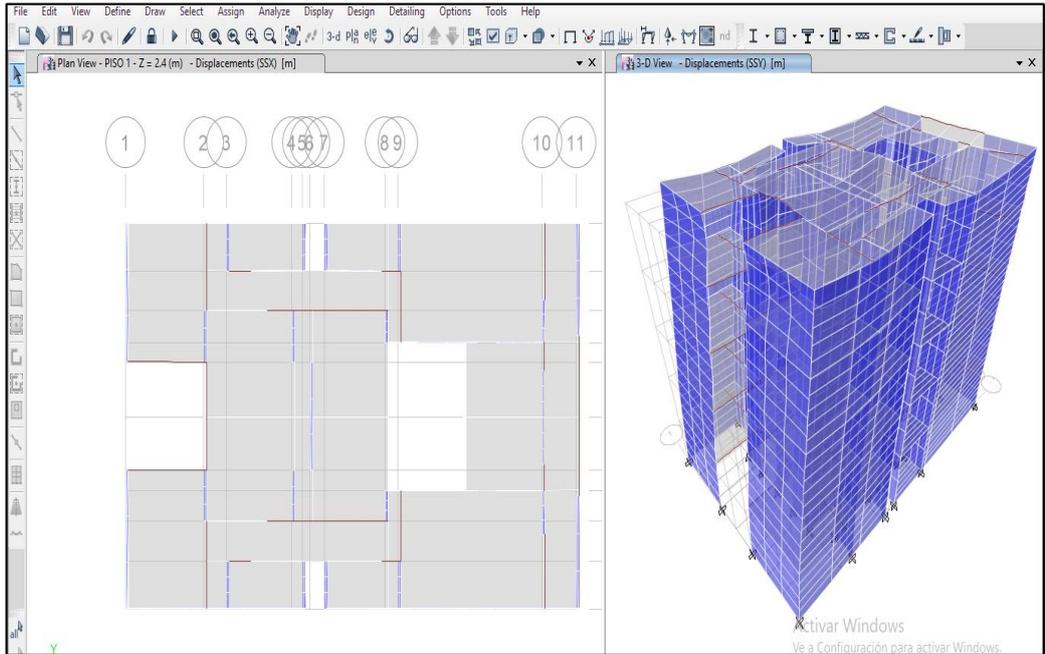


Figura 14. Deformación debido al sismo en la dirección Y (SSY)

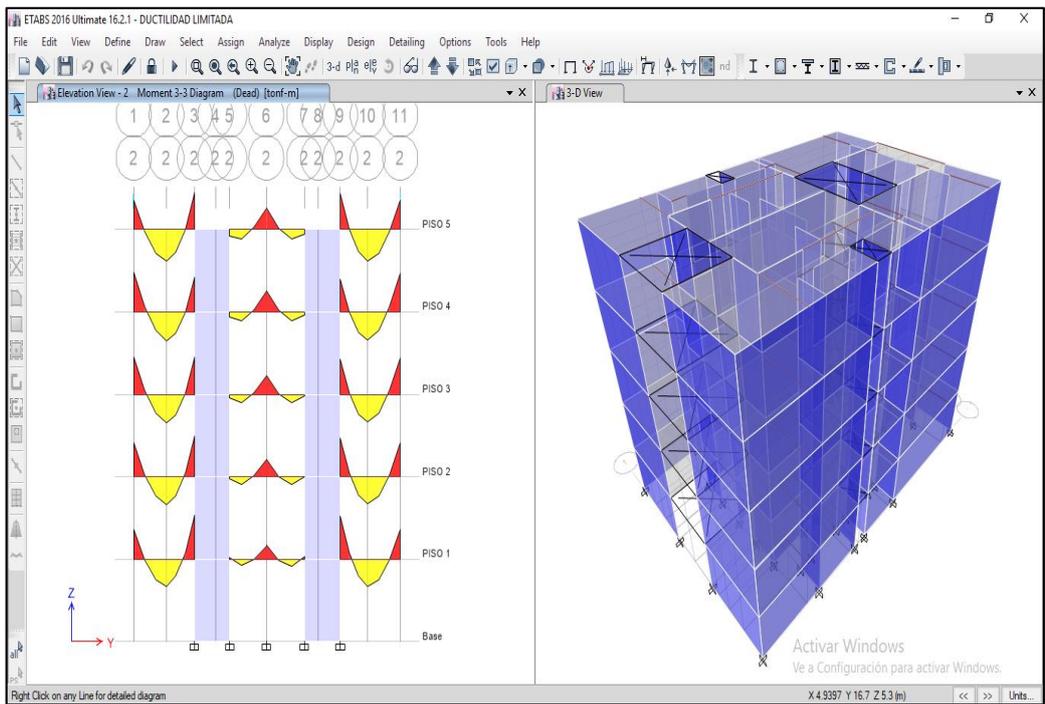


Figura 15. Diagrama de Momentos debido a la carga muerta.

3.1.5.2. Procedimiento con el programa Etabs

a) Definición de propiedades del material

Cuadro 26. Propiedades del material

Propiedades	
Resistencia a la compresión del concreto	$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
Módulo de Elasticidad	$E_c = 217\,370.651 \text{ Kg/cm}^2$
Módulo de Poisson	$\mu = 0.20$
Peso específico del concreto	$\gamma = 2400 \text{ Kg/m}^3$

Tipo de material: Isotrópico

Combinaciones de Carga:

Combo1: 1.40 CM + 1.70 CV

Combo2: 1.25 CM + 1.25 CV + SSX

Combo3: 1.25 CM + 1.25 CV – SSX

Combo4: 1.25 CM + 1.25 CV + SSY

Combo5: 1.25 CM + 1.25 CV – SSY

Combo6: 0.90 CM + SSX

Combo7: 0.90 CM – SSX

Combo8: 0.90 CM + SSY

Combo9: 0.90 CM – SSY

Envolvente = Combo1 + Combo2 + Combo3 + Combo4 +
Combo5 + Combo6 + Combo7 + Combo8 + Combo9.

b) Aceleración espectral (S_a)

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizara u espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

De donde:

Factor de zona (Z): $Z = 0.45$

Factor de uso (U): $U = 1.00$

Factor de amplificación sísmica (C): $C = 2.5$

Factor de suelo (S): $S = 1.05$

Coefficiente de Reducción de Fuerza Sísmica (R): $R = 4$

Aceleración de la gravedad $g = 9.81 \text{ m/seg}^2$

Con los parámetros sísmicos mencionados anteriormente tenemos el espectro de pseudo aceleraciones.

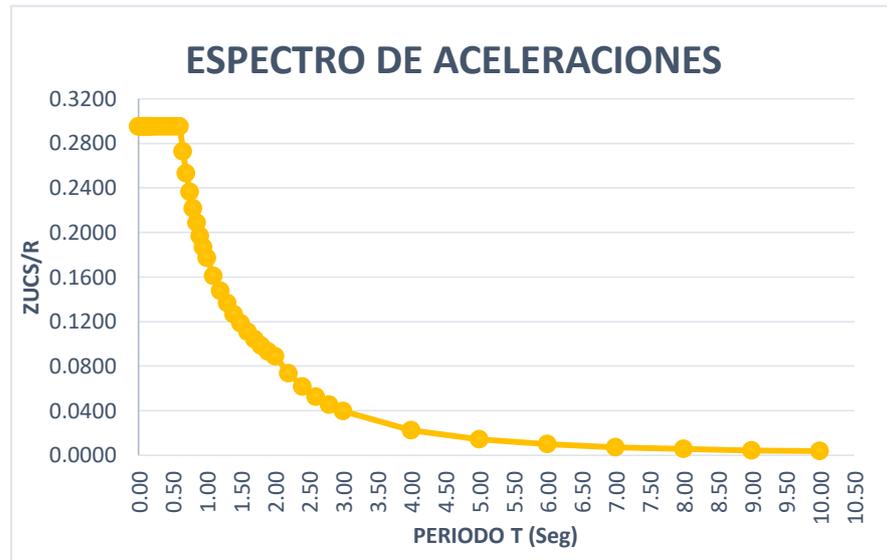


Figura 16. Espectro de Sismo de Diseño (Sa/g)

Para obtener el diagrama de espectro de aceleraciones de la figura 18, se utilizó los datos del cuadro siguiente:

Cuadro 27. Datos del Espectro de Sismo de Diseño (Sa/g)

C	T (s)	Sa/g
2.50	0.00	0.2953
2.50	0.02	0.2953
2.50	0.04	0.2953
2.50	0.06	0.2953
2.50	0.08	0.2953
2.50	0.10	0.2953
2.50	0.12	0.2953
2.50	0.14	0.2953
2.50	0.16	0.2953
2.50	0.18	0.2953
2.50	0.20	0.2953
2.50	0.25	0.2953
2.50	0.30	0.2953
2.50	0.35	0.2953
2.50	0.40	0.2953
2.50	0.45	0.2953
2.50	0.50	0.2953
2.50	0.55	0.2953
2.50	0.60	0.2953
2.31	0.65	0.2726
2.14	0.70	0.2531
2.00	0.75	0.2363
1.88	0.80	0.2215
1.76	0.85	0.2085

1.67	0.90	0.1969
1.58	0.95	0.1865
1.50	1.00	0.1772
1.36	1.10	0.1611
1.25	1.20	0.1477
1.15	1.30	0.1363
1.07	1.40	0.1266
1.00	1.50	0.1181
0.94	1.60	0.1107
0.88	1.70	0.1042
0.83	1.80	0.0984
0.79	1.90	0.0933
0.75	2.00	0.0886
0.62	2.20	0.0732
0.52	2.40	0.0615
0.44	2.60	0.0524
0.38	2.80	0.0452
0.33	3.00	0.0394
0.19	4.00	0.0221
0.12	5.00	0.0142
0.08	6.00	0.0098
0.06	7.00	0.0072
0.05	8.00	0.0055
0.04	9.00	0.0044
0.03	10.00	0.0035

c) Fuerza cortante en la base

La norma E0.30 nos menciona que para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, para estructuras regulares la fuerza cortante no deberá ser menor a 80%.

$$V_{dinamico} \geq 80\% V_{estatico}$$

Entonces tenemos:

Cuadro 28. Fuerzas Basales

DIRECCIÓN	V Estático	V Dinámico	80 % V Estático	Verificación
X-X	118.450	101.850	94.760	Cumple
Y-Y	130.720	115.650	104.576	Cumple

d) Efectos de torsión

Según norma E.030 nos menciona que se debe considerar una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 5% veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a las direcciones de análisis. En el programa Etabs se ingresó una excentricidad accidental del 5 %, como se muestra en las siguientes figuras.

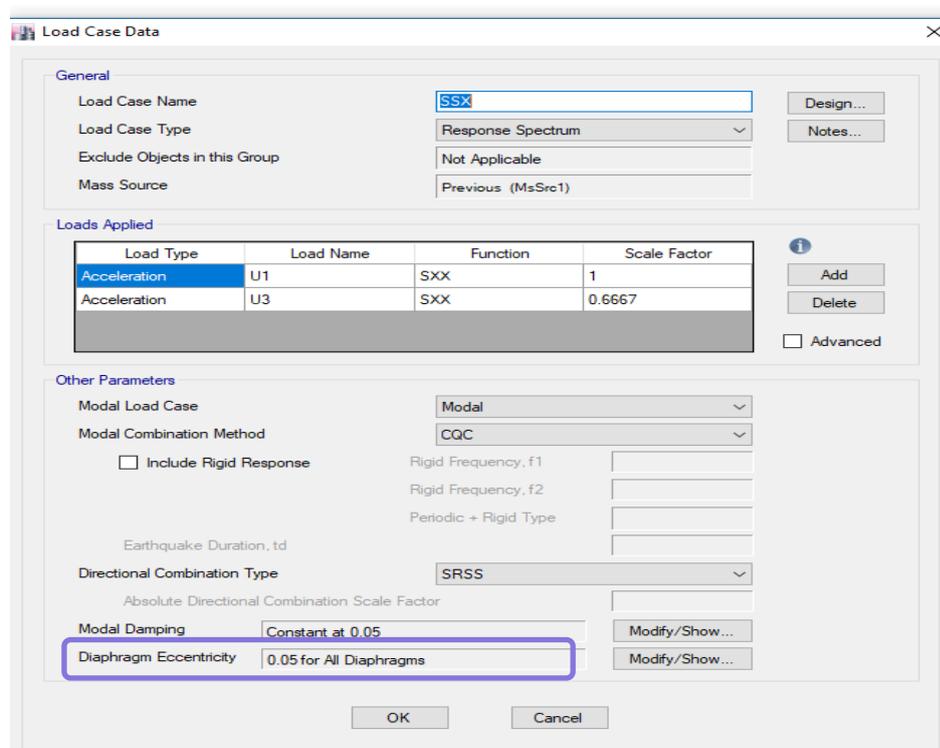


Figura 17. Ventana de datos de los casos de carga

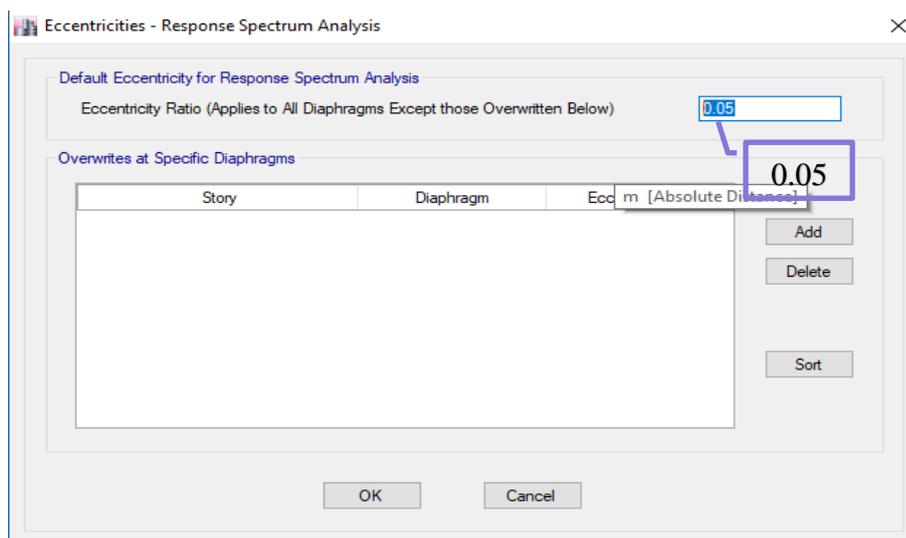


Figura 18. Excentricidad accidental del 5%

e) Verificación de las distorsiones

Con el programa se obtuvo el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, la norma E0.30 nos indica que la deriva para edificios de muros de ductilidad limitada es de 0.005; para una edificación regular los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando $0.75 \cdot R$ los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas, obtenemos el siguiente resultado:

Cuadro 29. Distorsiones de entrepiso de la Edificación

DISTORSIONES REALES						
PISO	Combinaciones de carga	Dirección	Deriva	Deriva X ($0.75R \times \text{DriftX}$)	Deriva Y ($0.75R \times \text{DriftY}$)	Límite Di/hei
PISO 5	SSX Max	X	0.000007	0.000021		0.005
PISO 5	SSY Max	Y	0.000007		0.000021	0.005
PISO 4	SSX Max	X	0.000007	0.000021		0.005
PISO 4	SSY Max	Y	0.000007		0.000021	0.005
PISO 3	SSX Max	X	0.000008	0.000024		0.005
PISO 3	SSY Max	Y	0.000008		0.000024	0.005
PISO 2	SSX Max	X	0.000011	0.000033		0.005
PISO 2	SSY Max	Y	0.000011		0.000033	0.005
PISO 1	SSX Max	X	0.000005	0.000015		0.005
PISO 1	SSY Max	Y	0.000005		0.000015	0.005

Del cuadro 29 se observa que las distorsiones cumplen con lo indicado en la norma E0.30 – 2016. Se obtiene:

Deriva máxima 2° piso (X-X) = 0.00033 < 0.005 (Cumple)

Deriva máxima 2° piso (Y-Y) = 0.00033 < 0.005 (Cumple)

f) Periodo fundamental de la estructura

En el cuadro 30 nos muestra los periodos y formas de modo de la edificación, en la dirección X en el modo 1 el periodo es de 0.180 segundos y en la dirección Y en el modo 2 es de 0.085 segundos; con estos periodos se calculó el coeficiente basal para las cargas del análisis estático.

Cuadro 30. Periodos de la edificación

PERIODOS DE LA EDIFICACIÓN					
Caso	Modo	Periodo Seg.	UX	UY	UZ
Modal	1	0.180	0	0.69740000	0
Modal	2	0.085	0.738800	0	0
Modal	3	0.077	0	0.000005833	0
Modal	4	0.043	0	0.190400000	0
Modal	5	0.039	0	0.000400000	0
Modal	6	0.036	0.000100	0	0
Modal	7	0.036	0.000100	0	0
Modal	8	0.036	0.000400	0.000003120	0
Modal	9	0.036	0.000100	0.000200000	0
Modal	10	0.036	0.0000348	0.000200000	0
Modal	11	0.035	0	0.000900000	0
Modal	12	0.034	0	0.000200000	0

g) Coeficiente basal para el análisis estático

Tenemos la siguiente formula de la norma E0.30:

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P$$

De donde:

Factor de zona (Z)=0.45

Factor de uso o importancia (U)=1.0

Coefficiente de Ampliación sísmica (C)=2.50

Factor de suelo (S)=1.05

Coefficiente de reducción sísmica (R)=4

Para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) usamos las siguientes fórmulas:

$$T < T_P \rightarrow C=2.5$$

$$T_P < T < T_L \rightarrow C=2.5 * \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L \rightarrow C=2.5 * \left(\frac{T_P * T_L}{T^2}\right)$$

De donde:

Dirección X: periodo = 0.180 seg.

Dirección Y: periodo = 0.085 seg.

$$T_P < T_x < T_L \Rightarrow 0.6 < 0.180 < 2.0$$

$$C_x = 2.5 * \left(\frac{0.6}{0.180}\right) = 8.33$$

$$T_P < T_y < T_L \Rightarrow 0.6 < 0.085 < 2.0$$

$$C_y = 2.5 * \left(\frac{0.6}{0.085}\right) = 17.65$$

Entonces, los coeficientes basales para cada dirección son:

$$\frac{Z * U * C_x * S}{R_x} = \frac{0.45 * 1.00 * 8.33 * 1.05}{4} = 0.984$$

$$\frac{Z * U * C_y * S}{R_x} = \frac{0.45 * 1.00 * 17.65 * 1.05}{4} = 2.085$$

h) Separación sísmica entre edificios

Toda edificación debe estar separada de otras construcciones vecinas, desde el nivel del terreno natural, una distancia mínima (S) para evitar contacto durante movimiento sísmico.

La distancia no debe ser menor a $2/3$ de la suma de los desplazamientos máximos ni menor que: $S = 0.006 * h \geq 0.03$, de donde h es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar S .

Para estructuras regulares la norma E0.30 – 2016 nos menciona que los desplazamientos laterales se deben multiplicar $0.75R$ los análisis obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

En los siguientes cuadros se muestran los desplazamientos máximos reales.

Cuadro 31. Desplazamientos en X de la Edificación

Desplazamientos en X				
Piso	Diagrama	Combinaciones de Carga	UX m	0.75*R*UX
Piso 5	D5	SSX Max	0.005169	0.015507
Piso 4	D4	SSX Max	0.004080	0.012240
Piso 3	D3	SSX Max	0.002889	0.008667
Piso 2	D2	SSX Max	0.001688	0.005064
Piso 1	D1	SSX Max	0.000621	0.001863
Base	D1	SSX Max	0.000000	0.000000

Cuadro 32. Desplazamientos en Y de la Edificación

Desplazamientos en Y				
Piso	Diagrama	Combinaciones de Carga	UY m	0.75*R*UX
Story5	D5	SSY Max	0.025993	0.077979
Story4	D4	SSY Max	0.019843	0.059529
Story3	D3	SSY Max	0.013443	0.040329
Story2	D2	SSY Max	0.007337	0.022011
Story1	D1	SSY Max	0.002393	0.007179
Base	D1	SSY Max	0.000000	0.000000

De los cuadros obtenemos un desplazamiento máximo en la dirección X de 1.55 cm y en la dirección Y es de 7.80 cm.

Distancia mínima considerando el desplazamiento máximo de la edificación en estudio:

$$\Delta_{Xmax.} = 1.55 \rightarrow \frac{2}{3} * \Delta_{Xmax.} = 1.033 \text{ cm}$$

$$\Delta_{Ymax.} = 7.80 \rightarrow \frac{2}{3} * \Delta_{Ymax.} = 5.200 \text{ cm}$$

Distancia mínima considerando la altura de la edificación en estudio, la altura (h) es igual a 12.

$$\frac{s}{2} = \frac{0.006 * h}{2} \geq 3.00 \text{ cm}$$

$$\frac{s}{2} = \frac{0.006 * (1200\text{cm})}{2} = 3.60 \text{ cm}$$

Entonces la junta sísmica reglamentaria que se debe retirar la edificación en estudio del límite de propiedad será:

$$S_X = 1.033 \text{ cm} < 3.60 \rightarrow S_X = 3.60 \text{ cm}$$

$$S_Y = 5.200 \text{ cm} \geq 3.60 \rightarrow S_Y = 5.20 \text{ cm}$$

3.1.5.3. Diseño de Platea de Cimentación para Muros de Ductilidad Limitada

El diseño de la placa de cimentación fue diseñada por el programa SAFE v16, para empezar con el modelo de la placa se determinó la geometría de la edificación ubicando los elementos de Muros de Ductilidad Limitada, e introducir las cargas vivas, cargas muertas y de sismo de la edificación en estudio. La placa es una losa apoyada sobre el suelo, en donde el terreno resiste esfuerzos de compresión.

Para el diseño y análisis se consideró el siguiente parámetro:

$$\text{presión admisible } (\sigma_{adm}) = 1.156\text{Kg/cm}^2$$

Este parámetro se tomó de un estudio de mecánica de suelos cercano a la zona, realizado para la construcción de una vivienda multifamiliar de 5 pisos. Dicho estudio lo realizó el “laboratorio geotécnico y ensayo de materiales S de Ingeniería E.I.R.L”.

En las figuras siguientes se muestran algunos pasos del diseño de la cimentación.

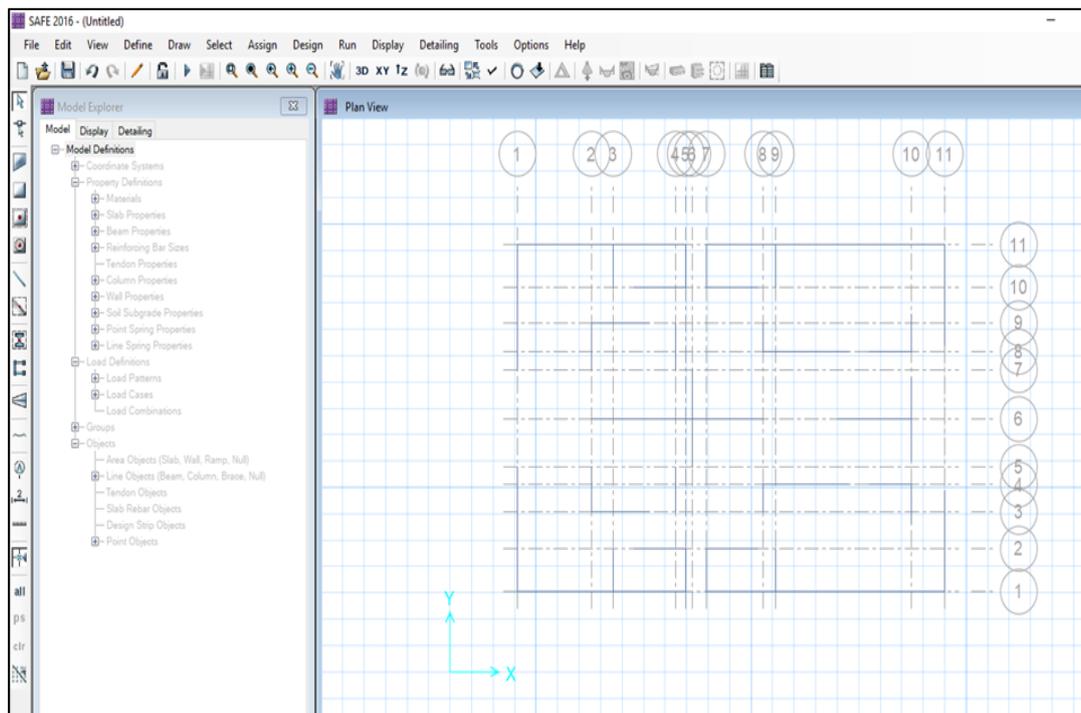


Figura 19. Exportación de la geometría del Etabs al Safe v16

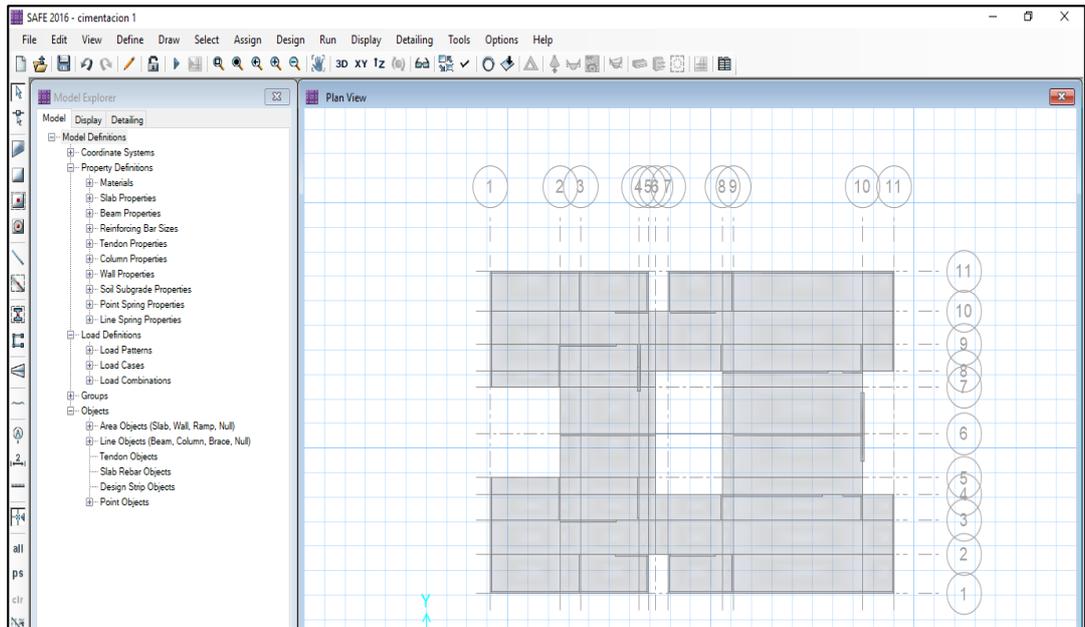


Figura 20. Colocación de los muros de ductilidad limitada

a) Esfuerzos Actuantes en el suelo

La capacidad portante es de 1.156 Kg/cm², la norma E.060 nos menciona que la presión del suelo puede incrementar en un 30%, de la cual la nueva presión admisible da un valor de 1.503 Kg/cm², en el programa Safe v.16 utilizaremos el coeficiente de balasto 3.10 Kg/cm² propuestos por Terzaghi.

Verificación de la presión admisible del suelo, debido a las cargas de gravedad y sismo; la platea de la edificación tiene un espesor de 25 cm.

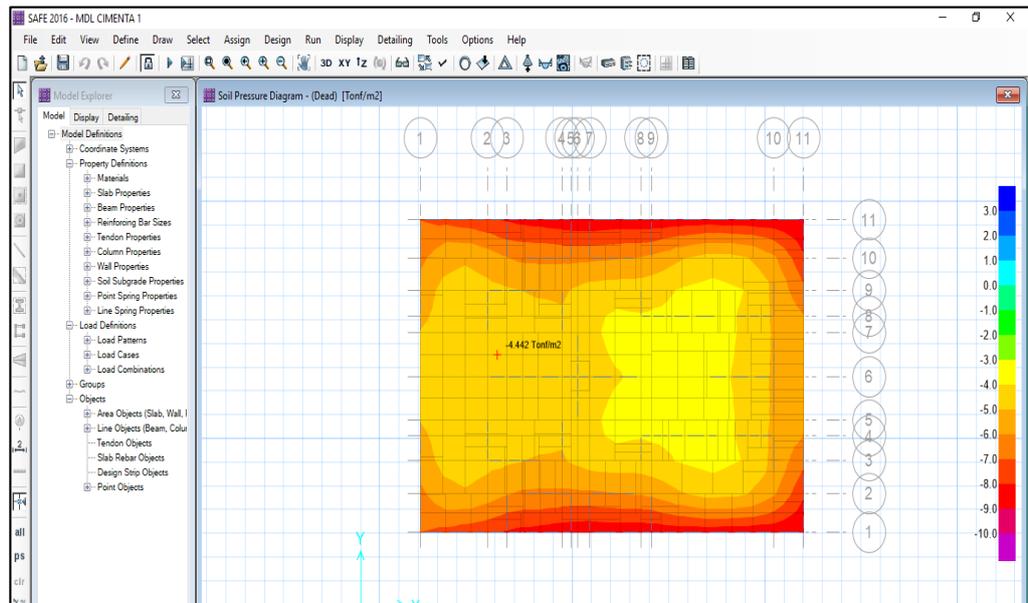


Figura 21. Presiones en el suelo

Para un mejor diseño, se asignó franjas de diseño en ambas direcciones; en la figura siguiente se muestra el acero en la parte superior e inferior de la platea de cimentación, de todo ello se eligió el mayor tanto en la parte superior e inferior.

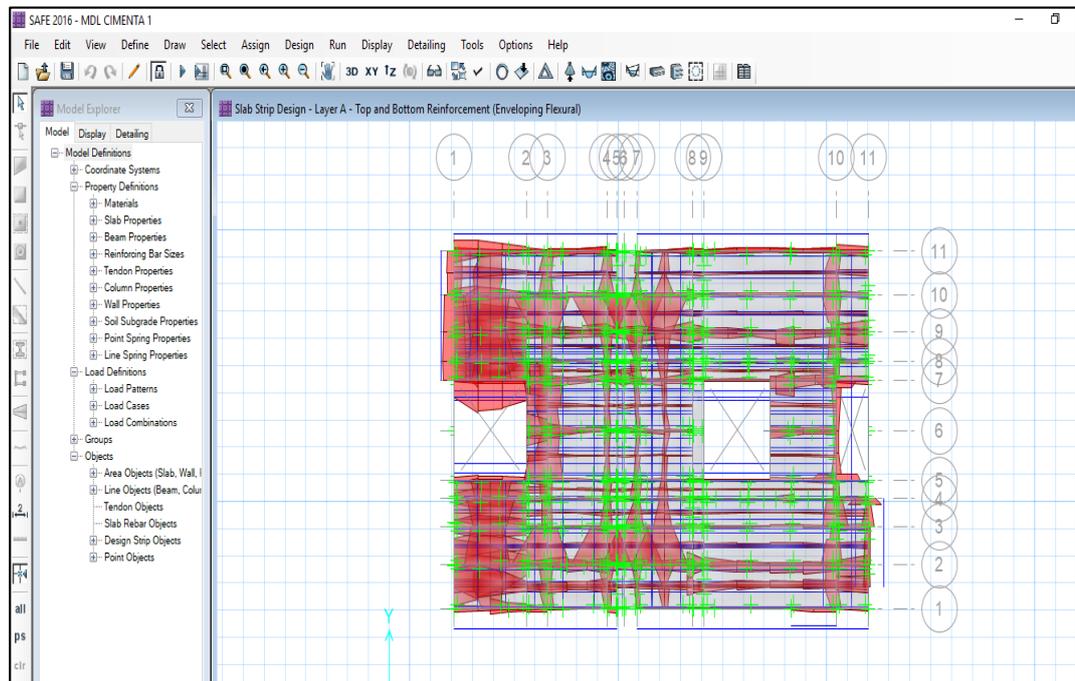


Figura 22. Acero superior e inferior de la platea de cimentación

El acero en función de las combinaciones de carga de la edificación en estudio, con las condiciones y sus verificaciones de diseño es: colocar malla en la parte superior e inferior de $\phi 1/2''@25\text{cm}$ en ambas direcciones.

3.2 Elementos estructurales: albañilería confinada

3.2.1 Predimensionamiento

3.2.1.1 Predimensionamiento de Losas Aligeradas:

Debido a que no predomina una dimensión sobre otra, se utilizara losas aligeradas, para el dimensionamiento de las losas serán dimensionadas considerando: $H = \frac{L_n}{25}$

Donde:

L_n : Longitud del lado menor

$$e = \frac{4}{25} = 0.16 \approx e = 0.20 \text{ Cm}$$

Se consideró una losa aligerada de espesor de 0.20 cm su peso propio según la noma E.020 Cargas nos indica que equivale a 300 Kgf/m².

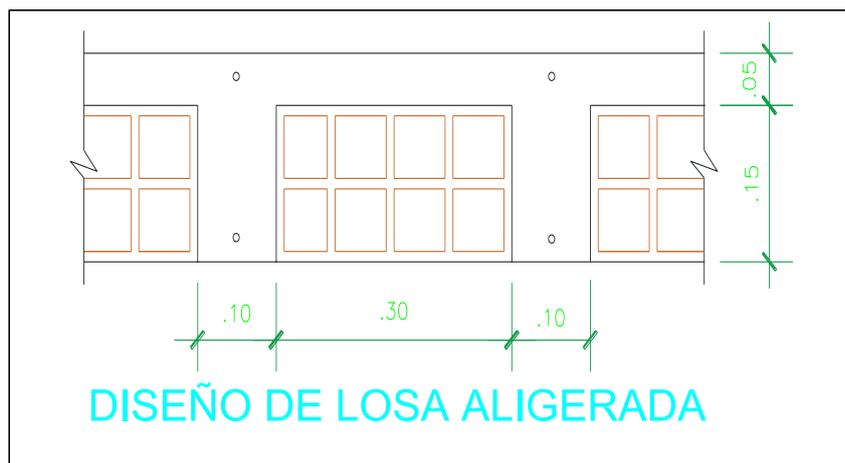


Figura 23. Diseño de Losa Aligerada – Albañilería confinada

3.2.1.2 Predimensionamiento de Vigas:

A continuación se presenta la distribución de las vigas.

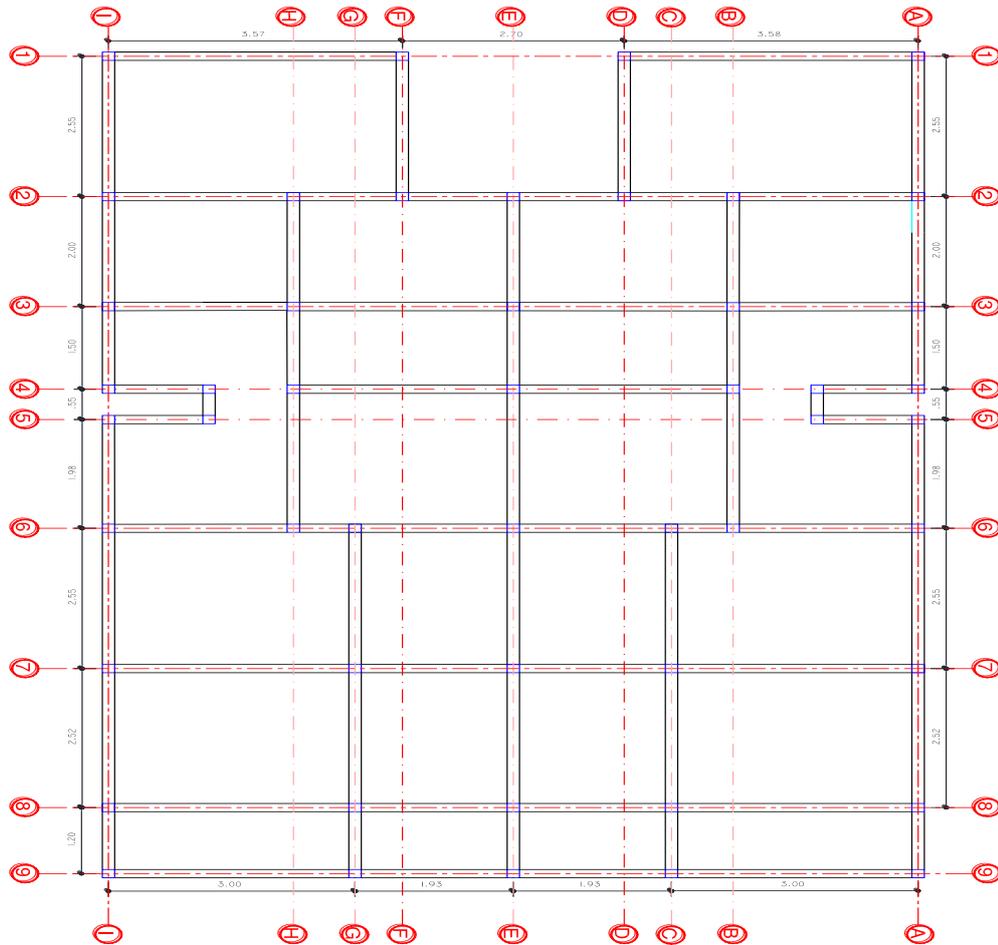


Figura 24. Distribución de Vigas – Albañilería Confinada

Las vigas se dimensionan generalmente considerando un peralte de orden de 1/10 a 1/12 de la luz libre. Se debe tener en cuenta que el ancho mínimo es de 0.25 m.

➤ Vigas Principales:

$$b = \frac{B}{20} \geq 0.25 \text{ m}$$

$$h = \frac{L_n}{\alpha}$$

De donde: B: Ancho tributario en metros = 2.46 m

L_n : luz libre (m) = 4.00 m

α : Factor según sobre carga = 200 Kg/m², $\alpha=12$

En la siguiente figura se muestra las vigas principales que cargan las losas.

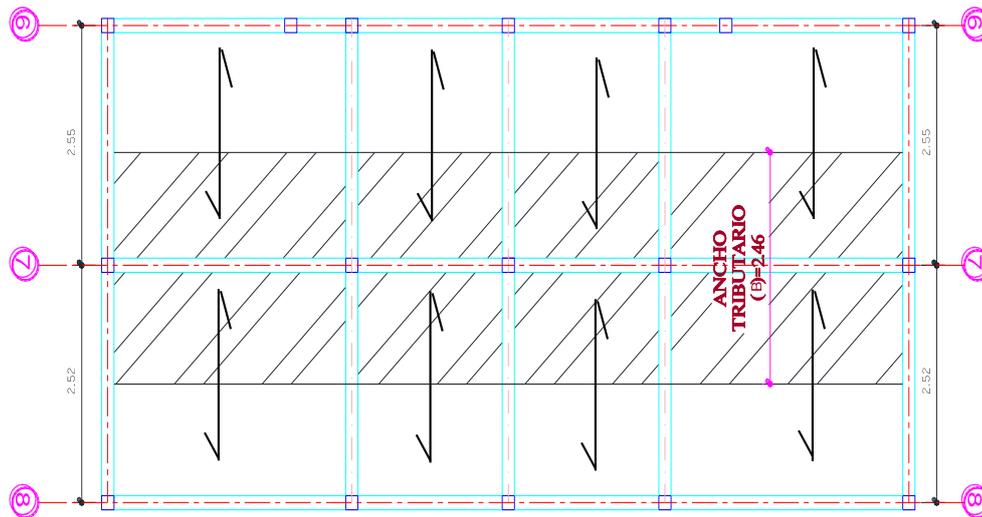


Figura 25. Ancho Tributario de las vigas Principales

$$h = \frac{4}{12} = 0.33 \rightarrow h = 0.35 \text{ m}$$

$$b = \frac{2.46}{20} = 0.15 \rightarrow b = 0.25 \text{ m}$$

En las vigas principales se utilizó las dimensiones de: $b * h = 0.30 * 0.40 \text{ m}$

➤ Vigas Secundarias:

El ancho mínimo en las vigas secundarias es de $b_{\min} = 0.25 \text{ m}$, con la siguiente fórmula se obtiene las dimensiones:

$$h = \frac{L_n}{14}$$

$$h = \frac{2.55}{14} = 0.18 \text{ m} \approx h = 0.30 \text{ m}$$

En las vigas secundarias se utilizó las dimensiones de: $b * h = 0.25 * 0.30 \text{ m}$.

Para mayor detalle del cálculo de las vigas, acero, estribos y refuerzo horizontal ver anexo 2.

3.2.1.3 Predimensionamiento de Columnas

Las columnas al ser sometidas a cargas axiales y momento flector tienen que ser dimensionadas considerando los dos efectos simultáneamente, evaluando cuál de las dos influye más en el predimensionamiento.

$$A_c = \frac{1.15 * P * n * A_t}{k * f'_c}$$

De donde:

A_t : Área tributaria

P : Peso según Categoría

$K= 0.35$ Esquinas y Laterales o Perimetral

$K= 0.45$ Centrales

$f'_c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

En las siguientes figuras se muestran las áreas tributarias de las columnas.

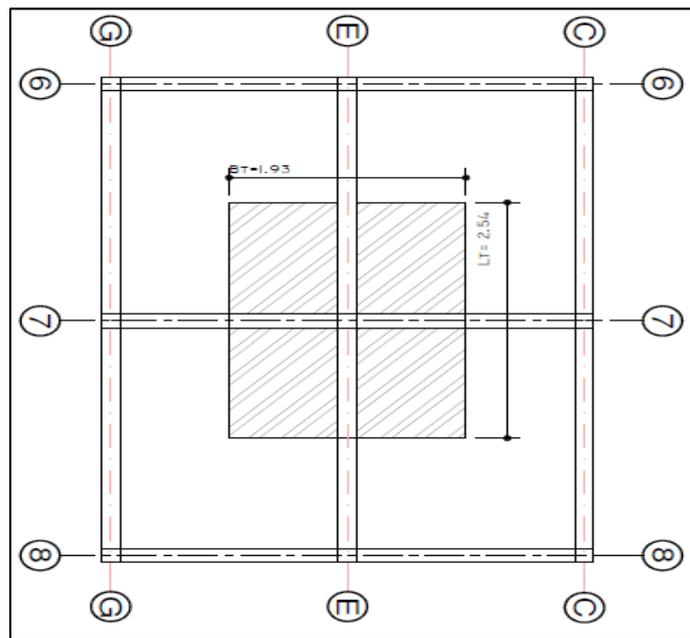


Figura 26. Área Tributaria de columna Central

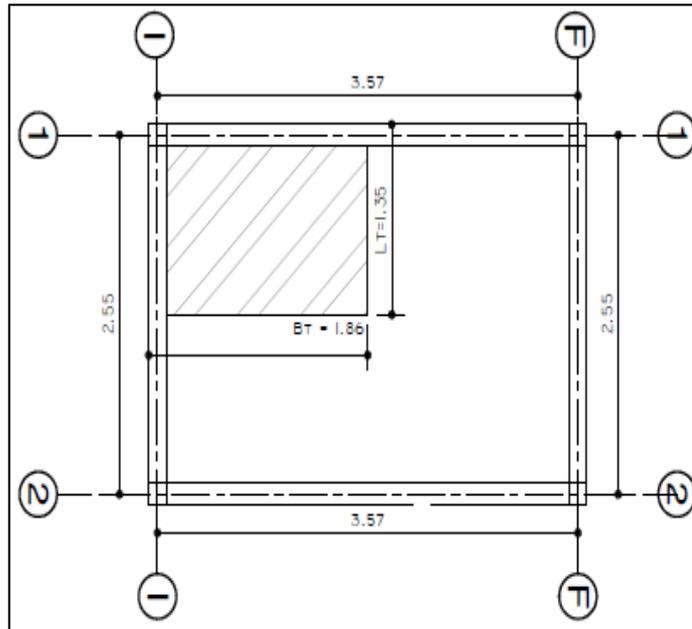


Figura 27. Área Tributaria de Columna Esquinera

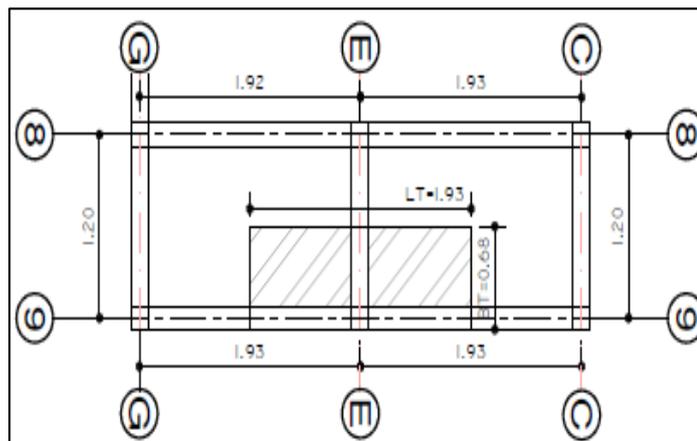


Figura 28. Área Tributaria de Columna Perimetral

Para mayor detalle del cálculo de las columnas, dimensiones, acero, estribos y refuerzo horizontal ver anexo 2.

3.2.1.4 Espesor Mínimo de Muros “t”:

El espesor efectivo mínimo para las zonas sísmicas 3 y 4 será:

$$t \geq \frac{h}{20} = \frac{2.40}{20} = 0.12$$

Se utilizará muros de soga de espesor efectivo de 0.13 m (0.15m tarrajeados) y de cabeza de 0.23 m (0.25 tarrajeados).

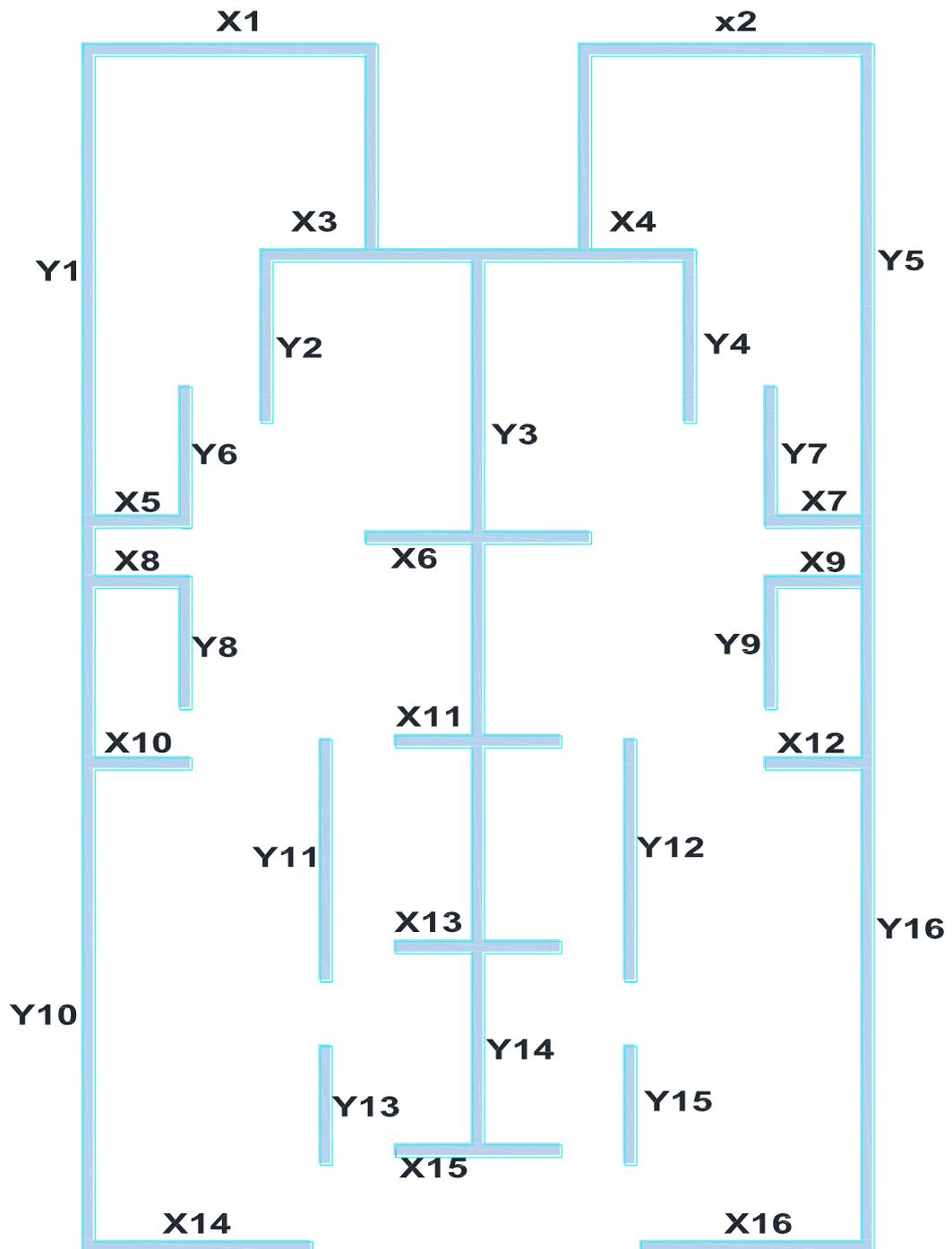


Figura 29. Esquema de Muros de Albañilería Confinada (AC)

Cuadro 33. Características de los muros - Dirección "X-X"

DIRECCIÓN	MURO	CANTIDAD	LONGITUD	ESPEJOR t
DIRECCIÓN X-X	M X 1	1.00	3.730	0.230
	M X 2	1.00	3.730	0.230
	M X 3	1.00	1.480	0.130
	M X 4	1.00	1.480	0.230
	M X 5	1.00	1.350	0.230
	M X 6	1.00	2.850	0.230
	M X 7	1.00	1.350	0.230
	M X 8	1.00	1.350	0.230
	M X 9	1.00	1.350	0.230
	M X 10	1.00	1.350	0.230
	M X 11	1.00	2.100	0.230
	M X 12	1.00	1.350	0.230
	M X 13	1.00	2.100	0.230
	M X 14	1.00	2.100	0.130
	M X 15	1.00	2.900	0.230
	M X 16	1.00	2.900	0.230

$$\sum Lt \text{ muros} * t = 7.34$$

Cuadro 34. Características de los muros – Dirección "Y-Y"

DIRECCIÓN	MURO	CANTIDAD	LONGITUD	ESPEJOR t
DIRECCIÓN Y-Y	M Y 1	1.00	6.000	0.230
	M Y 2	1.00	2.150	0.230
	M Y 3	1.00	6.180	0.230
	M Y 4	1.00	2.150	0.230
	M Y 5	1.00	6.000	0.230
	M Y 6	1.00	1.750	0.230
	M Y 7	1.00	1.750	0.230
	M Y 8	1.00	1.650	0.230
	M Y 9	1.00	1.650	0.230
	M Y 10	1.00	8.400	0.230
	M Y 11	1.00	3.000	0.230
	M Y 12	1.00	3.000	0.230
	M Y 13	1.00	1.480	0.230
	M Y 14	1.00	2.670	0.230
	M Y 15	1.00	1.480	0.230
	M Y 16	1.00	8.400	0.230

$$\sum Lt \text{ muros} * t = 13.27$$

3.2.2 Análisis sísmico (RNE E.030 Diseño Sismorresistente) – Parámetros

a) Parámetros de sitio y requisitos generales

Cuadro 35. Parámetros de Análisis Sísmico

DESCRIPCIÓN	FACTOR
Factor de zona (z)	Z = 0.45
Factor de Amplificación de Suelo	S2 = 1.05
Periodo “Tp”	Tp = 0.6
Periodo “TL”	TL = 2.00
Categoría de la Edificación	Categoría C
Factor de Uso de la Edificación	U= 1.0
Factor de amplificación sísmica (C)	C = 2.5

b) Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (Ro)

El proyecto pertenece a un sistema estructural de Albañilería Confinada en dirección “X” y en dirección “Y”, su coeficiente de reducción correspondiente es igual a 3.

c) Regularidad estructural

El proyecto es clasificado una estructura regular, porque no presenta irregularidades importantes, por lo que toman los valores Ia = 1 o Ip = 1.

d) Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R)

En el proyecto en las direcciones X-X e Y-Y su sistema de estructuración es de Albañilería Confinada (AC).

$$R = 3 * 1 * 1 = 3$$

e) Densidad mínima de muros reforzados

$$\frac{\sum Lt}{Ap} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

Donde:

L: Longitud

t: Espesor Efectivo

Ap: Área de la planta típica = 133.12

Z: Zonificación

U: Uso del Edificio

S: Tipo de Suelo

N: Número de pisos del Edificio

$$\frac{\sum Lt}{Ap} = \frac{0.45 * 1 * 1.05 * 5}{56} = 0.042$$

Dirección X-X:

$$\frac{\sum Lt}{Ap} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

$$\frac{7.34}{133.12} \geq 0.042$$

$$0.055 \geq 0.042 \quad \text{(Cumple)}$$

Dirección Y-Y:

$$\frac{\sum Lt}{Ap} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

$$\frac{13.27}{133.12} \geq 0.042$$

$$0.097 \geq 0.042 \quad \text{(Cumple)}$$

3.2.3 Análisis Estático (RNE E.030 Diseño Sismorresistente):

a) **Datos Generales – Materiales:** Según RNE E.060 Concreto Armado.

Resistencia del muro : $f'm = 65 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia del acero : $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Resistencia del concreto : $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$

Módulo de Elasticidad del Concreto:

$$Ec = 15000\sqrt{175} = 198\,431.35 \text{ Kg/cm}^2$$

Módulo de Elasticidad de la Albañilería:

$$Em = 500 * 65 = 32\,500 \text{ Kg/cm}^2$$

b) **Peso total de la edificación**

Se consideró las cargas y los pesos unitarios de la norma E.020 Cargas, el peso (P) se calculó adicionando a la carga permanente y total de la edificación un % de la sobrecarga, para edificios de la categoría C, toma el 25% de la carga viva.

Cuadro 36. Peso Total de la Edificación de AC

Nivel	Peso por nivel (KG)
1°	205 218.400
2°	193 749.000
3°	170 956.900
4°	168 711.800
5°	145 242.100
TOTAL	883 878.200

c) **Periodo Fundamental de Vibración**

Según norma E.030 nos indica para calcular el periodo fundamental de vibración para las direcciones “x-x” – “y-y”, con la siguiente formula:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

De donde: h_n : Altura total de la Edificación.

C_T : 60 muros de ductilidad limitada.

$$T = \frac{12}{60} = 0.20$$

d) **Calculo del Centro de Masas de la edificación**

Para el cálculo del centro de masa de la edificación se determinó las distancias de los muros en las direcciones X-X e Y-Y, como se muestra en los cuadros 33 y 34, sacamos las distancias al centroide de cada muro y en ambas direcciones, mediante las siguientes formulas calculamos las coordenadas de ubicación del centro de masas:

$$X_{cm} = \sum \frac{P_x}{P}$$

$$Y_{cm} = \sum \frac{P_y}{P}$$

En los siguientes cuadros se detallan las características de los muros y sus distancias en ambos ejes “X-X” e “Y-Y”

Cuadro 37. Datos del Centro de Masas dirección “X-X”

MURO	Centro		MURO	Centro	
	X - X	Y - Y		X - X	Y - Y
	Xg (m)	Yg (m)		Xg (m)	Yg (m)
M X 1	1.800	14.850	M X 9	2.890	9.370
M X 2	8.070	14.850	M X 10	7.000	9.370
M X 3	2.920	12.320	M X 11	4.925	6.319
M X 4	6.950	12.320	M X 12	9.250	5.950
M X 5	0.610	11.500	M X 13	5.000	3.875
M X 6	9.180	11.500	M X 14	5.000	1.246
M X 7	0.600	9.900	M X 15	1.450	0.000
M X 8	9.250	9.900	M X 16	8.750	0.000

Cuadro 38. Datos del Centro de Masas dirección “Y-Y”

MURO	Centro		MURO	Centro	
	X - X	Y - Y		X - X	Y - Y
	Xg (m)	Yg (m)		Xg (m)	Yg (m)
M X 1	0.000	11.950	M X 9	4.930	2.490
M X 2	2.230	11.330	M X 10	3.303	2.490
M X 3	4.930	9.310	M X 11	3.465	2.490
M X 4	1.230	7.530	M X 12	3.626	2.490
M X 5	1.230	7.530	M X 13	3.100	1.837
M X 6	0.000	4.150	M X 14	5.000	2.538
M X 7	3.030	4.830	M X 15	6.900	1.837
M X 8	3.030	1.790	M X 16	9.920	4.200

Para obtener el cálculo de la carga total para sismo se multiplicó la carga muerta más la carga viva de la base del muro por la sobre carga que es 0.25, este cálculo será multiplicado por los pesos específicos del concreto (2 400 Kg/m³) y tarrajeo (1 800 Kg/m³), la altura libre (Hl) es 2.40 por la longitud y el espesor de cada muro según los cuadros 33, 34, 37 y 38 obteniendo los resultados de centros de masas como se detalla en el cuadro 39.

Cuadro 39. Calculo del Centro de Masas de la Edificación

Nivel	$\sum P_i X_i$	$\sum P_i x$	$\sum P_i Y_i$	$\sum P_i y$	X_m	Y_m
1°	607333.746	112310.856	3677745.226	725818.586	5.408	5.067
2°	456949.208	84337.704	2870262.313	570600.084	5.418	5.030
3°	321341.835	59135.868	2166837.577	436063.594	5.434	4.969
4°	219754.862	40808.592	1409526.132	283868.936	5.385	4.965
5°	118167.889	22481.316	742512.798	152831.886	5.256	4.858

e) Fuerza cortante en la base:

La fuerza cortante total en la base de la edificación se calculó con la siguiente formula y en las direcciones “X-X” – “Y-Y”.

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P$$

De donde:

Factor de zona (Z)=0.45

Factor de uso o importancia (U)=1.0

Coefficiente de Ampliación sísmica (C)=2.50

Factor de suelo (S)=1.05

Coefficiente de reducción sísmica (R)=3

Peso de la Edificación (P) = 883 878.200 Kg

Cuadro 40. Fuerza Cortante en la base de la Edificación

Dirección	C	R	C/R (>0,1)	Z	U	S	ZUSC/R	V
X - X	2.5	3	0.833	0.45	1	1.05	0.394	347887.800 kg
Y - Y	2.5	3	0.833	0.45	1	1.05	0.394	347887.800 kg

$$\rightarrow V=347887.800 \text{ Kg} \approx 347.888 \text{ tn}$$

La fuerza cortante en la base del edificio no podrá ser menor que el 80% del valor calculado, para cada dirección se considera el análisis.

$$V = 0.80 * 347.888 = 278.310 \text{ tn}$$

Para hallar el esfuerzo cortante admisible (V_a) se calculó con la siguiente formula:

$$V_a = 0.53\sqrt{f_c}$$

$$V_a = 0.53 * \sqrt{175} = 70.112 \text{ tn/m}^2$$

Para el cálculo del esfuerzo último (V_u), será igual a:

$$V_u = 0.85 * V_a$$

$$V_u = 0.85 * 70.112 = 59.595 \text{ tn/m}^2$$

En la figura 29 se muestra el esquema de AC que está en concordancia con los cuadros 33 y 34 que muestra las características de los muros.

Determinación de la fuerza resistente, debe cumplir que la cortante admisible del sistema (V_{resist}) sea mayor a la cortante actuante (V):

Cuadro 41. Fuerza Resistente

Dirección X-X	$7.34*59.595=437.427$	>	278.310 tn	Cumple
Dirección Y-Y	$13.27*59.595=790.826$	>	278.310 tn	Cumple

En el cuadro 41, se puede observar que la fuerza cortante dinámica en ambas direcciones es superior al 80% V_{est} . Por lo tanto las fuerzas del análisis sísmico en el Etabs no se requieren.

f) Distribución de la Fuerza

Para calcular las fuerzas horizontales de cada nivel correspondiente a ambas direcciones, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\alpha_i = \frac{\rho_i * h_i}{\rho_i * h_i + \rho_i * h_i}$$

Las fuerzas horizontales F_x , F_y , son fuerzas de inercia aplicadas en cada nivel de la edificación y en ambas direcciones, y se calculan multiplicando el peso de cada piso por la altura de entrepiso, por la cortante basal (V_{xx}), (V_{yy}) y la fuerza del piso superior, los resultados se muestran en los cuadros 42 y 43.

DIRECCION X – X

Altura entrepiso h_{ei} (m) = 2.40

Cálculo de Fuerza en el piso superior "Fa"

Período de la estructura $T = 0.2$

Cortante basal $V_{xx} = 347\ 887.80$ $F_a = 0.000$

La fuerza del piso superior en la dirección X-X es $F_a=0.00$, porque el periodo de vibración de la estructura ($T=0.20$) no es superior a 0.7, eso quiere decir que la fuerza cortante total no se concentra en la parte superior de la estructura.

Cuadro 42. Distribución de la fuerza en la dirección "x-x"

Nivel	Peso P_i (Kg)	$P_i H_{ei}$ (Kg*m)	Fuerza F_i (Kg)	Fuerza Piso Superior (Kg)	Cortante V_i (Kg)
1°	205 218.400	492 524.160	80 772.40		347 887.70
2°	193 749.000	464 997.600	76 258.10		267 115.30
3°	170 956.900	410 296.560	67 287.30		190 857.20
4°	168 711.800	404 908.320	66 403.70		123 569.90
5°	145 242.100	348 581.040	57 166.20	0.000	57 166.200
		2 121 307.680	347 887.7		

DIRECCION Y – Y

Altura entrepiso h_{ei} (m) = 2.40

Cálculo de Fuerza en el piso superior "Fa"

Período de la estructura $T = 0.20$

Cortante basal $V_{yy} = 347\ 887.800$ $F_a = 0.000$

La fuerza del piso superior en la dirección Y-Y es $F_a=0.00$, porque el periodo de vibración de la estructura ($T=0.20$) no es superior a 0.7, eso quiere decir que la fuerza cortante total no se concentra en la parte superior de la estructura.

Cuadro 43. Distribución de la fuerza en la dirección “y-y”

Nivel	Peso P_i (Kg)	P_i h_{ei} (Kg*m)	Fuerza F_i (Kg)	Fuerza Piso Superior (Kg)	Cortante V_i (Kg)
1°	205 218.400	492 524.160	80 772.40		347 887.70
2°	193 749.000	464 997.600	76 258.10		267 115.30
3°	170 956.900	410 296.560	67 287.30		190 857.20
4°	168 711.800	404 908.320	66 403.70		123 569.90
5°	145 242.100	348 581.040	57 166.20	0.000	57 166.20
		2121307.680	347 887.7		

g) Centro de Rigidez

Es llamado al punto central de los elementos verticales de un sistema que resiste fuerzas laterales.

$$K = \frac{E_m t}{4 * \left(\frac{h}{l}\right)^3 + 3 * \left(\frac{h}{l}\right)^3}$$

$$X_r = \sum K_{xi} * Y_i / K_{xi}$$

$$Y_r = \sum K_{yi} * X_i / K_{yi}$$

El punto central de los elementos verticales de los muros de cada piso en ambas direcciones nos indica donde se genera la masa y donde se ubicaría la fuerza sísmica producida por un sismo. En el cuadro 44 se muestran los cálculos obtenidos.

Cuadro 44. Centro de Rigideces

Nivel	$\sum kY_i X_i$	$\sum kY_i$	$\sum KX_i Y_i$	$\sum KX_i$	X_r (m)	Y_r (m)
1°	1666865901	403266788	4207687405	493681753	4.133	8.523
2°	1720283591	406483005	4918092931	580703955	4.232	8.469
3°	1549256610	359476076	4918092931	531334491	4.310	9.256
4°	1062293983	258626688	829520688	96390914	4.107	8.606
5°	942141600	227933403	829520688	96390914	4.133	8.606

h) Momento Torsor (Mt)

El momento torsor generado en cada piso se calculó con la siguiente fórmula $M_t = E_{total} * F_{ixx}$ de c/piso, y para la distribución de los efectos de torsión en cada piso, se utilizó la fórmula siguiente:

$$F_i = \frac{M_t * d_i * K_i}{\sum d_i^2 * K_i}$$

De donde:

M_t = Momento Torsor

K_i = Rigidez de cada piso

d_i = Distancia perpendicular de cada pórtico al centro de rigidez.

Para el cálculo de M_{tx1} y M_{tx2} , se calculó multiplicando la fuerza (F_{ixx}) de cada nivel por la longitud (L_y , L_x) y por la excentricidad. La excentricidad se obtuvo de la diferencia entre el centro de masas y el centro de rigidez.

Las longitudes representativas de ambas direcciones (Ly) y de cada nivel son:

Longitud Ly (m):

1°: Ly = 6.000

2°: Ly = 2.150

3°: Ly = 6.180

4°: Ly = 2.150

5°: Ly = 6.000

Longitud Lx (m):

1°: Lx = 3.730

2°: Lx = 3.730

3°: Lx = 1.480

4°: Lx = 1.480

5°: Lx = 1.350

Cuadro 45. Momento Torsor de la dirección “x-x”

Dirección x - x						
Nivel	C. Masas Ym (m)	C. Rigidez Yr (m)	Fuerza Fixx (Kg)	Excentricidad ey (m)	Momentos torsores RNC	
					Mtx1 (Kg-m)	Mtx2 (Kg-m)
1°	5.067	8.523	80 772.4	-3.456	-230 685.970	-327 612.850
2°	5.030	8.469	76 258.1	-3.439	-245 856.110	-278 647.100
3°	4.969	9.256	67 287.3	-4.287	-246 877.100	-330 044.210
4°	4.965	8.606	66 403.7	-3.641	-227 499.080	-256 052.670
5°	4.858	8.606	57 166.2	-3.748	-179 959.200	-248 558.640

Cuadro 46. Momento Torsor de la dirección “y-y”

Dirección y - y						
Nivel	C. Masas Xm (m)	C. Rigidez Xr (m)	Fuerza Fiyy (Kg)	Excentricidad ex (m)	Momentos torsores RNC	
					Mtx1 (Kg-m)	Mtx2 (Kg-m)
1°	5.419	4.133	80 772.400	1.286	134 001.410	73 745.200
2°	5.407	4.232	76 258.100	1.175	118 047.540	61 159.000
3°	5.393	4.310	67 287.300	1.083	82 830.670	62 913.630
4°	5.354	4.107	66 403.700	1.247	92 633.160	72 977.670
5°	5.332	4.133	57 166.200	1.199	76 259.710	60 824.840

i) Control de desplazamientos

Los desplazamientos laterales se obtuvo multiplicando 0.75 veces el valor de la reducción de la fuerza sísmica (R), lo establece la norma E.030 Sismorresistente.

Se tomó en cuenta la cortante de cada nivel calculado en los cuadros 42 y 43, el total de rigidez lateral de entrepiso en ambas direcciones. Para calcular el desplazamiento relativo delta, la altura de entrepiso (h_{ei}) debe ser mayor a cero, si cumple esta relación dividimos la cortante de cada nivel y de ambas direcciones entre la rigidez de entrepiso; para el cálculo de la corrección $R \cdot \Delta$ multiplicamos el desplazamiento relativo delta por la reducción de la fuerza sísmica (R) que tiene como factor a 3.

El desplazamiento relativo de entrepiso permitido por la norma para albañilería no deberá exceder de 0.005, por lo tanto cumple la verificación en cada nivel y en ambas direcciones.

Altura entrepiso h_{ei} (m) = 2.40

Cuadro 47. Control de desplazamientos en la dirección “x-x”

Dirección x - x						
Nivel	Cortante V (Kg)	Rigidez Entrepiso K (Kg/m)	Desplazamiento Relativo Delta (m)	Corrección R*Delta (m)	Relación R*Delta/ h_{ei}	Verificación CUMPLE
1°	347 887.7	493 681 753	0.00070	0.00210	0.00088	SI
2°	267 115.3	580 703 955	0.00046	0.00138	0.00058	SI
3°	190 857.2	531 334 491	0.00036	0.00108	0.00045	SI
4°	123 569.9	96 390 914	0.00128	0.00384	0.00160	SI
5°	57 166.2	96 390 914	0.00059	0.00177	0.00074	SI
					0.00425	

Del cuadro anterior se obtiene:

Deriva máxima 4° piso (X-X) = 0.00160 < 0.005

(Cumple)

Cuadro 48. Control de desplazamientos de la dirección “y-y”

Dirección y - y						
Nivel	Cortante V (Kg)	Rigidez Entrepiso K (Kg/m)	Desplazamiento Relativo Delta (m)	Corrección R*Delta (m)	Relación R*Delta/hei	Verificación CUMPLE
1°	347 887.7	403 266 788	0.00086	0.00258	0.00108	SI
2°	267 115.3	406 483 005	0.00066	0.00198	0.00083	SI
3°	190 857.2	359 476 076	0.00053	0.00159	0.00066	SI
4°	123 569.9	258 626 688	0.00048	0.00144	0.00060	SI
5°	57 166.2	227 933 403	0.00025	0.00075	0.00031	SI
					0.00300	

Del cuadro anterior se obtiene:

Deriva máxima 1° piso (Y-Y) = 0.00108 < 0.005 **(Cumple)**

j) Control de giros en planta

La norma E.030 nos menciona que si el desplazamiento promedio de cualquier nivel es mayor al 50% del desplazamiento máximo permitido de acuerdo a los límites de deriva de una edificación Albañilería Confinada (0.005), en los cuadros 49 y 50 se muestran los resultados, en donde indican que no hay necesidad de una verificación por torsión.

Cuadro 49. Control de giros en planta “x-x”

Dirección x - x					
Nivel	Desplazamiento Relativo Delta (m)	Centro masas Xm (m)	Desplazamiento rela. centro masas (m)	1.75 Despl. CM (m)	Verificación CUMPLE
1°	0.00210	5.419	0.002	0.00400	SI
2°	0.00138	5.407	0.011	0.01900	SI
3°	0.00108	5.393	0.013	0.02300	SI
4°	0.00384	5.354	0.035	0.06200	SI
5°	0.00126	5.256	0.128	0.22400	SI

Cuadro 50. Control de giros en planta “y-y”

Dirección y - y					
Nivel	Desplazamiento Relativo Delta (m)	Centro masas Ym (m)	Desplazamiento rela. centro masas (m)	1.75 Despl. CM (m)	Verificación CUMPLE
1°	0.00258	5.067	0.003	0.00500	SI
2°	0.00198	5.030	0.035	0.06100	SI
3°	0.00159	4.969	0.059	0.10400	SI
4°	0.00144	4.965	0.003	0.00400	SI
5°	0.00075	4.858	0.106	0.18600	SI

3.2.4 Análisis Dinámico de Albañilería Confinada con el Etabs

3.2.4.1 Generalidades

Según norma E.030 estable que cualquier estructura puede ser diseñada utilizando el análisis dinámico modal espectral o el análisis tiempo – historia, por tratarse de una edificación de categoría común se empleó el procedimiento de combinación espectral.

El modelamiento del presente proyecto para la dirección “X-X” y para la dirección “Y-Y”, la edificación es de albañilería confinada, con losas aligeradas de 20 cm, con placas y muros de 0.23 (0.25 tarrajeados) en los 3 primeros pisos y en los dos últimos piso el espesor del muro es de 0.13 (0.15 tarrajeados). Para realizar el modelamiento hicimos uso del programa Etabs 2016, a continuación se muestra el modelo del proyecto.

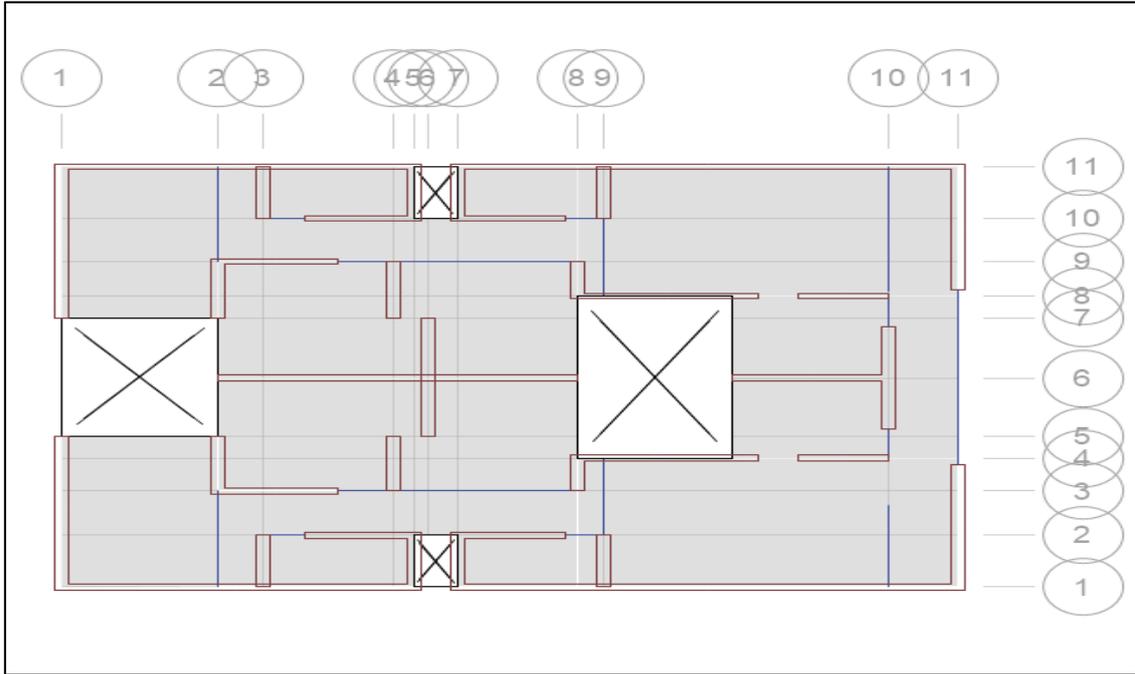


Figura 30. Vista en Planta del Sistema de Albañilería Confinada.

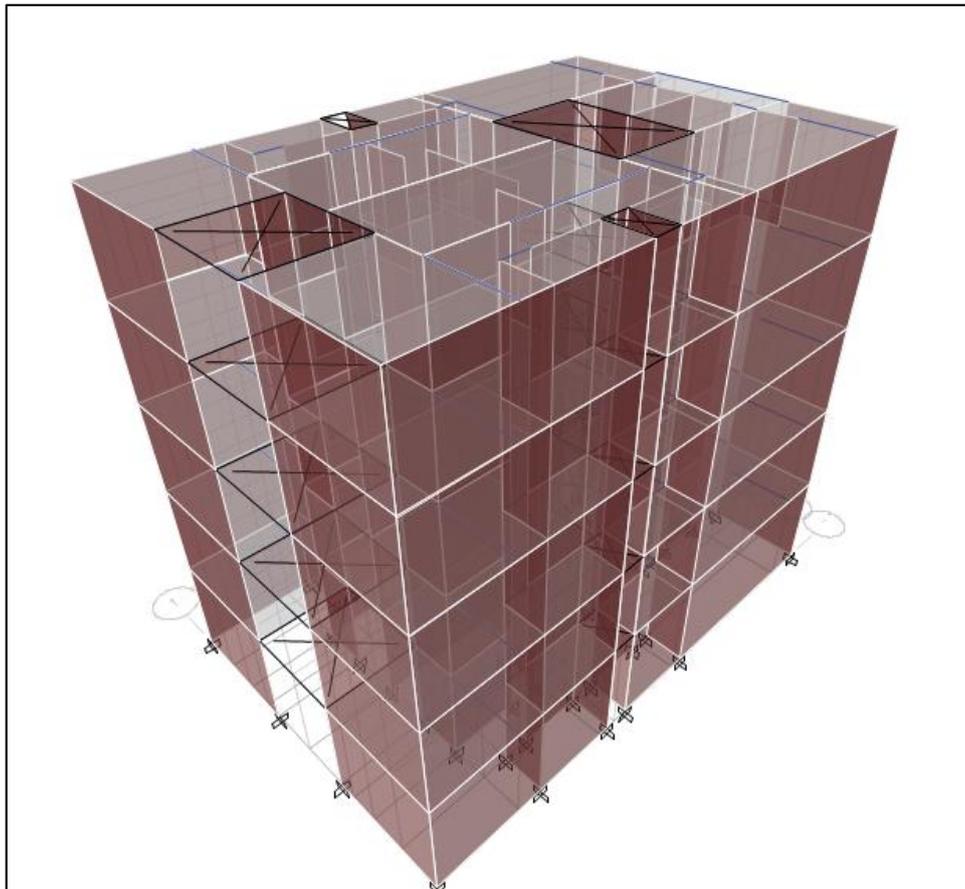


Figura 31. Vista 3D del Sistema de Albañilería Confinada.

En las siguientes figuras se muestra algunos de los procedimientos que se realizó en el programa Etabs para obtener los resultados que se muestran más adelante.

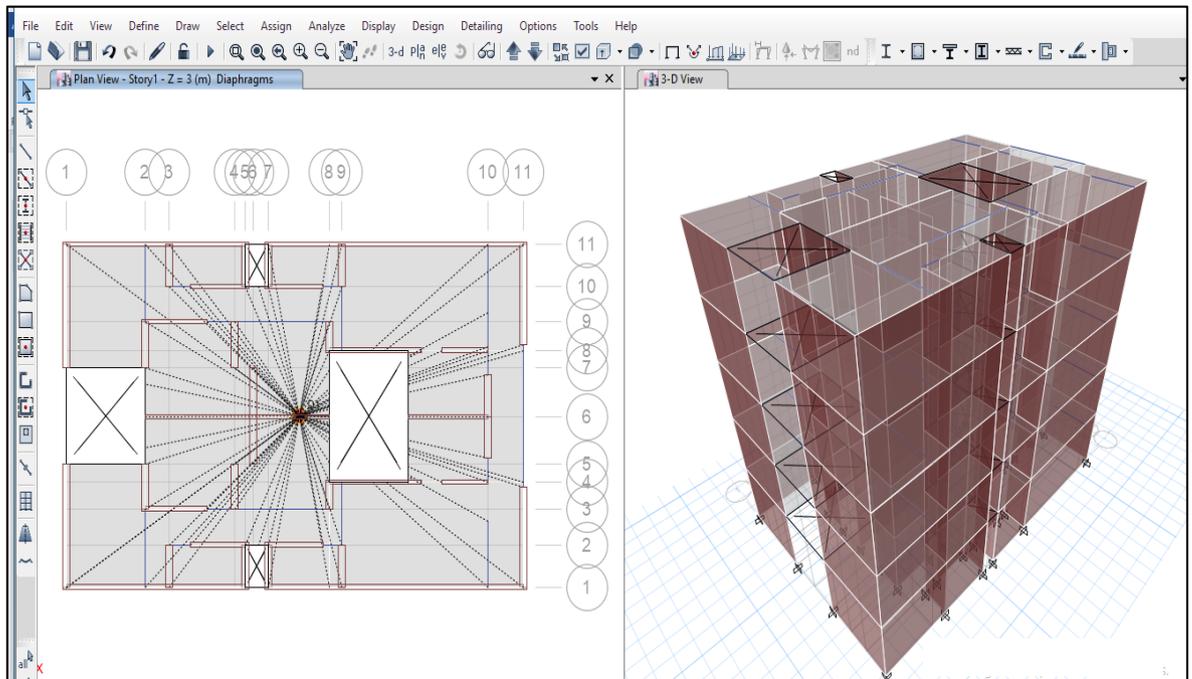


Figura 32. Definición y asignación de diafragmas para las losas de los 5 pisos

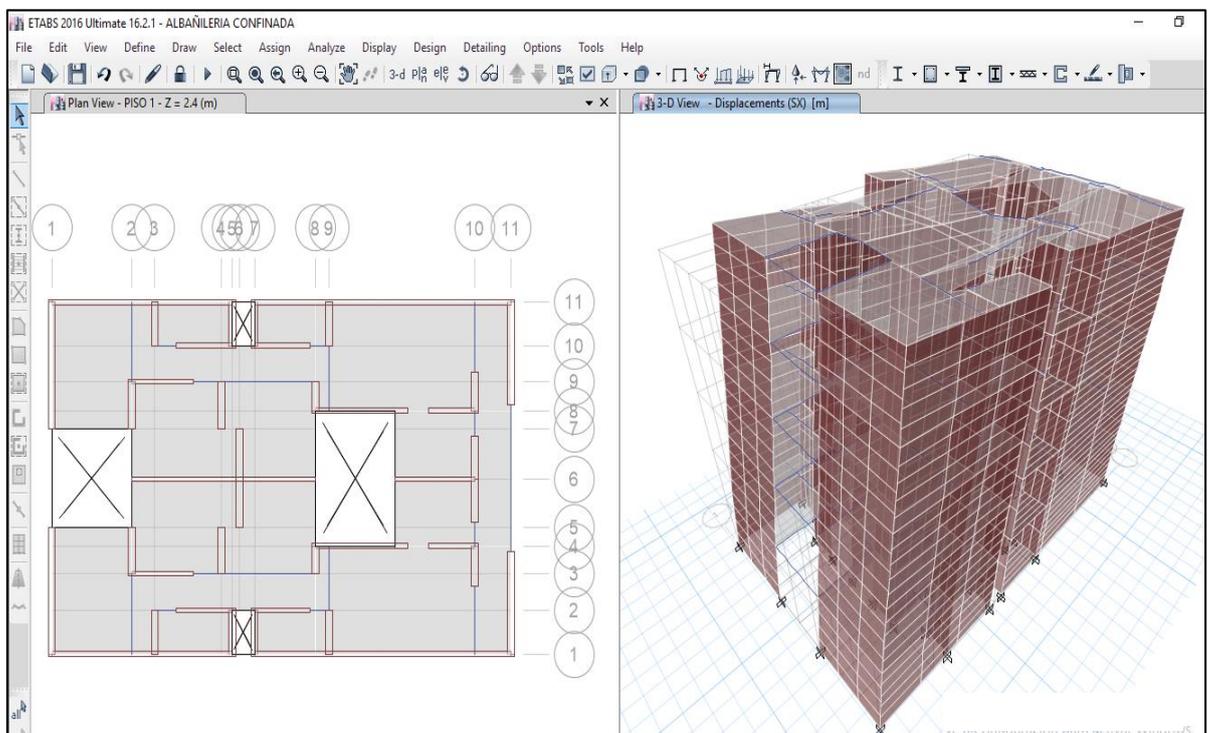


Figura 33. Deformación debido al sismo en la dirección X (SSX)

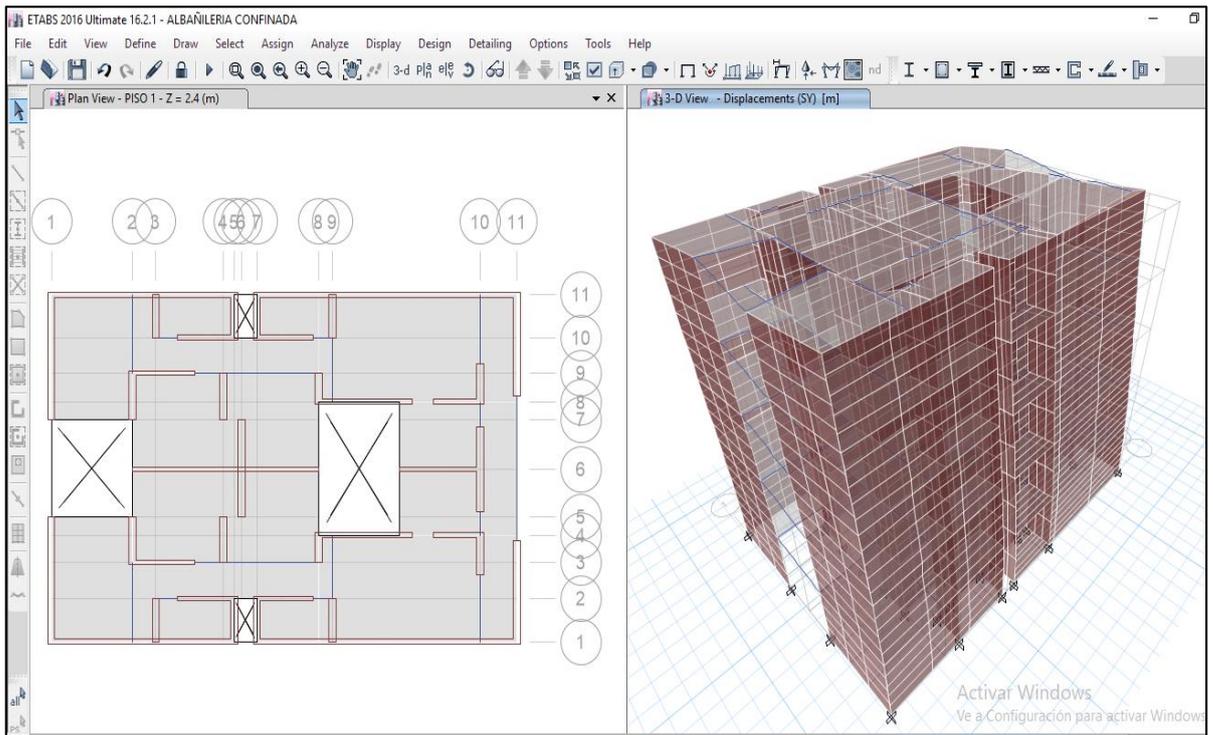


Figura 34. Deformación debido al sismo en la dirección Y (SSY)

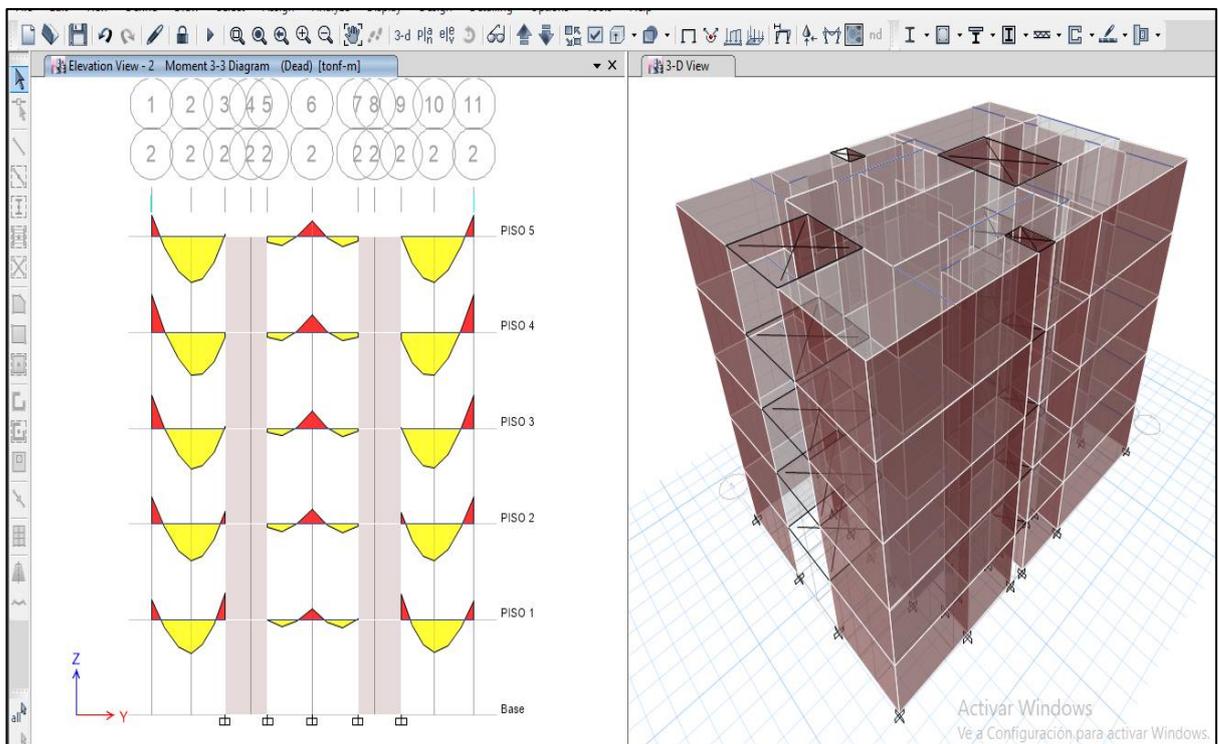


Figura 35. Diagrama de Momentos debido a la carga muerta.

3.2.4.2 Procedimiento con el programa Etabs

a) Definición de propiedades del material

Cuadro 51. Propiedades del material

Propiedades	
Resistencia a la compresión del concreto	$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
Módulo de Elasticidad	$E_c = 217\,370.651 \text{ Kg/cm}^2$
Módulo de Poisson	$\nu = 0.20$
Resistencia del muro - Albañilería	65 Kg/cm^2
Peso específico del concreto	$P_c = 2400 \text{ Kg/m}^3$

Combinaciones de Carga:

Combo1: 1.40 CM + 1.70 CV

Combo2: 1.25 CM + 1.25 CV + SSX

Combo3: 1.25 CM + 1.25 CV – SSX

Combo4: 1.25 CM + 1.25 CV + SSY

Combo5: 1.25 CM + 1.25 CV – SSY

Combo6: 0.90 CM + SSX

Combo7: 0.90 CM – SSX

Combo8: 0.90 CM + SSY

Combo9: 0.90 CM – SSY

Envolvente = Combo1 + Combo2 + Combo3 + Combo4 +
Combo5 + Combo6 + Combo7 + Combo8 + Combo9.

b) Aceleración espectral (S_a)

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizara u espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

De donde:

Factor de zona (Z): $Z = 0.45$

Factor de uso (U): $U = 1.00$

Factor de amplificación sísmica (C): $C = 2.5$

Factor de suelo (S): $S = 1.05$

Coefficiente de Reducción de Fuerza Sísmica (R): $R = 3$

Aceleración de la gravedad $g = 9.81 \text{ m/seg}^2$

Con los parámetros sísmicos mencionados anteriormente tenemos el espectro de pseudo aceleraciones.

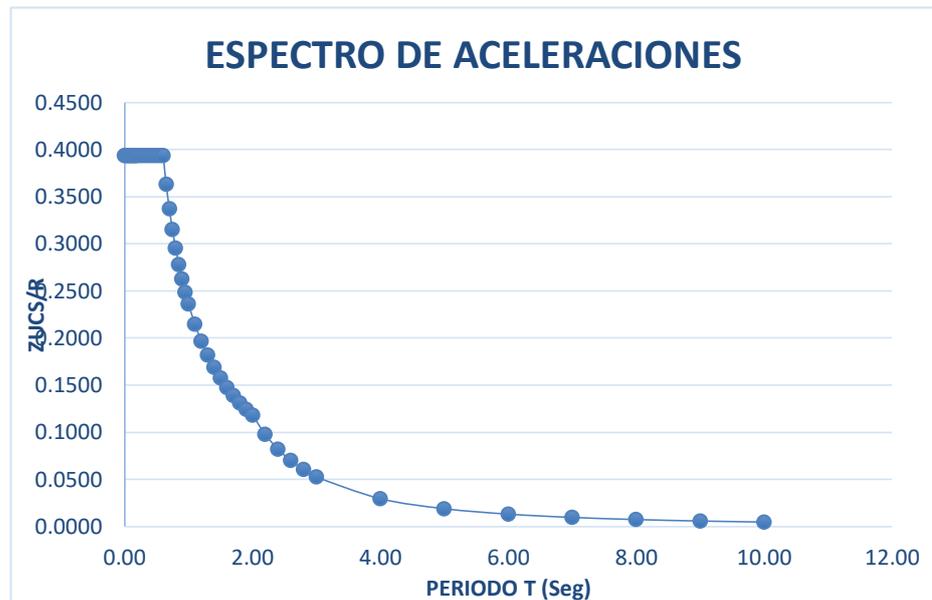


Figura 36. Espectro de Sismo de Diseño (Sa/g)

Para obtener el diagrama de espectro de aceleraciones de la figura 34, se utilizó los datos del cuadro siguiente:

Cuadro 52. Datos del Espectro de Sismo de Diseño (Sa/g)

C	T (s)	Sa/g
2.50	0.00	0.3938
2.50	0.02	0.3938
2.50	0.04	0.3938
2.50	0.06	0.3938
2.50	0.08	0.3938
2.50	0.10	0.3938
2.50	0.12	0.3938
2.50	0.14	0.3938
2.50	0.16	0.3938
2.50	0.18	0.3938
2.50	0.20	0.3938
2.50	0.25	0.3938
2.50	0.30	0.3938
2.50	0.35	0.3938
2.50	0.40	0.3938
2.50	0.45	0.3938
2.50	0.50	0.3938
2.50	0.55	0.3938
2.50	0.60	0.3938
2.31	0.65	0.3635
2.14	0.70	0.3375
2.00	0.75	0.3150
1.88	0.80	0.2953
1.76	0.85	0.2779

1.67	0.90	0.2625
1.58	0.95	0.2487
1.50	1.00	0.2363
1.36	1.10	0.2148
1.25	1.20	0.1969
1.15	1.30	0.1817
1.07	1.40	0.1688
1.00	1.50	0.1575
0.94	1.60	0.1477
0.88	1.70	0.1390
0.83	1.80	0.1313
0.79	1.90	0.1243
0.75	2.00	0.1181
0.62	2.20	0.0976
0.50	2.40	0.0820
0.44	2.60	0.0699
0.38	2.80	0.0603
0.33	3.00	0.0525
0.19	4.00	0.0295
0.12	5.00	0.0189
0.08	6.00	0.0131
0.06	7.00	0.0096
0.05	8.00	0.0074
0.04	9.00	0.0058
0.03	10.00	0.0047

c) Fuerza cortante en la base

La norma E0.30 nos menciona que para cada una de las direcciones consideradas en el análisis, para estructuras regulares la fuerza cortante no deberá ser menor a 80%.

$$V_{dinamico} \geq 80\% V_{estatico}$$

Entonces tenemos:

Cuadro 53. Fuerzas Basales

DIRECCIÓN	V Estático	V Dinámico	80 % V Estático	Verificación
X-X	125.530	225.46	100.424	Cumple
Y-Y	258.974	582.691	207.179	Cumple

d) Efectos de torsión

Según norma E.030 nos menciona que se debe considerar una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 5% veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a las direcciones de análisis. En el programa Etabs se ingresó una excentricidad accidental del 5 %, como se muestra en las siguientes figuras.

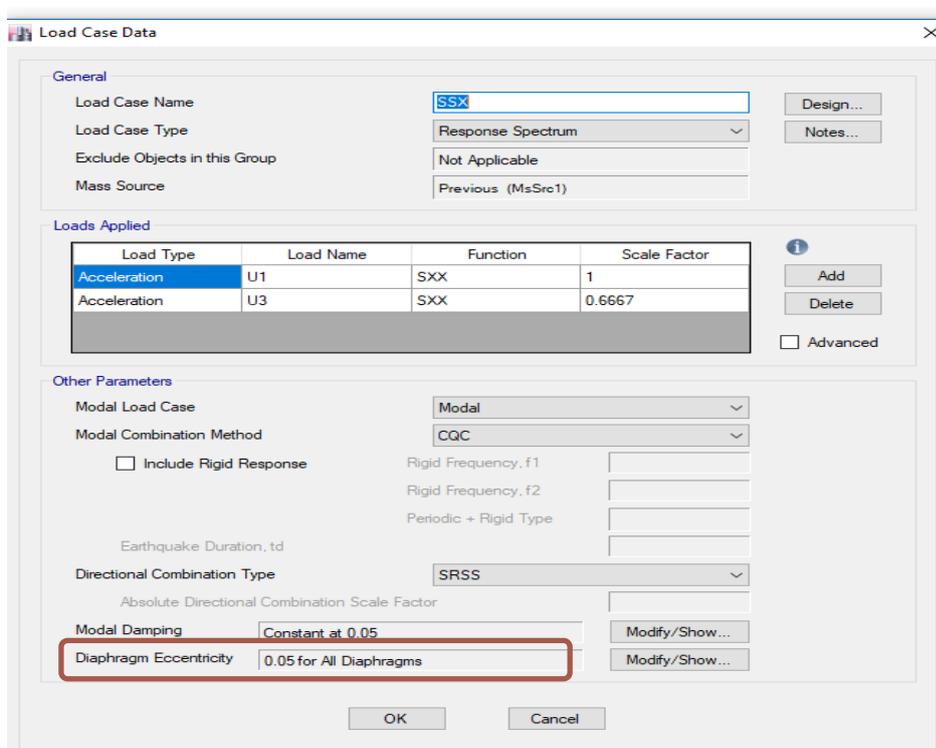


Figura 37. Ventana de datos de los casos de carga

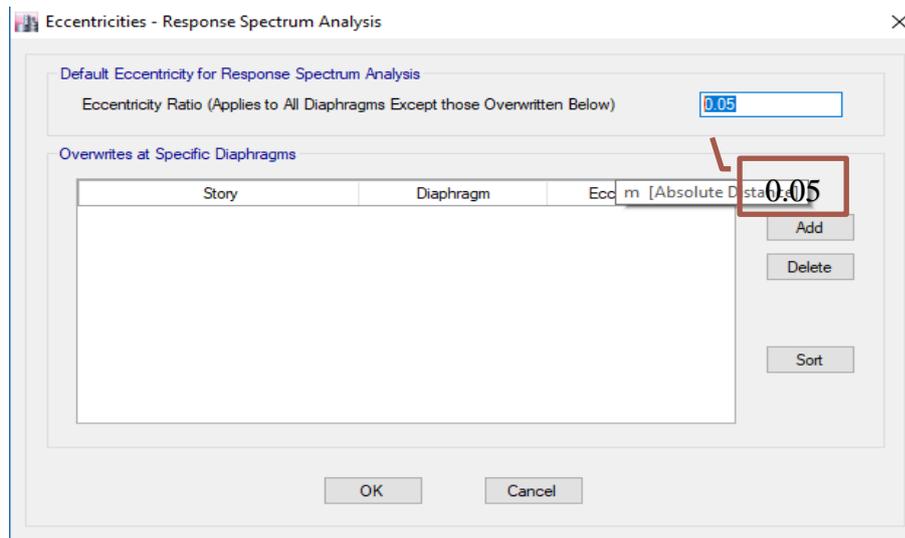


Figura 38. Excentricidad accidental del 5%

e) Verificación de las distorsiones

Con el programa se obtuvo el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, la norma E0.30 nos indica que la deriva para edificios de albañilería confinada es de 0.005; para una edificación regular los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando $0.75 \cdot R$ los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas, obtenemos el siguiente resultado:

Cuadro 54. Distorsiones de entrepiso de la Edificación

PISO	Combinaciones de carga	Dirección	Deriva	Deriva X ($0.75R \cdot \text{Deriva X}$)	Deriva Y ($0.75R \cdot \text{Deriva Y}$)	Límite Di/hei
PISO 5	SSX Max	X	0.00071	0.00159750		0.005
PISO 5	SSY Max	Y	0.002491		0.00460475	0.005
PISO 4	SSX Max	X	0.000849	0.00191025		0.005
PISO 4	SSY Max	Y	0.00274		0.00416500	0.005
PISO 3	SSX Max	X	0.000917	0.00206325		0.005
PISO 3	SSY Max	Y	0.00277		0.00323250	0.005
PISO 2	SSX Max	X	0.00138	0.00310500		0.005
PISO 2	SSY Max	Y	0.003351		0.00473975	0.005
PISO 1	SSX Max	X	0.000622	0.00139950		0.005
PISO 1	SSY Max	Y	0.001329		0.00299025	0.005

Del cuadro 54 se observa que las distorsiones cumplen con lo indicado en la norma E0.30 – 2016. Se obtiene:

Deriva máxima 2° piso (X-X) = 0.00031 < 0.005 **(Cumple)**

Deriva máxima 2° piso (Y-Y) = 0.00047 < 0.005 **(Cumple)**

f) Periodo fundamental de la estructura

En el cuadro 55 nos muestra los periodos y formas de modo de la edificación, en la dirección X en el modo 1 el periodo es de 0.390 segundos y en la dirección Y en el modo 2 es de 0.231 segundos; con estos periodos se calculó el coeficiente basal para las cargas del análisis estático.

Cuadro 55. Periodos de la Edificación

Caso	Modo	Periodo Seg.	UX	UY	UZ
Modal	1	0.390	0.00000	0.71440	0
Modal	2	0.231	0.76070	0.00000	0
Modal	3	0.197	0.00000	0.00000	0
Modal	4	0.100	0.00000	0.18060	0
Modal	5	0.070	0.00000	0.00010	0
Modal	6	0.069	0.16030	0.00000	0
Modal	7	0.069	0.00000	0.00010	0
Modal	8	0.066	0.00000	0.00004	0
Modal	9	0.065	0.00000	0.00020	0
Modal	10	0.064	0.00000	0.00001	0
Modal	11	0.062	0.00000	0.00030	0
Modal	12	0.061	0.00000	0.00020	0

g) Coeficiente basal para el análisis estático

Tenemos la siguiente formula de la norma E0.30:

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P$$

De donde:

Factor de zona (Z)=0.45

Factor de uso o importancia (U)=1.0

Coefficiente de Ampliación sísmica (C)=2.50

Factor de suelo (S)=1.05

Coefficiente de reducción sísmica (R)=3

Para el cálculo del factor de amplificación sísmica (C) usamos las siguientes fórmulas:

$$T < T_P \rightarrow C=2.5$$

$$T_P < T < T_L \rightarrow C=2.5 * \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L \rightarrow C=2.5 * \left(\frac{T_P * T_L}{T^2}\right)$$

De donde:

Dirección X: periodo = 0.390 seg.

Dirección Y: periodo = 0.231 seg.

$$T_P < T_x < T_L \Rightarrow 0.6 < 0.390 < 2.0$$

$$C_x = 2.5 * \left(\frac{0.6}{0.390}\right) = 3.85$$

$$T_P < T_y < T_L \Rightarrow 0.6 < 0.231 < 2.0$$

$$C_y = 2.5 * \left(\frac{0.6}{0.231}\right) = 6.49$$

Entonces, los coeficientes basales para cada dirección son:

$$\frac{Z * U * C_x * S}{R_x} = \frac{0.45 * 1.00 * 3.85 * 1.05}{3} = 0.61$$

$$\frac{Z * U * C_y * S}{R_x} = \frac{0.45 * 1.00 * 6.49 * 1.05}{3} = 1.02$$

h) Separación sísmica entre edificios

Toda edificación debe estar separada de otras construcciones vecinas, desde el nivel del terreno natural, una distancia mínima (S) para evitar contacto durante movimiento sísmico.

La distancia no debe ser menor a $\frac{2}{3}$ de la suma de los desplazamientos máximos ni menor que: $S = 0.006 * h \geq 0.03$, de donde h es la altura medida desde el nivel del terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar S.

Para estructuras regulares la norma E0.30 – 2016 nos menciona que los desplazamientos laterales se deben multiplicar 0.75R los análisis obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

Cuadro 56. Desplazamientos en X de la Edificación

Piso	Diagrama	Combinaciones de Carga	UX m	0.75*R*UX
PISO 5	D5	SSX max	0.009177	0.02064825
PISO 4	D4	SSX max	0.007528	0.01693800
PISO 3	D3	SSX max	0.005556	0.01250100
PISO 2	D2	SSX max	0.003425	0.00770625
PISO 1	D1	SSX max	0.001404	0.00315900
BASE	D1	SSX max	0.000000	0.00000000

Cuadro 57. Desplazamientos en Y de la Edificación

Piso	Diagrama	Combinaciones de Carga	UY m	0.75*R*UY
PISO 5	D5	SSY max	0.027291	0.06140475
PISO 4	D4	SSY max	0.021370	0.04808250
PISO 3	D3	SSY max	0.014924	0.03357900
PISO 2	D2	SSY max	0.008461	0.01903725
PISO 1	D1	SSY max	0.002911	0.00654975
BASE	D1	SSY max	0.000000	0.00000000

De los cuadros obtenemos un desplazamiento máximo en la dirección X de 2.06 cm y en la dirección Y es de 6.14 cm.

Distancia mínima considerando el desplazamiento máximo de la edificación en estudio:

$$\Delta_{X_{\max.}} = 2.06 \rightarrow \frac{2}{3} * \Delta_{X_{\max.}} = 1.373 \text{ cm}$$

$$\Delta_{Y_{\max.}} = 6.14 \rightarrow \frac{2}{3} * \Delta_{Y_{\max.}} = 4.093 \text{ cm}$$

Distancia mínima considerando la altura de la edificación en estudio, la altura (h) es igual a 12.

$$\frac{s}{2} = \frac{0.006 * h}{2} \geq 3.00 \text{ cm}$$

$$\frac{s}{2} = \frac{0.006 * (1200\text{cm})}{2} = 3.600 \text{ cm}$$

Entonces la junta sísmica reglamentaria que se debe retirar la edificación en estudio del límite de propiedad será:

$$S_x = 1.373 \text{ cm} < 3.60 \rightarrow S_x = 3.600 \text{ cm}$$

$$S_x = 4.093 \text{ cm} \geq 3.60 \rightarrow S_y = 4.093 \text{ cm}$$

3.2.4.3 Diseño de platea de cimentación para Albañilería confinada

El diseño de la platea de cimentación fue diseñada por el programa SAFE v16, para empezar con el modelo de la platea se determinó la geometría de la edificación ubicando los elementos de albañilería confinada (muros, columnas y placas), e introducir las cargas vivas, cargas muertas y de sismo de la edificación en estudio. La platea es una losa apoyada sobre el suelo, en donde el terreno resiste esfuerzos de compresión. Para el diseño y análisis se consideró el siguiente parámetro:

$$\text{presión admisible } (\sigma_{\text{adm}}) = 1.156 \text{ Kg/cm}^2$$

En las figuras siguientes se muestran algunos pasos del diseño de la cimentación.

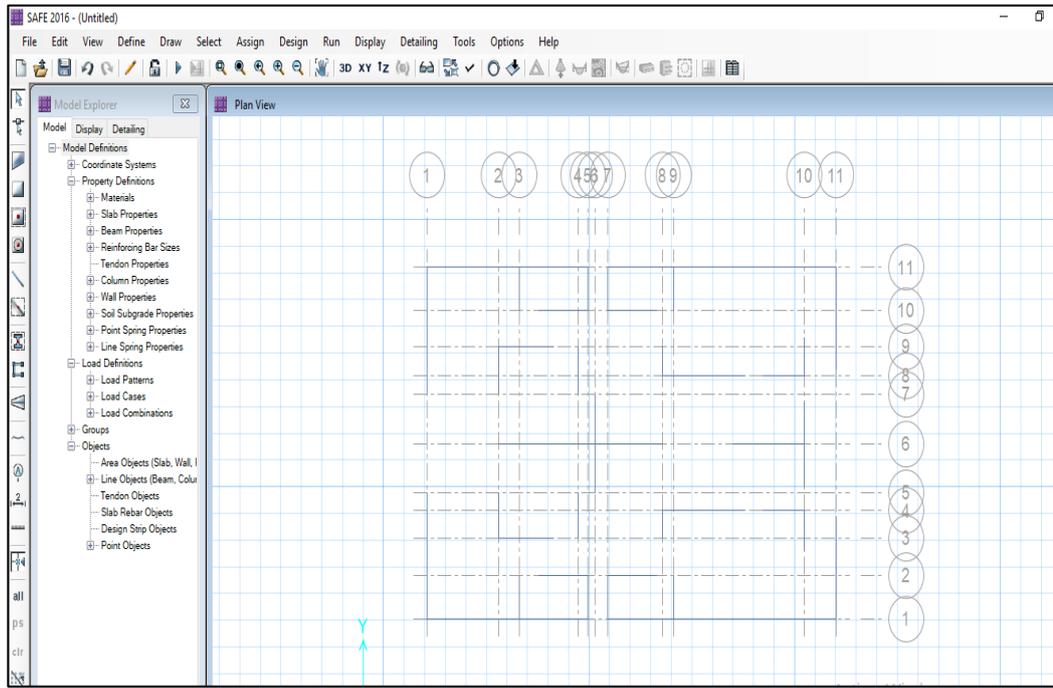


Figura 39. Exportación de la geometría del Etabs al Safe v16

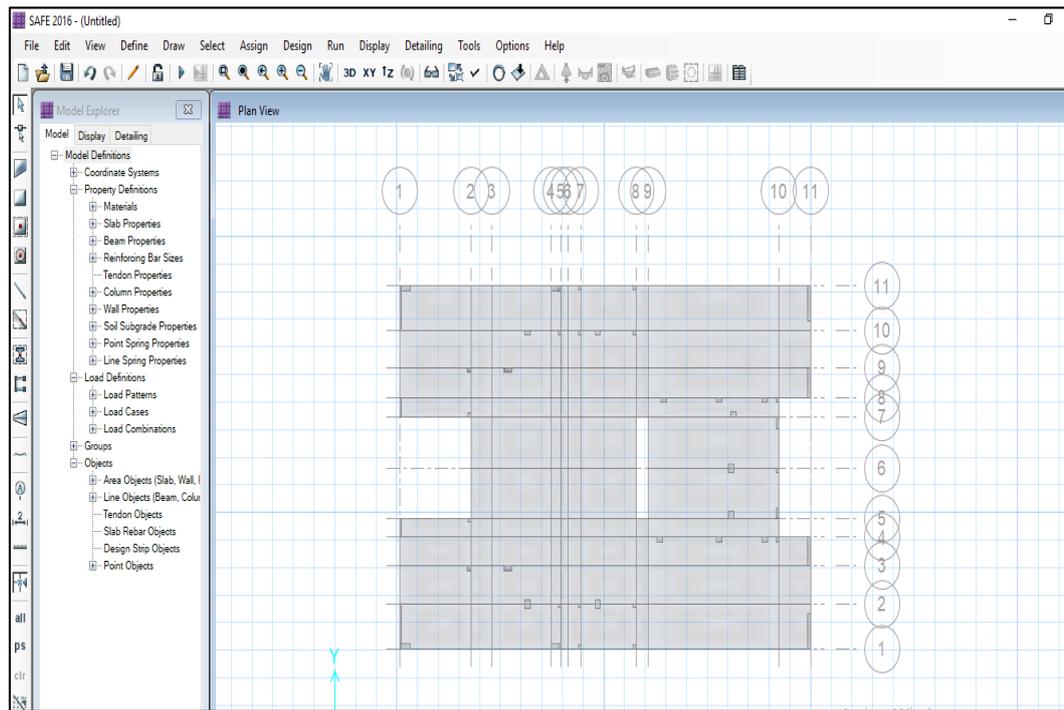


Figura 40. Colocación de placas y columnas

La capacidad portante es de 1.156 Kg/cm^2 , la norma E.060 nos menciona que la presión del suelo puede incrementar en un 30%, de la cual la nueva presión admisible da un valor de 1.503 Kg/cm^2 , en el programa Safe v.16 utilizaremos el coeficiente de balasto 3.10 Kg/cm^2 propuestos por Terzaghi.

Verificación de la presión admisible del suelo, debido a las cargas de gravedad y sismo; la platea de la edificación tiene un espesor de 25 cm.

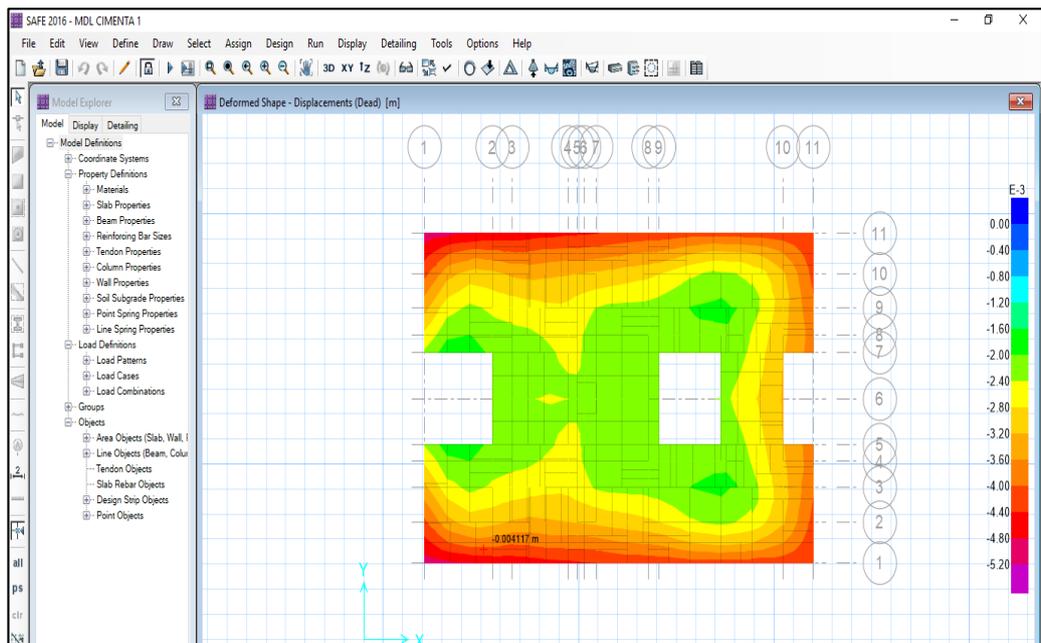


Figura 41. Presiones en el suelo

Para un mejor diseño, se asignó franjas de diseño de 1m en ambas direcciones; en la figura siguiente se muestra el acero en la parte superior e inferior de la platea de cimentación, de todo ello se eligió el mayor tanto en la parte superior e inferior.

3.3 Análisis comparativo estructural y diseño sísmico

En los cuadros siguientes se muestra los datos más relevantes para la comparación de las dos edificaciones en estudio.

COMPARACIÓN DE AMBOS SISTEMAS		
ANÁLISIS SÍSMICO		
PARÁMETROS SÍSMICOS	ESTRUCTURA MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	ESTRUCTURA DE ALBAÑILERÍA CONFINADA
Zonificación:	Z = 0.45	Z = 0.45
Condición geotécnica:	S = 1.05	S = 1.05
	Tp = 0.60	Tp = 0.60
	TL = 2.00	TL = 2.00
Factor de amplificación sísmica (C)	C = 2.5	C = 2.5
Categoría y factor de uso	Categoría C	Categoría C
	U = 1.0	U = 1.0
Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (Ro)	Dirección X-X = 4	Dirección X-X = 3
	Dirección Y-Y = 4	Dirección Y-Y = 3
Configuración Estructural	regular	regular
Regularidad estructural	Ia = 1	Ia = 1
	Ip = 1	Ip = 1
Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R)	R = 4	R = 3
parámetros y Módulo de Elasticidad de los materiales	f'c = 210 Kg/cm ²	f'm = 65 Kg/cm ²
	Ec= 217 370.65 Kg/cm ²	Em= 32 500 Kg/cm ²

ANÁLISIS ESTÁTICO					
PARÁMETROS	ESTRUCTURA MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA		ESTRUCTURA DE ALBAÑILERÍA CONFINADA		ANÁLISIS DE RESULTADOS
Densidad de Muros	se consideró muros de 0.10m y 0.12m en ambas direcciones		Se utilizará muros de soga de 0.13 m (0.15m tarrajeados) y de cabeza 0.23 m (0.25 tarrajeados).		Las consideraciones tomadas en ambos sistemas en el espesor del muro son con el fin de que cumplieran con la densidad de muros requeridos.
Peso total de la edificación	PT = 827 384.900 Kg		P T = 883 878.200 Kg		De ambos sistemas el que tiene mayor peso es el de Albañilería Confinada.
Centro de Masas	X-X	Y-Y	X-X	Y-Y	Se observa que el centro de masas y el centro de rigideces son cercanas, por lo que la configuración estructural en ambos sistemas es apropiada para disminuir los efectos de torsión provocados por el sismo
	1°: 5.002	1°: 6.558	1°: 5.408	1°: 5.067	
	2°: 5.002	2°: 6.583	2°: 5.418	2°: 5.030	
	3°: 5.002	3°: 6.581	3°: 5.434	3°: 4.969	
	4°: 5.002	4°: 6.576	4°: 5.385	4°: 4.965	
Centro de Rigidez	5°: 5.002	5°: 6.560	5°: 5.256	5°: 4.858	
	1°: 4.973	1°: 6.558	1°: 6.558	1°: 6.558	
	2°: 4.974	2°: 6.583	2°: 6.583	2°: 6.583	
	3°: 4.975	3°: 6.581	3°: 6.581	3°: 6.581	
	4°: 4.974	4°: 6.576	4°: 6.576	4°: 6.576	

	5°: 4.974	5°: 6.560	5°: 6.560	5°: 6.560	
Fuerza cortante en la base	X - X = 244337.100 Kg		X - X = 347887.800 Kg		La fuerza cortante en la base es mayor en la estructura de albañilería confinada.
	Y - Y = 244337.100 Kg		Y - Y = 347887.800 Kg		
Distribución de la Fuerza	1° : 244 337.000 Kg		1° :347 887.70 Kg		La distribución de las fuerzas es mayor en la estructura de albañilería confina y se da en el primer piso.
Control de desplazamientos laterales	X-X = 0.00068		X-X = 0.00160		En ambos casos cumplen con la máxima distorsión de entrepiso, obteniendo mayor desplazamiento el sistema de Albañilería confinada debido a las características de sus materiales.
	Y-Y = 0.00022		Y-Y = 0.00108		

ANÁLISIS DINÁMICO			
PARÁMETROS	ESTRUCTURA MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA	ESTRUCTURA DE ALBAÑILERÍA CONFINADA	ANÁLISIS DE RESULTADOS
Fuerza cortante estática (tn)	X-X = 118.45 Tn	X-X = 125.530Tn	La fuerza cortante estática y dinámica en la base es mayor en el sistema de Albañilería confinada. En ambos sistemas el V dinámico es mayor al 80% del V estático.
	Y-Y = 130.72 Tn	Y-Y = 258.974 Tn	
Fuerza cortante Dinámica (tn)	X-X = 101.850 Tn	X-X = 225.460 Tn	
	Y-Y = 115.650 Tn	Y-Y = 582.691 Tn	
Efectos de torsión	excentricidad accidental = 5%	excentricidad accidental = 5%	En ambos sistemas se consideró una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo.
Verificación de las distorsiones de entrepiso	X-X = 0.00033 < 0.005	X-X = 0.00031 < 0.005	En ambos casos cumplen con la máxima distorsión de entrepiso, obteniendo mayor desplazamiento el sistema de Albañilería confinada debido a las características de sus materiales.
	Y-Y = 0.00033 < 0.005	Y-Y = 0.00047 < 0.005	

Periodo fundamental de la estructura	X-X = 0.180 seg.	X-X = 0.390 seg.	En la albañilería confinada el periodo fundamental y la masa es mayor que en el sistema de muros de ductilidad limitada.
	Y - Y = 0.085 seg.	Y - Y = 0.231 seg.	
Coefficiente basal para el análisis estático	X-X = 0.984	X-X = 0.610	Para el sistema de Muros de Ductilidad Limitada se obtiene mayores coeficientes basales en ambas direcciones.
	Y - Y = 2.085	Y - Y = 1.020	
Separación sísmica entre edificios	X-X = 1.55 cm	X-X = 2.06 cm	Toda edificación debe estar separada de otras construcciones vecinas, desde el nivel del terreno natural, una distancia mínima (S) para evitar contacto durante movimiento sísmico. Siendo el sistema de Muros de Ductilidad Limitada con mayor desplazamientos que el otro sistema.
	Y-Y = 7.80 cm	Y-Y = 6.14 cm	
Junta sísmica reglamentaria que se debe retirar la edificación	SX = 3.600 cm	SX = 3.600 cm	
	SY = 5.200 cm	SY = 4.093 cm	

IV. DISCUSIÓN

En los resultados del análisis estático el sistema de muros de ductilidad limitada (MDL) nos da un peso total de 827.384 Tn, su estructuración formada por una losa aligerada de 0.20 m y muros de 0.12 m y 0.10 m, en el sistema de albañilería confinada (AC) se obtuvo un peso total de 883.878 Tn, con una estructuración formada por una losa aligerada de 0.20 m y muros de 0.13 y 0.23 (0.15 y 0.25 tarrajeados respectivamente); teniendo mayor peso el sistema de AC; lo expuesto es revalidado por Cáceres y Enríquez (2017), infiere que el sistema de AC tienen mayor peso total de 671.860 Tn a comparación con el sistema de MDL el peso total es de 632.03 Tn. Ambos sistemas cumplen con los espesores de muros mínimos (≥ 0.10 m) establecido en la norma E.060 Concreto armado.2009 y el E.070 albañilería.2009 establece que el espesor efectivo mínimo es ($t \geq h/20$) según la zona sísmica, para nuestro caso la zona fue Zona 4 ($Z=0.45$), donde la estructuración de los muros fueron dimensionados con la finalidad que la geometría en planta de ambos sistemas cumplieran con las densidades de muros requeridos.

En los cuadros 13 y 18 del cálculo estático del sistema de MDL y en los cuadros 39 y 44 del sistema de AC podemos observar el centro de masas y el centro de rigidez de ambos sistemas, la cual son cercanos por lo que la configuración estructural es apropiada para mejorar los efectos de torsión provocados por el sismo. De ambos sistemas en los cuadros 28 y 53 se muestran la fuerza cortante en la base para los MDL, en la dirección "X" es 118.450 Tn y en la dirección "Y" es 130.720 Tn y para el sistema de AC en la dirección "X" es 125.530 Tn y en la dirección "Y" es 258.974 Tn, y la cortante dinámica para MDL en la dirección "X" es 101.850 Tn y en la dirección "Y" es 115.650 Tn, para la estructura de AC la cortante dinámica en la dirección "X" es de 225.460 Tn y en la dirección "Y" es 582.691 Tn, siendo mayor el sistema de AC estos resultados tienen variación a lo que comprueba Zavaleta (2009), quien realizó el cálculo obteniendo resultados de la fuerza cortante en la base para el sistema de MDL igual a 180.94 Tn y para el sistema de AC igual a 125.63 Tn; siendo el sistema de MDL mayor al sistema AC; por otro lado la NTE 0.30 Diseño Sismorresistente.2016, establece que para edificaciones regulares la fuerza cortante dinámica en el primer entrepiso no podrá ser menor que el 80% de la cortante estática, por lo que en ambos sistemas cumplen con lo establecido y por lo tanto no fue necesario ampliar las fuerzas internas.

De los resultados del análisis dinámico con el programa Etabs, se ingresó una excentricidad del 5% para ambos casos para la localización de los centros de masa en cada nivel como lo establece la norma E.030 Diseño Sismorresistente.2016, se considerara mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 5% veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la direcciones de análisis.

En las tablas 30 y 55 podemos observar los periodos y las formas de modo de la edificación; por otro lado la norma E.030 establece que los modos de vibración mínimo son 3 por piso los cuales tiene que llegar más del 90% de masa participativa, para nuestro caso se usó 12 modos de vibración para un mejor análisis, de donde el sistema de MDL en la dirección X en el modo 1 el periodo es de 0.180 segundos y en la dirección Y en el modo 2 es de 0.085 segundos; y para el sistema de AC en la dirección X el modo 1 el periodo es de 0.390 segundos y en la dirección Y en el modo 2 es de 0.231 segundos, cumpliendo con lo establecido en la norma; en ninguno de los sistemas es mayor que T_p ($T_p=0.60$, periodo que define la plataforma de espectro, que pertenece al suelo tipo S2) ; lo cual corrobora Sifuentes (2017), quien determino el periodo de vibración del análisis dinámico obteniendo para el sistema de MDL en la dirección X igual a 19.032% menor que el sistema de AC y en el eje Y menor en un 52.42% el sistema de MDL al de AC. Con estos periodos se calculó el coeficiente basal para las cargas del análisis estático obteniendo para el primer sistema en la dirección “X” igual a 0.984 y en la dirección “Y” igual a 2.085, y en el segundo sistema en la dirección “X” igual a 0.61 y en la dirección “Y” igual a 1.02, teniendo los coeficientes basales mayores el sistema de MDL.

Para el control de derivas máximas en cada dirección analizada y para ambos casos no deberá superar el 0.0005, que establece la norma E.030, se cumplió con lo establecido en dicha norma y se puede observar en los cuadros 29 y 54, las derivas reales es el cociente de la multiplicación de los desplazamientos elásticos obtenidos por el programa Etabs y al multiplicar por 0.75 de R, entre la altura de piso; obteniendo una deriva inelástica en la dirección “X” e “Y” igual a 0.00033 para MDL y en la dirección “X” igual a 0.00310 y en la dirección “Y” igual a 0.00474 como se aprecia las derivas mayores lo tiene el sistema de AC debido a las características de sus materiales; y en ambos sistemas las derivas son menores que el límite establecido en la norma E.030 por lo tanto si cumple; estos resultados corroboran con Quiroz (2016) donde señala que el sistema de MDL presentan menos deformaciones en sus niveles teniendo 0.0016 y tienden ser más rígido, en cambio en el

sistema de AC contemplan más deformaciones de 0.0035 y tiende a ser más dúctil. También lo reafirma Granados (2015), que obtuvo como resultado desplazamientos relativos, en la dirección X una deriva de 0.60/1000 y en la dirección Y de 0.49/1000; cumpliendo ambas direcciones con la exigencia establecida en la norma.

V. CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados del diseño estructural, sísmico y el modelamiento realizado para los sistemas de Muros de Ductilidad Limitada (MDL) y albañilería confinada (AC), para ambos sistemas su distribución en planta y en altura de la edificación se consideró una estructura regular. Para el sistema de MDL se predimensionó los muros con espesores de 0.10 m y 0.12 m, y el sistema de AC con espesores de 0.13 (0.15 tarrajeados) y 0.23 (0.25 tarrajeados); cumpliendo ambos sistemas con los espesores de muros mínimos (≥ 0.10 m para MDL y para AC $t \geq h/20$, según la zona sísmica), establecidas en la norma. La simetría de la edificación en ambos sistemas ha permitido ubicar los elementos estructurales de tal manera que el Centro de Rigidez y el Centro de Masa no estén muy separados; se concluyó que la simetría es muy importante para poder reducir efectos de torsión ante la posibilidad de un sismo.
2. En la estructura de ambos sistemas se comprueba con los resultados las distorsiones inelásticas de entrepiso; el sistema de Muros de Ductilidad Limitada (MDL) tiene una derivada máxima de 0.00033 en ambas direcciones y el sistema de Albañilería Confinada (AC) obtuvo en la dirección “X” 0.00031 y en la dirección “Y” 0.00047; ambos sistemas cumplen con la limitación de derivas máximas menores a 0.005 establecido en la norma; por tal motivo se concluye que el sistema de AC contempla más deformaciones siendo más dúctil a comparación del sistema MDL con menos deformación y tiende a ser más rígido.

VI. RECOMENDACIONES

1. Los muros de ductilidad limitada tienen una función estructural, es por ello que no se debe realizar cambios o modificaciones en la distribución de ambientes de la edificación.
2. En el sistema de muros de ductilidad limitada se recomienda que en los muros de la dirección “X” o “Y” que tengan longitudes mayores a 4m, colocar juntas de dilatación para lograr un mejor comportamiento estructural.
3. Realizar un estudio completo de mecánica de suelos de la zona de estudio, para determinar el tipo de suelo, su capacidad portante, capacidad admisible, módulo de balasto del sitio a cimentar y otros parámetros que determinen si el terreno necesita ser mejorado.
4. Para el proceso de construcción de una platea de cimentación se debe tener cuidado en la armadura del refuerzo y en los espaciadores para que garanticen un adecuado recubrimiento.
5. En el sistema de albañilería se debe emplear una adecuada separación entre confinamientos verticales, porque si existe una excesiva distancia pierde el efecto de confinamiento en la parte central del muro.
6. Se recomienda que el análisis realizado por los programas de software sea comprobados por un especialista (calculista) mediante métodos aproximados, para que de esta manera los resultados obtenidos sean confiables y coherentes.

VII. REFERENCIAS

- ABANTO Castillo, Flavio. Análisis y Diseño de Edificaciones de Albañilería. 2da. Edición. Lima: Talleres Gráficos de Editorial San Marcos, 2005. Pp. 320.
- ARANGO Ortiz, Julio. Análisis, Diseño y Construcción en Albañilería. 1ra. edición: José Cuizano Vargas, 2002. Pp.165.
- ARTHUR H, Nilson. Diseño de Estructuras de Concreto. Duodécima Edición, Colombia 2001. Pp. 9-18.
- BLANCO Blasco, Antonio. Diseño de Muros. Capítulo de Ingeniería Civil. pp. 279 – 300.
- BLANCO Blasco, Antonio. Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto armado. 1ra. Edición. Lima: Imprenta PRINCELINNESS. 1994. Pp.300.
- CÁCERES, Ernesto y ENRIQUEZ, Luis. Análisis de costos, diseño sismoresistente-estructural comparativo entre los sistemas de muros de ductilidad limitada y albañilería estructural de un edificio multifamiliar. Tesis (título profesional de Ingeniería Civil). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2017.134 pp.
Disponible en:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2436>.
- GALLEGOS, Héctor y CASABONNE, Carlos. Albañilería Estructural. 3^a. edición: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2005. pp. 341 – 351.
- GARCÍA, Ronal. Análisis comparativo entre el sistema de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada. Tesis (título profesional de Ingeniería Civil). Trujillo: Universidad Privada de Trujillo, 2012.42 pp.
Disponible en:

<http://es.scribd.com/document/273500121/ANALISIS-COMPARATIVO-ENTRE-EL-SISTEMA-DE-MUROS-DE-DUCTILIDAD-LIMITADA-Y-ALBANILERIA-CONFINADA-docx>

- GARCÍA, Álvaro. Hormigón Armado III Elementos estructurales. 1^a. Edición: Fundación Escuela de la Edificación, Madrid 2001. 418 pp.
- GONGORA, Hitler y HUAMÁN, Jhon. Análisis y diseño estructural comparativo de una vivienda multifamiliar de muros de ductilidad limitada de concreto celular y concreto estructural. Tesis (título profesional de Ingeniería Civil). Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, 2015. 240 pp.
Disponible en:
<http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/649/AN%C3%81LISIS%20Y%DISE%C3%910%20ESTRUCTURAL%20COMPARATIVO.pdf>
- GRANADOS, Rodolfo y LÓPEZ, Jorge. Diseño de un edificio de muros de ductilidad limitada de cinco niveles. Tesis (título profesional de Ingeniería Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012. 82 pp.
Disponible en:
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1188>
- HERNÁNDEZ, Luis. Diseño estructural de un edificio de vivienda de albañilería confinada. Tesis (título profesional de Ingeniería Civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2012. 101 pp.
Disponible en:
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/1450>
- MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Perú). NTP E.020: Cargas. Lima: Diario Oficial El Peruano, 23 de mayo del 2006. p.
- MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Perú). NTP E.030: Diseño Sismorresistente. Lima: Diario Oficial El Peruano, 24 de enero del 2016. 32 p.

- MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Perú). NTP E. 060: Concreto Armado. Lima: Diario Oficial El Peruano, 08 de mayo del 2009. 55 p.
- MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Perú). NTP E0.70: Albañilería. Lima: Diario Oficial El Peruano, 2006. 14 p.
- MORALES Morales, Roberto. Diseño de concreto armado. 3ra. Edición. Lima: Fondo Editorial ICG, 2006. Pp.228.
- OTTAZZI G. Diseño en Concreto Armado. 1era. Edición. Lima: Departamento de Ingeniería Pontificia Universidad Católica del Perú, 2006.
- OVIEDO Sarmiento, Ricardo. Concreto Diseño Sismorresistente de Edificaciones de Concreto Armado. 1ra. Edición. Lima: Imprenta DAKYNA, 2016. Pp.314.
- PAULAY T. y PRIESTLEY M. Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings. México, 1992. 735 pp.
- PRIESTLEY [et al.]. Displacement – Based Seismic Design of Structures. 2da Edición: IUSS Pravia Italy, 2007. 510 pp.
- QUIROZ, César. Comparación del comportamiento estructural de una vivienda multifamiliar proyectada mediante los sistemas de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada. Tesis (título profesional de ingeniero civil). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2016. 208 pp.
Disponibile en: <http://refi.upnorte.edu.pe/handle/11537/10254>.
- RODRÍGUEZ, Miguel. Comportamiento a fuerza cortante de muros de concreto de ductilidad limitada con 8cm de espesor. Tesis (título profesional de ingeniero civil). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2011. 101 pp.
- SAN BARTOLOMÉ, Ángel. Construcciones de Albañilería – Comportamiento Sísmico y Estructural. 1ra. Edición. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, 1994. Pp246.

- SANTOYO, Julio. Análisis y diseño estructural comparativo entre el sistema de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada de una vivienda en la ciudad de Lircay. Tesis (título profesional de ingeniero civil). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2015. 109 pp.

Disponible en: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/280>.

- SIFUENTES Castillo, John. Análisis técnico – económico entre los sistemas de muros de ductilidad limitada y de albañilería de un edificio menos envergadura con relación largo ancho a 5, en la Urbanización Los Olivos – Huaraz-2015. Tesis (título profesional de ingeniero civil) Huaraz: Universidad Nacional de Ancash Santiago Antúnez de Mayolo, 2017. 378 pp.

- TICONA Edwin. Análisis y diseño estructural en concreto armado, de un edificio multifamiliar de 6 pisos, ubicado en la ciudad de Arequipa. Tesis (título profesional de ingeniero civil) Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2018, 113 pp.

Disponible en:

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/246>.

- TOMLINSON. Cimentaciones Diseño y Construcción. México: Trillas, 1996. 555Pp.

- VILLARREAL, Genner. Ingeniería Sismo – Resistente. Lima 2013. 100 pp.

- ZAVALETA, Luis. Análisis y diseño estructural comparativo entre el sistema de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada de una vivienda multifamiliar. Tesis (título profesional de ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2009. 222 pp.

Disponible en:

<http://blog.pucp.edu.pe/blog/wpcontent/uploads/sites/82/2009/09/ZTESIS-MDL-vs-AC.pdf>

