

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**PROPUESTA DE VIVIENDA PROGRESIVA DE ALBAÑILERÍA
CONFINADA EMPLEANDO EL SISTEMA VIGACERO EN EL
DISTRITO DE RÍMAC, LIMA**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADA POR

Bach. HIDALGO SANCHEZ, ANDREW WILLIAM JAFFET

Bach. ZAPATA BENAVENTE, MARIO ALEJANDRO

**ASESOR: Mg. Ing. GÁRATE CÁCERES, FRANCISCO HÉCTOR
LIMA – PERÚ**

2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi familia, quienes siempre me apoyaron y motivaron a alcanzar mis sueños sin desistir en el camino. A mis amistades y compañeros que formaron parte de este proceso.

Andrew Hidalgo Sánchez

Dedico esta tesis a Dios, a mi familia y a mis seres queridos, quienes, con sus ánimos, apoyo incondicional y optimismo, me incentivaron a seguir adelante y lograr esta meta.

Mario Zapata Benavente

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por todo lo alcanzado. Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos brindado los conocimientos y consejos sobre esta maravillosa carrera; a todos nuestros compañeros, docentes y personas que de alguna manera nos apoyaron en este proceso de formación.

Mario Zapata y Andrew Hidalgo

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos	1
1.2. Objetivo general y específico	3
1.3. Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática.....	3
1.4. Justificación e importancia	4
1.5. Limitaciones del estudio	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes del estudio de investigación	6
2.2. Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio	8
2.2.1. Vivienda progresiva	8
2.2.2. Viguetas prefabricadas, vigacero	10
2.3. Normatividad	16
2.3.1. Normas nacionales	16
2.3.2. Normas Internacionales.....	22
2.4. Propiedades mecánicas de los materiales	23
2.4.1. Concreto	23
2.4.2. Acero de Refuerzo.....	26
2.4.3. Acero Estructural.....	28
2.5. Definición de términos básicos.....	31
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	33
3.1. Hipótesis	33
3.1.1. Hipótesis principal.....	33

3.1.2. Hipótesis secundarias	33
3.2. Variables	33
3.2.1. Definición conceptual de las variables	33
3.2.2. Operacionalización de variables	34
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	35
4.1. Tipo y nivel	35
4.2. Diseño de la investigación	36
4.3. Población y muestra	36
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos	36
4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos	37
4.4.3. Procesamiento para la recolección de datos	38
4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	39
4.6. Descripción de los procedimientos de análisis	39
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE VIVIENDA PROGRESIVA, ANÁLISIS Y DISEÑO SISMORRESISTENTE	40
5.1. Propuesta arquitectónica de vivienda progresiva	40
5.1.1. Módulo básico	40
5.1.2. Módulo con crecimiento progresivo	42
5.2. Estructuración	46
5.2.1. Generalidades	46
5.2.2. Características de los materiales	47
5.2.3. Cargas de diseño	47
5.2.4. Predimensionamiento de elementos	54
5.2.5. Densidad de muros	55
5.2.6. Esfuerzo axial máximo	59
5.2.7. Modelo matemático de análisis	61

5.3. Análisis sismorresistente	62
5.3.1. Verificación de irregularidades	63
5.3.2. Verificación de cortante basal	74
5.3.3. Verificación de participación de masa	75
5.3.4. Verificación de derivas.....	77
5.4. Diseño de elementos estructurales	78
5.4.1. Muros de albañilería.....	78
5.4.2. Vigas.....	92
5.4.3. Columna	103
5.4.4. Para losa aligerada convencional	110
5.4.5. Para losa aligerada vigacero	115
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE SISTEMAS DE LOSA ALIGERADA	130
6.1. Análisis de sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero	130
6.1.1. Metrado de sistema de losa vigacero.....	130
6.1.2. Análisis de costo unitario del sistema de losa vigacero	132
6.2. Análisis del sistema de losa aligerada convencional	137
6.2.1. Metrados del sistema de losa aligerada convencional.....	137
6.2.2. Análisis de costo unitario del sistema de losa aligerada convencional	139
6.3. Presupuestos para ambos sistemas.....	142
CAPÍTULO VII: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	144
7.1. Análisis de resultados	144
7.1.1. Análisis técnico	144
7.1.2. Análisis económico	145
7.2. Contrastación de hipótesis	148
7.2.1. Hipótesis principal.....	148
7.2.2. Hipótesis secundaria.....	148

CONCLUSIONES	150
RECOMENDACIONES	152
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	153
ANEXOS.....	156
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	156
Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables.....	157
Anexo 3: Cronograma de desarrollo de la investigación.....	158
Anexo 4: Presupuesto de elaboración de tesis	159
Anexo 5: Plano de lotización de predios en Urb. Castilla Alta, Rímac.....	159
Anexo 6: Tabla salarial 2021 – 2022 - STCCLB.....	160
Anexo 7: Plano de ubicación de PVCP	161
Anexo 8: Planta arquitectónica de PVMB, primer y segundo nivel.....	162
Anexo 9: Planta arquitectónica de PVCP, primer y segundo nivel	163
Anexo 11: Plano de cimentación (esquema) de PVCP.....	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características técnicas de vigueta vigacero	12
Tabla 2: Especificaciones técnicas de casetones EPS	13
Tabla 3: Cargas vivas mínimas repartidas	18
Tabla 4: Carga repartida de losas aligeradas armadas en una sola dirección	19
Tabla 5: Resistencia característica de la albañilería	22
Tabla 6: Varillas corrugadas de sección redonda	28
Tabla 7 : Aspectos técnicos de materiales	47
Tabla 8: Peso de losa con sistema vigacero	48
Tabla 9: Carga muerta.....	48
Tabla 10: Carga viva.....	49
Tabla 11: Factores de zona	50
Tabla 12: Categorías de las edificaciones y factor U.....	50
Tabla 13: Factor de suelo "S"	52
Tabla 14: Periodos "T _P " y "T _L "	52
Tabla 15: Sistemas estructurales y Ro	53
Tabla 16: Parámetros generales de la edificación.....	56
Tabla 17: Factores sísmicos para análisis de densidad de muros	56
Tabla 18: Densidad de muro en dirección X-X	58
Tabla 19: Densidad de muros en dirección Y-Y.....	58
Tabla 20: Densidad de muros portantes.....	59
Tabla 21: Aspectos para cálculo de esfuerzo axial máximo.....	60
Tabla 22: Cálculo de esfuerzo axial máximo en muro portante M5Y	60
Tabla 23: Cálculo de condiciones para esfuerzo axial máximo.....	61
Tabla 24: Categoría y sistema estructural de las edificaciones	62
Tabla 25: ZUCS/R	63
Tabla 26: Irregularidades estructurales en altura.....	64
Tabla 27: Irregularidades estructurales en planta	65
Tabla 28: Irregularidad por piso blando en dirección X-X para S _x EST	67
Tabla 29: Irregularidad por piso blando en dirección Y-Y para S _y EST	67
Tabla 30: Irregularidad extrema de rigidez en dirección X-X para S _x EST.....	68
Tabla 31: Irregularidad extrema de rigidez en dirección Y-Y para S _y EST.....	68

Tabla 32: Verificación de irregularidad de masa o peso en la edificación	69
Tabla 33: Verificación de condición para irregularidad torsional	71
Tabla 34: Verificación de irregularidad por esquina entrante	72
Tabla 35: Verificación de irregularidad por discontinuidad de diafragma	73
Tabla 36: Valor de R para cada dirección de análisis	74
Tabla 37: Factores de reducción sísmica tras verificación de irregularidades	74
Tabla 38: Escalamiento de sismo dinámico considerando losa aligerada vigacero.....	75
Tabla 39: Escalamiento de sismo dinámico considerando losa aligerada convencional	75
Tabla 40: Participación de masa efectiva en modelo con sistema vigacero	76
Tabla 41: Participación de masa efectiva en modelo con losa aligerada convencional .	76
Tabla 42: Límites para la distorsión del entrepiso	77
Tabla 43: Verificación de derivas por sismo dinámico en modelo con losa vigacero....	77
Tabla 44: Verificación de derivas por sismo dinámico en modelo con losa aligerada convencional	78
Tabla 45: Carga de gravedad considerando 25% de S/C para muros en dirección X-X en el piso 1	79
Tabla 46: Carga de gravedad considerando 25% de S/C para muros en dirección Y-Y en el piso 1	80
Tabla 47: Fuerza cortante y momento flector actuante en muros en dirección X-X en el piso 1 para la condición de carga sismo dinámico en X-X.....	80
Tabla 48: Fuerza cortante y momento flector actuante en muros en dirección Y-Y en el piso 1 para la condición de carga sismo dinámico en Y-Y.....	81
Tabla 49: Control de fisuración en muros en dirección X-X del primer piso	81
Tabla 50: Control de fisuración en muros en dirección Y-Y del primer piso	82
Tabla 51: Verificación de resistencia al corte del edificio en el primer piso para la dirección X-X	82
Tabla 52: Verificación de resistencia al corte del edificio en el primer piso para la dirección Y-Y	83
Tabla 53: Determinación de fuerzas internas para el diseño de muros del primer piso en dirección X-X	84
Tabla 54: Determinación de fuerzas internas para el diseño de muros del primer piso en dirección Y-Y	84
Tabla 55: Verificación de necesidad de refuerzo horizontal para muros en dirección X-X del primer piso	85

Tabla 56: Verificación de necesidad de refuerzo horizontal para muros en dirección Y-Y del primer piso	85
Tabla 57: Determinación de fuerza cortante, tracción y compresión en columnas de confinamiento para muros en dirección X-X del primer piso	87
Tabla 58: Determinación de fuerza cortante, tracción y compresión en columnas de confinamiento para muros en dirección Y-Y del primer piso	87
Tabla 59: Determinación del área de refuerzo vertical para las columnas de confinamiento en los muros en dirección X-X del primer piso	88
Tabla 60: Determinación del área de refuerzo vertical para las columnas de confinamiento en los muros en dirección Y-Y del primer piso	88
Tabla 61: Determinación de la sección de concreto de la columna de confinamiento para los muros en dirección X-X	89
Tabla 62: Determinación de la sección de concreto de la columna de confinamiento para los muros en dirección Y-Y	90
Tabla 63: Determinación de estribos para la columna de confinamiento para los muros en dirección X-X	90
Tabla 64: Determinación de estribos para la columna de confinamiento para los muros en dirección Y-Y	91
Tabla 65: Determinación de acero de refuerzo para viga de confinamiento para los muros en dirección X-X	91
Tabla 66: Determinación de acero de refuerzo para viga de confinamiento para los muros en dirección Y-Y	92
Tabla 67: Diseño por Flexión de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 5-4) del sistema de losa con viguetas vigacero	94
Tabla 68: Diseño por Flexión de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 4-3) del sistema de losa con viguetas vigacero	95
Tabla 69: Diseño por Corte de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 5-4) del sistema de losa con viguetas vigacero	96
Tabla 70: Diseño por Corte de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 4-3) del sistema de losa con viguetas vigacero	97
Tabla 71: Diseño por Flexión de la viga VP 25x35 (eje 1, tramo A-C) del sistema de losa con viguetas vigacero	99
Tabla 72: Diseño por Flexión de la viga VP 25x35 (eje 1, tramo C-D) del sistema de losa con viguetas vigacero	100

Tabla 73: Diseño por Corte de la viga VP 25x35 (eje 1, tramo A-C) del sistema de losa con viguetas vigacero.....	101
Tabla 74: Diseño por Corte de la viga VP 25x35 (eje 1, tramo C-D) del sistema de losa con viguetas vigacero.....	102
Tabla 75: Diagrama de Interacción Momento M33.....	104
Tabla 76: Diagrama de Interacción Momento M33.....	104
Tabla 77: Resultados de la demanda en la Columna C1.....	105
Tabla 78: Combinaciones de Diseño, según la Norma E.060	105
Tabla 79: Metrado de carga muerta y viva de la sección compuesta	111
Tabla 80: Cálculo del peso total de la sección compuesta.....	118
Tabla 81: Metrado de carga muerta y viva de la sección compuesta	119
Tabla 82: Peraltes o espesores mínimos de losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen deflexiones.	121
Tabla 83: Deflexiones máximas admisibles	122
Tabla 84: Máximos momentos flectores positivos y negativos producidos en los 3 tramos	124
Tabla 85: Diseño del refuerzo para momentos flectores negativos en los 3 tramos.....	125
Tabla 86: Diseño del refuerzo para momentos flectores negativos en los 3 tramos.....	126
Tabla 87: Verificación de resistencia al cortante.....	128
Tabla 88: Cuadro resumen de encofrado de losa aligerada convencional para la vivienda progresiva de 3 pisos más azotea.....	130
Tabla 89: Cuadro resumen de los metros lineales de viguetas vigacero y cantidad de casetones de poliestireno	130
Tabla 90: Volumen de concreto por m ² de losa aligerada vigacero.....	131
Tabla 91: Volumen de concreto de losas con viguetas Vigacero	131
Tabla 92: Acero de Refuerzo en losas con viguetas Vigacero	132
Tabla 93: Análisis de costo unitario concreto premezclado con bomba $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	134
Tabla 94: Análisis de costo unitario acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	135
Tabla 95: Análisis de costo unitario casetón de 1.00x0.75x0.15 m.....	135
Tabla 96: Análisis de costo unitario encofrado y desencofrado	136
Tabla 97: Análisis de costo unitario tarrajeo de cielorraso.....	136
Tabla 98: Análisis de costo unitario de suministro y colocación de viguetas vigacero	137

Tabla 99: Cuadro resumen de encofrado de losa aligerada convencional para la vivienda progresiva de 3 pisos más azotea	138
Tabla 100: Volumen de concreto y # de ladrillos de arcilla 15x30x30 cm	138
Tabla 101: Cuadro de cálculo de peso de acero de losa aligerada convencional	139
Tabla 102: Tarrajeo y Empaste de cielorraso de losa aligerada convencional	139
Tabla 103: Análisis de costo unitario concreto premezclado con bomba $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$	140
Tabla 104: Análisis de costo unitario acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	140
Tabla 105: Análisis de costo unitario ladrillo de techo 30x30x15	141
Tabla 106: Análisis de costo unitario encofrado y desencofrado	141
Tabla 107: Análisis de costo unitario tarrajeo cielorraso	142
Tabla 108: Presupuesto de Losa aligerada convencional	143
Tabla 109: Presupuesto de Losa con viguetas Vigacero.....	143
Tabla 110: Cortante basal por sismo estático para los dos sistemas modelados	144
Tabla 111: Derivas máximas de entrepiso por sismo dinámico	145
Tabla 112: Cálculo de ratio de los sistemas de losa propuestos	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura de la producción de viviendas en Lima Metropolitana 2008-2020 .	1
Figura 2: Mapa de ubicación de zona de estudio.....	3
Figura 3: Tipos de espacios transformables. Flexibilidad de diseño o de uso.....	10
Figura 4: Clasificación de elementos en una edificación progresiva.....	10
Figura 5: Componentes del sistema de losa aligerada vigacero	11
Figura 6: Detalle isométrico vigueta corrugada.....	12
Figura 7: Casetón de poliestireno expandido (EPS)	12
Figura 8: Colocación de casetones en el sistema de losa aligerada vigacero	14
Figura 9: Detalle de losa aligerada con el sistema vigacero	14
Figura 10: Detalle constructivo de encuentro con viga peraltada exterior	15
Figura 11: Detalle constructivo de encuentro con viga chata exterior	15
Figura 12: Detalle de encuentro con viga interior	15
Figura 13: Elección de espesores de losa en función de su carga última	16
Figura 14: Curva Esfuerzo - Deformación	24
Figura 15: Efecto de la edad y del curado en la resistencia.....	25
Figura 16: Tipos de corrugaciones del acero de refuerzo.....	28
Figura 17: Curva esfuerzo – deformación del acero.....	29
Figura 18: Perfiles laminados de acero.....	30
Figura 19: Primer nivel del módulo básico de vivienda progresiva	41
Figura 20: Segundo nivel del módulo básico de vivienda progresiva	42
Figura 21: Primer nivel del módulo de vivienda con crecimiento progresivo.....	43
Figura 22: Segundo nivel del módulo de vivienda con crecimiento progresivo	44
Figura 23: Tercer nivel de módulo de vivienda con crecimiento progresivo	45
Figura 24: Azotea de módulo de vivienda con crecimiento progresivo	46
Figura 25: Zonas sísmicas.....	49
Figura 26: Viga con mayor luz	54
Figura 27: Identificación de muros portantes en dirección X-X	56
Figura 28: Identificación de muros portantes en dirección Y-Y	57
Figura 29: Área tributaria de muro M5Y	59
Figura 30: M5Y en vista de elevación en eje C-C.....	59
Figura 31: Modelo matemático tridimensional.....	62

Figura 32: Esquema de modelamiento de la estructura en ETABS 2018.....	70
Figura 33: Vista de perspectiva del modelo en ETABS 2018	72
Figura 34: Vista superior de modelo en ETABS 2018	73
Figura 35: Diagrama de momento flector de la envolvente de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 5-4-3) del sistema de losa con viguetas vigacero.	92
Figura 36: Diagrama de momento flector de la envolvente de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 5-4-3) del sistema de losa con viguetas vigacero.	93
Figura 37: Distribución de varillas de acero vertical en la columna C1.....	104
Figura 38: Diagrama de Interacción C1, con el momento M33 en el eje X-X.....	106
Figura 39: Diagrama de Interacción C1, con el momento M22 en el eje X-X.....	107
Figura 40: Diagrama de Interacción C1, con el momento M33 en el eje Y-Y.....	107
Figura 41: Diagrama de Interacción C1, con el momento M33 en el eje Y-Y.....	107
Figura 42: Distribución de estribos de refuerzo en la columna C1.	110
Figura 43: Vista en planta de losas a diseñar.....	110
Figura 44: Esquema de Wu sobre vigueta	112
Figura 45: Esquema de Wu sobre vigueta a lo largo de la losa	112
Figura 46: Calculo de acero negativo y positivo para losa aligerada convencional	114
Figura 47: Detalle de armadura de losa aligerada vista de perfil.....	115
Figura 48: Detalle de armadura de losa aligerada vista en planta	115
Figura 49: Detalle de losa aligerada con sistema vigacero	116
Figura 50: Esquema de ubicación de viguetas analizadas	116
Figura 51: Definición de elemento en software ETABS 2018	117
Figura 52: Diseño de Viga T en dirección XX en el software ETABS 2018.....	117
Figura 53: Asignación de carga muerta distribuida (WD) - (kg/m)	120
Figura 54: Asignación de carga viva distribuida (WD) - (kg/m).....	120
Figura 55: Asignación de carga viva distribuida (WD) - (kg/m).....	124
Figura 56: Secciones de acero	125
Figura 57: Esquema de peralte efectivo en viga T.....	126
Figura 58: Diagrama de fuerza cortante en los 3 tramos.	127
Figura 59: Esquema de distribución de viguetas vigacero	129
Figura 60: Sección transversal de vigueta vigacero.....	131
Figura 61: Esquema de distribución de puntales	133
Figura 62: Comparación de costo directo de materiales.....	146

Figura 63: Comparación del costo de horas hombre entre los sistemas de losa aligerada.

..... 148

RESUMEN

Esta tesis tuvo como objetivo presentar una propuesta de vivienda bajo un enfoque de crecimiento progresivo aplicando un sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas, vigacero, en el distrito del Rímac. Para ello, empleó el software de dibujo AutoCAD 2019 y el software de procesamiento de datos ETABS 2018 v18.1.1. En ellos, se elaboró la propuesta arquitectónica de la edificación, y posteriormente, se realizó el modelado para la determinación del comportamiento sísmico de la estructura. La población de estudio fueron todos los lotes que comprendían la Urbanización Castilla Alta en el distrito de Rímac. La muestra elegida fue no probabilística por conveniencia, seleccionando un lote con dimensiones promedio dentro de la urbanización.

El desarrollo arquitectónico planteó una vivienda bifamiliar de 3 niveles más azotea. En el análisis sismorresistente, se implementó un análisis modal espectral. A partir de este se obtuvieron los resultados de comportamiento sísmico, donde se observó que el sistema de losas aligeradas vigacero presentaba una disminución del 10.32% de peso total y cortante basal de la estructura en comparación con el sistema de losa aligerada convencional. Asimismo, los resultados mostraron una disminución de las derivas con un valor promedio de 13.10% en favor del sistema losa vigacero. Además, para el aspecto económico, se evaluó la ratio por metro cuadrado de la losa con el sistema vigacero, obteniendo como resultado un 10% menos de costo frente al sistema de losa aligerada convencional.

Con esta tesis, se logró plantear una propuesta de vivienda progresiva sustentada técnicamente donde se consideró la implementación de sistemas novedosos que permiten optimizar recursos y mejorar el comportamiento de la estructura.

Palabras claves: vivienda progresiva, albañilería confinada, vigacero, análisis sísmico

ABSTRACT

This thesis aimed to present a housing proposal under a progressive growth approach applying a lightened slab system with precast joists, beam, in the Rímac district. To do this, it used AutoCAD 2019 drawing software and ETABS 2018 v18.1.1 data processing software. In them, the architectural proposal of the building was elaborated, and later, the modeling was carried out to determine the seismic behavior of the structure. The study population consisted of all the lots that comprised the Castilla Alta Urbanization in the Rímac district. The chosen sample was non-probabilistic for convenience, selecting a lot with average dimensions within the urbanization.

The architectural development raised a two-family house with 3 levels plus a roof terrace. In the seismic analysis, a spectral modal analysis was implemented. From this, the results of seismic behavior were obtained, where it was observed that the lightened beam slab system presented a decrease of 10.32% in total weight and basal shear of the structure compared to the conventional lightened slab system. Likewise, the results showed a decrease in drifts with an average value of 13.10% in favor of the beam slab system. In addition, for the economic aspect, the ratio per square meter of the slab was evaluated with the beam system, obtaining as a result 10.00% less cost compared to the conventional lightened slab system.

With this thesis, it was possible to propose a progressive housing proposal technically supported where the implementation of novel systems that allow optimizing resources and improving the behavior of the structure was considered.

Key words: progressive housing, confined masonry, vigacero, seismic analysis

INTRODUCCIÓN

En Lima, el exponencial crecimiento demográfico acarrea consigo dos grandes problemas, el déficit habitacional por carencia de una vivienda o deficiencia estructural de la misma, y la continua expansión del fenómeno de informalidad en las construcciones denominado autoconstrucción.

Es por ello que la presente tesis de investigación, mediante procesos analíticos, en cumplimiento de las normas técnicas vigentes, y modelado numérico mediante el software ETABS 2018 V.18.1.1, presenta una propuesta de vivienda de crecimiento progresivo con albañilería confinada empleando el sistema de viguetas prefabricadas vigacero. Tiene por objetivo brindar una propuesta de edificación con un modelo estructural que sirva como referencia en construcciones o estudios que busquen mejorar el desempeño de las edificaciones salvaguardando la integridad de los ocupantes ante eventos sísmicos, y optimizando los costos de construcción. La población de estudio se localiza en la Urbanización Castilla Alta en el distrito de Rímac. La muestra escogida corresponde a un lote con dimensiones promedio dentro de la urbanización con un frente de 7.50 metros y 10.50 metros de fondo.

Para alcanzar este objetivo, se contempla el desarrollo de una propuesta arquitectónica, la estructuración y análisis sismorresistente de la misma, considerando el cumplimiento de los parámetros normativos vigentes. Asimismo, a fin de cuantificar la mejora económica con la implementación del sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero, se realiza una evaluación técnica económica, a partir de la cual, se obtienen ratios de costo por metro cuadrado para el sistema propuesto y este se compara con la ratio de un sistema de losa aligerada convencional.

En el Capítulo I, se define el planteamiento del problema, empezando por detallar la formulación del problema y los objetivos de la investigación; además, se señala la delimitación del estudio, así como, la importancia, justificación y limitaciones del mismo.

En el Capítulo II, se desarrolla el marco teórico contemplando antecedentes de estudios preliminares de carácter nacional e internacional, asimismo, se señalan las bases teóricas, científicas y normativas; por último, se establece la definición de términos básicos que se emplean a lo largo del desarrollo de esta tesis.

En el Capítulo III, se plantean las hipótesis del estudio y las variables contempladas para esta investigación.

En el Capítulo IV, se define la metodología de investigación empleada describiendo el tipo, nivel y diseño. Además, se indica la población y muestra de estudio. Se desarrollan las técnicas e instrumentos para la recolección de datos, así como, las técnicas de procesamiento y el procedimiento de análisis.

En el Capítulo V, se desarrolla la propuesta arquitectónica donde se presenta un módulo básico para la primera etapa y el módulo con crecimiento vertical en la segunda etapa. También, se detalla la estructuración de la propuesta considerando un pre dimensionamiento, se establecen las cargas de diseño y se realiza la verificación del cumplimiento de los parámetros de la norma E.030 y E.070. Se presenta el análisis sismorresistente de la propuesta contemplando los controles y verificaciones de las normas, posteriormente, se establecen los diseños para los elementos estructurales de la propuesta.

En el Capítulo VI, se introduce el aspecto económico de la propuesta, el estudio se enfoca en analizar las ratios de costo por metro cuadrado de los sistemas de losas aligeradas considerando el sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas, vigacero, y el sistema de losa aligerada convencional.

En el Capítulo VII, se presentan los resultados por medio de tablas comparativas, y se realiza la contratación de las hipótesis planteadas, verificando el cumplimiento o no de estas e indicando las razones.

Finalmente, se presentan las conclusiones en relación a los objetivos planteados para esta investigación donde se determinó que el sistema de losas aligeradas vigacero optimiza recursos económicos disminuyendo el costo de la losa aligerada en 10% por metro cuadrado y favorece en el comportamiento sísmico de la estructura con la reducción del peso y cortante basal en 10.32%.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Descripción y formulación del problema general y específicos

En nuestro país, el crecimiento demográfico ha incrementado exponencialmente durante la última década, lo que ha generado un aumento de la demanda de viviendas. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018), el déficit habitacional a nivel nacional es de 10.4%, siendo el área rural el de mayor porcentaje con un 17.6%, mientras que en el área urbano presenta un 8.3%. INEI divide el déficit habitacional en dos componentes o enfoques, desde el componente cuantitativo, centrado en la carencia de viviendas aptas para cubrir las necesidades habitacionales, y desde el componente cualitativo, enfocado en la deficiencia en la calidad de la vivienda por su materialidad, espacio habitable y servicios básicos.

Asimismo, la demanda por viviendas ha promovido la expansión del fenómeno de informalidad en la construcción, la denominada autoconstrucción. La Cámara Peruana de la Construcción (2021) concluye que el 67.0% de las viviendas producidas en Lima Metropolitana durante los últimos trece años fueron construidas informalmente. (Ver Figura 1)

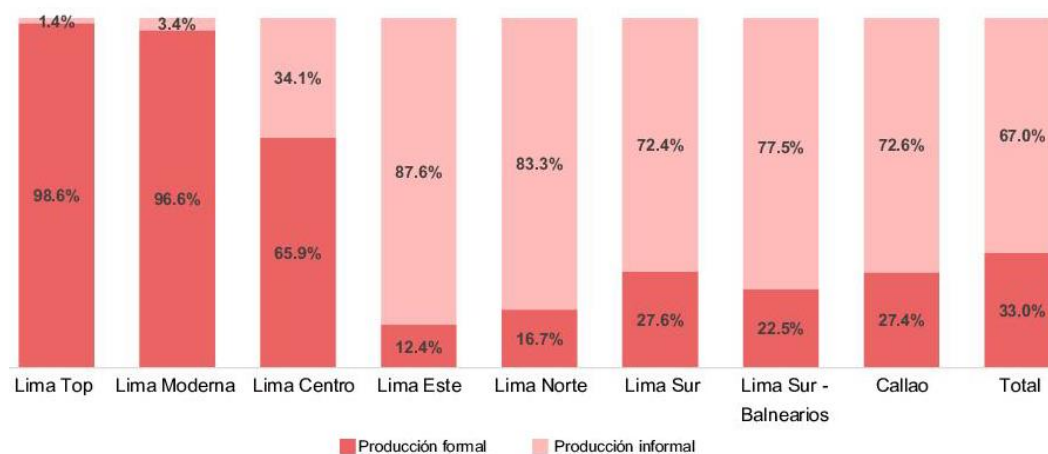


Figura 1: Estructura de la producción de viviendas en Lima Metropolitana 2008-2020

Fuente: CAPECO (2021). Informe Económico de la Construcción N° 39

CAPECO define vivienda informal como aquella que no cumple con el factor legal de contar con un título de propiedad y permisos de construcción, carencia de

profesionales durante la etapa de diseño y construcción, y la ausencia de supervisión municipal que garantice la integridad de la edificación.

Por otro lado, Perú es uno de los países con mayor potencial sísmico a nivel mundial, pues este se encuentra ubicado en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, región donde se libera aproximadamente el 85% de la energía interna de la Tierra debido a los procesos de convección del manto. Tavera (2021) asegura que se espera un gran sismo en la costa central del Perú, pues manifiesta que múltiples investigaciones realizadas en el Instituto Geofísico del Perú han demostrado la existencia de una gran área que viene acumulando deformaciones frente a la costa central del Perú desde el año 1746 y que, al momento de relajarse, liberará energía equivalente a un sismo de magnitud M8.5.

Teniendo en consideración los factores antes mencionados, la espera de un evento sísmico de gran magnitud y la problemática de la informalidad en la construcción de viviendas, podemos inferir que gran parte de las viviendas bajo autoconstrucción presentan un alto índice de vulnerabilidad, lo cual pone en peligro la integridad de la edificación, así como, la de sus ocupantes. Por ello, esta tesis de investigación plantea una propuesta de vivienda progresiva que se adapte a la realidad constructiva del sector de estudio que se ubica en el distrito de Rímac; además, plantea la incorporación de nuevas tecnologías como el sistema vigacero que pretende optimizar el costo de la construcción.

- Problema general

¿Cómo realizar una propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada empleando el sistema vigacero en el distrito de Rímac?

- Problema específico

¿Cómo realizar el análisis sismorresistente de la vivienda progresiva en el software ETABS 2018 v.18.1.1?

¿Cómo diseñar la superestructura de la vivienda progresiva considerando el cumplimiento de los parámetros en las normas vigentes?

¿Cómo realizar una valoración técnico-económica de la implementación del sistema vigacero en las losas aligeradas frente a un sistema de losa aligerada convencional?

1.2. Objetivo general y específico

- Objetivo general

Realizar una propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada empleando el sistema vigacero en el distrito de Rímac.

- Objetivo específico

Realizar el análisis sismorresistente de la propuesta de vivienda progresiva con el software ETABS 2018 v18.1.1.

Diseñar la superestructura de la vivienda progresiva considerando el cumplimiento de las normas vigentes.

Realizar una valoración técnico-económica de la implementación del sistema vigacero en las losas aligeradas frente a un sistema de losa aligerada tradicional.

1.3. Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática

La tesis de investigación se desarrolla en el Programa de Titulación por Tesis de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma entre los meses de mayo y noviembre de 2021. (Ver Anexo 3)

La investigación está situada en la Urbanización Castilla Alta, distrito de Rímac, provincia de Lima, departamento de Lima. La localización geográfica es latitud $12^{\circ} 02' 19.4''$ S y longitud $77^{\circ} 02' 19.4''$. (ver Figura 2)

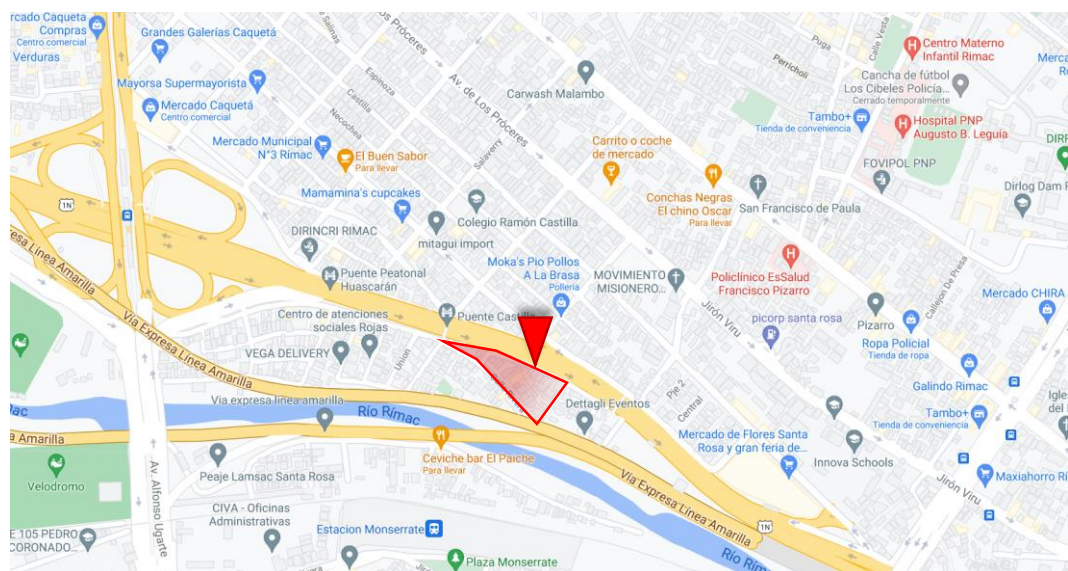


Figura 2: Mapa de ubicación de zona de estudio

Fuente: Google Maps (2021)

Asimismo, esta tesis de investigación solo contempla el análisis y diseño de la superestructura para la propuesta de vivienda progresiva. A nivel arquitectónico, la tesis emplea como referencia los prototipos de vivienda social progresiva del Concurso Nacional de Vivienda Social edición 2018 del Fondo MiVivienda impulsado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

1.4. Justificación e importancia

- Justificación

Justificación teórica

Esta tesis permite conocer más sobre el diseño de losas aligeradas con sistemas de viguetas prefabricadas; asimismo, permite conocer los aspectos técnicos del sistema vigacero y compararlos con viguetas de una losa aligerada convencional.

Justificación práctica

El aporte práctico que brinda la tesis es la posibilidad de difundir nuevas tecnologías enfocadas en la optimización de recursos para la construcción de edificaciones.

Justificación económica

La justificación económica reside en la introducción de un sistema prefabricado que pretende disminuir costos de construcción frente a una losa aligerada convencional, además de acelerar el proceso constructivo.

Justificación social

La presente tesis pretende impulsar la implementación de un modelo estructural normalizado que sirva de apoyo para mitigar, en cierta medida, el problema de la informalidad en las construcciones, ya que este puede servir de referencia para aquellos constructores que no cuenten con respaldo profesional.

- Importancia

La condición socioeconómica y ausencia de concientización por parte de la sociedad, promueve la construcción de viviendas bajo el fenómeno de autoconstrucción, lo cual no garantiza el correcto desempeño estructural de la vivienda frente a eventos sísmicos. Por ello, es indispensable brindar a la

sociedad propuestas técnicas de viviendas que cuenten con respaldo profesional que garanticen el cumplimiento de los parámetros de las normas vigentes, protegiendo así la integridad de la edificación y de sus ocupantes dentro de la Urbanización Castilla Alta en el distrito de Rímac, provincia de Lima, departamento de Lima.

1.5.Limitaciones del estudio

Como principal limitante, se destaca la ausencia de estudios de mecánica de suelos, por ello, esta tesis emplea valores referenciales del estudio de microzonificación sísmica del distrito del Rímac elaborado por el CISMID en el año 2015.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio de investigación

- Investigaciones internacionales

Molano, J. (2017) en su tesis titulada “Comportamiento de la conexión de sistemas aligerados con poliestireno expandido, muros de mortero y losa en sección compuesta con perfiles formados en frío” para optar por el grado de Magister en la Universidad Nacional de Colombia, plantea como objetivo evaluar la conducta del enlace de sistemas con poliestireno expandido para muros de mortero tipo sándwich y losa en forma compuesta con perfiles hechos en frío, según las cargas elásticas y cíclicas, por medio de pruebas experimentales y simulación numérica. En esta investigación, se verifica la deficiencia en el comportamiento dinámico de los elementos estructurales de baja y mediana altura, además, se obtiene como resultado que las flechas de deflexión en las losas de entrepiso tuvieron un comportamiento lineal durante el proceso de ensayo, concluyendo así, en que el comportamiento generado presenta un estilo simétrico. A partir de esta investigación, se obtiene un enfoque de análisis para sistemas aligerados de losas en construcciones de mediana y baja altura que es de beneficio para la presente tesis de investigación.

Sanabria, B. (2017) en su tesis “Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicionales y prefabricados de losas de entrepiso para edificios de hasta 4 niveles” para la obtención del título de ingeniero civil en la Universidad Católica de Colombia, plantea como objetivo cuantificar las ventajas obtenidas tras el análisis comparativo entre losas tradicionales y prefabricadas. Obtiene como resultados que, en la comparación de pesos de la estructura, el uso de losas prefabricadas favoreció a la reducción del mismo; sin embargo, desde el punto de vista económico, las losas tradicionales son más económicas. Finalmente, concluye que la construcción con losa prefabricada no es viable para proyectos de baja envergadura, como el modelo estudiado. Esta investigación otorga un panorama sobre la implementación de losas prefabricadas en edificios de baja altura, lo cual, sirve para optar por un sistema no convencional diferente.

Nieto, J. (2014) en la tesis “Diseño de una vivienda de dos plantas con soluciones prefabricadas” para la obtención del grado de Magister en construcciones en la Universidad de Cuenca, Ecuador, plantea como objetivo diseñar una vivienda de dos plantas con soluciones prefabricadas, para lo cual, realiza una investigación de los diferentes sistemas prefabricados existentes en el mercado nacional e internacional. Durante el desarrollo del estudio, compara presupuestos de cada edificación bajo los diferentes sistemas prefabricados mostrando un ahorro de 7.07% en el costo de la edificación y una reducción del plazo de ejecución de 33.33%. Este estudio es un precedente para la presente investigación, pues postula que el uso de nuevas tecnologías de elementos prefabricados en la construcción optimiza el costo de la edificación.

- Investigaciones nacionales

Meza, C. y Martell, D. (2019), en la tesis “Evaluación técnica y económica, entre los sistemas prefabricados de losa con viguetas vigacero y losa con viguetas pretensadas en un edificio multifamiliar en el distrito de Surquillo” para la obtención del título profesional de ingenieros civiles en la Universidad Ricardo Palma, plantean como objetivo realizar un análisis comparativo entre ambos sistemas para losas de entrepiso. Tras el análisis, obtienen como resultado que el costo directo de las losas de entrepiso bajo el sistema de vigacero resulta más económico, además, presenta una reducción en el peso de la edificación. Esta investigación sirve como precedente para determinar que la implementación del sistema vigacero resulta ventajosa frente al sistema de viguetas pretensadas para losas de entrepiso.

Solís, W. (2019) en la tesis titulada “Comportamiento estructural del entrepiso de una vivienda de 3 niveles con el sistema prefabricado losa aligerada VIGACERO, Lima 2018” para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad César Vallejo, plantea el objetivo de analizar el comportamiento estructural del sistema prefabricado de losa aligerada VIGACERO. Se obtiene como resultado que la deflexión del sistema prefabricado de losa aligerada VIGACERO era menor a la deflexión máxima que establecía la norma, asimismo, la resistencia al esfuerzo cortante es inferior al esfuerzo admisible, por lo cual, este sistema cumple con todos los parámetros

que establece la norma. Esta investigación es un indicador del desempeño del sistema de losa aligerada, que sirve para establecer un modelo de análisis estructural para el desarrollo de la propuesta de la vivienda progresiva.

Rivera, D. (2017) en su tesis “Análisis comparativo del sistema pre fabricado de losa aligerada vigacero vs el sistema convencional de una edificación de 6 pisos en Huancayo, 2016” para la obtención del título profesional de ingeniero civil en la Universidad Peruana los Andes, plantea como objetivo realizar un análisis comparativo entre el sistema convencional y el sistema pre fabricado vigacero. Tras el análisis, se obtiene el resultado de una reducción del peso propio del sistema en un 42.86% y reducción del costo directo en un 9.55%. Por lo cual, concluye que el uso del sistema vigacero presenta grandes ventajas y resulta una alternativa viable para la construcción de losas. En esta investigación, se presenta un modelo de análisis de la programación de obra e incidencia de la implementación del sistema vigacero, este aporte es de gran beneficio para la presente tesis, pues, otorga un enfoque general del análisis técnico económico del sistema de losas aligeradas con viguetas prefabricadas vigacero.

2.2. Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.2.1. Vivienda progresiva

El concepto de vivienda progresiva o de crecimiento progresivo se define como la construcción progresiva o por etapas de una vivienda, esto se debe a diversos factores sociales y económicos. Desde el lado social, este está ligado al desarrollo de la familia, ya sea por el aumento de miembros en el grupo familiar y/o nuevos requerimientos de espacio de los miembros existentes. Por la parte económica, emplear esta modalidad de construcción supone una menor inversión inicial, pues, no todas las familias cuentan con una gran capacidad de pago y/o endeudamiento.

Una de las principales ventajas de las viviendas de crecimiento progresivo, radica en la posibilidad de cubrir la etapa inicial de la construcción con un menor monto de inversión inicial, lo que genera que un mayor número de personas pueda acceder a una vivienda con los servicios y espacios básicos. Asimismo, el diseño de las mismas contempla una mayor flexibilidad en la distribución de ambientes, lo que permite que estas se adapten a diferentes

escenarios en el desarrollo social de una familia. Por otro lado, la concepción del diseño tiende a ser más laboriosa y rigurosa que el de una vivienda convencional, pues se debe diseñar con mayor cuidado el sistema estructural y las instalaciones sanitarias y eléctricas. (La Roche et al., 1998)

Según La Roche et al. (1998), se puede clasificar la vivienda progresiva en cuatro tipos fundamentales, dependiendo de la forma de crecimiento:

- Por rehabilitación o mejoramiento del hábitat existente
- Por entrega de tierra inicial (sitio con servicios y traslado a fondo de lote en vivienda provisoria)
- Por completamiento de vivienda cáscara (cerramientos verticales, mejoramiento de la estructura básica)
- Por anexado de superficie cubierta (ampliación de áreas terminadas), el cual puede a su vez estar adosada (vivienda mononuclear), agregada (vivienda polinuclear, adosada en planta alta.

La propuesta de la presente tesis está situada en el cuarto tipo con un crecimiento vertical, dado que, se plantea la construcción de un primer nivel, y posteriormente continuar adosando hasta alcanzar las dimensiones que establecen los parámetros urbanísticos.

Dentro de una vivienda progresiva, se pueden encontrar espacios transformables y espacios permanentes (ver Figura 3). Los espacios transformables son aquellos que cuentan con una gran flexibilidad de uso y pueden ser dispuestos como dormitorios, cuarto de estudio, depósitos, etc. Los espacios permanentes son aquellos que se destinan a una única función limitadas por su concepción estructural y/o proyección de instalaciones, por ejemplo, el área destinada para la caja de la escalera, la zona contigua al montante de agua y desagüe en donde, por lo general, se ubican los baños.

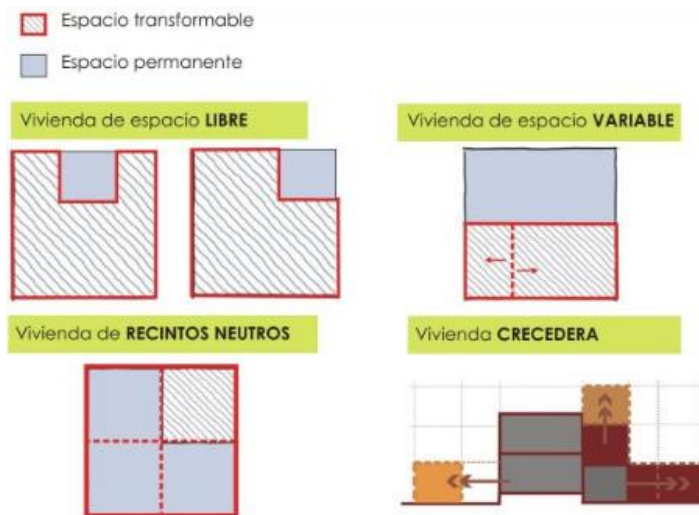


Figura 3: Tipos de espacios transformables. Flexibilidad de diseño o de uso

Fuente: Gelabert, A. y Gonzáles, D. (2013).

Por otro lado, los elementos que componen una vivienda progresiva se pueden clasificar en permanentes y temporales (ver Figura 4). Los elementos permanentes hacen referencia a aquellos que, al ser estructurales, no pueden sufrir modificación alguna pues de ellos depende la estabilidad y seguridad de la edificación. Los temporales son aquellos que pueden sufrir variaciones durante la vida útil de la vivienda. Estos a su vez se subdividen en temporales fijos y temporales variables. (Gelabert y Gonzáles, 2013)



Figura 4: Clasificación de elementos en una edificación progresiva

Fuente: Gelabert, A. y Gonzáles, D. (2013).

2.2.2. Viguetas prefabricadas, vigacero

Vigacero es un sistema de techo aligerado conformado por viguetas prefabricadas de acero estructural galvanizado y casetones de poliestireno

expandido EPS de alta densidad, que facilita la construcción de losas aligeradas (techos) de una manera más rápida y sencilla. (Arcotecho, 2017)

El sistema está compuesto por viguetas vigacero con perfiles de 6 cm² de área, casetones de EPS (tecnopor) cuya densidad es de 15 kg/m³, malla de temperatura electrosoldada o alambrcn de 6 mm de diámetro distribuidos en cuadrícula de 25 x 25 cm. (ver Figura 5)

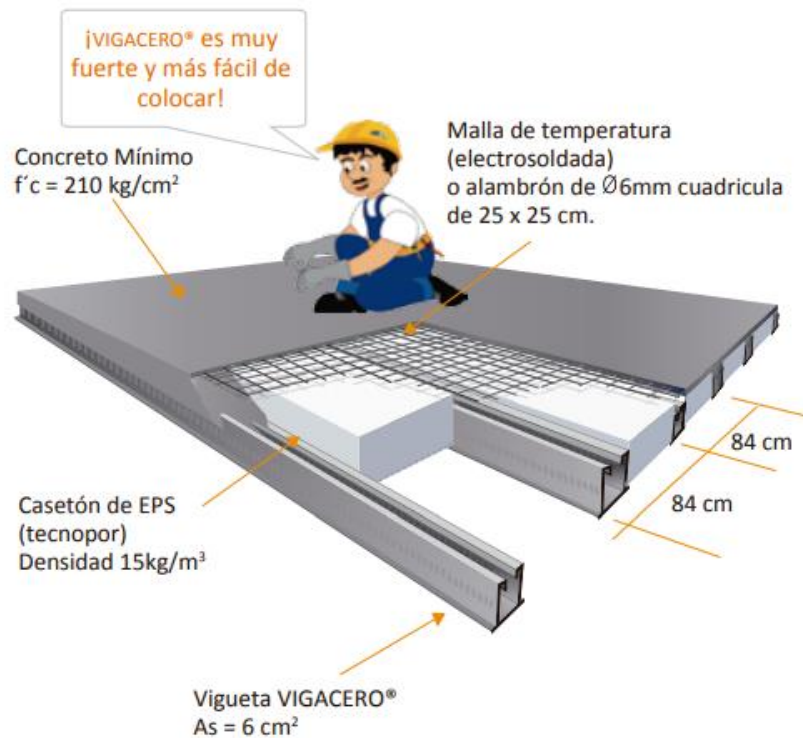


Figura 5: Componentes del sistema de losa aligerada vigacero

Fuente: Arcotecho (2017). Manual técnico vigacero

La vigueta vigacero presenta las dimensiones que se muestran en la Figura 6. Este perfil cumple con las normas ASTM A 1011, ASTM 1008 y ASTM A 653. El peso aproximado es de 4.80 kg/ml. El espesor aproximado de la lámina es de 1.5 mm. La resistencia a la fluencia tiene un valor aproximado de 2530 kg/cm². Según las características señaladas en el acápite 2.1 del Manual Técnico Vigacero, 2017, la luz libre máxima con puntales es de 8 m y la luz máxima sin puntales es de 3 m. (ver Tabla 1)



Figura 6: Detalle isométrico vigueta corrugada

Fuente: Arcotecho (2017). Manual técnico vigacero

Tabla 1: Características técnicas de vigueta vigacero

Características de la vigueta	
Dimensiones	h = 9 cm
	b = 13 cm
	b1 = 2.5 cm
Peso	4.80 kg/ml
Espesor	1.5 mm
Normas	ASTM A 1011
	ASTM A 1008
	ASTM A 653
fy	min 2530 kg/cm ²

Fuente: Adaptado de Manual técnico vigacero, Arcotecho (2017)

El casetón de poliestireno expandido (EPS) puede ser de tipo liso, pretarrajado y/o casetón cola de milano (ver Figura 7). Estos cumplen la función de un ladrillo de arcilla en una losa aligerada convencional. Las características de los casetones a emplearse en este sistema son las que aparecen en la Tabla 2, cuyo comportamiento físico químico cuenta con un certificado avalado por la Universidad Nacional de Ingeniería, tras los ensayos realizados en el mes de mayo de 2014.



Figura 7: Casetón de poliestireno expandido (EPS)

Fuente: Arcotecho (2017). Manual técnico vigacero

Tabla 2: Especificaciones técnicas de casetones EPS

Características de los casetones de EPS	
Dimensiones	largo : 1.00 o 2.00 m
	ancho : 75 o 60 cm
	espesor : 9,12,15, 20 a 30 cm
Peso máximo por unidad	1.0 kg / casetón estándar e = 9cm
	1.7 kg / casetón estándar e = 15 cm
Densidad	15 kg / m ³
Color	blanco
Acabado	lisos, ranurados o pre tarrajado
Comportamiento físico químico (*)	material incombustible, que contiene agente ignífugo (no propaga llama), auto extingible

Fuente: Adaptado de Manual técnico vigacero, Arcoteco (2017)

La malla de temperatura es electrosoldada o fabricada en obra con alambón de 6 mm, armado en los dos sentidos con separaciones de 25 cm.

El concreto a emplearse debe tener una resistencia a la compresión mínima de 210 kg/cm². Este puede ser elaborado en obra o concreto premezclado. El tamaño máximo del agregado grueso no deberá superar los 19 mm (3/4”).

- Proceso constructivo del sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero

Se inicia colocando las viguetas vigacero a 84 cm de distancia entre ejes o según la distribución de los planos estructurales. Cuando estas se encuentren con el acero de refuerzo de vigas, se corta y dobla el extremo de la vigueta permitiendo que el acero de refuerzo continúe su recorrido, ya sea, verticalmente u horizontalmente.

Posterior a ello, se colocan los casetones de EPS entre las viguetas prefabricadas vigacero, apoyando un lado, y posteriormente, encajando el otro como se aprecia en la Figura 8. Luego, se verifica la adecuada distribución de las viguetas y casetones y se procede a completar la colocación de los mismos empujando y deslizando los casetones entre las viguetas.



Figura 8: Colocación de casetones en el sistema de losa aligerada vigacero

Fuente: Arcotecho (2017). Manual Técnico VIGACERO.

Concluida la colocación de los casetones, se procede a instalar las tuberías para las instalaciones eléctricas y sanitarias como se ejecutaría en una losa aligerada convencional. Luego, se coloca la malla de temperatura y el refuerzo de acero negativo en las viguetas, como se aprecia en la Figura 9.

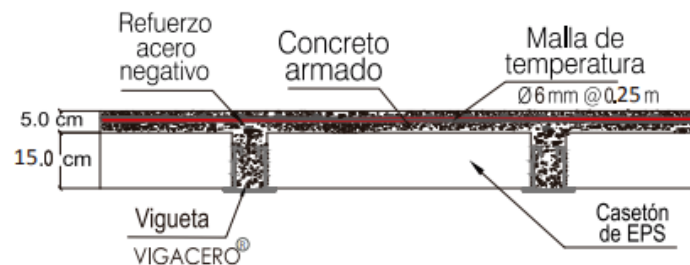


Figura 9: Detalle de losa aligerada con el sistema vigacero

Fuente: Arcotecho (2017). Manual Técnico vigacero

Para el vaciado de concreto, se debe ejecutar teniendo en consideración ejercer la menor presión posible sobre los casetones de EPS. Salvo la observación antes expuesta, el procedimiento es igual al del sistema convencional.

- Detalles constructivos del sistema vigacero

El Manual técnico vigacero plantea detalles constructivos para encuentros con vigas peraltadas exteriores, en donde las viguetas se implementan como se aprecia en la Figura 10; por otro lado, si la viga exterior es una

viga chata, se sugiere colocar conectores como se observa en la Figura 11; igualmente, para encuentros con vigas interiores, se sugiere añadir conectores como se observa en la Figura 12.

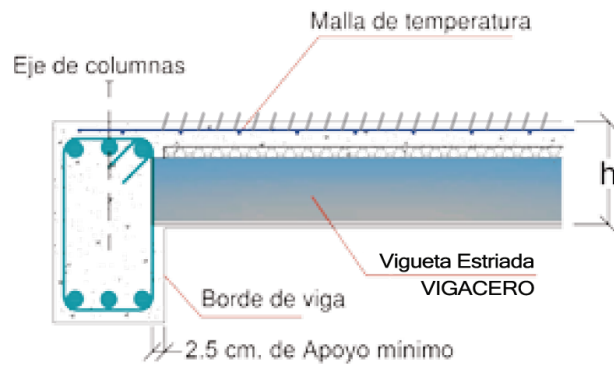


Figura 10: Detalle constructivo de encuentro con viga peraltada exterior

Fuente: Arcotecho (2017). Manual Técnico vigacero

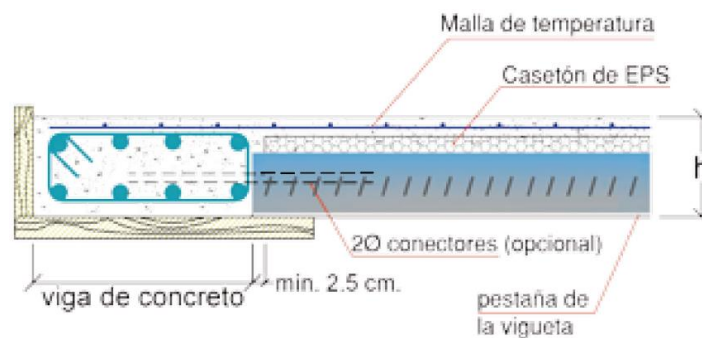


Figura 11: Detalle constructivo de encuentro con viga chata exterior

Fuente: Arcotecho (2017). Manual Técnico vigacero

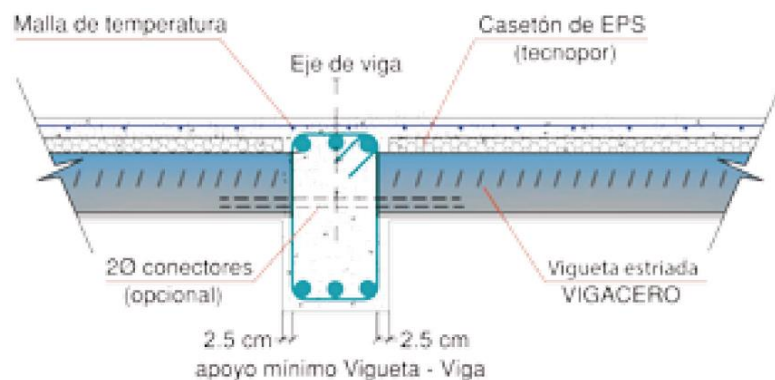


Figura 12: Detalle de encuentro con viga interior

Fuente: Arcotecho (2017). Manual Técnico vigacero

- Diseño de losas aligeradas con sistema vigacero

Para el diseño de losas aligeradas con vigacero, el Manual Técnico Vigacero, Arcotecho, 2017 presenta una tabla para el diseño de las mismas en función de la carga última, en esta tabla se considera el espaciamiento de viguetas a 84 cm entre ejes. (ver Figura 13)

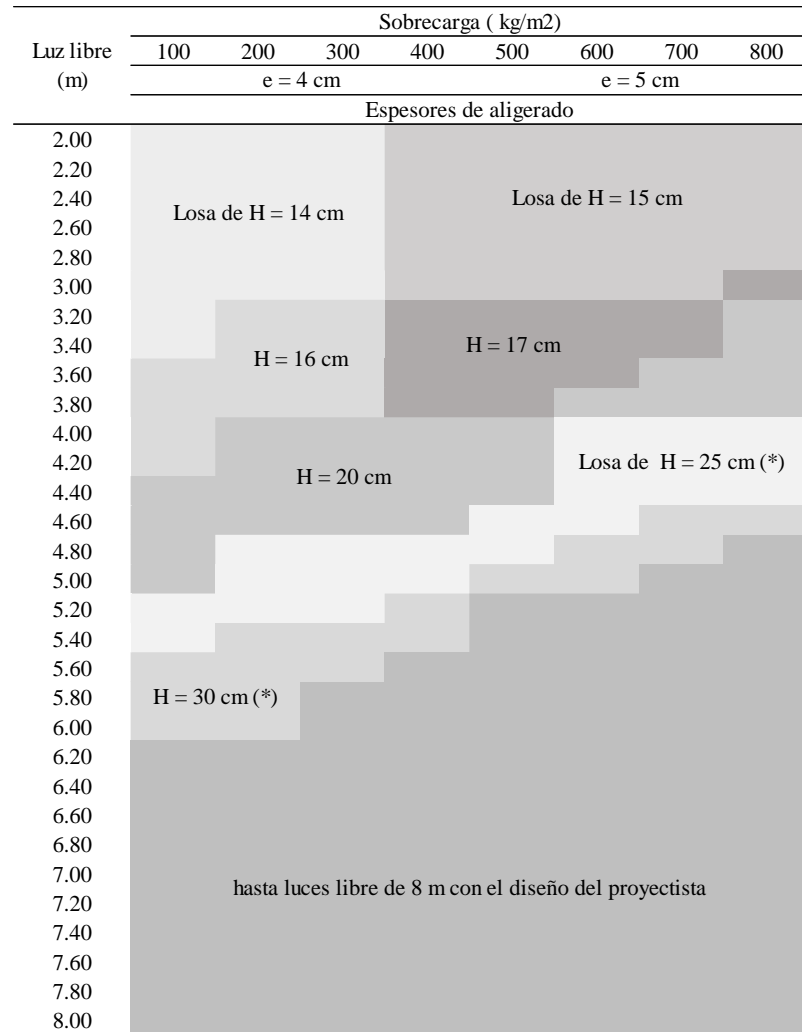


Figura 13: Elección de espesores de losa en función de su carga última

Fuente: Arcotecho (2017)

2.3. Normatividad

2.3.1. Normas nacionales

Las normas del Reglamento Nacional de Edificaciones, se elaboran a través de comités técnicos, conformados por representantes de diversas instituciones involucradas en el tema materia de la norma en cuestión. Prioritariamente

forman parte de estos comités, representantes de las universidades, institutos de investigación y consultores de reconocido prestigio en el país.

Estos comités son los encargados de elaborar proyectos de propuestas de normas del RNE, que posteriormente son sometidos a discusión pública, y finalmente, aprobados por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

- Normas A.010 Condiciones generales de diseño

La versión vigente de esta norma, corresponde a aquella promulgada mediante Resolución Ministerial N° 191-2021-VIVIENDA el 08 de julio del año 2021.

Esta norma establece las condiciones mínimas de funcionalidad, seguridad y accesibilidad para todo diseño arquitectónico de toda edificación. Además, en ella se indican las dimensiones mínimas de los ambientes y zonas de circulación, relaciones entre espacios y las condiciones de uso.

- Norma E.020 Cargas

La versión vigente de esta norma es aquella decretada mediante Decreto Supremo 011-2006-VIVIENDA en el año 2006. En esta norma se establecen los valores mínimos de cargas asumidas para el diseño de edificaciones.

En el Capítulo 1, MVCS (2006) define el concepto de carga como aquella fuerza o acción que resulte del peso de los materiales de construcción, ocupantes y sus pertenencias, efectos del medio ambiente, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos. Además, define carga muerta como el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipo, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo. Finalmente, define carga viva como el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos muebles y otros elementos movibles soportados por la edificación.

En el Capítulo 3, presenta las cargas vivas mínimas repartidas de piso en función de su ocupación o uso. (ver Tabla 3)

Tabla 3: Cargas vivas mínimas repartidas

Ocupación o uso	Cargas repartidas kPa (kgf/m ²)
Almacenaje	5.0 (500)
Baños	igual a la carga principal del resto del área, sin que sea necesario que exceda de 3.0 (300)
Bibliotecas	
Salas de lectura	3.0 (300)
Salas de almacenaje con estantes fijos (no apilables)	7.5 (750)
Corredores y escaleras	4.0 (400)
Centros de educación	
Aulas	2.5 (250)
Talleres	3.5 (350)
Auditorios, gimnasios, etc.	De acuerdo a lugares de asamblea
Laboratorios	3.0 (300)
Corredores y escaleras	4.0 (400)
Garajes	
Para parqueo exclusivo de vehículos de pasajeros con altura de entrada menor que 2.40 m	2.5 (250)
Para otros vehículos	ver artículo 9.3 norma E.020
Hospitales	
Salas de operación, laboratorios y zonas de servicio	3.0 (300)
Cuartos	2.0 (200)
Corredores y escaleras	4.0 (400)
Hoteles	
Cuartos	2.0 (200)
Salas públicas almacenaje y servicios	De acuerdo a lugares de asamblea 5.0 (500)
Corredores y escaleras	4.0 (400)
Industria	ver artículo 6.4 norma E.020
Instituciones penales	
Celdas y zona de habitación	2.0 (200)
Zonas públicas	De acuerdo a lugares de asamblea
Corredores y escaleras	4.0 (400)
Lugares de asamblea	
Con asientos fijos	3.0 (300)
Con asientos móviles	4.0 (400)
Salón de baile, restaurantes, museos, gimnasios y vestíbulos de teatros y cines	4.0 (400)
Graderías y tribunas	5.0 (500)

Corredores y escaleras	5.0 (500)
Oficinas	
Exceptuando sala de archivos y computación	2.5 (250)
Salas de archivo	5.0 (500)
Salas de computación	2.5 (250)
Corredores y escaleras	4.0 (400)
Teatros	
Vestidores	2.0 (200)
Cuarto de proyección	3.0 (300)
Escenario	7.5 (750)
Zonas públicas	De acuerdo a lugares de asamblea
Tiendas	5.0 (500)
Corredores y escaleras	5.0 (500)
Viviendas	2.0 (200)
Corredores y escaleras	2.0 (200)

Fuente: Adaptado de la Norma E.020 Cargas, MVCS (2006)

En el artículo 7.1 del capítulo 3, MVCS (2006) señala que para la carga viva de techo con una inclinación hasta 3° con respecto a la horizontal, se debe aplicar una carga mínima repartida de 100 kgf/m².

Además, MVCS (2006) presenta en esta norma los pesos propios para diferentes materiales donde se observa la carga distribuida en función del peso propio de losas aligeradas tradicionales. (ver Tabla 4)

Tabla 4: Carga repartida de losas aligeradas armadas en una sola dirección

Losas aligeradas armadas en una sola dirección		
Espesor de losa (m)	Espesor de losa superior (m)	Peso propio kPa (kgf/m ²)
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: con vigueta de 10 cm de ancho y 40 cm entre ejes

Fuente: Adaptado de la Norma E.020 Cargas, MVCS (2006)

- Norma E.030 Diseño sismorresistente

La versión vigente de esta norma es aquella decretada mediante Resolución Ministerial N° 355-2018-VIVIENDA en el año 2018. En esta norma se establecen las condiciones mínimas de análisis para el diseño sismorresistente de edificaciones.

MVCS (2018) establece un procedimiento para la determinación de las acciones sísmicas. Este se encuentra dividido en cuatro etapas.

En la primera etapa, contempla el cálculo del peligro sísmico. Para ello considera el factor de zona, el perfil de suelo, los parámetros de sitio y la obtención del factor de amplificación sísmica.

En la segunda etapa, define la caracterización del edificio en función del factor de uso y el sistema estructural a emplear. Conociendo el sistema estructural, se procede a determinar el coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas. Posteriormente, se determinan los factores de irregularidad en planta y altura. Adicionalmente, establece la necesidad de verificar las restricciones de irregularidad en base a la categoría y zona de la edificación.

En la tercera etapa, establece los criterios de análisis sísmico. Primero, establece las condiciones para la estimación del peso de la estructura. Luego, establece los pasos para el análisis estático donde se obtiene la cortante en la base para cada dirección de análisis. Luego, para determinar el valor de C se estima el periodo fundamental de vibración en cada dirección. Después, se determina la distribución de la fuerza sísmica en cada nivel. Seguidamente, se aplica la fuerza obtenida en el centro de masas de cada piso para obtener el momento torsor.

Para el análisis dinámico, establece el cálculo de los modos de vibración. A partir de ello, establece el método para el cálculo del espectro inelástico de pseudo aceleraciones para cada dirección. Luego, se procede a determinar las fuerzas y desplazamientos para cada dirección de análisis. Se determina la respuesta máxima esperada considerando todos los modos.

Después, se procede a escalar los resultados obtenidos considerando un cortante mínimo en el primer entrepiso.

En la cuarta etapa, se realiza la validación de la estructura. Se realiza la revisión de las hipótesis de análisis. Además, de existir irregularidades extremas, se verifica que la edificación no cuente con esta restricción, de no ser el caso, se modifica la estructuración y se repite el análisis. Posteriormente, se determinan los desplazamientos laterales y se verifica la distorsión admisible en base al sistema estructural. Finalmente, se determina la separación mínima entre edificios.

- Norma E.060 Concreto armado

La versión vigente de esta norma, corresponde a aquella promulgada mediante Decreto Supremo N° 010-2009-VIVIENDA el 08 de mayo del año 2009.

MVCS (2009) indica en esta norma que para el diseño de estructuras de concreto armado se debe utilizar el diseño por resistencia, debiéndose proporcionar a todas las secciones de los elementos estructurales resistencias de diseño adecuadas; asimismo, señala que se deben usar los factores de amplificación de carga y los factores de reducción de resistencia presentados en esta norma.

- Norma E.070 Albañilería

La versión vigente de esta norma, corresponde a aquella promulgada mediante Decreto Supremo 011-2006-VIVIENDA el 05 de mayo del año 2006.

MVCS (2006) define albañilería como un material estructural compuesto por unidades de albañilería asentadas con mortero o por unidades de albañilería apiladas, en cuyo caso son integradas con concreto líquido. También, define albañilería confinada como aquella albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, vaciados posteriormente a la construcción de la albañilería. Asimismo, señala que la cimentación de concreto se considera como confinamiento horizontal para los muros del primer piso.

En esta norma se detalla el proceso constructivo y las especificaciones técnicas para el sistema de albañilería confinada y albañilería armada. Además, establecen valores de resistencia características de la albañilería. (ver Tabla 5)

Tabla 5: Resistencia característica de la albañilería

Resistencias características de la albañilería Mpa (kg/cm ²)				
Materia prima	Denominación	Unidad f'b	Pilas f'm	Muretes V'm
Arcilla	King kong artesanal	5.4 (55)	3.4 (35)	0.5 (5.1)
	King kong industrial	14.2 (145)	6.4 (65)	0.8 (8.1)
	Rejilla industrial	21.1 (215)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
Silice-cal	King kong normal	15.7 (160)	10.8 (110)	1.0 (9.7)
	Dédalo	14.2 (145)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
	Estándar y mecano	14.2 (145)	10.8 (110)	0.9 (9.2)
Concreto	Bloque tipo P	4.9 (50)	7.3 (74)	0.8 (8.6)
		6.4 (65)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
		7.4 (75)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
		8.3 (85)	11.8 (120)	1.1 (10.9)

Fuente: Adaptado de la Norma E.060 Concreto armado, MVCS (2006)

2.3.2. Normas Internacionales

- ACI-318

El American Concrete Institute (ACI) es una organización científica y educacional sin fines de lucro. Comenzó sus actividades en 1904, con otro nombre, con la finalidad de servir como foro de discusión de todos los aspectos relacionados con el uso del concreto como material de construcción. ACI-318 ha servido y sirve de base para el desarrollo de numerosos códigos en todo el mundo, entre ellos, varios países de Latino América, como Perú, Chile, Colombia, Ecuador (Ottazzi, 2017).

Este reglamento es publicado originalmente en inglés y en unidades de pulgadas y libras, sin embargo, el comité 318 aprobó la emisión de la versión SI (ACI 318S), que utiliza el sistema internacional, el cual constituye un medio para establecer los requisitos mínimos para el diseño y construcción del concreto estructural, así como para la aceptación del diseño y construcción de estructuras de concreto por parte de la autoridad competente o de sus representantes. (ACI, 2015)

2.4. Propiedades mecánicas de los materiales

2.4.1. Concreto

El concreto armado es el material de construcción predominante en casi todos los países del mundo. Esta aceptación universal se debe en parte, a la disponibilidad de los elementos con los cuales se fabrica el concreto armado: grava, arena, cemento, agua y barras de refuerzo. También se debe a su economía, en comparación con otros materiales de construcción y a la facilidad con la cual mientras el concreto se encuentra en estado plástico, puede colocarse en los encofrados casi de cualquier forma y tamaño. (Ottazzi, 2017)

Ottazzi menciona que el concreto es un material compuesto constituido por un material cementante, agua y agregado. Además, el concreto tiene una alta resistencia en compresión, pero su resistencia en tracción es baja.

- Esfuerzos de Compresión Uniaxial

La resistencia a la compresión se determina a partir de ensayos de laboratorio en probetas estándar cargadas axialmente. Este ensayo se utiliza para monitorear la resistencia del concreto, tanto para el control de la calidad, como para la aceptación del concreto fabricado. (Ottazzi, 2017)

Por lo general la resistencia a la compresión del concreto se obtiene del ensayo de probetas de 12" de altura por 6" de diámetro. Las probetas se cargan longitudinalmente en una tasa lenta de deformación para alcanzar la deformación máxima en 2 o 3 minutos. La curva esfuerzo-deformación se obtiene de este ensayo, en el cual se relaciona la fuerza de compresión por unidad de área versus el acortamiento por unidad de longitud. (Morales, 2006) (ver Figura 14)

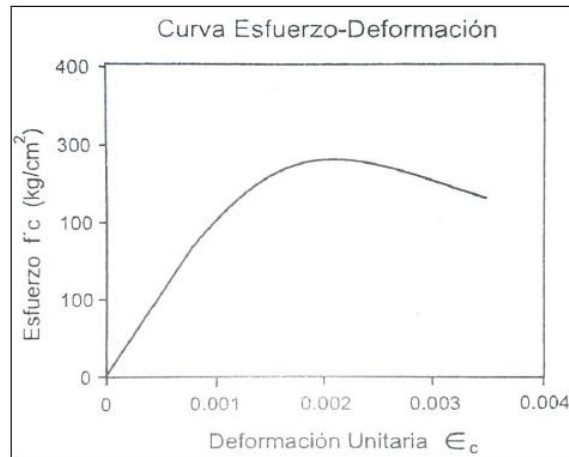


Figura 14: Curva Esfuerzo - Deformación

Fuente: Morales (2006)

La curva que se presenta corresponde a un ensayo de corta duración del orden de unos cuantos minutos. Se puede observar que el concreto no es un material elástico, sin embargo, se puede considerar una porción recta hasta aproximadamente el 40% de la carga máxima. Además, el colapso se produce comúnmente a una carga menor que la máxima. (Morales, 2006)

Morales señala que en el ensayo de cilindros de concreto simple, la carga máxima se alcanza a una deformación unitaria del orden de 0.002. El colapso de la probeta que corresponde al extremo de la rama descendente se presenta en ensayos de corta duración a deformaciones que varían entre 0.003 y 0.007, según las condiciones del espécimen y de la máquina de ensayo.

“A continuación, se describen los efectos que tienen la edad, la relación agua-cemento, efectos de velocidad de carga, velocidad de deformación, esbeltez y tamaño del espécimen” (Morales, 2006, p. 5).

- Efectos de la edad

Debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el concreto aumenta su capacidad de carga con la edad, por tanto, el aumento de capacidad de carga del concreto depende de las condiciones de curado a través del tiempo. (Morales, 2006, p. 5). (ver Figura 15).

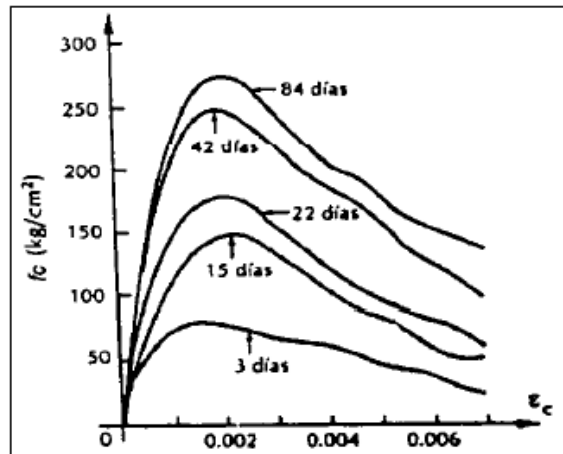


Figura 15: Efecto de la edad y del curado en la resistencia

Fuente: Gonzales Cuevas (citado en Ottazzi, 2017)

- Efectos de la esbeltez y del tamaño del espécimen

Se ha tomado arbitrariamente como 100% la resistencia de una probeta con relación de esbeltez igual a dos. Para esbelteces mayores de 6 la resistencia baja hasta llegar a un 85%. En especímenes geoméricamente semejantes, pero de distinto tamaño la resistencia disminuye para un espécimen mayor.

- Esfuerzos a Tracción del Concreto

La resistencia en tracción directa o en tracción por flexión del concreto, es una magnitud muy variable. La resistencia a la tracción directa (f_t) del concreto varía entre el 8% y el 15% de la resistencia en compresión (f'_c). La resistencia (f_t) no varía proporcionalmente con la resistencia en compresión (f'_c). (Ottazzi, 2017, p.30)

Para pruebas realizadas se ha encontrado que el esfuerzo de tracción del concreto está dado por la siguiente relación. (Morales, 2006, p. 6)

$$f_t = 1.5\sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

También es posible evaluar la resistencia a la tensión del concreto por medio de pruebas de flexión realizadas en vigas de concreto simple. Esto se determina con frecuencia ensayando un prisma de concreto simplemente apoyado, sujeto a una o dos cargas concentradas. La resistencia de tensión en flexión, conocida como módulo de rotura f_r se

calcula de la fórmula de flexión M/Z en que M es el momento flexionante y Z el módulo de la sección. (Morales, 2006, p. 6)

“Un valor usual aproximado encontrado para el módulo de rotura es” (Morales, 2006, p. 6).

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

- Módulo de Elasticidad del Concreto

Del estudio de las curvas de esfuerzo deformación, resulta obvio que el concepto convencional del módulo de elasticidad no tiene sentido en el concreto, por lo que se recurre a definiciones arbitrarias, basadas en consideraciones empíricas. Así se puede definir el módulo tangente inicial, el módulo tangente en un punto determinado de la curva esfuerzo-deformación y el módulo secante entre dos puntos de la misma. (Morales, 2006, p. 7)

“El ACI y la Norma E.060, permiten estimar el valor E_c para concretos de peso específico entre 1,450 y 2,500 kg/mm³ mediante la siguiente ecuación” (Ottazzi, 2017).

$$E_c = 0.136 (w)^{1.5} \sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Donde E_c es el módulo de elasticidad en kg/cm², w es el peso volumétrico del concreto en t/m³ y f'_c resistencia del concreto en kg/cm². El peso volumétrico del concreto es de $w = 2.4 \text{ t/m}^3$. (Morales, 2006)

$$E_c = 15000 \sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

En algunos análisis elásticos se suelen emplear G, el módulo de elasticidad al esfuerzo cortante, y μ el coeficiente de Poisson. El primero se toma comúnmente como fracción del módulo de elasticidad que se usa en compresión, del orden de 0.4. Experimentalmente, se ha determinado que el segundo varía entre 0.12 y 0.20, con frecuencia se supone μ igual a 0.18. (Morales, 2006, p. 7)

2.4.2. Acero de Refuerzo

El concreto es un material débil en tracción, por lo tanto, se le usa junto con acero de refuerzo capaz de resistir los esfuerzos de tracción. Por ejemplo, en una viga sometida a flexión, el concreto se encarga de resistir las compresiones y las barras de acero longitudinal, colocadas cerca de la superficie en tracción,

se encargan de resistir las tracciones originadas por la flexión. Adicionalmente se suele colocar refuerzo transversal, en la forma de estribos, que ayudan a resistir los esfuerzos de tracción diagonal en el concreto causados por las fuerzas cortantes. (Ottazzi, 2017, p. 57)

El acero también se utiliza para ayudar al concreto a soportar los esfuerzos de compresión, por ejemplo, en el caso de las columnas o elementos que trabajan en compresión o flexo compresión. Esto ayuda a reducir las secciones transversales de las columnas y se puede entender si se compara la resistencia en compresión de un concreto normal, digamos de 210 kg/cm², con la resistencia del acero de refuerzo que utilizamos en nuestro medio que es de 4,200 kg/cm², es decir cada centímetro cuadrado de acero equivale a 20 cm² de concreto trabajando en compresión. (Ottazzi, 2017, p. 57)

Para que el acero trabaje de manera efectiva es necesario que exista una fuerte adherencia entre el concreto y el acero, para asegurar que no ocurran movimientos relativos (deslizamientos) entre las barras de refuerzo y el concreto circundante. Esta unión o adherencia, proviene básicamente de tres fuentes: de la adhesión del tipo químico que existe en la interfase entre el acero y el concreto, de la rugosidad natural que tienen las superficies del refuerzo de acero laminado en caliente y de las corrugaciones (resaltes) con las cuales se fabrican las barras de refuerzo corrugadas. Esta última fuente es la más importante para la adherencia, y solo está presente en las barras corrugadas, en las barras lisas solamente existen las dos primeras fuentes. (Ottazzi, 2017, p. 57). (ver Figura 16)

El acero de refuerzo en concreto armado con varillas de sección redonda, las cuales tienen corrugaciones cuyo fin es restringir el movimiento longitudinal de las varillas relativas al concreto que las rodea. (Morales, 2006, p. 7)

A continuación, se muestra Tabla 6, donde se observan las varillas corrugadas de sección redonda.

Tabla 6: Varillas corrugadas de sección redonda

Barra número	Diámetro		Peso kg/m	Área cm ²	Perímetro cm
	pulg	cm			
3	3/8	0.95	0.559	0.71	2.99
4	1/2	1.27	0.993	1.27	3.99
5	5/8	1.59	1.552	1.98	4.99
6	3/4	1.91	2.235	2.85	5.98
7	7/8	2.22	3.042	3.88	6.98
8	1	2.54	3.973	5.07	7.98
9	1 1/8	2.86	5.028	6.41	8.98
10	1 1/4	3.18	6.207	7.92	9.97
11	1 3/8	3.49	7.511	9.58	10.97
12	1 1/2	3.81	8.938	11.40	11.97

Fuente: Adaptado de Otazzi (2017)

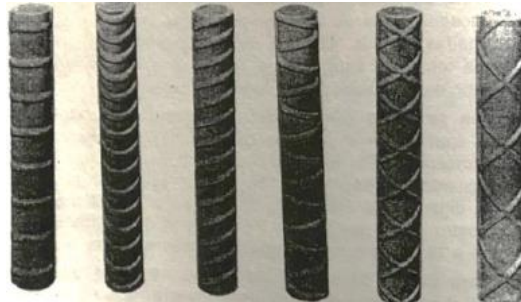


Figura 16: Tipos de corrugaciones del acero de refuerzo.

Fuente: Fling (citado en Ottazzi, 2017)

2.4.3. Acero Estructural

Mc Cormac, J.C. (2002), indica lo siguiente:

Para entender el comportamiento de las estructuras metálicas es absolutamente indispensable que el proyectista conozca las propiedades del acero. Los diagramas esfuerzo – deformación ofrecen parte de la información necesaria para entender cómo se comporta este material en una situación particular. No pueden desarrollarse métodos satisfactorios de diseño a menos que se disponga de información completa relativa a las relaciones esfuerzo – deformación del material que se usa. (p. 12) [...].

El mayor esfuerzo para el que todavía es válida la ley de Hooke o el punto más alto de la porción recta del diagrama esfuerzo – deformación, se denomina límite proporcional. El mayor esfuerzo que un material puede resistir sin

deformarse permanentemente se llama límite elástico. Este valor rara vez se mide y para la mayoría de los materiales estructurales, incluido el acero, es sinónimo del límite proporcional. (p. 13) [...].

El esfuerzo en el que se presenta un incremento brusco en el alargamiento o deformación sin un incremento en el esfuerzo, se denomina esfuerzo de fluencia [...]. La deformación que se presenta antes del esfuerzo de fluencia se denomina deformación elástica. La deformación que ocurre después del esfuerzo de influencia, sin incremento de esfuerzo, se denomina deformación plástica. Esta última deformación es generalmente igual en magnitud a 10 o 15 veces la deformación elástica. (p. 14) [...].

Después de la región plástica se tiene una zona llamada endurecimiento por deformación en la que se requieren esfuerzos adicionales para producir deformaciones mayores. (p. 15)

Morales, R. (2006), indica que, “generalmente el tipo de acero se caracteriza por el límite o esfuerzo de fluencia, entre estos tipos tenemos los de grado 40, 50 y 60, que corresponden a los límites de fluencia de 2800, 3500 y 4200 kg/cm²” (p. 8).

Las curvas esfuerzo-deformación del acero muestran una porción inicial elástica lineal, una plataforma de fluencia (es decir donde la deformación continua sin aumento del esfuerzo, a este valor del esfuerzo se le llama esfuerzo de fluencia), una región de endurecimiento por deformación, y finalmente una zona donde el esfuerzo decae hasta ocurrir la fractura. (p. 8). (Ver Figura 17)

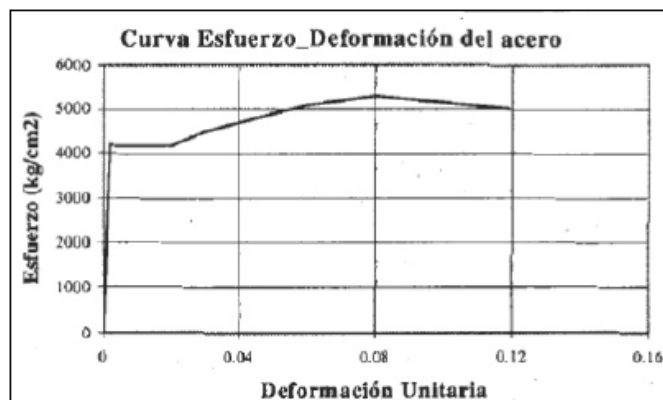


Figura 17: Curva esfuerzo – deformación del acero.

Fuente: Morales (2006)

El acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas. Generalmente los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas. Los perfiles I, T y C tienen esta propiedad. (Mc Cormac, 2002, p.7). (ver Figura 18)

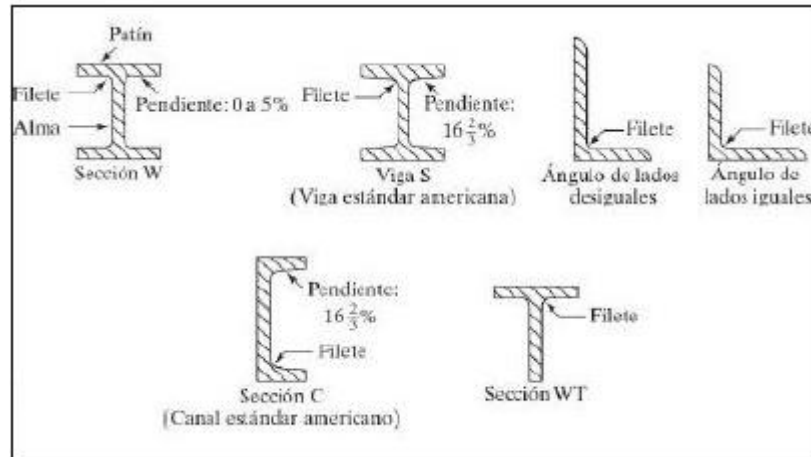


Figura 18: Perfiles laminados de acero.

Fuente: Cormac (2002)

Los perfiles se denominan en forma abreviada por medio de un sistema descrito en el manual, para su uso en planos, especificaciones y diseños. Este sistema se encuentra estandarizado, de modo que todos los molinos de laminación puedan usar la misma nomenclatura para fines prácticos de trabajo. (Mc Cormac, 2002, p.9)

Existen algunos perfiles de acero rolados en frío. Estos se fabrican doblando láminas delgadas de acero de bajo carbono o baja aleación en prácticamente cualquier sección transversal deseada. Estos perfiles que pueden utilizarse para los miembros más ligeros suelen usarse en algunos tipos de tableros, techos, pisos y muros y varían en espesores entre 0.1 pulgadas y 0.25 pulgadas. (Mc Cormac, 2002, p.11)

- Módulo de elasticidad del acero

El módulo de elasticidad del acero está dado por la pendiente de la porción elástica lineal de la curva esfuerzo-deformación, el valor del módulo de elasticidad de los distintos tipos de acero cambia muy poco y generalmente se toma igual 2×10^6 kg/cm². (Morales, 2006, p. 8)

2.5. Definición de términos básicos

- Albañilería: se denomina albañilería al sistema estructural compuesto por unidades de albañilería pudiendo ser de concreto, sílice-cal o arcilla. A su vez, este sistema se divide en albañilería armada y albañilería confinada.
- Albañilería confinada: es el sistema estructural donde los muros de unidades de albañilería son los elementos resistentes, estos están arriostrados por sus cuatro lados.
- Casetón: se denomina casetón a la pieza de forma rectangular o cúbica que se utiliza en el encofrado para aligerar el peso de las edificaciones.
- Concreto: es un material compuesto empleado en la construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se le añaden áridos, agua y aditivos. La principal característica estructural es la resistencia a esfuerzos de compresión; sin embargo, no presentan un buen comportamiento ante la flexión, por ello, se suele emplear acero de refuerzo en ciertas estructuras que lo demanden.
- Losa: es un elemento horizontal superficial que resiste directamente las cargas en una edificación. Este se encarga de distribuir las cargas a los elementos de apoyo.
- Losa aligerada: es un elemento estructural que surge como alternativa a las losas macizas. Está compuesta por elementos de relleno entre las viguetas. En la parte superior cuenta con una losa de espesor de 5 cm, tiene la ventaja de reducir el peso de la edificación.
- Losa aligerada convencional: es aquella losa aligerada compuesta una losa con viguetas de concreto armado y unidades de ladrillo de techo de arcilla.
- Prefabricado: se denomina prefabricado al elemento que ha sido manufacturado con anterioridad en un lugar distinto a donde se ejecuta una obra.
- Proceso constructivo: es la consecución de fases ordenadas para llevar a cabo la construcción de una edificación.
- Vigacero: es el sistema de techo aligerado conformado por viguetas prefabricadas de acero estructural galvanizado y casetones de poliestireno expandido EPS de alta densidad.
- Vigueta: es una parte del sistema estructural que constituye una losa de entrepiso, su función es absorber los esfuerzos de flexión que se presentan en los nervios modulares de la placa de losa; la forma y sentido en que es colocada permite transmitir las cargas de uso funcional hacia la estructura del edificio, para luego ser transmitidas a las fundaciones.

- Vivienda: es una edificación cuya principal función es ofrecer refugio y habitación a las personas, protegiéndolas de las inclemencias climáticas y de otras amenazas.
- Vivienda progresiva: consiste en la construcción de una vivienda básica que posteriormente será ampliada de manera horizontal y/o vertical.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1.Hipótesis

3.1.1. Hipótesis principal

- La propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada con el sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero presentará mejoras técnicas y económicas frente a un sistema con losa aligerada convencional.

3.1.2. Hipótesis secundarias

- Al realizar el análisis sismorresistente con el software ETABS 2018 v18.1.1, se obtendrán parámetros de comportamiento sísmico.
- El diseño de la superestructura cumplirá con los requerimientos que se establecen en el Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Tras la valoración técnico-económica, se obtendrá que la implementación del sistema de losas aligeradas con viguetas prefabricadas vigacero permitirá reducir costos en un 10% por metro cuadrado de losa frente a un sistema de losa aligerada convencional; además, reducirá el peso de la edificación en un 9.00 % frente a una con el sistema de losa aligerada convencional.

3.2.Variables

3.2.1. Definición conceptual de las variables

- Variable independiente

Según Hernández-Sampieri, R. (2014), la variable independiente es la que se considera como supuesta causa en una relación entre variables, es la condición antecedente. La variable independiente de la presente investigación fue el sistema vigacero.

- Variable dependiente

Hernández-Sampieri, R. (2014) señala la variable dependiente como el efecto provocado por la variable independiente. La variable dependiente de la tesis fue la propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada.

3.2.2. Operacionalización de variables

Según Hernández Sampieri, R. (2014), la operacionalización de variables constituye el conjunto de procedimientos que describe las actividades que un observador debe realizar para recibir las impresiones sensoriales que indican la existencia de un concepto teórico en mayor o menor grado. La matriz de consistencia y matriz de operacionalización de variables se presentan en el ANEXOS

Anexo 1 y Anexo 2, respectivamente.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y nivel

- Tipo de investigación

De acuerdo a Borjas, M. (2012), el tipo de investigación se puede clasificar, de acuerdo al fin que se persigue, en investigación básica, aplicada y tecnológica, las cuales tienen una fuerte interdependencia entre ellas. (p.10) Además, señala que la investigación aplicada es aquella que busca la aplicación inmediata sobre una realidad problemática antes que el desarrollo de conocimiento universal.

Según Borjas, M. (2012), la investigación cuantitativa planteó conocer la realidad mediante la recolección y procesamiento de datos que posteriormente fueron contrastados con las hipótesis

La presente investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo, ya que se evaluó el sistema de losa vigacero con viguetas prefabricadas vigacero, mediante un análisis dinámico en el software ETABS 2018 v18.1.1 para posteriormente elaborar una evaluación técnica y económica.

- Nivel de investigación

Según Borjas, M. (2012), se define la investigación descriptiva como aquella que determina las propiedades y características más representativas de los objetos de estudio como personas, viviendas o cualquier otro fenómeno que se quiera estudiar. Una de las características principales de la investigación descriptiva es la capacidad para señalar las características fundamentales del objeto de estudio.

Según Borjas, M. (2012), define una investigación correlacional como aquella en que se analiza la relación entre ciertos sucesos, proporcionando indicios de la relación que podría existir entre dos o más cosas, o de que también uno o más datos podrían predecir un resultado específico.

El nivel de la presente investigación fue descriptivo - correlacional dado que se describió el comportamiento de la edificación en función del sistema de losa aligerada empleada.

4.2. Diseño de la investigación

Según Borjas, M. (2012). La investigación se puede clasificar de acuerdo a la metodología para demostrar las hipótesis en experimentales y no experimentales. (p. 26)

Según Borjas, M. (2012), las investigaciones experimentales son aquellas en las que el investigador manipula la variable para observar su comportamiento.

La presente investigación fue experimental con diseño transversal porque se manipularon los datos introducidos al Software ETABS 2018 v18.1.1 y se describió el comportamiento de las variables en un momento dado.

4.3. Población y muestra

Según Hernández Sampieri, R. (2014) la población es el conjunto de diversos casos que tienen un fin común, es decir concordar con características específicas en un contexto de lugar y tiempo específico.

La población de la presente investigación estuvo definida por todos los lotes con dimensiones promedio de 7.40 metros de frente, 10.00 metros de fondo y área de terreno de 74.00 m² ubicados en el distrito del Rímac en la Urb. Castilla Alta colindantes a la Calle Rivera.

Según Hernández Sampieri, R. (2014) las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización.

La selección de la muestra fue no probabilística por conveniencia, habiendo elegido el predio ubicado en la Mz. 4 Lt. 1 Urb. Castilla Alta, Rímac de 78.75 m² con dimensiones de 7.50 m de frente y 10.50 m de fondo. (ver Anexo 5)

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos

- Técnicas

Observación. - Se emplearon para informarnos sobre las propiedades, características y el diseño, entre otros datos de entrada que fueron recopilados a partir de tesis de investigación, manuales técnicos,

información catastral virtual de COFOPRI, información brindada por el comité vecinal Castilla Alta, información técnica-económica que proporciona Arcotecho para el sistema de losa vigacero. De este último, se obtuvieron los criterios de pre dimensionamiento, costos, cantidad de material.

Entrevistas. - Se programó una entrevista con representantes del área comercial y desarrollo de proyectos de la empresa Arcotecho, asimismo, se entrevistó a ingenieros que hayan empleado este sistema en sus proyectos para obtener información cualitativa sobre el desempeño de este sistema estructural.

- Instrumentos:

Normas Nacionales. Para la presente investigación se utilizaron las siguientes normas:

- Norma Técnica A.010 Condiciones Generales de Diseño
- Norma Técnica E 0.20 Cargas
- Norma Técnica E 0.30 Diseño Sismorresistente
- Norma Técnica E 0.60 Concreto Armado
- Norma Técnica E.070 Albañilería

Normas Internacionales

- Norma ACI 318-18 Building Code requirements for reinforced concrete

Software especializado

- ETABS 2018 v18.1.1
- AutoCAD 2019

4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Para el análisis de la estructura se usó lo establecido por las normas E 0.20 Cargas, Norma E.030 Diseño Sismorresistente, E.060 Concreto Armado y E.070 Albañilería los cuales cuentan con validez de los comités técnicos encargados de su elaboración; asimismo, es importante resaltar que estas

normas proceden de la adaptación de normas internacionales a la realidad del entorno peruano.

El modelamiento y análisis se elaboró en el software ETABS 2018 v.18.1.1, el cual cuenta con respaldo de diversos proyectos elaborados en el ámbito nacional e internacional. Además, este software incluye normas internacionales, las cuales fueron adaptadas para la creación de las normas técnicas peruanas.

4.4.3. Procesamiento para la recolección de datos

- El primer paso para desarrollar la investigación fue indagar sobre la innovación de procesos constructivos en la construcción y de cómo podría mejorar el sistema convencional de construcción de albañilería confinada ampliamente utilizada en Lima.
- Luego de evaluar varios sistemas alternativos al convencional, que integren procesos innovadores y que sean comercializados actualmente en el Perú, se optó por el sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero.
- Una vez elegido el sistema constructivo, se recopiló información sobre viviendas de crecimiento progresivo y para asegurar la validez, confiabilidad y objetividad de la información recolectada, se revisaron fuentes bibliográficas, documentos, videos, información de las características técnicas de los materiales que conforman cada sistema, el costo unitario, las actividades que conforman su proceso constructivo, así como, sus rendimientos. En el caso del sistema prefabricado de losa aligerada Vigacero, la información recopilada fue por cuenta de la empresa Arco techo Perú S.A.C, quienes cuentan con un manual publicado en su web de uso público.
- Para el diseño arquitectónico de la propuesta, se empleó como base los prototipos de vivienda progresiva del concurso Prototipos de Vivienda Social Progresiva Edición 2018 del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento mediante el Fondo MiVivienda.

4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

El procesamiento de datos se presentó en tablas y gráficos, mediante el uso de hojas de cálculo en Microsoft Excel y software de cómputo de ingenierías especializadas para el análisis estructural como ETABS 2018 v.18.1.1 y AutoCAD 2019, donde se realizó el análisis de la estructura y se obtuvieron los desplazamientos laterales, las derivas de entrepiso, los esfuerzos cortantes y momentos flectores.

4.6. Descripción de los procedimientos de análisis

Primero, se desarrolló la propuesta arquitectónica donde se consideraron los parámetros de diseño de la Norma A.010 Condiciones Generales de Diseño.

Luego, se procedió a estructurar la propuesta y modelarlo en el software ETABS 2018 v.18.1.1. A partir de este modelo, se obtuvieron los parámetros de comportamiento sísmico de la estructura.

Para alcanzar los objetivos de la tesis, se procedió a modelar la losa aligerada con el sistema vigacero y con el sistema de losa aligera convencional.

Se verificaron los controles de diseño que establecen las normas E.020, E.030, E.060 y E.070, posteriormente, se diseñaron los elementos estructurales. Además, se realizó una valoración económica de los sistemas de losa aligerada, donde se calculó la ratio de costo por metro cuadrado de la losa aligerada.

Finalmente, se elaboraron planos y esquemas para futuras referencias de estudios, y construcciones.

CAPÍTULO V: PROPUESTA DE VIVIENDA PROGRESIVA, ANÁLISIS Y DISEÑO SISMORRESISTENTE

5.1. Propuesta arquitectónica de vivienda progresiva

La propuesta arquitectónica de vivienda progresiva contempló un diseño enfocado en la optimización de espacios para el confort de sus habitantes. El diseño cumplió con los parámetros de diseño presentados en las normas de arquitectura vigentes. El terreno sobre el cual se desarrolló la propuesta constó de un área de 78.75 metros cuadrados con un perímetro de 36.00 metros lineales, la topografía no presentó desniveles significativos. El terreno tuvo una forma rectangular y la alineación de la fachada contempló la continuidad con las edificaciones contiguas existentes.

5.1.1. Módulo básico

El módulo básico estuvo enfocado en cubrir las necesidades de una familia conformada por cuatro integrantes. La edificación fue una vivienda unifamiliar de 114.77 metros cuadrados de área techada y 42.73 metros cuadrados de área libre (ver Figura 19 y Figura 20). Este módulo constó de dos niveles con una infraestructura de albañilería confinada con vigas y columnas de concreto armado con un sistema de losa aligerada. La altura de entrepisos elegida fue de 2.80 metros.

El primer nivel constó de 58.26 metros cuadrados de área techada y 20.49 metros cuadrados de área libre, en este nivel se ubicó el patio exterior, la sala, el comedor, la cocina, el patio interior, un baño completo, la terraza, un dormitorio o cuarto multiuso, un depósito y la escalera. Todos los ambientes estuvieron enfocados en brindar las comodidades necesarias garantizando la correcta funcionalidad de los mismos. La cocina tuvo un diseño en U con una barra con encimera que contempló un espacio para tres personas. El baño contiene una ducha tipo cabina que optimizaba el espacio disponible. Los accesos a áreas libres contemplaban mamparas que otorgan un mayor ingreso de luz natural y ventilación a los ambientes interiores brindando mayor sensación de amplitud. El nivel de piso terminado en el patio fue de 5 centímetros sobre el nivel de la vereda; para los ambientes interiores, el nivel de piso terminado fue de 15 centímetros por encima del nivel de la vereda.

El segundo nivel constó de 56.24 metros cuadrados de área techada y 22.51 metros cuadrados de área libre, en este nivel se ubicó el dormitorio principal, una sala de estar, un ambiente para estudio, el dormitorio y un baño completo. El nivel de piso terminado fue de 2.95 metros sobre el nivel de la vereda.

En ambos niveles, las ventanas bajas contemplaban un alféizar de 1.20 metros y las ventanas altas, 2.10 metros. Los vanos de las puertas eran de 2.10 metros de alto con anchos variables, según los ambientes.

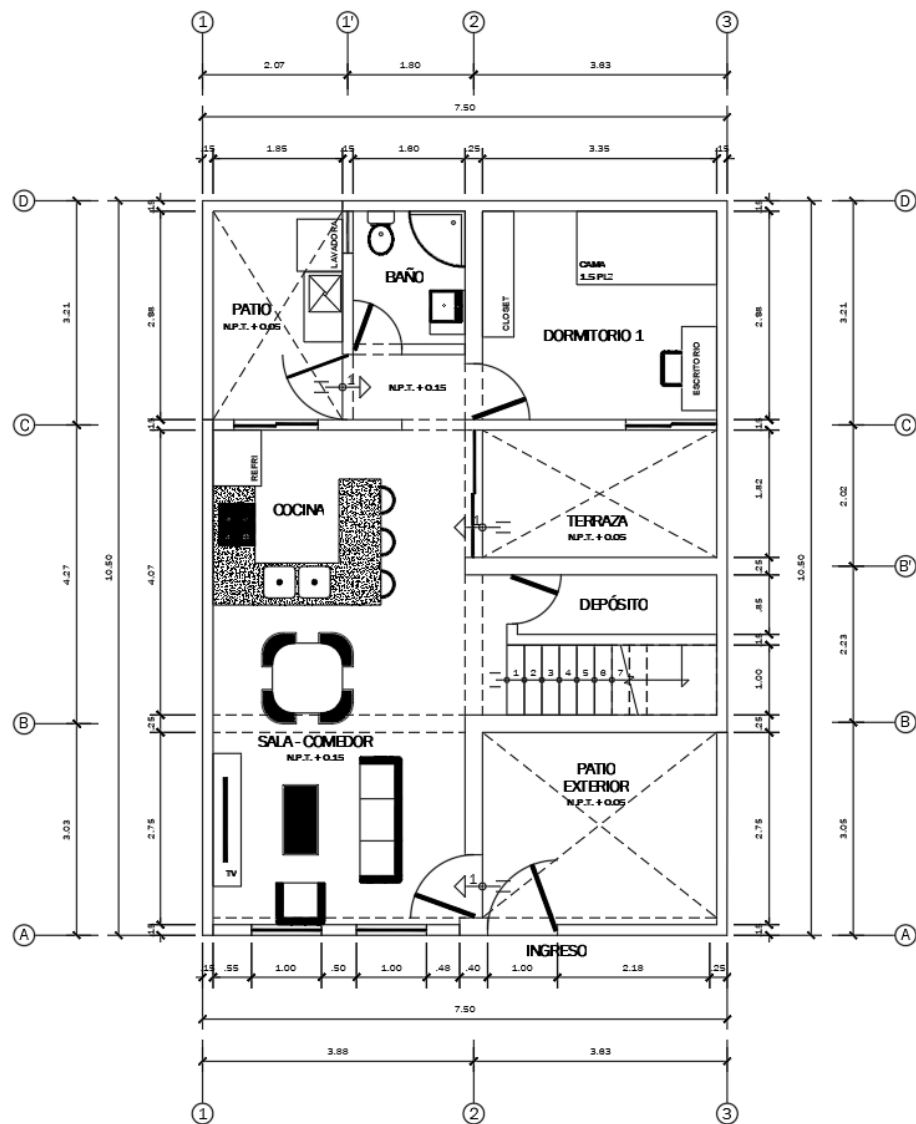


Figura 19: Primer nivel del módulo básico de vivienda progresiva

Fuente: Elaboración propia empleando software AutoCAD 2019

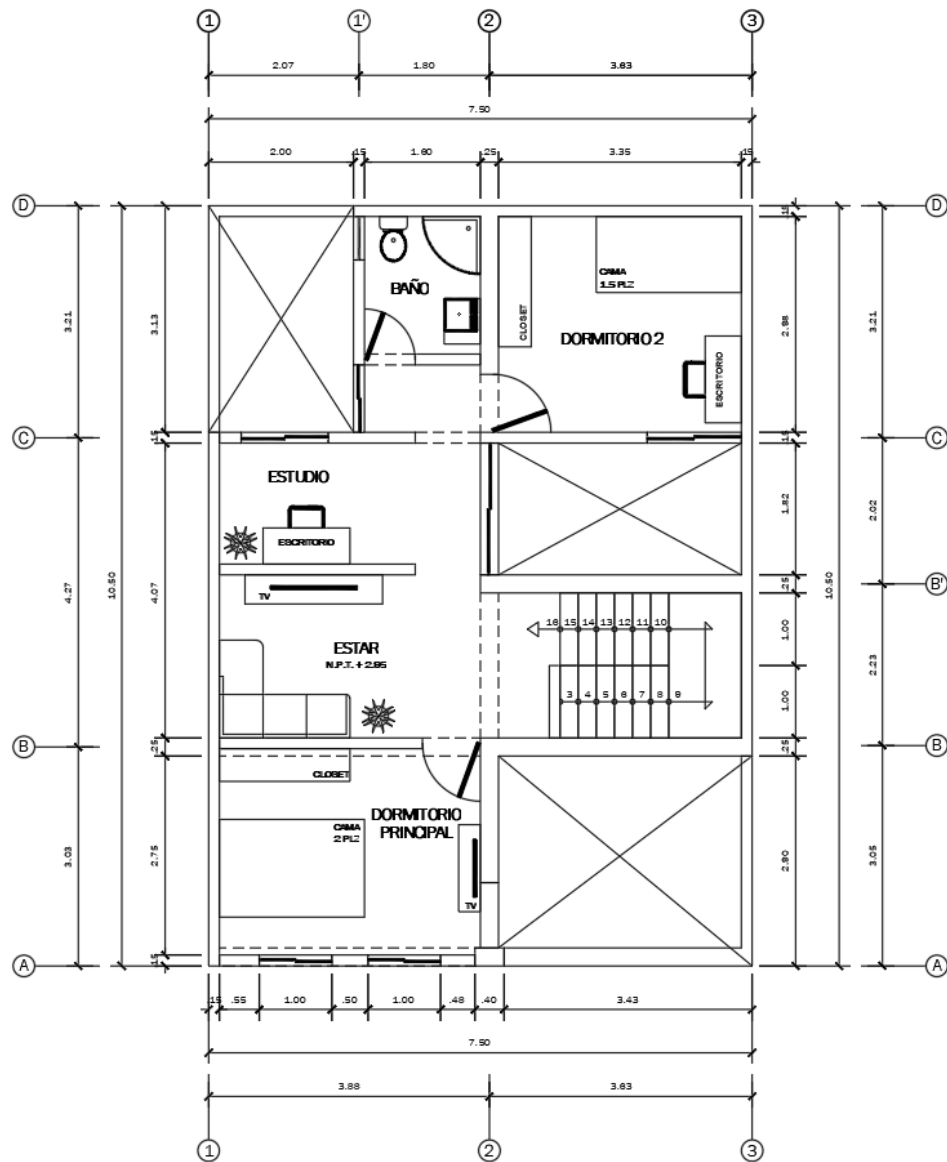


Figura 20: Segundo nivel del módulo básico de vivienda progresiva

Fuente: Elaboración propia empleando software AutoCAD 2019

5.1.2. Módulo con crecimiento progresivo

El módulo de crecimiento progresivo contempló la expansión vertical de la edificación, añadiendo un tercer nivel en donde se desarrolló un departamento para 3 personas, y una azotea, destinada a albergar las áreas comunes de esparcimiento. Para acceder a estos niveles, se proyectó una escalera de 1.00 metro de ancho que comienza en el primer nivel y llega a la azotea, esta se ubicó en el patio exterior del primer nivel. (ver Figura 21 y Figura 22)

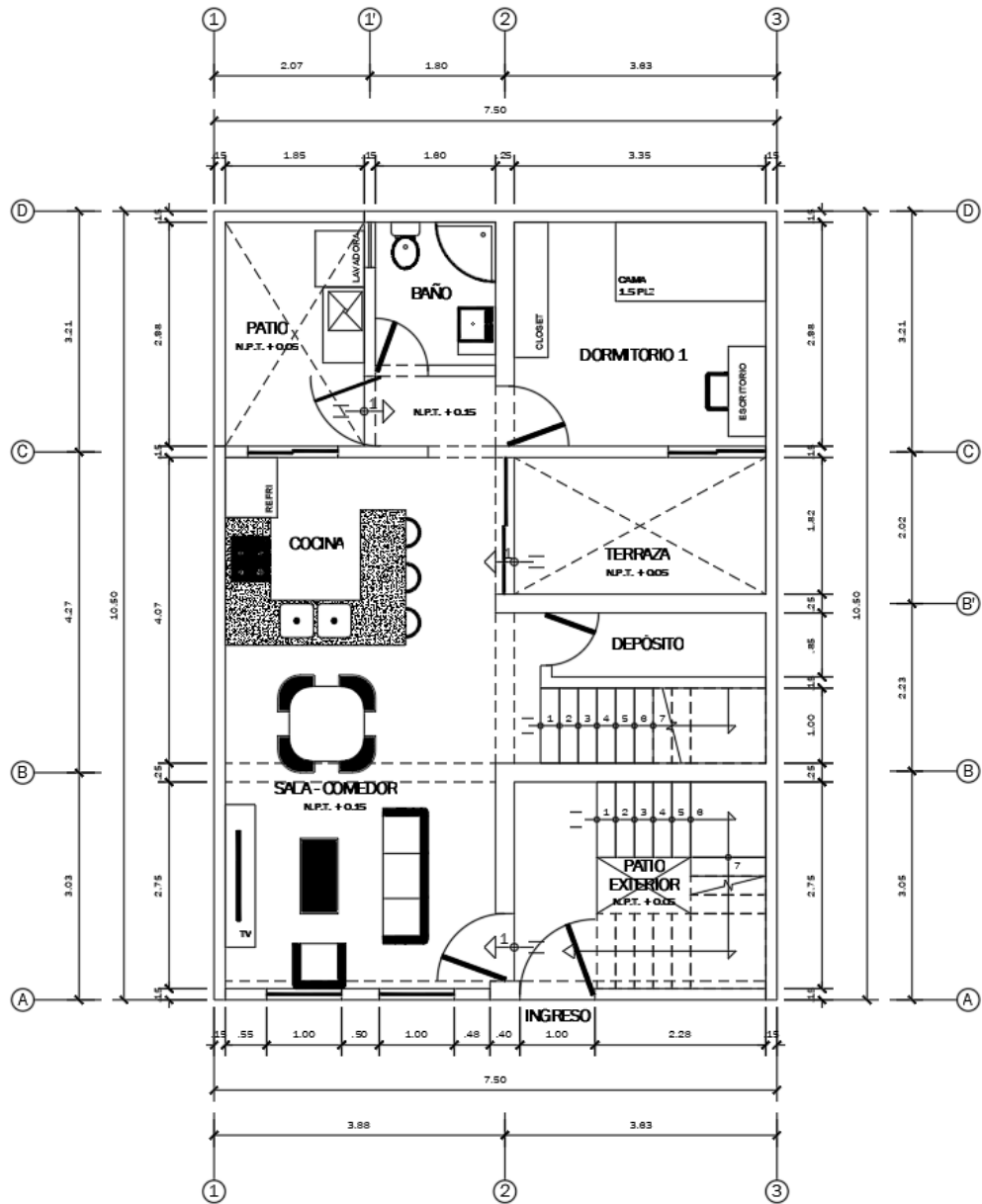


Figura 21: Primer nivel del módulo de vivienda con crecimiento progresivo

Fuente: Elaboración propia empleando software AutoCAD 2019

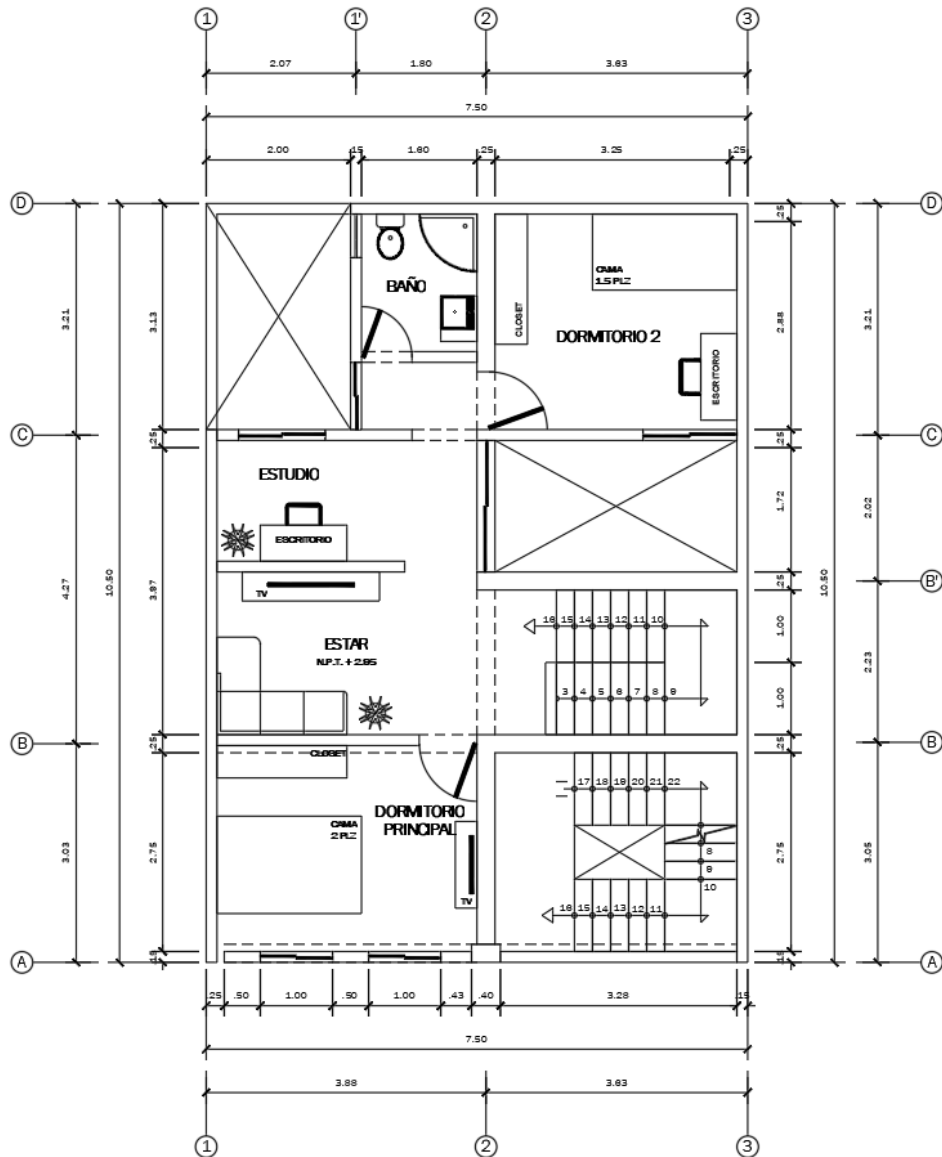


Figura 22: Segundo nivel del módulo de vivienda con crecimiento progresivo

Fuente: Elaboración propia empleando software AutoCAD 2019

En el tercer nivel, se ubicaron dos dormitorios, un baño, la sala, el comedor y una cocina con barra para 4 personas (ver Figura 23). En la azotea, se proyectó un área libre destinado a comprender usos de esparcimiento y reuniones, zona de parrillas, dos baños y un almacén (ver Figura 24).

Considerando la inclusión de la escalera, la adición del tercer nivel y la azotea, la propuesta con crecimiento progresivo alcanzó un área de 209.27 metros cuadrados de área techada y 105.73 metros cuadrados de área libre, lo que correspondía un 33.57 % de área libre total de la edificación.

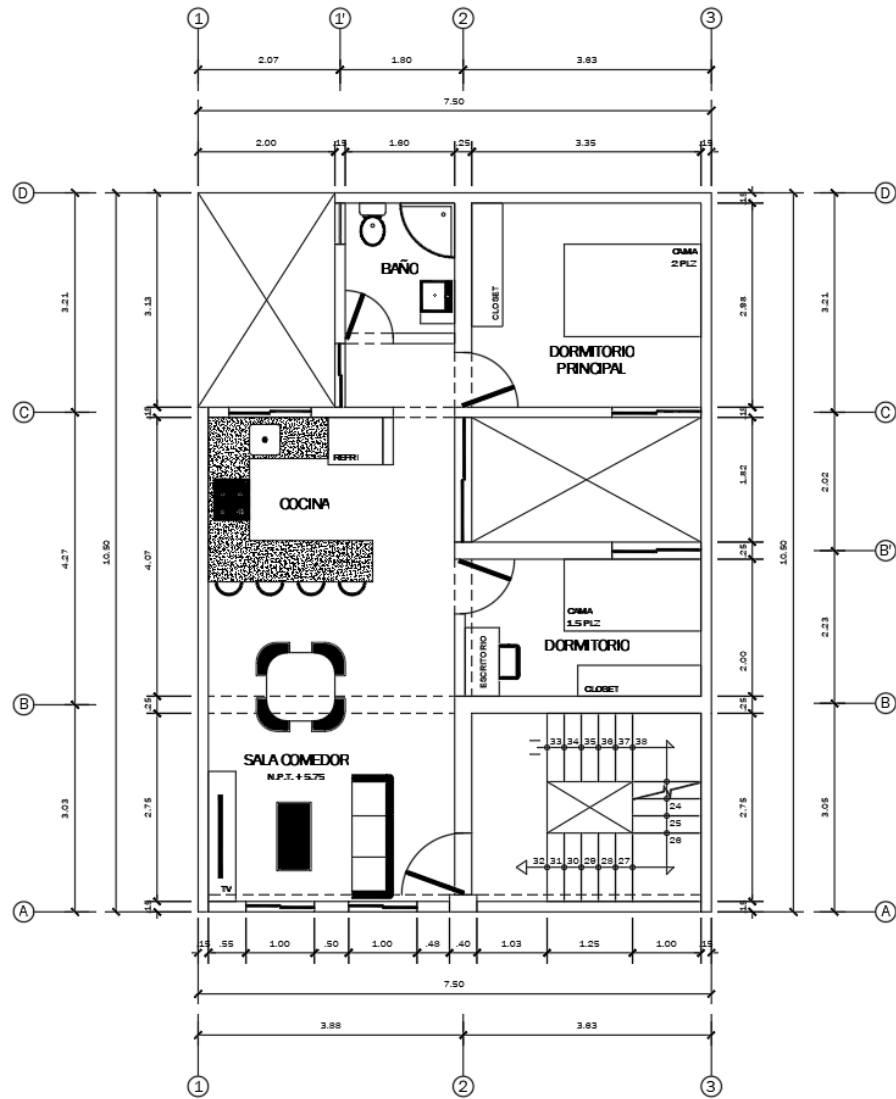


Figura 23: Tercer nivel de módulo de vivienda con crecimiento progresivo

Fuente: Elaboración propia empleando software AutoCAD 2019

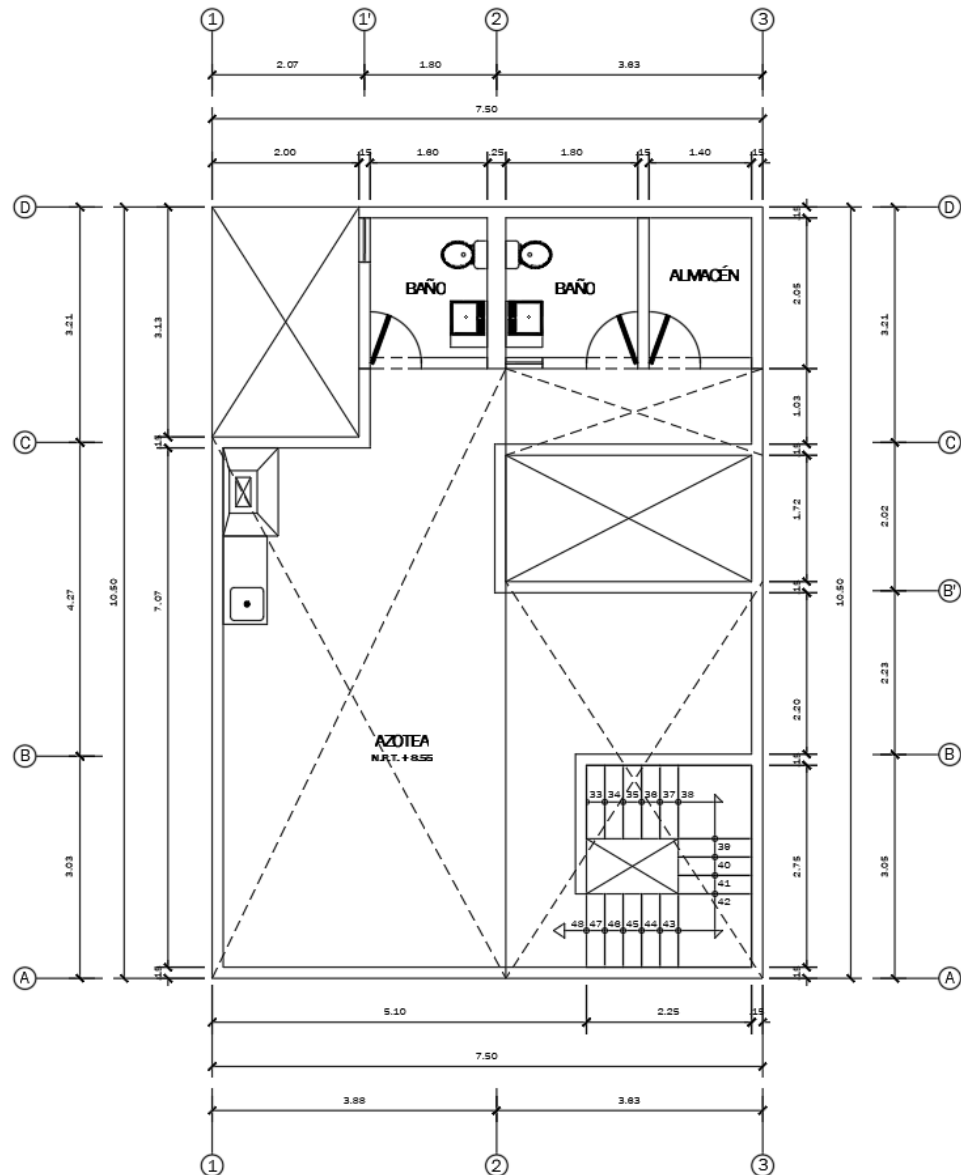


Figura 24: Azotea de módulo de vivienda con crecimiento progresivo

Fuente: Elaboración propia empleando software AutoCAD 2019

5.2. Estructuración

5.2.1. Generalidades

La propuesta estructural planteada contempló un sistema estructural de albañilería confinada con vigas y columnas de concreto armado; además, un sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero. Asimismo, para alcanzar los objetivos de esta tesis, se consideró un diseño adicional para el sistema de losa aligerada convencional.

La altura total de la edificación fue 11.15 metros, contando con 3 niveles más azotea. La altura de entrepiso fue de 2.80 metros con una altura libre de 2.45 metros.

5.2.2. Características de los materiales

Los materiales considerados para la propuesta fueron los presentados en la Tabla 7 donde se señalaron los aspectos técnicos de cada uno.

Tabla 7 : Aspectos técnicos de materiales

Material	Aspecto	Valor	Unidad	
Concreto	f _c	210	kg/cm ²	
	E _c	217370.6512	kg/cm ²	
	g _c	2400	kg/m ³	
Acero corrugado	ASTM	A615 - grado 60		
	NTP	341.031 grado 420		
	f _y	4200	kg/cm ²	
Albañilería	Clase	Ladrillo V		
	Denominación	KK industrial		
	Dimensión	Espesor	9.0	cm
		Ancho	13.0	cm
		Largo	24.0	cm
	Peso / unidad	4.00	kg	
	f _m	65	kg/cm ²	
	E _m	32500	kg/cm ²	
	G _m	13000	kg/cm ²	
	g _m	2000	kg/m ³	
Casetón	Dimensión	Espesor	100 o 200	cm
		Ancho	75 o 60	cm
		Largo	9, 12, 15, 20 o 30	cm
	Peso / unidad	e = 9 cm	1.00	kg/casetón
		e = 15 cm	1.70	kg/casetón
gcasetón	15.0	kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Cargas de diseño

Se consideraron las cargas a las cuales la estructura estaría sometida durante su funcionamiento.

- Carga muerta

Para la obtención de los valores para la carga muerta, se emplearon los pesos unitarios presentados en la Tabla 7. Para la carga de la losa con el sistema vigacero, se empleó el valor de la Tabla 8. Además, para el diseño adicional con sistema de losa aligerada convencional con espesor de 20 centímetros, se consideró el valor presentado en la Tabla 4 adaptado de la norma E.020 Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones cuyo valor fue 300 kg/m^2 . Para la carga por acabados del piso, se consideró 100 kg/m^2 , y por la tabiquería, 100 kg/m^2 . (ver Tabla 9)

Tabla 8: Peso de losa con sistema vigacero

Espesor	S	Wvig	Casetón	L	Vol	Wund	Vol Conc.	Wconc	W parcial
H (cm)	m	Kg/m	und	m	m ³	kg	m ³	Kg	kg/m ²
13.0	0.84	4.80	1	1	0.068	1.01	0.047	113.3	119.1
16.0	0.84	4.80	1	1	0.090	1.35	0.058	139.2	145.4
20.0	0.84	4.80	1	1	0.113	1.69	0.062	148.8	155.3
25.0	0.84	4.80	1	1	0.150	2.25	0.066	158.4	165.5
30.0	0.84	4.80	1	1	0.163	2.44	0.070	168.0	175.3

Fuente: Adaptado de Manual técnico vigacero, Arcotecho (2017)

Tabla 9: Carga muerta

Aspecto	Valor	Unidad
Peso muros de albañilería	1900.00	kg/m ³
Peso elementos de concreto armado	2400.00	kg/m ³
Carga losa aligerada convencional e = 20 cm	300.00	kg/m ²
Carga losa aligerada vigacero	155.30	kg/m ²
Acabado de piso	100.00	kg/m ²
Tabiquería	100.00	kg/m ²

Fuente: Elaboración propia

- Carga viva

Se consideró el valor presentado en la Tabla 3 adaptado de la norma E.020 Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones, cuyo valor fue 200 kg/m^2 para el uso de vivienda. Además, se consideró una carga de 100 kg/m^2 para la sobrecarga del techo, según lo establecido en la norma E.020 vigente. (Ver Tabla 10)

Tabla 10: Carga viva

Aspecto	Valor	Unidad
Sobrecarga entrepiso	200	kg/m ²
Sobrecarga techo	100	kg/m ²

Fuente: Elaboración propia

- Carga por sismo

Para establecer el valor de la carga por acción sísmica, se empleó el proceso estipulado en la norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones para la obtención de los parámetros sísmicos.

La edificación se encontraba dentro de la zona 4 (ver Figura 25), por ello, se asignó un valor de 0.45 para el factor de zona, según la Tabla 11 adaptada de la norma E.030.



Figura 25: Zonas sísmicas

Fuente: MVCS (2018). Norma E.030 Diseño Sismorresistente

Tabla 11: Factores de zona

Factor de zona	
Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Fuente: Adaptado de la Norma E.030 Diseño sismorresistente, MVCS (2018)

El uso de la edificación fue exclusivo para vivienda, lo que correspondía a la categoría C de edificaciones comunes según la Tabla 12 adaptada de la norma E.030; por ello, el valor asignado al factor de uso fue 1.00.

El perfil de suelo correspondía a un suelo intermedio; por ello, el valor asignado al factor suelo fue 1.05, según la Tabla 13 adaptada de la norma E.030.

Tabla 12: Categorías de las edificaciones y factor U

Categoría	Descripción	Factor U
A Edificaciones Esenciales	A1: establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud	ver Nota 1
	A2: edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno, y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1 Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía	1.5

	Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades 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	
B Edificaciones importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas También, se 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 fallo no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1.0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares	Ver Nota 2

Nota 1: Las nuevas edificaciones de categoría A1 tienen aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable puede decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U es como mínimo 1.5

Nota 2: En estas edificaciones se provee resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista

Fuente: Adaptado de la Norma E.030 Diseño sismorresistente, MVCS (2018)

Tabla 13: Factor de suelo "S"

Zona	Suelo			
	S0	S1	S2	S3
Z4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z1	0.80	1.00	1.60	2.00

Fuente: Adaptado de la Norma E.030 Diseño sismorresistente, MVCS (2018)

Considerando el perfil de suelo y la zona asignada para la edificación, se obtuvieron los valores para T_P y T_L , cuyos valores fueron 0.6 segundos y 2.0 segundos respectivamente, según la Tabla 14.

Tabla 14: Periodos " T_P " y " T_L "

Periodos	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
T_p	0.3	0.4	0.6	1.0
T_l	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Adaptado de la Norma E.030 Diseño sismorresistente, MVCS (2018)

Además, para la obtención del factor de amplificación sísmica, se calculó el periodo fundamental de vibración. Se dividió la altura total de la edificación, cuyo valor era 11.15 metros, entre el coeficiente para estimar el periodo fundamental de vibración con un valor de 60, debido a que el sistema estructural considerado fue albañilería. El valor obtenido para T fue 0.186 segundos.

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

$$T = \frac{11.15}{60} = 0.186 \text{ s}$$

Donde:

T : Periodo fundamental

hn : Altura de la edificación

Ct : Coeficiente de estimación

Luego, se verificó que este valor sea inferior a T_p , por ello el factor de reducción sísmica, C fue 2.5.

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

$$T_p < T < T_l \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T > T_l \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_l}{T^2}\right)$$

Donde:

T_p : Periodo que defina la plataforma C

T_l : Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante

Para el valor del coeficiente básico de reducción, se verificó que el sistema estructural empleado fue albañilería confinada cuyo valor corresponde a R igual a 3. (Ver Tabla 15)

Tabla 15: Sistemas estructurales y R_o

Sistema estructural	Coeficiente de reducción (R_o)
Acero	
Pórticos especiales resistentes a momentos (SMF)	8
Pórticos intermedios resistentes a momentos (IMF)	5
Pórticos ordinarios resistentes a momentos (OMF)	4
Pórticos especiales concéntricamente arriostrados (SCBF)	7
Pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados (OCBF)	4
Pórticos excéntricamente arriostrados (EBF)	8
Concreto armado	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería armada o confinada	3
Madera	7

Fuente: Adaptado de la Norma E.030 Diseño sismorresistente, MVCS (2018)

- Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga consideradas fueron aquellas establecidas en el Capítulo 9 de la norma E.060 Concreto armado.

5.2.4. Predimensionamiento de elementos

- Muros portantes

Según lo establecido en la norma E.070 (2006), el espesor efectivo del muro portante en la zona 4 debe ser superior o igual a la altura del muro entre 20. Por ello, se optó por un espesor efectivo t de 13 centímetros lo que representó un aparejo de soga de las unidades de albañilería.

$$t \geq \frac{h}{20}$$

$$t \geq \frac{2.60 \text{ m}}{20}$$

$$t = 0.13 \text{ m}$$

- Vigas y columnas

Para las dimensiones de la sección de las vigas, se consideró la mayor luz existente entre caras de columnas, siendo esta 3.60 metros en el eje B-B entre el eje 1-1 y eje 2-2 (ver Figura 26).

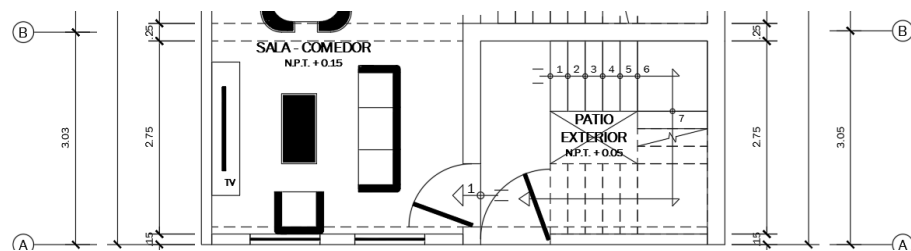


Figura 26: Viga con mayor luz

Fuente: Elaboración propia empleando software AutoCAD 2019

$$h1 = \frac{1}{10} \times L = \frac{3.60 \text{ m}}{10} = 0.36 \text{ m}$$

$$h2 = \frac{1}{12} \times L = \frac{3.60 \text{ m}}{12} = 0.30 \text{ m}$$

$$b1 = \frac{1}{2} \times h = \frac{0.36 \text{ m}}{2} = 0.18 \text{ m}$$

$$b2 = \frac{2}{3} \times h = \frac{2 \times 0.36 \text{ m}}{3} = 0.23 \text{ m}$$

El peralte de la viga debía tener un valor entre 30 y 36 centímetros; por ello, se optó por un peralte de 35 centímetros con una base de 25 centímetros.

Para las dimensiones de la columna, se optaron por dimensiones de 40 por 25 centímetros en cada lado.

- Losa aligerada con viguetas vigacero

Para el predimensionamiento de la losa con el sistema de viguetas prefabricadas vigacero, se emplearon los valores de la Figura 13; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Según la tabla mencionada, para una luz de 3.60 metros, sugieren emplear una losa de espesor igual a 16 centímetros, Sin embargo, para cumplir con las dimensiones arquitectónicas, se empleó un espesor total de 20 centímetros. Se consideró que la distancia entre viguetas fuera de 0.84 metros y que los casetones empleados sean 0.75 metros de ancho.

- Losa aligerada tradicional

Para el predimensionamiento de la losa, se consideró la mayor luz existente en los paños y se dividió entre 25, siendo esta luz de 3.60 metros. El cálculo sugirió una losa de 17 centímetros; sin embargo, para respetar la arquitectura planteada se optó por una losa de 20 centímetros de espesor con ladrillo de 30x30x15 centímetros y losa de concreto de 5 centímetros.

$$H = \frac{3.60 \text{ m}}{25} \approx 0.144 \text{ m}$$

$$H \approx 0.17 \text{ m}$$

$$H = 0.20 \text{ m}$$

- Escalera

Para el predimensionamiento de la garganta de la escalera, se realizó la división de la altura entre pisos sobre 25. El valor obtenido sugirió un espesor de garganta de 12 centímetros. Además, se consideraron pasos de 25 centímetros y contrapasos de 17.5 centímetros.

$$tg = \frac{h \text{ entre pisos}}{25} = \frac{2.95 \text{ m}}{25}$$

$$tg = 0.12 \text{ m}$$

5.2.5. Densidad de muros

Siguiendo el procedimiento de análisis que establece la Norma E.070 vigente, se procedió a verificar el cumplimiento de la densidad de muros para la dirección X y la dirección Y. Para ello, se emplearon los valores presentados en la Tabla 16 y la Tabla 17.

Tabla 16: Parámetros generales de la edificación

Parámetros	Valor	Unidad
Número de pisos	3.00	
Área de planta	78.75	m ²
Altura entrepiso	2.80	m
Altura muro	2.60	m
Espesor muro	0.13	m
Espesor de losa aligerada	0.20	m
Espesor de losa maciza (descanso)	0.15	m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Factores sísmicos para análisis de densidad de muros

Factores sísmicos	Valor	Tipo
Zonificación (Z)	0.45	Z4
Uso (U)	1.00	vivienda
Suelo (S)	1.05	S2
C	2.50	

Fuente: Elaboración propia

A partir de las tablas presentadas, se identificaron los muros portantes existentes en la edificación (ver Figura 27 y Figura 28) . Estos cumplían con las indicaciones que establece el artículo 17 de la norma E.070 vigente.

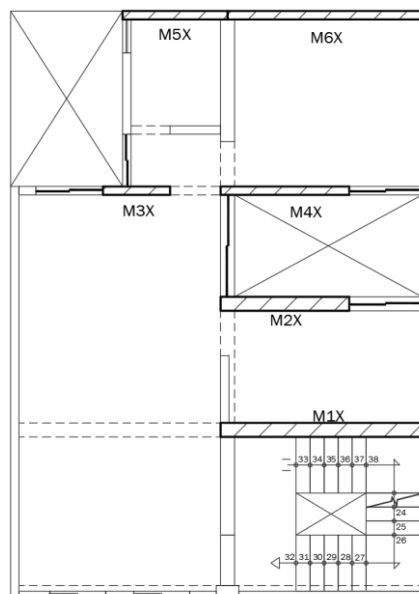


Figura 27: Identificación de muros portantes en dirección X-X

Fuente: Elaboración propia empleando software AutoCAD 2019

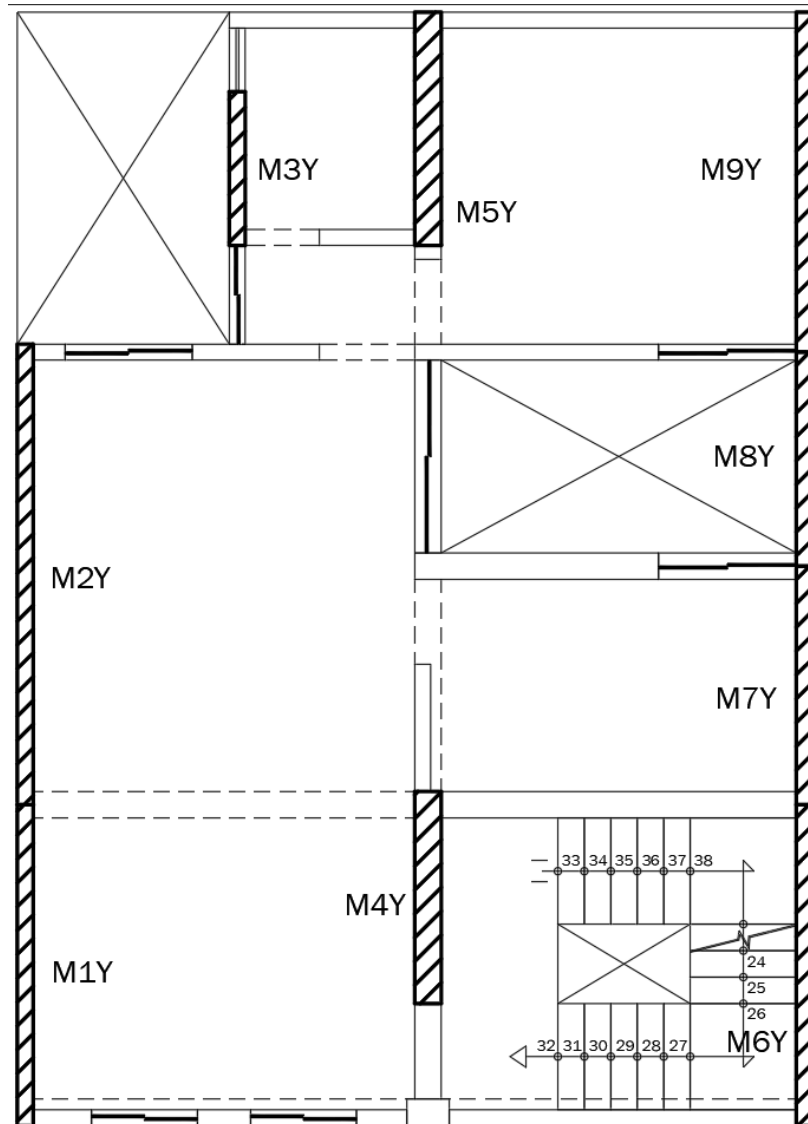


Figura 28: Identificación de muros portantes en dirección Y-Y

Fuente: Elaboración propia empleando software AutoCAD 2019

Según lo establecido en la norma E.070 (2006), la densidad mínima de muros se obtiene empleando la siguiente fórmula, en la cual se reemplaza los factores por los valores de la Tabla 16 y Tabla 17.

$$\frac{ZUSN}{56} = \frac{0.45 * 1.00 * 1.05 * 3}{56}$$

$$\frac{ZUSN}{56} = 0.0253$$

Según esta expresión, la densidad mínima de muros en cualquiera de las direcciones resultó 0.0253.

Las densidades para la dirección X-X y dirección Y-Y, se presentaron en la Tabla 18 y Tabla 19.

Tabla 18: Densidad de muro en dirección X-X

ID muro	t (m)	L (m)	A (m2)
M1X	0.23	3.750	0.8625
M2X	0.23	2.300	0.5290
M3X	0.13	1.200	0.1560
M4X	0.13	2.300	0.2990
M5X	0.13	1.875	0.2438
M6X	0.13	3.625	0.4713
		Σ	2.5615
		$\Sigma L * A / A$ planta	0.0325

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Densidad de muros en dirección Y-Y

ID muro	t (m)	L (m)	A (m2)
M1Y	0.13	3.025	0.39
M2Y	0.13	4.345	0.56
M3Y	0.13	1.450	0.19
M4Y	0.23	2.000	0.46
M5Y	0.23	2.200	0.51
M6Y	0.13	3.025	0.39
M7Y	0.13	2.250	0.29
M8Y	0.13	2.020	0.26
M9Y	0.13	3.205	0.42
		Σ	3.48
		$\Sigma L * A / A$ planta	0.0442

Fuente: Elaboración propia

Se verificó que la edificación cumplió con las densidades mínima de muros portantes en ambas direcciones, pues tanto en la dirección X-X como en la dirección Y-Y, la densidad de muros superó la densidad mínima que establece la norma E.070. (ver Tabla 20)

Tabla 20: Densidad de muros portantes

Densidad de muros portantes	Condición	
Mínima norma	0.0253	.E.070
Dirección X-X	0.0325	Cumple
Dirección Y-Y	0.0442	Cumple

Fuente: Elaboración propia

5.2.6. Esfuerzo axial máximo

Para el análisis de esfuerzo axial máximo, se identificó el muro portante con mayor carga concentrada dentro de su área tributaria, siendo este el muro M5Y (Ver Figura 29 y Figura 30)

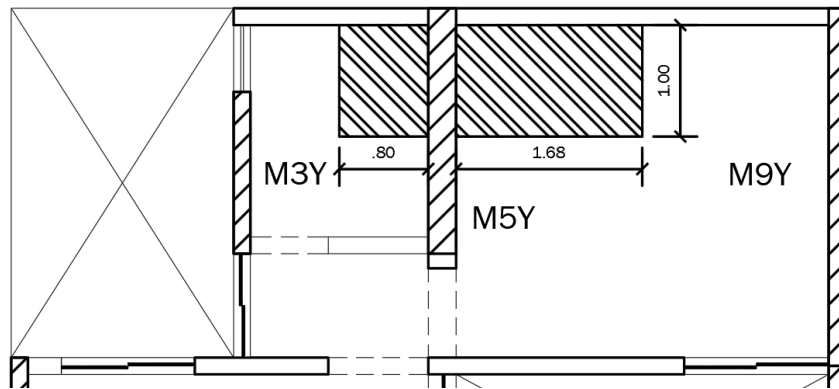


Figura 29: Área tributaria de muro M5Y

Fuente: Elaboración propia empleando software AutoCAD 2019

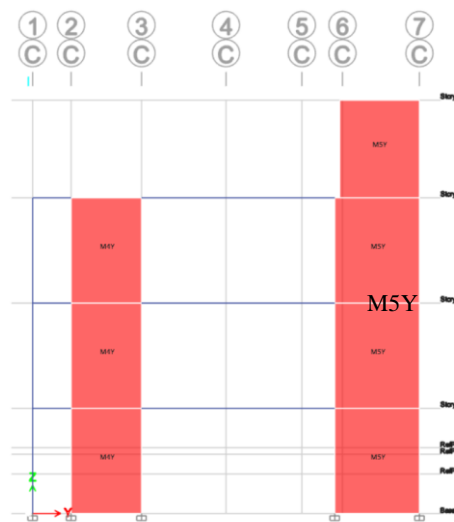


Figura 30: M5Y en vista de elevación en eje C-C

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

Según lo establecido en la norma E.070 (2006), la comprobación del esfuerzo axial máximo se obtiene mediante la siguiente expresión:

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

$0.2 * f' m * \left(1 - \left(\frac{h}{35t} \right)^2 \right)$ es la condición 1

$0.15 * f' m$ es la condición 2

Donde

P_m : Cargas máxima de servicio

σ_m : Esfuerzo axial máximo en muro portante

Para obtener el esfuerzo axial por la carga máxima de servicio, se emplearon los valores de la Tabla 21 analizando 1 metro lineal de muro.

Tabla 21: Aspectos para cálculo de esfuerzo axial máximo

Aspecto	Valor	Unidad
ID muro	M5Y	
# pisos	3 + azotea	
H entrepiso	2.80	m
Área tributaria	2.43	m ²
Carga losa aligerada	300.00	kg/m ²
Carga losa con vigacero	155.30	kg/m ²
Acabado	100.00	kg/m ²
Tabiquería	100.00	kg/m ²
Carga viva	200.00	kg/m ²
Carga viva techo	100.00	kg/m ²

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 22, se mostró el esfuerzo axial máximo en el muro M5Y considerando ambos sistemas de losas aligeradas. A continuación, se verificó que este cumplía con la condición 1 y condición 2 antes señaladas.

Tabla 22: Cálculo de esfuerzo axial máximo en muro portante M5Y

Carga	Valor	Unidad
-------	-------	--------

PP muro azotea	1136.2	kg
PP muro entrepisos	3670.80	kg
Carga servicio entrepiso (vigacero)	4048.14	kg
Cargas servicio entrepiso (losa convencional)	5103.00	kg
Cargas techo (vigacero)	620.38	kg
Cargas techo (losa convencional)	972.00	kg
Σ vigacero	9475.52	kg
Σ losa convencional	10882.00	kg
σ_m vigacero	4.12	kg/cm ²
σ_m losa convencional	4.73	kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 23, se presentaron las condiciones 1 y 2, donde se observó que el esfuerzo axial máximo calculado para el muro M5Y considerando el 100% de cargas de servicio en ambos sistemas era inferior a las dos condiciones que establece la norma.

Tabla 23: Cálculo de condiciones para esfuerzo axial máximo

Esfuerzo	Valor	Unidad
Pm (vigacero)	4.12	kg/cm ²
Pm (losa convencional)	4.73	kg/cm ²
Condición 1	11.64	kg/cm ²
Condición 2	9.75	kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

5.2.7. Modelo matemático de análisis

El modelo matemático tridimensional se desarrolló en el programa ETABS 2018 v.18.1.1. El análisis fue del tipo elástico lineal. Para los muros, se emplearon elementos tipo *Shell*, para columnas y vigas elementos tipo *Frame*. La losa de entrepiso se idealizó como un diafragma rígido y se utilizó el tipo *Membrane* para transmitir únicamente acciones gravitacionales. (ver Figura 31)

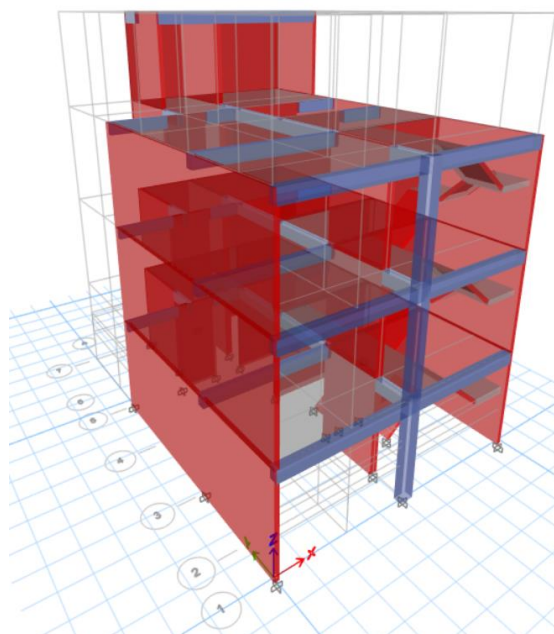


Figura 31: Modelo matemático tridimensional

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

5.3. Análisis sismorresistente

Primero, se verificó que el sistema estructural empleado no presente restricciones. En la Tabla 24 extraída de la norma E.030, se observó que para la categoría de edificación C, en la zona 4, estaba permitido cualquier sistema estructural.

Tabla 24: Categoría y sistema estructural de las edificaciones

Categoría de la edificación	Zona	Sistema estructural
A1	4 y 3	Aislamiento sísmico con cualquier sistema estructural
	2 y 1	Estructuras de acero tipo SCBF y EBF Estructuras de concreto: sistema dual, muros de concreto armado Albañilería armada y confinada
A2	4, 3 y 2	Estructuras de acero tipo SCBF y EBF Estructuras de concreto: sistema dual, muros de concreto armado Albañilería armada y confinada
	1	Cualquier sistema
B	4,3 y 2	Estructuras de acero tipo SMF, IMF, SCBF, OCBF y EBF

		Estructuras de concreto: sistema dual, muros de concreto armado
		Albañilería armada y confinada
		Estructuras de madera
	1	Cualquier sistema
C	4, 3, 2 y 1	Cualquier sistema

Fuente: Adaptado de la Norma E.030 Diseño sismorresistente, MVCS (2018)

La obtención de los factores y coeficientes sísmicos se desarrolló en el acápite 5.2.3.

Según lo establecido en capítulo 8 de la norma E.070, el diseño de la estructura está orientado a proteger la estructura de sismos moderados y proveer la resistencia con un daño limitado en los muros ante un sismo severo. Asimismo, señala que el valor R_o igual a 3, se aplica para un sismo severo; y que, para un sismo moderado el valor se reduce a la mitad considerando un valor de R_o igual a 6. (ver Tabla 25)

Tabla 25: ZUCS/R

Factor	X-X
Z	0.45
U	1
C	2.5
S	1.05
R severo	3
R moderado	6
ZUCS/R sev	0.39375
ZUCS/R mod	0.196875

Fuente: Elaboración propia

En el capítulo 6 de la norma E.030, se establece que para la estimación del peso de una edificación de la categoría C, se debe considerar el 25% de la carga viva y el 100% de la carga muerta. Esta consideración se asignó en el software ETABS 2018.

5.3.1. Verificación de irregularidades

Conforme a lo establecido en la norma E.030, se establece que una estructura se puede calificar como regular o irregular basado en las condiciones presentadas en la Tabla 26 y Tabla 27, donde se muestran los factores de irregularidad que deberán considerarse para el cálculo del coeficiente de reducción de fuerzas sísmicas que se obtiene a partir de la siguiente expresión.

$$R = R_o * I_a * I_p$$

Donde:

Ia: Factor de irregularidad en altura

Ip: Factor de irregularidad en planta

La norma considera dos tipos de irregularidades, en altura y en planta; estos a su vez consideran diferentes casos de análisis que se deben verificar previo al diseño y controles de la estructura.

Tabla 26: Irregularidades estructurales en altura

Irregularidades estructurales en altura	Factor de irregularidad Ia
<p>Irregularidad de rigidez - piso blando</p> <p>Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que el 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior; o es menor que 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes.</p>	0.75
<p>Irregularidades de resistencia - piso débil</p> <p>Existe irregularidad de resistencia cuando en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	
<p>Irregularidad extrema de rigidez</p> <p>Existe irregularidad extrema de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 60% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior.</p>	0.5
<p>Irregularidad extrema de resistencia</p> <p>Existe irregularidad extrema de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 65% de la resistencia del entrepiso inmediato superior.</p>	
<p>Irregularidad de masa o peso</p> <p>Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando el peso de un piso determinado según el artículo 26, es mayor que 1.5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas un en sótanos.</p>	0.9
Irregularidad geométrica vertical	0.9

La configuración es irregular cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1.3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos

Discontinuidad en los sistemas resistentes	
Se califica a la estructura como irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10% de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25% de la correspondiente dimensión del elemento.	0.8
Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes	
Existe discontinuidad extrema cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supere el 25% de la fuerza cortante total	0.6

Fuente: Adaptado de la Norma E.030 Diseño sismorresistente, MVCS (2018)

Tabla 27: Irregularidades estructurales en planta

Irregularidades estructurales en planta	Factor de irregularidad I_p
Irregularidad torsional	
Existe irregularidad torsional cuando en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ_{max}) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1.3 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom})	0.75
Irregularidad torsional extrema	
Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ_{max}) en esa dirección, calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1.5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom})	0.60
Este criterio solo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y solo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11 de la norma E.030	

Esquinas entrantes	
La estructura se clasifica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones en ambas direcciones son mayores que 20% de la correspondiente dimensión total en planta.	0.90
Discontinuidad del diafragma	
La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50% del área bruta del diafragma. También, existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25% del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.	0.85
Sistemas no paralelos	
Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o muros formen ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10% de la fuerza cortante del piso	0.9

Fuente: Adaptado de la Norma E.030 Diseño sismorresistente, MVCS (2018)

- Piso blando y piso débil

La irregularidad por piso blando establece que la rigidez lateral de un entrepiso no debe ser inferior al 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior; además, añade una segunda condición que establece que la rigidez lateral de un entrepiso, no puede ser inferior al 80% del promedio de rigidez lateral de los tres entrepisos superiores, todos evaluado bajo un mismo sistema de carga. (MVCS, 2018)

Teniendo en cuenta estas condiciones, se evaluaron las rigideces laterales de todos los niveles obtenidas del software ETABS 2018 y se verificaron las condiciones. En la Tabla 28 y la Tabla 29, se observó que para ambas condiciones, no se presentaba irregularidad por piso blando en ninguna dirección de análisis bajo el sistema de carga por sismo estático.

Tabla 28: Irregularidad por piso blando en dirección X-X para Sx EST

Nivel	Kx lateral Ton/m	Condición 1		Condición 2	
		0.7 Ki	$K_i < 0.70$ K_{i+1}	$0.8*/(K_2 +$ $k_3+k_4)/3)$	$K_i < \text{Cond. 2}$
Azotea	5224.82		No existe		No existe
Piso 3	26242.39	3657.37	No existe		No existe
Piso 2	42522.63	18369.67	No existe		No existe
Piso 1	76787.44	29765.84	No existe	19730.62	No existe

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Irregularidad por piso blando en dirección Y-Y para Sy EST

Nivel	Ky lateral Ton/m	Condición 1		Condición 2	
		0.7 Ki	$K_i < 0.70$ K_{i+1}	$0.8*/(K_2$ $+k_3+k_4)/$ $3)$	$K_i < \text{Cond. 2}$
Azotea	5588.73		No existe		No existe
Piso 3	40662.88	3912.11	No existe		No existe
Piso 2	61424.61	28464.02	No existe		No existe
Piso 1	98997.02	42997.22	No existe	28713.66	No existe

Fuente: Elaboración propia

La irregularidad por piso débil existe cuando la resistencia al corte de un entrepiso es inferior al 80% de la resistencia del entrepiso inmediato superior. (MVCS, 2018)

Simplificando el análisis, se pudo establecer la no existencia de esta irregularidad en ninguna dirección de análisis, dado que, los elementos resistentes en el primer nivel no varían su sección ni altura hasta el último nivel.

- Irregularidad extrema de rigidez e irregularidad extrema de resistencia

La irregularidad extrema de rigidez supone la misma condición de análisis que la irregularidad de piso blando; sin embargo, se considera el 60% y no el 70% para la condición 1, y en la condición 2, el porcentaje considerado es 70%. (MVCS, 2018)

Con los datos obtenidos de ETABS 2018 y presentados en la Tabla 30 y Tabla 31, se verificó que para ambas direcciones de análisis bajo el sistema de carga por sismo estático no se presentaban irregularidades.

Tabla 30: Irregularidad extrema de rigidez en dirección X-X para Sx EST

Nivel	Kx lateral Ton/m	Condición 1		Condición 2	
		0.6 Ki	$K_i < 0.60 K_{i+1}$	$0.7 * (K_2 + k_3 + k_4) / 3$	$K_i < \text{Cond. 2}$
Azotea	5224.82		No existe		No existe
Piso 3	26242.39	3134.89	No existe		No existe
Piso 2	42522.63	15745.43	No existe		No existe
Piso 1	76787.44	25513.58	No existe	17264.29	No existe

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Irregularidad extrema de rigidez en dirección Y-Y para Sy EST

Nivel	Ky lateral Ton/m	Condición 1		Condición 2	
		0.6 Ki	$K_i < 0.60 K_{i+1}$	$0.7 * (K_2 + k_3 + k_4) / 3$	$K_i < \text{Cond. 2}$
Azotea	5588.73		No existe		No existe
Piso 3	40662.88	3353.24	No existe		No existe
Piso 2	61424.61	24397.73	No existe		No existe
Piso 1	98997.02	36854.76	No existe	25124.45	No existe

Fuente: Elaboración propia

La irregularidad extrema de resistencia supone la misma condición de análisis que la irregularidad de piso blando; sin embargo, se considera el 60% y no el 70%. (MVCS, 2018)

Al no existir irregularidad por piso débil, se validó la no existencia de irregularidad extrema de resistencia en ninguna de las direcciones de análisis.

- Irregularidad de masa o peso

Existe irregularidad de masa o peso cuando el peso de un piso adyacente al del nivel analizado es superior a 1.5 veces. Asimismo, la norma señala que este criterio de análisis no se aplica en la azotea. (MVCS, 2018)

Para la estructura analizada, se obtuvieron las masas del software ETABS donde se validó que no existe irregularidad de masa pues la relación entre las masas de los pisos adyacentes no superó 1.5 veces el valor de la masa en el piso analizado. Se debe aclarar que la norma establece que esta condición no se aplica en sótanos y ni azoteas. (ver Tabla 96)

Tabla 32: Verificación de irregularidad de masa o peso en la edificación

Nivel	Pg Tonf	Peso Tonf	Nivel de análisis	Relación
Azotea	10.83	10.83	Inferior	5.77
Piso 3	73.35	62.52	Superior	5.77
			Inferior	1.02
Piso 2	137.31	63.96	Superior	1.02
			Inferior	1.02
Piso 1	202.59	65.28	Superior	1.02

Fuente: Elaboración propia

- Irregularidad geométrica vertical

Existe irregularidad geométrica vertical cuando en cualquier dirección de análisis la dimensión de los elementos resistentes a cargas laterales en planta es mayor que 1.3 veces la dimensión de un piso adyacente. La norma establece que este criterio no se aplica en azoteas ni sótanos. (MVCS, 2018)

Esta irregularidad no existió en la estructura, pues se observó la continuidad de las dimensiones de los elementos resistentes a cargas laterales. (ver Figura 32)

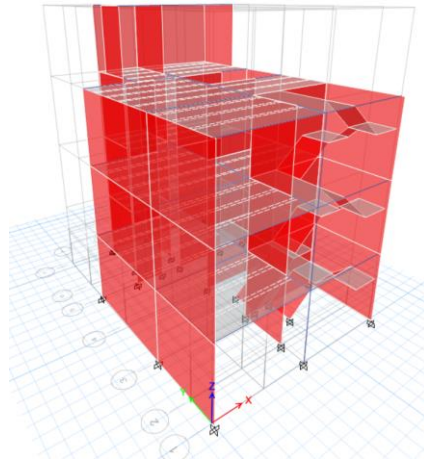


Figura 32: Esquema de modelamiento de la estructura en ETABS 2018

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

- Discontinuidad de sistemas resistentes

Existe irregularidad de sistemas resistentes cuando un elemento que resiste más del 10% de fuerza cortante presenta un desalineamiento o desplazamiento de 25% la dimensión del elemento. (MVCS, 2018)

Para el caso de la estructura analizada, sus elementos resistentes no presentaban desalineamiento, pues, estos elementos se desarrollaban desde el primer nivel hasta el último.

- Discontinuidad extrema de los elementos resistentes

Al igual que el caso anterior, en esta irregularidad se considera aquellos elementos que resistan una fuerza cortante de 25% de fuerza cortante. (MVCS, 2018)

Considerando la no existencia de irregularidad por discontinuidad del sistema resistente, se afirmó que esta irregularidad extrema no existía.

- Irregularidad torsional

Una estructura presenta irregularidad torsional cuando la deriva máxima de un entrepiso supera 1.3 veces las deriva promedio del mismo entrepiso para la misma condición de carga. MVCS (2018) establece que este criterio solo se aplica en diafragmas rígidos y entrepisos que superen la mitad de la deriva permitida según su sistema estructural.

Verificando la Tabla 33, se observó que las máximas derivas de la estructura para ambas direcciones de análisis no superaban el 50% de la deriva máxima permitida por la normativa vigente.

Tabla 33: Verificación de condición para irregularidad torsional

Condición	Derivas máx	
	X-X	Y-Y
S DIN Escalado	0.0021	0.0015
50% Deriva admisible	0.0025	0.0025
Estado	No existe	No existe

Fuente: Elaboración propia

- Irregularidad torsional extrema

Esta irregularidad evalúa condiciones similares a la irregularidad torsional, sin embargo, esta considera que la deriva máxima de un entrepiso supera 1.5 veces la deriva promedio del entrepiso. (MVCS, 2018)

Al igual que el caso anterior, al no superar el 50% de la deriva máxima permitida, se simplificó el análisis afirmando la no existencia de esta irregularidad.

- Esquinas entrantes

Esta irregularidad se considera cuando la estructura presenta esquinas entrantes con dimensiones superiores al 20% de la dimensión total para cada dirección de análisis. (MVCS, 2018)

Como se observó en la Figura 33, el modelo de la estructura propuesta presentaba una esquina entrante; por ello, esta se evaluó en la Tabla 34, donde se observó que las dimensiones de la abertura superaban el 20% de la dimensión total para ambas direcciones de análisis, entonces, se afirmó que existe irregularidad por esquina entrante en ambas direcciones.

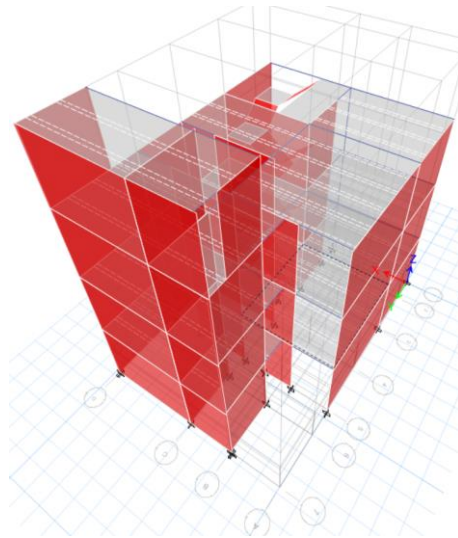


Figura 33: Vista de perspectiva del modelo en ETABS 2018

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

Tabla 34: Verificación de irregularidad por esquina entrante

Casos	Dimensión (m)	
	X-X	Y-Y
Total	7.50	10.50
20%	1.50	2.10
Esquina entrante	2.00	3.13
Irregularidad	Sí existe	Sí existe

Fuente: Elaboración propia

- Discontinuidad del diafragma

Existe discontinuidad de diafragma cuando el diafragma presenta aberturas con áreas superiores al 50% del área bruta del diafragma. (MVCS, 2018)

En la Tabla 35, se observó que el porcentaje de discontinuidad era inferior al 50 % en todos los diafragmas, por ello, se afirmó que no existe irregularidad por discontinuidad del diafragma.

Tabla 35: Verificación de irregularidad por discontinuidad de diafragma

Diafragmas	Área m2	Abertura m2	% Discontinuidad	Irregularidad
Piso 3	78.75	13.29	16.88%	No existe
Piso 2	78.75	13.29	16.88%	No existe
Piso 1	78.75	12.5	15.87%	No existe

Fuente: Elaboración propia

- Sistema no paralelos

MVCS (2018) establece que existe irregularidad por sistemas no paralelos cuando los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica para aquellos elementos que formen ángulos menores de 30°, ni en elementos que resistan menos del 10% de la fuerza cortante del entrepiso. La estructura de la propuesta no presentaba esta irregularidad pues sus ejes eran paralelos al igual que sus elementos. (ver Figura 34)

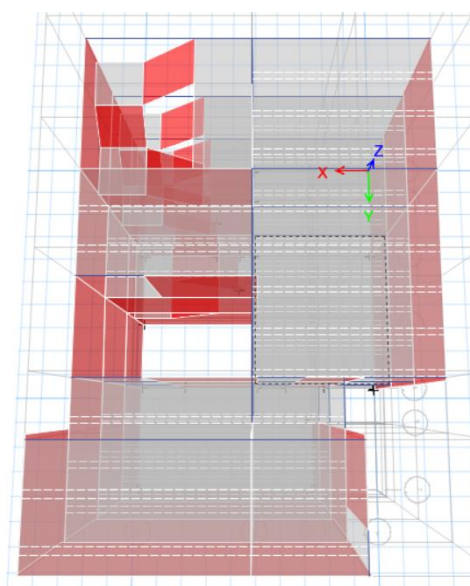


Figura 34: Vista superior de modelo en ETABS 2018

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

MVCS (2018) establece que el factor de irregularidad asignado será el menor de los valores obtenidos tras las verificaciones. Culminada la verificación de todas las irregularidades, se presentó la Tabla 36 donde se mostró el factor de

irregularidad más desfavorable para cada dirección de análisis. Finalmente, se obtuvo el valor de R para la dirección X y dirección Y con un valor resultante de 2.7 para ambas direcciones.

Tabla 36: Valor de R para cada dirección de análisis

Irregularidad	Dirección	
	X-X	Y-Y
Ia	1.00	1.00
Ip	0.90	0.90
Ro	3	3
R	2.7	2.7

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Verificación de cortante basal

A partir del desarrollo del acápite 5.3.1, los valores asignados a los factores y coeficientes sísmicos a emplearse para el cálculo fueron los presentados en la Tabla 37.

Tabla 37: Factores de reducción sísmica tras verificación de irregularidades

Factor	X-X	Y-Y
Z	0.45	0.45
U	1	1
C	2.5	2.5
S	1.05	1.05
R	2.7	2.7
ZUCS/R	0.4375	0.4375

Fuente: Elaboración propia

Además, previo a la determinación del cortante basal, se verificó la condición que establece la norma donde señala que C entre R no puede ser menor que 0.11. Entonces al realizar la división se verificó que el resultado obtenido era superior a 0.11.

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

$$\frac{2.5}{2.7} = 0.93 \geq 0.11$$

Se introdujeron los datos al software ETABS 2018, se establecieron las condiciones de carga donde se consideró el espectro de la norma para el sismo dinámico. A continuación, se corrió el software y se obtuvieron las cortantes basales para el sismo estático y el sismo dinámico. A continuación, se validó la condición que la norma establece, donde la cortante basal producida por sismo dinámico no puede ser inferior al 90% de la magnitud de la cortante basal del sismo estático cuando se trata de una estructura irregular; por ello, se procedió a realizar un escalamiento del sismo. (ver Tabla 38 y Tabla 39)

Tabla 38: Escalamiento de sismo dinámico considerando losa aligerada vigacero

Dirección	Estático	Dinámico	90%	Escala
X-X	87.45	54.57	78.70	1.44
Y-Y	87.45	46.74	78.70	1.68

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39: Escalamiento de sismo dinámico considerando losa aligerada convencional

Dirección	Estático	Dinámico	90%	Escala
X-X	97.51	61.43	87.76	1.43
Y-Y	97.51	52.50	87.76	1.67

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Verificación de participación de masa

MVCS (2018), en la norma E.030 establece que, en el análisis modal espectral, los modos de vibración deben acumular un 90% de participación de la masa efectiva para cada dirección de análisis. Por ello, se procedió a verificar que esta condición se cumpla. Se extrajeron los resultados del software ETABS y se presentaron en la Tabla 40 para el modelado con el sistema vigacero, donde se verificó que en la dirección X-X, en el modo 9, se alcanzó el 90% de participación de la masa efectiva; y en la dirección Y-Y, esta se alcanzó en el modo 11. En la Tabla 41, se presentaron los resultados del modelo que

contempló el uso de losa aligerada convencional donde se verificó que se alcanzó el 90% de participación de la masa efectiva en el modo 9 para la dirección X-X, y en el modo 11, para la dirección Y-Y.

Tabla 40: Participación de masa efectiva en modelo con sistema vigacero

Modo de vibración	Periodos	SumUX	SumUY
1	0.17	55.54%	11.74%
2	0.142	70.61%	56.57%
3	0.101	70.75%	69.82%
4	0.08	71.12%	69.82%
5	0.069	71.54%	69.95%
6	0.058	77.28%	74.07%
7	0.054	78.39%	81.00%
8	0.045	87.92%	83.90%
9	0.041	90.14%	86.22%
10	0.036	90.64%	88.38%
11	0.035	91.03%	90.07%
12	0.034	91.16%	90.11%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41: Participación de masa efectiva en modelo con losa aligerada convencional

Modo de vibración	Periodos	SumUX	SumUY
1	0.183	55.62%	12.49%
2	0.154	71.05%	57.43%
3	0.107	71.36%	69.83%
4	0.08	71.68%	69.83%
5	0.069	76.59%	72.20%
6	0.06	78.40%	81.43%
7	0.054	78.78%	82.78%
8	0.045	90.07%	85.30%
9	0.041	91.01%	87.58%
10	0.036	91.66%	90.71%
11	0.035	91.76%	91.07%
12	0.034	91.76%	91.08%

Fuente: Elaboración propia

5.3.4. Verificación de derivas

Tras el escalamiento del sismo dinámico para cada dirección de análisis, se procedió a verificar que la deriva máxima de la estructura no supere la deriva máxima que establece la norma E.030. Para el caso de albañilería, la norma establece una deriva máxima de 0.005. (ver Tabla 42)

Tabla 42: Límites para la distorsión del entrepiso

Material predominante	(Δ_i/h_{ei})
Concreto armado	0.007
Acero	0.01
Albañilería	0.005
Madera	0.01
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente: Adaptado de la norma E.030 Diseño Sismorresistente, MVCS (2018)

Además, se tomó en consideración que la estructura era irregular, por ello, el cálculo de la deriva en el rango inelástico, se obtuvo mediante la siguiente expresión.

$$\Delta_{inel} = \Delta_{elas} * 0.85 * R$$

A continuación, se presentaron la Tabla 43 y

Tabla 44, donde se observaron las derivas máximas por cada entrepiso para la condición de carga por sismo dinámico escalado. Se pudo verificar que en ninguna dirección de análisis la deriva obtenida superó la deriva máxima presentada en la Tabla 42 .

Tabla 43: Verificación de derivas por sismo dinámico en modelo con losa vigacero

Condición	Vigacero		E.030 Max
	Deriva X-X	Deriva Y-Y	< 0.005
S DIN Escalado	0.0021	0.0015	Cumple

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Verificación de derivas por sismo dinámico en modelo con losa aligerada convencional

Condición	Convencional		E.030 Max
	Deriva X-X	Deriva Y-Y	< 0.005
S DIN Escalado	0.0024	0.0018	Cumple

Fuente: Elaboración propia

5.4. Diseño de elementos estructurales

5.4.1. Muros de albañilería

Para el diseño de los muros de albañilería, se consideraron los muros del primer piso, dado que, estos recibían la cortante de mayor magnitud en toda la estructura; además, la geometría y dimensiones de estos muros continuaban hasta el tercer nivel. Para el diseño, se emplearon todos los criterios establecidos en la norma E.070. Para la determinación del diseño de los muros de albañilería con el uso del software ETABS 2018, primero, fue necesario establecer unas combinaciones de carga las cuales fueron asignadas bajo dos casos de carga. En el caso 1, se contempló el 100 % de las cargas de servicio; para el caso 2, solo se contempló el 25% de la carga viva y el 100 % de la carga muerta.

Para el proceso de análisis, se inició con la determinación de las fuerzas actuantes sobre los elementos resistentes, muros portantes, y la determinación de su resistencia al agrietamiento. Se emplearon los métodos detallados en la norma E.070 vigente.

Para determinar la resistencia al agrietamiento, se aplicó la fórmula establecida en el acápite 8.5.3 de la norma E.070, la cual establece que para unidades de arcilla y de concreto, se deberá usar la siguiente expresión.

$$V_m = 0.5 * V'_m * \alpha * t * L + 0.23 * P_g$$

Donde:

V_m : Resistencia al corte

α : factor de reducción de resistencia al corte por esbeltez

t: espesor efectivo del muro

L: longitud total del muro

Pg: carga gravitacional considerando sobrecarga reducida

Asimismo, para el valor del factor de reducción de resistencia al corte por esbeltez, se consideró que este tendría un valor mínimo de 1/3 y máximo de 1, según lo establecido en la norma E.070 vigente. Para obtener este factor se empleó la siguiente fórmula.

$$\alpha = \frac{V_e * L}{M_e}$$

Donde

Ve: fuerza cortante actuante sobre el muro obtenido de análisis elástico

Me: Momento flector actuante sobre muro, obtenido a análisis inelástico

En la Tabla 45 y Tabla 46, se presentaron las dimensiones en altura, longitud y espesor de los muros portantes del primer piso; también, se detallaban las cargas de gravedad considerando la reducción de las sobrecargas hasta un 25% y el 100% de carga muerta.

Tabla 45: Carga de gravedad considerando 25% de S/C para muros en dirección X-X en el piso 1

Piso 1	Espesor	Longitud	Altura	V'm	Pg
Muro	m	m	m	Tonf/m2	Tonf
M1X	0.23	3.750	2.60	81.0	22.91
M2X	0.23	2.300	2.60	81.0	23.26
M3X	0.13	1.200	2.60	81.0	5.79
M4X	0.13	2.300	2.60	81.0	9.39
M5X	0.13	1.875	2.60	81.0	8.07
M6X	0.13	3.625	2.60	81.0	12.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46: Carga de gravedad considerando 25% de S/C para muros en dirección Y-Y en el piso 1

Piso 1	Espesor	Longitud	Altura	V'm	Pg
Muro	m	m	m	Tonf/m2	Tonf
M1Y	0.13	3.025	2.60	81.0	13.36
M2Y	0.13	4.345	2.60	81.0	18.53
M3Y	0.13	1.45	2.60	81.0	9.38
M4Y	0.23	2	2.60	81.0	15.69
M5Y	0.23	2.2	2.60	81.0	16.22
M6Y	0.13	3.025	2.60	81.0	9.66
M7Y	0.13	2.25	2.60	81.0	4.32
M8Y	0.13	2.02	2.60	81.0	6.82
M9Y	0.13	3.205	2.60	81.0	4.20

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 47 y Tabla 48, se presentaron las fuerzas cortantes y momentos flectores actuantes para la condición de carga por sismo dinámico de los muros en el primer piso. Asimismo, se detallaron los valores para las fuerzas cortantes y momentos flectores actuantes para sismo moderado, estos valores eran la mitad del valor de los resultados por sismo severo.

Tabla 47: Fuerza cortante y momento flector actuante en muros en dirección X-X en el piso 1 para la condición de carga sismo dinámico en X-X

Piso 1	Ve	Ve moderado	Me	Me moderado
Muro	Tonf	Tonf	Tonf.m	Tonf.m
M1X	26.47	13.23	25.41	12.71
M2X	18.34	9.17	60.97	30.49
M3X	1.00	0.50	2.39	1.19
M4X	3.85	1.93	12.16	6.08
M5X	6.06	3.03	4.24	2.12
M6X	13.26	6.63	17.31	8.65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Fuerza cortante y momento flector actuante en muros en dirección Y-Y en el piso 1 para la condición de carga sismo dinámico en Y-Y

Piso 1	Ve		Me	
	Tonf	Tonf	Tonf.m	Tonf.m
M1Y	12.47	6.24	20.53	10.26
M2Y	19.20	9.60	47.07	23.54
M3Y	5.10	2.55	8.11	4.06
M4Y	5.86	2.93	9.93	4.97
M5Y	6.77	3.38	14.86	7.43
M6Y	7.20	3.60	10.80	5.40
M7Y	8.98	4.49	2.31	1.16
M8Y	10.11	5.05	1.76	0.88
M9Y	9.15	4.57	10.04	5.02

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 49 y Tabla 50, se desarrolló el control de fisuración cuyo propósito es evitar que los muros se fisuren ante los sismos moderados. Se detallaron los controles efectuados a todos los muros en el primer piso donde se determinó que todos cumplían satisfactoriamente con la condición de que la cortante actuante por sismo moderado fuese inferior a 55% del cortante resistente.

Tabla 49: Control de fisuración en muros en dirección X-X del primer piso

Piso 1	α		Vm Tonf	Ve \leq 0.55Vm Tonf	Control Fisuración
	Calculado	Corregido			
M1X	3.91	1.00	40.20	22.11	Admisible
M2X	0.69	0.69	20.17	11.09	Admisible
M3X	0.50	0.50	4.52	2.49	Admisible
M4X	0.73	0.73	10.98	6.04	Admisible
M5X	2.68	1.00	11.73	6.45	Admisible
M6X	2.78	1.00	22.01	12.10	Admisible

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50: Control de fisuración en muros en dirección Y-Y del primer piso

Piso 1	α		Vm Tonf	Ve \leq 0.55Vm Tonf	Control Fisuración
	Calculado	Corregido			
M1Y	1.84	1.00	19.00	10.45	Admisible
M2Y	1.77	1.00	27.14	14.93	Admisible
M3Y	0.91	0.91	9.12	5.02	Admisible
M4Y	1.18	1.00	22.24	12.23	Admisible
M5Y	1.00	1.00	24.22	13.32	Admisible
M6Y	2.02	1.00	18.15	9.98	Admisible
M7Y	8.75	1.00	12.84	7.06	Admisible
M8Y	11.61	1.00	12.20	6.71	Admisible
M9Y	2.92	1.00	17.84	9.81	Admisible

Fuente: Elaboración propia

En la

Tabla 51 y Tabla 52, se estableció la verificación de resistencia al cortante del edificio para los muros del primer nivel, donde se validó que la fuerza resistente al corte del entrepiso era superior a la fuerza actuante por sismo severo en el primer piso.

Tabla 51: Verificación de resistencia al corte del edificio en el primer piso para la dirección X-X

Piso 1	Resistencia al corte	
	Svmi	Vei
M1X		
M2X		
M3X	109.60	68.97
M4X		
M5X		
M6X		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52: Verificación de resistencia al corte del edificio en el primer piso para la dirección Y-Y

Piso 1	Resistencia al corte	
	Svmi	Ve1
M1Y		
M2Y		
M3Y		
M4Y		
M5Y	162.75	84.84
M6Y		
M7Y		
M8Y		
M9Y		

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 53 y

Tabla 54, se determinaron las fuerzas internas para el diseño de los muros del primer piso, las cuales se obtuvieron amplificando los valores obtenidos del análisis elástico para sismo moderado mediante la siguiente expresión:

$$V_{ui} = V_{ei} * \frac{V_{m1}}{V_{e1}}$$

$$M_{ui} = M_{ei} * \frac{M_{m1}}{M_{e1}}$$

Este factor de amplificación obtenido por la división de V_{m1} entre V_{e1} o la división de M_{m1} entre M_{e1} , no podía ser inferior a 2 ni superior a 3.

Tabla 53: Determinación de fuerzas internas para el diseño de muros del primer piso en dirección X-X

Piso 1	Factor de Amplificación		Vui	Mui
	Calculado	Corregido	Tonf	Tonf.m
M1X	3.04	3.00	39.70	38.12
M2X	2.20	2.20	20.17	67.07
M3X	9.01	3.00	1.50	3.58
M4X	5.70	3.00	5.78	18.23
M5X	3.87	3.00	9.09	6.36
M6X	3.32	3.00	19.88	25.96

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54: Determinación de fuerzas internas para el diseño de muros del primer piso en dirección Y-Y

Piso 1	Factor de Amplificación		Vui	Mui
	Calculado	Corregido	Tonf	Tonf.m
M1Y	3.05	3.00	18.71	30.79
M2Y	2.83	2.83	27.16	66.61
M3Y	3.57	3.00	7.65	12.17
M4Y	7.59	3.00	8.79	14.90
M5Y	7.16	3.00	10.15	22.29
M6Y	5.04	3.00	10.81	16.19
M7Y	2.86	2.86	12.85	3.30
M8Y	2.42	2.42	12.23	2.13
M9Y	3.90	3.00	13.72	15.06

Fuente: Elaboración propia

Para la verificación de necesidad de refuerzo horizontal en los muros del primer piso, se verificaron las condiciones que establece la norma en la cual determina que, si la fuerza cortante bajo sismo severo es igual o mayor que la resistencia al corte, este deberá llevar refuerzo. Además, establece una segunda condición donde es esfuerzo a compresión axial no deberá ser mayor que el 5% del $f'm$, caso contrario deberá llevar refuerzo. Este refuerzo tendrá una cuantía mínima de 0.001. (MVCS, 2006)

En la Tabla 55 y Tabla 56, se realizó la verificación del requerimiento de refuerzo horizontal para los muros en ambas direcciones del primer piso. En esta verificación, se determinó que ciertos muros del primer piso requieren la adición de este refuerzo. Para el diseño de este acero de refuerzo, se consideró el uso de varillas de 3/8” espaciados a 21 centímetros, cada 2 hiladas.

Tabla 55: Verificación de necesidad de refuerzo horizontal para muros en dirección X-X del primer piso

Piso 1	Vui	Mui	Pm	f _m	Condición 1	Condición 2	Cuantía
Muro	Tonf	Tonf.m	Tonf	Tonf/m ²	Vui > V _m	$\Sigma m \geq 0.05 f_m$	f _i 3/8", s = 21 cm
M1X	39.70	38.12	26.25	650	FALSO	FALSO	No requiere
M2X	20.17	67.07	26.60	650	VERDAD	VERDAD	0.0015
M3X	1.50	3.58	6.79	650	FALSO	VERDAD	0.0026
M4X	5.78	18.23	10.70	650	FALSO	VERDAD	0.0026
M5X	9.09	6.36	9.09	650	FALSO	VERDAD	0.0026
M6X	19.88	25.96	13.92	650	FALSO	FALSO	No requiere

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56: Verificación de necesidad de refuerzo horizontal para muros en dirección Y-Y del primer piso

Piso 1	Vui	Mui	Pm	f _m	Condición 1	Condición 2	Cuantía
Muro	Tonf	Tonf.m	Tonf	Tonf/m ²	Vui > V _m	$\sigma m \geq 0.05 f_m$	f _i 3/8", s = 21 cm
M1Y	18.71	30.79	15.65	650	FALSO	VERDAD	0.0026
M2Y	27.16	66.61	21.70	650	VERDAD	VERDAD	0.0026
M3Y	7.65	12.17	10.62	650	FALSO	VERDAD	0.0026
M4Y	8.79	14.90	18.52	650	FALSO	VERDAD	0.0015
M5Y	10.15	22.29	18.27	650	FALSO	VERDAD	0.0015
M6Y	10.81	16.19	10.71	650	FALSO	FALSO	No requiere
M7Y	12.85	3.30	7.50	650	VERDAD	FALSO	0.0026
M8Y	12.23	2.13	6.51	650	VERDAD	FALSO	0.0026
M9Y	13.72	15.06	10.37	650	FALSO	FALSO	No requiere

Fuente: Elaboración propia

Para el diseño de columnas de confinamiento, se determinaron las fuerzas actuantes por corte, compresión y tracción. Para su cálculo, se emplearon las fórmulas que establece la norma E.070 vigente, de donde se obtuvieron las siguientes expresiones:

Para la obtención de la fuerza cortante en columnas interiores

$$V_c = \frac{Vm1 * Lm}{L * (Nc + 1)}$$

Para la obtención de fuerzas cortantes en columnas exteriores

$$V_c = 1.5 * \frac{Vm1 * Lm}{L * (Nc + 1)}$$

Para determinar la fuerza de tracción en columnas interiores

$$T = Vm1 * \frac{h}{L} - Pc$$

Para determinar la fuerza de tracción en columnas exteriores

$$T = F - Pc$$

Para hallar la fuerza por compresión en columnas interiores

$$C = Pc - \frac{Vm1 * h}{2 * L}$$

Para hallar la fuerza por compresión en columnas exteriores

$$T = F + Pc$$

En la Tabla 57 y Tabla 58, se presentaron los resultados para las cargas gravitacionales considerando la carga vertical directa sobre la columna, la mitad de la carga axial sobre el paño y cargas provenientes de muros transversales. Estos valores fueron las fuerzas actuantes para el diseño de las columnas de confinamiento del primer piso en ambas direcciones. Todas las columnas se consideraron como externas.

Tabla 57: Determinación de fuerza cortante, tracción y compresión en columnas de confinamiento para muros en dirección X-X del primer piso

Piso 1	Lm	M	F	Nc	P'c	Pc	Exterior	Vc	T	C
Muro	m	Tonf.m	Tonf		Tonf	Tonf	Interior	Tonf	Tonf	Tonf
M1X	3.750	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Exterior	20.10	0.00	0.00
M2X	2.300	40.85	17.76	2	8.88	8.88	Exterior	10.08	8.88	26.64
M3X	1.200	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Exterior	2.26	0.00	0.00
M4X	2.300	3.96	1.72	2	0.86	0.86	Exterior	5.49	0.86	2.58
M5X	1.875	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Exterior	5.86	0.00	0.00
M6X	3.625	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Exterior	11.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58: Determinación de fuerza cortante, tracción y compresión en columnas de confinamiento para muros en dirección Y-Y del primer piso

Piso 1	Lm	M	F	Nc	P'c	Pc	Exterior	Vc	T	C
Muro	m	m	Tonf		Tonf	Tonf	Interior	Tonf	Tonf	Tonf
M1Y	3.025	6.09	2.01	2	1.01	1.01	Exterior	9.50	1.01	3.02
M2Y	4.345	31.33	7.21	2	3.61	3.61	Exterior	13.57	3.61	10.82
M3Y	1.450	0.31	0.21	2	0.11	0.11	Exterior	4.56	0.11	0.32
M4Y	2.000	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Exterior	11.12	0.00	0.00
M5Y	2.200	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Exterior	12.11	0.00	0.00
M6Y	3.025	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Exterior	9.07	0.00	0.00
M7Y	2.250	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Exterior	6.42	0.00	0.00
M8Y	2.020	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Exterior	6.10	0.00	0.00
M9Y	3.205	0.00	0.00	2	0.00	0.00	Exterior	8.92	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación del acero de refuerzo vertical, se emplearon las fórmulas presentadas en la norma E.070 para el área de acero requerido por corte y fricción, el área requerida por tracción y el área de refuerzo vertical. Las expresiones usadas fueron las siguientes:

$$Asf = \frac{Vc}{fy * \mu * \phi}$$

$$Ast = \frac{T}{fy * \phi}$$

$$A_s = A_{sf} + A_{st} \geq \frac{0.1 * f'c * A_c}{f_y}$$

En la Tabla 59 y Tabla 60, se determinó el área de acero requerido por corte, tracción y acero de refuerzo vertical; asimismo, se planteó el diseño final de los aceros de refuerzo para cada columna de confinamiento por muros en el primer piso de la dirección X-X y Y-Y.

Tabla 59: Determinación del área de refuerzo vertical para las columnas de confinamiento en los muros en dirección X-X del primer piso

Piso 1	f_y	m	f	Asf Corte	Ast vertical	As	As diseño	Diseño As
Muro	Tonf/m2			cm2	cm2	cm2	cm2	As nominal
M1X	4.2	0.8	0.9	7.04	0.00	7.04	7.60	6 fi 1/2"
M2X	4.2	0.8	0.9	3.53	2.49	6.02	6.50	4 fi 1/2" + 2 fi 3/8"
M3X	4.2	0.8	0.9	0.79	0.00	0.79	2.85	4 fi 3/8"
M4X	4.2	0.8	0.9	1.92	0.24	2.16	2.85	4 fi 3/8"
M5X	4.2	0.8	0.9	2.05	0.00	2.05	2.85	4 fi 3/8"
M6X	4.2	0.8	0.9	3.85	0.00	3.85	5.07	4 fi 1/2"

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60: Determinación del área de refuerzo vertical para las columnas de confinamiento en los muros en dirección Y-Y del primer piso

Piso 1	f_y	m	f	Asf Corte	Ast vertical	As	As diseño	Diseño As
Muro	Tonf/m2			cm2	cm2	cm2	cm2	As nominal
M1Y	4.2	0.8	0.9	3.33	0.28	3.61	5.07	4 fi 1/2"
M2Y	4.2	0.8	0.9	4.75	1.01	5.76	6.50	4 fi 1/2" + 2 fi 3/8"
M3Y	4.2	0.8	0.9	1.60	0.03	1.63	2.85	4 fi 3/8"
M4Y	4.2	0.8	0.9	3.89	0.00	3.89	5.07	4 fi 1/2"
M5Y	4.2	0.8	0.9	4.24	0.00	4.24	5.07	4 fi 1/2"
M6Y	4.2	0.8	0.9	3.18	0.00	3.18	5.07	4 fi 1/2"
M7Y	4.2	0.8	0.9	2.25	0.00	2.25	2.85	4 fi 3/8"
M8Y	4.2	0.8	0.9	2.14	0.00	2.14	2.85	4 fi 3/8"
M9Y	4.2	0.8	0.9	3.12	0.00	3.12	5.07	4 fi 1/2"

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación del área del núcleo por compresión de las columnas, se empleó la expresión de la norma E.070 presentada a continuación:

$$A_n = A_s + \frac{\frac{c}{\phi} A_s f_y}{0.85 \delta f'_c}$$

Para el diseño por corte y fricción, se empleó la siguiente expresión:

$$A_{cf} = \frac{V_c}{0.2 * f'_c * \phi}$$

En la Tabla 61 y Tabla 62, se presentaron los resultados para las secciones de concreto de las columnas de confinamiento, donde se compararon el área obtenida por la sumatoria del área de núcleo a compresión más área por corte versus 15 veces el espesor del muro, y se seleccionó el de mayor magnitud. A partir de esta área requerida, se propuso las dimensiones de las secciones para las columnas de confinamiento en los muros.

Tabla 61: Determinación de la sección de concreto de la columna de confinamiento para los muros en dirección X-X

Piso l	f' _c Tonf/m ²	d	f	A _n cm ²	f	ACF cm ²	15t cm ²	Área cm ²	Sección cm
M1X	0.21	0.8	0.7	-215.93	0.85	563.03	345.00	575	23x25
M2X	0.21	0.8	0.7	81.87	0.85	282.46	345.00	460	23x20
M3X	0.21	0.8	0.7	-80.97	0.85	63.29	195.00	260	13x20
M4X	0.21	0.8	0.7	-55.16	0.85	153.83	195.00	260	13x20
M5X	0.21	0.8	0.7	-80.97	0.85	164.25	195.00	260	13x20
M6X	0.21	0.8	0.7	-144.05	0.85	308.22	195.00	325	13x25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62: Determinación de la sección de concreto de la columna de confinamiento para los muros en dirección Y-Y

Piso 1	f_c	d	f	An	f	ACF	15t	Área	Sección
Muro	Tonf/m ²			cm ²		cm ²	cm ²	cm ²	cm
M1Y	0.21	0.8	0.7	-113.85	0.85	266.10	195.00	325	13x25
M2Y	0.21	0.8	0.7	-76.48	1.85	174.64	195.00	260	13x20
M3Y	0.21	0.8	0.7	-77.75	2.85	38.10	195.00	260	13x20
M4Y	0.21	0.8	0.7	-144.05	3.85	68.77	345.00	460	23x20
M5Y	0.21	0.8	0.7	-144.05	4.85	59.46	345.00	460	23x20
M6Y	0.21	0.8	0.7	-144.05	5.85	36.93	195.00	260	13x20
M7Y	0.21	0.8	0.7	-80.97	6.85	22.32	195.00	260	13x20
M8Y	0.21	0.8	0.7	-80.97	7.85	18.51	195.00	260	13x20
M9Y	0.21	0.8	0.7	-144.05	8.85	24.00	195.00	260	13x20

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de los estribos en las columnas de confinamiento de los muros del primer piso, se emplearon todas las condiciones que establece la norma E.070. Como mínimo los estribos serán de 6 mm con un espaciamiento de 1@5, 4@10, r@25 cm. En la Tabla 63 y Tabla 64, se detallan la distribución de los estribos en los extremos de las columnas dentro de una altura de 45 centímetros. El resto se colocará a cada 25 centímetros. (MVCS, 2006)

Tabla 63: Determinación de estribos para la columna de confinamiento para los muros en dirección X-X

Piso 1	Tn	2Av	d	S1	S2	S3	Diseño
Muro	cm	cm ²	cm	cm	cm	cm	
M1X	21	0.64	21	5.08	5.25	10	9 fi 1/4" @5
M2X	21	0.64	21	5.08	5.25	10	9 fi 1/4" @5
M3X	11	0.64	11	9.70	5.75	10	9 fi 1/4" @5
M4X	11	0.64	11	9.70	5.75	10	9 fi 1/4" @5
M5X	11	0.64	11	9.70	5.75	10	9 fi 1/4" @5
M6X	11	0.64	11	9.70	5.75	10	9 fi 1/4" @5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64: Determinación de estribos para la columna de confinamiento para los muros en dirección Y-Y

Piso 1	Tn	2Av	d	S1	S2	S3	Diseño
Muro	cm	cm2	cm	cm	cm	cm	
M1Y	11	0.64	23	9.70	5.75	10	9 fi 1/4" @5
M2Y	11	0.64	18	9.70	5.50	10	9 fi 1/4" @5
M3Y	11	0.64	18	9.70	5.50	10	9 fi 1/4" @5
M4Y	21	0.64	18	5.08	5.50	10	9 fi 1/4" @5
M5Y	21	0.64	18	5.08	5.50	10	9 fi 1/4" @5
M6Y	11	0.64	18	9.70	5.50	10	9 fi 1/4" @5
M7Y	11	0.64	18	9.70	5.50	10	9 fi 1/4" @5
M8Y	11	0.64	18	9.70	5.50	10	9 fi 1/4" @5
M9Y	11	0.64	18	9.70	5.50	10	9 fi 1/4" @5

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación del acero en la viga solera, se emplearon las condiciones que establece la norma E.070. A partir de estas condiciones, se logró determinar el diseño del acero de refuerzo para las vigas soleras de los muros en el primer piso. (Ver Tabla 65 y Tabla 66)

Tabla 65: Determinación de acero de refuerzo para viga de confinamiento para los muros en dirección X-X

Piso 1	Ts	As	Ancho	Peralte	Asvs	Asvs min	Diseño	Diseño
Muro	Tonf	cm2	cm	cm	cm2	cm2	Acero	
M1X	20.10	5.32	23.00	20.00	460	2.30	2.85	4 fi 3/8"
M2X	10.08	2.67	23.00	20.00	460	2.30	2.85	5 fi 3/8"
M3X	2.26	0.60	13.00	20.00	260	1.30	2.85	6 fi 3/8"
M4X	5.49	1.45	13.00	20.00	260	1.30	2.85	7 fi 3/8"
M5X	5.86	1.55	13.00	20.00	260	1.30	2.85	8 fi 3/8"
M6X	11.00	2.91	13.00	20.00	260	1.30	2.85	9 fi 3/8"

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66: Determinación de acero de refuerzo para viga de confinamiento para los muros en dirección Y-Y

Piso 1	Ts	As	Ancho	Peralte	Asvs	Asvs min	Diseño	Diseño
Muro	Tonf	cm2	cm	cm	cm2	cm2	Acero	
M1Y	9.50	2.51	13.00	20.00	260	1.30	2.85	4 fi 3/8"
M2Y	13.57	3.59	13.00	21.00	273	1.37	3.85	5 fi 3/8"
M3Y	4.56	1.21	13.00	22.00	286	1.43	4.85	6 fi 3/8"
M4Y	11.12	2.94	23.00	23.00	529	2.65	5.85	7 fi 3/8"
M5Y	12.11	3.20	23.00	24.00	552	2.76	6.85	8 fi 3/8"
M6Y	9.07	2.40	13.00	25.00	325	1.63	7.85	9 fi 3/8"
M7Y	6.42	1.70	13.00	26.00	338	1.69	8.85	10 fi 3/8"
M8Y	6.10	1.61	13.00	27.00	351	1.76	9.85	11 fi 3/8"
M9Y	8.92	2.36	13.00	28.00	364	1.82	10.85	12 fi 3/8"

Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Vigas

El diseño de vigas, se inició con el análisis en el edificio con losas con viguetas pre fabricadas vigacero. Como ejemplo número uno, se diseñó la viga VP de una sección de 25 x 35 cm, con una resistencia de concreto de $f'c$ de 210 kg/cm^2 , y una fluencia de acero de f_y de 4200 kg/cm^2 .

El diseño se realizó en 2 tramos, del primer nivel, debido a los diferentes momentos actuantes en la viga. En la Figura 35 y Figura 36, se mostraron los diagramas de momentos flectores de la envolvente de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 5-4-3) y VP 25x35 (eje 1, tramo A-C-D).

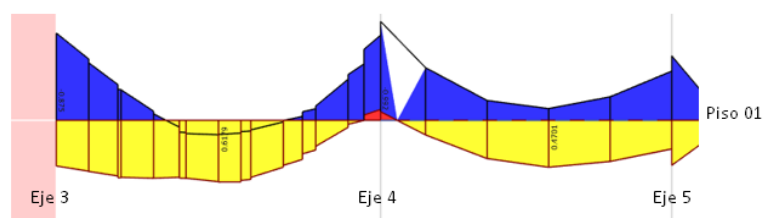


Figura 35: Diagrama de momento flector de la envolvente de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 5-4-3) del sistema de losa con viguetas vigacero.

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

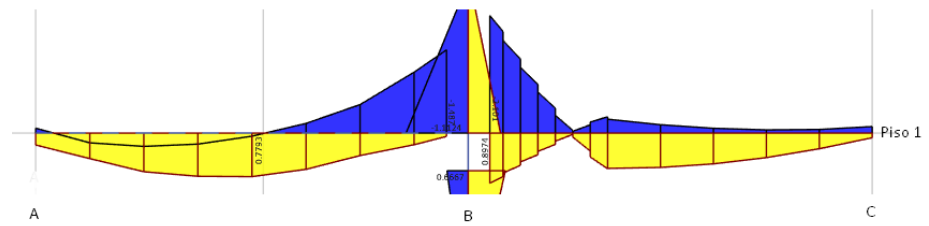


Figura 36: Diagrama de momento flector de la envolvente de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 5-4-3) del sistema de losa con viguetas vigacero.

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

A continuación, se mostraron las

Tabla 67,

Tabla 68, Tabla 69 y Tabla 70, con los resultados del diseño por flexión y cortante, en base a las ecuaciones de la norma E. 060 de concreto armado.

Tabla 67: Diseño por Flexión de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 5-4) del sistema de losa con viguetas vigacero

Diseño por flexión						
	Mu=	0.99	ton-m	Mu=	0.47	ton-m
Zona sísmica						
Cuantía balanceada	ρ_b =	0.02125		ρ_b =	0.02125	
Cuantía máxima	ρ_{max} =	0.01063	cm ²	ρ_{max} =	0.01063	cm ²
Área de acero máximo	As _{máx} =	7.70	cm	As _{máx} =	7.70	cm
	a máx=	7.25	cm	a máx=	7.25	cm
	c máx=	8.53	cm	c máx=	8.53	cm
Momento resistente máx	MuR _{máx} =	7.39	ton-m	MuR _{máx} =	7.39	ton-m
Peralte efectivo a usar	d=	29	cm	d=	29	cm
ecuación cuadrática	w ₁ =	1.66962 422		w ₁ =	1.68300 385	

ecuación cuadrática	w2=	0.02529 104		w2=	0.01191 140	
cuantía de diseño	pd=	0.00126 455		pd=	0.00059 557	
Limites Asd + 10%-5%	Asd=	0.92	cm2	Asd=	0.43	cm2
	1.008	0.87		1.008	0.41	
cuantía mínima	ρmin=	0.00276 0		ρmin=	0.00276 0	
Área de acero mínimo	Asmin=	2.00	cm2	Asmin=	2.00	cm2
Distribución de aceros						
	Asmín			Asmín		
cantidad	2			2		
tipo de varilla	Ø 3/8"			Ø 3/8"		
cantidad	2			2		
tipo de varilla	Ø 3/8"			Ø 3/8"		
área total de varillas	2.85			2.85		
verificaciones	OK			OK		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68: Diseño por Flexión de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 4-3) del sistema de losa con viguetas vigacero

Diseño por flexión						
	Mu=	0.875	ton-m	Mu=	0.618	ton-m
Zona sísmica						
Cuantía balanceada	ρb=	0.02125		ρb=	0.02125	
Cuantía máxima	ρmax=	0.01063	cm2	ρmax=	0.01063	cm2
Área de acero máximo	Asmáx =	7.70	cm	Asmáx =	7.70	cm
	a máx=	7.25	cm	a máx=	7.25	cm
	c máx=	8.53	cm	c máx=	8.53	cm
Momento resistente máx	MuRmáx =	7.39	ton-m	MuRmáx =	7.39	ton-m
Peralte efectivo a usar	d=	29	cm	d=	29	cm
ecuación cuadrática	w1=	1.67260 186		w1=	1.67921 771	

ecuación cuadrática	w2=	0.02231 340		w2=	0.01569 754	
cuantía de diseño	pd=	0.00111 567		pd=	0.00078 488	
Limites Asd + 10%-5%	Asd=	0.81	cm2	Asd=	0.57	cm2
	0.890	0.77		0.890	0.54	
cuantía mínima	ρmin=	0.00276 0		ρmin=	0.00276 0	
Área de acero mínimo	Asmin=	2.00	cm2	Asmin=	2.00	cm2
Distribución de aceros						
	Asmín			Asmín		
cantidad	2			2		
tipo de varilla	Ø 3/8"			Ø 1/2"		
cantidad	2			2		
tipo de varilla	Ø 3/8"			Ø 3/8"		
área total de varillas	2.85			3.96		
verificaciones	OK			OK		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69: Diseño por Corte de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 5-4) del sistema de losa con viguetas vigacero

Diseño por cortante						
Carga ultima	Wu=	0.55	ton/m		Ø =	0.75
Esfuerzo ultimo	Vu=	1.99	ton		anch o b=	25 cm
Resistencia de concreto	f'c=	210	kg/cm ²		peralt e h=	35 cm
Fluencia de acero	fy=	4200	kg/cm ²		d=	29 cm
	Ln=	2.0	m			
Vu a una distancia "d" de la cara del apoyo Vu=Vu-Wu*d					Vu=	1.83 ton
Resistencia en concreto					Ø Vc=	4.18 ton
Espaciamiento del estribo máximo					S _{máx} = d/2	14.5 cm
Estribo en zona crítica					Ø 3/8"	10 cm
Resistencia en acero					Ø Vs=	13.02 ton
Resistencia nominal del hormigón armado					Ø Vn=	17.19 ton

Verificando si cumple espaciamiento asumido del estribo			\emptyset $V_n > \emptyset$ V_u	ok	
Estribo en zona media asumimos			\emptyset 3/8"	15	cm
Espaciamiento máximo de estribos			$S_{\text{máx}} =$	14.5	
Espaciamiento definido			\emptyset 3/8"	15	cm
Cortantes resistentes de los refuerzos en las distancias					
Zona crítica	S=	10	\emptyset $V_{s=}$	1.49	
Zona media	S=	15	\emptyset $V_{s=}$	1.00	
Zona no requerida	S=	20	\emptyset $V_{s=}$	0.50	
Cantidad de estribos a usar					
estribos:		2	4	3	Resto
\emptyset 3/8"	@	0.05	0.10	0.15	0.20 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70: Diseño por Corte de la viga VP 25x35 (eje C, tramo 4-3) del sistema de losa con viguetas vigacero

Diseño por cortante					
Carga ultima	$W_u =$	0.65	ton/m	$\emptyset =$	0.75
Esfuerzo ultimo	$V_u =$	1.81	ton	ancho $b =$	25 cm
Resistencia de concreto	$f'c =$	210	kg/cm ²	peralte $h =$	35 cm
Fluencia de acero	$f_y =$	4200	kg/cm ²	$d =$	29 cm
	$L_n =$	2.3	m		
V_u a una distancia "d" de la cara del apoyo $V_u = V_u - W_u * d$				$V_u =$	1.62 ton
Resistencia en concreto				$\emptyset V_c =$	4.18 ton
Espaciamiento del estribo máximo				$S_{\text{máx}} =$ $d/2$	14.5 cm
Estribo en zona crítica				\emptyset 3/8"	10 cm
Resistencia en acero				$\emptyset V_s =$	13.02 ton
Resistencia nominal del hormigón armado				$\emptyset V_n =$	17.19 ton

Verificando si cumple						
Espaciamiento asumido del estribo			\emptyset	$V_n > \emptyset$	ok	
Estribo en zona media asumimos			\emptyset 3/8"	15	cm	
Espaciamiento máximo de estribos			$S_{\text{máx}} =$	14.5		
Espaciamiento definido			\emptyset 3/8"	15	cm	
Cortantes resistentes de los refuerzos en las distancias						
Zona crítica	S=	10	\emptyset V _s =	1.36		
Zona media	S=	15	\emptyset V _s =	0.91		
Zona no requerida	S=	20	\emptyset V _s =	0.45		
Cantidad de estribos a usar						
estribos:		2	3	4	Resto	
\emptyset 3/8"	@	0.05	0.10	0.15	0.20	m

Fuente: Elaboración propia

Se desarrollaron las longitudes de corte teórico, las cuales están medidas hasta el eje de los elementos estructurales en los nudos, por lo que se restó la mitad del ancho de dichos elementos, para así obtener una longitud a la cara de la viga. Luego, para uniformizar las longitudes de corte en los bastones y cumplir con los requerimientos de la Norma E.060.

Por último, se analizó la viga VP 25x35 (eje 1, tramo A-C-D) de una sección de 25x35, cuyos momentos flectores se mostraron en la Figura 36, a continuación se mostraron las Tabla 71, Tabla 72, Tabla 73 y Tabla 74, con los resultados del diseño por flexión y cortante, en base a las ecuaciones de la norma E. 060 de concreto armado.

Tabla 71: Diseño por Flexión de la viga VP 25x35 (eje 1, tramo A-C) del sistema de losa con viguetas vigacero

Diseño por flexión						
	Mu=	2.1	ton- m	Mu=	0.897	ton- m
Zona sísmica						
Cuantía balanceada	ρ_b =	0.02125		ρ_b =	0.02125	
Cuantía máxima	ρ_{max} =	0.01063	cm ²	ρ_{max} =	0.01063	cm ²
Área de acero máximo	$A_{smáx}$ =	7.70	cm	$A_{smáx}$ =	7.70	cm
	a máx=	7.25	cm	a máx=	7.25	cm
	c máx=	8.53	cm	c máx=	8.53	cm
Momento resistente máx	$MuRmáx$ =	7.39	ton- m	$MuRmáx$ =	7.39	ton- m
Peralte efectivo a usar	d=	29	cm	d=	29	cm
ecuación cuadrática	w1=	1.64030 882		w1=	1.67203 305	
ecuación cuadrática	w2=	0.05460 644		w2=	0.02288 220	
cuantía de diseño	ρ_d =	0.00273 032		ρ_d =	0.00114 411	
	Asd=	1.98	cm ²	Asd=	0.83	cm ²

Limites Asd + 10%-5%	2.177	1.88		2.177	0.79	
cuantía mínima	$\rho_{min} =$	0.00276		$\rho_{min} =$	0.00276	
Área de acero mínimo	$A_{smin} =$	2.00	cm ²	$A_{smin} =$	2.00 cm ²	
Distribución de aceros						
	Asmín			Asmín		
cantidad	2			2		
tipo de varilla	Ø 3/8"			Ø 1/2"		
cantidad	2			2		
tipo de varilla	Ø 3/8"			Ø 3/8"		
área total de varillas	2.85			3.96		
verificaciones	OK			OK		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72: Diseño por Flexión de la viga VP 25x35 (eje 1, tramo C-D) del sistema de losa con viguetas vigacero

Diseño por flexión						
	$\mu_u =$	1.487	ton-m	$\mu_u =$	0.779	ton-m
Zona sísmica						
Cuantía balanceada	$\rho_b =$	0.02125		$\rho_b =$	0.02125	
Cuantía máxima	$\rho_{max} =$	0.01063	cm ²	$\rho_{max} =$	0.01063	cm ²
Área de acero máximo	$A_{smax} =$	7.70	cm	$A_{smax} =$	7.70	cm
	a máx=	7.25	cm	a máx=	7.25	cm
	c máx=	8.53	cm	c máx=	8.53	cm
Momento resistente máx	$\mu_{Rmax} =$	7.39	ton-m	$\mu_{Rmax} =$	7.39	ton-m
Peralte efectivo a usar	d=	29	cm	d=	29	cm
ecuación cuadrática	w1=	1.65662		w1=	1.67507	
ecuación cuadrática	w2=	0.03828		w2=	0.01983	
cuantía de diseño	$\rho_d =$	0.00191		$\rho_d =$	0.00099	
	Asd=	1.39	cm ²	Asd=	0.72	cm ²
Limites Asd + 10%-5%	1.527	1.32		1.527	0.68	

cuantía mínima	$\rho_{min} =$	0.00276		$\rho_{min} =$	0.00276	
Área de acero mínimo	$A_{smin} =$	2.00	cm ²	$A_{smin} =$	2.00	cm ²
Distribución de aceros						
	$A_{smín}$			$A_{smín}$		
cantidad	2			2		
tipo de varilla	Ø 3/8"			Ø 1/2"		
cantidad	2			2		
tipo de varilla	Ø 3/8"			Ø 3/8"		
área total de varillas	2.85			3.96		
verificaciones	OK			OK		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73: Diseño por Corte de la viga VP 25x35 (eje 1, tramo A-C) del sistema de losa con viguetas vigacero

Diseño por cortante						
Carga ultima	$W_u =$	0.25	ton/m	$\phi =$	0.75	
Esfuerzo ultimo	$V_u =$	2.46	ton	ancho	25	cm
Resistencia de concreto	$f'c =$	210	kg/c m ²	peralte	35	cm
Fluencia de acero	$f_y =$	420	kg/c m ²	d =	29	cm
	$L_n =$	3.6	m			
V_u a una distancia "d" de la cara del apoyo $V_u = V_u - W_u * d$				$V_u =$	2.39	ton
Resistencia en concreto				$\phi V_c =$	4.18	ton
Espaciamiento del estribo máximo				$S_{máx} =$	14.5	cm
Estribo en zona crítica				Ø 3/8"	10	cm
Resistencia en acero				Ø $V_s =$	13.02	ton
Resistencia nominal del hormigón armado				Ø $V_n =$	17.19	ton
Verificando si cumple espaciamiento asumido del estribo				Ø $V_n > \phi V_u$	ok	
Estribo en zona media asumimos				Ø 3/8"	15	cm
Espaciamiento máximo de estribos				$S_{máx} =$	14.5	

Espaciamiento definido	\emptyset 3/8"	15	cm
Cortantes resistentes de los refuerzos en las distancias			
Zona critica	S=	10	\emptyset Vs= 1.84
Zona media	S=	15	\emptyset Vs= 1.23
Zona no requerida	S=	20	\emptyset Vs= 0.61
Cantidad de estribos a usar			
estribos:		2	3
\emptyset 3/8"	@	0.05	0.10
		5	Resto
		0.15	0.20
			m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74: Diseño por Corte de la viga VP 25x35 (eje 1, tramo C-D) del sistema de losa con viguetas vigacero

Diseño por cortante			
Carga ultima	Wu=	0.50 ton/m	$\emptyset =$ 0.75
Esfuerzo ultimo	Vu=	1.56 ton	ancho b= 25 cm
Resistencia de concreto	f'c=	210 kg/cm ²	peralte h= 35 cm
Fluencia de acero	fy=	420 kg/cm ²	d= 29 cm
	Ln=	3.8 m	
Vu a una distancia "d" de la cara del apoyo Vu=Vu-Wu*d			Vu= 1.42 ton
Resistencia en concreto			\emptyset Vc= 4.18 ton
Espaciamiento del estribo máximo			S _{máx} = d/2 14.5 cm
Estribo en zona crítica			\emptyset 3/8" 10 cm
Resistencia en acero			\emptyset Vs= 13.02 ton
Resistencia nominal del hormigón armado			\emptyset Vn= 17.19 ton
Verificando si cumple espaciamento asumido del estribo			\emptyset Vn > \emptyset Vu ok
Estribo en zona media asumimos			\emptyset 3/8" 15 cm
Espaciamiento máximo de estribos			S _{máx} = 14.5

Espaciamiento definido			\emptyset 3/8"	15	cm
Cortantes resistentes de los refuerzos en las distancias					
Zona critica	S=	10	\emptyset Vs=	1.17	
Zona media	S=	15	\emptyset Vs=	0.78	
Zona no requerida	S=	20	\emptyset Vs=	0.39	
Cantidad de estribos a usar					
estribos:		2	5	6	Resto
\emptyset 3/8"	@	0.05	0.10	0.15	0.20 m

Fuente: Elaboración propia

Se desarrollaron las longitudes de corte teórico, las cuales están medidas hasta el eje de los elementos estructurales en los nudos, por lo que se restó la mitad del ancho de dichos elementos, para así obtener una longitud a la cara de la viga. Luego, para uniformizar las longitudes de corte en los bastones y cumplir con los requerimientos de la Norma E.060.

5.4.3. Columna

El diseño se realizó en la Columna 1 en el primer nivel, el cual se consideró el más crítico por tener los mayores valores de carga axial. La Columna 1, la cual era una columna lateral de sección 25x40 centímetros en dirección del eje x-x, con un $f'c$ de 210 kg/ cm² y f_y de 4200 kg/ cm².

El proceso de diseño y análisis por flexo compresión es iterativo, se debe tener en cuenta la cuantía mínima indicada en la Norma E.060, e ir buscando qué varillas utilizar.

El acero mínimo aplicable a una columna de sección 25x40 cm con una cuantía mínima del 1%, es de 10 cm², por lo que el refuerzo vertical quedó conformado por 4 \emptyset 5/8" y 2 \emptyset 1/2" ver Figura 37, llegando a un área de acero colocado de 10.45 cm², equivalente a una cuantía de acero de 1.045%.

Como la cuantía es muy próxima al valor del 1%, no se pudo optimizar en los pisos superiores, por lo que el diseño se realizó en el nivel 01, donde el elemento estructural recibía mayor carga axial.

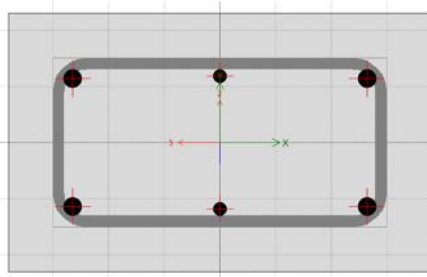


Figura 37: Distribución de varillas de acero vertical en la columna C1.

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

Se demostró la evaluación de la cantidad de varillas verticales considerada, para verificar el soporte de la máxima carga axial y los momentos actuantes en la columna.

Para la elaboración de los diagramas de interacción, se utilizó el programa ETABS 2018, que brindó los puntos límites de resistencia nominal para la columna C1. (ver Tabla 75 y Tabla 76).

Tabla 75: Diagrama de Interacción Momento M33

Puntos	M33			
	0°		180°	
	ϕP_n	ϕM_n	ϕP_n	ϕM_n
1	102.6764	0	102.6764	0
2	102.6764	1.7517	102.6764	-1.7517
3	92.4485	2.7921	92.4485	-2.7921
4	76.4398	3.4825	76.4398	-3.4825
5	57.104	3.8703	57.104	-3.8703
6	33.3624	4.0273	33.3624	-4.0273
7	26.1794	4.198	26.1794	-4.198
8	14.6282	4.082	14.6282	-4.082
9	-9.268	2.5628	-9.268	-2.5628
10	-28.2504	1.1373	-28.2504	-1.1373
11	-38.9567	0	-38.9567	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76: Diagrama de Interacción Momento M33

Puntos	M22
--------	-----

	90°		270°	
	ØPn	ØMn	ØPn	ØMn
1	102.6764	0	102.6764	0
2	102.6764	3.0105	102.6764	-3.0105
3	93.4997	4.653	93.4997	-4.653
4	78.4042	5.9403	78.4042	-5.9403
5	61.8383	6.8673	61.8383	-6.8673
6	42.8806	7.5514	42.8806	-7.5514
7	36.0371	8.194	36.0371	-8.194
8	22.8543	8.4483	22.8543	-8.4483
9	4.9089	6.4029	4.9089	-6.4029
10	-23.2535	2.5738	-23.2535	-2.5738
11	-38.9567	0	-38.9567	0

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la Tabla 77, se mostraron los resultados de la demanda en la columna C1 en el nivel 01 y en la Tabla 78, se mostraron los resultados de las combinaciones de diseño que establece la norma E.060, para el diseño en concreto armado.

Tabla 77: Resultados de la demanda en la Columna C1

	P	V2	V3	T	M2	M3
C1 CM	6.7746	-0.0404	0.0451	0.0006	0.0378	-0.0383
C1 CV	2.6945	-0.0258	-0.0138	0.0006	-0.008	-0.0235
C1 SXMAX	7.9724	0.078	-0.9546	-0.0015	-1.5692	0.0384
C1 SYMAX	9.3133	0.4355	0.1213	-0.0134	0.2912	0.5897

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78: Combinaciones de Diseño, según la Norma E.060

Combinaciones	Pu	M2	M3	V2	V3
1.4CM+1.7CV	18.6493	-0.033	-0.1358	-0.149	-0.0629
1.25(CM+CV)+SX	7.9606	-1.5963	-0.0767	-0.0482	-1.0069
1.25(CM+CV)-SX	23.9054	1.5421	-0.1535	-0.2041	0.9023
0.9CM+SX	1.0863	-1.5809	-0.0236	0.0101	-0.9794
0.9CM-SX	17.0311	1.5576	-0.1004	-0.1459	0.9298
1.25(CM+CV)+SY	6.6197	0.2641	0.4747	0.3093	0.0691
1.25(CM+CV)-SY	25.2462	-0.3183	-0.7048	-0.5617	-0.1736

0.9CM+SY	0.2545	0.2795	0.5278	0.3676	0.0965
0.9CM-SY	18.372	-0.3028	-0.6517	-0.5034	-0.1462

Fuente: Elaboración propia

De los resultados anteriores, obtuvimos los diagramas de interacción para los ejes X e Y, observándose en los diagramas de interacción, las combinaciones P-M caían dentro del diagrama, por lo que se concluyó que el diseño de la columna era correcto. (ver Figura 38, Figura 39, Figura 40 Y Figura 41)

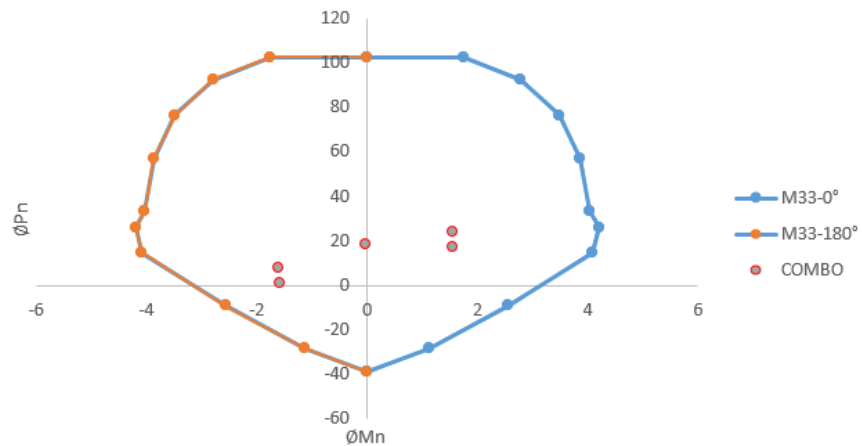


Figura 38: Diagrama de Interacción C1, con el momento M33 en el eje X-X

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

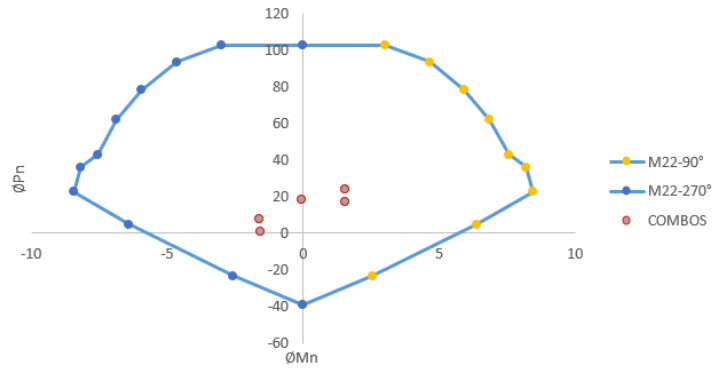


Figura 39: Diagrama de Interacción C1, con el momento M22 en el eje X-X

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

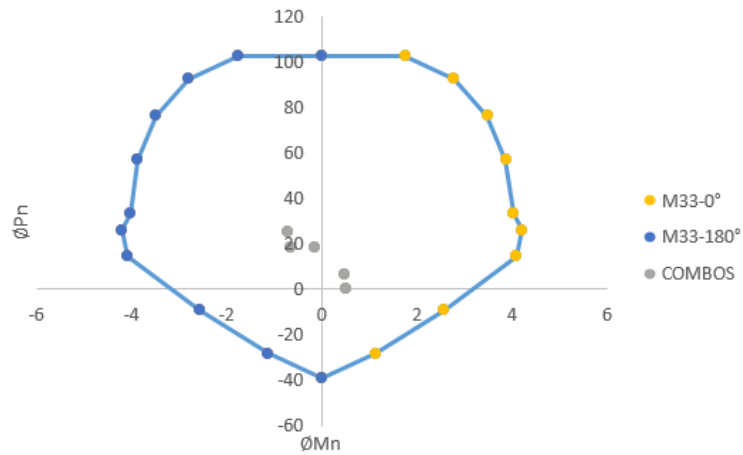


Figura 40: Diagrama de Interacción C1, con el momento M33 en el eje Y-Y

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

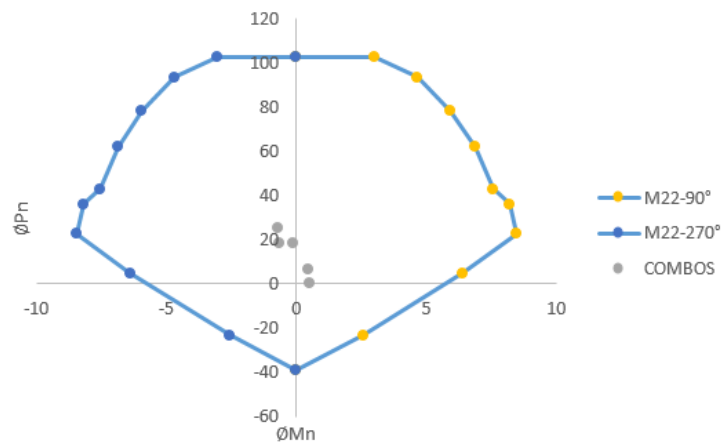


Figura 41: Diagrama de Interacción C1, con el momento M33 en el eje Y-Y

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

Para el diseño por corte, la norma técnica E.060 indica que en ambos extremos del elemento debe proporcionarse estribos cerrados de confinamiento con un espaciamiento S_o por una longitud L_o medida desde la cara del nudo. Los estribos serán como mínimo de 8mm de diámetro para barras longitudinales de hasta 5/8" de diámetro, de 3/8" para barras longitudinales de hasta 1" de diámetro y de 1/2" para barras longitudinales de mayor diámetro. (MVCS, 2009, pág. 170)

La Longitud de confinamiento L_o se obtuvo del mayor valor de:

$$\frac{h}{6} = \frac{280-20}{6} = 43.33 \text{ cm}$$

Valor máximo (b, h) = 40 cm

50 cm

Por lo tanto, $L_o = 50$ cm.

El espaciamiento S_o , en la zona de confinamiento se obtuvo del menor valor de lo siguiente:

$$8 \times 2 \times 0.95 = 15.2 \text{ cm}$$

$$\frac{25}{2} = 12.5 \text{ cm}$$

10 cm

Por lo tanto, $S_o = 15$ cm.

A continuación, se presentó la verificación de la resistencia del refuerzo colocado al cortante, con lo establecido en la Norma E-060.

De la Tabla 77, se obtuvo el mayor valor de la cortante amplificada.

$$V_u \text{ máx} = 0.9298 \text{ ton}$$

La resistencia nominal al cortante, V_c , para el elemento sometido a compresión axial, se calculó mediante la siguiente expresión.

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} \left(1 + \frac{Nu}{140 Ag} \right) b_w d$$

Donde:

Nu : Carga axial última

Ag : Área bruta de la sección

bw : Ancho de la columna (cm)

d : Peralte efectivo (cm)

$$V_c = 0.53\sqrt{210} \left(1 + \frac{6.7746}{140 * 40 * 25} \right) 40 * 19$$

$$V_c = 6119.585 \text{ kg} = 6.12 \text{ ton}$$

En el acápite 11.5.7.2 de la Norma E.060, la resistencia nominal al cortante proporcionado por el refuerzo, viene dado por la siguiente ecuación (MVCS, 2009):

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

Donde:

A_v : Área de refuerzo para cortante dentro del espaciamiento S

S : Espaciamiento entre estribos

$$V_s = \frac{0.71 * 4200 * 19}{15}$$

$$V_s = 3777.2 \text{ kg} = 3.78 \text{ ton}$$

En la norma técnica E.060 indica que, “ V_u es la fuerza cortante amplificada en la sección considerada y V_n es la resistencia nominal al cortante calculada mediante” (MVCS, 2009, p. 87):

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_n = 3.78 + 6.12 = 9.897 \text{ ton}$$

$$\phi V_n = 0.85 * 9.897 = 8.412 \text{ ton}$$

Donde:

ϕ : 0.85

Por último, se verificó que cumpla con la condición de diseño por corte.

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$8.412 \text{ ton} \geq 0.9298 \text{ ton}$$

Como cumplió la condición anterior, el refuerzo por corte para la columna C1 se realizó la distribución de estribos. (ver Figura 42)

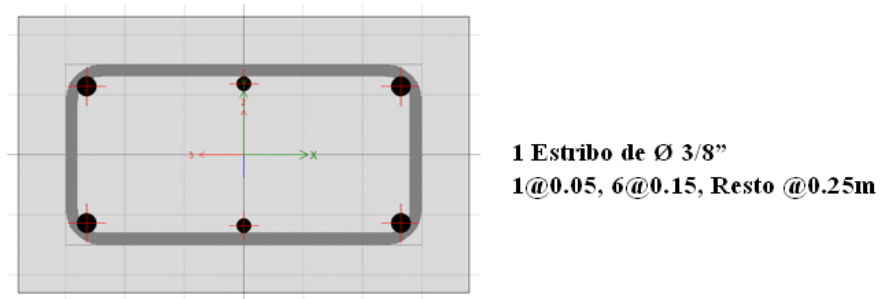


Figura 42: Distribución de estribos de refuerzo en la columna C1.

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

5.4.4. Para losa aligerada convencional

Para el diseño de la losa aligerada convencional, se usó una hoja de cálculo empleando los parámetros de diseño de la norma E.060. Se seleccionaron 4 paños de losa para el diseño. (ver Figura 43)

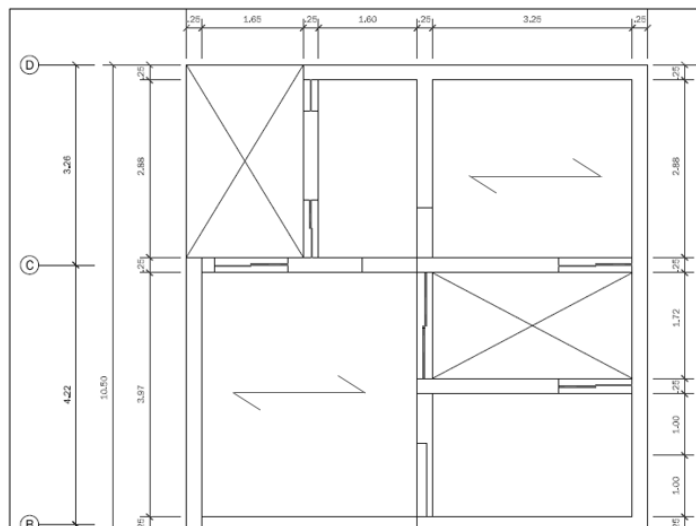


Figura 43: Vista en planta de losas a diseñar.

Fuente: Elaboración propia empleando el software AutoCAD 2019

Entre las propiedades más resaltantes para el diseño se encuentran:

$$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$Fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$SC = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$P. \text{ Acabados} = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$$P. \text{ Tabiquería} = 100 \text{ kg/cm}^2$$

Para el predimensionamiento de la losa se consideró la mayor luz existente en los paños y se dividió entre 25, siendo esta luz de 3.60 metros. El cálculo sugiere una losa de 17 centímetros; sin embargo, para respetar la arquitectura planteada se opta por una losa de 20 centímetros de espesor con ladrillo de 30x30x15 centímetros y losa de concreto de 5 centímetros.

$$H = \frac{3.60 \text{ m}}{25} \cong 0.144 \text{ m}$$

$$H \cong 0.17 \text{ m}$$

$$H = 0.20 \text{ m}$$

Se calculó el metrado de cargas de la losa aligerada en la Tabla 79.

Tabla 79: Metrado de carga muerta y viva de la sección compuesta

Metrado de cargas		
Altura de la losa =	0.20	m
Sobrecarga =	300	kg/m ²
Peso de acabados =	100	kg/m ²
Peso de tabiquería =	100	kg/m ²
Peso de la losa =	300	kg/m ²
Cargas muertas		
WD =	500.00	kg/m ²
Cargas vivas		
WL =	300	kg/m ²
WU = 1.4 WD + 1.7 WL	1210.00	kg/m ²

Fuente: Elaboración propia

Se calculó la carga última por vigueta, WU vigueta se representa a continuación. (ver Figura 44)

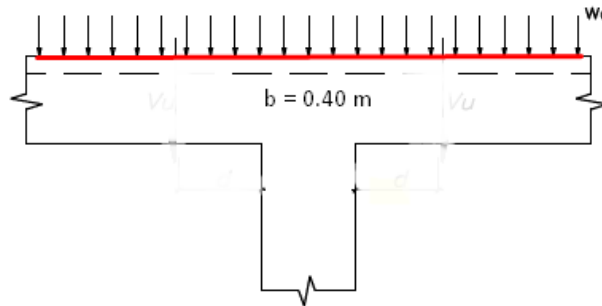


Figura 44: Esquema de Wu sobre vigueta

Fuente: Adaptado de la norma E. 060 Concreto Armado

$$WU \text{ vigueta} = WU * b$$

$$WU \text{ vigueta} = 1210 \text{ kg/m}^2 * 0.4 \text{ m} = 484 \text{ kg/m} = 0.484 \text{ Tn/m}$$

Luego se calcularon los momentos máximos usando método simplificado de los coeficientes. (ver Figura 45)

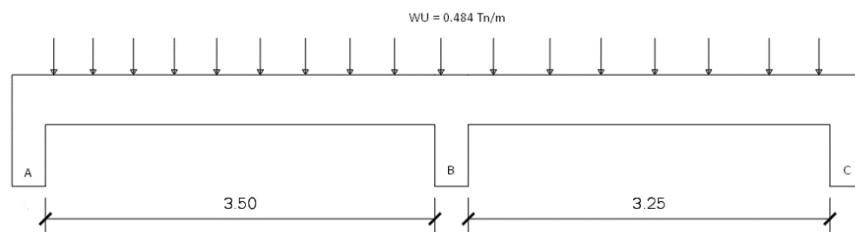


Figura 45: Esquema de Wu sobre vigueta a lo largo de la losa

Fuente: Elaboración propia empleando el software AutoCAD 2019

$$MA = \frac{1}{24} * WUv * L^2 = \frac{1}{24} * 0.484 * 3.5^2 = 0.247 \text{ Tn.m}$$

$$MB = \frac{1}{9} * WUv * L^2 = \frac{1}{9} * 0.484 * 3.38^2 = 0.613 \text{ Tn.m}$$

$$MC = \frac{1}{24} * WUv * L^2 = \frac{1}{24} * 0.484 * 3.25^2 = 0.213 \text{ Tn.m}$$

$$MAB = \frac{1}{14} * WUv * L^2 = \frac{1}{14} * 0.484 * 3.5^2 = 0.424 \text{ Tn.m}$$

$$MBC = \frac{1}{14} * WUv * L^2 = \frac{1}{14} * 0.484 * 3.25^2 = 0.365 \text{ Tn. m}$$

- Cálculo del refuerzo necesario

Una vez obtenidos los momentos, se procedió a calcular la cuantía mecánica con la siguiente expresión.

$$0.59 * w^2 - w + \frac{Mu}{\phi * f'c * bw * d^2} = 0$$

Donde:

ϕ : Factor de reducción de resistencia = 0.90

w: Cuantía mecánica de acero

Mu: Momento máximo (kg*cm)

f'c: Resistencia del concreto (kg/cm²)

bw: Ancho de la vigueta (cm)

d: Peralte efectivo (cm)

Luego se calculó la cuantía de diseño de acuerdo a la norma E.060 (MVCS, 2009).

$$\rho = w * \frac{f'c}{fy}$$

Se usó la siguiente fórmula del área de acero para no realizar el método del tanteo con a=d/5.

$$As = \frac{0.85 * f'c * b * d}{fy} - \sqrt{\frac{1.7 * f'c * b}{fy^2} * \left(\frac{0.85 * f'c * b * d^2}{2} - \frac{Mu}{\phi} \right)}$$

Según el acápite 9.7.2, de la Norma E.060, la armadura por retracción y temperatura en losas, para barras corrugadas con $fy \geq 4200 \text{ kg/cm}^2$, deberá proporcionar una relación mínima de área de la armadura a área de la sección total de concreto de 0.0018, por lo tanto, el área de acero mínimo se estimaría de la siguiente manera (MVCS, 2009):

$$As_{min} = 0.0018 * b * d$$

Una vez obtenida las áreas de acero, se seleccionaron las secciones mayores y se determinaron las varillas de acero adecuadas. (ver Figura 46)

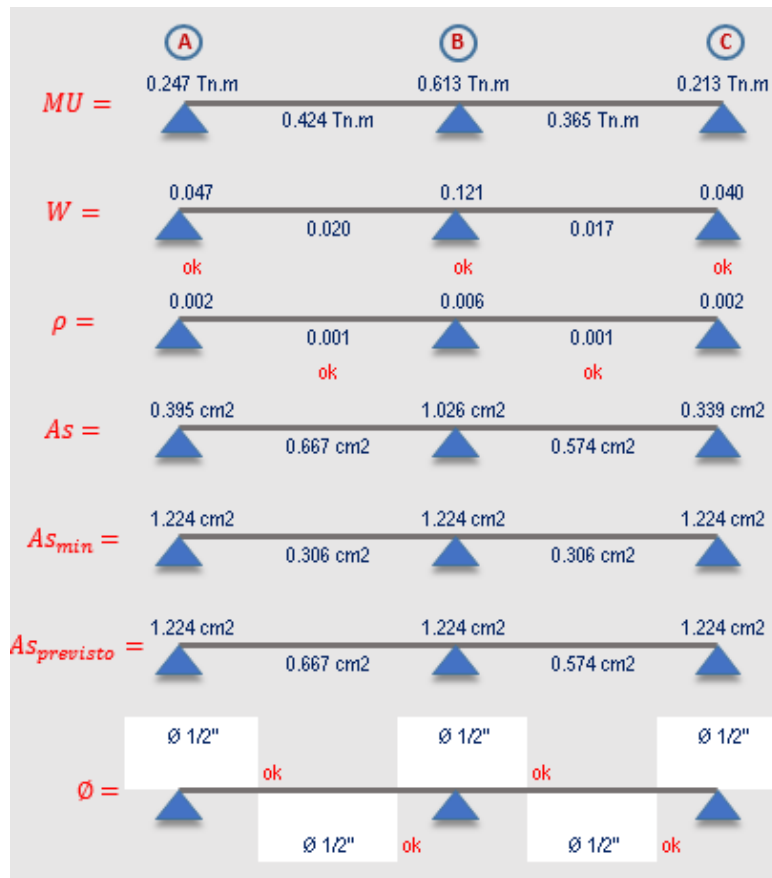


Figura 46: Cálculo de acero negativo y positivo para losa aligerada convencional

Fuente: Elaboración propia

- Cálculo del refuerzo por temperatura

Se determinó el área de acero mínimo para un ancho de $b=1m$.

$$As_{min} = 0.0018 * b * h = 0.0018 * 100 * 5 = 0.90cm^2$$

Considerando siempre $\phi 1/4$, se calculó el número de barras y espaciamiento de acuerdo a norma E.060.

$$\#Barras = \frac{As_{min}}{As_b} = \frac{0.9}{0.32} = 3 \phi 1/4$$

$$S\phi = \frac{b}{\#Barras} = \frac{100}{3} = 33cm$$

$$S_{max} = 5 * h = 5 * 5 = 25cm$$

La distribución del acero de tempera fue de $\phi 1/4 @ 25cm$.

Se mostró detalle de armadura en losa aligerada convencional. (ver Figura 47 y Figura 48)

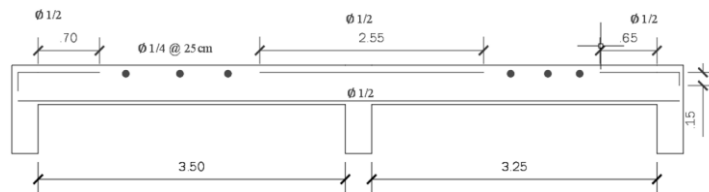


Figura 47: Detalle de armadura de losa aligerada vista de perfil

Fuente: Elaboración propia empleando el software AutoCAD 2019

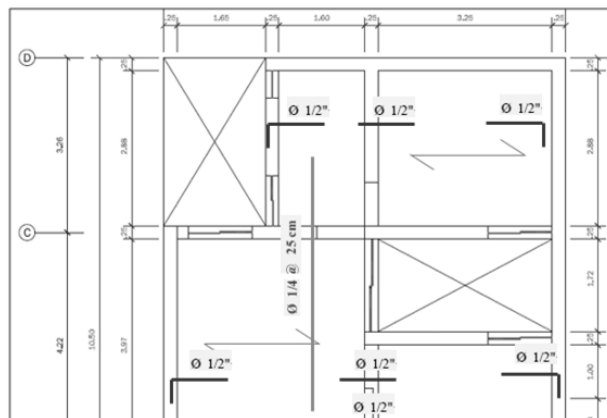


Figura 48: Detalle de armadura de losa aligerada vista en planta

Fuente: Elaboración propia empleando el software AutoCAD 2019

5.4.5. Para losa aligerada vigacero

Para el diseño de las viguetas vigacero, se usó el software ETABS 2018 v.18.1.1, para el modelamiento se consideró un elemento tipo *frame* cuya sección asignada fue una viga tipo T de concreto armado. Se consideró un espaciamiento de entre viguetas de 84 centímetros. (ver Figura 49)

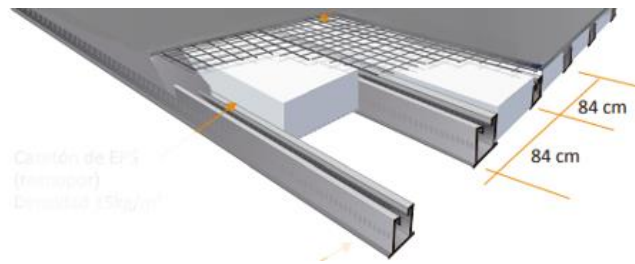


Figura 49: Detalle de losa aligerada con sistema vigacero

Fuente: Manual técnico vigacero, Arcotecho (2017)

Para este análisis se diseñaron tres tramos de viguetas T simplemente apoyadas que presentaban dimensiones desde 1.85 metros hasta 3.60 metros. (ver Figura 50)

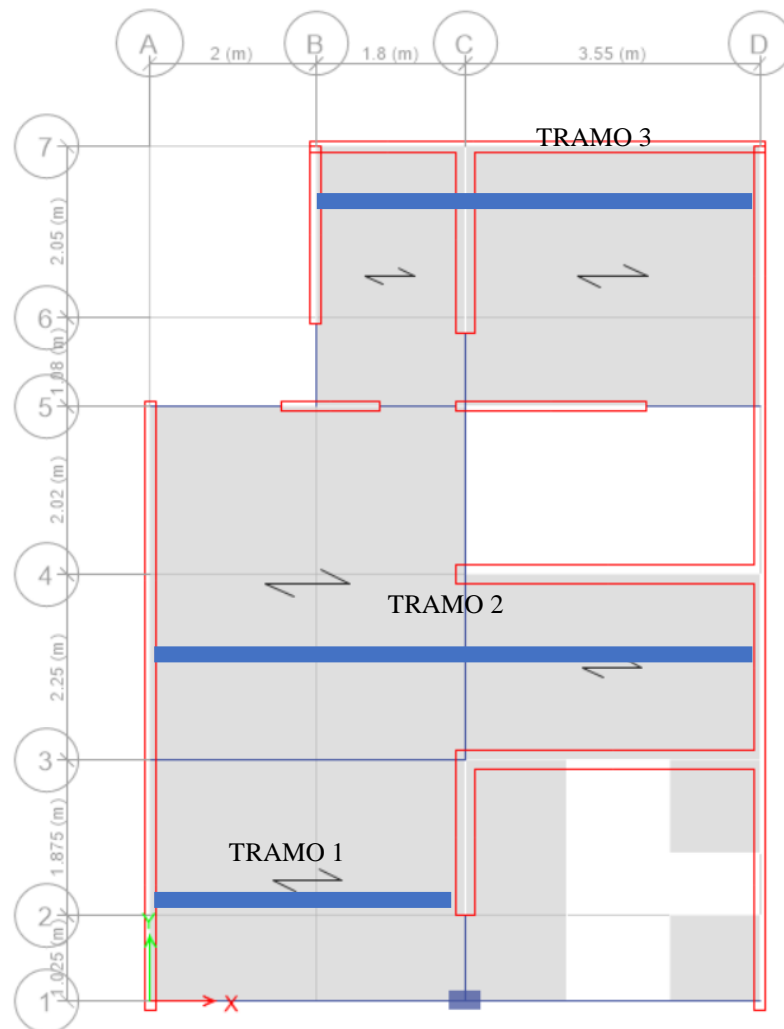


Figura 50: Esquema de ubicación de viguetas analizadas

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

En el acápite 5.2.4, se determinó el espesor total de la losa aligerada con viguetas prefabricadas, se señaló que el espesor de la misma sería 20 centímetros. Para la creación del modelo se consideró un peralte total de 20 centímetros, un ancho total del ala de 84 centímetros con 5 centímetros de espesor, y para el alma, se consideró un espesor de 8 centímetros. (ver Figura 51)

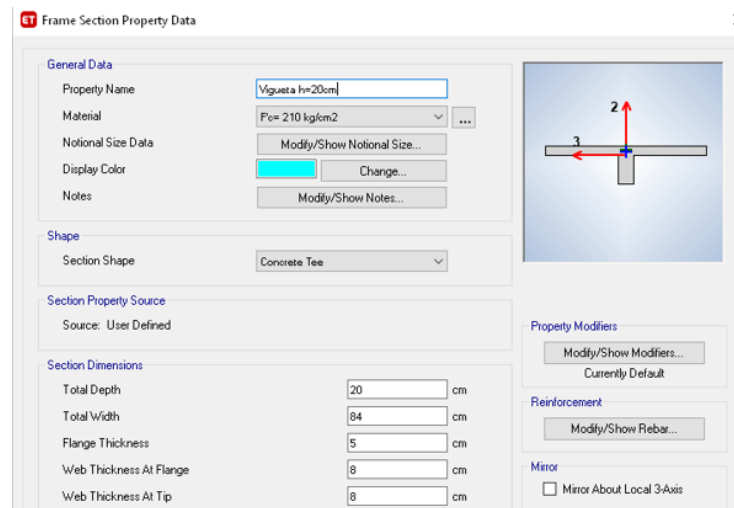


Figura 51: Definición de elemento en software ETABS 2018

Fuente: Elaboración propia empleando software ETABS 2018

Se diseñaron 3 tramos de las viguetas simplemente apoyadas. (ver Figura 52)

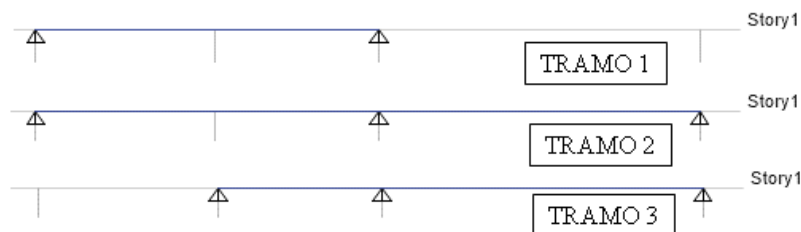


Figura 52: Diseño de Viga T en dirección XX en el software ETABS 2018

Fuente: Elaboración propia empleando el software ETABS 2018

- Metrado de cargas

Se realizó el metrado de cargas para esta losa con la finalidad de obtener la carga muerta, carga viva y la combinación de diseño, los cuales se ingresaron al programa ETABS 2018.

- Sobrecarga y ancho tributario o efectivo

Se utilizó la sobrecarga para vivienda de 200 kgf/m². Se consideró un ancho tributario de 0.84 m. el cuál es el ancho o porción de losa sobre el alma en donde se repartirán las cargas para el análisis y diseño de los refuerzos.

MVCS (2009) indica según la norma E060 en el acápite 8.10.2 que:

El ancho efectivo de la losa usada como ala de las vigas t no debe exceder de la cuarta parte de la luz libre de la viga, y el ancho sobresaliente efectivo del ala a cada lado del alma no debe exceder de:

Ocho veces el espesor de losa

La mitad de la distancia libre de la siguiente alma. (p.63)

Se pudo verificar que el ancho tributario escogido es correcto según el siguiente análisis:

Ancho sobresaliente efectivo del ala a cada lado del alma = $(84-8)/2=38$ cm

8 veces el espesor de losa = $8*5= 40$ cm

La mitad de la distancia libre de la siguiente alma = $84/2= 42$ cm

- Peso propio de la losa

Se calculó el peso de la losa, vigueta vigacero y casetón EPS según los datos de cada elemento proporcionado por el fabricante en la Tabla 1 y Tabla 2. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 80.

Tabla 80: Cálculo del peso total de la sección compuesta

Cálculo del peso total de la sección compuesta			
1. Volumen de nervadura	0.08x0.15x1	0.012	m ³ /m ²
2. Volumen de losa superior	0.05x1x1	0.05	m ³ /m ²
3. Peso losa superior	0.05x2400	120	kg
4. Peso nervadura	0.08x0.20x1x2400	38.4	kg
5. Volumen total	0.012+0.05	0.062	m ³ /m ²
6. Peso total concreto	0.062x2400	148.8	kg/m ²
7. Peso de vigueta VIGACERO	4.8	4.8	kg/m

8. Densidad del casetón EPS	15	15	kg/m ³
9. Volumen de casetón	0.75x0.15x1	0.113	m ³ /m ²
10. Peso de casetón h=15cm	0.75x0.15x1x15	1.69	kg/m ²
Peso total de la sección compuesta	148.8+4.8+1.69	155.29	kg/m ²

Fuente: Elaboración propia

- Cálculo de las cargas uniformemente repartidas

El cálculo de las cargas uniformemente repartidas que se asignaron sobre la vigueta se realizó multiplicando los pesos por unidad de área con el ancho tributario de la vigueta. Se realizaron los cálculos para el caso de carga muerta y carga viva. Los resultados se mostraron en la Tabla 81.

Peso de la losa por unidad de longitud:

$$P.\text{losa (kgm)} = P.\text{total de losa} \times \text{Ancho tributario}$$

$$P.\text{losa (kgm)} = 155.29 * 0.84 = 130.44 \text{ kg/m}$$

Tabla 81: Metrado de carga muerta y viva de la sección compuesta

Metrado de cargas		
Altura de la losa =	0.20	m
Sobrecarga =	200	kg/m ²
Ancho tributario =	0.84	m
Peso de acabados =	100	kg/m ²
Peso de tabiquería =	100	kg/m ²
Peso de la losa =	155.29	kg/m ²
Cargas muertas		
Peso de la losa =	130.44	kg/m
Peso de tabiquería =	84	kg/m
Peso de acabados =	84	kg/m
WD =	298.44	kg/m
Cargas vivas		
Sobrecarga =	168	kg/m
WL =	168	kg/m
WU = 1.4 WD + 1.7 WL	703.42	kg/m

Fuente: Elaboración propia

- Asignación de carga muerta y viva

Luego de crear las secciones idealizadas en el programa, se asignaron las cargas obtenidas de los metrados anteriores. (ver Figura 53 y Figura 54)

Carga muerta distribuida (WD) = 298.44 Kgf/m

Carga viva distribuida (WL) = 168 kgf/m

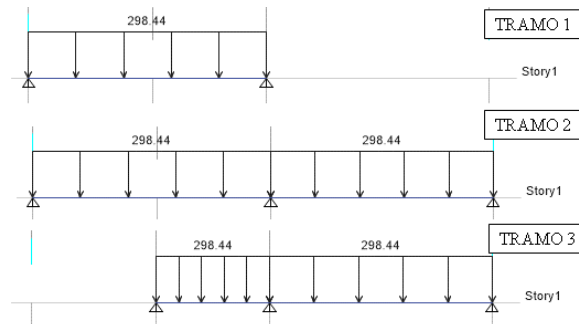


Figura 53: Asignación de carga muerta distribuida (WD) - (kg/m)

Fuente: Elaboración propia empleando el software ETABS 2018

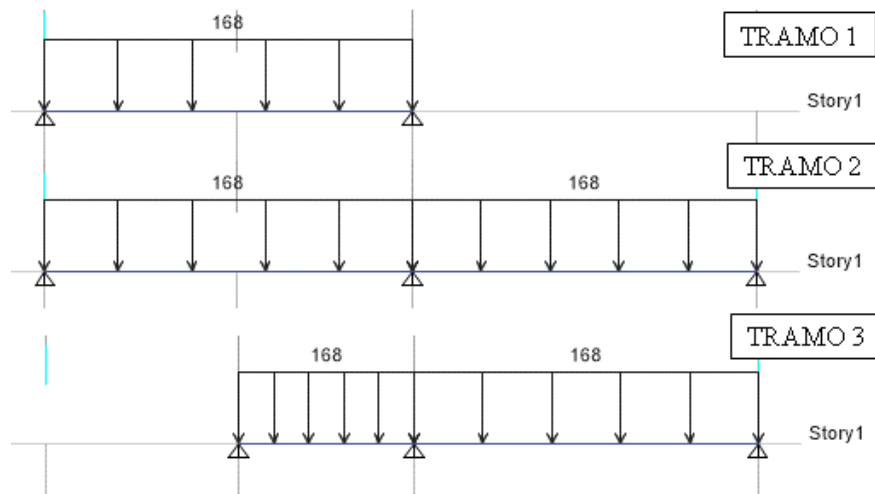


Figura 54: Asignación de carga viva distribuida (WL) - (kg/m)

Fuente: Elaboración propia empleando el software ETABS 2018

Luego de asignar las cargas se crearon la combinación de servicio, combinación de diseño y la envolvente, la cual incluye todas las combinaciones para cada estado de carga.

Combinación de servicio = CM + CV

Combinación de diseño = 1.4 CM + 1.7 CV

Donde:

CM: Carga muerta

CV: Carga viva

Control de deflexiones

De acuerdo a la Tabla 82, el peralte mínimo de la losa aligerada para no calcular las deflexiones según la norma E.060 resulta 19 cm ($h_{min}=l/18.5 = 3.5/18.5=19$ cm). La losa aligerada diseñada tiene un peralte de 20 cm, por lo tanto, se calculó la deflexión y se verificó con los valores máximos de la norma E.060, de acuerdo a la

Tabla 83.

Tabla 82: Peraltes o espesores mínimos de losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen deflexiones.

Elementos	Espesor o peralte mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Elementos no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.				
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18,5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Fuente: Adaptado de la norma E. 060 Concreto Armado

Tabla 83: Deflexiones máximas admisibles

Tipo de elemento	Deflexión considerada	Límite de deflexión
Techos planos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	Deflexión inmediata debida a la carga viva	L/180
Pisos que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	Deflexión inmediata debida a la carga viva	L/360
Pisos o techos que soporten o estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional)	L/480
Pisos o techos que soporten o estén ligados a elementos no estructurales no susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional	L/240

Fuente: Adaptado de la norma E. 060 Concreto Armado

La expresión general para la deflexión máxima Δ_{max} en un miembro elástico, se puede expresar a partir de los principios básicos de la mecánica como:

$$\Delta_{max} = \frac{5 w l^4}{384 E I}$$

Donde:

L: Luz libre de análisis

Ec: Módulo de elasticidad del concreto

I: Momento de inercia

W: Carga viva distribuida

Se analizó el paño más largo de los tramos diseñados y con un extremo continuo bajo condiciones de servicios según el acápite 9.6.1 de la norma E.060.

$$L = 350 \text{ cm}$$

$$E_c = 217370.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$I = 12500 \text{ cm}^4$$

$$W = 1.68 \text{ kg/cm}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5 w l^4}{384 E I}$$

$$\Delta_{\max} = \frac{5 * 350 * 1.68^4}{384 * 217370.65 * 12500} = 0.12 \text{ cm}$$

De acuerdo a la tabla 33, la deflexión máxima admisible para nuestro caso es:

$$\Delta_{\text{adm}} = \frac{l}{360} = \frac{350}{360} = 0.97 \text{ cm}$$

Se verificó que los resultados obtenidos para la vigueta analizada cumplen con los requerimientos de deflexión.

- Diseño por flexión

Identificación de momentos flectores (kgf-m) en el software ETABS 2018: Del diagrama de momentos flectores se obtuvo los momentos flectores máximos positivos y negativos los cuales fueron transformados a cuantía de acero requerida. En la Figura 55 se mostró el diagrama de momentos flectores producto de la envolvente y el resumen de los resultados en la Tabla 84.

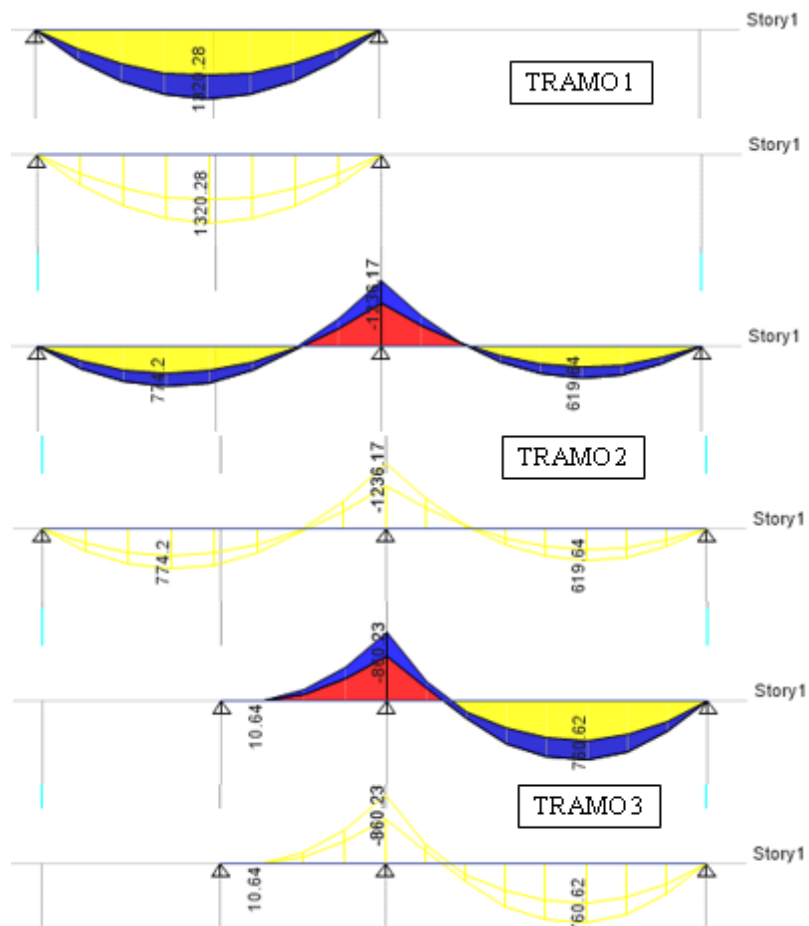


Figura 55: Asignación de carga viva distribuida (WD) - (kg/m)

Fuente: Elaboración propia empleando el software ETABS 2018

Tabla 84: Máximos momentos flectores positivos y negativos producidos en los 3 tramos

Tramo 1	A	B	
Envolvente kgf-m	0 1320.28	0	
Tramo 2	A	B	C
Envolvente kgf-m	0 774.2	-1236.17 619.64	0
Tramo 3	A	B	C
Envolvente kgf-m	0 10.64	-860.23 760.62	0

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra las áreas de las secciones de acero requeridas.
(ver Figura 56)

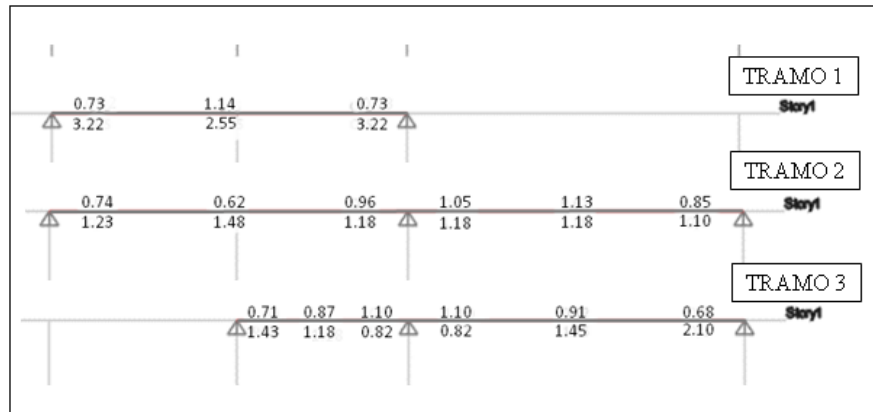


Figura 56: Secciones de acero

Fuente: Elaboración propia empleando el software ETABS 2018

Resultados para el acero negativo: De acuerdo al análisis se propuso los diámetros de acero para cada tramo como se muestra en la Tabla 85.

Tabla 85: Diseño del refuerzo para momentos flectores negativos en los 3 tramos.

Tramo 1	Tramo A-B					
	Mizq.	Mpos.	Mder.			
Cuantía req. (cm2)	0.73	1.14	0.73			
Colocado (cm2)	1.29	1.29	1.29			
Colocado	1/2	1/2	1/2			
Tramo 2	Tramo A-B			Tramo B-C		
	Mizq.	Mpos.	Mder.	Mizq.	Mpos.	Mder.
Cuantía req. (cm2)	0.74	0.62	0.95	1.05	1.13	0.85
Colocado (cm2)	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
Colocado	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2
Tramo 3	Tramo A-B			Tramo B-C		
	Mizq.	Mpos.	Mder.	Mizq.	Mpos.	Mder.
Cuantía req. (cm2)	0.71	0.87	1.10	1.10	0.91	0.68
Colocado (cm2)	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
Colocado	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2

Fuente: Elaboración propia

Resultados para el acero positivo: De acuerdo al análisis se observó en la Tabla 86 que ningún tramo requiere una cuantía de acero superior a la colocada.

Tabla 86: Diseño del refuerzo para momentos flectores negativos en los 3 tramos.

Tramo 1	Tramo A-B					
	Mizq.	Mpos.	Mder.			
Cuantía req. (cm ²)	0.73	1.14	0.73			
Colocado (cm ²)	6					
Colocado	vigüeta vigacero					
Tramo 2	Tramo A-B			Tramo B-C		
	Mizq.	Mpos.	Mder.	Mizq.	Mpos.	Mder.
Cuantía req. (cm ²)	0.74	0.62	0.95	1.05	1.13	0.85
Colocado (cm ²)	6					
Colocado	vigüeta vigacero					
Tramo 3	Tramo A-B			Tramo B-C		
	Mizq.	Mpos.	Mder.	Mizq.	Mpos.	Mder.
Cuantía req. (cm ²)	0.71	0.87	1.10	1.10	0.91	0.68
Colocado (cm ²)	6					
Colocado	vigüeta vigacero					

Fuente: Elaboración propia

- Diseño por corte

Del programa se obtuvo el diagrama de fuerzas cortantes, del cual se obtuvieron las fuerzas cortantes últimas V_u en la sección crítica. Las fuerzas cortantes últimas V_u , deben ser menor que la capacidad de resistencia al corte de la vigüeta ϕV_c .

La fuerza cortante V_u se calculó a una distancia d de la cara del apoyo. Según se muestra en la Figura 57.

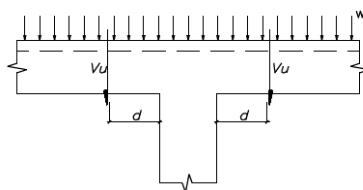


Figura 57: Esquema de peralte efectivo en viga T

Fuente: Adaptado de la norma E. 060 Concreto Armado

$d = \text{Peralte efectivo} = \text{Peralte total} - \text{recubrimiento} = 20 - 3 = 17 \text{ cm.}$

Según el acápite 11.1.3.1 de la norma técnica E.060, “para elementos no pre esforzados, se permite diseñar las secciones para la cortante V_u calculada a la distancia d de la cara del apoyo” (MVCS, 2009):

Para elementos sometidos a flexión y corte, V_c se calculó con la siguiente ecuación (MVCS, 2009):

$$V_c = 0.53 \sqrt{f_c} b_w d$$

De la ecuación anterior se obtuvo ϕV_c :

$$\phi V_c = \phi 0.53 \sqrt{f_c} b_w d$$

$$\phi V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{210} * 8 * 17 = 887.86 \text{ kgf}$$

Se debe cumplir:

$$V_u < \phi V_c$$

Se muestra el diagrama de fuerzas cortantes. (ver Figura 58)

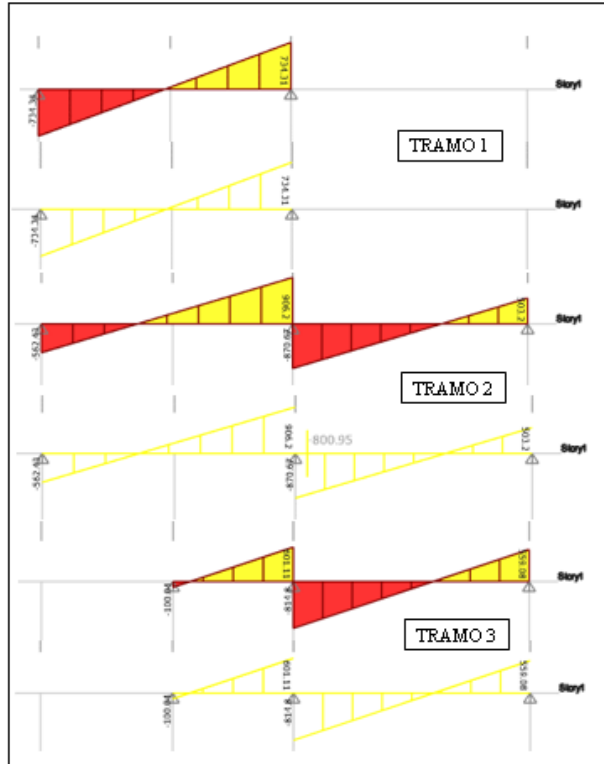


Figura 58: Diagrama de fuerza cortante en los 3 tramos.

Fuente: Elaboración propia empleando el software ETABS 2018

- Presentación de resultados al cortante

Como se observó en la Tabla 87 todos los esfuerzos cortantes cumplieron con la verificación al corte ($V_u < \phi V_c$).

Tabla 87: Verificación de resistencia al cortante

Tramo 1	Tramo A-B	
	Vizq.	Vder.
Vu (kg-f)	-669.88	669.88
Absoluto	669.88	669.88
Cumple?	Si Cumple	Si Cumple

Tramo 2	Tramo A-B		Tramo B-C	
	Vizq.	Vder.	Vizq.	Vder.
Vu (kg-f)	-498.00	841.77	-806.24	455.05
Absoluto	498.00	841.77	806.24	455.05
Cumple?	Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple

Tramo 3	Tramo A-B		Tramo B-C	
	Vizq.	Vder.	Vizq.	Vder.
Vu (kg-f)	-35.61	544.16	-750.37	522.30
Absoluto	35.61	544.16	750.37	522.30
Cumple?	Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple	Si Cumple

Fuente: Elaboración propia

Se mostraron los esquemas de armado de las viguetas en la losa aligerada de viguetas Vigacero. (ver Figura 59)

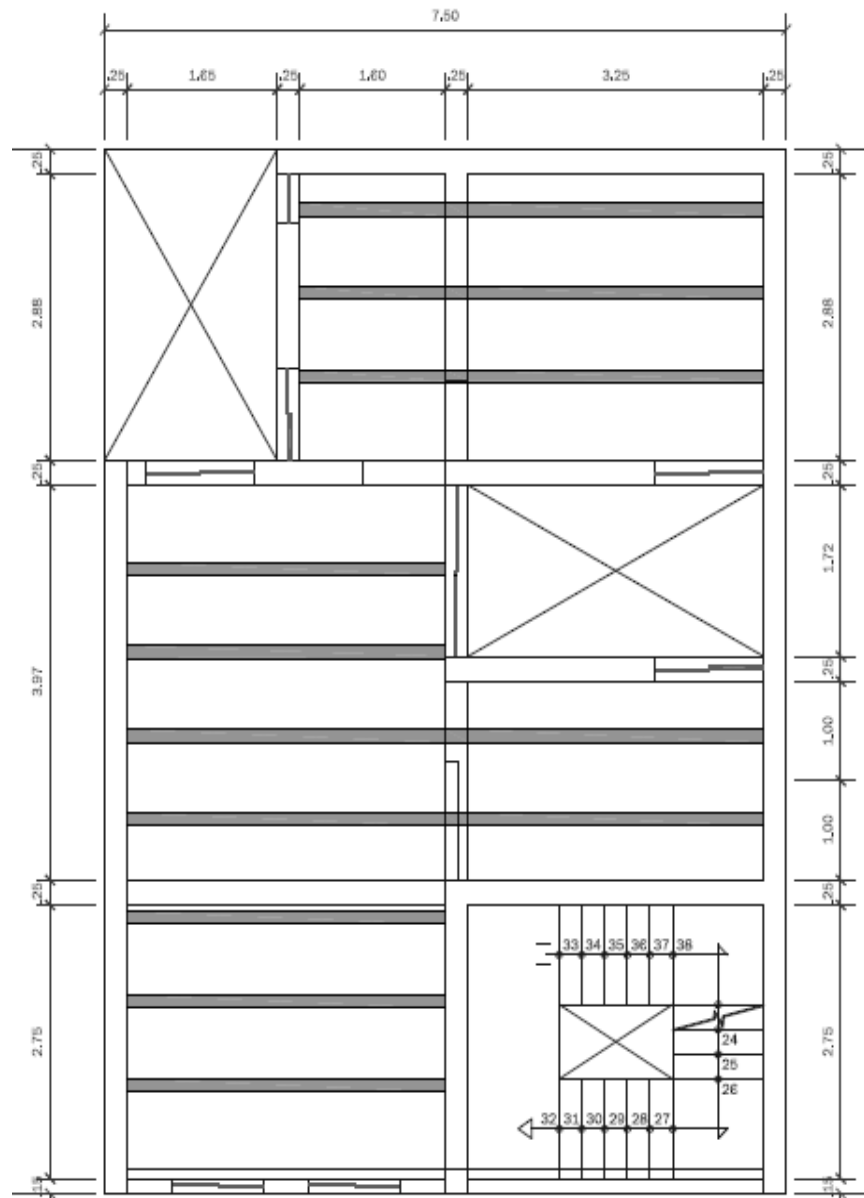


Figura 59: Esquema de distribución de viguetas vigacero

Fuente: Elaboración propia empleando el software AutoCAD 2019

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE SISTEMAS DE LOSA ALIGERADA

6.1. Análisis de sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero

6.1.1. Metrado de sistema de losa vigacero

- Encofrado y desencofrado de losa aligerada vigacero

En la Tabla 88 se mostró el cuadro resumen de encofrado de losa aligerada vigacero para la vivienda de 3 pisos más azotea.

Tabla 88: Cuadro resumen de encofrado de losa aligerada convencional para la vivienda progresiva de 3 pisos más azotea

Encofrado de losa aligerada vigacero			
Elemento	Unid	Cant	Sub total.
Losa h=20CM			
Nivel 01	m2	37.14	37.14
Nivel 02	m2	37.14	37.14
Nivel 03 + Azotea	m2	52.37	52.37
Total Encofrados (m2).			126.65

Fuente: Elaboración propia

- Perfiles de viguetas prefabricadas vigacero y casetones de poliestireno

En la Tabla 89 se planteó el resumen de metros lineales de viguetas vigacero y casetones de poliestireno.

Tabla 89: Cuadro resumen de los metros lineales de viguetas vigacero y cantidad de casetones de poliestireno

Metros lineales de vigueta vigacero y cantidad de casetones EPS		
Viguetas vigacero	ml	137.60
Casetones de Poliestireno 1.0x0.75x0.15m	und	184.00

Fuente: Elaboración propia

- Volumen de concreto premezclado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Se halló el volumen de concreto por metro cuadrado como se muestra en la Tabla 90.

Tabla 90: Volumen de concreto por m2 de losa aligerada vigacero

Consumo de concreto en Losa Vigacero (m3/m2)		
Nervadura	m3/m2	0.024
Losa de h = 0.05 m	m3/m2	0.050
Total	m3/m2	0.074

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 60, se presenta la sección transversal de la losa vigacero donde se aprecia el perfil de acero galvanizado vigacero ubicado en la vigueta.

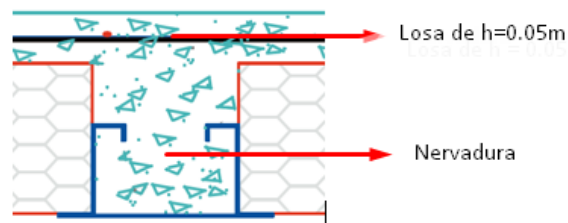


Figura 60: Sección transversal de vigueta vigacero

Fuente: Manual técnico vigacero, Arcotecho (2017)

Por lo tanto, el volumen total de concreto de losa aligerada con viguetas vigacero, ha sido hallado de la multiplicación del consumo de concreto/m2, por el área total de la losa, como se muestra en la Tabla 91.

Tabla 91: Volumen de concreto de losas con viguetas Vigacero

Volumen de concreto de losas con viguetas Vigacero			
	Área de losas (m2)	Consumo de concreto (m3/m2)	Volumen de concreto (5% desperdicio)
Nivel 1, 2, 3 y azotea	126.65	0.074	9.84

Fuente: Elaboración propia

- Acero de refuerzo f_y 4200 kg/cm²

Se mostró en la Tabla 92 el peso total del acero de refuerzo para la losa con viguetas Vigacero.

Tabla 92: Acero de Refuerzo en losas con viguetas Vigacero

Calculo de peso de acero				
Elemento	Ø	1/4	3/8	1/2
Losa h=20CM				
Acero				
Nivel 01 Y 02		747.69	-	51.58
Nivel 03		374.96	-	30.69
Azotea		77.55	-	7.16
Sub total		1200.195	0	89.43
	Peso por ml.	0.2207	0.56	0.9891
	sub total en Kg.	264.88304	0	88.455213
	Total Acero (Kg).	354		

Fuente: Elaboración propia

6.1.2. Análisis de costo unitario del sistema de losa vigacero

El análisis de costo unitario consistió en la descomposición de las partidas por unidad de medida identificando los insumos, materiales, equipos, maquinarias y mano de obra con sus respectivos rendimientos.

Para realizar el análisis comparativo del sistema de losa aligerada convencional y el sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero, se consideró las siguientes partidas:

- Concreto premezclado con bomba $f^c = 210$ kg/cm²
- Acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/cm²
- Ladrillo hueco de arcilla para techo 15x30x30 cm
- Casetón EPS 0.75x1.00x0.15 m
- Encofrado y desencofrado con puntales metálicos

Se está considerando concreto premezclado con bomba. Esto se debe a que, en la actualidad, se opta por este sistema frente a la preparación de concreto en obra, dado que, optimizan el tiempo, facilitan el trabajo y brindan mayor garantía en cuanto a la dosificación y posterior resistencia del concreto. Para la partida de acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/cm² se contempló el uso de marcas

y diámetros comerciales. En la partida de ladrillo hueco de arcilla para techo 15x30x30 cm, se contempló que la losa aligerada es en una dirección con una separación entre eje de viguetas de 40 centímetros. Para el caso de la partida casetón EPS 0.74x1.00x0.15 m, el sistema contempla una losa aligerada en una dirección con separación entre ejes de vigueta de 84 centímetros. Para la partida encofrado y desencofrado con puntales metálicos, se contempla el uso de puntales metálicos con soleras de madera de 1 ½". Asimismo, para su distribución se considera una línea de puntales ubicados a $L/2$ (ver Figura 61), este diseño se detalla en el manual técnico vigacero de la empresa Arcotecho S.A.C.

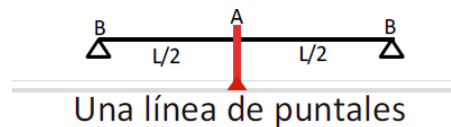


Figura 61: Esquema de distribución de puntales

Fuente: Manual técnico vigacero, Arcotecho (2017)

Los costos unitarios de la mano de obra empleados en este análisis, se obtuvieron a partir de la actualización de la tabla salarial del sindicato de trabajadores en construcción civil de Lima y balnearios, vigente desde el 01 de junio de 2021 hasta el 31 de mayo de 2022. (ver Anexo 6)

Para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación es necesario analizar dos casos de sistemas de losas aligeradas, uno considerando el sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero, y el otro, un sistema de losa aligerada convencional.

El sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero contempla dentro del análisis de sus partidas, las viguetas prefabricadas vigacero que reemplazan al acero de refuerzo positivo, el acero de refuerzo negativo, malla de temperatura, concreto premezclado más bomba con resistencia a la compresión de 210 kg/cm², casetones de poliestireno expandido y encofrados solo con puntales metálicos y soleras.

Se realizaron las tablas con los análisis de costo correspondiente a cada partida.

En la Tabla 93, se mostró el análisis de costo unitario de concreto premezclado con resistencia a la compresión de 210 kg/cm² de donde se obtuvo un costo por de 369.33 soles por metro cúbico.

Tabla 93: Análisis de costo unitario concreto premezclado con bomba f'c = 210 kg/cm²

Partida	01.01	Descripción: Concreto premezclado con bomba f'c = 210 kg/cm ²				
Rendimiento	Mano de obra	110	m ³ /día		Costo unitario (S/.)	365.00
	Equipo	110	m ³ /día		Unidad	m ³
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra						9.44
	Capataz	hh	0.30	0.0218	30.16	0.66
	Operario	hh	2.00	0.1455	24.13	3.51
	Oficial	hh	2.00	0.1455	19.04	2.77
	Peón	hh	2.00	0.1455	17.20	2.50
Materiales e insumos						353.45
	Regla de aluminio	pza		0.11	67.70	7.45
	Concreto premezclado f'c = 210 kg/cm ²	m ³		1.00	346.00	346.00
Equipos						2.12
	Herramientas manuales	%MO		0.05	9.44	0.47
	Vibrador a gasolina Y 1 3/4" 4 HP	hm	2.00	0.1455	11.3	1.64

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 94, se presentó el análisis del costo de acero de refuerzo positivo y negativo de donde se obtuvo un costo de 6.93 soles por kilogramo.

En el caso del costo unitario del casetón EPS, se obtuvo un costo por unidad de 33.34 soles (ver Tabla 95).

Tabla 94: Análisis de costo unitario acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

Partida	01.02	Descripción: Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$				
Rendimiento	Mano de obra	450	kg/día		Costo unitario (S/):	5.10
	Equipo	450	kg/día		Unidad	kg
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra						1.25
Capataz		hh	0.10	0.0018	30.16	0.05
Operario		hh	2.00	0.0356	24.13	0.86
Oficial		hh	1.00	0.0178	19.04	0.34
Materiales e insumos						3.74
Alambrón 6 mm		kg		0.01	5.05	0.05
Acero corrugado $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ G 60		kg		1.03	3.58	3.69
Equipos						0.11
Herramientas manuales		%MO		0.05	1.25	0.06
Dobladora de fierro		hm	0.30	0.0053	3.78	0.02
Cizalla para corte de fierro		hm	0.30	0.0053	4.77	0.03

Fuente: Elaboración propia

Tabla 95: Análisis de costo unitario casetón de $1.00 \times 0.75 \times 0.15 \text{ m}$

Partida	01.03	Descripción: Casetón de $1.00 \times 0.75 \times 0.15 \text{ m}$				
Rendimiento	Mano de obra	1900	und/día		Costo unitario (S/):	25.58
	Equipo	1900	und/día		Unidad	und
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra						0.40
Capataz		hh	0.10	0.0004	30.16	0.01
Operario		hh	1.00	0.0042	24.13	0.10
Peón		hh	4.00	0.0168	17.20	0.29
Materiales e insumos						25.16
Casetón de $1.00 \times 0.75 \times 0.15 \text{ m}$		pza		1.29	19.50	25.16
Equipos						0.02
Herramientas manuales		%MO		0.05	0.40	0.02

Fuente: Elaboración propia

En el caso del costo unitario del encofrado y desencofrado, se obtuvo un costo por metro cuadrado de 76.55 soles (ver Tabla 96). En la Tabla 97, se presentó el análisis del costo de tarrajeo de cielorraso de donde se obtuvo un costo de 43.87 soles por metro cuadrado.

Tabla 96: Análisis de costo unitario encofrado y desencofrado

Partida	01.04			Descripción: Encofrado y desencofrado		
Rendimiento	Mano de obra	60	m2/día	Costo unitario (S/.)		21.80
	Equipo	60	m2/día	Unidad		m2
		Unidad	Cuadril	Cantid	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra						18.75
Capataz		hh	1.00	0.1333	30.16	4.02
Operario		hh	3.00	0.4000	24.13	9.65
Oficial		hh	2.00	0.2667	19.04	5.08
Materiales e insumos						2.11
Madera tornillo		p2		0.11	5.80	0.64
Puntales metálicos		pza		0.42	3.50	1.47
Equipos						0.94
Herramientas manuales	%MO			0.05	18.75	0.94

Fuente: Elaboración propia

Tabla 97: Análisis de costo unitario tarrajeo de cielorraso

Partida	01.05			Descripción: Tarrajeo de cielorraso		
Rendimiento	Mano de obra	40	m2/día	Costo unitario (S/.)		30.32
	Equipo	40	m2/día	Unidad		m2
		Unidad	Cuadril	Cantid	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra						12.31
Capataz		hh	0.10	0.0200	30.16	0.60
Operario		hh	1.00	0.2000	24.13	4.83
Peón		hh	2.00	0.4000	17.20	6.88
Materiales e insumos						17.40
Arena fina		m3		0.03	50.00	1.50
Cemento portland		bol		0.18	24.00	4.27

Madera tornillo	p2	0.43	5.80	2.52
Resina Pegalón	lt	0.05	25.00	1.25
Súper malla RF	m2	1.10	3.45	3.80
Regla de aluminio	pza	0.06	67.70	4.06
Equipos				0.62
Herramientas manuales	%MO	0.05	12.31	0.62

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 98, se presentó el análisis del costo de suministro y colocación de viguetas vigacero de donde se obtuvo un costo de 82.84 soles por metro lineal.

Tabla 98: Análisis de costo unitario de suministro y colocación de viguetas vigacero

Partida	01.06	Descripción: Suministro y colocación de viguetas vigacero				
Rendimiento	Mano de obra	120	ml/día		Costo unitario (S/.)	41.64
	Equipo	120	ml/día		Unidad	ml
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra						5.71
	Capataz	hh	0.10	0.0067	30.16	0.20
	Operario	hh	2.00	0.1333	24.13	3.22
	Peón	hh	2.00	0.1333	17.20	2.29
Materiales e insumos						35.64
	Viguetas vigacero	ml		1.00	35.64	35.64
Equipos						0.29
	Herramientas manuales	%MO		0.05	5.71	0.29

Fuente: Elaboración propia

6.2. Análisis del sistema de losa aligerada convencional

6.2.1. Metrados del sistema de losa aligerada convencional

- Encofrado y desencofrado de losa aligerada convencional

En la Tabla 99 se mostró el cuadro resumen de encofrado de losa aligerada para la vivienda de 3 pisos más azotea.

Tabla 99: Cuadro resumen de encofrado de losa aligerada convencional para la vivienda progresiva de 3 pisos más azotea

Encofrado de losa aligerada convencional			
Elemento	Unid	Cant	Sub total.
Losa h=20CM			
Nivel 01	m2	37.14	37.14
Nivel 02	m2	37.14	37.14
Nivel 03 + Azotea	m2	52.37	52.37
Total Encofrados (m2).			126.65

Fuente: Elaboración propia

- Cantidad de concreto y ladrillos huecos de arcilla para techo de 30x30x15 centímetros

En la Tabla 100 se presentó el cuadro resumen de encofrado de losa aligerada para la vivienda de 3 pisos más azotea.

Tabla 100: Volumen de concreto y # de ladrillos de arcilla 15x30x30 cm

Volumen de concreto (m3) y # de ladrillos en losa aligerada convencional					
Elemento	Cant.	Largo	Ancho	Altura	Sub total.
Losa h=20CM					
Área					
Concreto como losa maciza	1	126.65	-	0.20	25.33
(-) Volumen de ladrillos	-1054.99	0.30	0.30	0.15	-
	# Ladrillos	8.33*126.65			1055
		Total Concreto (m3) + 5% desperdicio			11.10

Fuente: Elaboración propia

- Acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

En la Tabla 101 se mostró el peso total del acero de refuerzo para la losa aligerada convencional.

Tabla 101: Cuadro de cálculo de peso de acero de losa aligerada convencional

Cálculo de peso de acero				
Elemento	Ø	1/4	3/8	1/2
Losa h=20CM				
Acero				
Nivel 01 Y 02		322.99	-	336.82
Nivel 03		194.50	-	191.76
Azotea		44.10	-	37.72
Sub total		561.585	0	566.3
	Peso por ml.	0.2207	0.56	0.9891
	sub total en Kg.	123.94181	0	560.12733
	Total Acero (Kg).	685		

Fuente: Elaboración propia

- Tarrajeo de cielorraso

Asimismo, en la Tabla 102 se mostró el metrado de tarrajeo de cielorraso para el sistema de losa aligerada convencional.

Tabla 102: Tarrajeo y Empaste de cielorraso de losa aligerada convencional

Tarrajeo y Empaste de cielorraso de Losa convencional	
Tarrajeo de cielorraso de losa aligerada	m2 126.65

Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Análisis de costo unitario del sistema de losa aligerada convencional

El sistema de losa aligerada convencional contempló dentro del análisis de sus partidas, concreto para la losa y viguetas, acero de refuerzo, malla de temperatura, concreto premezclado más bomba con resistencia a la compresión de 210 kg/cm², ladrillos huecos de arcilla para techo y encofrado de madera con pie derecho metálico y soleras de madera. Igualmente, se realizan los análisis respectivos para cada partida y se presentan los resultados en la Tabla 103, Tabla 104, Tabla 105, Tabla 106 y Tabla 107.

Tabla 103: Análisis de costo unitario concreto premezclado con bomba $f'c = 210$ kg/cm²

Partida	02.01			Descripción: Concreto premezclado con bomba $f'c = 210$ kg/cm ²		
Rendimiento	Mano de obra	90	m ³ /día		Costo unitario (S/.)	367.57
	Equipo	90	m ³ /día		Unidad	m ³
			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)
						Parcial (S/.)
Mano de obra						11.54
Capataz		hh	0.30	0.0267	30.16	0.80
Operario		hh	2.00	0.1778	24.13	4.29
Oficial		hh	2.00	0.1778	19.04	3.38
Peón		hh	2.00	0.1778	17.20	3.06
Materiales e insumos						353.45
Regla de aluminio		pza		0.11	67.70	7.45
Concreto premezclado $f'c = 210$ kg/cm ²		m ³		1.00	346.00	346.00
Equipos						2.59
Herramientas manuales		%MO		0.05	11.54	0.58
Vibrador a gasolina Y 1 3/4" 4 HP		hm	2.00	0.1778	11.3	2.01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 104: Análisis de costo unitario acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/cm²

Partida	02.02			Descripción: Acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/cm ²		
Rendimiento	Mano de obra	350	kg/día		Costo unitario (S/.)	5.24
	Equipo	350	kg/día		Unidad	kg
			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)
						Parcial (S/.)
Mano de obra						1.06
Capataz		hh	0.10	0.0023	30.16	0.07
Operario		hh	1.00	0.0229	24.13	0.55
Oficial		hh	1.00	0.0229	19.04	0.44
Materiales e insumos						4.05
Alambrón 6 mm		kg		0.02	5.51	0.11
Acero corrugado $f_y = 4200$ kg/cm ² G 60		kg		1.10	3.58	3.94

Equipos					0.14
Herramientas manuales	%MO		0.05	1.06	0.05
Dobladora de fierro	hm	0.30	0.0069	3.78	0.03
Cizalla para corte de fierro	hm	0.30	0.0069	8.5	0.06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 105: Análisis de costo unitario ladrillo de techo 30x30x15

Partida	02.03		Descripción: Ladrillo de techo 30x30x15		
Rendimiento	Mano de obra	1600	und/día	Costo unitario (S/.)	3.87
	Equipo	1600	und/día	Unidad	und
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)
					Parcial (S/.)
Mano de obra					0.48
Capataz	hh	0.10	0.0005	30.16	0.02
Operario	hh	1.00	0.0050	24.12	0.12
Peón	hh	4.00	0.0200	17.2	0.34
Materiales e insumos					3.37
Ladrillo de techo 30x30x15	und		1.0500	3.21	3.37
Equipos					0.02
Herramientas manuales	%MO		0.05	0.48	0.02

Fuente: Elaboración propia

Tabla 106: Análisis de costo unitario encofrado y desencofrado

Partida	02.04		Descripción: Encofrado y desencofrado		
Rendimiento	Mano de obra	25	m2/día	Costo unitario (S/.)	75.07
	Equipo	25	m2/día	Unidad	m2
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)
					Parcial (S/.)
Mano de obra					51.09
Capataz	hh	1.00	0.3200	30.16	9.65
Operario	hh	3.00	0.9600	24.13	23.16
Oficial	hh	3.00	0.9600	19.04	18.28

Materiales e insumos					21.43
Alambre negro N°8	kg	0.10	5.51	0.55	
Clavos con cabeza de 3"	kg	0.10	4.00	0.40	
Madera tornillo	p2	3.53	5.80	20.47	
Equipos				5.8	2.55
Herramientas manuales	%MO	0.05	51.09	2.55	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 107: Análisis de costo unitario tarrajeo cielorraso

Partida	02.05	Descripción: Tarrajeo de cielorraso				
Rendimiento	Mano de obra	30	m2/día	Costo unitario (S/.)	28.95	
	Equipo	30	m2/día	Unidad	m2	
		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
Mano de obra					17.39	
Capataz	hh	0.10	0.0267	30.16	0.80	
Operario	hh	1.00	0.2667	24.13	6.43	
Oficial	hh	2.00	0.5333	19.04	10.15	
Materiales e insumos					10.69	
Arena fina	m3		0.03	50.00	1.50	
Cemento portland	bol		0.18	24.00	4.27	
Madera tornillo	p2		0.43	5.80	2.52	
Regla de aluminio	pza		0.06	40.00	2.40	
Equipos					0.87	
Herramientas manuales	%MO		0.05	17.39	0.87	

Fuente: Elaboración propia

6.3. Presupuestos para ambos sistemas

En la Tabla 108 se presentó el presupuesto final para la construcción de todas las losas con el sistema Vigacero y en la Tabla 109 el presupuesto final para todas las losas del sistema convencional.

Tabla 108: Presupuesto de Losa aligerada convencional

Partida	Un d	Metrad o	Pu	Sub total
Losa aligerada: concreto f'c=210 kg/cm ²	m3	11.10	11.54	128.06
Losa aligerada: encofrado y desencofrado normal	m2	126.65	51.09	6,471.11
Losa aligerada: acero de refuerzo FY=4200 kg/cm ²	kg	685.00	5.24	3,590.00
Losa aligerada: ladrillo hueco de arcilla de 15x30x30 cm para techo	un d	1,055. 00	3.87	4,087.30
Losa aligerada: tarrajeo de cielorraso	m2	126.65	28.95	3,666.83
Costo directo				24,932.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 109: Presupuesto de Losa con viguetas Vigacero

Partida	Und	Metrado	Pu	Sub total
Losa vigacero: concreto f'c=210 Kg/cm ²	m3	9.84	365.00	3591.62
Losa vigacero: encofrado y desencofrado normal	m2	126.65	21.80	2760.49
Losa vigacero: acero de refuerzo FY=4200 kg/cm ²	kg	354.00	5.10	1804.01
Losa vigacero: casetón EPS 0.75x1.00x0.15 m	und	184.00	25.58	4706.57
Losa vigacero: suministro y colocación de vigueta vigacero	ml	137.60	41.64	5729.30
Losa vigacero: tarrajeo de cielorraso	m2	126.65	30.32	3840.14
Costo directo				S/.22,432. 11

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

7.1. Análisis de resultados

7.1.1. Análisis técnico

Para el análisis técnico comparativo, se tomó en consideración los parámetros de respuesta sísmica desarrollados en el Capítulo V. Se consideraron los pesos totales de las estructuras, las cortantes basales y las derivas de entrepiso para cada modelo.

En la Tabla 110, se presentan los pesos y cortantes basales para la condición de carga por sismo estático. Se puede observar que el sistema vigacero brindó una reducción de 23 toneladas de peso a la estructura, lo que se representa con un porcentaje 10.32%. Asimismo, se logra identificar que la relación peso y cortante basal están directamente ligados, por ello este porcentaje de reducción también se ve reflejado en la magnitud de las cortantes basales.

Tabla 110: Cortante basal por sismo estático para los dos sistemas modelados

	Vigacero	Convencional	Diferencia	% Variación
Peso (Tonf)	199.88	222.87	23.00	10.32%
V basal (Tonf)	78.71	87.77	9.06	10.32%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 111, se presentan las derivas máximas de entrepiso para la condición de carga por sismo dinámico. Se puede observar que las derivas obtenidas en el modelo con sistema vigacero son inferiores a las obtenidas considerando el modelo con sistema de losa aligerada convencional. En la dirección X-X, se observa una reducción de la deriva máxima de 12.18 % frente a una estructura con losas aligeradas convencionales. Igualmente, para la dirección Y-Y, se logra obtener una reducción en las derivas de entrepiso de 14.10 %. En promedio se obtuvo una mejora de 13.10% en el control de derivas de entrepiso.

Tabla 111: Derivas máximas de entrepiso por sismo dinámico

Dirección	Losa vigacero	Losa convencional	% Variación
X-X	0.0021	0.0024	12.18%
Y-Y	0.0015	0.0018	14.01%

Fuente: Elaboración propia

7.1.2. Análisis económico

- Cálculo de ratio

Una vez obtenidos los presupuestos finales de los sistemas de losas aligeradas mostrados en la Tabla 108 y Tabla 109, calculamos el ratio para así determinar la rentabilidad económica por metro cuadrado de losa, observando los resultados en la Tabla 112. En esta tabla, se verificó que el sistema vigacero reduce el costo de la losa en 19.74 soles por metro cuadrado, lo que se traduce en un 10% de reducción de costos.

Tabla 112: Cálculo de ratio de los sistemas de losa propuestos

Ratio de las losas propuestas		
	Und	Ratio
Losa vigacero	sol/m2	177.12
Losa aligerada	sol/m2	196.86

Fuente: Elaboración propia

- Comparación de costos directos

Se muestra a continuación la Figura 62, el cual muestra el comparativo entre consumo de materiales de los dos sistemas de losas aligeradas con viguetas pre fabricadas.

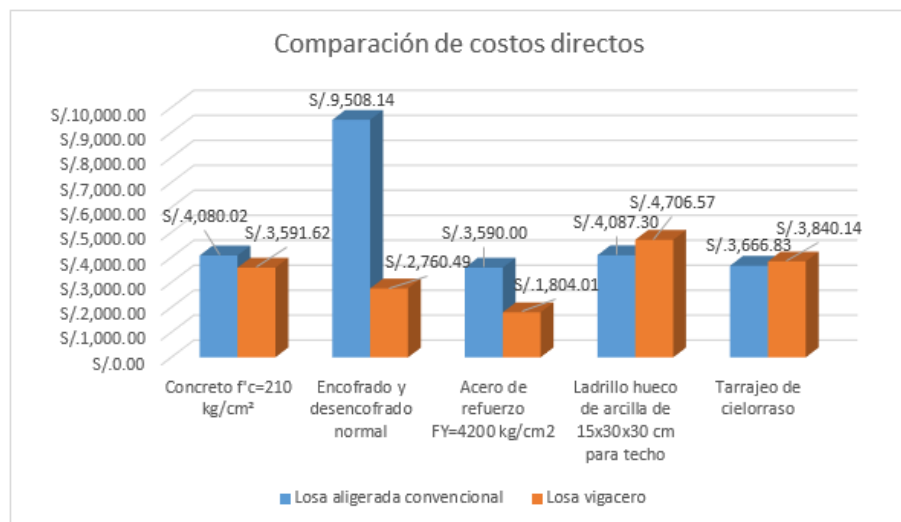


Figura 62: Comparación de costo directo de materiales

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la partida de concreto pre mezclado, en el capítulo anterior obtuvimos un factor de consumo de concreto de 0.074 m³/m² del sistema de losa vigacero, a diferencia del sistema de losa convencional, según los cálculos realizados, el factor de consumo es de 0.0876 m³/m². Por esta razón, el sistema de losa convencional terminó costando S/4,080.32 más que el sistema de losa con viguetas vigacero, lo que representa un 11.97 % más costoso.

Con respecto a la partida de encofrado de las losas aligeradas, el sistema de losa convencional costó S/ 6,747.65 más que el sistema de losas con viguetas vigacero. Siendo un 70.97 % más costoso la losa convencional.

De la partida de Acero de Refuerzo fy 4200 kg/cm², se obtuvo una diferencia de S/1,785.99 a favor del sistema convencional, siendo este sistema 49.75% más costoso; esto se debe a que el espaciamiento entre viguetas es de 40 cm, por lo tanto, hay más cantidad varillas de refuerzo en cada vigueta, a diferencia de las viguetas vigacero, que el espaciamiento es de 84 cm.

Para las partidas de tarrajeo, el sistema de losa vigacero es 13.16% más costoso que la del sistema convencional, ya que los trabajos de tarrajeo

para casetones de polietileno se requiere una malla RF y grapas o pegamento para adherir al casetón, en comparación del ladrillo de arcilla.

La separación entre viguetas vigacero es de 84 cm, por lo que la cantidad de casetones a utilizar en este sistema de losa se reduce considerablemente, en comparación del sistema de losa convencional, que tienen una separación de 40 cm. Aun así, en los resultados obtenidos no hay mucha diferencia en el coste directo.

- Comparación costos indirectos

En la Figura 63, observamos que el costo de las horas hombre para la partida de concreto $f'c$ 210 kg/cm². El sistema de losa convencional es un 27.47 % más costoso que el sistema de losa vigacero.

En la partida de acero de refuerzo, obtuvimos un costo mayor en las horas hombre del sistema de losa convencional equivalente al 38.81%.

En el caso de las partidas de encofrado y desencofrado de losas, obtuvimos que la losa aligerada convencional cuesta S/ 4,096.34 más que el sistema de losa vigacero, siendo un 63.30% más costoso.

El costo de las horas hombre para la partida de colocación de los materiales aligerantes, casetones y ladrillos de arcilla, obtuvimos una 85.31% más costosa las horas hombre para colocación de ladrillos de arcilla.

Por último, se comparó la partida de tarrajeo de cielorraso, donde el sistema de losa convencional costó 29.23% más que el sistema de losa vigacero.

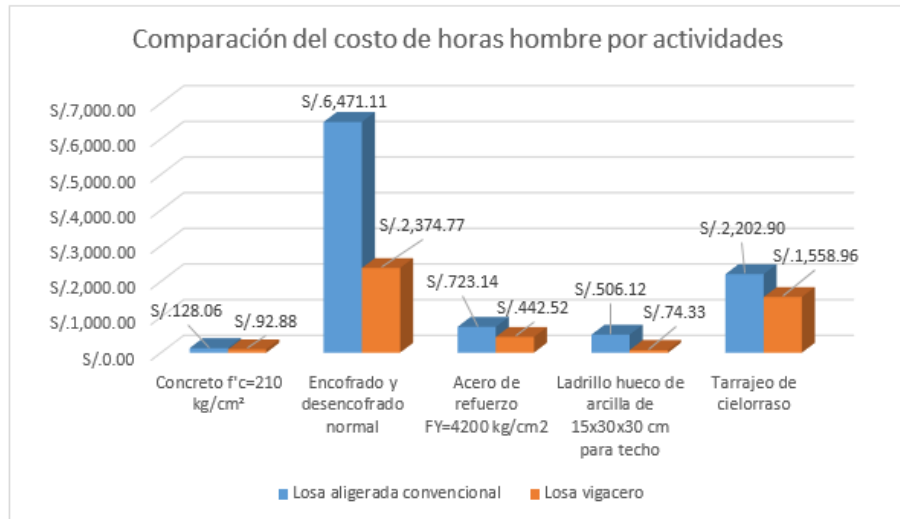


Figura 63: Comparación del costo de horas hombre entre los sistemas de losa aligerada.

Fuente: Elaboración propia

7.2. Contrastación de hipótesis

7.2.1. Hipótesis principal

La propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada con el sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero presentará mejoras técnicas y económicas frente a un sistema con losa aligerada convencional.

Del análisis realizado, considerando el comportamiento sísmico de la estructura y el análisis económico, se logró determinar que el sistema de losa vigacero favorece en la reducción de costos, y, además, ofrece mejoras en el comportamiento estructural, quedando así demostrada la hipótesis planteada.

7.2.2. Hipótesis secundaria

- Hipótesis secundaria 1

Al realizar el análisis sismorresistente con el software ETABS 2018 v18.1.1, se obtendrán parámetros de comportamiento sísmico.

Tras el modelado de la estructura en el software ETABS 2018, y posterior corrida, se lograron obtener los parámetros de control sísmico que establece la norma E.030 vigente, validándose la hipótesis planteada.

- Hipótesis secundaria 2

El diseño de la superestructura cumplirá con los requerimientos que se establecen en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Con ayuda del software, y en consideración de las condiciones de análisis de las normas técnicas en edificaciones vigentes, se logró diseñar cada elemento estructural que compone la superestructura, obteniendo, en todos los casos, controles y verificaciones admisibles. Por ello, se afirma que se verificó el cumplimiento de esta hipótesis.

- Hipótesis secundaria 3

Tras la valoración técnico-económica, se obtuvo que la implementación del sistema de losas aligeradas con viguetas prefabricadas vigacero permitió reducir costos en un 10% por metro cuadrado de losa frente a un sistema de losa aligerada convencional; además, redujo el peso de la edificación en un 9.00 % frente a una con el sistema de losa aligerada convencional

Tras el análisis sismorresistente mediante un análisis modal espectral, se determinó que la estructura con el sistema de losa vigacero presentó una reducción del peso y cortante basal en un 10.32% frente a la estructura con losa aligerada convencional. Además, se verificó que las derivas obtenidas en el sistema de losa vigacero tenían una reducción de 13.10% en relación a las derivas obtenidas con el sistema de losa aligerada convencional.

Tras el análisis económico, se determinó que el porcentaje de reducción en costos por metro cuadrado es de 10.03%. Esto ocurrió debido a que en el sistema de losa vigacero, se redujo el número de viguetas, además, las secciones de casetones de EPS son mayores que las de un ladrillo de arcilla convencional y esto influyó en los metrados, costos del concreto y acero de refuerzo. Se verificó que existió una ligera variación porcentual en la cuantificación de la mejora para la reducción de pesos; sin embargo, al ser inferior al 1.00% se pudo afirmar que la hipótesis era válida.

CONCLUSIONES

1. Culminado el desarrollo de esta tesis, se verificó que la propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada empleando el sistema vigacero cumplió con todos los parámetros establecidos en las normas vigentes como pesos totales de las estructuras, las cortantes basales y las derivas de entrepiso, presentando mejoras en la respuesta sísmica de la estructura con la implementación del sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero.
2. El software ETABS 2018 v18.1.1. permitió obtener los parámetros de respuesta sísmica de la estructura donde se determinó que la estructura con el sistema de losa aligerada vigacero ofreció un mejor desempeño sísmico frente a un sistema de losa aligerada convencional. A partir de estos resultados, se logró determinar una reducción de 10.32% del peso de la estructura y de la cortante sísmica. Además, se obtuvo una mejora en el control de derivas de entrepiso de 13.10%.
3. La superestructura cumplió satisfactoriamente con los parámetros que establecen las normas técnicas vigentes, tales como cortantes basales, peso propio de estructura y derivas de entrepiso. El diseño de los elementos que componen la superestructura lograron satisfacer las condiciones de carga por sismo estático y sismo dinámico de las normas vigentes.
4. Al realizar el análisis económico de los dos sistemas de losas aligeradas convencional y vigacero, se determinó que el precio de la losa vigacero reduce un 10.03% el costo por metro cuadrado con respecto al costo de la losa convencional. Teniendo en cuenta esta reducción de costos, el sistema de losa aligerada con viguetas vigacero es una opción a tener en cuenta para el desarrollo de un proyecto en donde se busque economizar costos.

5. Una vez realizado el análisis de costo unitario y hacer la comparativa de horas hombre, la construcción del sistema de losa aligerado con viguetas vigacero es mucho más eficiente y se realiza en un 40.78% menos, en comparación a la construcción del sistema de losa convencional.

RECOMENDACIONES

1. Considerando los resultados de mejoras en el comportamiento sísmico de la estructura y reducción de costos por metro cuadrado, se recomienda la estandarización del uso de este sistema de losa aligerada para edificaciones con uso de vivienda.
2. Se recomienda realizar un análisis comparativo de esta propuesta considerando la implementación de otro sistema innovador de losa aligerada, de modo que, se continúe con el proceso de optimización estructural y de recursos económicos en este tipo de edificaciones.
3. Se recomienda elaborar un estudio implementando este sistema en un proyecto de vivienda social, dado que, al considerar mayores metrados, se pueden reducir los costos por unidad de cada material. Además, permitirían establecer un mejor análisis de costos indirectos.
4. Se recomienda para próximas investigaciones considerar edificaciones que presenten luces superiores a los 8 metros, dado que, el diseño de esta losa no se encuentra comprendido en el manual de la empresa ARCOTECHO, y no se tiene información sobre su desempeño y/o mejora económica y estructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcotecho (2017). *Manual técnico Vigacero*. Recuperado de <http://vigacero.pe/>
- Borjas, M. (2012). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo - Perú.
- Cámara Peruana de la Construcción (2021). *La construcción en el escenario de la primera vuelta*. Informe Económico de la Construcción N° 39. Recuperado de <https://es.calameo.com/read/0059805583bc5f1f5eff3>
- Gelabert, A. y Gonzáles, D. (2013, febrero). *Vivienda progresiva y flexible*. Aprendiendo del repertorio. *Arquitectura y Urbanismo*, 34(2), 48-63. Recuperado en 26 de junio de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-58982013000200005&lng=es&tlng=es
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL.
- Instituto Geofísico del Perú (2021, 26 de mayo). *IGP ante la OEA: “Se espera en el Perú un gran sismo 8.5 M y debemos estar preparados”* [Nota de prensa]. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/igp/noticias/495103-igp-ante-la-oea-se-espera-en-el-peru-un-gran-sismo-8-5-m-y-debemos-estar-preparados>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2018). *Capítulo XII: Déficit habitacional. Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2011-2018*. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1520/libro.pdf
- La Roche, P., Aranda, S., Echeverría, A., González, M., & Indiago, J. (1998). *Vivienda en crecimiento progresivo: caso “Nueva Democracia”*. *Revista INVI*, 13(34). Consultado de <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62084/65725>
- Meza, C. y Martell, D. (2019), *Evaluación técnica y económica, entre los sistemas prefabricados de losa con viguetas vigacero y losa con viguetas pre tensadas en un edificio multifamiliar en el distrito de Surquillo* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima – Perú.

- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Consultado de <http://page.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica E 0.60 Concreto Armado*. Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Consultado de <http://page.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica E 0.70 Albañilería confinada*. Portal Institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Consultado de <http://page.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- Molano, J. (2017). *Comportamiento de la conexión de sistemas aligerados con poliestireno expandido, muros de mortero y losa en sección compuesta con perfiles formados en frío* (Tesis de magister). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá - Colombia.
- Morales, R. (2006). *Diseño en concreto armado*. Instituto de la construcción y gerencia, Lima - Perú.
- Nieto, J. (2014). *Diseño de una vivienda de dos plantas con soluciones prefabricadas* (Tesis de magister) Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador.
- Ottazzi, G. (2017). *Apuntes del curso concreto armado I*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima - Perú.
- Rivera, D. (2017). *Análisis comparativo del sistema pre fabricado de losa aligerada vigacero vs el sistema convencional de una edificación de 6 pisos en Huancayo, 2016* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Los Andes, Huancayo – Perú.
- Sanabria, B. (2017). *Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicionales y prefabricados de losas de entrepiso para edificios de hasta 4 niveles* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá – Colombia.

Solís, W. (2019). *Comportamiento estructural del entrepiso de una vivienda de 3 niveles con el sistema prefabricado losa aligerada VIGACERO, Lima 2018* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima – Perú.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA	
Problema General	Objetivo General	Hipotesis General	Independiente		Tipo	Nivel
¿Cómo realizar una propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada empleando el sistema vigacero en el distrito de Rímac?	Realizar una propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada empleando el sistema vigacero en el distrito de Rímac.	La propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada con el sistema de losa aligerada con viguetas prefabricadas vigacero presentará mejoras técnicas y económicas frente al sistema con losa aligerada tradicional.	Sistema vigacero	Cuánta de acero de refuerzo Ratio de costo por m ²	Investigación aplicada: se determinó que la implementación del sistema vigacero optimiza el diseño de la estructura	Descriptivo: porque se describe el comportamiento de la edificación Correlacional: porque se evalúa el comportamiento en función del sistema de losa aligerada empleada
Problema Específico	Objetivos Específicos	Hipotesis Especifica	Dependiente		Población y muestra	Diseño
¿Cómo realizar el análisis sismorresistente de la vivienda progresiva en el software ETABS v18?	Realizar el análisis sismorresistente de la propuesta de vivienda progresiva con el software ETABS v18.	Al realizar el análisis sismorresistente con el software ETABS v18, se obtendrán parámetros de comportamiento sísmico.		Cortante basal	Población: los lotes de la urbanización Castilla Alta en el distrito de Rímac Muestra: el lote 1 de la manzana A en la Urb. Castilla Alta	Diseño experimental: porque se manipulan las variables independientes para comprobar la hipótesis sobre la implementación del sistema vigacero
¿Cómo diseñar la superestructura de la vivienda progresiva considerando el cumplimiento los parámetros en las normas vigentes?	Diseñar la superestructura de la vivienda progresiva considerando el cumplimiento de las normas vigentes.	El diseño de la superestructura cumplirá con los requerimientos que se establecen en el Reglamento Nacional de Edificaciones.	Propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada	Deriva de entropiso	Procedimiento	Instrumentos Documental: Se obtuvo la información a partir de fuentes bibliográficas
¿Cómo realizar una valoración técnico-económica de la implementación del sistema vigacero en las losas aligeradas frente a un sistema de losa aligerada tradicional?	Realizar una valoración técnico-económica de la implementación del sistema vigacero en las losas aligeradas frente a un sistema de losa aligerada tradicional.	Tras la valoración técnico-económica, se obtendrá que la implementación del sistema de losas con viguetas prefabricadas vigacero permitirá reducir costos en un 10% por metro cuadrado de losa frente a un sistema de losa aligerada convencional; además, reducirá el peso de la edificación en un 9 % frente a una con el sistema de losa aligerada convencional.		Refuerzo de elementos de arrioste	La información obtenida se presentó en tablas, tanto la parte técnica como económica, posteriormente, se elaboró un análisis comparativo.	Técnica: se empleó el software ETABS 2018 v.18.1.1 para el modelado de la estructura

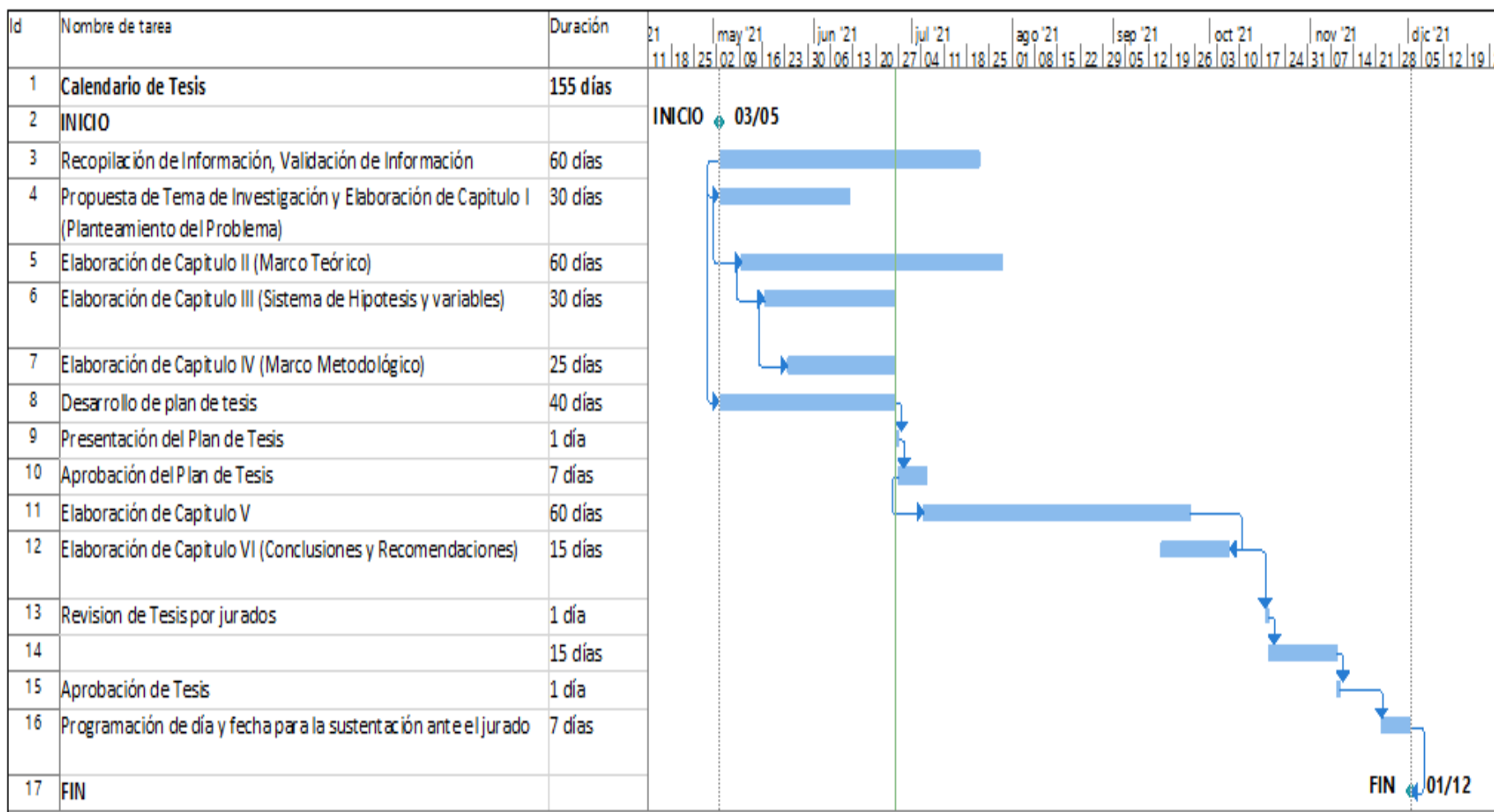
Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala valorativa	Instrumento	
Independiente	Sistema vigacero	Diseño de vigueta vigacero	Cuantía de acero de refuerzo	cm ²	Norma E.060	
			Analisis económico	ACU	soles / "und"	Hoja de cálculo
			Ratio	soles / m ²	Hoja de cálculo	
Dependiente	Propuesta de vivienda progresiva de albañilería confinada	Análisis sismorresistente	Cortante basal	Tonf	ETABS 2018 Norma E.030	
			Deriva de entrepiso	0/000		
		Diseño de elementos de arriostre	Cuantía de acero de refuerzo	cm ²	ETABS 2018 Norma E.070	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Cronograma de desarrollo de la investigación



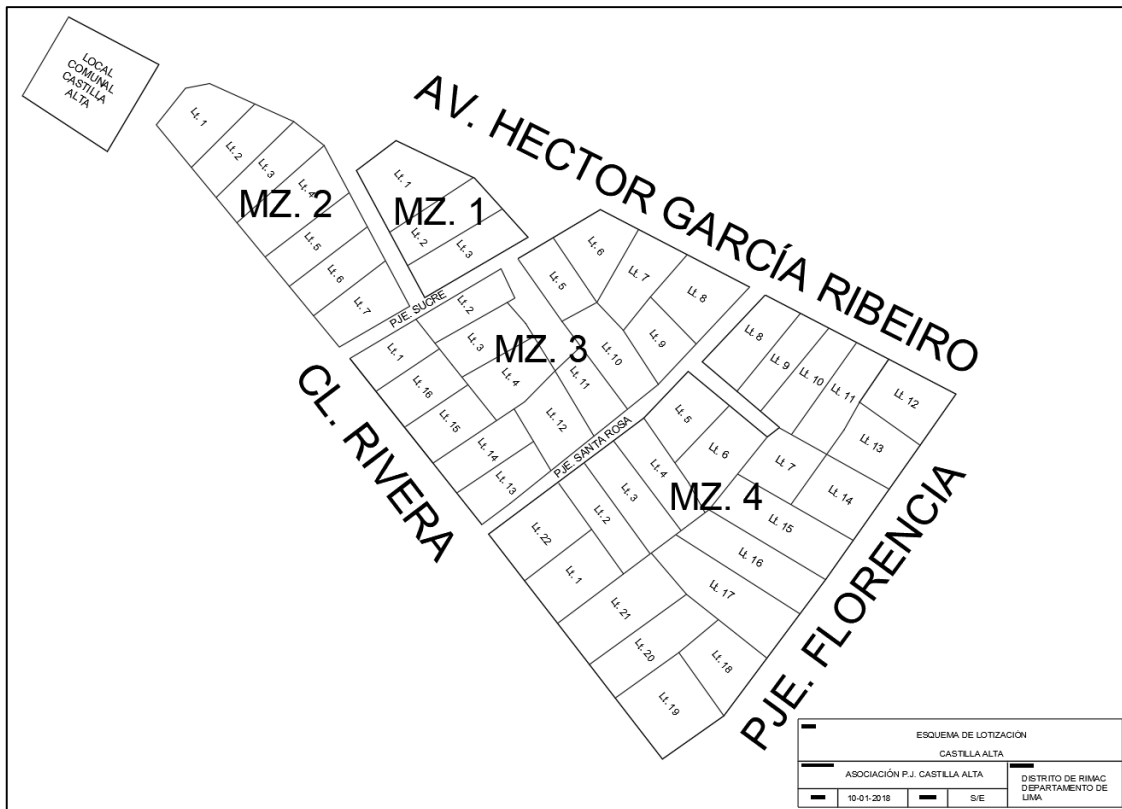
Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Presupuesto de elaboración de tesis

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Parcial
1	TITES 2021				S/. 12,000.00
1.1	Inscripción a programa de titulación por tesis 2021	Glb	2.00	S/. 6,000.00	S/. 12,000.00
2	Gasto operativo				S/. 1,000.00
2.1	Visitas y entrevistas	Glb	1.00	S/. 100.00	S/. 100.00
2.2	Movilidad y transporte	Glb	1.00	S/. 280.00	S/. 280.00
2.3	Internet	Glb	1.00	S/. 120.00	S/. 120.00
2.4	Impresiones y empastado	Glb	1.00	S/. 500.00	S/. 500.00
Total					S/. 13,000.00

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Plano de lotización de predios en Urb. Castilla Alta, Rímac



Fuente: COFOPRI (2018)

Anexo 6: Tabla salarial 2021 – 2022 - STCCLB



SINDICATO DE TRABAJADORES EN CONSTRUCCIÓN CIVIL DE LIMA Y BALNEARIOS

Fundado el 24 de Enero de 1940 y Reconocido por R.M. N° 231 el 28/03/1942
Afilado a la FTCCP - CGTP

Sede Institucional: Prolongación Cangallo N° 670 - La Victoria
E-mail: stcclb@gmail.com Teléfono: 393-9228

TABLA SALARIAL (Del 01/06/2021 al 31/05/2022) Expediente N° 073-2021-MTPE/2/14

OPERARIO				Indemnizac.		vacaciones	
Jornal	74.30	* 6 días	445.80	Diario	11.15	7.43	
D.S.O.	12.38	* 6 días	74.30	Semanal	66.87	44.58	
BUC 32 %	23.78	* 6 días	142.66				
Bonif. Por Movilidad	8.00	* 6 días	48.00				

Total Salarios			710.76				
Descuento ONP 13%			86.16				
Descuento CONAF. 2%			10.40				

Pago Neto Semanal			614.20				
				Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador			
OFICIAL				Indemnizac.		vacaciones	
Jornal	58.45	* 6 días	350.70	Diario	8.77	5.85	
D.S.O.	9.74	* 6 días	58.45	Semanal	52.61	35.07	
BUC 30 %	17.54	* 6 días	105.21				
Bonif. Por Movilidad	8.00	* 6 días	48.00				

Total Salarios			562.36				
Descuento ONP 13%			66.87				
Descuento CONAF. 2%			8.18				

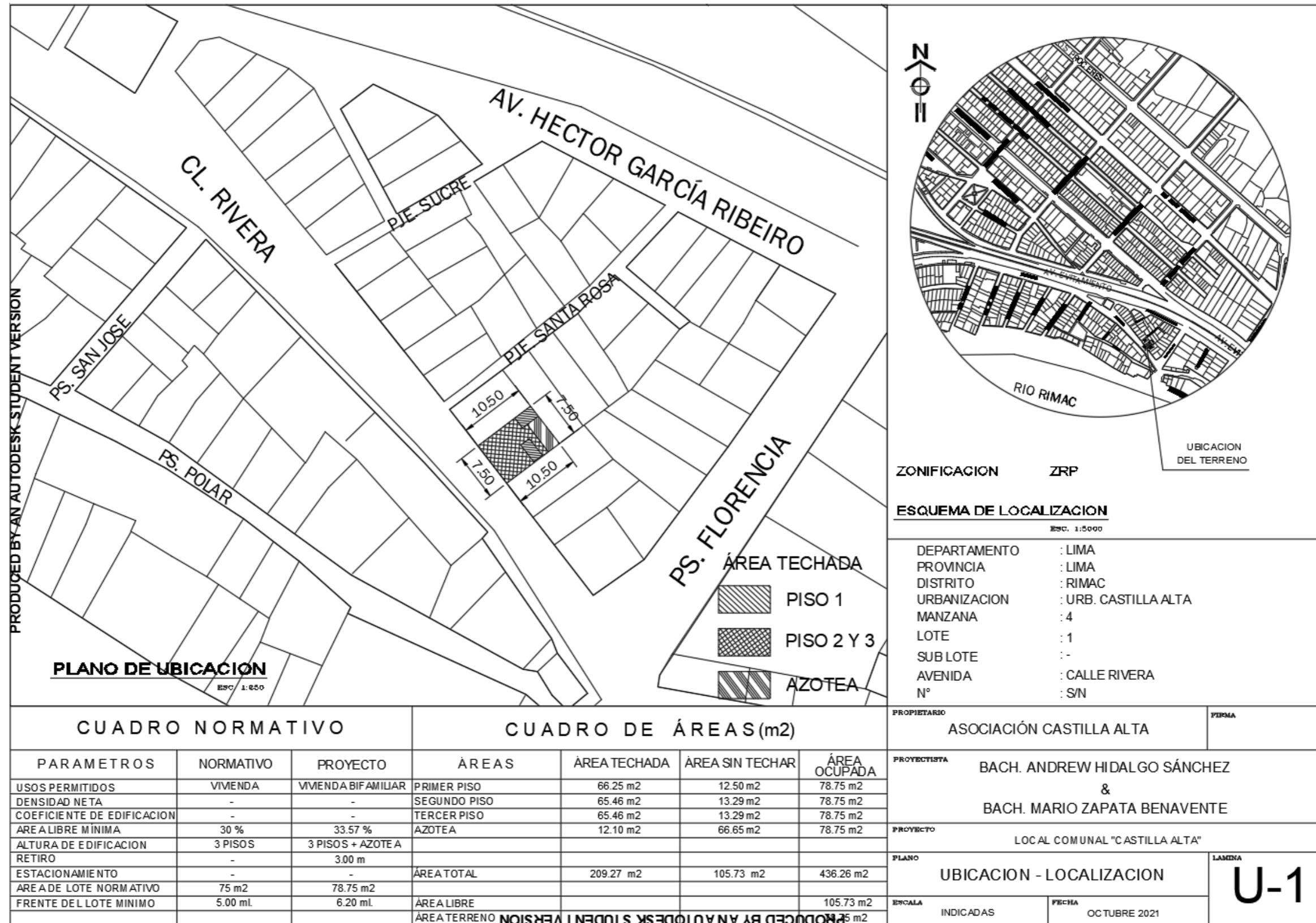
Pago Neto Semanal			487.31				
				Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador			
PEON				Indemnizac.		vacaciones	
Jornal	52.50	* 6 días	315.00	Diario	7.88	5.25	
D.S.O.	8.75	* 6 días	52.50	Semanal	47.25	31.50	
BUC 30 %	15.75	* 6 días	94.50				
Bonif. Por Movilidad	8.00	* 6 días	48.00				

Total Salarios			510.00				
Descuento ONP 13%			60.06				
Descuento CONAF. 2%			7.35				

Pago Neto Semanal			442.59				
				Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador			
Asignación Escolar por un hijo			Horas Extras				
	Diario	Mensual	Simples	60%	100%	Indemniz.	
Operario	6.19	185.75	9.29	14.86	18.58	1.39	
Oficial	4.87	146.13	7.31	11.69	14.61	1.10	
Peón	4.38	131.25	6.56	10.50	13.13	0.98	

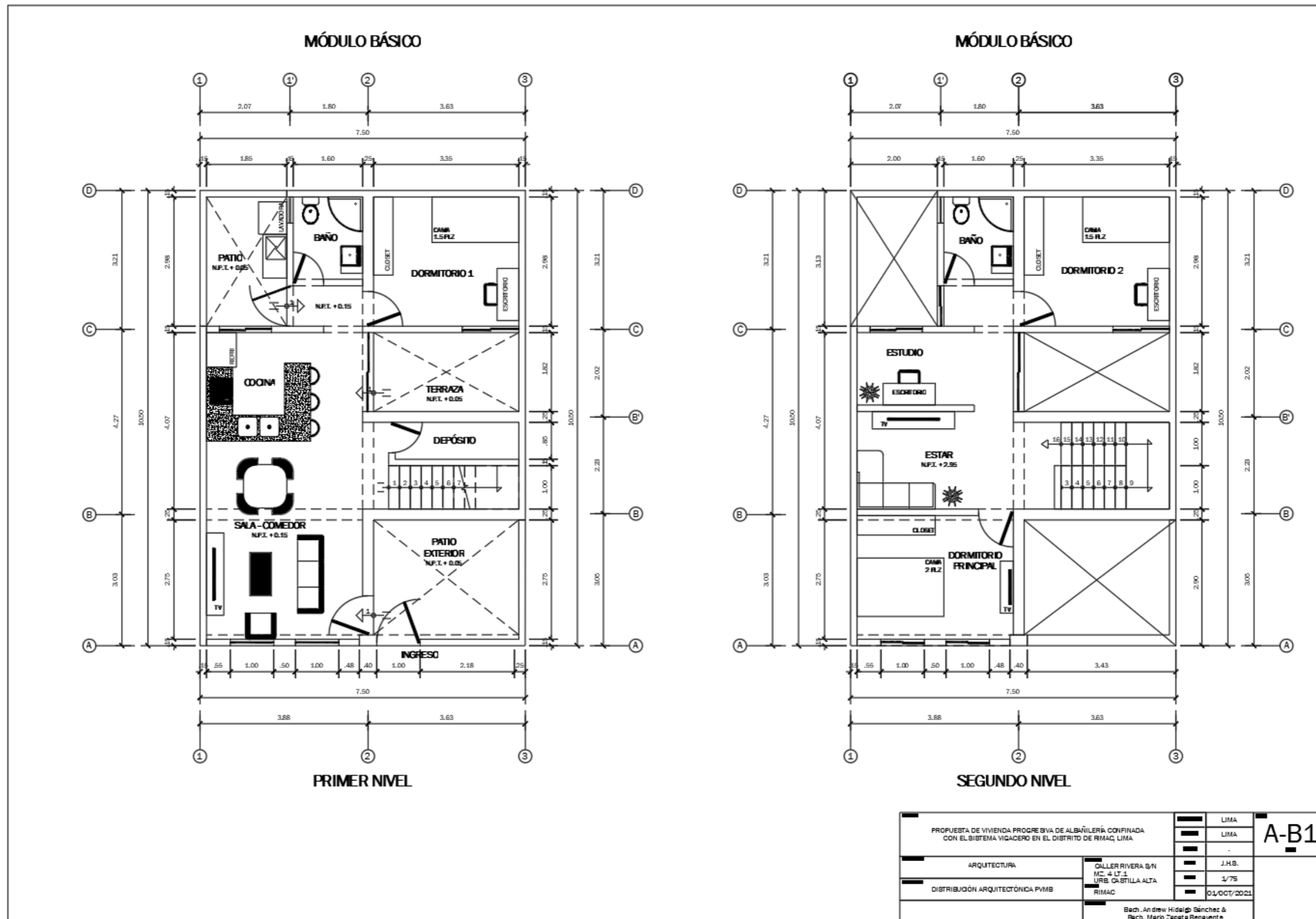
Fuente: STCCLB (2021)

Anexo 7: Plano de ubicación de PVCP



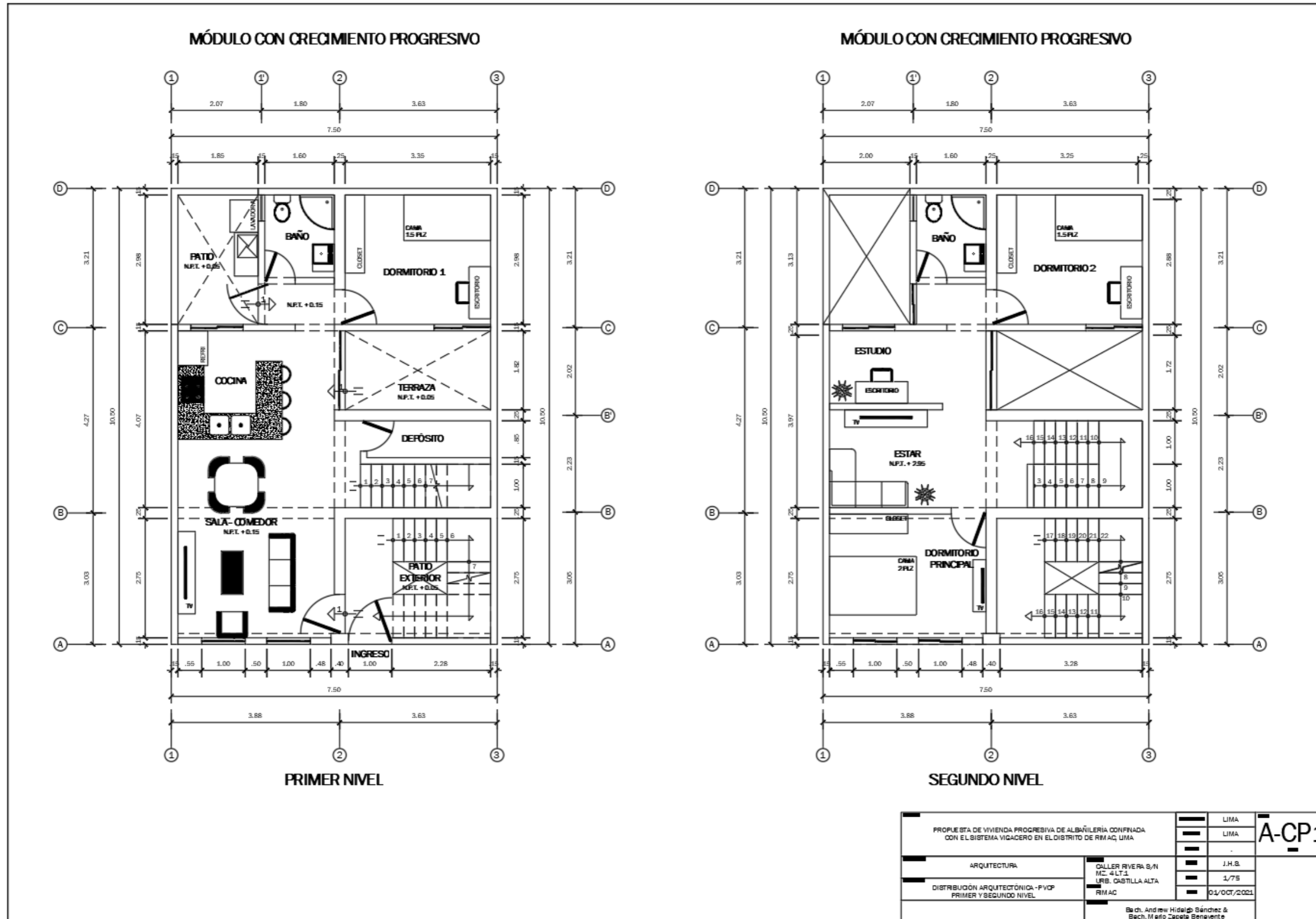
Fuente: Elaboración propia empleando el software AutoCAD 2019

Anexo 8: Planta arquitectónica de PVMB, primer y segundo nivel



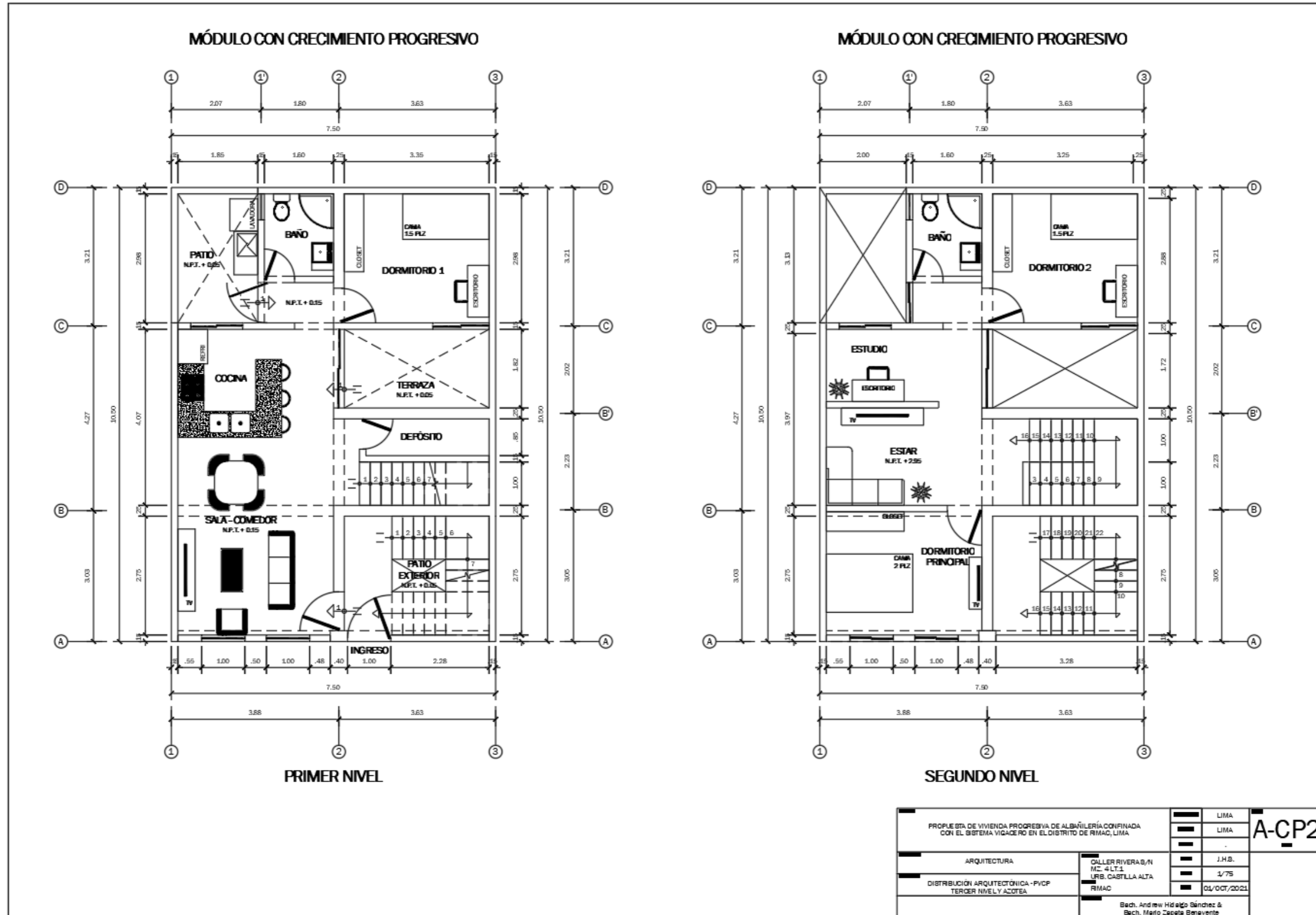
Fuente: Elaboración propia empleando el software AutoCAD 2019

Anexo 9: Planta arquitectónica de PVCP, primer y segundo nivel



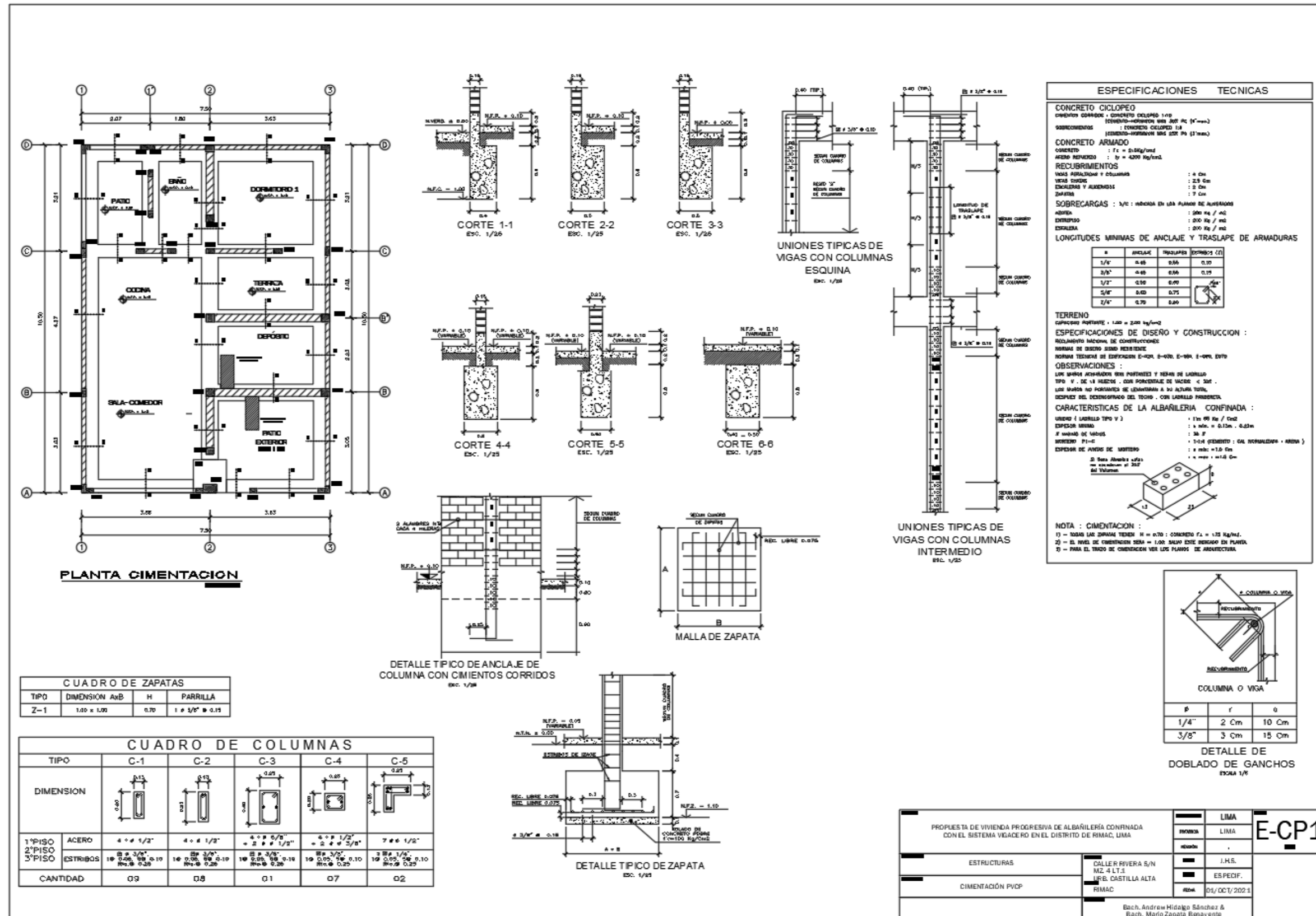
Fuente: Elaboración propia empleando el software AutoCAD 2019

Anexo 10: Planta arquitectónica de PVCP, tercer nivel y azotea



Fuente: Elaboración propia empleando el software AutoCAD 2019

Anexo 11: Plano de cimentación (esquema) de PVCP



Fuente: Elaboración propia empleando el software AutoCAD 2019