

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO
SÍSMICO EN UNA EDIFICACIÓN TIPO APORTICADO
DE 4 NIVELES DE CONCRETO REFORZADO
TRADICIONAL Y LIVIANO, TRUJILLO 2022

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autores:

Carlos Junior Ferrer Espinola

Karyme Geraldly Mantilla Urcia

Asesor:

Mg. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina

<https://orcid.org/0000-0003-1737-3500>

Trujillo - Perú

2023

JURADO CALIFICADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Sheyla Yuliana Cornejo Rodríguez	41639360
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

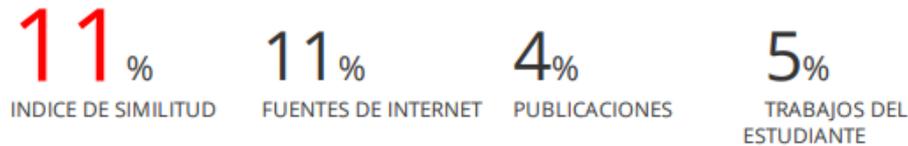
Jurado 2	German Sagastegui Vásquez	45373822
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Alberto Rubén Vásquez Díaz	40385695
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6 %
2	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	es.scribd.com Fuente de Internet	1 %
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1 %
7	Submitted to Doral Academy High School Trabajo del estudiante	1 %

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo de investigación a Dios por acompañarnos y estar siempre con nosotros en cada momento difícil brindándonos fortaleza y sabiduría en este arduo y largo camino por recorrer, orientándonos a lo largo de esta investigación; a nuestros padres, hermanos y familiares, quienes han velado por nuestro bienestar y educación brindándonos su apoyo incondicional para conseguir nuestras metas trazadas; a nuestro asesor y docentes, porque gracias a sus conocimientos, exigencias y consejos ayudaron en nuestra formación profesional, a nuestros amigos agradecerles por apoyarnos en algunos momentos difíciles que pudimos tener durante nuestra formación universitaria.

Los autores

AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios por darnos vida y salud, asimismo por hacer posible este sueño tan anhelado; a nuestros padres, hermanos y familiares por darnos siempre la fortaleza y ánimo en cada momento para no rendirnos; a nuestros amigos por darnos siempre su apoyo incondicional, a nuestros docentes y asesor por estar pendiente en todo el trayecto de esta investigación ya que sin su ayuda nada de esto hubiera podido ser posible.

Los autores

Tabla de contenidos

JURADO CALIFICADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
Tabla de contenidos.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE ECUACIONES	12
RESUMEN	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Realidad problemática.....	14
1.2. Antecedentes de la investigación	19
1.3. Bases teóricas.....	26
1.3.1. Concreto tradicional.....	26
1.3.2. Concreto estructural liviano	26
1.3.3. Componentes del Concreto	28
1.3.4. Propiedades del concreto	30
1.3.5. Estructuras de Concreto Armado	34
1.3.6. Criterios de Estructuración.....	34
1.3.7. Predimensionamiento de elementos estructurales	35
1.3.8. Cargas de diseño:	38
1.3.9. Diseño sismorresistente.....	41
1.3.10. Análisis Sísmico.....	50
1.3.10.1. Análisis Estático (ASE).....	50
1.3.10.2. Análisis Dinámico Modal Espectral	52
1.3.11. Requisitos de Rigidez, Resistencia y Ductilidad	54
1.3.12. Sistema aporticado	54
1.3.13. Diseño en Concreto Armado	55
1.4. Formulación del problema	61
1.5. Objetivos.....	61
1.6. Hipótesis general.....	61

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	62
2.1 Tipo de investigación	62
2.2. Diseño de investigación:	62
2.3. Variables	63
2.3.1. Comportamiento sísmico	63
2.3.2. Clasificación de variables	63
2.3.3. Operacionalización de variables.....	64
2.4. Población y muestra	65
2.5. Procedimiento	68
CAPÍTULO III. RESULTADOS	105
3.1. Estructuración y predimensionamiento	105
3.2. Análisis sísmico estático	107
3.2.1. Fuerza cortante basal estática	107
3.3. Análisis sísmico dinámico.....	107
3.3.1. Distorsión de entrepisos	107
3.3.2. Verificación de irregularidades estructurales	108
3.3.3. Fuerza cortante dinámica mínima	109
3.4. Diseño en concreto armado.....	109
3.4.1. Diseño de vigas	109
3.4.2. Diseño de columnas	114
CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	116
4.1. Discusión	116
4.2. Conclusiones.....	121
4.3. Recomendaciones	124
REFERENCIAS	125
ANEXOS.....	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidades y resistencias para los distintos tipos de concreto ligero.....	28
Tabla 2. Espesores mínimos de losas aligeradas en una dirección	36
Tabla 3. Espesores mínimos de losas macizas en una dirección.....	37
Tabla 4. Pesos unitarios de los materiales más empleados para la construcción.....	38
Tabla 5. Losas aligeradas armadas en una dirección de concreto armado	39
Tabla 6. Cargas vivas mínimas repartidas	40
Tabla 7. Factores de zona “Z”	43
Tabla 8. Clasificación de los perfiles de suelo.....	43
Tabla 9. Factor “S”.....	45
Tabla 10. Periodo “Tp” y “Tl”	45
Tabla 11. Categoría de las edificaciones y factor “U”	46
Tabla 12. Categoría y sistema estructural de la edificación.....	47
Tabla 13. Sistema estructural de concreto armado	47
Tabla 14. Tipos de irregularidades	48
Tabla 15. Tipos de irregularidades en planta.....	49
Tabla 16. Categoría y Regularidad de las Edificaciones.....	49
Tabla 17. Matriz de diseño de investigación	62
Tabla 18. Identificación de las variables	63
Tabla 19. Operacionalización de variables	64
Tabla 20. Dimensiones iniciales de la viga	74
Tabla 21. Área de las columnas para concreto tradicional y liviano.....	75
Tabla 22. Periodos en X, Y para concreto liviano y tradicional	88
Tabla 23. Parámetros para determinar la fuerza cortante en la base	90
Tabla 24. Refuerzo momento máximo negativo en vigas.....	99
Tabla 25. Refuerzo momento máximo positivo en vigas.....	99
Tabla 26. Fuerzas internas de la columna C1 con concreto liviano	101

Tabla 27. Combinaciones de carga de la columna C1 con concreto liviano	101
Tabla 28. Refuerzo transversal en columna de concreto liviano.....	103
Tabla 29. Definición del predimensionamiento en vigas para ambos tipos de concreto	106
Tabla 30. Valores del predimensionamiento en columnas para ambos tipos de concreto.....	106
Tabla 31. Predimensionamiento de losa aligerada para ambos tipos de concreto	106
Tabla 32. Espesor de garganta.....	106
Tabla 33. Cálculo de la fuerza cortante basal estática para el concreto liviano y tradicional.....	107
Tabla 34. Resumen de irregularidades para ambos tipos de concreto.....	108
Tabla 35. Fuerza cortante mínima para el concreto liviano	109
Tabla 36. Fuerza cortante mínima para el concreto tradicional	109
Tabla 37. Refuerzo en la viga de concreto liviano VP-01	109
Tabla 38. Refuerzo en la viga de concreto liviano VP-02	110
Tabla 39. Refuerzo en la viga de concreto liviano VP-03	111
Tabla 40. Refuerzo en la viga de concreto tradicional VP-01	112
Tabla 41. Refuerzo en la viga de concreto tradicional VP-02	112
Tabla 42. Refuerzo en la viga de concreto tradicional VP-03	113
Tabla 43. Definición del refuerzo en columnas para ambos tipos de concretos.....	114
Tabla 44. Matriz para evaluación del experto.....	128
Tabla 45. Matriz de recolección de datos.	129
Tabla 46. Ficha resumen de las propiedades del concreto liviano	130
Tabla 47. Ficha resumen del estudio de mecánica de suelos	131
Tabla 48. Matriz de evaluación del instrumento validada por el experto	132
Tabla 49. Matriz de recolección de datos validada por el experto	133
Tabla 50. Ficha resumen de las propiedades del concreto liviano validada por el experto	134
Tabla 51. Ficha resumen del estudio de mecánica de suelos validada por el experto	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resistencia a la tracción del concreto ligero vs concreto convencional.....	32
Figura 2. Módulo de rotura de un concreto ligero y de un convencional.....	33
Figura 3. Zonas sísmicas con su factor Z.	43
Figura 4. Diagrama de interacción de columna	59
Figura 5. Diagrama de dispersión.....	67
Figura 6. Esquema del proceso de investigación	68
Figura 7. Planta del primer nivel	71
Figura 8. Planta típica del 2° al 4° nivel.....	72
Figura 9. Corte longitudinal	72
Figura 10. Modificación de unidades	76
Figura 11. Creación de grillas en planta de la estructura	77
Figura 12. Definición de las alturas de entrepiso.....	77
Figura 13. Definición de las propiedades del concreto liviano	78
Figura 14. Definición de las propiedades del concreto tradicional	78
Figura 15. Secuencia para definir las secciones transversales de los elementos Frame	79
Figura 16. Creación de la sección transversal de la columna.....	79
Figura 17. Creación de la sección transversal de la viga	80
Figura 18. Ruta para la creación de la losa aligerada.....	80
Figura 19. Modelo tridimensional del edificio	81
Figura 20. Asignación de empotramientos en la base.....	82
Figura 21. Creación de diafragma rígido.....	82
Figura 22. Asignación de diafragma rígido del primer nivel	83
Figura 23. Asignación del brazo rígido para los elementos Frame.	83
Figura 24. Definición de patrón de carga muerta y viva.....	84
Figura 25. Selección de la losa aligerada del edificio con concreto liviano.....	85
Figura 26. Asignación de la carga viva sobre las losas aligeradas del edificio con concreto liviano.....	85
Figura 27. Definición de los parámetros para determinar el peso sísmico.....	86
Figura 28. Definición de los modos de vibrar del edificio de concreto liviano.....	86
Figura 29. Ubicación de la ruta para obtener los porcentajes de masa participativa	87
Figura 30. Periodos y masa participativa del edificio de concreto liviano.....	87
Figura 31. Periodos y masa participativa del edificio de concreto tradicional	88
Figura 32. Ruta de acceso para la creación de los Espectros de diseño para el Sismo en X e Y.....	91

Figura 33. Definición del patrón de carga para el sismo en X.....	91
Figura 34. Creación del patrón de carga para el sismo en Y.....	92
Figura 35. Creación del caso de carga para el análisis sísmico dinámico	92
Figura 36. Definición de la combinación de carga para determinar los desplazamientos laterales..	93
Figura 37. Definición de la combinación de carga para cuantificar el peso sísmico.....	93
Figura 38. Definición de la combinación de diseño en concreto armado.....	94
Figura 39. Definición de la combinación envolvente	94
Figura 40. Desplazamientos laterales máximos en X del centro de masa para la estructura de concreto liviano	95
Figura 41. Fuerzas cortantes dinámicas en cada nivel del edificio de concreto liviano para el Sismo en X.....	95
Figura 42. Modificación de los factores de reducción	96
Figura 43. Definición de pórticos especiales.....	96
Figura 44. Selección de la combinación envolvente.....	97
Figura 45. Disposición del refuerzo longitudinal en cada tramo de viga	97
Figura 46. Acero requerido en el tramo B-C	98
Figura 47. Diagrama de momento flector de la viga VP-01	98
Figura 48. Diagrama de interacción dirección X para concreto liviano	102
Figura 49. Diagrama de interacción dirección X para concreto liviano	102
Figura 50. Distribución de los elementos estructurales de piso típico	105
Figura 51. Distorsiones para el sismo en X.....	107
Figura 52. Distorsiones para el sismo en Y.....	108
Figura 53. Diseño por corte del tramo B-C con concreto liviano	136
Figura 54. Verificación de irregularidad de rigidez – piso blando para el concreto liviano.....	137
Figura 55. Verificación de irregularidad de resistencia – piso débil para el concreto liviano.....	138
Figura 56. Verificación de irregularidad torsional para el concreto liviano.....	139
Figura 57. Verificación de irregularidad de rigidez – piso blando para el concreto tradicional.....	140
Figura 58. Verificación de irregularidad de resistencia – piso débil para el concreto tradicional...	141
Figura 59. Verificación de irregularidad estructural en planta – irregularidad torsional para el concreto tradicional.....	142

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Peralte mínimo en vigas.	36
Ecuación 2: Ancho mínimo en vigas.	36
Ecuación 3: Área de columnas esquineras y laterales.	37
Ecuación 4: Área de columnas centrales	37
Ecuación 5: Peso de servici.	37
Ecuación 6: Factor de amplificación sísmica cuando $T < T_p$	45
Ecuación 7: Factor de amplificación sísmica cuando $T_p < T < T_L$	45
Ecuación 8: Factor de amplificación sísmica cuando $T > T_L$	46
Ecuación 9: Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas.	49
Ecuación 10: Fuerza cortante en la base.	51
Ecuación 11: Condición para obtener la fuerza cortante.	51
Ecuación 12: Periodo fundamental de la estructura.	51
Ecuación 13: Periodo alternativo.	52
Ecuación 14: Espectro de pseudo-aceleración.	53
Ecuación 15: Acero mínimo en vigas.	57
Ecuación 16: Momento nominal.	57
Ecuación 17: Altura del bloque equivalente.	57
Ecuación 18: Fuerza cortante del concreto.	58

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la ciudad de Trujillo, se realizó el análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporricado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano. Para la elaboración de la tesis se utilizó un diseño no experimental – descriptivo, de tipo transversal; la población son todas las edificaciones de concreto tradicional y liviano, la recolección de datos se realizó con la técnica revisión documental y observación directa, el instrumento utilizado fue matriz de datos. La problemática es que la ciudad de Trujillo no ha sufrido un evento sísmico de magnitudes considerables pese a estar situada en una zona altamente sísmica, por tal motivo el silencio sísmico es un factor por considerar. La estructura modelada con concreto liviano alcanzó la máxima deriva de 6.7 % en la dirección X, se obtuvo una reducción en el cortante estático del 11.17 %, además la variación máxima en la cantidad de acero longitudinal fue 43.42 %. Se concluye que, la estructura modelada con concreto liviano presentó un mejor comportamiento sísmico, puesto que cumplió con el control de distorsiones de entrepiso y una disminución en las fuerzas internas de los elementos horizontales (vigas) ocasionando una reducción del refuerzo longitudinal.

PALABRAS CLAVES: Comportamiento sísmico, concreto liviano, deriva, acero longitudinal.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La gran mayoría de los países a nivel mundial están expuestos a movimientos telúricos, los cuales se producen cuando dos placas tectónicas entran en contacto, por tal motivo, es importante que las estructuras tengan un adecuado diseño sismorresistente. Es por lo que, el campo de la ingeniería sísmica se evalúa el comportamiento sísmico que presentará una estructura ante sollicitaciones sísmicas. Por otra parte, uno de los métodos más empleados por los ingenieros estructurales es el análisis sísmico lineal debido a que la cuantificación de la respuesta de la estructura es más accesible (Hakim et al., 2014).

En España se evaluó el comportamiento sísmico de las edificaciones después del terremoto de Lorca, en estos se observó que las estructuras de concreto armado aun cuando incursionan en el rango elástico pueden provocar daños en los elementos no estructurales. Así mismo, construir un edificio diseñado con errores estructurales en una zona sísmica genera una respuesta inadecuada de la edificación (Carreño et al., 2012).

Chile está situado en una zona con un alto grado de actividad sísmica, así mismo un gran número de edificaciones han sido diseñados y construidas sin considerar criterios normativos sismorresistentes. Por tal motivo, existe un interés en realizar investigaciones para conocer las metodologías que toman en cuenta la incertidumbre de los parámetros sísmicos y criterios estructurales a considerar en el modelamiento estructural, con el propósito de poder representar el comportamiento sísmico de las estructuras frente a sollicitaciones sísmicas (Barahona, 2020).

En Ecuador las edificaciones no cuentan con un diseño sismorresistente adecuado, por lo que estas presentan un índice de vulnerabilidad alto, por tal motivo se evaluó el

desempeño sísmico de un edificio aporticado mediante la metodología basada en desempeño, la cual consiste en predecir la respuesta que presentará la estructura frente a un evento sísmico. Así mismo el punto de desempeño es un indicador del daño de la estructura. Además, cabe mencionar que, la disipación de energía de una estructura se produce mediante la formación de rótulas plásticas (Cabrera & Sánchez, 2016).

En Lima se investigó acerca del diseño por desempeño de un edificio destinado a vivienda situado en el distrito de Miraflores, esta metodología de la ingeniería sísmica consiste en predecir la respuesta que tendrá la estructura al estar sometida a diversas aceleraciones del suelo. Por consiguiente, se garantiza un diseño apropiado de acuerdo con el grado de importancia de la edificación, igualmente permite conocer si un edificio existente necesita ser reparado luego de experimentar un evento sísmico. Por otra parte, al superponer el espectro de capacidad con el espectro de demanda de la norma E.030 se obtienen los puntos de desempeño de la edificación (Paredes, 2016).

La ciudad de Trujillo se encuentra ubicada en la zona 4 según la norma E.030, por lo que está propensa a sufrir movimientos telúricos frecuentemente. Sin embargo, en los últimos años presenta un crecimiento significativo en la actividad edificadora inmobiliaria, por consiguiente, se deben desarrollar y aplicar en la etapa de diseño nuevas metodologías que evalúen el comportamiento sísmico de una estructura al incursionar fuera del rango elástico, así mismo se debe analizar el comportamiento de los materiales al estar sujetos a cargas cíclicas repetitivas (Vergara & Zevallos, 2014).

La Norma Técnica Peruana E.030 proporciona las consideraciones generales para el análisis sísmico, con el cual se puede brindar un nivel de confiabilidad en el comportamiento sísmico de las estructuras sometidas a una intensidad sísmica moderada

o severa, cumpliendo así con la filosofía de diseño sismorresistente indicada en el artículo 3 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Paredes (2016) encontró que, el desempeño sismorresistente de un edificio dual destinado a vivienda en la ciudad de Lima debido a los sismos severos (sismo raro, 10% de probabilidad de ocurrencia en 50 años y sismo muy raro, 2% de probabilidad de ocurrencia en 50 años cumple con lo indicado en la Norma E-030 con respecto a su objetivo del no colapso, pues se obtuvo un nivel de desempeño de Seguridad de Vida y Prevención del Colapso respectivamente. Lo que indica que se protege la seguridad de la vida humana, sin embargo, existirán grandes pérdidas económicas.

Oliveros y Tapahuasco (2019) encontró que, el comportamiento sísmico de una estructura se ve afectada por dos de las propiedades principales del concreto, las cuales son el peso específico y el módulo de elasticidad; consecuentemente al reducir la densidad del concreto se tendrá un menor peso en la edificación, esto contribuye a la reducción de la cortante basal al igual que las fuerzas internas como momentos flectores y cargas axiales; ocasionando una disminución tanto en las dimensiones como en el acero de refuerzo de los elementos estructurales. Por otra parte, la reducción del módulo de elasticidad produce un incremento en las derivas; pero al realizar la verificación de las distorsiones de entrepiso en las estructuras de concreto tradicional y liviano se cumplió con la deriva permisible que indica la norma E.030.

Soriano (2019) encontró que, la aplicación de concreto liviano con arcilla no influyó de manera significativa en el comportamiento sísmico puesto que la variación de las derivas entre el concreto liviano con agregado de arcilla y el concreto normal fueron mínimas (en el eje X de 3.56 % y en el eje Y de 5.34 %). Sin embargo, se observó una

disminución en el peso de la estructura modelada con concreto liviano dado que posee un menor peso específico.

La metodología propuesta por la norma E.030, proporciona los requerimientos mínimos para cumplir con su filosofía de diseño sismorresistente. Por tal motivo, el nivel de desempeño que alcanza una estructura será el de seguridad de vida. Así mismo, se observa que, las propiedades mecánicas del concreto como el peso específico contribuyen en la reducción del peso sísmico de la edificación, así como en los esfuerzos internos de los elementos estructurales; por otra parte, la reducción del módulo de elasticidad genera un incremento en los desplazamientos laterales que presenta una estructura.

El Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), es una empresa que durante sus 30 años de funcionamiento ha realizado diversos trabajos de microzonificación sísmica de un gran número de ciudades a nivel nacional. Así mismo, en el laboratorio de estructuras se realizan ensayos para determinar las propiedades mecánicas de los materiales de construcción, así como el comportamiento de las estructuras sometidas a la acción sísmica con respecto a sus propiedades dinámicas. Por consiguiente, las investigaciones teóricas y experimentales permiten solucionar problemas de ingeniería estructural asociados a los efectos producidos por los sismos.

GCAQ Ingenieros Civiles, es una empresa de consultoría que cuenta con más de 57 años de experiencia, su trabajo está basado en la tecnología e innovación constante. Participó en el diseño estructural de la nueva sede del Banco de la Nación en San Borja, este edificio es el más alto del Perú, posee una altura de 135 m, tiene 30 pisos destinados a oficinas, 4 niveles de sótanos y un área construida de 66 000 m². El edificio está

compuesto en su parte central por un núcleo rígido en base a placas de concreto, que ayudan aminorar los efectos sísmicos; las columnas tienen 2° de inclinación y las losas son planas postensadas (sin vigas) con lo que se logró optimizar el proceso constructivo y maximizar el uso de espacios interiores.

La ciudad de Trujillo en el año 1619, 1725 y 1759 ha sufrido los sismos de mayor intensidad sísmica en su historia, provocando consecuencias fatales como la destrucción parcial o total de las estructuras de la época, además se encuentra asentada sobre suelo blando (arena mal graduada) y gran parte de las edificaciones se construyen sin algún tipo de criterio técnico. Por tal motivo, Trujillo es considerada como una ciudad altamente vulnerable ante un sismo severo debido a sus antecedentes sísmicos (Escobedo, 1994).

Por otra parte, las fallas estructurales como piso blando, rótula plástica, columna corta, fundaciones inadecuadas, entre otras; se generan a causa de factores como la falta de estudios de mecánica de suelos, procesos constructivos inadecuados, así como diseños arquitectónicos y estructurales deficientes que provocan un comportamiento desfavorable en las edificaciones de concreto armado frente a un evento sísmico (Blanco, 2012).

La dosificación, la calidad de los materiales y el uso de aditivos en el diseño de mezcla modifican las propiedades mecánicas del concreto, tales como la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad y peso específico, las cuales influyen de manera considerable en la respuesta estructural que tendrá la edificación sometida a ciertos niveles de demanda sísmica (Yépez, 2020).

Por consiguiente, la presente investigación propone realizar un análisis comparativo del comportamiento sísmico entre una edificación tipo aporricada de 4 niveles de

concreto reforzado tradicional y una de concreto liviano ubicadas en la ciudad de Trujillo, mediante los lineamientos establecidos en la norma de diseño sismorresistente, en la cual se especifica la metodología para determinar los desplazamientos y fuerzas internas por sismo, los cuales son aspectos significativos del comportamiento sísmico de las estructuras cuando están sometidas al movimiento desordenado del suelo.

Las consecuencias de no comparar el comportamiento sísmico de una edificación tipo aporricado de concreto reforzado tradicional y liviano resulta perjudicial, puesto que, las propiedades mecánicas del concreto influyen en la respuesta sísmica de la estructura frente a un nivel de demanda sísmica. Así mismo el modo de vibrar de la estructura depende de la rigidez y la distribución de las masas, de manera que, es contraproducente no buscar alternativas que aminoren la carga muerta de las edificaciones y así reducir los esfuerzos.

Existe actualmente un volumen reducido de investigaciones en cuanto al análisis sísmico de estructuras echas con concreto liviano estructural, por tal motivo su aplicación en el sector de la construcción de edificaciones es limitada. Es así que, esta investigación pretende comprobar si es conveniente sísmicamente el uso del concreto liviano estructural.

1.2. Antecedentes de la investigación

Serrano (2018), tuvo como objetivo determinar las propiedades físico-mecánicas del concreto liviano a base de poliestireno expandido (p.17). Este análisis se realizó mediante normas y protocolos donde se obtienen valores, los cuales son arrojados por medio de los ensayos realizados y así poder saber cuál es el comportamiento de las probetas con la adición de perlas de poliestireno. Para la recolección de datos extraído en el laboratorio se empleó el programa computacional Microsoft Excel

(p.64). De acuerdo con el objetivo se obtuvo como resultado que, se adicionaron 41.28 kgf/m^3 de perlas de poliestireno de $\frac{1}{4}$ " para el diseño de un concreto estructural de 1800 kgf/m^3 , el cual arrojó una resistencia a la compresión de 242 kgf/cm^2 , una densidad de 1843 kgf/m^3 y una resistencia a la tracción de 26.0 kgf/cm^2 a los 21 días de curado, quedando en el rango permisible para concreto liviano. Por lo que, llega a la conclusión que, al sustituir el agregado grueso por perlas de poliestireno expandido de $\frac{1}{4}$ " nos da un concreto ligero con una resistencia de 210 kgf/cm^2 , por lo tanto, la estructura tendrá un menor peso tanto en las dimensiones como en el acero de refuerzo de los elementos estructurales, lo que significa que presenta un buen comportamiento frente a un sismo, cumpliendo la filosofía de diseño.

La presente investigación nos aporta la influencia de las perlas de poliestireno como remplazo de agregado grueso, en las propiedades mecánicas (densidad, resistencia tracción y compresión) de un concreto liviano estructural. Es así como, se elaboró un diseño de mezcla que satisfaga la normativa E.060, la cual indica que para elementos de concreto liviano resistentes a fuerzas sísmicas la resistencia a la compresión debe ser mayor igual a 210 kgf/cm^2 y una densidad menor igual a 1850 kgf/m^3 .

Oliveros y Tapahuasco (2019), en su investigación tuvieron como objetivo comparar el desempeño sísmico de 2 estructuras, una con concreto tradicional y la otra con concreto ligero de arcilla expandida, con la finalidad de analizar la influencia del concreto ligero en el desempeño estructural (p.4). Por otra parte, en nuestro País el concreto ligero es un material muy poco utilizado como objetivo de diseño sismorresistente, por lo que, en base a criterios de normativas tanto nacionales como internacionales se aplicó el método de diseño por desempeño para apreciar un mejor detalle de las diferencias estructurales entre ambos concretos. Además, para la

recolección de datos se emplearon programas computacionales como ETABS y EXCEL (p.29). De acuerdo con el objetivo se obtuvo como resultado que, el concreto liviano de arcilla cumple con el requerimiento de densidad para uso estructural, al desarrollar una densidad de 1600 kgf/m^3 a los 28 días estando en el rango permisible de 1400 kgf/m^3 a 2200 kgf/m^3 . Por lo que llega a la conclusión que, el desempeño sísmico de una vivienda se ve afectada por dos de las propiedades principales del concreto, las cuales son el peso específico y el módulo de elasticidad; consecuentemente al reducir el peso específico se tendrá un menor peso en la edificación, esto contribuye a la reducción de la cortante basal al igual que las fuerzas internas como momentos flectores y cargas axiales; ocasionando una disminución tanto en las dimensiones como en el acero de refuerzo de los elementos estructurales, lo que significa que no presenta un buen comportamiento frente a fuerzas sísmicas incumpliendo con los objetivos básicos de desempeño para una vivienda (p.287).

Esta investigación aporta conocimientos con respecto a las propiedades mecánicas e influencia del concreto liviano en los principales elementos estructurales de las edificaciones. De manera que, se hace uso de la norma técnica de Diseño Sismorresistente; así mismo, da a conocer la comparación entre los modelos constitutivos esfuerzo-deformación del concreto liviano y tradicional; por último, ofrece un cuadro comparativo entre los valores de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de ambos tipos de concreto.

Paredes (2016), planteó como objetivo comparar el punto de desempeño de una vivienda situada en la ciudad de Lima frente a distintas sollicitaciones sísmicas (sismo moderado y sismo severo) con los objetivos indicados en la norma de diseño sismorresistente (la estructura ante un sismo moderado experimentará daños

Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aparcado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022.

reparables mientras que para un sismo severo no debería colapsar) (p.8). Consecuentemente se analizó la estructura mediante el análisis sísmico estático y dinámico, así mismo, se aplicó la metodología de diseño por desempeño empleando el análisis estático no lineal Pushover. Además, para el modelamiento de la estructura se utilizó el software SAP 2000 (p.4). De los resultados obtenidos, las derivas de entrepiso máximas para el sismo en X e Y fueron 0.005 y 0.006 respectivamente. Por otra parte, en la dirección X el cortante dinámico en la base fue 594.72 tnf y el estático 589.78 tnf, mientras que, en la dirección Y el cortante dinámico en la base tuvo un valor de 740.66 tnf y el estático 505.54 tnf (p.67). Se concluye que el desempeño sismorresistente de un edificio dual destinado a vivienda en la ciudad de Lima debido a los sismos severos (raro y muy raro) cumple con lo indicado en la Norma E.030 con respecto a su objetivo del no colapso, pues se obtuvo un nivel de desempeño de Seguridad de Vida y Prevención del Colapso respectivamente. Lo que indica que se protege la seguridad de la vida humana, sin embargo, existirán grandes pérdidas económicas (p.145).

La presente investigación aporta conceptos importantes establecidos en la Norma Técnica E.030, con respecto al análisis estático se muestran los factores para cuantificar la cortante en la base, mientras que para el método dinámico modal espectral se muestra los parámetros para tener en cuenta para la construcción del espectro de Pseudo –Aceleración. Por último, demuestra cómo transformar el desplazamiento elástico en inelástico para obtener las distorsiones de entrepiso.

Cárdenas (2019), consideró como objetivo analizar y diseñar estructuralmente un edificio multifamiliar de seis pisos de concreto armado ubicado en el distrito de Surco, Lima (p.12). Se realizó iterativamente análisis sísmicos preliminares,

comprobando el orden que las derivas sean contrastadas con las máximas permisibles de la Norma E.030, el modelamiento se realizó en el software Etabs (p.3). Se obtuvieron periodos fundamentales para ambas direcciones X e Y de 0.49 s y 0.42 s respectivamente, además se determinaron las derivas máximas de 0.0047 para el sismo en X y 0.0042 para el sismo en Y, siguiendo con los resultados del cortante estático y dinámico se amplificaron por 1.06 en X y 1.10 en Y, para poder cumplir con la Norma E.030. Por último, se concluye que, las derivas de entrepiso obtenidas en ambas direcciones cumplieron con la máxima de 0.007 tal como lo estipula la Norma E.030, por otro lado, para cumplir que la fuerza cortante dinámica sea mayor al 80 % de la cortante estática se multiplicaron en ambas direcciones por 1.06 y 1.10 cumpliendo con la Norma E.030 (p.108).

La presente investigación aporta que para poder cumplir un diseño adecuado y seguro se debe cumplir con los requerimientos exigidos por la Norme Técnica Diseño Sismorresistente E.030. Por otra parte, se comprobaron que las derivas sean de acuerdo con la norma E.030 para luego definir las secciones de los elementos estructurales logrando que se cumpla los lineamientos exigidos por la Norma E.060. Roncal (2017), en su investigación propuso realizar el análisis sismorresistente y diseñar estructuralmente un edificio de viviendas de concreto armado siguiendo los criterios y lineamientos establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (p.11). De modo que, realizó el análisis dinámico de la estructura mediante el uso del software ETABS y para el diseño de los elementos en concreto armado se hizo uso del Método por Resistencia, teniendo como referencia a las Norma E.030 y E.060 (p.2). Se obtuvieron los siguientes resultados: espesor de losa de 20 cm para poder controlar los momentos y fuerzas cortantes que lo solicitaban, los periodos

fundamentales para en $X = 0.62$ s y en $Y = 0.23$ s, derivas de entrepiso en $X = 0.0053$, $Y = 0.00114$. Se concluye que, en ninguna dirección se presentan derivas mayores al límite de 0.007 permitido en la Norma E.030 para edificios de concreto armado, del mismo modo se comprobó que la cortante basal fuera mayor al 80 % del valor de la cortante estática (p.104).

La presente investigación aporta en como analizar sísmicamente y realizar el diseño de concreto armado siguiendo los criterios y lineamientos especificados con la norma E.030, además deben ir de la mano con las normas E.020 Cargas, E.050 Suelos y Cimentaciones, E.060 Concreto Armado, con el fin de garantizar un óptimo diseño estructural.

Mario y Moscoso (2016), plantearon como objetivo realizar un análisis comparativo de la respuesta sísmica mediante el análisis sísmico dinámico aplicando la norma peruana E.030 y la norma chilena NCh 433.Of1996 en una edificación de concreto armado con sistema dual (p.22). Se realizó el modelamiento en el software Etabs, dónde se obtuvo las derivas inelásticas del análisis dinámico y los resultados de la respuesta sísmica de la edificación utilizando ambas normas de diseño sismorresistente (E.030 del 2016 y la NCh 433of96). Se obtuvieron como resultados para el análisis dinámico los desplazamientos máximos en la dirección $X = 10.49$ cm e $Y = 2.79$ cm ambos en el quinto piso según la normativa peruana, para las derivas máximas en X e Y son de 0.0065 y 0.0023 respectivamente. Se concluye que, la norma peruana presenta valores más cercanos a los límites de derivas y por ende es más rigurosa, esto a razón de los reajustes posteriores al análisis sísmico dinámico modal espectral, además fuerzas cortantes en la dirección “X” son mayores en la norma chilena (p.188).

Este estudio aporta un mejor entendimiento en cuanto a los valores de las distorsiones de entrepiso que según nuestra Norma E.030 son fijos, en comparación a la normativa chilena, la cual no considera un valor ya predeterminado teniendo en consideración el tipo de estructura, sino que este límite es 0.002 multiplicado por la altura de entrepiso. Cabe recalcar que la norma chilena presenta parámetros más rigurosos y exactos.

Arana (2019), tuvo como objetivo comparar el comportamiento estructural mediante los parámetros de masa, cortantes dinámicas y deriva o desplazamientos aplicando la normativa peruana (E.030), chilena (NCh433) y ecuatoriana (NEC-SE-DS), en una edificación tipo aporticada de concreto armado de 5 niveles, situada en la ciudad de Cajamarca (p.11). De modo que, se aplicó el método del análisis modal espectral en el modelamiento de una estructura mediante el software Etabs 2016, es así como, se construyó el espectro de respuesta en base a los parámetros de cada normativa (p.67). De acuerdo con los resultados obtenidos, la normativa chilena alcanzó el máximo contante tanto en X como en Y los cuales fueron 64.08 tnf y 66.54 tnf respectivamente, así mismo en la dirección Y se logró el mayor desplazamiento medio entre dos pisos consecutivos, el cual tuvo un valor de 0.4421 superando el límite de la norma en 62.54 %. Se concluye que, en cada normativa el porcentaje de masa participativa se supera en el modo 5 para ambas direcciones de análisis. Así mismo, las cortantes dinámicas superan la restricción de cada normativa. También, tanto la norma peruana como ecuatoriana cumplieron con las derivas máximas, sin embargo, la norma chilena no cumple en la dirección Y, por lo que se tiene que reformular el diseño de los elementos estructurales con la finalidad de aportar rigidez y garantizar el funcionamiento de la edificación (p.151).

Este estudio aporta una mejor comprensión de la norma peruana de diseño sismorresistente, con respecto al análisis modal espectral, así como las restricciones que se deben tener en cuenta con respecto a la cortante basal dinámica. Por otra parte, nos orienta en la construcción del espectro de respuesta en base a los parámetros del suelo, el cálculo de las distorsiones de entrepiso, periodos y los modos de vibración que presenta una estructura tipo aporticada.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Concreto tradicional

El concreto es principalmente una mezcla de dos elementos: pasta y agregados. La pasta está formada por cemento portland y agua, y los agregados normalmente grava y arena creando una masa semejante a una roca, producto de la reacción química del cemento y agua (Kosmatka et al., 2002). Tiene un peso aproximado de 2300 kgf/m³ (Norma Técnica E.060 Concreto Armado, 2009).

1.3.2. Concreto estructural liviano

Concreto con agregado liviano que cumple con lo especificado en la norma técnica peruana E.060, y tiene una densidad de equilibrio, determinada por “Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete” (ASTM C 567), que no excede 1850 kgf/m³. En esta Norma, un concreto liviano sin arena natural se llama “concreto liviano en todos sus componentes” y un concreto liviano en el que todo el agregado fino sea arena de peso normal se llama “concreto liviano con arena de peso normal” (Norma Técnica E.060 Concreto Armado, 2009).

1.3.2.1. Tipos de concreto liviano

De acuerdo con la Portland Association Cement (2004) se identifican los siguientes tipos de concretos livianos; debido a que las propiedades dependen del diseño y materiales. Este concreto se clasifica por aplicación, densidad y composición.

✓ **Concreto ligero estructural**

Es un concreto semejante al concreto de peso normal, con la excepción que éste tiene una densidad menor la cual varía entre 1350 kgf/m^3 a 1850 kgf/m^3 , éste se elabora con agregados ligeros o con una combinación de agregados ligeros y normales, en general llega a una resistencia a la compresión mayor de 180 kgf/cm^2 al culminar los 28 días de curado.

Este concreto se usa primordialmente para disminuir la carga muerta (peso propio, carga permanente) de los elementos de concreto.

✓ **Concreto ligero aislante de resistencia baja**

Puede llegar a una densidad no mayor que 800 kgf/m^3 el concreto aislante de resistencia baja, los materiales con el que se elabora pueden ser los mismos que contienen el concreto convencional adicionándole aditivo químico. La resistencia a la compresión que puede alcanzar después de los 28 días es de 7 a 70 kgf/cm^2 . Este concreto se suele utilizar para el aislamiento térmico y acústico, cubiertas, relleno para subbases de losas, capas de nivelación de pisos o cubiertas, muros a prueba de fuego y revestimientos de conductos térmicos subterráneos.

✓ **Concreto ligero aislante de resistencia moderada**

El concreto liviano de resistencia moderada tiene una densidad entre los 800 kgf/m³ y 1900 kgf/m³ con una resistencia a la compresión desde 70 kgf/cm² a 180 kgf/cm², se pueden utilizar los mismos materiales que contiene el concreto convencional.

El concreto ligero con densidad elevada se utiliza en muros colados de obra, pisos y cubiertas, paneles prefabricados para muros y pisos. En la tabla N°1 se resumen los valores mencionados de densidad y resistencia en los diferentes tipos de concretos ligeros.

Tabla 1.

Densidades y resistencias para los distintos tipos de concreto ligero

Concreto liviano	Densidad (kgf/m³)	Resistencia a la compresión (kgf/cm²)
Estructural de baja densidad	1350 - 1850	> 180
Densidad y resistencia baja	hasta 800	7 - 70
Densidad y resistencia moderada	800 - 1900	70 - 180

Nota. Adaptado de *Diseño y control de Mezclas de Concreto* (p.375), por Portland Cement Association, 2004.

1.3.3. Componentes del Concreto

1.3.3.1. Agregado Fino

Es aquel agregado proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm (3/8”). La arena es el agregado fino proveniente de la desintegración natural de las rocas (Norma Técnica Peruana 400.011, 2008).

1.3.3.2. Agregado Grueso

Es aquel agregado proveniente de la disgregación natural o artificial de la roca, se retiene en el tamiz normalizado 4.75 mm (N°4). La piedra triturada o chancada es el agregado grueso obtenido por trituración artificial o

mecánica de rocas o gravas, escorias u otros (Norma Técnica Peruana 400.011, 2008).

1.3.3.3. Agregados Ligeros

De acuerdo con la Norma Técnica Peruana 400.011 (2008), se define como un agregado de densidad baja y se utiliza para elaborar concreto ligero. Se clasifican por 2 tipos: origen natural y artificial.

Por su origen natural los más utilizados son: piedra pómez, diatomita, escoria, cenizas volcánicas, viruta de madera y cáscara de arroz.

Por su origen artificial tenemos: escoria expandida, pizarra expandida, ladrillos triturados, perlita expandida, vermiculita y arcilla expandida.

- **Perlas de poliestireno**

La base del poliestireno es el estireno, un líquido cuyas moléculas se polimerizan, dando origen a las macromoléculas de poliestireno. El estireno se mezcla íntimamente con agua y un agente de expansión: el hidrocarburo pentano C₅H₁₂.

El poliestireno expandido, se pre- expande en grandes ollas entre 90 °C a 150 °C, por lo cual su volumen aumenta hasta 50 veces debido a la acción del agente de expansión, dando origen a la “perlita” de poliestireno. Estas son las perlitas que usamos como agregado en el hormigón se complementan con aditivos (Aramayo et al., 2003).

1.3.3.4. Cemento Portland

El cemento es una de las materias primas de la construcción más populares e indispensable, es el elemento activo en una mezcla de concreto, ya que, no hay obra alguna que se pueda elaborar sin su uso. Éste es un material

aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales permiten unir fragmentos entre sí para dar como resultado algo compacto con resistencia y durabilidad (Sanchez, 2001).

1.3.3.5. Agua

El agua potable es utilizada en la elaboración y curado del concreto. Se podrá emplear agua no potable siempre y cuando esté limpia y libre de cantidades perjudiciales (ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias) que puedan dañar las propiedades del concreto y el acero de refuerzo. (Norma Técnica E.060 Concreto Armado, 2009)

1.3.3.6. Aditivo

De acuerdo con la Norma E.060 Concreto Armado (2019) el aditivo es un material diferente al agua, a los agregados y al cemento hidráulico, se utiliza como un componente del concreto el cual se añade antes o durante la mezcla con la finalidad de modificar sus propiedades y reducir costos de operación.

1.3.4. Propiedades del concreto

1.3.4.1. Resistencia a la compresión

Los niveles de resistencia a la compresión mínimos normalmente requeridos por la industria de la construcción son entre 21 MPa a 35 MPa. Muchas veces dependiendo de la dosificación el concreto puede alcanzar resistencias superiores a los 35 MPa, dos de los casos en las estructuras civiles son: la plataforma de Heidrun y los puentes noruegos, donde se obtuvo una resistencia a la compresión de 60 MPa (ACI 213R, 2003).

1.3.4.2. Densidad

La densidad del concreto es una función de las proporciones de la mezcla, contenido de aire, demanda de agua, densidad relativa de partículas y contenido de humedad absorbida del agregado ligero. La disminución de la densidad del concreto expuesto se debe a la pérdida de humedad (ACI 213R, 2003).

1.3.4.3. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto depende de las cantidades relativas de pasta y agregado, además del módulo de cada constituyente. El concreto convencional tiene un módulo de elasticidad más alto, esto se debe a que los módulos de elasticidad de los agregados de peso normal tales como la arena, piedra y grava son mayores a los módulos de los agregados ligeros. Normalmente, se considera que el módulo de elasticidad para el hormigón ligero varía entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ del módulo de elasticidad del concreto convencional (ACI 213R, 2003).

1.3.4.4. Coeficiente de Poisson

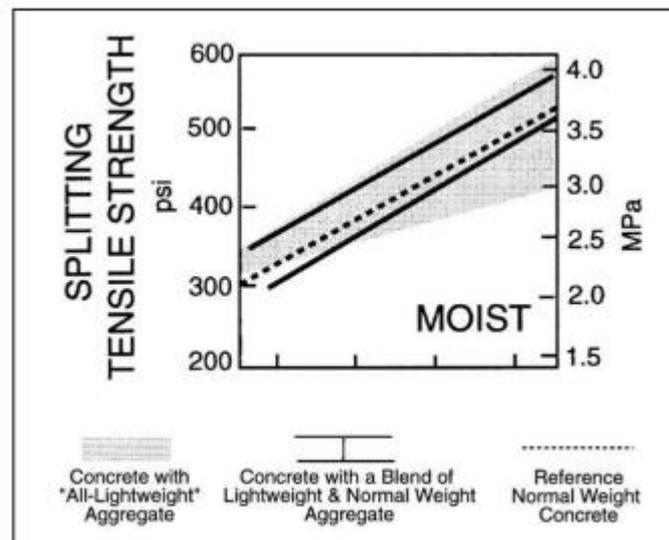
Las pruebas según la norma ASTM C469 para determinar el coeficiente de Poisson del concreto ligero se realiza mediante métodos de resonancia que muestran la variación ligeramente en comparación al concreto convencional, estos valores encontrados variaban entre 0.16 y 0.25, siendo el promedio 0.21, por otro lado, el módulo del concreto de peso normal varía entre 0.15 y 0.25 con un promedio de 0.20 (ACI 213R, 2003).

1.3.4.5. Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción del concreto liviano varía entre un 70 % - 100 % con respecto a la del concreto convencional, esto sucede cuando ambos tienen una resistencia a la compresión igual. Para aumentar la resistencia a la tracción se tendría que reemplazar el agregado liviano por agregado de peso normal (ACI 213R, 2003). En la figura N°1 veremos una comparación de la resistencia.

Figura 1

Resistencia a la tracción del concreto ligero vs concreto convencional



Nota. Gráfico comparativo de la resistencia a la tracción del concreto ligero y concreto tradicional. Tomado de *ACI 213R-14* (p.13), 2014.

1.3.4.6. Módulo de rotura

De acuerdo con la norma ASTM C 78 el módulo de rotura es considerado una medida de la resistencia a la tracción del concreto.

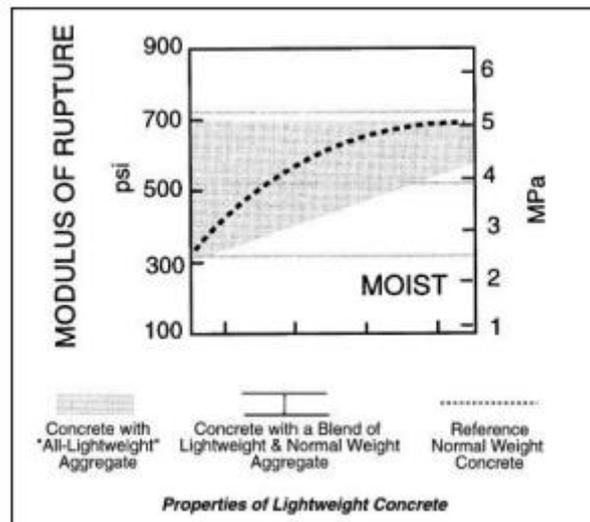
Luego de realizarse los ensayos adecuados se informó que el módulo de rotura del concreto ligero de alta resistencia cumplía con los requisitos de la AASHTO para ser utilizados con fines estructurales, esto es debido a que los

Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022.

módulos de rotura obtenidos eran de un 60 % a 85 % al valor de los obtenidos con el concreto convencional de alta resistencia (Huffington, 2000). Los resultados del módulo de rotura para ambos concretos se muestran en la Figura 2.

Figura 2

Módulo de rotura de un concreto ligero y de un convencional.



Nota. Gráfico comparativo del módulo de rotura del concreto ligero y concreto tradicional. Tomado de *ACI 213R-14* (p.13), 2014.

1.3.4.7. Durabilidad del concreto ligero:

La durabilidad del concreto liviano frente a situaciones adversas como lo son: el congelamiento, descongelamiento, corrosión, sulfatos, cloruros y la acción del agua; depende de la capacidad que posee este material para mantener sus propiedades físicas y mecánicas durante su vida útil (ACI 213R, 2003).

En Europa y América del norte existen diversos programas que someten al concreto bajo condiciones de congelamiento y descongelamiento de manera acelerada, en los cuales se indagó el comportamiento del concreto liviano con aire comprimido, al realizar estos tipos de ensayos se obtienen resultados satisfactorios de durabilidad.

Es así como, frente a situaciones externas como la contaminación natural, congelamiento y descongelamiento; el concreto liviano presenta una mayor resistencia a la micro fisuración debido a que posee una zona densa de contacto en la interfaz de matriz-agregado, según ensayos realizados.

1.3.5. Estructuras de Concreto Armado

Las edificaciones de concreto armado tienen firmeza y requieren de poco mantenimiento, en comparación a otros materiales que cuentan con larga vida de servicio. Estas estructuras pueden utilizarse bajo condiciones apropiadas indefinidamente sin reducir en sus capacidades de carga. La resistencia de las estructuras de concreto no disminuye con el tiempo, al contrario, aumenta con los años debido al largo proceso de solidificación del cemento (McCorman & Brown, 2013).

1.3.6. Criterios de Estructuración

De acuerdo con el libro Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado (1994) del Ingeniero Antonio Blanco, los principales criterios que son necesarios para lograr una estructura sismorresistente son:

- **Simplicidad y Simetría**, las estructuras con esta característica permiten que el comportamiento sea mejor ante sismos, es recomendable estructurar de manera simétrica en ambos sentidos para evitar efectos de torsión.
- **Resistencia y Ductilidad**, se debe garantizar que la estructura tenga resistencia sísmica en al menos dos direcciones ortogonales y tenga una capacidad de deformarse adecuada más allá del rango elástico sin que los elementos fallen.
- **Uniformidad y continuidad de la estructura**, la estructura deber ser continua tanto en planta como elevación para evitar concentraciones de esfuerzos.

- **Rigidez lateral**, los elementos estructurales deben tener la capacidad de soportar las fuerzas sísmicas, pueden presentar deformaciones importantes, pero se debe garantizar la estabilidad de la estructura.
- **Diafragma rígido**, permite simplificar el comportamiento del edificio al hacer que las cargas horizontales sean transmitidas a las columnas y placas dependiendo de su rigidez, provocando una misma deformación lateral, las losas no deben presentar ductos o aberturas en dimensiones grandes, por lo que generará que las fuerzas horizontales no se distribuyan correctamente.
- **Elementos no estructurales**, son tomados en cuenta porque influye en el peso de la estructura.

1.3.7. Predimensionamiento de elementos estructurales

El predimensionamiento es un proceso iterativo en el cual se van optimizando las secciones iniciales de los elementos estructurales, por tal motivo influye mucho la experticia del diseñador. Por otra parte, se pueden utilizar criterios normativos o recomendaciones de ingenieros en el campo de las estructuras con el propósito de disminuir el número de iteraciones para llegar a la sección más conveniente tanto estructural como económicamente.

1.3.7.1. Predimensionamiento de losa aligerada

De acuerdo con la Norma E.060 Concreto Armado, para no verificar deflexiones en losas nervadas en una dirección se debe emplear los espesores mínimos de la tabla N°2.

Tabla 2

Espesores mínimos de losas aligeradas en una dirección

	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{Ln}{16}$	$\frac{Ln}{18.5}$	$\frac{Ln}{21}$	$\frac{Ln}{8}$

Nota. Tomado de Norma E.060 Diseño de Concreto Armado (p.55), 2009.

Dónde: “Ln” es la luz libre del tramo más corto y paralela a la dirección del aligerado.

1.3.7.2. Predimensionamiento de vigas

Para el predimensionamiento del peralte en vigas, generalmente se utiliza la décima o doceava parte de la luz libre del tramo en la dirección más desfavorable y la base se determina mediante la mitad o dos tercios del peralte. Para la presente investigación se optó por las siguientes expresiones:

$$h = \frac{L}{10} \quad \text{Ecuación 1: Peralte mínimo en vigas.}$$

$$b = \frac{h}{2} \quad \text{Ecuación 2: Ancho mínimo en vigas.}$$

Dónde:

h= Peralte de la viga

L= Luz libre

b= Base de la viga.

1.3.7.3. Predimensionamiento de columnas

Las columnas deben ser diseñadas con el propósito de soportar tanto cargas axiales como momentos flectores. Por tal motivo Villarreal (2020), para el predimensionamiento de las columnas menciona los siguientes criterios.

Columnas centrales:

$$\text{Área} = \frac{P_s}{0.45f'c} \quad \text{Ecuación 3: Área de columnas esquineras y laterales.}$$

Columnas excéntricas y esquineras:

$$\text{Área} = \frac{P_s}{0.35f'c} \quad \text{Ecuación 4: Área de columnas centrales}$$

Dónde:

Ps: Peso de servicio

$f'c$: Resistencia del concreto a la compresión

Siendo:

$$P_s = P \times A \times N \quad \text{Ecuación 5: Peso de servicio}$$

P: Carga estimada según la categoría; A=1500 kgf/m², B=1250 kgf/m², C=1000 kgf/m²

A: Área Tributaria

N: Número de niveles

1.3.7.4. Predimensionamiento de escaleras

De acuerdo con la Norma E.060 Concreto Armado, para no verificar deflexiones en losas macizas se debe emplear el espesor mínimo de la garganta que se muestra en la tabla N°3

Tabla 3

Espesores mínimos de losas macizas en una dirección

	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Losas macizas en una dirección	$\frac{Ln}{20}$	$\frac{Ln}{24}$	$\frac{Ln}{28}$	$\frac{Ln}{10}$

Nota. Tomado de Norma E.060 Diseño de Concreto Armado (p.55), 2009.

1.3.8. Cargas de diseño:

De acuerdo con la norma E.020 (2006) define como la fuerza u otra acción que resultan del peso de los materiales de construcción, habitantes y sus bienes; de los movimientos diferenciales, así como los cambios que afectan el medio ambiente

1.3.8.1. Carga Muerta:

Es el peso de los materiales que conforman a la edificación y lo que deberá soportar como son los elementos estructurales, tabiquería, peso propio de la estructura u otros elementos que sean permanentes o con una variación en su magnitud que sea pequeña en el tiempo (Norma Técnica Peruana E.020 Cargas, 2006).

De acuerdo con la norma E.020 Cargas (2020) para analizar los materiales se considerará lo siguiente; se considerará el peso real de los materiales que conforman y los que deberán soportar la edificación, calculados en base a los pesos unitarios que aparecen en la tabla N°4 y 5.

Tabla 4

Pesos unitarios de los materiales más empleados para la construcción.

MATERIALES	PESO kN/m ³ (kgf/m ³)
Albañilería de:	
Unidades de arcilla cocida sólida	18.0 (1800)
Unidades de arcilla cocida hueca	13.5 (1350)
Concreto simple de grava:	23.0 (2300)
Concreto armado	Añadir 1.0 (100) al peso del concreto simple

Nota. Tomado de la Norma E.020 Cargas (p.18), 2006.

Tabla 5

Losas aligeradas armadas en una dirección de concreto armado

Espesor del aligerado (m)	Espesor de losa superior en metros	Peso propio kPa(kgf/m²)
0.17	0.05	2.8 (280)
0.20	0.05	3.0 (300)
0.25	0.05	3.5 (350)
0.30	0.05	4.2 (420)

Nota. Los datos de esta tabla son para losas aligeradas con 0.10m de ancho y 0.40m de distancia entre ejes. Tomado de la *Norma E.020 Cargas* (p.28), 2006.

De acuerdo con la norma E.020 Cargas (2006) para calcular los dispositivos de servicios y equipos se considerará lo siguiente:

El peso de todos los dispositivos de servicio de la edificación, incluyendo las tuberías, ductos, equipos de calefacción y aire acondicionado, instalaciones eléctricas, ascensores, maquinaria para ascensores y otros dispositivos fijos similares, todos estos materiales se incluirá en la carga muerta. El peso de los equipos con los que se amueble una zona dada será considerado como carga viva (Norma Técnica Peruana E.020 Cargas, 2006).

1.3.8.2. Carga Viva

Es el peso de todos los habitantes, materiales, equipos, muebles y todos los elementos movibles que soporta la edificación (Norma Técnica Peruana E.020 Cargas, 2006).

a) Carga viva del piso

Se considerarán estas cargas para todos los niveles que se encuentran divididos en la altura del inmueble, sin considerar el último piso.

- ✓ **Carga mínima repartida:** Se considera esta carga según el uso del piso, usando valores mínimos que se establecen en la tabla N°6. De no

Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aparcado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022.

existir alguno de estos usos, el proyectista deberá sustentar mediante un análisis el valor aproximado, además en los planos se deberá especificar las cargas que se utilizaron para el análisis (Norma Técnica Peruana E.020 Cargas, 2006).

Tabla 6

Cargas vivas mínimas repartidas

OCUPACIÓN O USO	CARGAS REPARTIDAS kPa(kgf/m²)
Viviendas	2,0 (200)
Corredores y escaleras	2,0 (200)

Nota. Tomado de la Norma E.020 Cargas (p.13), 2006.

- ✓ **Carga viva concentrada:** Para pisos y techos que resisten cualquier tipo de maquinaria u otras cargas vivas concentradas en exceso de 5.0 kN (500 kgf) incluyendo el peso de los apoyos o bases, serán diseñados para poder sostener una carga concentrada y de existir múltiples se considerará como un grupo de cargas (Norma Técnica Peruana E.020 Cargas, 2006).

- ✓ **Tabiquería móvil:**

El peso de la tabiquería móvil se añadirá como carga viva repartida por metro cuadrado, para divisiones livianas de media altura el valor mínimo es de 0.50 kPa (50 kgf/m²) y para tabiquería de altura completa es de 1.0 kPa (100 kgf/m²). Cuando se contemple tabiquería móvil en el diseño se deberá mencionar en los planos del proyecto (Norma Técnica Peruana E.020 Cargas, 2006).

b) Carga viva del techo

De acuerdo con la Norma Técnica E.020 Cargas (2006), se diseñarán los techos tomando en cuenta las cargas vivas, las de sismo, viento y otras prescritas a continuación. Las cargas vivas mínimas para los techos con una inclinación hasta de 3° con respecto a la horizontal será de 1.0 kPa (100 kgf/m²).

1.3.9. Diseño sismorresistente

La Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente establece condiciones mínimas para el diseño sismorresistente de edificaciones nuevas, para otros tipos de proyectos de distintos usos se requieren consideraciones adicionales que contemplen las exigencias de esta norma. La filosofía de diseño es evitar pérdidas de vidas humanas, adicional a ello se debe asegurar la operatividad continua de los servicios básicos; por otra parte, se debe minimizar los daños ocasionados en el inmueble. La norma manifiesta que no resulta económicamente factible diseñar una estructura con protección completa frente a sismos, la filosofía de ésta es que la estructura no debería colapsar ni causar daños graves debido a movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir.

En caso se haga uso de otros sistemas estructurales y métodos constructivos distintos a los que estipula el Reglamento Nacional de Edificaciones deberán ser aprobados por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y demostrar que la propuesta garantiza adecuados resultados de rigidez, resistencia sísmica y durabilidad.

De acuerdo con la Norma Diseño Sismorresistente E.030 (2018) para el diseño se deben considerar las siguientes condiciones:

Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aparcado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022.

- a) Simetría, tanto en la distribución de masas como en las rigideces.
- b) Peso mínimo, especialmente en los pisos altos.
- c) Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
- d) Resistencia adecuada
- e) Continuidad estructural, tanto en planta como en elevación.
- f) Ductilidad
- g) Deformación limitada.
- h) Inclusión de líneas sucesivas de resistencia.
- i) Consideración de las condiciones locales.
- j) Buena práctica constructiva e inspección estructural rigurosa.

1.3.9.1. Zonificación y factor de zona (Z)

La Norma Diseño Sismorresistente E.030 nos dice que, el territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas, como se muestra en la figura N°3. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica.

Figura 3

Zonas sísmicas con su factor Z.



Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.12), 2018.

En la tabla N°7 se muestran los valores del factor Z, el cual se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 7

Factores de zona "Z"

ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.13), 2018.

1.3.9.2. Perfiles de suelo

En la tabla N°8 se resume los valores para distintos tipos de perfiles de suelo:

Tabla 8

Clasificación de los perfiles de suelo

Perfil	Vs	N60	Su
S0	> 1500 m/s	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa

S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	clasificación basada en el EMS		

Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.15), 2018.

✓ **Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios:**

Según la Norma Técnica Diseño Sismorresistente E.030, menciona que este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT \bar{N}_{60} , entre 15 y 50.
- Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada \bar{S}_u , entre 50 kPa (0.5 kg/cm²) y 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

✓ **Perfil Tipo S3: Suelos Blandos**

De acuerdo con la Norma Técnica Diseño Sismorresistente E.030, menciona que: corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT \bar{N}_{60} menor que 15.
- Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u , entre 25 kPa (0.25 kg/cm²) y 50 kPa (0.5 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.
- Cualquier perfil que no correspondan al tipo S4 y que tenga más de 3 m de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad PI mayor

Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aparcado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022.

que 20, contenido de humedad ω mayor que 40 %, resistencia al corte en condición no drenada $\bar{S}u$ menor que 25 kPa.

1.3.9.3. Parámetros de sitio (S, Tp y Tl)

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL dados en las tablas N° 9 y 10.

Tabla 9

Factor “S”

ZONA/SUELO	S0	S1	S2	S3
Z4	0.8	1.0	1.05	1.1
Z3	0.8	1.0	1.15	1.2
Z2	0.8	1.0	1.20	1.4
Z1	0.8	1.0	1.60	2.0

Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.16), 2018.

Tabla 10

Periodo “Tp” y “Tl”

	Perfiles de suelo			
	S0	S1	S2	S3
Tp	0.30	0.40	0.60	1.00
Tl	3.00	2.50	2.00	1.60

Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.16), 2018.

1.3.9.4. Factor de amplificación sísmica

Conforme a la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente menciona que, de acuerdo con las características de sitio, el factor de amplificación sísmica (C) se define por las siguientes expresiones:

$$T < T_p \quad C = 2.5 \quad \text{Ecuación 6: Factor de amplificación sísmica cuando } T < T_p$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \quad \text{Ecuación 7: Factor de amplificación sísmica cuando } T_p < T < T_L$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p * T_L}{T^2} \right) \quad \text{Ecuación 8: Factor de amplificación sísmica cuando } T > T_L$$

1.3.9.5. Categoría de las edificaciones y factor de uso (U)

De acuerdo con la Norma Técnica Diseño Sismorresistente E.030, cada estructura se clasifica de acuerdo con las categorías de uso o importancia (U) indicadas en la tabla N°11.

Tabla 11

Categoría de las edificaciones y factor “U”

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	1.0
A Edificaciones Esenciales	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. Edificios que almacenen archivos e información esencial del estado	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. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1.3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1.00

Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.18), 2018.

1.3.9.6. Sistemas Estructurales

De acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), para las estructuras de concreto armado se utilizará el siguiente criterio:

- **Pórticos:** Por lo menos el 80 % de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos.

1.3.9.7. Categoría y sistemas estructurales

La Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), de acuerdo con la categoría y zona de la edificación se deberá proyectar el sistema estructural indicado en la tabla N°12.

Tabla 12

Categoría y sistema estructural de la edificación

Categoría de la edificación	Zona	Sistema Estructural
C	4,3,2 y 1	Cualquier sistema

Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.20), 2018.

1.3.9.8. Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R_o)

De acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y la estructuración sismorresistente predominante en cada dirección. Luego de ello se procede a identificar el coeficiente de reducción de fuerza sísmica según la tabla N°13.

Tabla 13

Sistema estructural de concreto armado

Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción R
Concreto Armado	

Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022.

Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4

Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.21), 2018.

1.3.9.9. Regularidad Estructural

De acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), las estructuras se clasifican como regulares e irregulares con el fin de determinar el procedimiento adecuado de análisis.

- i. **Estructuras Regulares:** Son aquellas que, en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las irregularidades que se indican en las tablas N°14 y N°15. En estos casos, el factor I_a e I_p será igual a 1.0
- ii. **Estructuras Irregulares:** Son aquellas que mediante un análisis se determina por lo menos una irregularidad, sea en planta o altura.

1.3.9.10. Factores de irregularidad

De acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), se contemplan dos tipos de irregularidades que se mostrarán en las tablas N°14 y N°15.

Tabla 14

Tipos de irregularidades

Irregularidades estructurales en altura	Factor de Irregularidad I_a
Irregularidad de Rigidez - Piso Blando	0.75
Irregularidad de Resistencia - Piso Débil	0.75
Irregularidad Extrema de Rigidez	0.50
Irregularidad Extrema de Resistencia	0.50
Irregularidad de Masa o Peso	0.90
Irregularidad Geométrica Vertical	0.90
Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	0.80
Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	0.60

Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.22), 2018.

Tabla 15
Tipos de irregularidades en planta

Irregularidades estructurales en planta	Factor de Irregularidad I_p
Irregularidad Torsional	0.75
Irregularidad Torsional Extrema	0.60
Esquinas Entrantes	0.90
Discontinuidad del Diafragma	0.85
Sistemas no Paralelos	0.90

Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.23), 2018.

1.3.9.11. Restricciones a la Irregularidad

De acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), la categoría de una edificación y la zona donde se ubique deberá proyectarse respetando las restricciones de la tabla N°16.

Tabla 16
Categoría y Regularidad de las Edificaciones

Categoría de la Edificación	Zona	Restricciones
C	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2	No se permiten irregularidades extremas excepto en edificio de hasta 2 pisos u 8m de altura total
	1	Sin restricciones

Nota. Tomado de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (p.24), 2018.

1.3.9.12. Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R)

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se determinará como el producto del coeficiente R_0 y de los factores I_a , I_p . Para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$R = R_0 * I_a * I_p \quad \text{Ecuación 9: Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas}$$

Dónde:

R_0 : Coeficiente básico de reducción de la fuerza sísmica.

Ia: Irregularidad en altura la cual se considerará 1 en caso de estructuras regulares.

Ip: Irregularidad en planta la cual se considerará 1 en caso de estructuras regulares.

1.3.9.13. Estimación del Peso (P)

De acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación, un porcentaje de la carga viva o sobrecarga que se determinará de la siguiente manera:

- a) En las edificaciones de la categoría C, se tomará el 25 % de la carga viva.
- b) En azoteas y techos en general se toma el 25 % de la carga viva.

1.3.10. Análisis Sísmico

Según la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente para realizar el procedimiento de este se hace mediante un análisis de fuerzas equivalentes, un análisis dinámico modal espectral y un análisis dinámico tiempo – historia con el fin de verificar más no sustituir a los anteriores. Además, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La estructura debe ser simétrica en la distribución de masas como rigideces.
- Peso mínimo especialmente en los pisos altos.
- Rigidez y resistencia frente a las cargas laterales.
- Buena práctica constructiva y supervisión estructural rigurosa.

1.3.10.1. Análisis Estático (ASE)

De acuerdo con la Norma E.030 Sismorresistente nos dice que, se podrán analizar las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1, las estructuras clasificadas como regulares de no más de 30 m de altura y las estructuras de muros

portantes de concreto armado y albañilería armada o confinada de no más de 15 m de altura, aun cuando sean irregulares; mediante el siguiente procedimiento:

1.3.10.1.1 Fuerza cortante en la base

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z*U*C*S}{R} * P \quad \text{Ecuación 10: Fuerza cortante en la base.}$$

El valor de C/R no deberá considerarse menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125 \quad \text{Ecuación 11: Condición para obtener la fuerza cortante.}$$

1.3.10.1.2 Periodo fundamental de vibración

El período fundamental de vibración para cada dirección se estimará con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_t} \quad \text{Ecuación 12: Periodo fundamental de la estructura.}$$

Dónde:

$C_t = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$C_t = 45$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

- a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.
- b) Pórticos de acero arriostrados.

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

Alternativamente podrá usarse la siguiente expresión:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i * d_i^2)}{(g * \sum_{i=1}^n f_i * d_i)}} \quad \text{Ecuación 13: Periodo alternativo.}$$

Dónde:

f_i = Fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.

d_i = Desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros en planta) debido a las fuerzas f_i . Los desplazamientos se calcularán suponiendo comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando las secciones sin fisurar.

Cuando el análisis no considere la rigidez de los elementos no estructurales, el período fundamental T deberá tomarse como 0.85 del valor obtenido con la fórmula precedente.

1.3.10.2. Análisis Dinámico Modal Espectral

Este método para su aplicación necesita como dato de partida conocer los modos y frecuencias naturales del sistema de múltiples grados de libertad, es decir que se conozcan los valores de las frecuencias y de los modos (Prato et al., 2015).

1.3.10.2.1 Modos de Vibración

De acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas. En cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis.

1.3.10.2.2 Aceleración Espectral

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleración definido por:

$$S_a = \frac{Z*U*C*S}{R} * g \quad \text{Ecuación 14: Espectro de pseudo-aceleración}$$

Dónde:

Sa: Espectro de pseudo aceleración

Z: Factor de zona

U: Factor de uso o importancia

C: Factor de amplificación sísmica

S: Factor de amplificación de suelo

g: Gravedad

R: Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmica

Para el análisis en la dirección vertical podrá usarse un espectro con valores iguales a los 2/3 del espectro empleado para las direcciones horizontales.

1.3.10.2.3 Fuerza Cortante Mínima

Para cada dirección considerada en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no podrá ser menor que el 80 % del valor calculado para estructuras regulares, ni menor que el 90 % para estructuras irregulares. Si fuera necesario incrementar el cortante para cumplir los mínimos señalados, se deberán escalar proporcionalmente todos los otros resultados obtenidos, excepto los desplazamientos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

1.3.10.2.4 Excentricidad accidental

La incertidumbre en la localización de los centros de masa en cada nivel se considerará mediante una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. En cada caso deberá considerarse el signo más desfavorable (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

1.3.11. Requisitos de Rigidez, Resistencia y Ductilidad

1.3.11.1. Determinación de Desplazamientos Laterales

De acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), para estructuras regulares los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por $0.75R$ los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por $0.85R$ los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.

1.3.11.2. Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

De acuerdo con la Norma E.030 Diseño Sismorresistente (2018), el máximo desplazamiento relativo de entrepiso calculado en el ítem 1.3.11.1 no debe exceder de 0.007, para lo que respecta a concreto armado.

1.3.12. Sistema aporticado

Son estructuras conformadas por la unión rígida de vigas y columnas, además tienen un comportamiento gobernado por la flexión. En la construcción es una de las formas más tradicionales para edificaciones de vivienda multifamiliar, oficinas, entre otras. Un pórtico tiene dimensiones longitudinales y transversales, como lo son el ancho y

la altura de la sección transversal, los valores de estos influyen en el análisis de la estructura, sin embargo, lo que determina definitivamente las dimensiones de los elementos es el diseño estructural (Guzman & Méndez, 2020).

1.3.13. Diseño en Concreto Armado

Con respecto a la Norma E.060 Concreto Armado (2009), para diseñar estructuras de concreto armado se utilizará el diseño por resistencia a todas las secciones de los elementos estructurales, incluyendo los factores de carga y factores de reducción de resistencia.

1.3.13.1. Requisitos de resistencia y servicio

Con respecto a la Norma E.060 Concreto Armado (2009), para lograr que las resistencias de diseño (ϕR_n) sean por lo menos iguales a las resistencias requeridas (R_u) en todas las secciones de los elementos estructurales, se usarán cargas y fuerzas amplificadas en las combinaciones que se explicarán a continuación. Por lo que, debe cumplirse lo siguiente:

$$\phi R_n \geq R_u$$

a. Resistencia requerida

- i. Para cargas muertas (CM) y cargas vivas (CV) será como mínimo:

$$U = 1.4CM + 1.7CV$$

- ii. Si en el diseño se tuvieran que considerar cargas de viento (CV_i), la resistencia requerida será como mínimo:

$$U = 1.25(CM + CV \pm CV_i)$$

$$U = 0.9CM \pm 1.25CV_i$$

- iii. Si en el diseño se tuvieran que considerar cargas de sismo (CS), la resistencia requerida será como mínimo:

$$U = 1.25(CM + CV) \pm CS$$

$$U = 0.9CM \pm CS$$

b. Resistencia de diseño

Con respecto a la Norma E.060 Concreto Armado (2009), las resistencias de diseño (ϕR_n) proporcionada por un elemento, sus conexiones con otros elementos, así como sus secciones transversales, en términos de flexión, carga axial, cortante y torsión, deberán ser multiplicados por los factores ϕ de reducción de resistencia que a continuación se especifican:

- Flexión sin carga axial $\phi=0.90$
- Cortante y torsión $\phi=0.85$
- Por Flexo-compresión: $\phi=0.75$ (Columnas con espirales)

$$\phi=0.70 \text{ (Columnas estribadas)}$$

c. Requisitos por servicio

En condiciones de servicio los elementos estructurales con pequeñas secciones y con poco acero pueden satisfacer los requerimientos de resistencia, sin embargo, ocasionan esfuerzos y deformaciones elevadas. Por otra parte, el control del agrietamiento es muy importante para fines de apariencia y durabilidad de los elementos estructurales, por consiguiente, se debe verificar que las deflexiones bajo cargas de servicio estén dentro de los límites aceptables (Oviedo, 2016).

1.3.13.2. Diseño de Vigas

Este elemento requiere un diseño por flexión y cortante, a fin de desarrollar un comportamiento dúctil en su vida útil. En consecuencia, la disposición del refuerzo longitudinal y transversal es fundamental ya que evita una falla frágil.

De manera que, se deberá diseñar y dimensionar una sección capaz de resistir el momento aplicado (Oviedo, 2016).

➤ **Diseño por flexión**

Según Oviedo (2016), el valor de la cuantía máxima garantiza que ante solicitaciones sísmicas y de gravedad, la estructura presente una falla dúctil, es decir que el acero de refuerzo entre en su estado de fluencia.

Para la cuantía máxima de acero se considera lo siguiente:

$\rho_{max} = 0.75\rho_b$; para elementos que no resisten movimientos sísmicos.

$\rho_{max} = 0.50\rho_b$; para elementos que resisten movimientos sísmicos.

Para calcular la cantidad mínima de acero de refuerzo se utiliza la siguiente fórmula:

$$A_{smin} = \frac{0.7\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \quad \text{Ecuación 15: Acero mínimo en vigas.}$$

Para determinar el momento nominal se realiza con la siguiente fórmula:

$$\phi Mn = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad \text{Ecuación 16: Momento nominal.}$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 b f'_c} \quad \text{Ecuación 17: Altura del bloque equivalente}$$

➤ **Diseño por corte**

Con respecto a Oviedo (2016), el diseño por corte de las secciones transversales implica una verificación inicial en la que se calcula si el concreto es capaz de resistir toda la fuerza cortante que se produce en la viga, la verificación es la siguiente:

$$\phi V_n \geq V_u$$

Dónde:

V_u : Resistencia requerida por corte

V_n : Resistencia nominal al corte

La resistencia nominal V_n estará conformada por la contribución del concreto (V_c) y la contribución de acero (V_s), de tal forma que:

$$V_n = V_c + V_s$$

La Norma E.060 Concreto Armado (2009), nos brinda la siguiente expresión para medir la fuerza cortante del concreto:

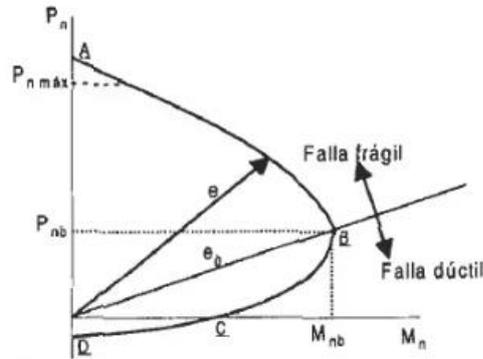
$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d \quad \text{Ecuación 18: Fuerza cortante del concreto}$$

1.3.13.3. Diseño de columnas:

Según Oviedo (2016), todas las columnas están sometidas a flexión y compresión, además debe soportar solicitaciones de corte; por lo que será necesario diseñar tomando en cuenta estos factores. Las columnas se flexionarán bajo la acción de los momentos que aparezcan, lo que ocasionará esfuerzos de compresión a un lado y tracción al otro. El diseño de las columnas se verifica mediante los diagramas de interacción, en consecuencia, se busca que las combinaciones de carga axial P_n y momento flector M_n que reducen la capacidad de la sección se encuentren dentro del diagrama. Llegan a la falla debido a tres casos: por fluencia inicial del acero, por aplastamiento del concreto o por pandeo.

Figura 4

Diagrama de interacción de columna



Nota. Tomado de *Diseño en Concreto Armado* (p.112), por R.M. Morales, 2013.

Dónde:

Punto A: Compresión pura o carga concéntrica, siendo $P_{n \text{ máx}}$ el límite.

Punto B: Condición balanceada

Punto C: Condición de flexión pura

Punto D: Tracción pura

Tramo C-D: Flexo tracción

➤ **Diseño por corte**

La Norma E.060 Concreto Armado (2009), indica las siguientes recomendaciones para la distribución de los estribos para columnas de pórticos especiales:

El espaciamiento de los estribos no será mayor que:

- La tercera parte de la dimensión mínima del elemento
- Seis veces el diámetro del refuerzo longitudinal
- 10 cm

La longitud mínima “Lo” hasta donde se deben colocar los estribos, en ambos extremos de la columna es el menor de los siguientes valores:

- $L_n/6$
- Máxima dimensión de la columna.
- 50 cm

El espaciamiento fuera de la zona de confinamiento “Lo” no debe ser mayor que el siguiente valor:

- 10 veces el diámetro de la barra longitudinal.
- 25 cm

1.3.13.4. Diseño de nodos

Con respecto a la Norma E.060 Concreto Armado (2009), cuando la resistencia de las columnas sea mayor a la de las vigas, se produce en la estructura la aparición de rotulas plásticas primero en las vigas antes que en la base de las columnas. Por consiguiente, la sumatoria de los momentos nominales de las columnas evaluados en las caras del nudo debe ser mayor (a 1.2 veces) la sumatoria de los momentos nominales de las vigas. De acuerdo con la E.060 se debe cumplir lo siguiente:

$$\sum M_{nc} \geq 1.2M_{nv}$$

Dónde:

$\sum M_{nc}$: Suma de los momentos nominales a flexión de las columnas.

M_{nv} : Suma de los momentos nominales a flexión de las vigas.

1.4. Formulación del problema

¿Cuál es el análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano en la ciudad de Trujillo, 2022?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Realizar el análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano en la ciudad de Trujillo, 2022.

1.5.2. Objetivos específicos

OE1: Realizar la estructuración de la edificación y predimensionar los elementos estructurales.

OE2: Efectuar el análisis sísmico estático en la edificación de concreto tradicional y liviano mediante los requerimientos de la norma E.030.

OE3: Realizar el análisis sísmico dinámico para ambas edificaciones en base a la normativa de diseño sismorresistente.

OE4: Diseñar en concreto armado los elementos estructurales vigas y columnas de la edificación de concreto tradicional y liviano mediante los lineamientos de la norma E.060.

1.6. Hipótesis general

Al comparar el comportamiento sísmico de una edificación tipo aporticado de 4 niveles, la de concreto reforzado liviano presentará una mejor respuesta sísmica con respecto a la de concreto reforzado tradicional, en la ciudad de Trujillo, 2022.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

2.1.1. Por el propósito:

La presente investigación según el propósito es de tipo aplicada, puesto que contribuye a obtener conocimientos con respecto a la problemática planteada, sirviendo como base para investigaciones futuras.

2.1.2. Según el diseño de investigación:

La presente investigación es del tipo no experimental - descriptiva, debido a que las variables no se ven alteradas por la participación directa del investigador, por lo que se basan en la observación de los fenómenos en un determinado contexto real para ser analizados posteriormente.

2.2. Diseño de investigación:

Esta investigación es transversal dado que la recopilación de datos es fundamental para analizar y describir las características de la variable de interés en un periodo determinado. Así mismo, es descriptiva puesto que se observará y describirá el comportamiento de la variable en un estado natural para en una muestra determinada.

Tabla 17

Matriz de diseño de investigación

Estudio	T1
M	O

Nota. Elaboración propia

Dónde:

- **M:** Muestra
- **O:** Observación

2.3. Variables

2.3.1. Comportamiento sísmico

El comportamiento sísmico de una estructura debe ser tal que, al estar sometido a un nivel de demanda sísmica, esta pueda cumplir con la filosofía de diseño sismorresistente, la cual consiste en evitar las pérdidas de vidas humanas, así como minimizar los daños a la propiedad (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

2.3.2. Clasificación de variables

Tabla 18

Identificación de las variables

VARIABLE	CLASIFICACION				
	Relación	Naturaleza	Escala de medición	Dimensión	Forma de medición
Comportamiento sísmico	Independiente	Cuantitativa Continua	Razón	Multidimensional	Indirecta

Nota. Elaboración propia

2.3.3. Operacionalización de variables

Tabla 19

Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Comportamiento sísmico	El comportamiento sísmico de una estructura debe ser tal que, al estar sometido a un nivel de demanda sísmica, esta pueda cumplir con la filosofía de diseño sismorresistente, la cual consiste en evitar las pérdidas de vidas humanas, así como minimizar los daños a la propiedad. (Norma E.030, 2018)	Para determinar el comportamiento sísmico de la estructura, en primer lugar, se definirá la estructuración y predimensionamiento de los elementos estructurales, luego mediante el programa ETABS se realizará el modelamiento estructural acorde con la norma técnica E.030 en la cual se establecen los procedimientos para el análisis sísmico estático y dinámico, por último, se realizará el diseño en concreto armado de los elementos estructurales como vigas y columnas.	Estructuración y predimensionamiento	Distribución de los elementos estructurales.	Razón
				Secciones tentativas de vigas, losas aligeradas, columnas y escaleras.	Razón
			Análisis sísmico estático	Fuerza cortante basal estática.	Razón
				Distorsión de entrepisos.	Razón
			Análisis sísmico dinámico	Verificación de irregularidades estructurales.	Razón
				Fuerza cortante dinámica mínima.	Razón
		Diseño en concreto armado.	Definición del refuerzo en los elementos estructurales tales como vigas y columnas.	Razón	

Nota. Elaboración propia

2.4. Población y muestra

2.4.1. Población.

La población de estudio son todas las edificaciones tipo aporticada de 4 niveles para uso de vivienda con concreto reforzado tradicional y liviano en Trujillo, 2022.

2.4.2. Muestra.

La muestra está representada por una edificación tipo aporticada de 4 niveles para uso de viviendas de reforzado tradicional y una edificación tipo aporticada de 4 niveles para uso de vivienda de concreto liviano.

2.4.3. Materiales

- ✓ Computador portátil: mediante este equipo se desarrolló la búsqueda de información en fuentes confiables, así mismo con la ayuda de los programas computacionales (Etabs, Office, Autocad) se logró obtener los resultados para los objetivos planteados en este proyecto de investigación.
- ✓ Materiales de escritorio: fueron indispensables para la recolección de información dado que, se subrayaron ideas, conceptos importantes de las normativas, así como la impresión de estas. Para ello se utilizaron materiales como: hojas bond, corrector, resaltador, lapiceros, post it, entre otros.
- ✓ Calculadora científica: es una herramienta que nos facilitó el proceso de cálculo, así como la verificación de las ecuaciones empleadas en esta investigación.
- ✓ Cuaderno de apuntes: se anotaron las consideraciones que tuvimos en cuenta en el modelamiento y análisis de la estructura, al igual que los resultados parciales y finales obtenidos mediante un proceso iterativo.

2.4.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.4.4.1. Técnica de recolección de datos.

En el presente trabajo de investigación las técnicas de recolección de datos fueron: la revisión documental en el cual se extraerán parámetros de las normas E.020, E.030 y E.060 y la técnica de observación directa, porque se registraron los datos obtenidos mediante la utilización del software Etabs producto del modelamiento y análisis del edificio aporticado de concreto reforzado tradicional y liviano.

2.4.4.2. Instrumento de recolección de datos

Los instrumentos que se usaron para la recolección de datos en la presente investigación fueron una matriz de datos (ver anexo 2) y fichas de resumen (ver anexo 3 y 4), en la primera se registraron los parámetros sísmicos de la E.030, así como los datos de deriva de entrepiso y peso sísmico de la edificación de concreto reforzado tradicional y liviano, que se obtuvieron mediante el software computacional Etabs; por otra parte, en el segundo instrumento, se sintetizó la información del estudio de mecánica de suelos y las propiedades del concreto liviano.

2.4.4.3. Validación del instrumento de recolección de datos.

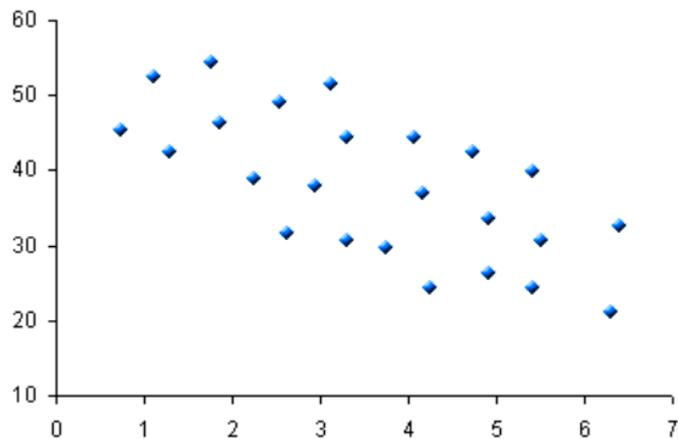
Los instrumentos de recolección de datos fueron validados por el Ing. Ávalos Alayo Ricardo Daniel de CIP 97900, cuenta con 13 años de experiencia en la ingeniería y construcción de proyectos de edificaciones, además es especialista en el tema de investigación, él revisará que la ficha de datos cuente con los requisitos necesarios para que, su contenido se exprese claro y conciso los valores hallados, llenando una rúbrica que evalúa al instrumento, éste se detalla en el Anexo 1.

2.4.5. Análisis de datos:

En la presente investigación se utilizó el método de estadística descriptiva por ser una investigación de tipo no experimental descriptiva y transversal, dado que se realizó el estudio en un solo periodo de tiempo. Los instrumentos empleados en el análisis de datos fueron tablas y gráficos estadísticos, los cuales se elaboraron a través del programa Excel; en el primero, se necesitó los valores de las dimensiones de los elementos estructurales, fuerza cortante (estática y dinámica), irregularidades estructurales, así como la definición del refuerzo longitudinal y transversal; por otro lado, en el segundo, se estableció el gráfico de dispersión a fin de representar mejor los resultados de las distorsiones de entrepisos de ambas edificaciones tal como se observa en la figura 5.

Figura 5

Diagrama de dispersión

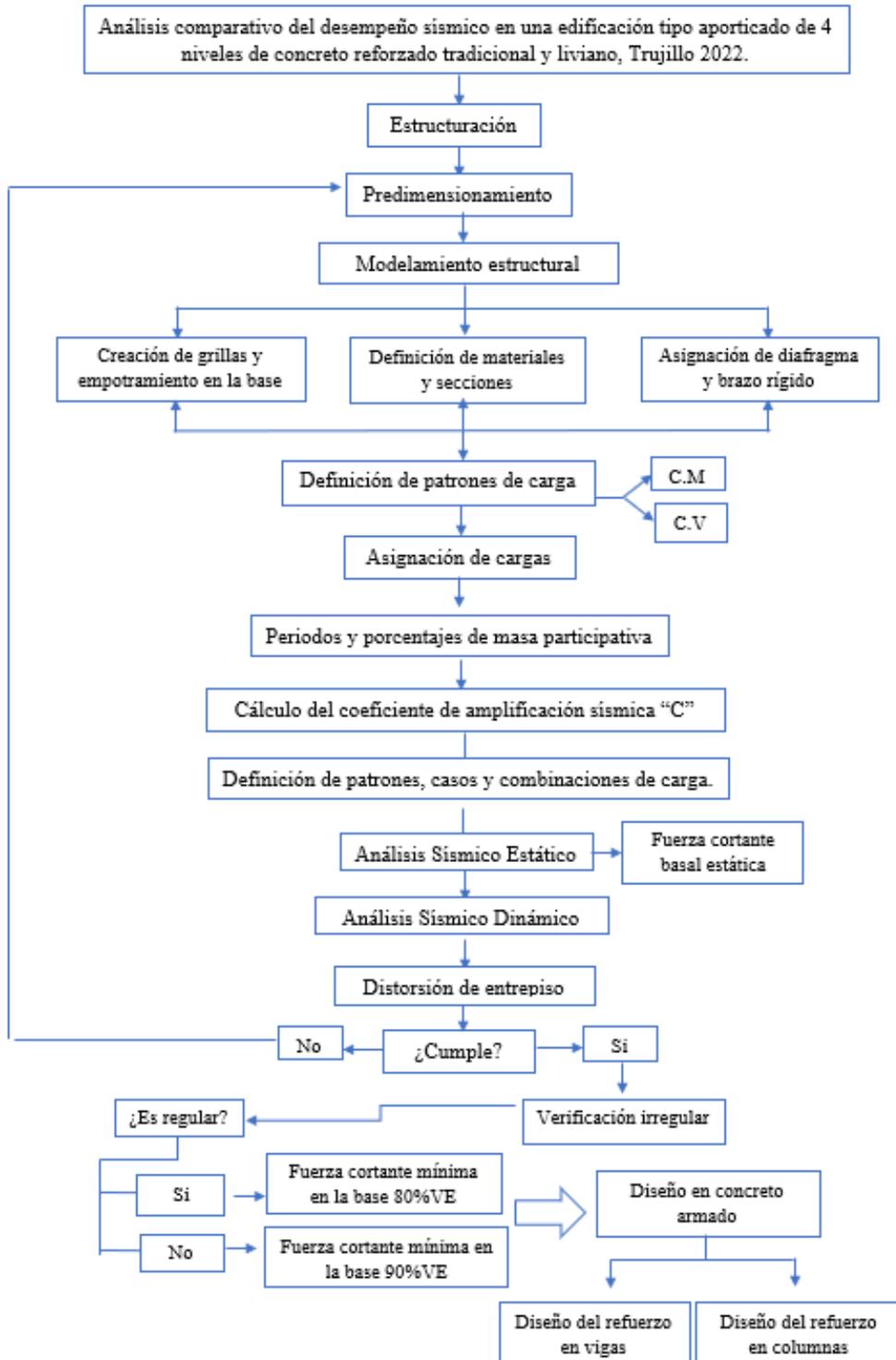


Nota. La figura muestra un ejemplo de diagrama de dispersión. Tomado de *Diagrama de dispersión*, por Gehisy, 2017, (<https://aprendiendocalidadyadr.com/diagrama-de-dispersion/>)

2.5. Procedimiento

Figura 6

Esquema del proceso de investigación



En la figura 6, se muestra el esquema del procedimiento para el desarrollo de la investigación. En primer lugar, se analizó el plano de arquitectura, con el propósito de ubicar los elementos de corte que ayudaron a contrarrestar la fuerza sísmica; luego, se trazaron los ejes y se ubicaron las vigas principales formando así los pórticos de la edificación. Así también, se colocaron vigas chatas que recibieron los muros paralelos a la dirección del sentido del aligerado. Por otra parte, se realizó el predimensionamiento de los elementos estructurales, mediante los criterios del Ing. Blanco Blasco y el Dr. Genner Villareal; por ello, se emplearon secciones tentativas iniciales, cabe mencionar que, estos valores se corroboraron en las etapas de análisis y diseño. Posteriormente, se efectuó el modelamiento estructural utilizando el programa ingenieril Etabs 2020, en el cual se tuvo en cuenta el siguiente procedimiento: primero se realizó la generación de grillas y el empotramiento en la base, se definieron los materiales como el concreto liviano, tradicional, el refuerzo y las secciones de los elementos estructurales (vigas, columnas, losa aligerada), luego se asignó el brazo rígido, así como el diafragma rígido a cada nivel del edificio.

Además, se establecieron los patrones de carga muerta y viva con la intención de asignar las cargas repartidas y distribuidas según la norma E.020 a cada piso de la estructura; cabe indicar que, para la escalera se realizó un metrado de cargas y se asignó a la estructura. Después, se modificó el patrón Mass Source para determinar el peso sísmico, el cual fue el 100 % de la carga muerta y el 25 % de la carga viva. A continuación, se procedió a ejecutar el programa con el fin de verificar que los porcentajes de masa participativa superen el 90 % en ambas direcciones de análisis (X e Y); así mismo, mediante el periodo natural de la estructura se determinó el coeficiente de amplificación sísmica (C); el cual sirvió para construir el espectro de respuesta mediante los parámetros sísmicos de zona (Z), uso (U), suelo (S) y reducción sísmica (R). Posteriormente, se crearon los casos de carga para el sismo

dinámico en X e Y; de igual manera, se especificaron las combinaciones de carga de diseño mediante la norma E.060, con lo cual nuevamente se ejecutó el programa.

El análisis sísmico estático se realizó de manera manual con la ayuda una hoja en Excel mediante los parámetros de sitio mencionados anteriormente y el peso sísmico de la edificación. En cuanto al análisis sísmico dinámico se realizó la verificación de distorsiones de entrepiso, debido a que, la norma E.030 indica un valor máximo de 7 ‰ para estructuras de concreto armado. Se efectuó la verificación por irregularidades en altura (Ia) como piso blando y piso débil, mientras que, en planta (Ip) por torsión. Después, se verificó que la fuerza cortante dinámica mínima supere el 80 ‰ del cortante basal estático para estructuras regulares y 90 ‰ para estructuras irregulares, caso contrario se debe calcular un factor de escala, y así poder determinar las fuerzas internas de diseño por sismo.

Por último, con las dimensiones finales se realizó el diseño en concreto armado, en vigas se modificó el código de diseño (ACI 318) en el Etabs, con el objetivo de aproximarse a la normativa peruana, por lo tanto, se cambiaron ciertos valores del factor de reducción. Por otra parte, los elementos Frame se asignaron como pórticos especiales (Sway Special), culminado este proceso se inició con el diseño de las vigas, dichos resultados se corroboraron con las fórmulas de la E.060 para el diseño por flexión. En el artículo 21.5.4.1 de la norma mencionada, para el diseño por corte se emplearon los momentos probables ($MP=1.25M_n$) y la fuerza cortante isostática, razón por la cual utilizamos hojas de cálculo en Excel.

Las columnas se diseñaron a flexocompresión biaxial, se inició con la cuantía mínima del 1 ‰, con la ayuda del programa Etabs se obtuvieron los diagramas de iteración, los cuales representan la resistencia nominal de la columna que depende del refuerzo establecido y la sección transversal, se verificó que las combinaciones de carga se encuentren al interior del diagrama, caso contrario se incrementa la cuantía. Por otra parte, el diseño por corte fue más

exigente con respecto a la separación de estribos en las zonas de confinamiento para pórticos especiales.

2.5.1. Estructuración y predimensionamiento

2.5.1.1. Descripción de la edificación

La unidad de estudio para la presente investigación fue una edificación multifamiliar tipo aporticado de 4 niveles, en la cual se empleó un concreto liviano y un concreto tradicional con el propósito de comparar las respuestas sísmicas que alcanzaron dichas estructuras ante un eventual movimiento telúrico.

Se construirá sobre un terreno de 8 m x 20 m, con un área techada de 108 m² por piso, El primer piso está adecuado para albergar estacionamiento, así como un departamento; mientras que, los tres pisos siguientes destinados a un departamento por nivel presentan la misma distribución arquitectónica. A continuación, en las figura N°7 y 8, se adjunta el plano arquitectónico de la edificación.

Figura 7

Planta del primer nivel

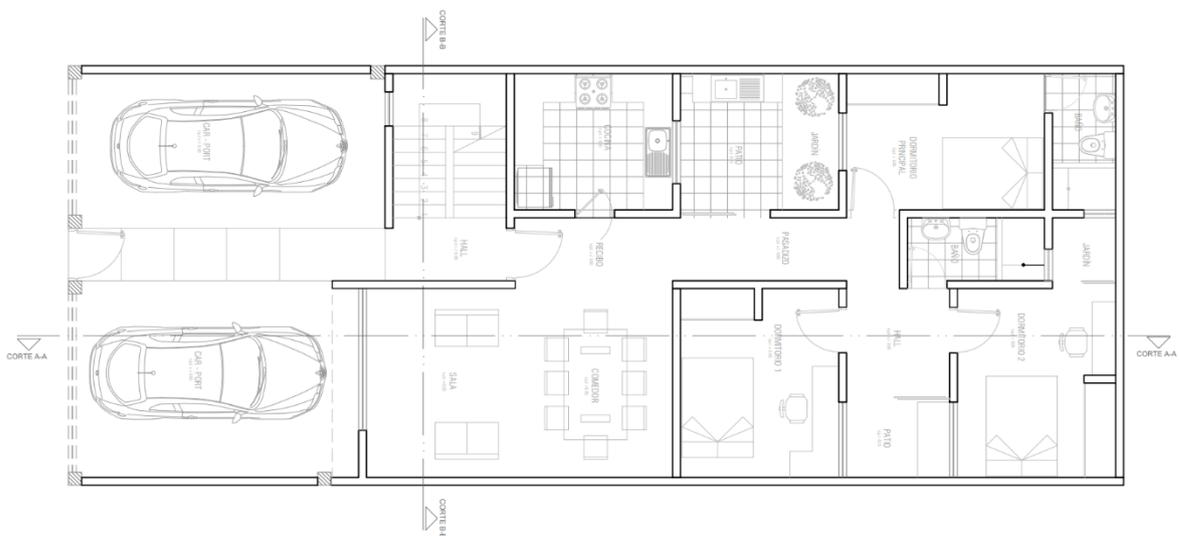
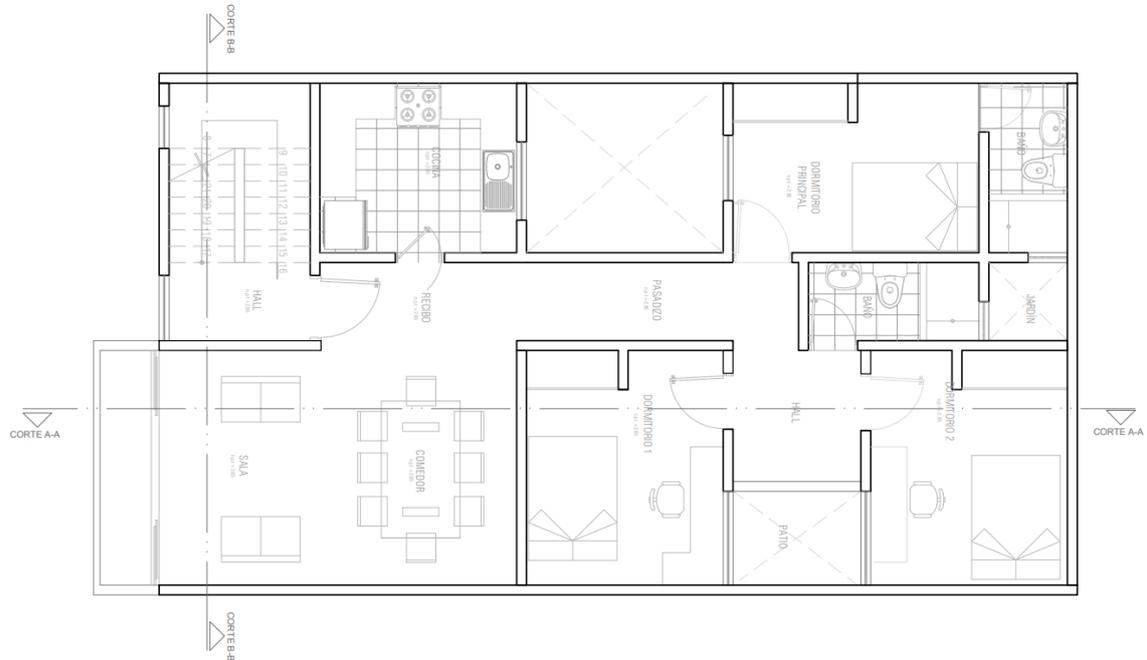


Figura 8

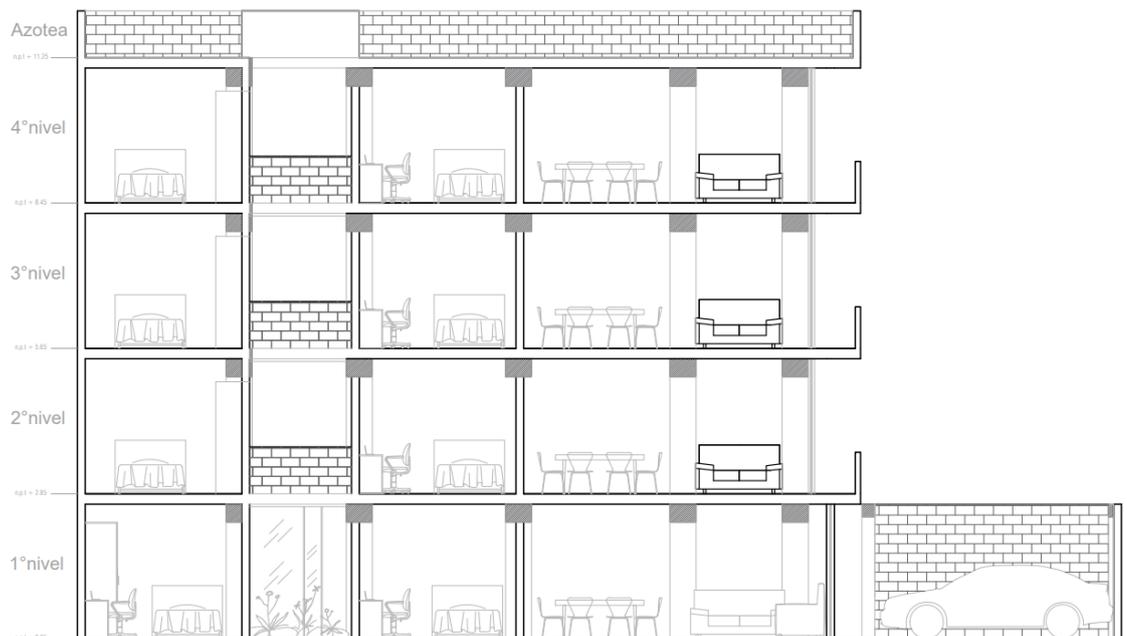
Planta típica del 2° al 4° nivel



Los muros de tabiquería son de ladrillos pandereta de espesor 15 cm, mientras que, en la zona de escalera, el muro donde se apoya el descanso fue de ladrillo King Kong. Además, la altura de entrepiso es de 2.80 m y es constante en todo el edificio.

Figura 9

Corte longitudinal



2.5.1.2.Ubicación:

El edificio se encuentra ubicado en la urbanización Daniel Hoyle, ciudad de Trujillo, según a la Norma de Diseño Sismorresistente corresponde a una zona 4. La edificación se encuentra cimentada en un suelo cohesivo blando, por lo tanto, se consideró un perfil tipo S3 considerando los valores de periodo $T_P=1.0$ y $T_L= 1.6$:

2.5.1.3.Propiedades de los materiales:

✓ **Concreto liviano**

Resistencia a la compresión (f_c): 210 kgf/cm²

Módulo de elasticidad concreto liviano (E_c): $(w_c)^{1.5} \cdot 0.136 \sqrt{f'_c} = 1559324$
tnf/m²

Módulo de Poisson concreto liviano (μ_c): 0.16

Peso específico concreto liviano (γ_c): 1843 kgf/m³

✓ **Concreto tradicional**

Resistencia a la compresión (f_c): 210 kgf/cm²

Módulo de elasticidad concreto tradicional (E_c): 2173706 tnf/m²

Módulo de Poisson concreto tradicional (μ_c): 0.15

Peso específico concreto tradicional (γ_c): 2300 kgf/m³

✓ **Acero:**

Resistencia a la fluencia (f_y): 4200 kgf/cm²

Módulo de elasticidad (E_a): 20000000 tnf/m²

Peso específico (γ_a): 7850 kgf/m³

2.5.1.4. Dimensiones de los elementos estructurales

Losas

Se hizo uso de la tabla N°2, con el propósito de evitar verificar deflexiones, cabe indicar que, al emplear concreto liviano estructural los valores de la tabla deben multiplicarse por $1.65 - 0.0003W_c$. Consecuentemente al dividir la luz libre (L_n) del tramo paralelo a la dirección del aligerado entre el factor de una losa simplemente apoyada (16) obtuvimos el espesor de la losa, la cual es la misma para ambas edificaciones.

Vigas

En la siguiente tabla se muestran las dimensiones iniciales de la sección transversal de las vigas en la dirección X e Y, para los casos más desfavorables de la luz libre.

Para ello, se utilizaron las ecuaciones 1 y 2.

Tabla 20

Dimensiones iniciales de la viga

Elemento estructural	Luz libre	Peralte	Base
Viga en X	3.70	0.35	0.25
Viga en Y	2.85	0.30	0.25

Nota. Las dimensiones de la viga son las mismas para ambos tipos de concreto.

Cabe mencionar que, luego de un proceso iterativo se definió la sección transversal final de las vigas en la etapa de resultados.

Columnas

Para zonas de alta sismicidad se recomienda que, el área bruta de las columnas no debe ser menor que 1000 cm^2 . Por consiguiente, se determinó el peso de servicio que depende de la carga estimada (según la categoría), área tributaria y el número de

pisos, así mismo, se utilizó una resistencia a la compresión de 210 kg/cm². Luego, se remplazaron los valores en las ecuaciones 3 y 4, tanto para las columnas centrales, así como las perimetrales.

Tabla 21

Área de las columnas para concreto tradicional y liviano

Tipo de columna	P servicio (Tn)	F'c (kg/cm ²)	Área (cm ²)
C1 central	47.12	210	641.09
C2 lateral	42.4	210	448.68
C3 lateral	22.4	210	237.04
C4 esquinera	13.08	210	138.41

Después de una serie de iteraciones se determinó las dimensiones de la columna en la fase de análisis y diseño, con la finalidad de poder cumplir con lo indicado en la norma E.030 con respecto a las distorsiones.

Escaleras

De igual forma, empleamos la tabla 3 con el objetivo de proporcionar a la escalera un espesor de garganta acorde para que el concreto pueda absorber las fuerzas cortantes. Consecuentemente, se dividió la luz libre ($L_n=3.95$) entre el factor (20) de una losa maciza simplemente apoyada, dando como resultado el espesor de garganta, así como de los descansos.

2.5.2. Análisis sísmico estático

2.5.2.1. Cargas de diseño:

La Norma Técnica E.020 proporcionó los valores mínimos de carga repartida que se consideraron en el diseño de nuestra estructura, estos valores dependieron del uso u ocupación de la edificación, así como, el peso unitario de los materiales de construcción.

Las cargas de gravedad que se emplearon son cargas muertas y vivas como se muestra a continuación:

✓ **Carga muerta**

- Concreto convencional: 2300 kgf/cm²
- Concreto liviano: 1843 kgf/cm²
- Ladrillo de techo h=15cm: 70.20 kgf/m²
- Acabado (Piso terminado) = 100 kg/cm²
- Tabiquería: 100 kg/cm²

✓ **Carga viva**

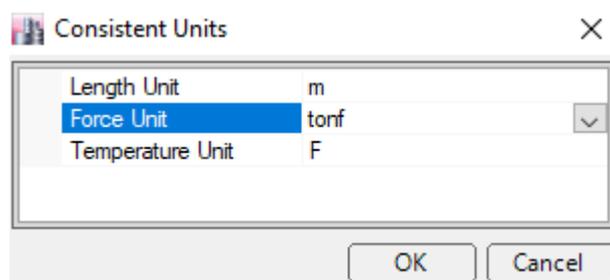
- Vivienda: 200 kgf/cm²

2.5.2.2. Modelamiento estructural en ETABS

En primer lugar, se creó un nuevo modelo en el programa Etabs 2020 al cual se le modificaron las unidades. Para ello, debemos ir a la parte inferior izquierda dar click en Consistent Unitis (Unidades Consistentes) y cambiar las unidades a metros y toneladas fuerza.

Figura 10

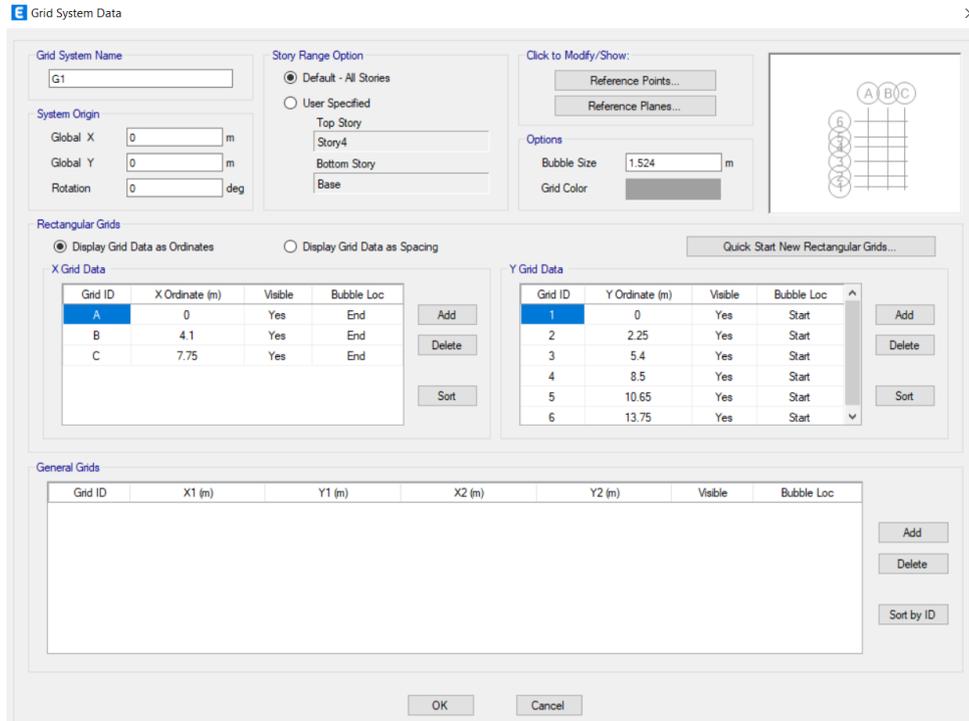
Modificación de unidades



Se procedió a modificar las grillas, por tal motivo, en base a la estructuración inicial se colocaron las dimensiones de la separación entre ejes de los vanos en X e Y.

Figura 11

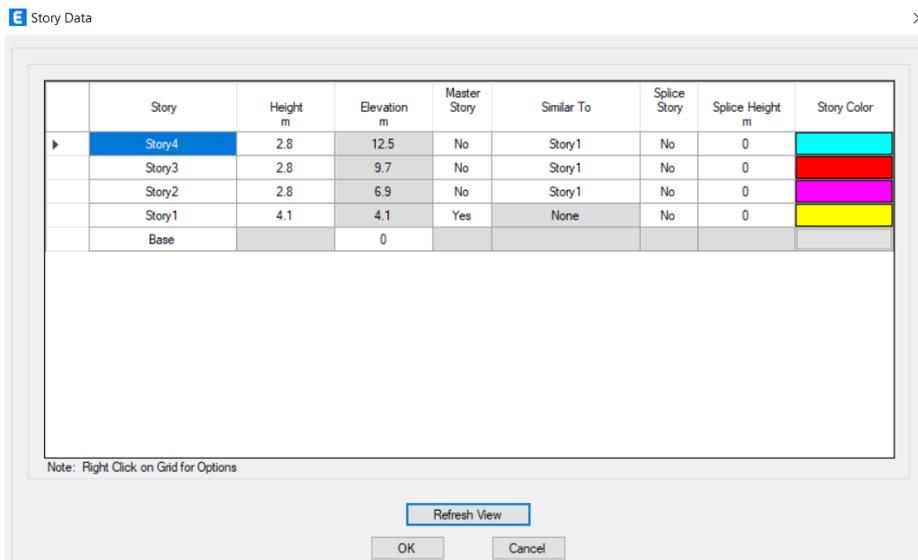
Creación de grillas en planta de la estructura



Se cambió las alturas de entrepiso de acuerdo con la altura que tendrá cada nivel definido en la estructuración.

Figura 12

Definición de las alturas de entrepiso



Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022.

Para el modelamiento estructural de nuestra investigación, se definió las características que tuvo tanto el concreto tradicional como el concreto liviano. Es así como, para la creación de los materiales en Etabs se siguieron los siguientes pasos. Cabe mencionar que, la diferencia principal entre ambos concretos es el módulo de elasticidad y el peso específico.

Figura 13

Definición de las propiedades del concreto liviano

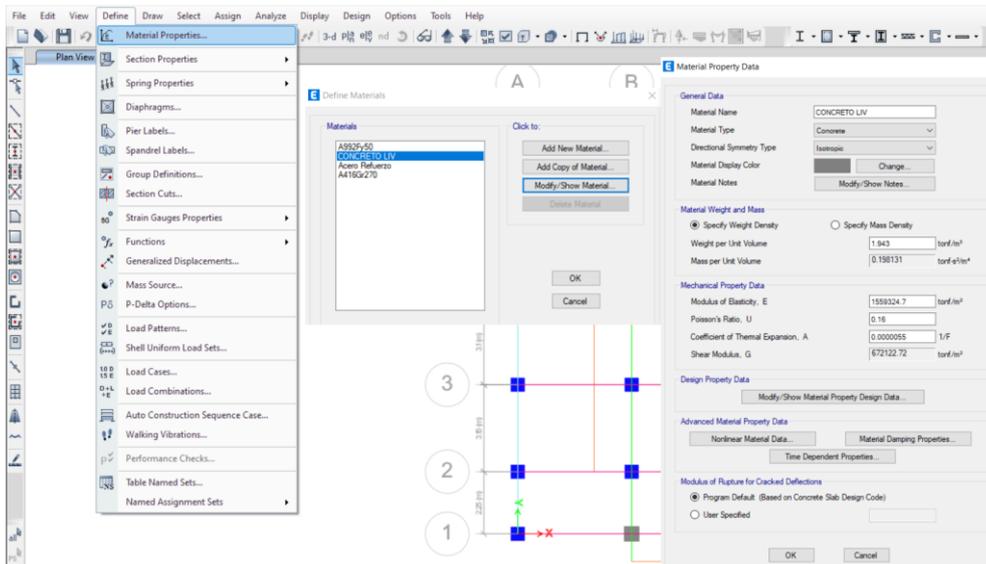
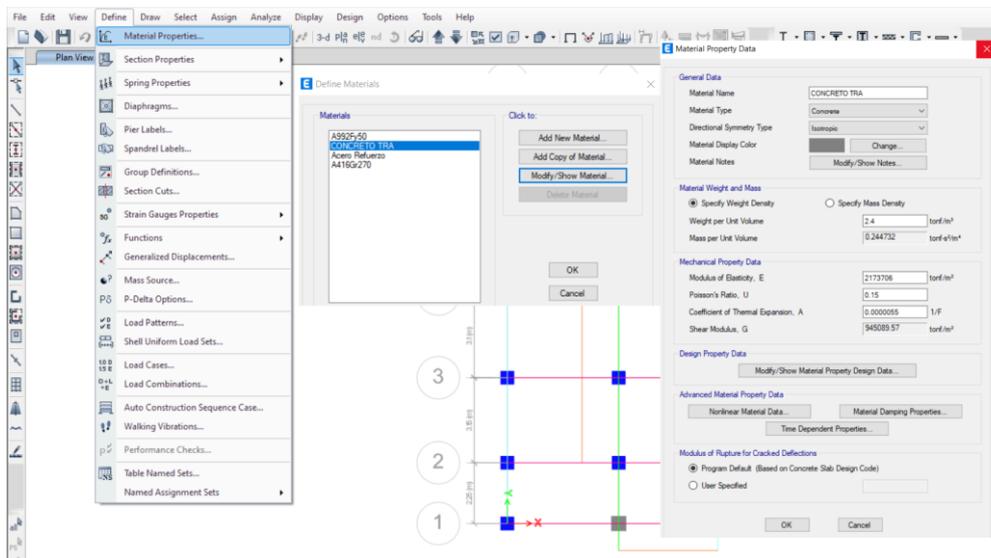


Figura 14

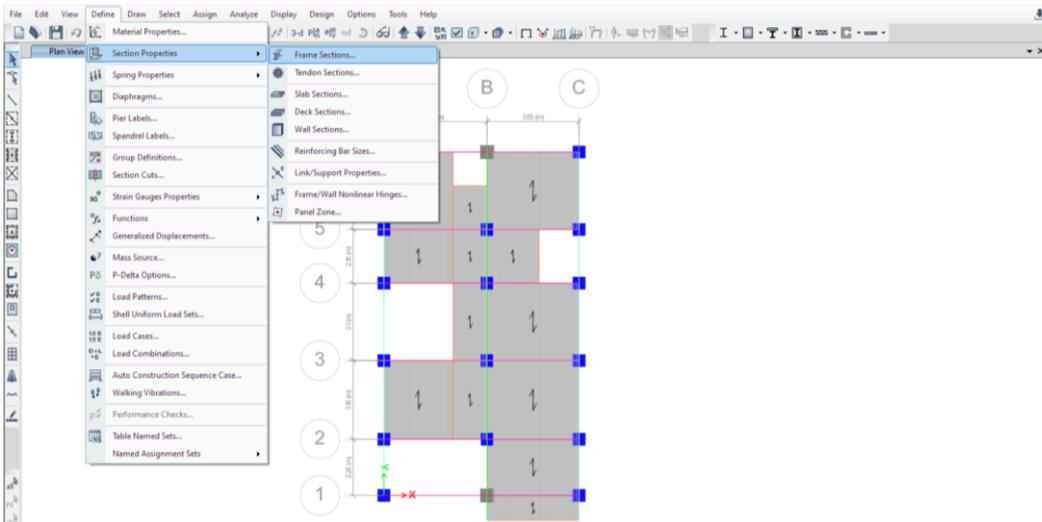
Definición de las propiedades del concreto tradicional



A continuación, se definió la sección transversal de las vigas y columnas en el programa Etabs, en el cual se denominaron los elementos tipo Frame (línea). Cabe mencionar que, ambas edificaciones tuvieron las mismas secciones transversales. Por lo tanto, la ruta a seguir fue.

Figura 15

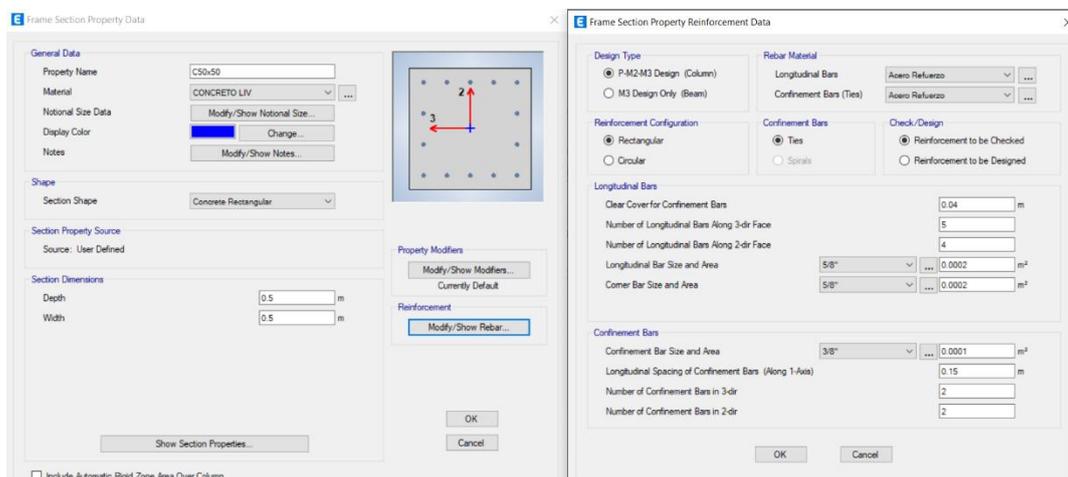
Secuencia para definir las secciones transversales de los elementos Frame



Se creó primero las columnas con el nombre de C50x50 y en el cuadro de dialogo se digitó las dimensiones. Cabe resaltar que, se indicó al programa que trabajamos con un Frame tipo columna, por tal motivo se activó el check Design Colum.

Figura 16

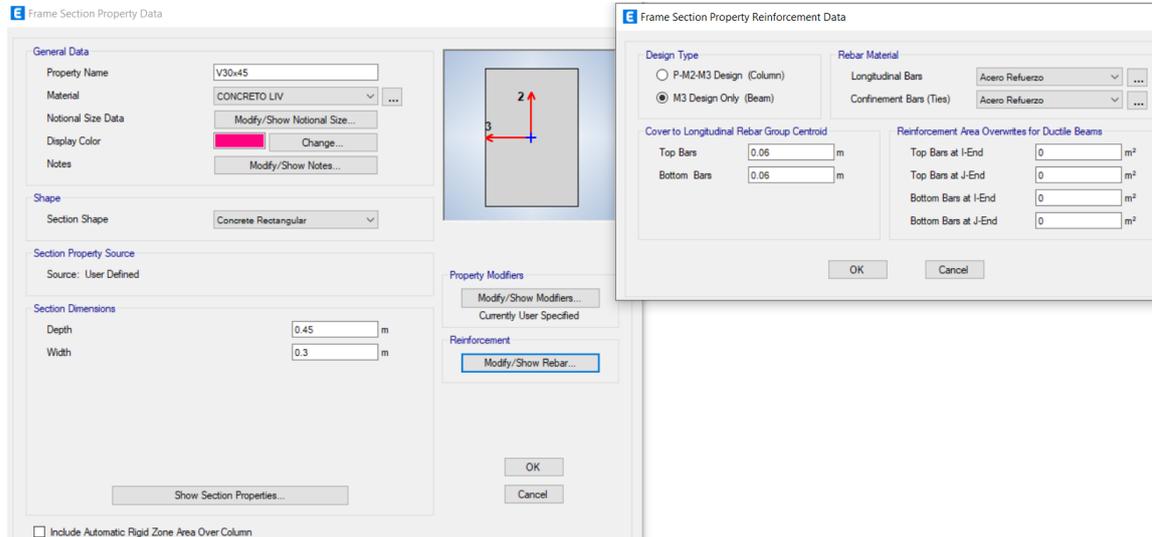
Creación de la sección transversal de la columna.



Se definió la sección transversal de la viga, activando la opción Design Only Beam.

Figura 17

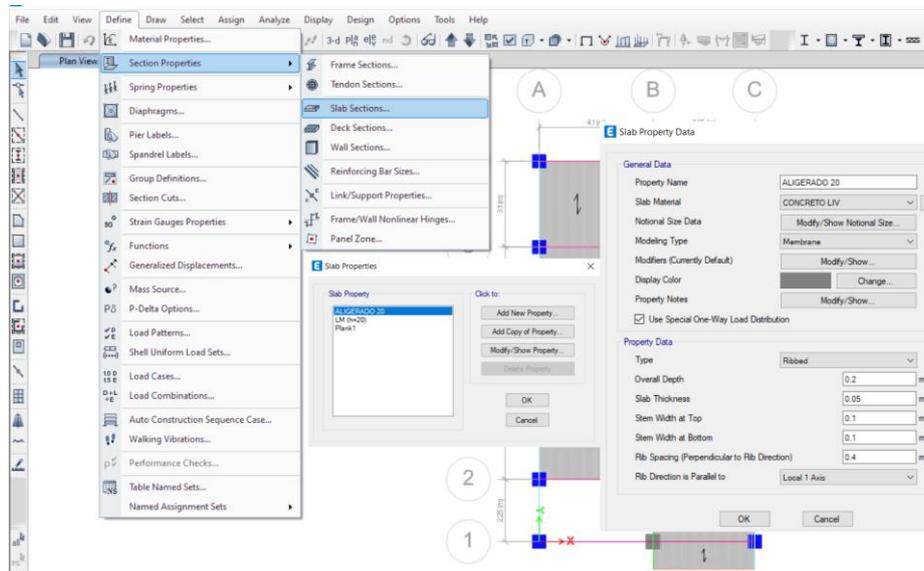
Creación de la sección transversal de la viga



Se fijó la sección de la losa aligerada, el cual es un elemento tipo Shell, para ello se tuvo en cuenta que es una losa unidireccional con 15 cm de espesor del ladrillo, 5 cm de recubrimiento y el ancho de la vigueta fue 10 cm. De manera que, para crear este elemento se siguió la ruta indicada en la figura 18.

Figura 18

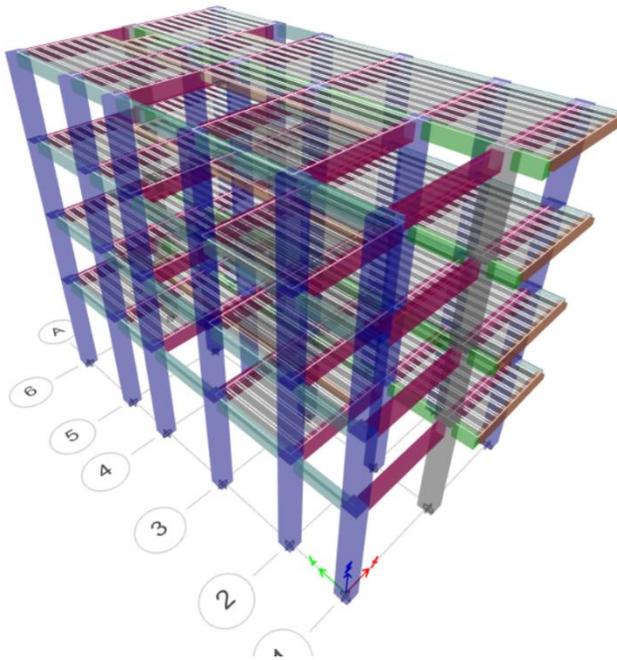
Ruta para la creación de la losa aligerada.



A continuación, se dibujaron los elementos tipo Frame como vigas y columnas sobre las grillas definidas anteriormente, así como las losas aligeradas en cada paño y nivel de la edificación, cabe resaltar que, se tuvo en cuenta la dirección de las viguetas al momento de dibujar.

Figura 19

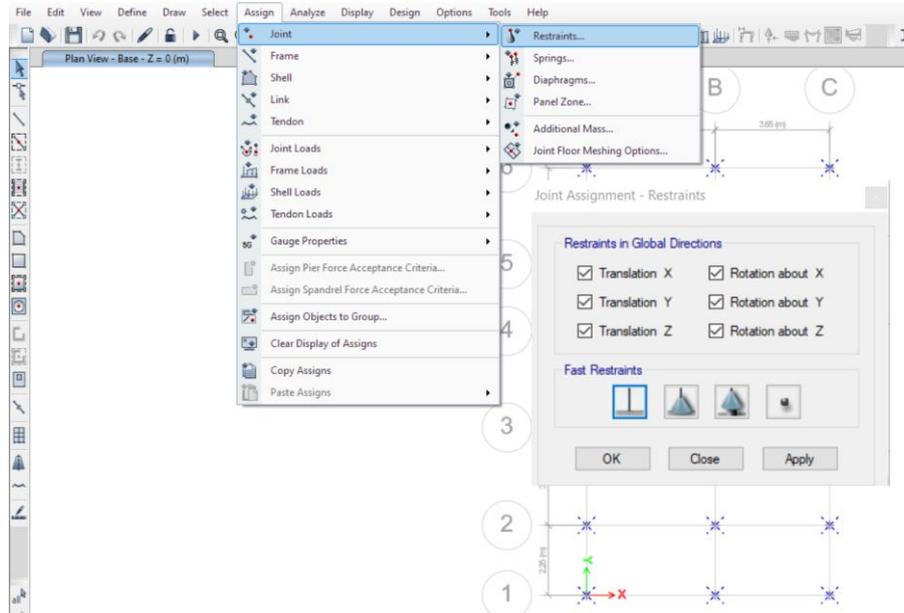
Modelo tridimensional del edificio



Seguidamente, se modificaron los apoyos articulados por empotramientos en la base, por lo cual, tuvimos que dirigirnos a la base de la estructura y seleccionar todos los nudos. Los pasos para asignar empotramiento en la base fueron los siguientes.

Figura 20

Asignación de empotramientos en la base



Se determinaron los diafragmas rígidos para cada nivel de la edificación, consecuentemente seleccionamos todos los paños del primer nivel con el objetivo de asignar su diafragma rígido. Para los otros niveles del edificio se continuó con este procedimiento.

Figura 21

Creación de diafragma rígido

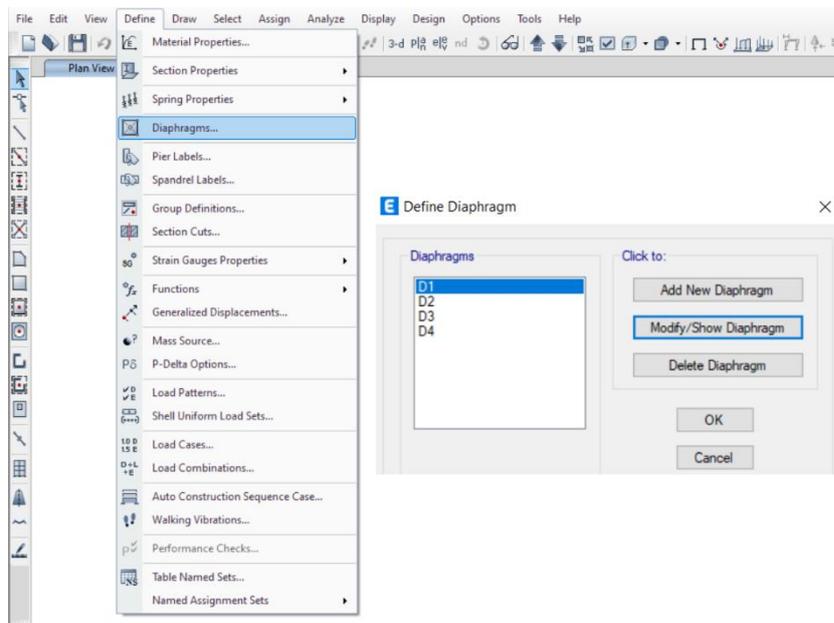
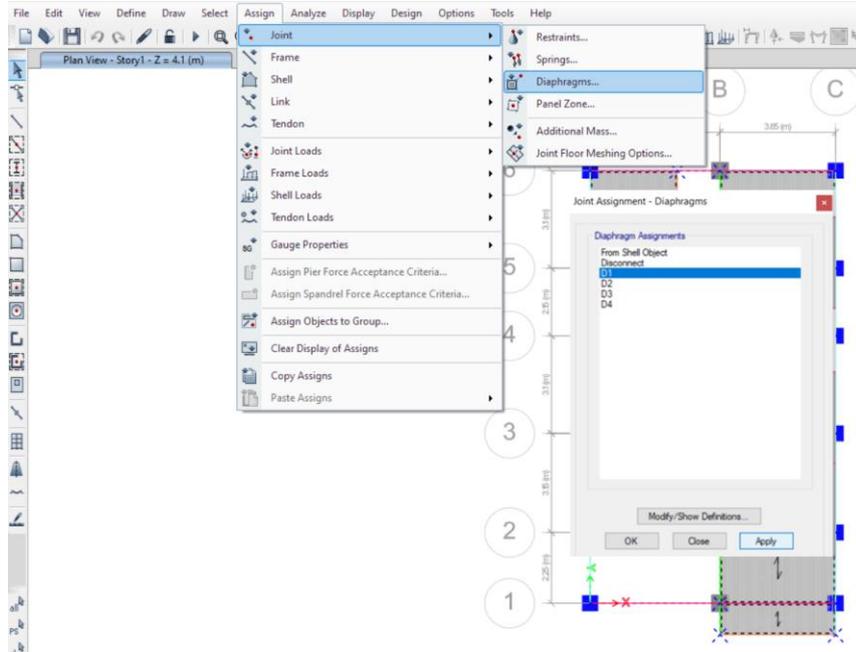


Figura 22

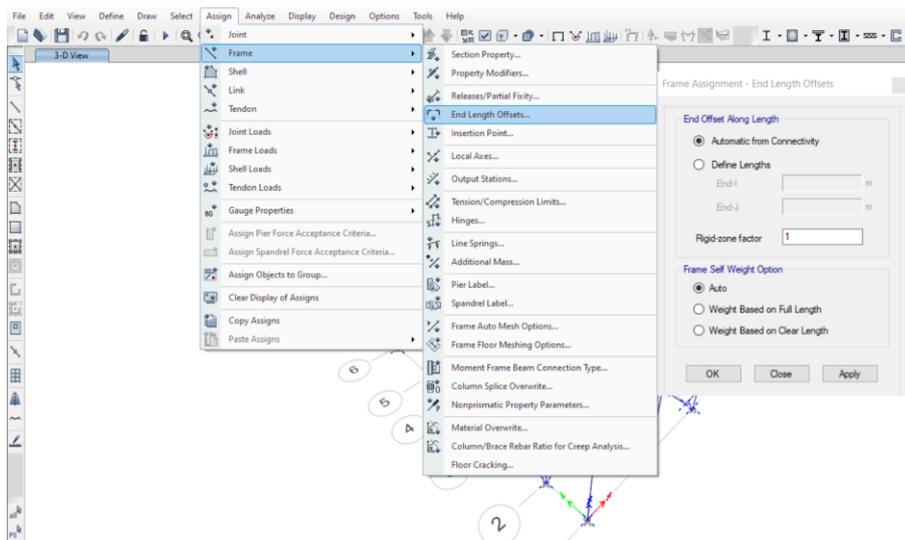
Asignación de diafragma rígido del primer nivel



Se asignaron los brazos rígidos a todo el edificio, tal como se muestra en la figura 23.

Figura 23

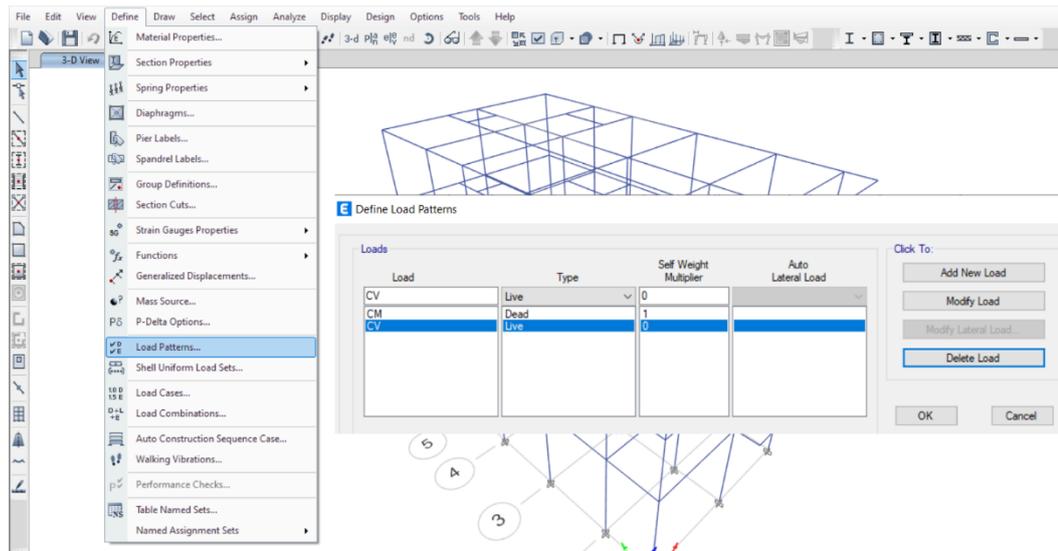
Asignación del brazo rígido para los elementos Frame.



Se definieron los patrones de carga muerta y viva tal como se evidencia en la figura 24.

Figura 24

Definición de patrón de carga muerta y viva



Después de haber definido la carga muerta y viva mediante la norma E.020, se asignaron las cargas repartidas y distribuidas a cada nivel del edificio modelado con concreto tradicional, así como el de concreto liviano. En las figuras 25 y 26 se muestra el procedimiento a seguir.

Figura 25

Selección de la losa aligerada del edificio con concreto liviano

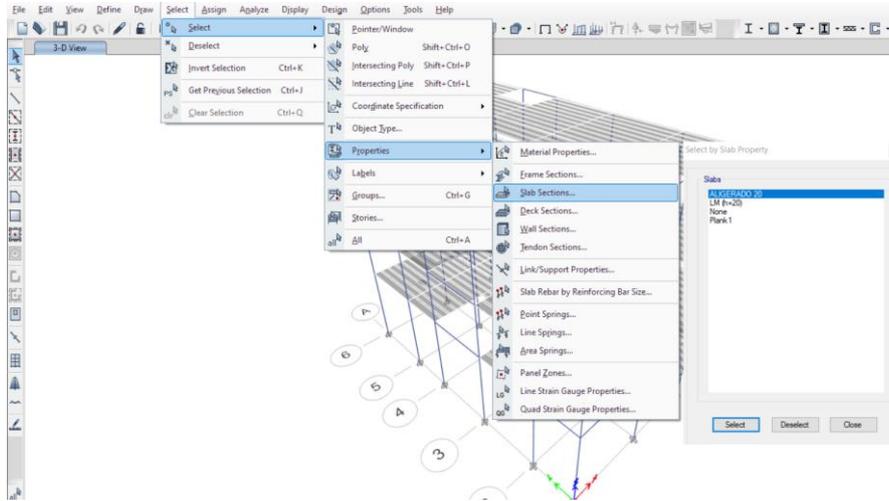
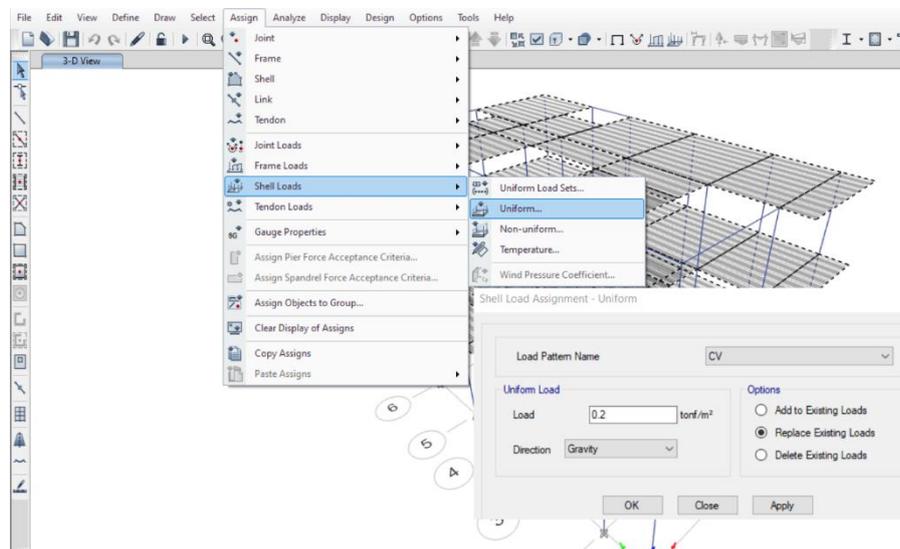


Figura 26

Asignación de la carga viva sobre las losas aligeradas del edificio con concreto liviano.

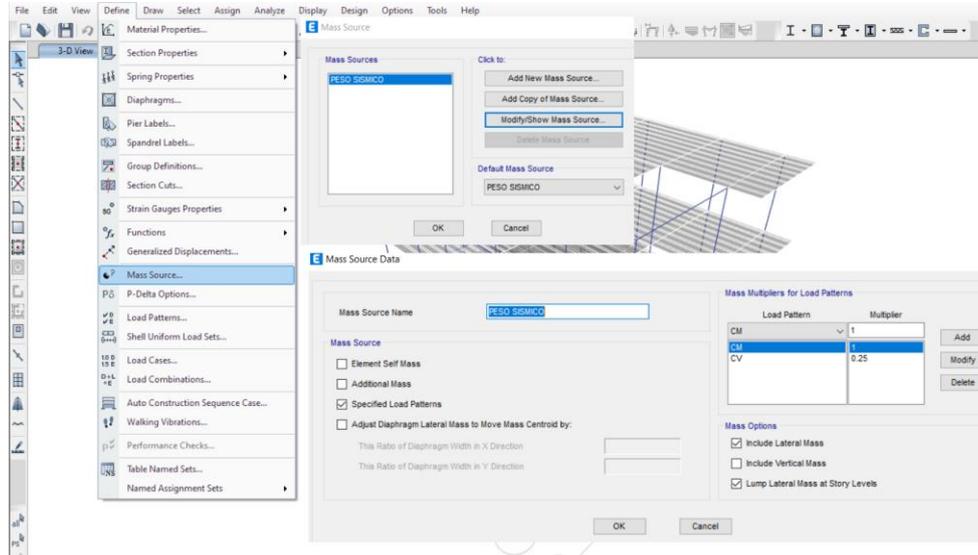


2.5.2.3. Periodos y porcentajes de masa participativa

En Etabs el peso sísmico se definió mediante la ruta de Mass Soure, se tuvo en consideración los porcentajes de carga muerta y carga viva para una edificación tipo C.

Figura 27

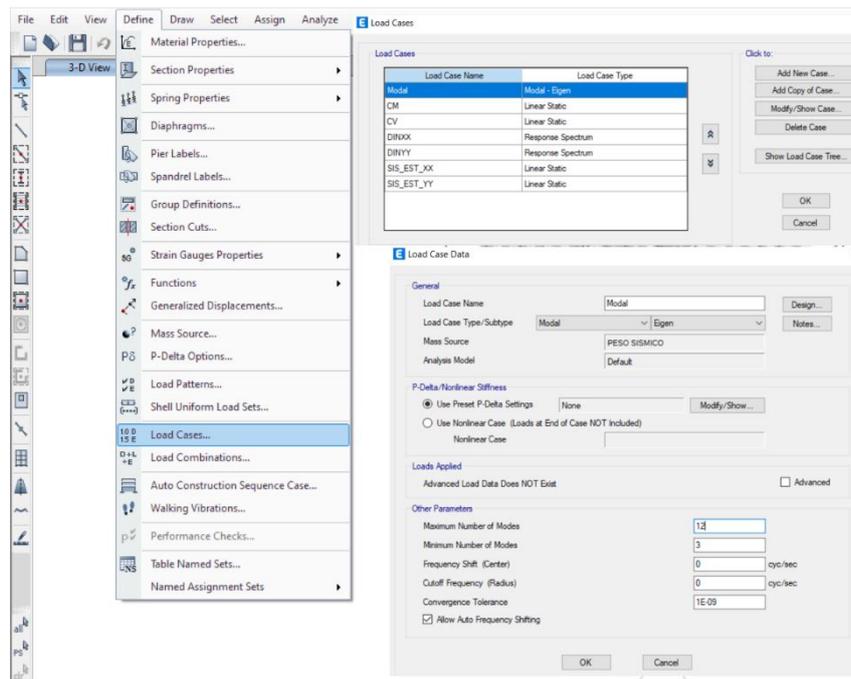
Definición de los parámetros para determinar el peso sísmico



Luego, se definieron los casos modales con base a la norma E.030, la cual indica que el número mínimo de modos es 3 por cada nivel, por lo tanto, nuestra edificación tuvo 12 modos de vibración.

Figura 28

Definición de los modos de vibrar del edificio de concreto liviano

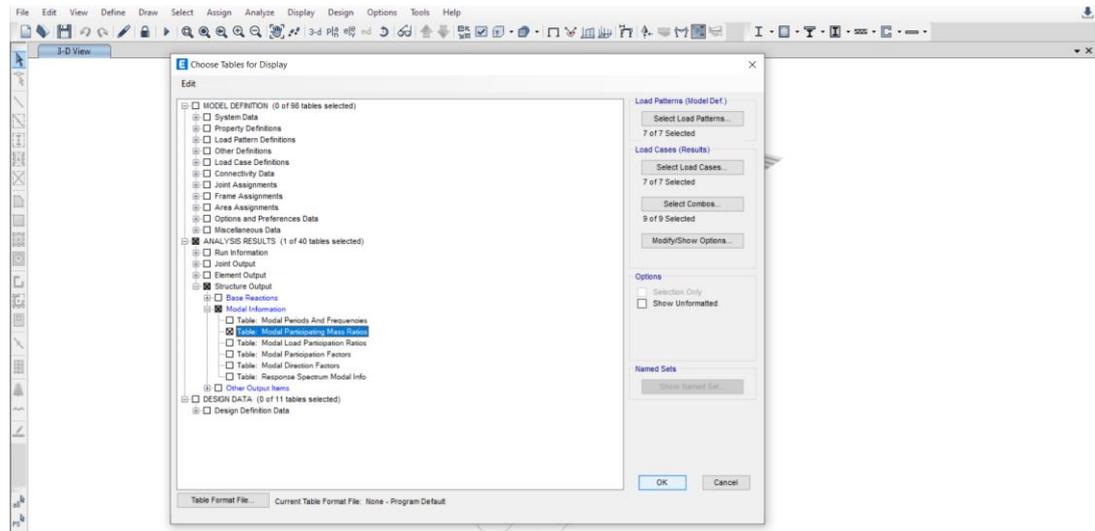


Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022.

Se ejecutó el programa con el propósito de determinar el periodo natural de las edificaciones con concreto tradicional y liviano. En la figura 29 se muestra la ruta de como se obtuvo los porcentajes de masa participativa.

Figura 29:

Ubicación de la ruta para obtener los porcentajes de masa participativa



En la imagen 30 se aprecian los periodos de vibración de la estructura modelada con concreto liviano. Así mismo, en el modo 2 se superó el 90% de masa participativa para ambas direcciones de análisis.

Figura 30

Periodos y masa participativa del edificio de concreto liviano

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal 1	1	0.437	0.9056	0.0001	0	0.9056	0.0001	0	1.876E-05
Modal 2	2	0.42	0.0002	0.9097	0	0.9058	0.9098	0	0.1463
Modal 3	3	0.396	0.0049	0.0052	0	0.9107	0.915	0	0.0004
Modal 4	4	0.129	0.0737	1.234E-05	0	0.9043	0.9151	0	0.0001
Modal 5	5	0.124	2.873E-05	0.0707	0	0.9044	0.9058	0	0.0011
Modal 6	6	0.118	0.0004	0.0005	0	0.9048	0.9063	0	0.0061
Modal 7	7	0.064	0.013	2.73E-06	0	0.9078	0.9063	0	0.081E-06
Modal 8	8	0.062	6.021E-06	0.0118	0	0.9078	0.9061	0	0.0307
Modal 9	9	0.059	0.0001	0.0001	0	0.9079	0.9061	0	0.0001
Modal 10	10	0.039	0.0021	0	0	1	0.9061	0	2.456E-06
Modal 11	11	0.039	0	0.0019	0	1	1	0	0.0152
Modal 12	12	0.037	2.937E-05	0	0	1	1	0	4.48E-06

La imagen 31 muestra los periodos de vibración de la estructura modelada con concreto tradicional. Por otra parte, en el modo 2 se superó el 90% de masa participativa para ambas direcciones de análisis.

Figura 31

Periodos y masa participativa del edificio de concreto tradicional

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.437	0.9056	0.0001	0	0.9056	0.0001	0	1.876E-05
Modal	2	0.42	0.0002	0.9097	0	0.9056	0.9098	0	0.1463
Modal	3	0.396	0.0049	0.0052	0	0.9107	0.915	0	0.0004
Modal	4	0.129	0.0737	1.234E-05	0	0.9043	0.9151	0	0.0001
Modal	5	0.124	2.673E-05	0.0707	0	0.9044	0.9058	0	0.0011
Modal	6	0.118	0.0004	0.0005	0	0.9048	0.9063	0	0.0061
Modal	7	0.084	0.013	2.73E-06	0	0.9078	0.9063	0	8.081E-06
Modal	8	0.082	6.021E-06	0.0118	0	0.9078	0.9061	0	0.0307
Modal	9	0.059	0.0001	0.0001	0	0.9079	0.9061	0	0.0001
Modal	10	0.039	0.0021	0	0	1	0.9901	0	2.458E-06
Modal	11	0.039	0	0.0019	0	1	1	0	0.0152
Modal	12	0.037	2.937E-05	0	0	1	1	0	4.48E-06

2.5.2.4. Parámetros para calcular cortante estático en la base

Periodo fundamental de la edificación (T)

El periodo fundamental en la dirección X e Y de la estructura tanto de concreto liviano (CL) como la de concreto tradicional (CT) se obtuvo mediante el programa Etabs. A continuación, en la tabla 22 se muestran los valores:

Tabla 22

Periodos en X, Y para concreto liviano y tradicional

	Dirección X	Dirección Y
Periodo Fundamental CT (T)	0.39	0.38
Periodo Fundamental CL (T)	0.44	0.42

Factor de amplificación sísmica (C)

Se interpreta como el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto a la aceleración en el suelo. El cálculo de este factor para cada dirección de análisis en ambos concretos se realizó con la ecuación 6.

Cabe mencionar que, no se utilizaron las ecuaciones 7 y 8 para el cálculo del factor de amplificación sísmica, debido a que, el periodo corto del suelo (T_p) fue mayor que el periodo fundamental de la edificación para ambos tipos de concreto (CT y CL). Por tal motivo, el factor de amplificación sísmica fue constante en ambas direcciones de análisis.

Factor de zona (Z)

Se representa como una fracción de la aceleración de la gravedad. En este caso, la ciudad de Trujillo pertenece a una zona 4, por tal motivo el factor de zona fue 0.45.

Categoría de la edificación y factor de uso (U)

Respecto a la categoría se le asigna un factor de uso, por tal motivo al ser un edificio multifamiliar pertenece a la categoría C, razón por la cual el factor de uso fue 1.

Parámetros de sitio (S, T_p y T_L)

Según la ubicación de la edificación se obtuvo un perfil de suelo tipo S3. Por lo que:

$$S=1.10$$

$$T_p= 1.0 \text{ seg.}$$

$$T_L= 1.6 \text{ seg.}$$

Coefficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R):

Se consideró que el coeficiente básico de reducción de la fuerza sísmica (R_o) fue 8, debido a que, en ambas direcciones de análisis el sistema estructural se clasificó

como pórticos de concreto armado. Además, se asumió una irregularidad visible tanto en planta como altura igual a 1, con el propósito de verificar las irregularidades luego de haber ejecutado el programa. Finalmente, el coeficiente de reducción sísmico fue $R=8$ para el sismo en X e Y, dónde se utilizó la ecuación 9. En la siguiente tabla se muestran los parámetros a modo resumen de acuerdo con la norma E.030

Tabla 23
Parámetros para determinar la fuerza cortante en la base

Categoría "C"	Concreto liviano	Concreto convencional
$T_p =$	0.60	0.60
$T_x =$	0.44	0.39
$T_y =$	0.42	0.38
$Z =$	0.45 (Trujillo)	0.45 (Trujillo)
$U =$	1.00	1.00
$S =$	1.10	1.10
$C =$	2.5	2.5
$R_x =$	8.00	8.00
$R_y =$	8.00	8.00
Peso =	469.04	528.06
$I_{ax} =$	1.00	1.00
$I_{px} =$	1.00	1.00
$I_{ay} =$	1.00	1.00
$I_{py} =$	1.00	1.00
$ZUCS/R_{(x)} =$	0.155	0.155
$ZUCS/R_{(y)} =$	0.155	0.155

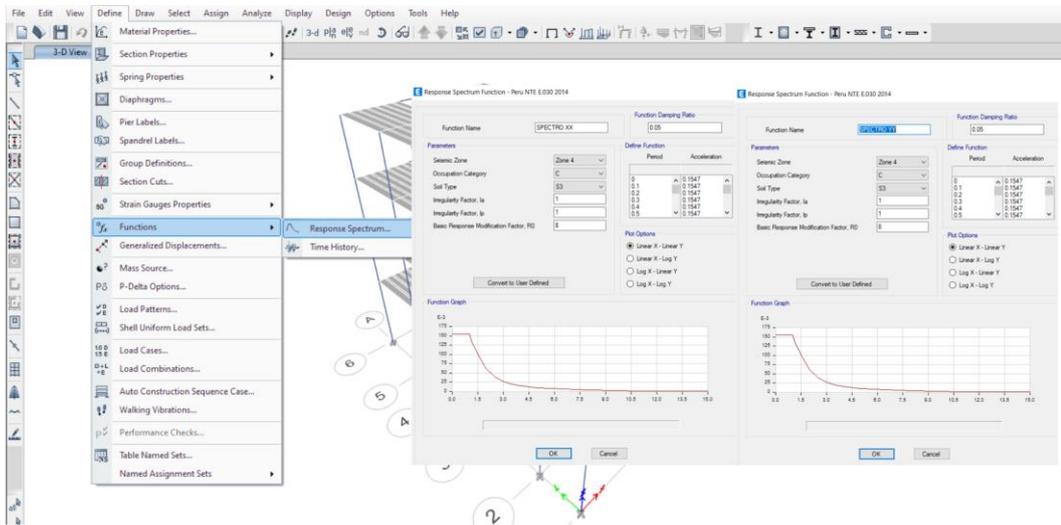
2.5.3. Análisis sísmico dinámico (ASD)

2.5.3.1. Definición del espectro de respuesta

Con la ayuda del programa Etabs se construyó el espectro de respuesta, en consecuencia, se tuvo que seleccionar la norma E.030 y modificar los parámetros de sitio de acuerdo con nuestro proyecto, tal como se muestra en la figura 32. Cabe mencionar que, la gravedad se asignó al crear el caso de carga sismo dinámico.

Figura 32

Ruta de acceso para la creación de los Espectros de diseño para el Sismo en X e Y



2.5.3.2. Creación de patrones de carga

Se definieron los patrones de carga para el sismo estático en la dirección X e Y, para esto se tuvo en cuenta el factor ZUCS/R, el factor k que depende del periodo natural del edificio y se consideró una excentricidad del 5 % tal como lo indica la norma de diseño sismorresistente.

Figura 33

Definición del patrón de carga para el sismo en X

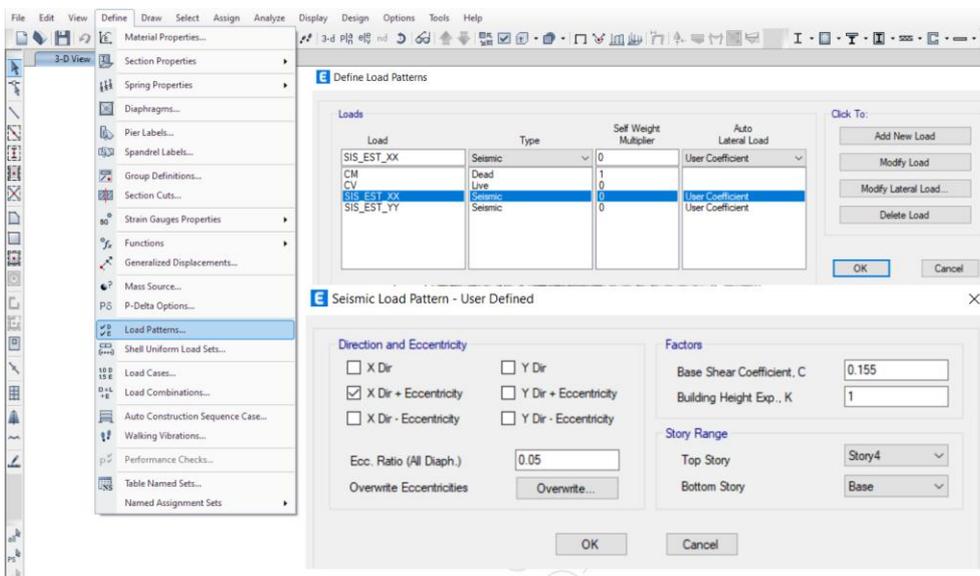
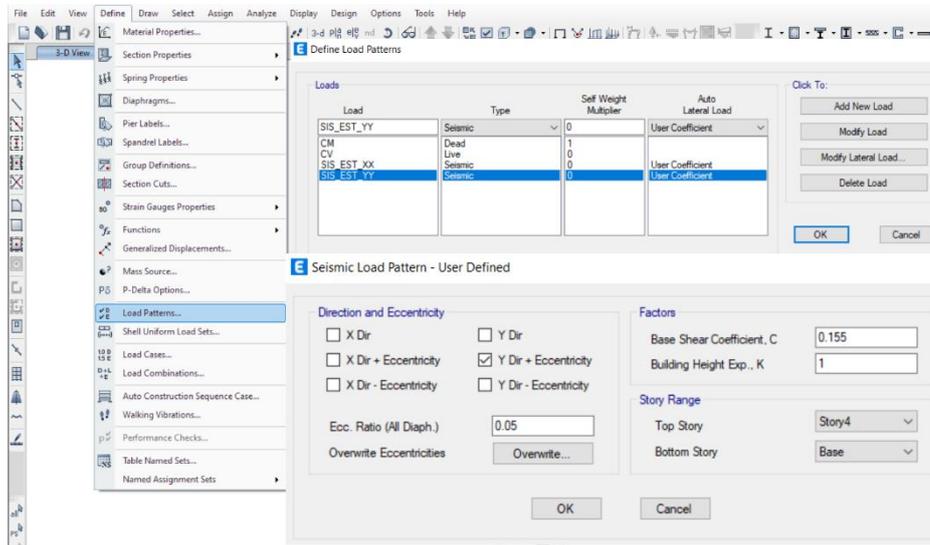


Figura 34

Creación del patrón de carga para el sismo en Y

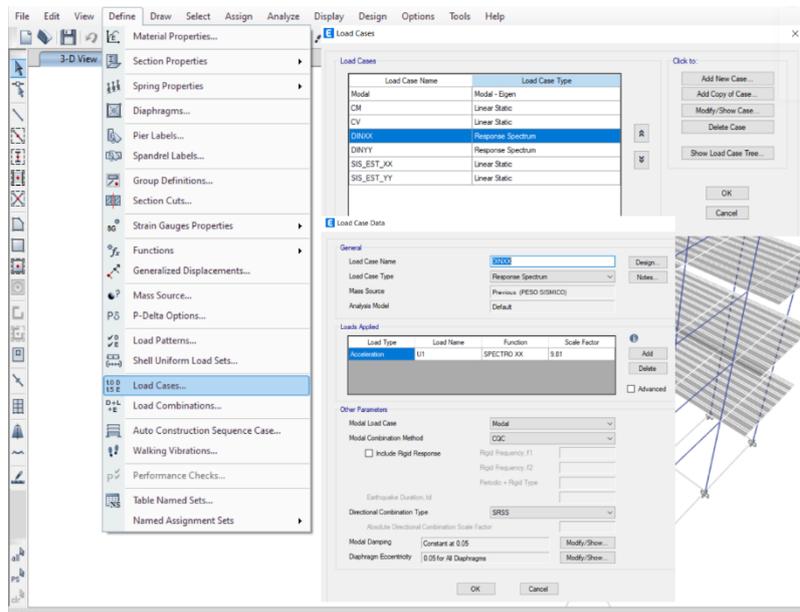


2.5.3.3. Creación de casos de carga

Se modificó los casos de carga Dead y Live a CM y CV respectivamente, para tener concordancia con los patrones de carga. Luego, se estableció el caso de carga para el sismo dinámico en la dirección X e Y de ambas edificaciones. Es aquí donde se ingresó el valor de la gravedad al espectro de diseño; tal como se muestra en la figura 35.

Figura 35

Creación del caso de carga para el análisis sísmico dinámico



2.5.3.4. Definición de combinaciones de carga

Se crearon las combinaciones de carga para los desplazamientos laterales dinámicos tal como lo indica la norma E.030, así como el patrón de peso sísmico; por último las combinaciones de diseño mediante la norma E.060.

Figura 36

Definición de la combinación de carga para determinar los desplazamientos laterales.

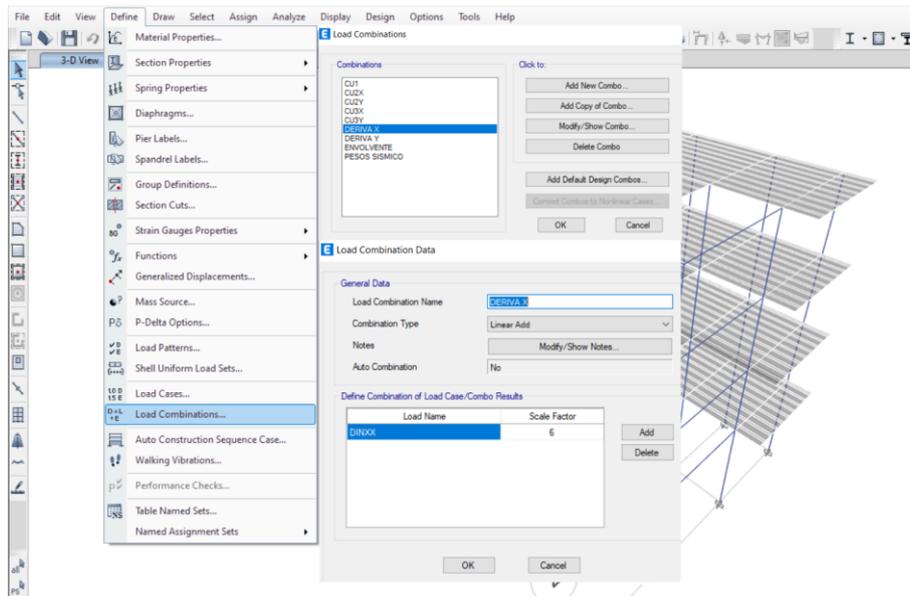


Figura 37

Definición de la combinación de carga para cuantificar el peso sísmico.

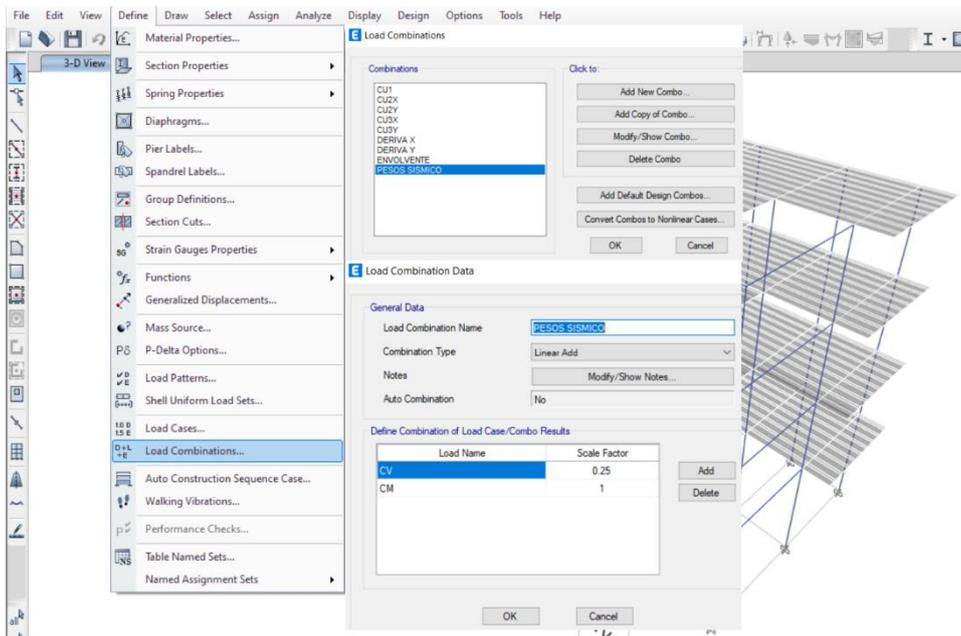


Figura 38

Definición de la combinación de diseño en concreto armado

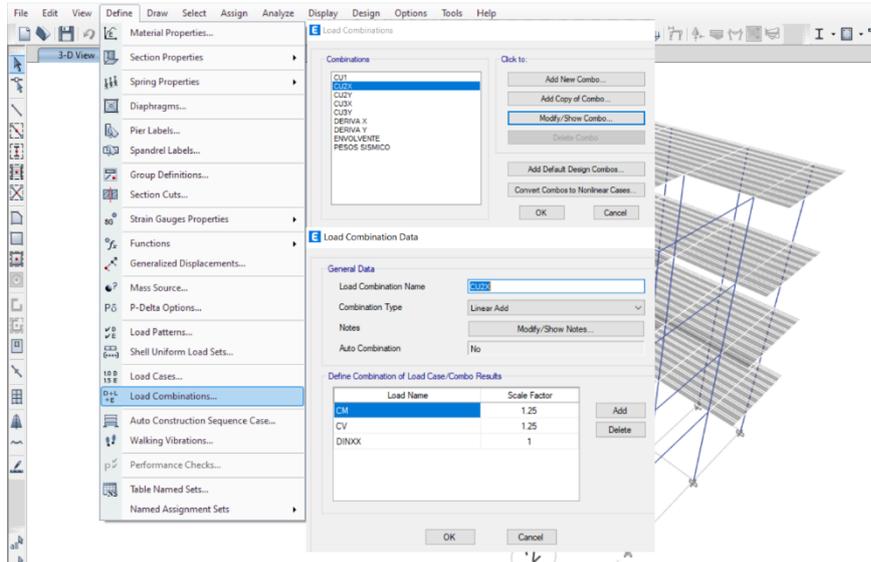
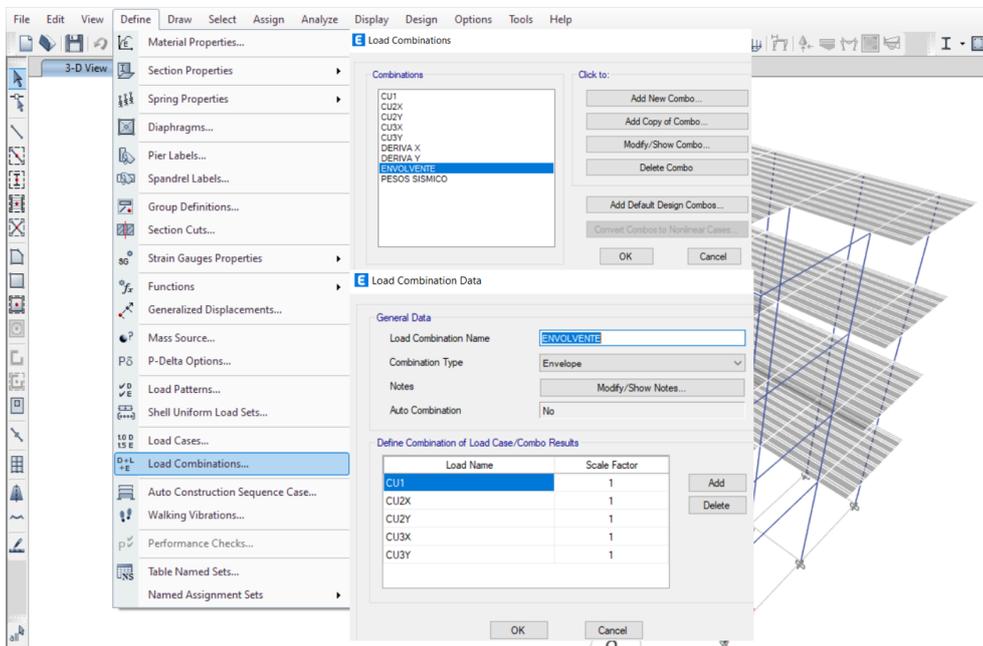


Figura 39

Definición de la combinación envolvente.



Por último, se ejecutó el programa para verificar las distorsiones de entrepiso, irregularidades y la cortante dinámica mínima del primer entrepiso.

Figura 40

Desplazamientos laterales máximos en X del centro de masa para la estructura de concreto liviano.

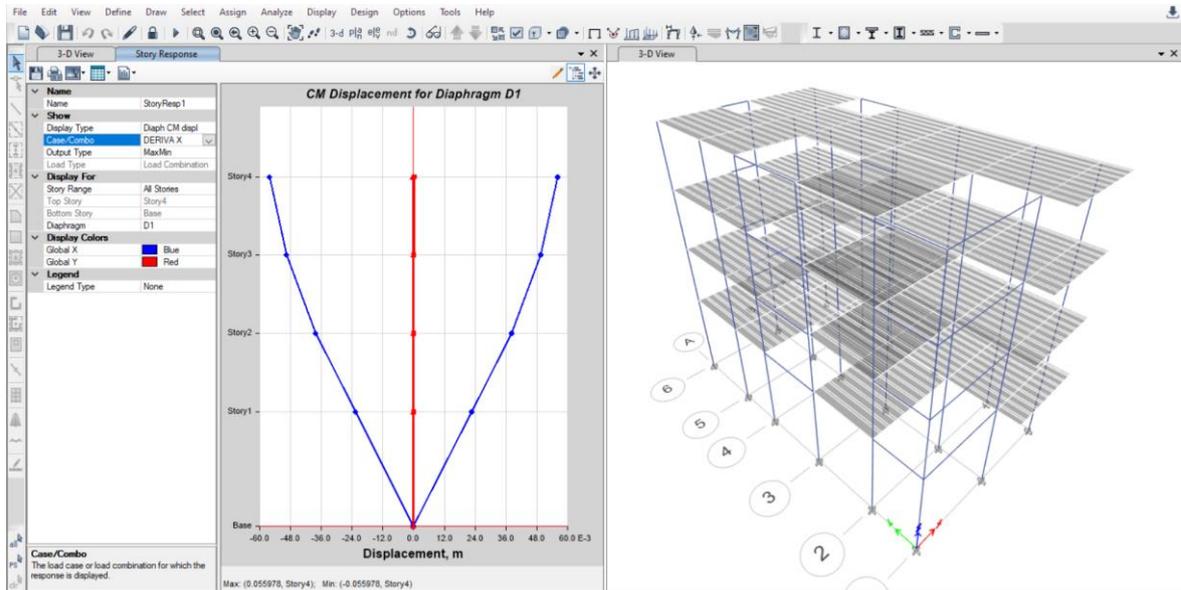
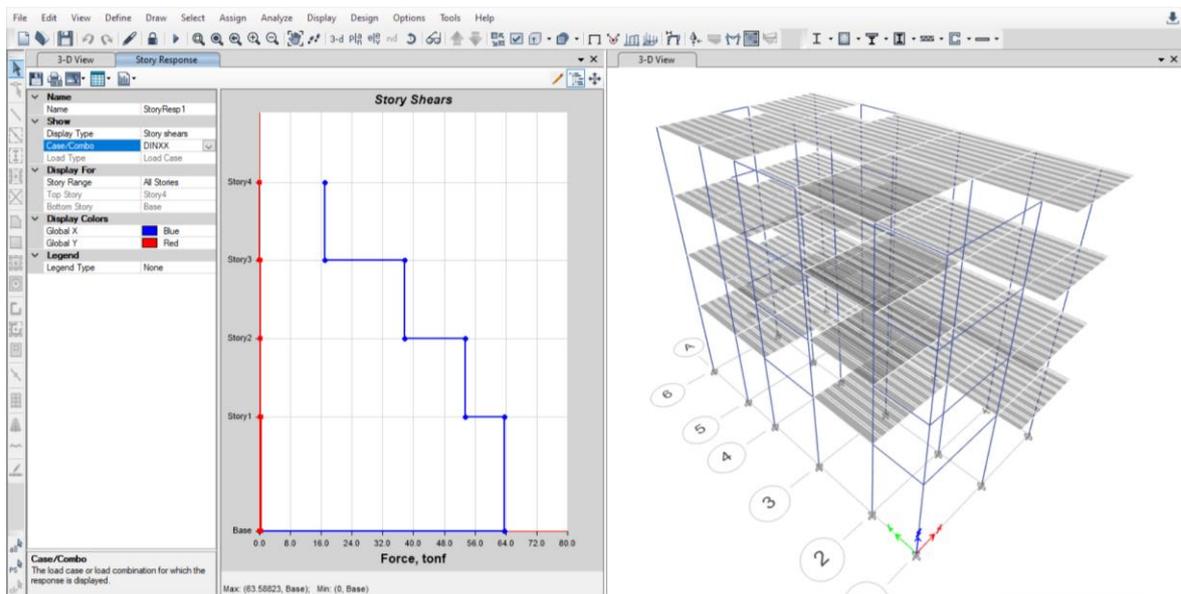


Figura 41:

Fuerzas cortantes dinámicas en cada nivel del edificio de concreto liviano para el Sismo en X.



2.5.4. Diseño en concreto armado

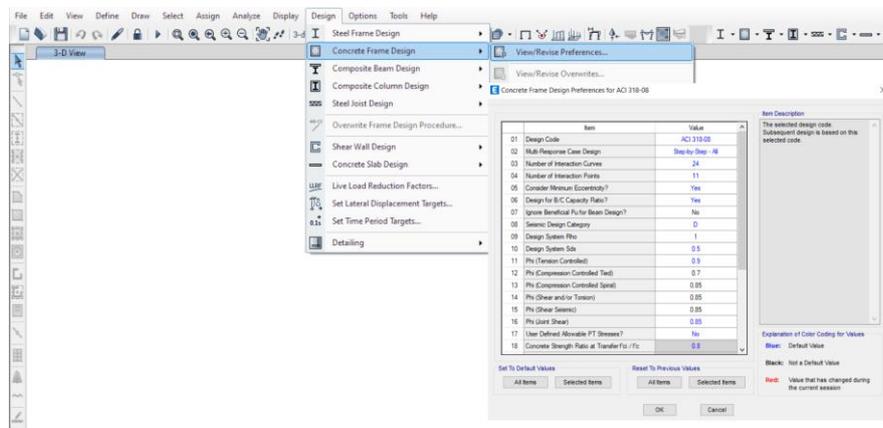
2.5.4.1. Diseño de vigas

Diseño por flexión

Para el diseño por flexión en vigas se procedió a modificar el código de diseño (ACI-318) del Etabs para asemejar a nuestra normativa peruana.

Figura 42

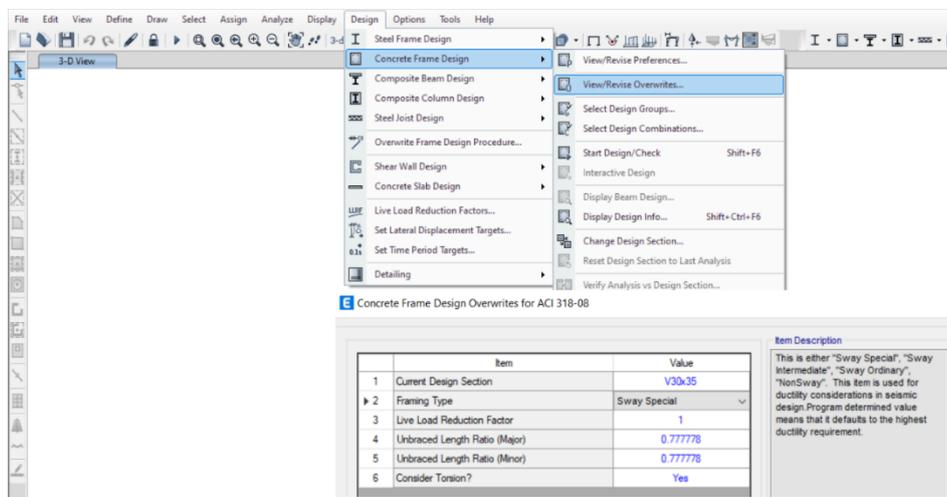
Modificación de los factores de reducción.



Posteriormente, se seleccionaron los elementos frame de las vigas principales y se verificó que su diseño sea como pórticos especiales, por tal motivo, se asignó la opción Sway especial.

Figura 43

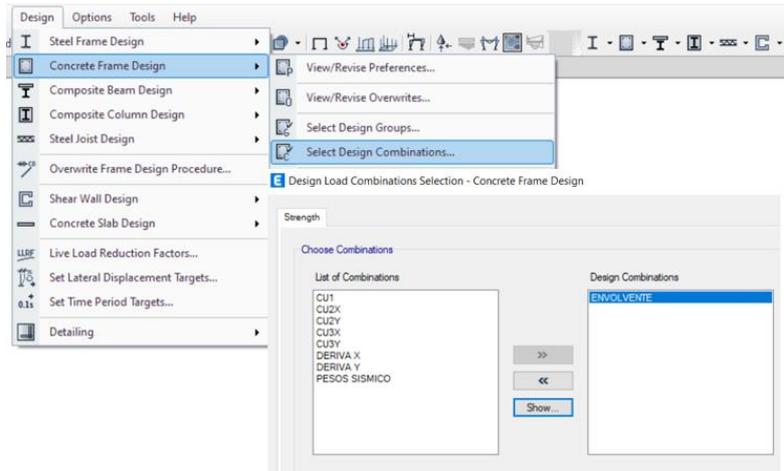
Definición de pórticos especiales.



Por último, se calculó el refuerzo longitudinal en las vigas mediante la combinación envolvente, la cual agrupa las combinaciones de la norma E.060 y proporciona los valores máximos de las fuerzas internas del elemento viga.

Figura 44

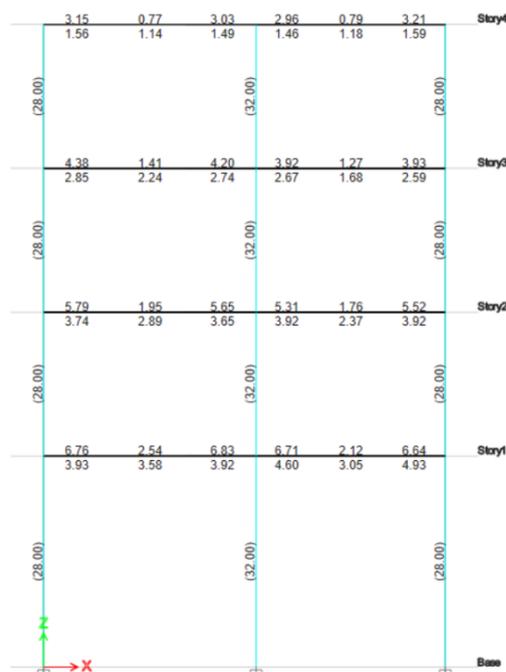
Selección de la combinación envolvente



Se muestra la elevación del eje 6, además del acero requerido para cada tramo de la viga VP-01 (0.30 m x 0.45 m)

Figura 45

Disposición del refuerzo longitudinal en cada tramo de viga



Consecuentemente, se realizó la verificación de la disposición de acero obtenido por el programa Etabs, con las fórmulas de la norma E.060 para el diseño por flexión. Es así como, se tomó el tramo B-C del eje 6 de la viga en el primer piso.

Figura 46

Acero requerido en el tramo B-C

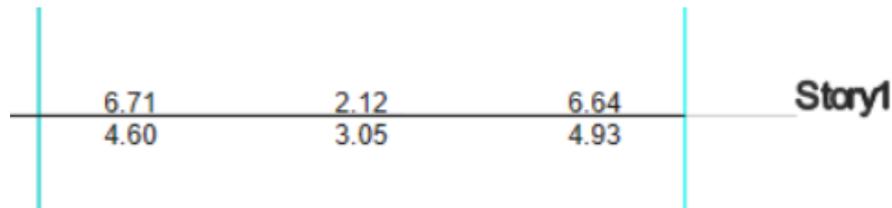
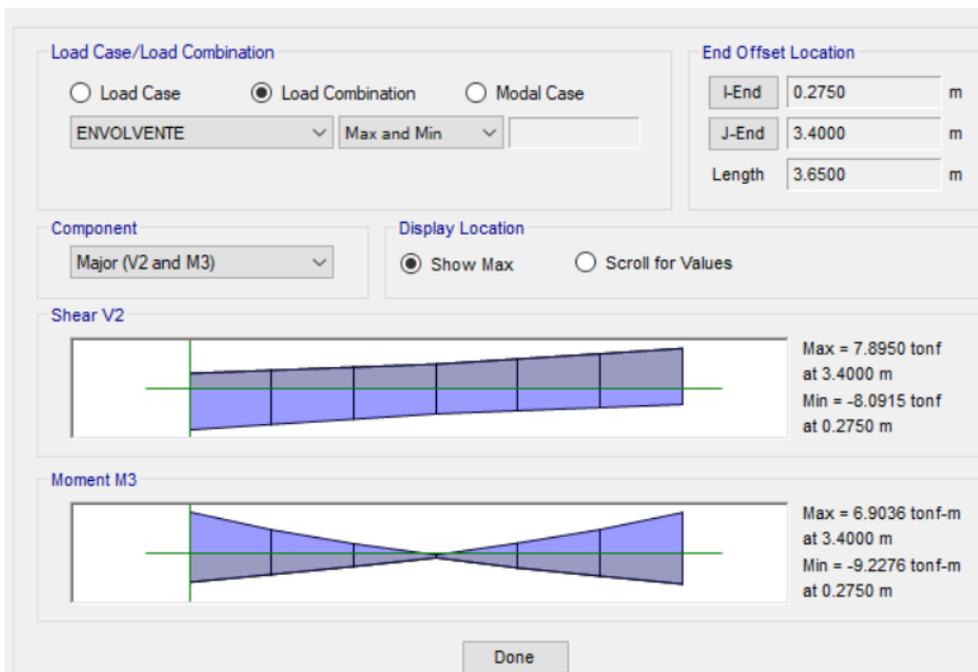


Figura 47

Diagrama de momento flector de la viga VP-01

E Diagram for Beam B12 at Story Story1 (V30x45)



De la figura anterior, se obtuvo un momento máximo negativo izquierdo de $M_{u_i}^- = -9.2276$ tnf-m y un momento máximo positivo derecho de $M_{u_d}^+ = +6.9036$ tnf-m, con los cuales se determinó la cantidad de acero requerido a través de las ecuaciones 15, 16 y 17 que se plasmaron en una hoja de Excel.

Tabla 24

Refuerzo momento máximo negativo en vigas

Diseño del refuerzo longitudinal en vigas	
f'_c : Esfuerzo a compresión del concreto (tnf/m ²)	2100
f_y : Esfuerzo de fluencia del acero (tnf/m ²)	42000
ϕ : Factor de reducción por flexión	0.9
β_1 : Parámetro esfuerzo a compresión del concreto	0.85
b: Base de la sección (m)	0.30
h: Peralte de la sección (m)	0.45
d_i^- : Peralte efectivo del refuerzo izquierdo negativo (m)	0.39
$M_{u_i^-}$: Momento último izquierdo negativo (tf-m)	9.23
a_i^- : Altura bloque equivalente izquierdo negativo ($(d_i^- - [d_i^{-2} - (2M_{u_i^-} / \phi 0.85 f'_c b)]^{0.5})$)	0.05
A_s : Área de acero longitudinal ($M_{u_i^-} / \phi f_y (d_i^- - a_i^- / 2)$)	6.71
ρ_b : Cuantía balanceada ($(0.85 f'_c \beta_1 / f_y) (6000 / (6000 + f_y))$)	0.021
$\rho_{máx}$: Cuantía máxima ($0.75 \rho_b$)	0.016
$A_{s\ máx}$: Área de acero longitudinal máximo ($\rho_{máx} b d_i^-$)	18.65
$A_{s\ mín}$: Área de acero longitudinal mínimo ($0.7 [f'_c]^{0.5} b d_i^- / f_y$)	2.83

Nota. El cuadro presenta el cálculo del refuerzo para el momento máximo negativo izquierdo para el diseño sísmico de vigas.

Tabla 25

Refuerzo momento máximo positivo en vigas

Diseño del refuerzo longitudinal en vigas	
f'_c : Esfuerzo a compresión del concreto (tnf/m ²)	2100
f_y : Esfuerzo de fluencia del acero (tnf/m ²)	42000
ϕ : Factor de reducción por flexión	0.9
β_1 : Parámetro esfuerzo a compresión del concreto	0.85
b: Base de la sección (m)	0.30
h: Peralte de la sección (m)	0.45
d_d^+ : Peralte efectivo del refuerzo izquierdo positivo (m)	0.39
$M_{u_d^+}$: Momento último izquierdo positivo (tf-m)	6.90
a_d^+ : Altura bloque equivalente derecho positivo ($(d_d^+ - [d_d^{+2} - (2M_{u_d^+} / \phi 0.85 f'_c b)]^{0.5})$)	0.04
A_s : Área de acero longitudinal ($M_{u_d^+} / \phi f_y (d_d^+ - a_d^+ / 2)$)	4.93
ρ_b : Cuantía balanceada ($(0.85 f'_c \beta_1 / f_y) (6000 / (6000 + f_y))$)	0.021
$\rho_{máx}$: Cuantía máxima ($0.75 \rho_b$)	0.016

$A_{s \text{ máx}}$: Área de acero longitudinal máximo ($\rho_{\text{máx}} b d_i^-$)	18.65
$A_{s \text{ mín}}$: Área de acero longitudinal mínimo ($0.7 [f'_c]^{0.5} b d_d^+ / f_y$)	2.83

Nota. El cuadro presenta el cálculo del refuerzo para el momento máximo positivo derecho para el diseño sísmico de vigas.

Se observó que, el refuerzo longitudinal calculado bajo los lineamientos de la norma peruana resultó igual a lo solicitado por el programa Etabs, $A_{s_i^-} = 6.71 \text{ cm}^2$ y $A_{s_d^+} = 4.93 \text{ cm}^2$.

Diseño por cortante

El diseño por corte se realizó mediante los criterios del capítulo 21.5 de la norma E.060, la cual indica que, la fuerza cortante de diseño se determina mediante las resistencias probables en flexión ($M_{pr}=1.25M_n$) en los extremos de la luz libre del elemento y la fuerza cortante isostática calculadas para las cargas de gravedad amplificadas. Como resultado, en esta etapa del diseño se dotó de ductilidad al elemento con el propósito de generar una falla dúctil. Cabe mencionar que, para concretos livianos con arena de peso normal, las ecuaciones de resistencias a corte se tuvieron que reducir a un 85 % (ver anexo 9).

2.5.4.2. Diseño de columnas

Diseño por flexo compresión

Se diseñó la columna de 50 cm x 50 cm que se encuentra entre los ejes B y 5, por tal motivo, se inició con la cuantía mínima del 1 % tal como lo indica la E.060. Es así como se inició con 14 varillas $\varnothing 5/8$ ", dando como resultado un área total de acero en la sección transversal de 27.72 cm^2 y una cuantía de 1.11 %. Luego, se escogió la columna a diseñar y mediante el programa obtuvimos las fuerzas internas del elemento para los patrones de carga muerta, viva y los sismos dinámicos en X e Y.

Tabla 26
Fuerzas internas de la columna C1 con concreto liviano

Nivel	Columna	Load, Case/Combo	P	V2	V3	M2	M3
			tnf	tnf	tnf	tnf-m	tnf-m
1	C1	CM	-34.31	0.22	-0.11	-0.16	0.27
1	C1	CV	-6.16	0.03	0.00	0.00	0.04
1	C1	DINXX	2.07	4.45	0.04	0.08	9.92
1	C1	DINYY	6.95	0.30	4.09	8.85	0.67

Tabla 27
Combinaciones de carga de la columna C1 con concreto liviano

CARGA	P (t)	M2 (tnf-m)	M3 (tnf-m)
CM	34.31	-0.16	0.27
CV	6.16	0.00	0.04
SX	2.07	0.08	9.92
SY	6.95	8.85	0.67
COMB 1	58.50	-0.22	0.46
COMB 2	52.65	-0.12	10.32
COMB 3	48.52	-0.28	-9.53
COMB 4	57.54	10.87	1.23
COMB 5	43.63	-11.26	-0.43
COMB 6	32.95	-0.07	10.17
COMB 7	28.81	-0.22	-9.68
COMB 8	37.83	10.92	1.08
COMB 9	23.93	-11.21	-0.58

Con la ayuda del programa Etabs se obtuvo el diagrama de interacción que depende de la sección transversal y el acero de refuerzo asumido. Por último, exportamos los puntos de las curvas M2 y M3 a una hoja de Excel y se verificaron que las combinaciones de diseño propuestas en la norma E.060 estén dentro del diagrama de interacción para cada dirección de análisis tal como se muestra en las figuras 48 y 49, si no fuera el caso se debe incrementar la cuantía.

Figura 48

Diagrama de interacción dirección X para concreto liviano

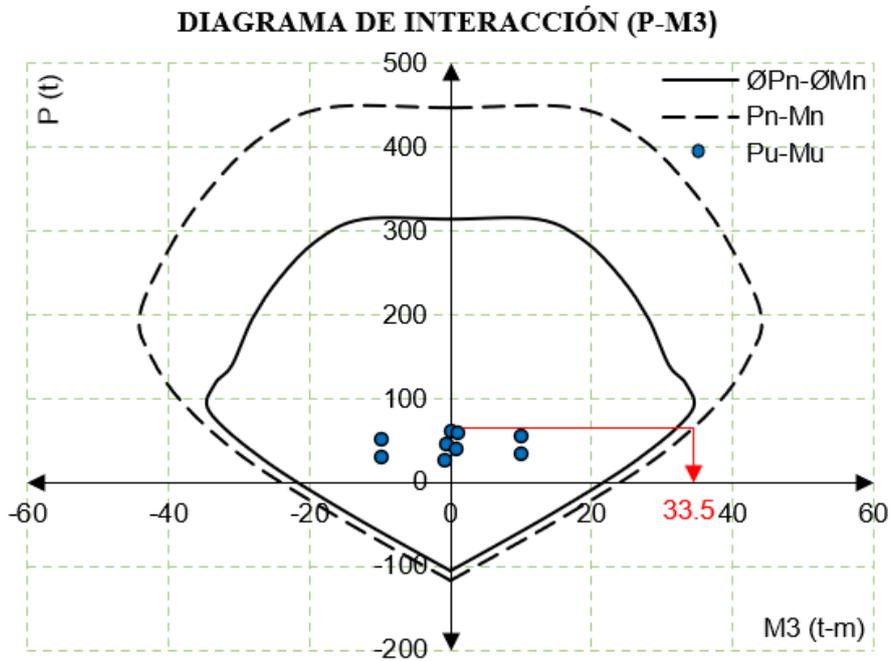
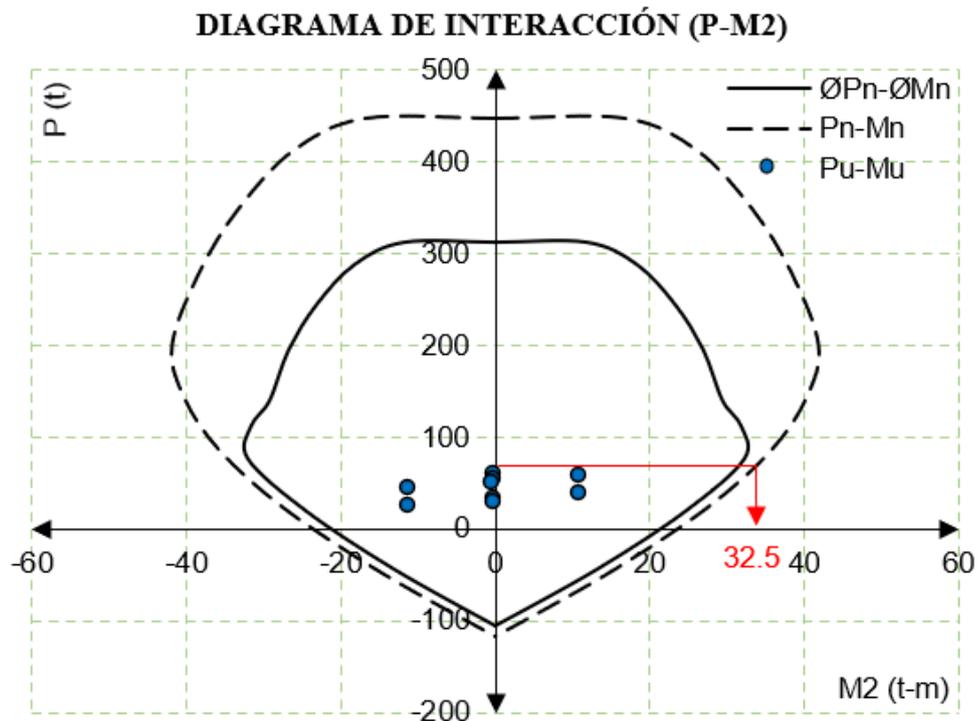


Figura 49

Diagrama de interacción dirección X para concreto liviano



Diseño por cortante

Para el diseño por cortante, el capítulo 21.6.5 de la E.060 indica que, la fuerza cortante de diseño debe determinarse mediante las resistencias máximas probables en flexión ($M_{pr}=1.25M_n$) en cada extremo del elemento, correspondiente al rango de cargas axiales amplificada. Es así como, del diagrama de interacción se obtuvo el momento nominal, con ello mediante una hoja de cálculo procedimos a calcular la distribución de los estribos tanto en la zona confinada como no confinada.

Tabla 28

Refuerzo transversal en columna de concreto liviano

Diseño del refuerzo transversal de confinamiento en columnas	
f'_c : Esfuerzo a compresión del concreto (tnf/m ²)	2100
f_y : Esfuerzo de fluencia del acero (tnf/m ²)	42000
ϕ_v : Factor de reducción por corte	0.85
db: Diámetro de la barra longitudinal (pulg)	5/8
db _h : Diámetro de la barra del estribo (pulg)	3/8
hn ₂ : Altura libre de la columna en la dirección 2 (m)	3.65
b ₂ : Base de la sección en la dirección 2 (m)	0.50
h ₂ : Peralte de la sección en la dirección 2 (m)	0.50
d ₂ : Peralte efectivo en la dirección 2 (m)	0.44
Mn ₃ ⁺ : Momento nominal positivo alrededor del eje 3 (tnf-m)	33.50
Mn ₃ ⁻ : Momento nominal negativo alrededor del eje 3 (tnf-m)	33.50
Vu ₂ : Cortante último en la dirección 2 ($1.25[Mn_3^+ + Mn_3^-]/hn_2$)	22.95
Vs ₂ : Resistencia al corte del acero en 2 (Vu_2/ϕ_v)	26.99
Av ₂ : Área de acero del estribo en la dirección 2 (cm ²)	2.84
s ₁ : Primer espaciamiento de estribos ($A_v f_y d / V_s$)	0.19
s ₂ : Segundo espaciamiento de estribos (6db)	0.10
s ₃ : Tercer espaciamiento de estribos ($\min[b, h]/3$)	0.17
s ₄ : Cuarto espaciamiento de estribos (0.10m)	0.10
s: Espaciamiento de estribos en una longitud L _o (m)	0.10
Lo ₁ : Primera longitud L _o (hn ₂ /6)	0.61
Lo ₂ : Segunda longitud L _o (max[b, h])	0.50
Lo ₃ : Tercera longitud L _o (0.50m)	0.50
Lo: Longitud L _o (m)	0.61
V _c : Resistencia al corte del concreto ($0.53 \cdot 0.85 [f'_c]^{0.5} b d$)	14.36
Vs _{Lo} : Corte del acero a una distancia L _o ($Vu/\phi_v - V_c$)	12.63
s _{1Lo} : Primer espaciamiento a L _o ($A_v f_y d / Vs_{2h}$)	0.42

s_{2L_0} : Segundo espaciamiento de estribos a L_0 (10db)	0.16
s_{3L_0} : Tercer espaciamiento de estribos (0.25m)	0.25
s_{L_0} : Espaciamiento de estribos más allá de L_0 (m)	0.16

Nota. El cuadro presenta los valores obtenidos en el modelamiento con el software Etabs para la distribución de estribos en las columnas. Adaptado de *Estructuración, Análisis y Diseño Sísmico de Viviendas Irregulares Unifamiliares y Multifamiliares* (p.87), E. Enríquez, 2022.

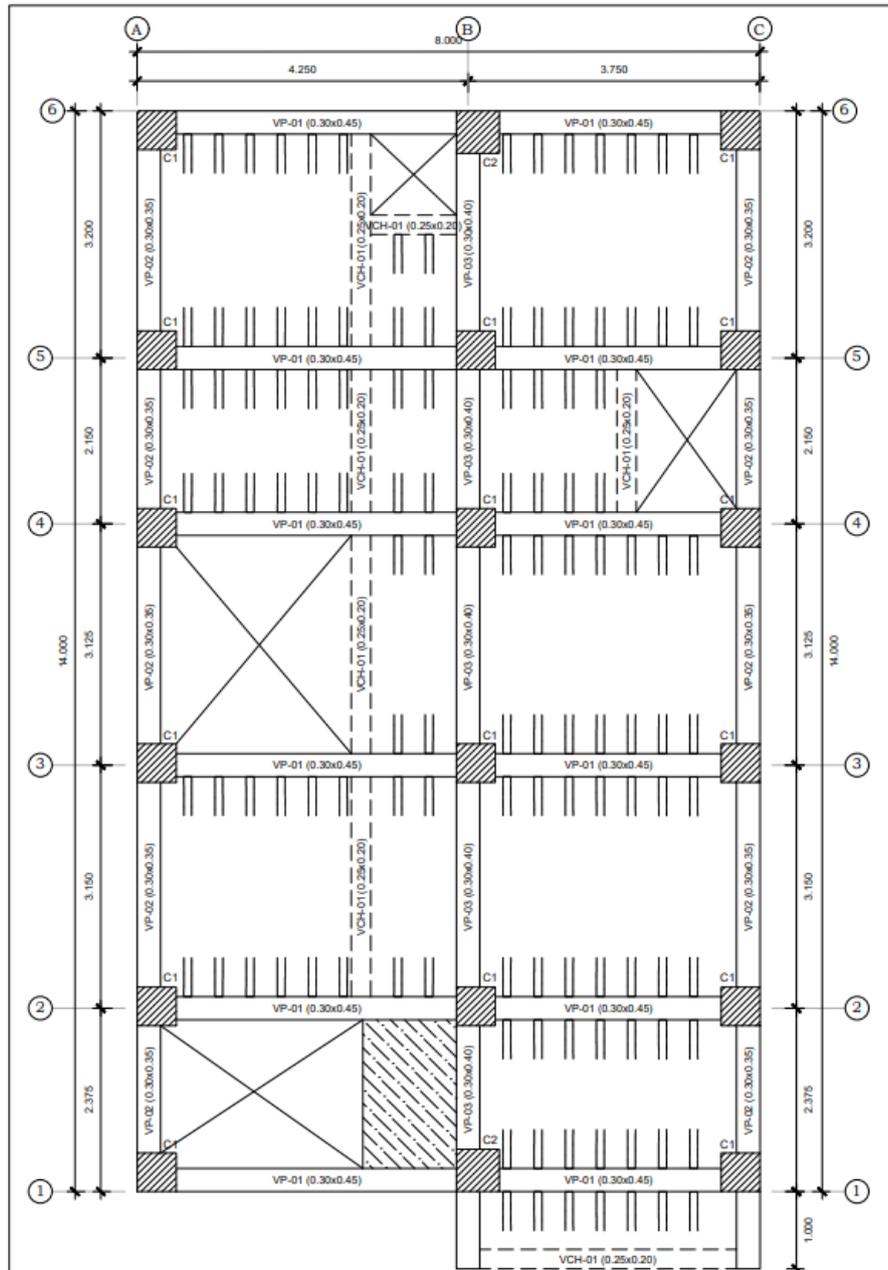
CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Estructuración y predimensionamiento

3.1.1. Estructuración

Figura 50

Distribución de los elementos estructurales de piso típico



Nota. En la presente figura se muestra el plano del piso típico correspondiente a la distribución de los elementos verticales (columnas), así como los elementos horizontales (vigas principales, vigas chatas y losa aligerada en una dirección). Cabe mencionar que, se utilizó la misma estructuración para ambas edificaciones.

Tabla 29
Definición del predimensionamiento en vigas.

Código	Tipo	Base (m)	Peralte (m)	Eje
VP - 01	Viga principal	0.30	0.45	1-2-3-4-5-6
VP - 02	Viga principal	0.30	0.35	A y C
VP - 03	Viga principal	0.30	0.40	Eje B
VCH - 01	Viga chata	0.25	0.20	A, B y C

Nota. En la tabla se muestran los códigos de las vigas, así como las secciones transversales finales con sus respectivos ejes, cabe resaltar que se utilizaron los mismos valores para ambos tipos de concreto.

Tabla 30
Definición del predimensionamiento en columnas.

Código	Dimensiones		Nivel
	Largo (m)	Ancho (m)	
C-01	0.50	0.50	1 al 4
C-02	0.55	0.55	1 al 4

Nota. En la tabla se muestran los códigos y dimensiones finales de las columnas, las cuales se mantienen en los 4 niveles de la edificación para ambos tipos de concreto.

Tabla 31
Predimensionamiento de losa aligerada.

Tipo de losa	Espesor (m)	Nivel
Losa aligerada	0.20	1 al 4

Nota. La tabla presenta el valor del espesor de la losa aligerada, el cual fue constante en todos los pisos de la edificación para ambos tipos de concreto.

Tabla 32
Espesor de garganta

Elemento	Espesor (m)	Nivel
Escalera	0.20	1 al 4

Nota. En la tabla se aprecia el valor del espesor de garganta en la escalera, el cual fue constante en todos los pisos de la edificación para ambos tipos de concreto.

3.2. Análisis sísmico estático

3.2.1. Fuerza cortante basal estática

Tabla 33

Cálculo de la fuerza cortante basal estática para el concreto liviano y tradicional

	Sismo en X		Sismo en Y	
	CL	CT	CL	CT
Peso sísmico	469.04	528.06	469.04	528.06
Factor (ZUCS/R)	0.155	0.155	0.155	0.155
Cortante estático	72.56	81.68	72.56	81.68

Nota. En la tabla se muestran los valores de pesos sísmico y el factor que depende de los parámetros de sitio, con los cuales se obtuvo el cortante basal estático para ambos tipos de concreto (CL y CT).

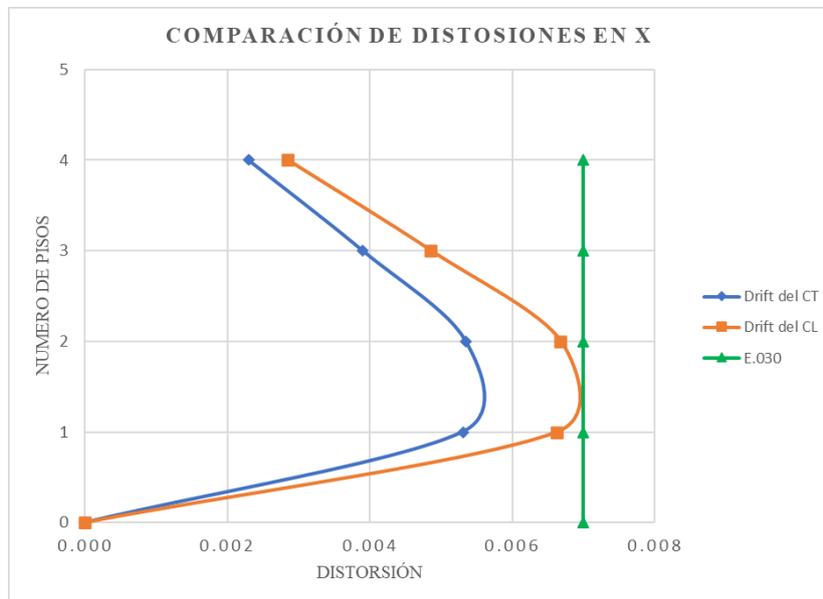
3.3. Análisis sísmico dinámico

3.3.1. Distorsión de entrepisos

➤ Sismo en X

Figura 51

Distorsiones para el sismo en X



Nota. En la imagen se muestra la distorsión de entrepiso en la dirección X para ambos tipos de concreto (CL y CT), de las cuales se apreció que cumplen con la deriva objetivo de 0.007 indicada en la norma E.030, sin embargo, la edificación echa con concreto tradicional presentó mayor rigidez lateral a comparación de la estructura de concreto liviano.

➤ Sismo en Y

Figura 52

Distorsiones para el sismo en Y



Nota. En la imagen se muestra la distorsión de entrepiso en la dirección Y para ambos tipos de concreto (CL y CT), de las cuales se apreció que cumplen con la deriva objetivo de 0.007 indicada en la norma E.030, sin embargo, la edificación hecha con concreto tradicional presentó mayor rigidez lateral a comparación de la estructura de concreto liviano.

3.3.2. Verificación de irregularidades estructurales

Tabla 34

Resumen de irregularidades para ambos tipos de concreto

Tipo de concreto	Irregularidades en altura		Irregularidades en planta
	Irregularidad de rigidez - piso blando	Irregularidad de resistencia - piso débil	Irregularidad torsional
Concreto liviano	No presenta	No presenta	No presenta
Concreto tradicional	No presenta	No presenta	No presenta

Nota. En la tabla se muestran los resultados de la irregularidad de rigidez, irregularidad de resistencia e irregularidad torsional, los cuales se verificaron mediante los resultados del análisis sísmico. Se recomienda revisar los anexos del N°10 al N°15.

3.3.3. Fuerza cortante dinámica mínima

Tabla 35

Fuerza cortante mínima para el concreto liviano

	Sismo en X (tnf)	Sismo en Y (tnf)
Cortante dinámica	63.59	63.95
Cortante estático	72.56	72.56
80% Cortante estático	58.04	58.04
Factor de amplificación	No aplica	No aplica

Nota. En la tabla se muestran los valores de fuerza cortante dinámico y estático de la estructura modelada con concreto liviano, con los cuales se realizó la verificación indicada en el artículo 29.4 de la norma E.030 en ambas direcciones de análisis.

Tabla 36

Fuerza cortante mínima para el concreto tradicional

	Sismo en X (tnf)	Sismo en Y (tnf)
Cortante dinámica	71.31	71.68
Cortante estático	82.20	82.20
80% Cortante estático	65.76	65.76
Factor de amplificación	No aplica	No aplica

Nota. En la tabla se muestran los valores de fuerza cortante dinámico y estático de la estructura modelada con concreto tradicional, con los cuales se realizó la verificación indicada en el artículo 29.4 de la norma E.030 en ambas direcciones de análisis.

3.4. Diseño en concreto armado

3.4.1. Diseño de vigas

- Diseño por flexión y cortante para el concreto liviano.

Tabla 37

Refuerzo en la viga de concreto liviano VP-01

Elemento	Tramo	Refuerzo longitudinal			Refuerzo transversal
VP-01 (30x45)	A-B	$A_{S_i^-}$ 3Ø5/8"+1Ø1/2"	$A_{S_c^-}$ 2Ø5/8"	$A_{S_d^-}$ 3Ø5/8"+1Ø1/2"	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05,

Eje 1-2 3-4-5-6	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	12@0.075, Rsto. @ 0.20
	2Ø5/8"	2Ø5/8"	2Ø5/8"	
B-C	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 12@0.075, Rsto. @ 0.20
	3Ø5/8"+1Ø1/2"	2Ø5/8"	3Ø5/8"+1Ø1/2"	
	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	
	2Ø5/8"+1Ø1/2"	2Ø5/8"	2Ø5/8"+1Ø1/2"	

Nota. En la tabla se muestra la sección transversal de la viga principal VP-01, así como los valores finales de la distribución del refuerzo longitudinal y transversal.

Tabla 38

Refuerzo en la viga de concreto liviano VP-02

Elemento	Tramo	Refuerzo longitudinal			Refuerzo transversal		
Volado		A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 11@0.075		
		2Ø1/2"	2Ø1/2"	2Ø1/2"			
	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+				
	2Ø1/2"	2Ø1/2"	2Ø1/2"				
	1-2		A_{Si}^-	A_{Sc}^-		A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 9@0.075, Rsto. @ 0.15
			3Ø1/2"+1Ø5/8"	2Ø1/2"		3Ø1/2"+1Ø5/8"	
A_{Si}^+		A_{Sc}^+	A_{Sd}^+				
4Ø1/2"		2Ø1/2"	4Ø1/2"				
VP-02 (30x35) Eje A-C	2-3	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 9@0.075, Rsto. @ 0.15		
		2Ø1/2"+1Ø5/8"	2Ø1/2"	2Ø1/2"+1Ø5/8"			
	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+				
	3Ø1/2"	2Ø1/2"	3Ø1/2"				
	3-4		A_{Si}^-	A_{Sc}^-		A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 9@0.075, Rsto. @ 0.15
			2Ø1/2"+1Ø5/8"	2Ø1/2"		2Ø1/2"+1Ø5/8"	
A_{Si}^+		A_{Sc}^+	A_{Sd}^+				
3Ø1/2"		2Ø1/2"	3Ø1/2"				
4-5		A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 9@0.075, Rsto. @ 0.15		
		3Ø1/2"+1Ø5/8"	2Ø1/2"	3Ø1/2"+1Ø5/8"			
	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+				
	4Ø1/2"	2Ø1/2"	4Ø1/2"				

	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	
5-6	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 9@0.075, Rsto. @ 0.15
	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	
	$3\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	$3\emptyset 1/2''$	

Nota. En la presente tabla se muestra la sección transversal de la viga principal VP-02, así como los valores finales de la distribución del refuerzo longitudinal y transversal.

Tabla 39

Refuerzo en la viga de concreto liviano VP-03

Elemento	Tramo	Refuerzo longitudinal			Refuerzo transversal
Volado		A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 11@0.075
		$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	
1-2		A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 10@0.075, Rsto. @ 0.15
		$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	
VP-03 (30x40) Eje B	2-3	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 10@0.075, Rsto. @ 0.15
		$4\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$3\emptyset 1/2''$	$4\emptyset 1/2''$	
3-4		A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 10@0.075, Rsto. @ 0.15
		$3\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	
4-5		A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 10@0.075, Rsto. @ 0.15
		$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	
5-6		A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 10@0.075, Rsto. @ 0.15
		$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''$	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	
		A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	
		$4\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	$4\emptyset 1/2''$	

Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aparcado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022.

$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''$	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ $1@0.05,$ $10@0.075,$ Rsto. @ 0.15
A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	
$3\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	

Nota. Esta tabla muestra la sección transversal de la viga principal VP-03, así como los valores finales de la distribución del refuerzo longitudinal y transversal.

➤ Diseño por flexión y cortante para el concreto tradicional.

Tabla 40

Refuerzo en la viga de concreto tradicional VP-01

Elemento	Tramo	Refuerzo longitudinal			Refuerzo transversal
VP-01 (30x45) Eje 1-2 3-4-5-6	A-B	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ $1@0.05,$ $12@0.075,$ Rsto. @ 0.20
		$2\emptyset 5/8''+3\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 5/8''+3\emptyset 1/2''$	
		A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	
	B-C	$2\emptyset 5/8''+1\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 5/8''+1\emptyset 1/2''$	
		A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	
		$2\emptyset 5/8''+3\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 5/8''+3\emptyset 1/2''$	
A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ $1@0.05,$ $12@0.075,$ Rsto. @ 0.20		
$2\emptyset 5/8''+1\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 5/8''$	$3\emptyset 5/8''$			

Nota. En la tabla se muestra la sección transversal de la viga principal VP-01, así como los valores finales de la distribución del refuerzo longitudinal y transversal.

Tabla 41

Refuerzo en la viga de concreto tradicional VP-02

Elemento	Tramo	Refuerzo longitudinal			Refuerzo transversal
VP-02 (30x35) Eje A-C	Volado	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ $1@0.05,$ $11@0.075$
		$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	
		A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	
	1-2	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	
		A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	
		$2\emptyset 1/2''+2\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	
$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ $1@0.05,$		

Análisis comparativo del comportamiento
 sísmico en una edificación tipo aparcado de
 4 niveles de concreto reforzado tradicional y
 liviano, Trujillo 2022.

	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	9@0.075, Rsto. @ 0.15
	3Ø1/2"+1Ø5/8"	2Ø1/2"	3Ø1/2"+1Ø5/8"	
2-3	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 9@0.075, Rsto. @ 0.15
	2Ø1/2"+1Ø5/8"	2Ø1/2"	2Ø1/2"+1Ø5/8"	
	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	
	3Ø1/2"	2Ø1/2"	3Ø1/2"	
3-4	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 9@0.075, Rsto. @ 0.15
	2Ø1/2"+1Ø5/8"	2Ø1/2"	2Ø1/2"+1Ø5/8"	
	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	
	3Ø1/2"	2Ø1/2"	3Ø1/2"	
4-5	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 9@0.075, Rsto. @ 0.15
	3Ø1/2"+1Ø5/8"	2Ø1/2"	3Ø1/2"+1Ø5/8"	
	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	
	3Ø1/2"+1Ø5/8"	2Ø1/2"	3Ø1/2"+1Ø5/8"	
5-6	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 9@0.075, Rsto. @ 0.15
	2Ø1/2"+1Ø5/8"	2Ø1/2"	4Ø1/2"	
	A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	
	3Ø1/2"	2Ø1/2"	2Ø1/2"+1Ø5/8"	

Nota. En la presente tabla se muestra la sección transversal de la viga principal VP-02, así como los valores finales de la distribución del refuerzo longitudinal y transversal.

Tabla 42

Refuerzo en la viga de concreto tradicional VP-03

Elemento	Tramo	Refuerzo longitudinal			Refuerzo transversal
VP-03 (30x40) Eje B	Volado	A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 11@0.075
		2Ø1/2"	2Ø1/2"	2Ø1/2"	
		A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	
		2Ø1/2"	2Ø1/2"	2Ø1/2"	
1-2		A_{Si}^-	A_{Sc}^-	A_{Sd}^-	Usar []: 1Ø 3/8" 1@0.05, 10@0.075, Rsto. @ 0.15
		3Ø1/2"+2Ø5/8"	2Ø1/2"+1Ø5/8"	3Ø1/2"+1Ø5/8"	
		A_{Si}^+	A_{Sc}^+	A_{Sd}^+	

	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$3\emptyset 1/2''$	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	
2-3	A_{Si^-}	A_{Sc^-}	A_{Sd^-}	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 10@0.075, Rsto. @ 0.15
	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	
	A_{Si^+}	A_{Sc^+}	A_{Sd^+}	
	$3\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	
3-4	A_{Si^-}	A_{Sc^-}	A_{Sd^-}	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 10@0.075, Rsto. @ 0.15
	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''$	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	
	A_{Si^+}	A_{Sc^+}	A_{Sd^+}	
	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''$	$3\emptyset 1/2''$	
4-5	A_{Si^-}	A_{Sc^-}	A_{Sd^-}	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 10@0.075, Rsto. @ 0.15
	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''$	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	
	A_{Si^+}	A_{Sc^+}	A_{Sd^+}	
	$4\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''$	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	
5-6	A_{Si^-}	A_{Sc^-}	A_{Sd^-}	Usar []: $1\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 10@0.075, Rsto. @ 0.15
	$3\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''$	$5\emptyset 1/2''$	
	A_{Si^+}	A_{Sc^+}	A_{Sd^+}	
	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	$2\emptyset 1/2''$	$2\emptyset 1/2''+1\emptyset 5/8''$	

Nota. En la tabla se observa la sección transversal de la viga principal VP-03, así como los valores finales de la distribución del refuerzo longitudinal y transversal.

3.4.2. Diseño de columnas

- Diseño por flexocompresión y por corte para concreto liviano y tradicional.

Tabla 43

Definición del refuerzo en columnas

Tipo de concreto	Elemento	Sección	Refuerzo longitudinal	Refuerzo transversal	Número ramas de estribos
Concreto liviano	C-01	50x50	$14\emptyset 5/8''$	Usar []: $2\emptyset 3/8''$ 1@0.05, 6@0.10, Rsto. @ 0.15	4

Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aparcado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022.

	C-02	55x55	16Ø5/8"	Usar []: 2Ø 3/8" 1 @0.05, 6@0.10, Rsto. @ 0.15	4
Concreto tradicional	C-01	50x50	14Ø5/8"	Usar []: 2Ø 3/8" 1 @0.05, 6@0.10, Rsto. @ 0.15	4
	C-02	55x55	16Ø5/8"	Usar []: 2Ø 3/8" 1 @0.05, 6@0.10, Rsto. @ 0.15	4

Nota. En la tabla se muestra las secciones transversales de las columnas, así como la definición del refuerzo longitudinal y transversal para ambos tipos de concreto.

CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

- ✓ Al realizar el análisis comparativo entre ambas estructuras se determinó que, la edificación de concreto liviano presentó un mejor comportamiento sísmico en comparación a la estructura modelada con concreto tradicional, dado que las propiedades mecánicas del concreto liviano como el módulo de elasticidad (1559324 tnf/m^2) y el peso específico (1843 kgf/m^3) influyen en el periodo natural que depende de la masa y rigidez de la estructura. Por otra parte, en el ASE debido a la reducción del peso sísmico (11.17 %) se obtuvieron menores valores de la cortante basal estática. Así mismo, se analizó el comportamiento de la estructura mediante el ASD a través de un espectro de respuesta que simula la acción sísmica, dando como resultado que la estructura con concreto liviano cumple con la deriva objetivo de 7 %, además en el tramo 1-2 de la viga principal 02 la variación porcentual máxima en la cantidad de acero en el refuerzo longitudinal negativo fue 43.42 % con respecto al concreto tradicional. Por lo expuesto líneas arriba se desprende que la hipótesis inicial resultó válida.
- ✓ En la figura N°50 se muestra la estructuración de la edificación, para lo cual se tuvo en cuenta los criterios de estructuración del Ing. Blanco, se analizó el plano arquitectónico con el propósito de distribuir los elementos estructurales como vigas, columnas y losas. Por otra parte, se consideró losas aligeradas de una dirección, cuyo el sentido de las viguetas fue en la dirección más corta de los paños. Así mismo, se observó que la planta en ambas direcciones es simétrica, por lo tanto, sus centros de masa y rigidez en cada nivel tendrán posiciones similares y así poder evitar que se generen efectos de torsión. En las tablas N°29, 30, 31 y 32 se observaron los resultados finales del predimensionamiento de los elementos estructurales luego de

un proceso iterativo. Por lo cual se emplearon los criterios propuestos en los libros del Ing. Blanco Blasco y Dr. Genner Villareal. En la tabla N°33 se evidenció que, bajo los lineamientos de la norma de diseño sismorresistente E.030, se obtuvo la fuerza cortante basal estática para ambas edificaciones, la cual depende de los parámetros sísmicos que varían de acuerdo con la ubicación del proyecto, así como, el peso sísmico que se logró considerando el 100 % de la carga muerta y 25 % de la carga viva para edificaciones tipo C. En los resultados mostrados en las figuras N° 51 y 52 se evidenció que, la estructura modelada con concreto tradicional, así como la estructura de concreto liviano cumplen con el control de distorsión de entrepiso indicada en la norma E.030, la cual menciona que, las estructuras con material predominante de concreto armado no deben superar la deriva objetivo de 7 ‰. Sin embargo, se percibió que, la estructura diseñada con concreto liviano presentó mayores valores en cuanto a derivas (6.7 ‰ y 5.5 ‰ para sismo X e Y respectivamente), esto se debe a que el módulo de elasticidad del concreto liviano (1559324 tnf/m²) es menor que el de concreto tradicional (2173706 tnf/m²), por lo cual se incrementan los desplazamientos laterales. En la tabla N°34 se obtuvo los resultados de la verificación de irregularidades (altura y planta), en la cual para ambos tipos de concreto tradicional y liviano no presentaron ningún tipo de irregularidad, tal como lo indica la norma E.030 para edificaciones tipo C en zona 4 no se permiten irregularidades extremas. Con base a los resultados obtenidos en las tablas N° 35 y 36, se evidenció que, para el sismo en la dirección X e Y cumplió con la fuerza cortante dinámica mínima indicada en la norma E.030 en el artículo 29.4, el cual menciona que, para cada una de las direcciones consideradas en el análisis la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 80 % para estructuras regulares tal como fue nuestra edificación. En las tablas N° 37, 38,

39, 40, 41, 42 y 43 se observó la definición del acero para los elementos estructurales vigas y columnas que conformaron los pórticos especiales, los cuales se trabajaron bajo la Norma E.060 Diseño de Concreto Armado, en la cual se establecen los requerimientos necesarios para un comportamiento adecuado de los elementos estructurales ante un evento sísmico, y así cumplir con la filosofía de diseño de la Normativa E.030.

- ✓ Al realizar un análisis comparativo con los resultados de la tesis escrita por Paredes (2016) se comprobó que, los valores de derivas máximas son menor a 0.007. Así mismo, la fuerza cortante dinámica en la base para ambas direcciones es mayor que el 80% de la cortante estática para estructuras regulares cumpliendo con lo establecido en la Norma Técnica Diseño Sismorresistente. Por otro lado, obtuvo una sección de viga de 30 cm x 60 cm, con una barra longitudinal de 5/8", teniendo dicha sección una cantidad de acero mínimo de 3.90 cm²; para columnas logró secciones de 30 cm x 60 cm con una barra longitudinal de 3/4", y una cantidad de acero en la sección de 17.10 cm².
- ✓ En la tesis redactada por Oliveros y Tapahuasco (2019) se comprobó que, para una estructura de concreto convencional y tradicional la fuerza cortante dinámica en la base para el sismo en X e Y es mayor que el 80 % de la cortante estática. Además, de ello se cumplió la verificación de derivas máximas según la Norma E.030, debido a que, ambas estructuras no poseen derivas inelásticas cuyos valores sean mayores a 0.007. Por otra parte, en el diseño de los elementos estructurales, presentó una ligera reducción con respecto a las dimensiones y el acero en las columnas, para las de concreto liviano trabajó con la dimensión de 50 cm x 50 cm con una barra longitudinal de 5/8" y para las de concreto convencional 60 cm x 60 cm con una barra longitudinal de 3/4". En nuestro caso la investigación se trabajó con

dimensiones iguales para ambos tipos de concreto y se obtuvo una reducción del refuerzo longitudinal en los elementos horizontales (vigas).

- ✓ Al comparar los resultados de la tesis escrita por Arana (2019) se comprobó que, según lo establecido por la Norma Técnica Diseño Sismorresistente las derivas máximas en las direcciones X e Y cumplen por lo que no superan el límite establecido de 0.007. Adicional a lo anterior se corroboró que el cortante dinámico supera el 80 % del cortante estático, en las direcciones X e Y cumpliendo con lo establecido en la Norma Peruana.
- ✓ En la tesis elaborada por Roncal (2017) se verificó que, de acuerdo con lo dispuesto en la Norma E.0.30 la cortante basal dinámico es mayor al 80 % del valor de la cortante estático en ambas direcciones. Asimismo, en ninguna dirección se presentó derivas mayores al límite permitido de 0.007 para edificios de concreto armado según la norma E.030.
- ✓ Al contrastar los resultados de la tesis formulada por Mario y Moscoso (2016), las derivas máximas en ambas direcciones X e Y no superaron el 0.007 de límite establecido por la Norma de Diseño Sismorresistente. Igualmente, para el cortante dinámico se cumplió que sea mayor al 80 % del cortante estático. En nuestra investigación se verificó que la deriva y el cortante dinámico cumpliera con los requerimientos de la Normativa.
- ✓ En la tesis elaborada por Cárdenas (2019) se comprobó que, las derivas máximas en ambas direcciones fueron de 0.0047 y 0.0042 en X e Y respectivamente cumpliendo con las máximas permisibles. En los resultados del cortante estático y dinámico se amplificaron por un factor para así poder cumplir con la Norma de Diseño Sismorresistente, en la que nos dice que, el cortante dinámico debe ser mayor al 80 % del cortante estático.

- ✓ De los resultados obtenidos para las dos edificaciones de concreto tradicional y liviano es importante realizar el análisis sísmico estático y dinámico con el propósito de realizar las verificaciones de distorsiones de entrepiso, irregularidades y fuerza cortante mínima, así mismo, el diseño en concreto armado de los pórticos especiales bajos los requerimientos normativos, ya que ante un evento sísmico es necesario saber la respuesta de la estructura y poder cumplir con la filosofía de la norma, que consiste en salvaguardar la vida de las personas.

Limitaciones

Dentro de la investigación se tuvieron ciertas limitaciones, por ejemplo, al momento de realizar la búsqueda de los antecedentes estos debieron contener la variable de estudio, además de aportar en la metodología, así como en los resultados. Por otro lado, la información de las propiedades del concreto liviano se encontró en el idioma inglés, por lo que, se recurrió a distintos sitios web de traducción. Adicional a ello, se tuvieron ciertas restricciones en la aplicación de fórmulas que se mencionan en la norma técnica E.060 para la utilización del concreto liviano.

Implicancias

Conforme a las implicancias prácticas de la investigación, se aportó conocimiento en cuanto al comportamiento sísmico de una edificación tipo aporticado modelada con concreto liviano, para lo cual se tuvo en consideración criterios como la reducción de la resistencia al corte y espesores mínimos para no verificar deflexiones. De manera que, con los resultados obtenidos la estructura cumple con los requisitos de regularidad y rigidez indicados en la norma técnica E.030. De donde se infiere que, sísmicamente es conveniente el uso del concreto liviano estructural dentro del rubro de la construcción.

De acuerdo con las implicancias metodológicas de la investigación, se aplicó la técnica de observación directa y revisión documental, por lo cual se elaboraron instrumentos de recolección de datos como matriz de datos y fichas resumen respectivamente, estas servirán de guía para las investigaciones a futuro con opción de ser mejoradas.

Con respecto a las implicancias teóricas de la investigación, se revisaron las normativas nacionales (E.020, E.030, E.050 y E.060) así como extranjera (ACI 213 R), de las cuales se tomaron en cuenta las consideraciones acerca de las propiedades del concreto liviano, así como los diseños sismorresistente y concreto armado. Además, se empleó la teoría acerca del análisis sísmico lineal, con lo cual se determinó que la estructura modelada con concreto liviano tuvo un comportamiento sísmico válido bajo los requisitos normativos de la E.030. Consecuentemente, esta investigación servirá de antecedente para los ingenieros o investigadores dentro del campo de la ingeniería sísmica, contribuyendo en información acerca del comportamiento sísmico de edificaciones tipo aporticado de concreto reforzado tradicional y liviano.

4.2. Conclusiones

- ✓ Se realizó el análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, de donde resulta que, las propiedades mecánicas del concreto influyeron en la respuesta sísmica de la estructura, debido a que, la rigidez y distribución de masas se vieron afectadas por el módulo de elasticidad y peso específico respectivamente. Por otra parte, se determinó que ambas edificaciones tuvieron un comportamiento sísmico aceptable según los lineamientos de la norma de diseño sismorresistente.

- ✓ Se realizó el predimensionamiento para ambos tipos de concreto, los elementos estructurales como; vigas principales y chatas las cuales fueron VP-01 (0.30 x 0.45 m), VP-02 (0.30 x 0.35 m), VP-0.3 (0.30 x 0.40 m), VCH-01(0.25 x 0.20 m); para columnas se utilizó las dimensiones de C1 (50 x 50 cm) y C2 (55 x 55 cm), las losas aligeradas tuvieron un espesor de 0.20 m y el espesor de la garganta en la escalera fue de 0.20 m. Con estas medidas se pudo definir el plano de la estructuración final, cabe mencionar que, ambas edificaciones presentan las mismas dimensiones de los elementos estructurales.
- ✓ Se efectuó el análisis sísmico estático de ambas edificaciones mediante los requerimientos de la norma E.030. Por consiguiente, el valor del cortante basal estático, en ambas direcciones de análisis, para la edificación con concreto tradicional fue 81.68 tnf, mientras que, la estructura modelada con concreto liviano alcanzó un valor de 72.56 tnf. En consecuencia, se aprecia una reducción porcentual en el cortante estático del 11.17 %.
- ✓ Se verificó que las distorsiones de entrepiso en ambas edificaciones cumplen con el límite permisible de la Norma Técnica de Diseño Sismorresistente E.030, la cual especifica que, la deriva máxima para estructuras de concreto armado es de 7 ‰. Es así que, mediante el análisis sísmico dinámico en la dirección X la edificación de concreto tradicional alcanzó una deriva máxima de 5.4 ‰, mientras que, en la dirección Y fue 4.4 ‰. Por otra parte, en cuanto a la edificación de concreto liviano en la dirección de análisis X el drift máximo fue 6.7 ‰, en cambio para la dirección Y alcanzó 5.5 ‰. Con ello se comprueba que, ambas edificaciones están por debajo del límite máximo permisible. Por otra parte, se verificó las irregularidades estructurales de acuerdo con lo estipulado por la norma E.030 Diseño Sismorresistente, dando como resultado la inexistencia de irregularidades en la

estructura con concreto liviano y tradicional. Se corroboró que, para ambas edificaciones la fuerza cortante dinámica superó al 80 % del cortante estático para estructuras regulares tal como lo indica el artículo 29.4 de la norma E030. Por consiguiente, el cortante dinámico para la estructura modelada con concreto tradicional resultó de 71.31 tnf y 71.68 tnf para el sismo en X e Y respectivamente. Mientras que, en la estructura con concreto liviano se obtuvo un cortante dinámico de 63.59 tnf y 63.95 tnf en la dirección de análisis X e Y correspondientemente. Como resultado, se observó una reducción porcentual en el cortante dinámico del 10.83 % y 10.78 % para el sismo X e Y respectivamente.

- ✓ Se concluye que, para el diseño en concreto armado; en el caso de columnas al realizar las verificaciones de la norma empleando una cuantía mínima, se obtuvo la siguiente distribución del refuerzo longitudinal, en la columna C1 fue 14 Ø5/8", y en C-2 de 16 Ø5/8", por otra parte, con respecto al refuerzo transversal ambas columnas mantienen la misma distribución de estribos cerrados 2Ø3/8" 1@0.05, 6@0.10, Rsto. @ 0.15. En síntesis, las columnas de ambas edificaciones no presentan una variación en el refuerzo. En el caso de las vigas VP-01 (0.30 x 0.45 m), VP-02 (0.30 x 0.35 m), VP-0.3 (0.30 x 0.40 m) los aceros longitudinales para ambas edificaciones varían entre Ø1/2" y Ø5/8", mientras que los balancines varían desde Ø1/2" hasta Ø5/8". Con respecto a la cantidad de acero de refuerzo negativo, por ejemplo, en el tramo A-B y 1-2 hubo una reducción del 24.57 % y 43.42 % respectivamente. Por último, en relación con el refuerzo transversal de las vigas VP-01, VP-02 y VP-03, presentan la siguiente distribución: 1Ø3/8" 1@0.05, 12@0.075, Rsto@0.20; 1Ø3/8" 1@0.05, 9@0.075, Rsto@0.15; 1Ø3/8" 1@0.05, 10@0.075, Rsto@0.15 respectivamente. Cabe indicar que, el refuerzo transversal fue el mismo para ambas edificaciones, para mayor detalle ver las tablas 42, 43 y 44.

4.3. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda cumplir con las consideraciones establecidos en la norma E.030 al momento de realizar el modelamiento de las estructuras, y así poder proporcionar un nivel de confiabilidad en el comportamiento sísmico de las estructuras sometidas a una intensidad sísmica moderada o severa.
- ✓ Se evidenció que ambas edificaciones cumplieron con la deriva límite establecida en la norma de diseño sismorresistente, por tal motivo, se recomienda ampliar la investigación mediante la utilización de normativas extranjeras, con el propósito de contrastar los resultados obtenidos en ambas edificaciones.
- ✓ Se recomienda que las edificaciones cuenten con una configuración estructural sísmica acorde a la filosofía de diseño sismorresistente, de manera que se provea a la estructura de rigidez lateral y resistencia. Por tal motivo el control de irregularidades es un factor importante para tener en cuenta en un análisis sísmico.

REFERENCIAS

- ACI 213R. (2003). *Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete*. Retrieved Septiembre 13, 2020.
- Aramayo, G., Buncuga, V., Cahuapé, M., Forgione, F., & Navarrete, A. (2003). *Hormigones con agregados livianos*. Trabajo de investigación, Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
- Arana, C. (2019). *Comparación del comportamiento estructural de un edificio de concreto armado usando la normativa peruana, chilena y ecuatoriana*. Tesis, Universidad Privada del Norte, Cajamarca.
- Barahona, L. (2020). *Edificio resistente a los terremotos de Chile*. Tesis, Universidad Técnica Federico Santa María, Viña del Mar.
- Blanco, M. (2012). Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.* Retrieved Junio 16, 2020.
- Cabrera, J., & Sánchez, J. (2016). *Evaluación de desempeño sísmico de un edificio aporricado de hormigón armado usando el método actualizado del espectro de capacidad FEMA 440*. Tesis, Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Cárdenas, R. (2019). *Diseño estructural de un edificio multifamiliar de seis pisos en concreto armado*. Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Carreño, M., Lantada, N., Irizarry, J., Valcarcel, J., Barbat, A., & Goula, X. (2012). *Comportamiento sísmico de los edificios de Lorca*. Retrieved Junio 15, 2020.
- Enriquez, E. (2022). *Estructuración, Análisis y Diseño Sísmico de Viviendas Irregulares Unifamiliares y Multifamiliares*. Curso de especialización, EMEQ Ingenieros, Lima.
- Escobedo, E. (1994). *Estudio de la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Trujillo*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Guzman, E., & Méndez, M. (2020). *Comportamiento sísmico de un local comercial de tres niveles con sistema semi-colgante, en la ciudad de Trujillo-Perú, 2020*. Tesis, Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Hakim, R., Alama, M., & Ashour, S. (2014). Seismic Assessment of RC Building According to ATC 40, FEMA 356 and FEMA 440. *Ciencia e Ingeniería*.

- Huffington, J. (2000). *Development of High-Performance Lightweight Concrete Mixes for Prestressed Bridge*. Informe de investigación, University of Texas at Austin, Austin.
- Kosmatka, S., Panarese, W., & Kerkhoff, B. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures* (Vol. XIII). Portland Cement Association. Retrieved Septiembre 12, 2020.
- Mario, G., & Moscoso, D. (2016). *Análisis comparativo de la respuesta sísmica de distorsiones de entrepiso – deriva y fuerzas cortantes de una edificación de concreto armado con sistema dual, mediante el análisis sísmico dinámico, aplicado con la norma de diseño sismorresistente E.030 de*. Tesis, Universidad Andina del Cusco, Cusco.
- McCormac, J., & Brown, R. (2013). *Diseño de concreto reforzado* (Vol. VIII). México: Alfaomega Grupo Editor.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente* (Vol. Primera edición). Lima, Perú.
- Norma Técnica E.060 Concreto Armado. (2009). *Norma Técnica E.060 Concreto Armado*. Lima. Retrieved Septiembre 12, 2020.
- Norma Técnica Peruana 339.088. (2006). *Hormigón (concreto). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland*. (2da ed.). Lima, Peru.
- Norma Técnica Peruana 400.011. (2008). *Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)* (2da ed.). Lima, Peru.
- Norma Técnica Peruana E.020 Cargas (Primera ed.). (2006). Lima, Perú.
- Oliveros, E., & Tapahuasco, D. (2019). *Influencia del concreto liviano en el desempeño sísmico de una vivienda multifamiliar de 10 pisos ubicada en Lima*. Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.
- Oviedo, R. (2016). *Diseño Sismorresistente de Edificaciones de Concreto Armado* (Primera ed.). Lima.
- Paredes, M. (2016). *EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO DESTINADO A VIVIENDA EN LA CIUDAD DE LIMA APLICANDO EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL PUSHOVER*. Tesis, UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS, Lima. Retrieved Julio 12, 2020.
- Prato, C., Ceballos, M., & Federico, P. (2015). *Método modad espectral*.

- Reglamento Nacional de Edificaciones.* (2006). Lima, Peru. Retrieved Septiembre 2022, from <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>
- Roncal, J. (2017). *Diseño estructural de un edificio multifamiliar de concreto armado de siete pisos en el distrito de San Isidro.* Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y mortero* (Quinta ed.). Santafé de Bogotá, Colombia.
- Serrano, P. (2018). *Elaboración de un concreto ligero para uso estructural en la ciudad de Lima Metropolitana 2018.* Tesis , Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- Soriano, J. (2019). *Desempeño sísmico estructural de una edificación de baja altura al emplear concreto liviano con arcilla, san Martín de Porres 2019.* Tesis, Cesar Vallejo. Retrieved Julio 13, 2020.
- Vergara, V., & Zevallos, M. (2014). *Análisis Sísmico por desempeño estático no lineal de un edificio de 6 niveles en las ciudad de Trujillo, La Libertad.* Tesis, Trujillo. Retrieved Junio 15, 2020.
- Yépez, J. (2020). *Influencia del aditivo Sika® Lightcrete pe en la resistencia a la compresión, asentamiento y peso unitario de un concreto convencional en la ciudad de Trujillo – 2019.* Universidad Privada del Norte, Trujillo.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz para la evaluación del experto

Tabla 44

Matriz para evaluación del experto

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS

Título de la investigación:	Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022
Línea de investigación:	Tecnologías emergentes
Apellidos y nombres de los expertos:	1) Ferrer Espinola, Carlos Junior 2) Mantilla Urcia, Karyme Geraldly
El instrumento de medición pertenece a la variable:	Comportamiento sísmico

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una “x” en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.

Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?			
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?			
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?			
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?			
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?			
6	¿Cada uno de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?			
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?			
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?			
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?			

Sugerencias:

Firma del experto:

Anexo 2: Matriz de recolección de datos

Tabla 45

Matriz de recolección de datos

Título de la investigación:	Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2020
Línea de investigación:	Tecnologías emergentes
Autores:	1) Ferrer Espinola, Carlos Junior; 2) Mantilla Urcia, Karyme Geraldly
Variable 1:	Comportamiento sísmico
Provincia:	Trujillo

Consideraciones sísmicas

Descripción

Tipo de edificación
Uso de la edificación -U
Sistema Estructural
Coeficiente de reducción sísmica - R
Tipo de suelo - S
Zona sísmica -Z

Derivas de entrepiso

	Descripción	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
Concreto tradicional	Dirección en X Dirección en Y				
Concreto liviano	Dirección en X Dirección en Y				

Peso sísmico de la estructura

Descripción	Magnitud	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
Concreto tradicional	tn				
Concreto liviano	tn				

Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos

Anexo 3: Instrumento para la revisión documental

Tabla 46

Ficha resumen de las propiedades del concreto liviano

Título de la investigación:

Autor:

Peso específico	
Descripción	Magnitud
Concreto liviano	kg/m ³

Resistencia a la compresión	
Descripción	Magnitud
Concreto liviano	kg/cm ²

Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos

Anexo 4: Instrumento para la revisión documental

Tabla 47

Ficha resumen del estudio de mecánica de suelos

Título de la investigación:	Recuperación de la institución educativa N°1778 Divino Niño - Distrito de Trujillo - La Libertad
Autor:	Concretos y Geotecnia EIRL
Ubicación:	Urbanización Daniel Hoyle
Tipo de investigación:	Estudio de mecánica de suelos
Descripción	Valor
Tipo de suelo (S)	
Zonificación	
Clasificación S.U.C. S	
Periodo corto del suelo (Tp)	
Profundidad de desplante (m)	
Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos	

Anexo 5: Matriz de evaluación de experto aprobada.

Tabla 48

Matriz de evaluación del instrumento validada por el experto

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación :	Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2022			
Línea de investigación :	Tecnologías emergentes			
Apellidos y nombres de los expertos :	1) Ferrer Espinola, Carlos Junior			
	2) Mantilla Urcia, Karyme Gerald			
El instrumento de medición pertenece a la variable :			Comportamiento sísmico	
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias :				
Firma del experto :		MBA. Ing. Ricardo Avalos		
Firmado digitalmente por MBA. Ing. Ricardo Avalos DN: cn=MBA. Ing. Ricardo Avalos gn=MBA. Ing. Ricardo Avalos c=Perú o=PE en Universidad Privada del Norte ou=Facultad Ingeniería Civil em=ricardo.avalos@upn.edu.pe Motivo: Estoy aprobando este documento Ubicación:Trujillo Fecha:2022.10.11 23:23:05.00				

Anexo 6: Matriz de recolección de datos con valores encontrados.

Tabla 49

Matriz de recolección de datos validada por el experto

Título de la investigación:	Análisis comparativo del comportamiento sísmico en una edificación tipo aporticado de 4 niveles de concreto reforzado tradicional y liviano, Trujillo 2020
Línea de investigación:	Tecnologías emergentes
Autores:	1) Ferrer Espinola, Carlos Junior; 2) Mantilla Urcia, Karyme Geraldly
Variable 1:	Comportamiento sísmico
Provincia:	Trujillo

Consideraciones sísmicas	
Descripción	
Tipo de edificación	Multifamiliar
Uso de la edificación -U	1.00
Sistema Estructural	Aporticado
Coefficiente de reducción sísmica - R	8.00
Tipo de suelo - S	S3
Zona sísmica -Z	0.45

Derivas de entrepiso		Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
Descripción					
Concreto tradicional	Dirección en X	0.0053	0.0054	0.0039	0.0023
	Dirección en Y	0.0044	0.0043	0.0031	0.0019
Concreto liviano	Dirección en X	0.0066	0.0067	0.0049	0.0028
	Dirección en Y	0.0055	0.0054	0.0039	0.0023

Peso sísmico de la estructura		Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
Descripción	Magnitud				
Concreto tradicional	tn	149.11	134.74	134.74	109.47
Concreto liviano	tn	132.30	120.67	120.67	95.40

Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos

**MBA. Ing.
Ricardo Avalos**

Firmado digitalmente por MBA. Ing. Ricardo Avalos
DN: cn=MBA. Ing. Ricardo Avalos gn=MBA. Ing.
Ricardo Avalos c=Perú l=PE o=Universidad Privada
del Norte ou=Facultad Ingeniería Civil
e=ricardo.avalos@upn.edu.pe
Motivo: Estoy aprobando este documento
Ubicación: Trujillo
Fecha: 2020-10-11 23:23:05:00

Anexo 7: Instrumento para la revisión documental validada por el experto

Tabla 50

Ficha resumen de las propiedades del concreto liviano validada por el experto

Título de la investigación:	Elaboración de un concreto ligero para uso estructural en la ciudad de Lima Metropolitana 2018	
Autor:	Serrano Córdova, Pedro Fernando	
	Peso específico	
Descripción	Magnitud	
Concreto liviano	kg/m ³	1843.00
	Resistencia a la compresión	
Descripción	Magnitud	
Concreto liviano	kg/cm ²	210.00
Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos		
	MBA. Ing. Ricardo Avalos	Firmado digitalmente por MBA. Ing. Ricardo Avalos DN: cn=MBA. Ing. Ricardo Avalos, gn=MBA. Ing. Ricardo Avalos, c=Perú, o=PE, ou=Universidad Privada del Norte, ou=Facultad Ingeniería Civil, e=ricardo.avalos@upn.edu.pe Motivo: Estoy aprobando este documento Ubicación: Trujillo Fecha: 2020-10-11 23:23:05:00

Anexo 8: Instrumento para la revisión documental con valores obtenidos

Tabla 51*Ficha resumen del estudio de mecánica de suelos validada por el experto*

Título de la investigación:	Recuperación de la institución educativa N°1778 Divino Niño - Distrito de Trujillo - La Libertad
Autor:	Concretos y Geotecnia EIRL
Ubicación:	Urbanización Daniel Hoyle
Tipo de investigación:	Estudio de mecánica de suelos

Descripción	Valor
Tipo de suelo (S)	1.1
Zonificación	0.45
Clasificación S.U.C. S	SM
Periodo corto del suelo (Tp)	1.0
Profundidad de desplante (m)	1.8

Firma de experto validando el instrumento a utilizar en la recolección de datos

**MBA. Ing.
Ricardo Avalos**Firmado digitalmente por MBA. Ing. Ricardo Avalos
DN: cn=MBA. Ing. Ricardo Avalos g=MBA. Ing. Ricardo
Avalos c=Perú i=PE o=Universidad Privada del Norte
ou=Facultad Ingeniería Civil e=ricardo.avalos@upn.edu.pe
Motivo: Estoy aprobando este documento
Ubicación: Trujillo
Fecha: 2020-10-11 23:23:05:00

Anexo 9: Diseño por cortante para vigas

Figura 53

Diseño por corte del tramo B-C con concreto liviano

f_c : Esfuerzo a compresión del concreto (t/m^2)	2100
f_y : Esfuerzo de fluencia del acero (t/m^2)	42000
ϕ_v : Factor de reducción por corte	0.85
L_n : Luz libre del tramo (m)	2.85
w_d : Carga muerta (t/m)	1.290
w_l : Carga viva (t/m)	0.31
b : Base de la sección (m)	0.30
h : Peralte de la sección (m)	0.45
d_i^+ : Peralte efectivo del refuerzo izquierdo positivo (m)	0.39
d_i^- : Peralte efectivo del refuerzo izquierdo negativo (m)	0.39
d_d^+ : Peralte efectivo del refuerzo derecho positivo (m)	0.39
d_d^- : Peralte efectivo del refuerzo derecho negativo (m)	0.39
As_i^+ : Área de acero izquierdo positivo (cm^2)	5.25
As_i^- : Área de acero izquierdo negativo (cm^2)	6.81
As_d^+ : Área de acero derecho positivo (cm^2)	5.25
As_d^- : Área de acero derecho negativo (cm^2)	6.81
a_i^+ : Bloque del ACI izquierdo positivo ($As_i^+ f_y / 0.85 f_c b$)	0.04
a_i^- : Bloque del ACI izquierdo negativo ($As_i^- f_y / 0.85 f_c b$)	0.05
a_d^+ : Bloque del ACI derecho positivo ($As_d^+ f_y / 0.85 f_c b$)	0.04
a_d^- : Bloque del ACI derecho negativo ($As_d^- f_y / 0.85 f_c b$)	0.05
Mn_i^+ : Momento nominal izquierdo positivo ($As_i^+ f_y [d - a_i^+ / 2]$)	8.15
Mn_i^- : Momento nominal izquierdo negativo ($As_i^- f_y [d - a_i^- / 2]$)	10.39
Mn_d^+ : Momento nominal derecho positivo ($As_d^+ f_y [d - a_d^+ / 2]$)	8.15
Mn_d^- : Momento nominal derecho negativo ($As_d^- f_y [d - a_d^- / 2]$)	10.39
w_u : Carga última ($1.25[w_d + w_l]$)	2.00
Vu_i : Cortante último izquierdo ($w_u L_n / 2 + 1.25[Mn_i^- + Mn_d^+] / L_n$)	10.98
Vu_d : Cortante último derecho ($w_u L_n / 2 + 1.25[Mn_i^+ + Mn_d^-] / L_n$)	10.98
V_u : Cortante último de diseño ($\max[Vu_i, Vu_d]$)	10.98
V_s : Resistencia al corte del acero (V_u / ϕ_v)	12.92
A_v : Área de acero del estribo (cm^2)	1.42
db : Diámetro de la barra longitudinal (pulg)	5/8
db_h : Diámetro de la barra del estribo (pulg)	3/8
s_1 : Primer espaciamiento de estribos ($A_v f_y d / V_s$)	0.180
s_2 : Segundo espaciamiento de estribos ($d/4$)	0.098
s_3 : Tercer espaciamiento de estribos ($10db$)	0.16
s_4 : Cuarto espaciamiento de estribos ($24db_h$)	0.23
s_5 : Quinto espaciamiento de estribos ($0.30m$)	0.30
s : Espaciamiento de estribos en una longitud $L_o = 2h$ (m)	0.098
Vu_{2h} : Cortante último a una distancia $L_o = 2h$ ($V_u - w_u L_o / 2$)	10.08
V_c : Resistencia al corte del concreto ($0.53 \cdot 0.85 [f_c]^{0.5} b d$)	7.64
V_{s2h} : Corte del acero a una distancia $L_o = 2h$ ($Vu_{2h} / \phi_v - V_c$)	4.22
s_{12h} : Primer espaciamiento a $L_o = 2h$ ($A_v f_y d / V_{s2h}$)	0.55
s_{22h} : Primer espaciamiento a $L_o = 2h$ ($d/2$)	0.20
s_{2h} : Espaciamiento de estribos más allá de $L_o = 2h$ (m)	0.20

Anexo 10: Verificación de irregularidad de rigidez en ambas direcciones de análisis X e Y.

Figura 54

Verificación de irregularidad de rigidez – piso blando para el concreto liviano.

DIRECCIÓN X

Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	Step Type	UX m	DESPLAZAMIENTO RELATIVO
Story4	D4	DERIVA X	Combinación	Max	0.0560	0.0065
Story3	D3	DERIVA X	Combinación	Max	0.0495	0.0113
Story2	D2	DERIVA X	Combinación	Max	0.0382	0.0156
Story1	D1	DERIVA X	Combinación	Max	0.0226	0.0226

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VX tonf
Story4	DERIVA X	Combinación	Max	Bottom	102.25
Story3	DERIVA X	Combinación	Max	Bottom	225.92
Story2	DERIVA X	Combinación	Max	Bottom	320.25
Story1	DERIVA X	Combinación	Max	Bottom	381.53

Story	RIGIDEZ LATERAL	VERIFICACIÓN	VERIFICACIÓN
Story4	15683.07	10978.15	
Story3	20000.28	14000.20	REGULAR
Story2	20571.23	14399.86	REGULAR
Story1	16886.31		REGULAR

DIRECCIÓN Y

Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	Step Type	UY m	DESPLAZAMIENTO RELATIVO
Story4	D4	DERIVA Y	Combinación	Max	0.0517	0.0061
Story3	D3	DERIVA Y	Combinación	Max	0.0456	0.0102
Story2	D2	DERIVA Y	Combinación	Max	0.0355	0.0141
Story1	D1	DERIVA Y	Combinación	Max	0.0214	0.0214

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VY tonf
Story4	DERIVA Y	Combinación	Max	Bottom	101.90
Story3	DERIVA Y	Combinación	Max	Bottom	225.83
Story2	DERIVA Y	Combinación	Max	Bottom	320.97
Story1	DERIVA Y	Combinación	Max	Bottom	383.70

Story	RIGIDEZ LATERAL	VERIFICACIÓN	VERIFICACIÓN
Story4	16767.90	11737.53	
Story3	22235.71	15565.00	REGULAR
Story2	22792.74	15954.91	REGULAR
Story1	17955.97		REGULAR

Anexo 11: Verificación de irregularidad de resistencia en ambas direcciones de análisis X e Y.

Figura 55

Verificación de irregularidad de resistencia – piso débil para el concreto liviano.

DIRECCIÓN X						
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VX tonf	VERIFICACIÓN
Story4	DERIVA X	Combinación	Max	Bottom	102.25	81.80
Story3	DERIVA X	Combinación	Max	Bottom	225.92	180.74 REGULAR
Story2	DERIVA X	Combinación	Max	Bottom	320.25	256.20 REGULAR
Story1	DERIVA X	Combinación	Max	Bottom	381.53	REGULAR
DIRECCIÓN Y						
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VY tonf	VERIFICACIÓN
Story4	DERIVA Y	Combinación	Max	Bottom	101.90	81.52
Story3	DERIVA Y	Combinación	Max	Bottom	225.83	180.66 REGULAR
Story2	DERIVA Y	Combinación	Max	Bottom	320.97	256.77 REGULAR
Story1	DERIVA Y	Combinación	Max	Bottom	383.70	REGULAR

Anexo 12: Verificación de irregularidad torsional en ambas direcciones de análisis X e Y.

Figura 56

Verificación de irregularidad torsional para el concreto liviano.

DIRECCIÓN X

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Ux m	DESPLAZAMIENTO RELATIVO	MAXIMO	PROMEDIO	VERIFICACIÓN	
Story4	2	9	DERIVA X	Combination	Max	0.0609	0.0072	0.0079	0.0075	1.05	REGULAR
	4	19	DERIVA X	Combination	Max	0.0609	0.0072				
	13	68	DERIVA X	Combination	Max	0.0672	0.0079				
	23	98	DERIVA X	Combination	Max	0.0672	0.0079				
Story3	2	8	DERIVA X	Combination	Max	0.0537	0.0123	0.0135	0.0129	1.05	REGULAR
	4	18	DERIVA X	Combination	Max	0.0537	0.0123				
	13	67	DERIVA X	Combination	Max	0.0594	0.0135				
	23	97	DERIVA X	Combination	Max	0.0594	0.0135				
Story2	2	10	DERIVA X	Combination	Max	0.0414	0.0169	0.0187	0.0178	1.05	REGULAR
	4	20	DERIVA X	Combination	Max	0.0414	0.0169				
	13	69	DERIVA X	Combination	Max	0.0458	0.0187				
	23	99	DERIVA X	Combination	Max	0.0458	0.0187				
Story1	2	7	DERIVA X	Combination	Max	0.0245	0.0245	0.0272	0.0259	1.05	REGULAR
	4	17	DERIVA X	Combination	Max	0.0245	0.0245				
	13	65	DERIVA X	Combination	Max	0.0272	0.0272				
	23	95	DERIVA X	Combination	Max	0.0272	0.0272				

DIRECCIÓN Y

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Uy m	DESPLAZAMIENTO RELATIVO	MAXIMO	PROMEDIO	VERIFICACIÓN	
Story4	2	9	DERIVA Y	Combination	Max	0.0531	0.0061	0.0063	0.0062	1.02	REGULAR
	4	19	DERIVA Y	Combination	Max	0.0548	0.0063				
	13	68	DERIVA Y	Combination	Max	0.0531	0.0061				
	23	98	DERIVA Y	Combination	Max	0.0548	0.0063				
Story3	2	8	DERIVA Y	Combination	Max	0.0470	0.0105	0.0108	0.0106	1.02	REGULAR
	4	18	DERIVA Y	Combination	Max	0.0484	0.0108				
	13	67	DERIVA Y	Combination	Max	0.0470	0.0105				
	23	97	DERIVA Y	Combination	Max	0.0484	0.0108				
Story2	2	10	DERIVA Y	Combination	Max	0.0366	0.0145	0.0150	0.0147	1.01	REGULAR
	4	20	DERIVA Y	Combination	Max	0.0376	0.0150				
	13	69	DERIVA Y	Combination	Max	0.0366	0.0145				
	23	99	DERIVA Y	Combination	Max	0.0376	0.0150				
Story1	2	7	DERIVA Y	Combination	Max	0.0220	0.0220	0.0226	0.0223	1.01	REGULAR
	4	17	DERIVA Y	Combination	Max	0.0226	0.0226				
	13	65	DERIVA Y	Combination	Max	0.0220	0.0220				
	23	95	DERIVA Y	Combination	Max	0.0226	0.0226				

Anexo 13: Verificación de irregularidad de rigidez en ambas direcciones de análisis X e Y.

Figura 57

Verificación de irregularidad de rigidez – piso blando para el concreto tradicional.

DIRECCIÓN X

Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	Step Type	UX m	DESPLAZAMIENT RELATIVO
Story4	D4	DERIVA X	Combination	Max	0.0451	0.0053
Story3	D3	DERIVA X	Combination	Max	0.0398	0.0091
Story2	D2	DERIVA X	Combination	Max	0.0307	0.0125
Story1	D1	DERIVA X	Combination	Max	0.0182	0.0182

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VX tonf
Story4	DERIVA X	Combination	Max	Bottom	115.96
Story3	DERIVA X	Combination	Max	Bottom	253.95
Story2	DERIVA X	Combination	Max	Bottom	359.17
Story1	DERIVA X	Combination	Max	Bottom	427.86

Story	RIGIDEZ LATERAL	VERIFICACIÓN		VERIFICACIÓN
Story4	21953.84	15367.69		
Story3	27906.21	19534.35	REGULAR	
Story2	28682.96	20078.07	REGULAR	20944.80
Story1	23552.99		REGULAR	REGULAR

DIRECCIÓN Y

Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	Step Type	UY m	DESPLAZAMIENT RELATIVO
Story4	D4	DERIVA Y	Combination	Max	0.0416	0.0049
Story3	D3	DERIVA Y	Combination	Max	0.0367	0.0082
Story2	D2	DERIVA Y	Combination	Max	0.0285	0.0113
Story1	D1	DERIVA Y	Combination	Max	0.0172	0.0172

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VY tonf
Story4	DERIVA Y	Combination	Max	Bottom	115.49
Story3	DERIVA Y	Combination	Max	Bottom	253.70
Story2	DERIVA Y	Combination	Max	Bottom	359.77
Story1	DERIVA Y	Combination	Max	Bottom	430.07

Story	RIGIDEZ LATERAL	VERIFICACIÓN		VERIFICACIÓN
Story4	23540.97	16478.68		
Story3	31018.29	21712.80	REGULAR	
Story2	31776.55	22243.59	REGULAR	23022.88
Story1	25040.56		REGULAR	REGULAR

Anexo 14: Verificación de irregularidad de resistencia en ambas direcciones de análisis.

Figura 58

Verificación de irregularidad de resistencia – piso débil para el concreto tradicional

DIRECCIÓN X

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VX tonf	VERIFICACIÓN	
Story4	DERIVA X	Combination	Max	Bottom	115.96	92.77	
Story3	DERIVA X	Combination	Max	Bottom	253.95	203.16	REGULAR
Story2	DERIVA X	Combination	Max	Bottom	359.17	287.33	REGULAR
Story1	DERIVA X	Combination	Max	Bottom	427.86		REGULAR

DIRECCIÓN Y

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Location	VY tonf	VERIFICACIÓN	
Story4	DERIVA Y	Combination	Max	Bottom	115.49	92.39	
Story3	DERIVA Y	Combination	Max	Bottom	253.70	202.96	REGULAR
Story2	DERIVA Y	Combination	Max	Bottom	359.77	287.82	REGULAR
Story1	DERIVA Y	Combination	Max	Bottom	430.07		REGULAR

Anexo 15: Verificación de irregularidad estructural en planta en ambas direcciones de análisis.

Figura 59

Verificación de irregularidad estructural en planta – irregularidad torsional para el concreto tradicional

DIRECCIÓN X

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Ux m	DESPLAZAMIENTO RELATIVO	MAXIMO	PROMEDIO	VERIFICACIÓN	
Story4	2	9	DERIVA X	Combination	Max	0.0492	0.0058	0.0063	0.0061	1.04	REGULAR
	4	19	DERIVA X	Combination	Max	0.0492	0.0058				
	13	68	DERIVA X	Combination	Max	0.0539	0.0063				
	23	98	DERIVA X	Combination	Max	0.0539	0.0063				
Story3	2	8	DERIVA X	Combination	Max	0.0434	0.0099	0.0109	0.0104	1.04	REGULAR
	4	18	DERIVA X	Combination	Max	0.0434	0.0099				
	13	67	DERIVA X	Combination	Max	0.0476	0.0109				
	23	97	DERIVA X	Combination	Max	0.0476	0.0109				
Story2	2	10	DERIVA X	Combination	Max	0.0335	0.0136	0.0150	0.0143	1.05	REGULAR
	4	20	DERIVA X	Combination	Max	0.0335	0.0136				
	13	69	DERIVA X	Combination	Max	0.0367	0.0150				
	23	99	DERIVA X	Combination	Max	0.0367	0.0150				
Story1	2	7	DERIVA X	Combination	Max	0.0198	0.0198	0.0218	0.0208	1.05	REGULAR
	4	17	DERIVA X	Combination	Max	0.0198	0.0198				
	13	65	DERIVA X	Combination	Max	0.0218	0.0218				
	23	95	DERIVA X	Combination	Max	0.0218	0.0218				

DIRECCIÓN Y

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Uy m	DESPLAZAMIENTO RELATIVO	MAXIMO	PROMEDIO	VERIFICACIÓN	
Story4	2	9	DERIVA Y	Combination	Max	0.0427	0.0049	0.0051	0.0050	1.02	REGULAR
	4	19	DERIVA Y	Combination	Max	0.0441	0.0051				
	13	68	DERIVA Y	Combination	Max	0.0427	0.0049				
	23	98	DERIVA Y	Combination	Max	0.0441	0.0051				
Story3	2	8	DERIVA Y	Combination	Max	0.0378	0.0084	0.0087	0.0086	1.02	REGULAR
	4	18	DERIVA Y	Combination	Max	0.0390	0.0087				
	13	67	DERIVA Y	Combination	Max	0.0378	0.0084				
	23	97	DERIVA Y	Combination	Max	0.0390	0.0087				
Story2	2	10	DERIVA Y	Combination	Max	0.0294	0.0117	0.0120	0.0119	1.02	REGULAR
	4	20	DERIVA Y	Combination	Max	0.0303	0.0120				
	13	69	DERIVA Y	Combination	Max	0.0294	0.0117				
	23	99	DERIVA Y	Combination	Max	0.0303	0.0120				
Story1	2	7	DERIVA Y	Combination	Max	0.0177	0.0177	0.0182	0.0180	1.01	REGULAR
	4	17	DERIVA Y	Combination	Max	0.0182	0.0182				
	13	65	DERIVA Y	Combination	Max	0.0177	0.0177				
	23	95	DERIVA Y	Combination	Max	0.0182	0.0182				