



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL DISEÑO ESTRUCTURAL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM, EN UNA VIVIENDA MULTIFAMILIAR, SAN BORJA 2025

**Línea de investigación:
Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotecnia**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor

Tizón Orozco, Jorge Alfonso

Asesor

Jaramillo Tarazona, Francisco

ORCID: 0000-0002-9638-7814

Jurado

Bendezu Romero, Lenin Miguel

Romero Rios, David

Yupari Silva, Emilio Gustavo

Lima - Perú

2026

Optimización de la calidad del diseño estructural mediante la aplicación de la metodología BIM, en una Vivienda Multifamiliar, San Borja 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	17%	4%	9%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	www.cip.org.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.mef.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	1%
9	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
10	vsip.info Fuente de Internet	1%
11	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**OPTIMIZACIÓN DE LA CALIDAD DEL DISEÑO
ESTRUCTURAL MEDIANTE LA APLICACIÓN
DE LA METODOLOGÍA BIM, EN UNA VIVIENDA
MULTIFAMILIAR, SAN BORJA 2025**

Línea de Investigación:

Desarrollo urbano-rural, Catastro, Prevención de riesgos, hidráulica y geotecnia

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor

Tizón Orozco, Jorge Alfonso

Asesor

Jaramillo Tarazona, Francisco
ORCID: 0000-0002-9638-7814

Jurado

Bendezu Romero, Lenin Miguel
Romero Rios, David
Yupari Silva, Emilio Gustavo

Lima – Perú
2026

Dedicatoria

A Dios por otorgarme la fuerza, resiliencia y sostén emocional en mis días de dolor y gozo.

A mi madre, Rosa Orozco, por su sacrificio para hacerme sonreír, dándome soporte y valor.

A mi padre, Martín Tizón, por su sacrificio que cargó para mi evolución, comodidad y formación.

A quienes fueron parte importante de mi vida con su apoyo, nobleza, gestión, inspiración y ejemplo.

A la memoria del Ing. Rauf Abusada, quien confió e insistió en terminar mi investigación.

Agradecimientos

Agradecido con Dios por sostenerme y guiarme en mis momentos de mayor angustia y bendición, con mi madre quien su confianza, determinación y amor me heredó; con mi padre quien su responsabilidad, fuerza y esfuerzo me inculcó; a los profesionales como el Ing. Francisco Jaramillo y el Ing. Edison Moscoso, familia y cercanos cuyo soporte técnico, teórico y emocional brindaron en influencia e inspiración para un futuro en evolución.

ÍNDICE

RESUMEN	24
ABSTRACT.....	25
I. INTRODUCCIÓN	26
1.1. Descripción y formulación del problema.....	27
<i>1.1.1. Realidad problemática.....</i>	<i>27</i>
<i>1.1.2. Pregunta general</i>	<i>29</i>
<i>1.1.3. Preguntas específicas.....</i>	<i>29</i>
1.2. Antecedentes	30
<i>1.2.1. A nivel internacional.....</i>	<i>30</i>
<i>1.2.2. A nivel nacional</i>	<i>32</i>
1.3. Objetivos	37
<i>1.3.1. Objetivos Generales.....</i>	<i>37</i>
<i>1.3.2. Objetivos Específicos</i>	<i>37</i>
1.4. Justificación	38
<i>1.4.1. Justificación práctica.....</i>	<i>38</i>
<i>1.4.2. Justificación Social</i>	<i>38</i>
<i>1.4.3. Justificación teórica.....</i>	<i>38</i>
<i>1.4.4. Justificación Metodológica.....</i>	<i>39</i>
1.5. Hipótesis	39

1.5.1. Hipótesis general	39
1.5.2. Hipótesis específicas	39
II. MARCO TEÓRICO.....	40
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación	40
2.1.1. Diseño Estructural	40
2.1.2. Metodología BIM (Building information Modeling)	63
2.1.3. Normativa Nacional.....	69
2.1.4. Normativa Internacional.....	71
III. MÉTODO	75
3.1. Tipo de investigación.....	75
3.2. Ámbito temporal y espacial	75
3.2.1. Área geográfica	75
3.2.2. Época o período:.....	75
3.3. Variables	75
3.3.1. Variables Independientes.....	75
3.3.2. Variables Dependientes	75
3.4. Población y muestra.....	76
3.5. Instrumentos.....	76
3.5.1. Observación	76
3.5.2. Recopilación de documentación	76
3.5.3. Análisis de información	77

3.6. Procedimientos.....	77
3.7. Análisis de datos	78
3.8. Consideraciones éticas	78
IV. RESULTADOS.....	79
4.1. Criterios de estructuración	79
4.1.1. Uniformidad estructural	79
4.1.2. Simetría y simpleza	79
4.1.3. Hiperestaticidad estructural	79
4.1.4. Integridad arquitectónica	79
4.1.5. Fallas estructurales en edificaciones.....	79
4.2. Presentación de la arquitectura	82
4.3. Comentarios de la arquitectura	88
4.4. Estructuración de edificación.....	93
4.4.1. Predimensionamiento de Columnas:	95
4.4.2. Predimensionamiento de vigas	101
4.4.3. Predimensionamiento de Losas.	105
4.4.4. Predimensionamiento de muros de concreto armado.	110
4.4.5. Proyección de muros continuos	110
4.4.6. Esquema de estructuración.....	114
4.5. Exportación de Revit a Etabs mediante CSIXRevit	118
4.5.1. Importación de modelo analítico a ETABS	122

4.6. Definición de materiales en Etabs.....	126
4.6.1. <i>Definición de concreto</i>	126
4.6.2. <i>Definición del acero de refuerzo</i>	129
4.7. Definición de elementos en Etabs.....	130
4.7.1. <i>Desplante en edificación</i>	130
4.7.2. <i>Definición de placas</i>	132
4.7.3. <i>Definición de sección de Losas</i>	133
4.7.4. <i>Diafragma rígido</i>	139
4.7.5. <i>Consideración por corta longitud de desarrollo</i>	141
4.8. Definición de cargas en Etabs.....	142
4.8.1. <i>Cargas aplicadas en pisos</i>	143
4.8.2. <i>Cargas aplicadas por ascensor</i>	143
4.8.3. <i>Cargas aplicadas por muros</i>	145
4.8.4. <i>Definición de combinaciones de cargas</i>	147
4.8.5. <i>Definición masa participativa</i>	148
4.9. Análisis dinámico.....	149
4.9.1. <i>Análisis modal</i>	149
4.9.2. <i>Análisis estático o de fuerzas equivalentes</i>	151
4.9.3. <i>Análisis pseudo-dinámico</i>	156
4.9.4. <i>Irregularidad estructural en edificación</i>	159
4.9.5. <i>Verificación de distorsiones</i>	168

4.9.6. Verificación del sistema estructural	172
4.9.7. Factores de amplificación Sísmica	176
4.9.8. Actualización de modelado BIM.....	179
4.10. Diseño estructural de vigas	181
4.10.1. Diseño por flexión de vigas.....	181
4.10.2. Diseño por flexión de vigas: ETABS.....	185
4.10.3. Longitud de desarrollo en vigas	187
4.10.4. Verificación de torsión.....	188
4.10.5. Diseño cortante de vigas.....	189
4.10.6. Deflexiones en vigas	201
4.11. Diseño de columnas	203
4.11.1. Análisis de propuesta de armado de columna	205
4.11.2. Análisis de nudo.....	212
4.11.3. Diseño de cortante de columna.....	215
4.11.4. Refuerzo transversal de columnas	219
4.12. Diseño de muros de concreto armado	221
4.12.1. Verificación de doble malla	222
4.12.2. Obtener cuantía mínima vertical y horizontal	223
4.12.3. Verificación de elementos de borde.....	223
4.12.4. Análisis de propuesta de armado de muro de concreto armado	226
4.12.5. Diseño de cortante de muro de concreto armado.....	227

4.13. Diseño de losas	230
<i>4.13.1. Diseño por flexión.....</i>	<i>230</i>
4.14. Diseño de escaleras de concreto armado	239
4.15. Diseño de cimentaciones.....	243
<i>4.15.1. Diseño por flexión de zapata aislada.....</i>	<i>243</i>
<i>4.15.2. Verificación por punzonamiento de zapata aislada.....</i>	<i>246</i>
<i>4.15.3. Diseño de cimentaciones en ETABS</i>	<i>247</i>
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	259
VI. CONCLUSIONES	262
VII. RECOMENDACIONES.....	264
VIII. REFERENCIAS.....	267
IX. ANEXOS	271

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Límites para la distorsión del entrepiso.</i>	47
Tabla 2 <i>Hitos de implementación del plan BIM Perú.</i>	70
Tabla 3 <i>Recomendaciones de dimensiones de vigas chatas.</i>	103
Tabla 4 <i>Recomendaciones de estructuración</i>	106
Tabla 5 <i>Espesores de vigas o losas en una dirección</i>	107
Tabla 6 <i>Modos de vibración en la dirección X e Y de propuesta</i>	149
Tabla 7 <i>Modos de vibración en la dirección X e Y de propuesta actualizada</i>	150
Tabla 8 <i>Factores de zona "Z"</i>	152
Tabla 9 <i>Factor de suelo "S"</i>	153
Tabla 10 <i>Periodos de "TP" y "TL"</i>	153
Tabla 11 <i>Categoría de las edificaciones y factor de Uso</i>	153
Tabla 12 <i>Coeficientes de reducción según sistemas estructurales</i>	169
Tabla 13 <i>Límites para la distorsión del entrepiso</i>	169
Tabla 14 <i>Reacciones de fuerzas cortantes en resistencia</i>	172
Tabla 15 <i>Fuerzas en Muros etiquetados PIER en Dirección de sismo estático en X</i>	173
Tabla 16 <i>Fuerzas en Muros etiquetados PIER en Dirección de sismo estático en Y</i>	173
Tabla 17 <i>Reacción de cortante sísmica dinámica y 80% estática</i>	178
Tabla 18 <i>Cálculo de acero requerido en vigas en momento negativo</i>	184
Tabla 19 <i>Cálculo de acero requerido en vigas en momento positivo</i>	184
Tabla 20 <i>Propiedades de refuerzo para la longitud de desarrollo</i>	187
Tabla 21 <i>Propiedades de refuerzo para la longitud de desarrollo</i>	187
Tabla 22 <i>Longitud de desarrollo en compresión en concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$</i>	188
Tabla 23 <i>Análisis de torsión en vigas</i>	189
Tabla 24 <i>Parámetros necesarios para el diseño de estribos</i>	195

Tabla 25 <i>Datos de primer tramo de cortante de viga analizada (Zona confinada)</i>	196
Tabla 26 <i>Propiedades de propuesta de distribución por capacidad de cortante</i>	196
Tabla 27 <i>Distribución de estribos en primer tramo de viga</i>	197
Tabla 28 <i>Distribución de estribos en segundo tramo de viga</i>	197
Tabla 29 <i>Análisis Resistencia de sección armada inicial sin norma de pórticos intermedios</i>	197
Tabla 30 <i>Espaciamiento máximo (S_{max} en zona de confinamiento)</i>	198
Tabla 31 <i>Espaciamiento máximo (S_{max} en zona de no confinamiento)</i>	198
Tabla 32 <i>Distribución de estribos en primer tramo de viga</i>	199
Tabla 33 <i>Distribución de estribos en segundo tramo de viga</i>	199
Tabla 34 <i>Cálculo de Inercias efectivas de Viga 35x70 cm²</i>	203
Tabla 35 <i>Momento nominal iterado para columna de 60x100cm² de carga 585.2719 Tn en dirección S_y</i>	207
Tabla 36 <i>Momento nominal iterado para columna de 60x100cm² de carga 505.4346 Tn en dirección S_Y</i>	208
Tabla 37 <i>Momento nominal iterado para columna de 60x100cm² de carga 584.2714 Tn en dirección S_x</i>	210
Tabla 38 <i>Momento nominal iterado para columna de 60x100cm² de carga 504.9265 Tn en dirección S_x</i>	211
Tabla 39 <i>Datos para diseño de estribos en columnas</i>	217
Tabla 40 <i>Espaciamiento de estribos mínimos por disposiciones sísmicas en columnas</i>	218
Tabla 41 <i>Distribución de estribos en columnas</i>	219
Tabla 42 <i>Refuerzo transversal de elementos verticales</i>	220
Tabla 43 <i>Verificación de cálculos de cortante de muro de concreto armado</i>	228
Tabla 44 <i>Elementos transversales y longitudinales en elementos de borde</i>	229

Tabla 45 <i>Diseño de acero en losa maciza</i>	233
Tabla 46 <i>Diseño de acero en losa aligerada</i>	235
Tabla 47 <i>Verificación a corte en losa aligerada</i>	235
Tabla 48 <i>Propiedades geométricas de primer tramo de escalera de concreto armado</i>	240
Tabla 49 <i>Diseño de acero en primer tramo escalera</i>	241
Tabla 50 <i>Análisis de dimensionamiento de zapata de concreto armado</i>	245
Tabla 51 <i>Dimensionamiento de peralte en zapata</i>	246
Tabla 52 <i>Propuesta de armado de acero en zapata</i>	246
Tabla 53 <i>Cálculo de verificaciones de punzonamiento en zapata</i>	247
Tabla 54 <i>Cálculos de diseño de zapatas</i>	257

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Mapa síntesis de vulnerabilidad para Lima Metropolitana y Callao.</i>	28
Figura 2	<i>Diagrama de histéresis Fuerza - Desplazamiento /Esfuerzo – Deformación.</i>	43
Figura 3	<i>Esquema curva esfuerzo-deformación de tipos de falla en elementos.</i>	49
Figura 4	<i>Variación de $\emptyset$ con la deformación unitaria de tracción en el acero extremo a tracción et.</i>	49
Figura 5	<i>Comportamiento de un componente estructural.</i>	50
Figura 6	<i>Esquema de diseño basado en deformación y fuerza.</i>	51
Figura 7	<i>Requerimiento de estribos en vigas.</i>	53
Figura 8	<i>Fuerza cortante de diseño por capacidad en vigas.</i>	53
Figura 9	<i>Fuerza cortante de diseño por capacidad en columnas.</i>	54
Figura 10	<i>Fuerza cortante de diseño en columnas.</i>	56
Figura 11	<i>Longitud de desarrollo de barras en tracción.</i>	57
Figura 12	<i>Factores de modificación de las longitudes de desarrollo de barras y alambres corrugados a tracción.</i>	57
Figura 13	<i>Desarrollo de ganchos estándar en tracción.</i>	58
Figura 14	<i>Factores de modificación para el desarrollo de las barras con gancho en tracción.</i>	59
Figura 15	<i>Sección típica de losa aligerada.</i>	60
Figura 16	<i>Esquema de escaleras de concreto armado.</i>	61
Figura 17	<i>Predimensionamiento de escaleras.</i>	61
Figura 18	<i>Esquema de viga de cimentación.</i>	62
Figura 19	<i>Coeficiente de Balasto vertical.</i>	63
Figura 20	<i>Jerarquía de los requisitos de información según ISO 19650-1</i>	72
Figura 21	<i>Flujo de trabajo OpenBIM.</i>	72

Figura 22	<i>Efecto de columna corta</i>	80
Figura 23	<i>Criterio para reconocimiento de falla por efecto de columna corta</i>	80
Figura 24	<i>Efecto de piso blando</i>	81
Figura 25	<i>Efecto de piso débil</i>	81
Figura 26	<i>Recomendaciones de estructuración</i>	82
Figura 27	<i>Planta arquitectónica primer piso</i>	83
Figura 28	<i>Planta arquitectónica típica (Segundo al séptimo piso)</i>	84
Figura 29	<i>Planta arquitectónica de octavo piso</i>	85
Figura 30	<i>Elevación arquitectónica Sur</i>	86
Figura 31	<i>Elevación arquitectónica Oeste</i>	87
Figura 32	<i>Corte I-I</i>	88
Figura 33	<i>Zona de escalera</i>	89
Figura 34	<i>Apertura de áreas no techadas</i>	90
Figura 35	<i>Ducto de ventilación en eje f</i>	90
Figura 36	<i>Ventanas y puertas en eje B</i>	91
Figura 37	<i>Puertas y ventanas en el eje G</i>	91
Figura 38	<i>Estacionamiento interior de edificación</i>	92
Figura 39	<i>Representación modelada de la arquitectura del voladizo</i>	92
Figura 40	<i>Edificación de arquitectura modelada en Revit</i>	93
Figura 41	<i>Filtros de compatibilización de niveles en arquitectura</i>	94
Figura 42	<i>Proyección filtrada superpuesta con tercer color</i>	94
Figura 43	<i>Rejillas estructurales planteadas y arquitectónicas</i>	95
Figura 44	<i>Representación de tipología según ubicación en planta</i>	96
Figura 45	<i>Región tributaria en columna intermedia</i>	96
Figura 46	<i>Predimensionamiento en región tributaria de columna intermedia</i>	97

Figura 47 <i>Región tributaria en columna central</i>	97
Figura 48 <i>Predimensionamiento en región tributaria de columna central</i>	98
Figura 49 <i>Región tributaria en columna esquinada interior</i>	98
Figura 50 <i>Predimensionamiento en región tributaria de columna esquinada interior</i>	99
Figura 51 <i>Cuadro de propuesta de columnas estructurales</i>	100
Figura 52 <i>Configuración de columnas en planta típica</i>	100
Figura 53 <i>Estructuración de vigas de concreto armado</i>	102
Figura 54 <i>Estructuración de vigas chatas entre ejes D-D y C-C según longitud</i>	103
Figura 55 <i>Estructuración de vigas chatas entre ejes F-F y E-E según longitud</i>	104
Figura 56 <i>Estructuración de vigas chatas entre ejes E-E y D-D según longitud</i>	104
Figura 57 <i>Cuadro de propuesta de vigas estructurales</i>	104
Figura 58 <i>Configuración de vigas en planta típica</i>	105
Figura 59 <i>Losa aligerada unidireccional y bidireccional</i>	107
Figura 60 <i>Colocación de losas aligeradas y direccionamiento</i>	108
Figura 61 <i>Direccionamiento de losa aligerada bidireccional</i>	108
Figura 62 <i>Configuración de tipología de losas y direccionamiento</i>	109
Figura 63 <i>Vista filtrada de nivel 2 con profundidad en nivel 1</i>	110
Figura 64 <i>Posibilidades de Disponibilidad de selección de continuidad de muros de concreto armado</i>	111
Figura 65 <i>Presencia de aparatos sanitarios en estructuración de muros de concreto armado</i>	112
Figura 66 <i>Estructuración de muros de concreto armado en laterales de edificación</i>	112
Figura 67 <i>Estructuración de muros de concreto armado en zona de ascensor</i>	113
Figura 68 <i>Estructuración de muros de concreto armado típicos</i>	113
Figura 69 <i>Compatibilización de closet y sistema estructural</i>	114

Figura 70 <i>Compatibilización de puertas y columnas de concreto armado</i>	114
Figura 71 <i>Modelado de estructuración en Revit con elementos superpuestos</i>	115
Figura 72 <i>Esquema de programa de separación de elementos en Dynamo</i>	115
Figura 73 <i>Reproductor de Dynamo de aplicación de separación de elementos</i>	116
Figura 74 <i>Modelado de estructuración en Revit con elementos separados</i>	116
Figura 75 <i>Incidencias reportadas en archivo BCF</i>	117
Figura 76 <i>Aperturas necesarias por escalera de duplex en azotea</i>	118
Figura 77 <i>Herramienta de automatización analítica para edificaciones nativa de Revit 2025</i>	119
Figura 78 <i>Modelo analítico generado automáticamente</i>	120
Figura 79 <i>Modelo analítico corregido según posicionamiento referenciado con elementos geométricos</i>	121
Figura 80 <i>Herramienta de exportación de CSIxRevit</i>	122
Figura 81 <i>Asistente de exportación de CSIxRevit para Revit</i>	122
Figura 82 <i>Archivo de extensión EXR</i>	123
Figura 83 <i>Importación desde ETABS</i>	123
Figura 84 <i>Asistente de importación de información EXR</i>	124
Figura 85 <i>Mapeo de compatibilización de secciones Revit – Etabs</i>	124
Figura 86 <i>Modelado importado en ETABS</i>	125
Figura 87 <i>Comparativo de modelado de pisos típicos de la estructuración del proyecto</i> ...	125
Figura 88 <i>Chequeo de modelado del proyecto</i>	126
Figura 89 <i>Propiedades del concreto 280kg/cm²</i>	128
Figura 90 <i>Verificación de propiedades no lineales</i>	128
Figura 91 <i>Curva esfuerzo - deformación del concreto</i>	129
Figura 92 <i>Propiedades del acero 4200kg/cm²</i>	130

Figura 93 <i>Desplante en edificación proyectado.</i>	131
Figura 94 <i>Actualización de posicionamiento de niveles en elevación.</i>	131
Figura 95 <i>Propiedades de muro de 300 mm de espesor.</i>	132
Figura 96 <i>Propiedades de Aligerado 250 mm</i>	133
Figura 97 <i>Propiedades de losa aligerada en 2 direcciones de 250 mm</i>	134
Figura 98 <i>Propiedades de losa maciza 250 mm</i>	135
Figura 99 <i>Estructuración etiquetada con ejes locales en Etabs</i>	136
Figura 100 <i>Vista inicial de enmallado (Mesh) de losas del modelado en ETABS.</i>	137
Figura 101 <i>División de losas analíticas para enmallado afinado</i>	138
Figura 102 <i>Vista inicial de enmallado (Mesh) de losas del modelado en ETABS.</i>	139
Figura 103 <i>Acciones típicas en diafragmas</i>	140
Figura 104 <i>Diafragma rígido típico en edificación.</i>	141
Figura 105. <i>Rotulas proyectadas en extremos de vigas en muros.</i>	142
Figura 106 <i>Cargas de acabado, tabiquería y sobrecarga en software Etabs</i>	143
Figura 107 <i>Cargas de piso en cuarto de máquinas en software Etabs</i>	144
Figura 108 <i>Edificación con cargas Shell asignadas en pisos</i>	145
Figura 109 <i>Definición de cargas por muros altos</i>	146
Figura 110 <i>Definición de cargas por muros bajos.</i>	146
Figura 111 <i>Cargas definidas por muros</i>	147
Figura 112 <i>Asignación de masa participativa en ETABS.</i>	148
Figura 113. <i>Proyección de muros de concreto armado alrededor de la escalera de evacuación.</i>	150
Figura 114 <i>Bosquejo de interrelación de fuerzas por sismos.</i>	151
Figura 115 <i>Zonificación sísmica en Perú. Extraído de normativa E.030</i>	152
Figura 116 <i>Definición de patrones de carga sísmica estática.</i>	155

Figura 117 <i>Modificación de carga lateral sísmica estática en X.</i>	155
Figura 118 <i>Modificación de carga lateral sísmica estática en X.</i>	155
Figura 119 <i>Espectro de respuesta según normativa E.030.</i>	156
Figura 120 <i>Espectro de respuesta según normativa E.030 de la edificación.</i>	157
Figura 121 <i>Definición de caso sísmico dinámico respecto al espectro de respuesta en X..</i>	158
Figura 122 <i>Definición de caso sísmico dinámico respecto al espectro de respuesta en Y..</i>	159
Figura 123 <i>Rigidez de nivel estático en dirección X.....</i>	160
Figura 124 <i>Rigidez de nivel estático en dirección Y.....</i>	160
Figura 125 <i>Irregularidad de geometría vertical.</i>	161
Figura 126 <i>Fuerzas cortantes por piso por fuerza estática en X.....</i>	162
Figura 127 <i>Fuerzas cortantes por piso por fuerza estática en Y.</i>	163
Figura 128 <i>Revisión de cortante variable en primer piso.</i>	163
Figura 129 <i>Revisión de discontinuidad de sistemas resistentes.</i>	164
Figura 130 <i>Ejemplo de irregularidad torsional.....</i>	165
Figura 131 <i>Verificación de Irregularidad torsional de sismo estático.....</i>	165
Figura 132 <i>Esquema de irregularidad de esquinas entrantes en Edificación.</i>	166
Figura 133 <i>Esquema de discontinuidad de diafragma.</i>	167
Figura 134 <i>Modelado de Apertura de la planta.</i>	167
Figura 135 <i>Relación de áreas en sección crítica evaluada en Revit.</i>	168
Figura 136 <i>Combinación reducida de carga dinámica en X para distorsiones</i>	170
Figura 137 <i>Combinación reducida de carga dinámica en Y para distorsiones</i>	170
Figura 138 <i>Máximas derivas de nivel en dirección X.....</i>	171
Figura 139 <i>Máximas derivas de nivel en dirección Y.....</i>	171
Figura 140 <i>Selección de muros etiquetados como PIER.</i>	172

Figura 141 <i>Actualización de caso de carga sísmica dinámica en X por reducción debido a factor de reducción</i>	174
Figura 142 <i>Actualización de caso de carga sísmica dinámica en Y por reducción debido a factor de reducción</i>	175
Figura 143 <i>Actualización de coeficiente de carga sísmica estática debido a reducción en dirección X.</i>	176
Figura 144 <i>Actualización de coeficiente de carga sísmica estática debido a reducción en dirección Y.</i>	176
Figura 145 <i>Combinación de carga en X.</i>	177
Figura 146 <i>Combinación de carga en Y.</i>	177
Figura 147 <i>Factor de amplificación de carga sísmica dinámica en dirección Y</i>	178
Figura 148 <i>Consideraciones de propiedades de importación a Revit desde ETABS</i>	179
Figura 149 <i>Actualización de modelado en software Revit.</i>	180
Figura 150 <i>Planimetría generada en Revit</i>	181
Figura 151 <i>Diagrama de momentos máximos y mínimos en planta nivel 4</i>	182
Figura 152 <i>Análisis de envolvente de combinación de cargas en viga C-C</i>	182
Figura 153 <i>Idealización de viga C-C extraída del Revit</i>	183
Figura 154 <i>Idealización isométrica de viga C-C extraída del Revit</i>	183
Figura 155 <i>Diseño de refuerzo longitudinal de viga</i>	185
Figura 156 <i>Diseño de acero propuesto por ETABS en planta de nivel 4</i>	185
Figura 157 <i>Diseño de eje C-C en nivel 4</i>	186
Figura 158 <i>Propuesta de refuerzo longitudinal de eje C-C & propuesta del software ETABS.</i>	186
Figura 159 <i>Modelado de acero longitudinal en Revit</i>	187
Figura 160 <i>Análisis de fuerzas cortantes para verificación de torsión en vigas.</i>	188

Figura 161 <i>Diagramas de viga B40 en nivel de la azotea.</i>	190
Figura 162 <i>Cortante última respecto al diseño por capacidad.</i>	192
Figura 163 <i>Combinación de carga es $1.25(CM+CV)$ para diseño por capacidad.</i>	193
Figura 164 <i>Combinación de carga es $1.25(CM+CV)+2.5*SDy$ para diseño por capacidad.</i>	194
Figura 165 <i>Descripción de viga diseñada por cortante.</i>	195
Figura 166 <i>Verificaciones de cortante última y cortante del concreto reducida.</i>	199
Figura 167 <i>Distribuciones de estribos en viga obtenido del espaciamiento</i>	200
Figura 168 <i>Armado de estribos en Revit de viga</i>	200
Figura 169 <i>Armado de acero longitudinal en viga de eje C-C.</i>	201
Figura 170 <i>Tabla de deflexiones en vigas simplemente apoyadas.</i>	201
Figura 171 <i>Deflexión de viga bajo cargas de servicio.</i>	202
Figura 172 <i>Selección de columna más crítica de sección $60x100cm^2$ mediante comparativo de fuerzas axiales y de momento flector en el eje C con sismo en X.</i>	204
Figura 173 <i>Selección de columna más crítica de sección $60x100cm^2$ mediante comparativo de fuerzas axiales y de momento flector en el eje C con sismo en Y.</i>	205
Figura 174 <i>Sección propuesta de columna de columna $60x100 cm^2$</i>	206
Figura 175 <i>Herramienta de superficie de interacción de columna, mediante el software Etabs de la columna $60x100 cm^2$.</i>	206
Figura 176 <i>Diagrama de interacción de columna en dirección Y nivel 1 de $60X100 cm^2$.</i> ..	207
Figura 177 <i>Diagrama de interacción de columna en dirección Y nivel 2 de $60x100cm^2$.</i>	208
Figura 178 <i>Diagrama de interacción de columna en dirección X nivel 1 de $60X100 cm^2$.</i> ..	209
Figura 179 <i>Diagrama de interacción de columna en dirección X nivel 2 de $60x100cm^2$.</i> ...	211
Figura 180 <i>Diagramas de viga B56 en nivel 2.</i>	212

Figura 181 <i>Momento nominal requerido y propuesto para satisfacer momento último de viga B56.</i>	213
Figura 182 <i>Diagramas de viga B54 en nivel 2</i>	213
Figura 183 <i>Momento nominal requerido y propuesto para satisfacer momento último de viga B54.</i>	214
Figura 184 <i>Momentos nominales y verificación Viga débil - columna fuerte.</i>	214
Figura 185 <i>Nudo de encuentro con vigas en eje 3-3 y C-C.</i>	215
Figura 186 <i>Diseño de pórticos intermedios por cortante.</i>	216
Figura 187 <i>Diagramas de columna C4 en nivel 2</i>	216
Figura 188 <i>Verificación de estribos mínimas.</i>	219
Figura 189 <i>Refuerzo transversal de columna de concreto armado 60x100 cm.</i>	221
Figura 190 <i>Muro de concreto armado en el eje 1 entre los ejes B y D en el software ETABS.</i>	222
Figura 191 <i>Diagrama de análisis de sección de muros estructurales.</i>	223
Figura 192 <i>Consideraciones de preferencias en diseño de muros de concreto.</i>	224
Figura 193 <i>Muro de concreto armado en PIER propuesta en diseño de estructura en ETABS.</i>	225
Figura 194 <i>Placa en PIER propuesta en diseño de estructura en ETABS.</i>	225
Figura 195 <i>Chequeo de elementos de borde a través de informe de ETABS.</i>	225
Figura 196 <i>Herramienta de superficie de interacción de columna, mediante el software Etabs de muro de concreto armado.</i>	226
Figura 197 <i>Diagramas de fuerza axial en muro de concreto armado.</i>	226
Figura 198 <i>Diagramas de momentos y fuerza cortante en muro de concreto armado.</i>	227
Figura 199 <i>Diagrama de interacción de muro de concreto armado en dirección PDY.</i>	227
Figura 200 <i>Bosquejo de armado de estribos de elemento de borde en Revit</i>	229

Figura 201 <i>Propiedades de la franja STRIP.....</i>	230
Figura 202 <i>Trazo de líneas de STRIP en planta.</i>	230
Figura 203 <i>Análisis de franjas STRIP horizontales para losas en la planta del Azotea.</i>	231
Figura 204 <i>Análisis de franjas STRIP verticales para losas en la planta de la azotea.</i>	232
Figura 205 <i>Diagrama de momentos de losa aligerada bidireccional</i>	234
Figura 206 <i>Configuración de longitudes en losa.</i>	236
Figura 207 <i>Diseño de paño de losa aligerada bidireccional.</i>	237
Figura 208 <i>Planta de encofrados típica.....</i>	238
Figura 209 <i>Esquema de armado de acero de losas en Software Revit</i>	239
Figura 210 <i>Escaleras de emergencia de concreto armado.....</i>	240
Figura 211 <i>Esquema de equilibrio en escalera</i>	241
Figura 212 <i>Diseño de primer tramo de escalera de concreto armado.</i>	242
Figura 213 <i>Diseño de tercer tramo de escalera de concreto armado.</i>	243
Figura 214 <i>Análisis de carga en columna para zapata en el eje 3-3 y C-C.</i>	244
Figura 215 <i>Propiedades de grosor de cimentaciones en Etabs.</i>	248
Figura 216 <i>Propiedades del suelo en la edificación.</i>	249
Figura 217 <i>Estructuración de zapatas dentro del software Revit al modelo analítico.....</i>	250
Figura 218 <i>Combinación de envolvente de presiones de suelo</i>	251
Figura 219 <i>Esfuerzos de suelo por cargas de servicio (Presión 1).</i>	252
Figura 220 <i>Distribución de esfuerzos por envolvente de presiones de cargas en suelos</i>	253
Figura 221 <i>Estructuración definida con zapatas.</i>	254
Figura 222 <i>Diagramas de momentos flectores y de fuerza cortante en eje vertical de zapata.</i>	255
Figura 223 <i>Diagramas de momentos flectores y de fuerza cortante en eje vertical de zapata.</i>	256

Figura 224 <i>Cimentación de estructuras en isométrico 3D en Revit.</i>	258
Figura 225 <i>Diseño de cimentaciones de concreto armado</i>	258

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como **objetivo:** Aplicar una metodología de diseño estructural mediante la aplicación de la metodología BIM por los softwares ETABS y Revit para una edificación multifamiliar de 8 pisos ubicada en el distrito de San Borja, Lima – 2025.

El método: Tiene un diseño no experimental de corte transversal con un tipo de investigación explicativa, donde la población para esta investigación está constituida por las edificaciones multifamiliares de 8 pisos que existen Lima y la muestra es una edificación multifamiliar de 8 pisos analizada en Lima, San Borja. Fueron los principales **resultados:** el modelo de cálculo que detalla el análisis estructural definido por una presentación regular en planta presentando un cumplimiento de las derivas en la dirección X e Y siendo 0.005485 y 0.001203 contando con un factor de amplificación en la dirección Y del 4%; y el modelo BIM que representa la información automatizada, compatibilizada y organizada donde se obtuvieron las cuantificaciones de concreto & barras de acero de refuerzo en 1855.73 m³ y 168.54 toneladas complementadas con la generación de la planimetría compatibilizada. Finalmente se **concluye:** que la metodología BIM, mediante ETABS y Revit, optimiza la calidad del diseño estructural al automatizar la actualización de datos y eliminar errores de transcripción manual. La interoperabilidad garantiza el cumplimiento de las normas E.030 y E.060, logrando una documentación técnica precisa y alineada con los estándares de modernización de la inversión pública del Estado.

Palabras claves: Modelado de información de estructura, Respuesta estructural, Metodología BIM, CSIxRevit.

ABSTRACT

The objective of this research is to apply a structural design methodology using BIM methodology with the ETABS and Revit software to an 8-story multi-family building located in the San Borja district of Lima, Peru, by 2025. The method employed a non-experimental, cross-sectional design with an explanatory research approach. The population for this research consists of existing 8-story multi-family buildings in Lima, and the sample is an 8-story multi-family building analyzed in San Borja, Lima. The main results were: the calculation model, which details the structural analysis, is defined by a regular plan view, showing compliance with drift limits in the X and Y directions of 0.005485 and 0.001203, respectively, with an amplification factor of 4% in the Y direction. The BIM model represents the automated, harmonized, and organized information, from which the quantities of concrete and reinforcing steel bars were obtained at 1855.73 m³ and 168.54 tons, complemented by the generation of the harmonized plans. In conclusion, the BIM methodology, using ETABS and Revit, optimizes the quality of the structural design by automating data updates and eliminating manual transcription errors. Interoperability guarantees compliance with standards E.030 and E.060, achieving precise technical documentation aligned with the State's public investment modernization standards.

Keywords: Structural Information Modeling, Structural Response, BIM Methodology, CSIxRevit.

I. INTRODUCCIÓN

Los proyectos de ingeniería transforman necesidades en activos, satisfaciendo el requerimiento del cliente o usuario, teniendo este proceso descrito desde bosquejos y trazos hasta ser ejecutados y firmados por el responsable del diseño pertinente, observándose que durante estas etapas de diseño y ejecución hay una toma de decisiones importantes, necesarias y rápidas durante la etapa de costos, enfrentando el proyecto múltiples cambios, especialmente la arquitectura y, por ende, la estructura que la complementa, haciendo del diseño estructural una especialidad que esté vinculada a las actualizaciones que necesite el proyecto con el cumplimiento normativo especificado por el reglamento nacional de edificaciones en la verificación del análisis y diseño a través cálculo estructural de la edificación definido por medio del Software Etabs.

Por otro lado, el BIM, nombrado así por sus siglas “Building Information Modeling” refiriendo al modelado de la información de la construcción se proyecta como una asistencia virtual utilizable en el ciclo de vida de un proyecto, siendo más que un software o modelado 3D, el cual proyecta un entorno colaborativo entre las especialidades con la participación de sus agentes implicados. Actualmente la implementación del plan BIM Perú está siendo progresiva en todos los proyectos de ingeniería del sector público y privado siendo, en muchos casos, una dificultad adicional al proceso de gestión tradicional desarrollado por muchas empresas las cuales no asimilan correctamente el cambio, especialmente en las de diseño estructural, siendo sus principales entregables cotizados a través de planos 2D mediante un análisis de metrados susceptible al error humano y a la dificultad de verificar la veracidad de este. La necesidad de optimizar el proceso de cotización, coordinación y actualización en la ingeniería termina siendo un desafío para el equipo de diseño y costos en proyecto, por lo que usar las herramientas BIM como el Software Revit en el proceso de diseño de una edificación puede generar una adaptación óptima al reducir tiempos de cotización, coordinación y

actualización de un proyecto, teniendo un ahorro de recursos humanos y una holgura mayor en la toma de decisiones de las necesidades arquitectónicas de un proyecto. En la presente investigación se aborda los impactos de los procesos en los usos de los Software Etabs & Revit en el diseño estructural en una edificación multifamiliar de 8 pisos en una zona urbana de Lima, a su vez por el interés de conocer los impactos positivos y negativos del uso del software Revit y Etabs a través de los procesos en las edificaciones multifamiliares además de conocer las posibles consecuencias en el uso de buenas prácticas durante su aplicación.

El presente trabajo se aborda desde el enfoque cuantitativo, el mismo permite desarrollar el trabajo tomando en cuenta datos numéricos que servirán para la validación del diseño con las normativas vigentes en una edificación multifamiliar de 8 pisos en una zona urbana de Lima, en el distrito de San Borja en al año 2025. La recolección de la información primaria, utilizándose la base de datos de la empresa en uno de sus proyectos arquitectónicos para el desarrollo de una edificación multifamiliar.

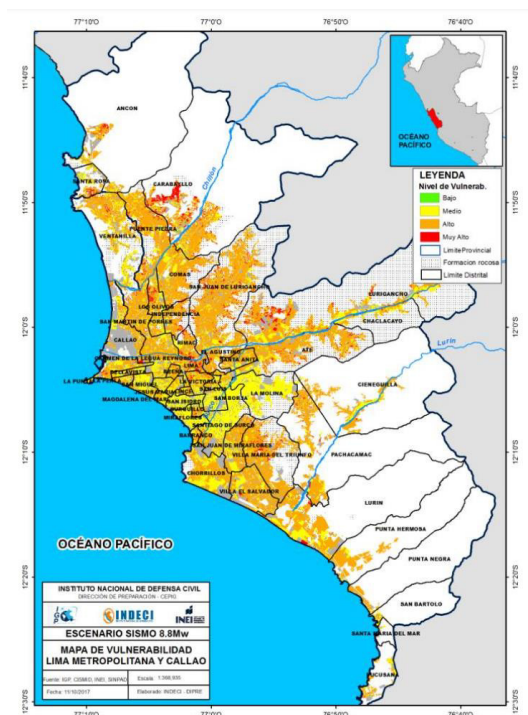
1.1. Descripción y formulación del problema

1.1.1. Realidad problemática

El crecimiento urbano de Lima, especialmente en distritos como San Borja, ha generado una creciente demanda de viviendas multifamiliares debido a la alta densidad poblacional y a la limitada disponibilidad de terrenos para la construcción de viviendas unifamiliares, por consiguiente, llevando a la proyección de viviendas de mayor altura, como edificios de 4 pisos a más, donde se plantearía los términos del diseño estructural, seguridad y costo. En la actualidad, las edificaciones habitacionales en Lima han sido construidas en su mayoría como construcciones informales las cuales se estiman más de 110,000 personas fallecidas en un escenario sísmico de magnitud 8.8Mw. donde zonas como San Borja contarían con un nivel de vulnerabilidad medio (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2017).

Figura 1

Mapa síntesis de vulnerabilidad para Lima Metropolitana y Callao.



Nota. Adaptado de “Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw”, por el Instituto Nacional de Defensa Civil (2017).

Mientras tanto, la implementación BIM en Perú tiene una proyección de adopción a través del Plan BIM Perú en el estado y sus proyectos como iniciativa por el Ministerio de Economía y Finanzas (2023) a través de la Guía Nacional BIM y ahora desarrollado también por el Ministerio de vivienda a través del Plan de implementación de la metodología BIM en el Sector Vivienda, Construcción y Saneamiento, enfocándose en la estandarización de procesos desarrollando una metodología coherente de trabajo que busque facilitar la colaboración y la coordinación entre los equipos multidisciplinarios de los proyectos, donde el software más utilizado es el Revit en la elaboración de diseños y documentación técnica como precisa Murguía (2023), siendo previsto que para el año 2030, como objetivo de cumplimiento, se haya adoptado el BIM en las instituciones siguiendo con el cronograma del Plan BIM Perú.

Por otro lado, el diseño de edificaciones de varias plantas requiere un uso de herramientas avanzadas para la correcta evaluación de cargas, materiales y el comportamiento

estructural que cumpla con la normativa garantizando seguridad. Sin embargo, muchos de estos procesos aún dependen de métodos tradicionales donde el cálculo y diseño estructural tienen poca optimización en recursos y con margen de error en la construcción al este integrarse con las disciplinas del proyecto como arquitectura y sus actualizaciones.

El control de este pronóstico depende de las metodologías y políticas públicas que promuevan el uso de BIM, así como de la capacitación continua de los profesionales en el sector de la construcción. Solo a través de una adopción masiva de BIM y su integración en todas las fases del diseño y construcción se podrá optimizar los recursos proyectando una realidad más transparente, segura, eficiente y sostenible para las viviendas multifamiliares en Lima.

1.1.2. Pregunta general

- ¿De qué manera la metodología BIM asistida mediante los softwares ETABS y Revit condiciona la calidad del diseño estructural garantizando la seguridad y eficiencia técnica de una edificación multifamiliar de 8 pisos en San Borja – Lima, 2025?

1.1.3. Preguntas específicas

- ¿Cómo proponer el dimensionamiento compatibilizado de columnas, vigas, muros y losas para la arquitectura de la edificación de 8 niveles mediante el uso del software Revit?
- ¿Cómo analizar la distribución de cargas en la edificación multifamiliar de 8 pisos en San Borja – Lima 2025 con el software Etabs?
- ¿Cómo se compatibilizaría los resultados del diseño estructural del software Etabs a través de la planimetría utilizando el software Revit para una edificación multifamiliar de 8 pisos?

1.2. Antecedentes

1.2.1. *A nivel internacional*

Entorno al marco internacional, Aziz et al. (2025) desarrollo EL ROL DE BIM COMO UN HERRAMIENTA LEAN EN LA FASE DE DISEÑO. Ciudad Giza – Egipto. El objetivo de la investigación es establecer un criterio de aplicación BIM para abordar en los proyectos de construcción, dando explicación de los beneficios de implementar BIM integrándose y contribuyendo a los principios LEAN de la industria de la construcción (AEC: Architecture, Engineering & Construction) usando esta metodología en escuelas. La metodología refiere a un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, el cual menciona una forma usar procesos de gestión BIM bajo el enfoque del Lean Construction en la fase de diseño mostrando 2 diagramas de flujo del trabajo del proyecto con metodología BIM y sin otro sin la metodología BIM. Los resultados indican que la aplicación del BIM tiene un consumo de tiempo independientemente del tamaño del proyecto, por lo que este se puede amortizar con el uso de herramientas como la programación en BIM (Dynamo) ; detector de incidencias (problemática de ingeniería) se encuentra obteniendo los beneficios de la integración del BIM en los principios del Lean en la fase de diseño de proyectos de construcción produciendo un impacto positivo en el rendimiento del proyecto con resultados más precisos de cantidades de material, programación obteniendo una reducción de costos por el uso de BIM, Dynamo y Lean Construction . En conclusión, la autora reconoce que, al usar los principios expuestos en la investigación, se puede tener beneficios de ahorro y mejora colaborativa entre las especialidades (AEC) beneficiando esta, desde la etapa de diseño, para un óptimo flujo de trabajo colaborativo y visual, apoyándose de herramientas como Dynamo. Sin embargo, indica que también debe lidiar contra algunos obstáculos como es el cambio de gestión del proyecto, tecnología, capacitaciones al personal involucrado en el proyecto y las consideraciones legales aplicadas en el proyecto en su implementación; por lo que enfatiza la importancia en la continuidad de la investigación y

conocimiento de la adopción del BIM y el Lean Construction para la innovación y productividad de la industria de la construcción.

Por otro lado, Reyes (2023). En su estudio realizó la investigación ESTRUCTURAS EN BIM: Cómo de automático puede llegar a ser el modelado de estructuras en BIM. Ventajas con respecto al flujo de trabajo tradicional en CAD. Ciudad Sevilla – España, el cual tuvo como objetivo de saber la capacidad de automatizar el modelado BIM en la especialidad de estructuras en comparación al proceso general en CAD. La metodología refiere a un enfoque cuantitativo de tipo correlacional, el cual hace el comparativo del uso de 2 metodologías de proceso de diseño. Los resultados indican que el uso de familias en Revit agiliza el desarrollo de modificación de secciones por sus ventajas de automatización, a la vez que cada elemento asocia características de sus propiedades evitando el uso de plumillas o capas en CAD; la parametrización de alturas de nivel del proyecto; la detección de errores de compatibilización entre especialidades; los niveles de detalle que permite ver capas y encuentros para la generación de secciones. En conclusión, el autor considerar 3 acciones primordiales en la automatización: “Preparación del modelo”, “Modelado” & “Trazar y etiquetar”, los cuales optimizan la parametrización de elementos para su automatización y replicación masiva en el proyecto aprovechando que la metodología BIM colabora con una gran cantidad de softwares, siendo en consecuencia, en base a la experiencia del autor, costes más económicos; mayor control de detalles, mejor detección de errores y mayor rapidez en el desarrollo del modelado que el dibujo en CAD.

Así mismo, Leonardi et al. (2023) efectuaron el trabajo de Flujo de trabajo abierto escalable basado en BIM para el análisis estructural de agregados de construcción de mampostería donde su investigación tiene como objetivo dar a conocer la importancia e integración del sistema OpenBIM a través del uso el uso del IFC y el flujo de trabajo histórico en el análisis sísmico de una edificación de mampostería de agregados, siendo parte del estudio

de análisis estructural mediante el análisis de elementos finitos (FEM), el software OpenSees y Python como softwares de programación y automatización para los resultados a través de algoritmos. Los resultados indican la representación del análisis dinámico de la estructura con la respuesta de desplazamientos y esfuerzos visualizados a través del software contando con 300 modos de vibración proporcionando un esquema visual de los resultados y almacenado en el software IFC. Como conclusión, los autores consideran un crecimiento positivo como un nuevo paso a la interoperabilidad del BIM y el FEM con procesos automatizados, a su vez mencionan que el nivel de información (LOD) es una contribución en la gestión de la información del proyecto. Se considera esto como potencial herramienta en la recopilación de la información y revisión del análisis estructural histórico de la construcción, pudiendo acceder a esta información desde el software OPENBIM contribuyendo a la revisión del especialista e involucrados a través de la historia sin necesidad de contar con un software de licencia especializada para un caso.

1.2.2. A nivel nacional

En el contexto nacional, Condori (2020) realizó el trabajo de investigación Análisis y diseño estructural de una edificación de 5 pisos de concreto armado mediante la aplicación de la metodología BIM en el distrito de Tacna. Ciudad Tacna – Perú, donde la investigación tuvo el objetivo de determinar el análisis y diseño estructural de un edificio de estructuras de 5 pisos de concreto armado mediante la aplicación de la metodología BIM en el departamento de Tacna. La metodología refiere a un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo, el cual hace descripción del proceso de diseño. Los resultados indican que el proyecto determinó el análisis sísmico estático y dinámico cumpliendo la normativa peruana E.030 y el diseño estructural mediante el uso de Mathcad y Etabs con el control mediante la metodología BIM ya que este inicio desde el modelo analítico desarrollado en previamente en Revit (arquitectura). En

conclusión, el autor indica que se consigue una detección de posibles interferencias, también facilitando la obtención detallada de cuantificaciones y por otro lado la reducción de tiempo en la elaboración de la documentación en los planos de detalle con la incorporación de una plantilla personalizada, pudiendo ser logrado esta interoperabilidad con el ADDIN CSiXRevit (extensión de software) validando el diseño estructural, siendo esto gracias a la metodología BIM implementada en el proyecto.

Además, Horna (2023) en su estudio de Diseño estructural de edificio para uso de vivienda multifamiliar de 4 pisos aplicando Softwares Robot Structural y Revit - Chachapoyas – 2022 propuso el objetivo de desarrollar el diseño estructural del edificio para el uso de vivienda multifamiliar de 4 niveles aplicando el software Revit y Robot Structural en chachapoyas. La metodología empleada se basa en un estudio descriptivo con diseño no experimental donde describirá las características observables y aplicativas en el análisis basado en el método de desarrollo utilizando los softwares de Robot Structural Analysis y Revit. Los resultados de la investigación presentaron una verificación de fisuración, aplastamiento en muros y control de derivas aprobadas en la verificación, una estructural que supera el 90% de la participación de masa en su análisis modal y con la propuesta diseño de elementos estructurales con el cumplimiento normativo. En sus conclusiones, el autor resalta que el software ofrece la capacidad de realizar operaciones estructurales, de cuantificación, de precisión y una disminución significativa del tiempo invertido en la creación de modelos y sus respectivos elementos estructurales recomendando tener en cuenta el nivel de conocimiento del usuario en el programa elegido.

Por su parte, Sánchez (2022), en su desarrollo del trabajo de investigación “determinar la respuesta estructural del módulo “i” de la I.E.P. Alfonso Villanueva Pinillos, de la ciudad de Jaén al ser analizado con los softwares Robot structural analysis professional y ETABS. Departamento de Cajamarca, provincia de Jaén, tuvieron la finalidad de hacer un estudio

comparativo de la respuesta estructural del módulo de un colegio con el uso de 2 software de análisis estructural, siendo CSI Etabs y Autodesk Robot Structural, con el propósito de señalar las diferencias al usar los programas Etabs y Robot Structural, para la evaluación de resultados, ventajas y desventajas. La metodología refiere a un diseño de tipo no experimental y enfoque cuantitativo de alcance correlacional comparativo en el uso de los 2 software dando comparación del periodo fundamental de vibración, fuerza cortante en la base, cálculo de hacer en vigas y columnas, fuerzas internas en elementos estructurales, distorsión de entrepiso y desplazamientos. Los resultados indican un uso del software de Etabs con ventajas de recepción de información de materiales y sistemas de construcción (concreto armado o albañilería) con verificaciones del espectro sísmico, cuenta con la norma E.030 en sus base de datos, la posibilidad de hacer un diagrama de interacciones de la columnas, las combinaciones de carga y sus envolventes, siendo su principal desventaja la facilidad de trazo del modelado y el idioma en inglés; mientras que en el uso del Robot Structural, cuenta con facilidad de trazo del modelamiento con una mejor interfaz de espacio de trabajo, con amplia gama de materiales y un trabajo en español, pudiendo crear plantillas para futuros trabajos , por otro lado, su desventaja, no cuenta con la opción de albañilería, la normativa peruana como base de datos ni de la combinación de carga envolvente. Como conclusión se obtiene resultados con mayores momentos flectores y fuerzas cortantes con el software de Robot (5% aproximadamente en promedio de diferencias), mientras que en las cargas axiales, se obtuvieron un promedio de 2.45% mayores en columnas; a su vez se tuvo una mayor área de acero en vigas (promedio de 5.2% y 4.48% de acero negativo y positivo respectivamente); una variación en el periodo fundamental de vibración mayor en robot como 4365% y 5.4% en sus ejes siendo como resumen que Robot Structural proporciona mayor respuesta estructural respecto de CSI ETABS., siendo considerado en la tesis como un programa más adecuado para proyectos de edificaciones aporticadas y albañilería por la interfaz y vista tridimensional de manejo más

sencillo para el ahorro de tiempo que este supone siendo su recomendación usarlo principalmente en edificaciones aporticadas y albañilería.

Cabe destacar que Murguía et al. (2023) publicaron su trabajo de investigación Tercer estudio de adopción BIM en proyectos de edificación en Lima, investigación que dio a conocer el estado actual de la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) en la digitalización con BIM, involucrando un sector público, privado y académico. Los resultados indican la variación en el nivel de adopción BIM, por etapa de proyecto, por motivos que no se implementó BIM, por tipo de edificación, por tamaño de empresa, por especialidades por uso de modelos, por madurez BIM en empresas, con software utilizados, por el impacto BIM, etc. mostrando una variación positiva en promedio respecto al estudio anterior de adopción BIM en Lima siendo un efecto de la implementación por el Plan BIM Perú. En conclusión, el autor considera un crecimiento positivo, pero con pérdida de velocidad de adopción BIM, indicando que hay motivos relacionados con los clientes, el tamaño de la empresa, la etapa, indicando que las especialidades más modeladas continúan siendo arquitectura y estructuras (volumetría) (siguiéndole las demás especialidades). Por otro lado, también indica que el 99% de los proyectos que usan BIM, han tenido el uso de estructuras concreto en los proyectos de edificación y que el 96% del total de proyectos recopilados, representan el uso del software Revit. El autor nos da a entender que aún seguimos en un nivel de adopción de “mayoría temprana” según la teoría de difusión de innovaciones en el contexto Limeño. Debido a ello, recomienda definir hitos, estándares, mallas curriculares, hardware, conocimiento, comunicación y participación con los involucrados incluyendo al cliente como puntos importantes para un trabajo exitoso.

Así pues, Quezada y Torres (2024) realizaron la investigación Análisis y Diseño Estructural de una Edificación de Seis Niveles Utilizando Revit y Etabs, Trujillo – 2022. Ciudad Trujillo – Perú la cual tuvo como objetivo la realización de un análisis y diseño

estructural de una edificación de 6 niveles utilizando Revit y Etabs buscando lograr la interoperabilidad BIM entre los softwares propuestos. Investigación fue de diseño no experimental, en la que se utilizó la observación directa, siendo tipo aplicada con enfoque cuantitativo. Los resultados obtenidos del fueron una respuesta periodo-participación modal de 0.42 segundos con 72%: 0.34 segundos con 65% y 0.31 segundos con 70% en las direcciones XX,YY y ZZ respectivamente teniendo una participación del 100%, 99.94% y 99.76% en aquellas direcciones. De igual manera tuvo desplazamientos máximos de 0.0028 y 0.00297 en las direcciones XX y YY. Se concluye con el autor que se cumple con la normativa E.030 con desplazamientos menores al 0.007 con el análisis dinámico y de diseño pudiendo mantener la interoperabilidad de modelo con el uso de CSXIREVIT.

Asu vez, Pacha (2024) en su investigación Análisis estructural comparativo aplicando Robot Structural y Tekla Structural Designer de la infraestructura del colegio Las Mercedes, Juliaca, Puno. Ciudad Lima – Perú desarrolla el objetivo de la investigación como la comparación de resultados del análisis estructural del software robot Structural y el Tekla Structural Designer en una infraestructura educativa. La metodología utilizada es de tipo aplicada, de diseño no experimental, comparativo de enfoque cuantitativo. Los resultados obtenidos del comparativo fueron la fuerza cortante basal, masas por nivel, los modos de vibración de la estructura con su masa participativa, los desplazamientos laterales, las derivas(distorsión de entrepisos), obteniendo una diferencia de 0.1% por masa de cada nivel, por otro lado, las fuerzas cortantes basales dinámicas difieren en un 9.13% y 27.03% en los ejes X e Y respectivamente; en desplazamientos laterales, 8.65% y 11.24% en los ejes X e Y respectivamente y en derivas inelásticas, 7.56% y 9.86% en los ejes X e Y respectivamente. En conclusión, según el autor se obtienen resultados de menor magnitud, siendo las variaciones consecuencia de factores de cálculo de propio software utilizado (una diferencia es la de la inserción de más datos para el análisis sísmico en Tekla Structural Designer) siendo los

resultados en promedio del Tekla Structural Designer unos resultados superiores para las fuerzas de cortante basal dinámica, desplazamientos laterales, fuerzas internas y derivas.

Asimismo, David del Barco. (2019) con *Diario de un BIM Manager* desarrolló el objetivo del libro como una guía práctica de recomendaciones en la práctica en el aspecto operativo, toma de decisiones y flujos de trabajo llevados a cabo en el desarrollo BIM. La metodología utilizada es de tipo aplicada, de diseño no experimental, descriptivo de enfoque cuantitativo. Los resultados obtenidos de la guía fueron de toma de decisiones como de definiciones necesarias BIM, implantación BIM, inicialización de proyectos, desarrollo de proyectos, Gestión & coordinación, control & calidad y cierre de los proyectos BIM. En conclusión, indica que esta guía es parte del camino de implementación BIM en la actualidad, la cual servirá para el pensamiento crítico y al sentido común para llegar al máximo de productividad con el menor esfuerzo dominando las metodologías, teniendo un software y hardware muy cambiante con esta guía, proponiéndose tomar la guía como punto de partida o reconocimiento para recorrer aspectos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos Generales

- Evaluar la influencia de la aplicación de la metodología BIM asistida por los softwares ETABS y Revit en la calidad del diseño estructural de una edificación multifamiliar de 8 pisos ubicada en el distrito de San Borja, Lima – 2025.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la influencia del modelado paramétrico en la precisión del dimensionamiento compatibilizado de columnas, vigas y losas con la arquitectura de la edificación multifamiliar de 8 pisos, utilizando software Revit.

- Analizar el comportamiento del flujo de cargas y la respuesta sísmica de la edificación multifamiliar de 8 pisos en San Borja – Lima 2025 con el software Etabs garantizando la seguridad estructural y cumplimiento normativo.
- Determinar de qué manera la integración de resultados de los softwares Etabs y Revit optimizan la calidad de la documentación técnica y planimetría estructural de una edificación multifamiliar de 8 pisos.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación práctica

Reducir tiempos de ejecución, costos y mejoraría la precisión y calidad de los resultados evitando la distorsión de la información mejorando la colaboración entre las especialidades del proyecto y solucionando los problemas de compatibilización del software Etabs y el Software Revit generados por la estructuración, análisis y diseño estructural.

1.4.2. Justificación Social

Impacto directo en la ejecución de proyectos donde se beneficiarían los involucrados en el proceso de gestión del proyecto, revisores, supervisores, la gerencia del proyecto y los diseñadores de cada especialidad del proyecto. Asimismo, tendría un impacto en la seguridad y calidad de las viviendas de los ciudadanos, especialmente en zonas vulnerables a sismos, y contribución al desarrollo de viviendas con mayor información, más seguras y accesibles económicamente.

1.4.3. Justificación teórica

Fortalecer los criterios sobre el uso de BIM en la construcción y la optimización de procesos, aportando a la investigación académica y profesional sistematizando procesos de compatibilización relacionados a la a especialidad de estructuras.

1.4.4. Justificación Metodológica

Proponer un esquema de procesos a metodología BIM orientada a la especialidad de estructuras que facilite la integración e interoperabilidad de los Softwares Etabs y Revit.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

- La aplicación de la metodología BIM asistida por los softwares ETABS y Revit optimiza significativamente la calidad del diseño estructural, garantizando el cumplimiento de los límites de distorsión de entrepiso (derivadas) y la eficiencia en la integración de la información de acuerdo con las normas E.030 y E.060 del RNE.

1.5.2. Hipótesis específicas

- El uso del software Revit incrementa la precisión en la compatibilización entre las especialidades de arquitectura y estructura, reduciendo las interferencias geométricas y asegurando el dimensionamiento de elementos.
- El análisis mediante el software Etabs permite validar la seguridad estructural, asegurando que la distribución de cargas, los esfuerzos internos y los desplazamientos laterales se mantengan dentro de los límites exigidos por la normativa.
- La integración de resultados entre Etabs y Revit optimiza la calidad de la planimetría estructural, garantizando consistencia entre el modelo analítico y el modelo de información geométrico (BIM) para la edificación multifamiliar de 8 pisos.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. *Diseño Estructural*

Procedimiento general que conduce a la definición de una estructura mediante los requerimientos físicos, mecánicos y funcionales según la necesidad de un proyecto, implicando el análisis detallado de las cargas y fuerzas que deberá soportar, como la selección de materiales y sistemas de construcción adecuando para garantizar estabilidad, seguridad y durabilidad.

2.1.1.1. Elementos del diseño estructural. En un proceso de diseño se puede contar con los siguientes conceptos tal como define el reglamento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2018):

Diseño estructural: Dimensionamiento de elementos estructurales en función de los requerimientos que se adapten a la necesidad de esfuerzos que les demanden las cargas en el proyecto.

Estructuración: Planteamiento de configuración estructural preliminar que propone las elección, dimensiones y distribución de los elementos para satisfacer un proyecto arquitectónico.

Análisis: Cálculo analítico del cual se podrá analizar mediante el software de diseño respectivo para proporcionar los desplazamientos y esfuerzos mecánicos de los miembros.

Predimensionamiento: Dimensionamiento mínimo que propone las medidas según la normativa E.60 y recomendaciones para refinar un proyecto.

Memoria de cálculo: Descripción del proyecto con las condiciones utilizadas para el cálculo analítico y diseño de la estructura detallados validando las normativas y códigos justificando los resultados y siendo demostración de los planos y detalles constructivos, siendo considerado como un registro del proceso del diseño y los resultados.

2.1.1.2. Diseño Estructural del Concreto Armado. Para el MVCS (2018), el diseño estructural está definido y limitado con los requisitos mínimos y exigencias de la normativa E.060 para el análisis, diseño, control de calidad, materiales, supervisión, construcción de estructuras de concreto armado, pre-esforzado y simple.

2.1.1.3. Sistema estructural. De acuerdo al MVCS (2018), los sistemas estructurales definen la configuración de elementos que pueden definir la estructura del proyecto siendo la posibilidad que sean de albañilería confinada como de concreto armado pudiendo constituirse como de pórticos de concreto armado, muros de concreto armado y dual (mixto de los anteriores), pero ante las solicitudes de altura del edificio mayor a 5 niveles, se optó por una propuesta de sistema dual o de muros de corte, ya que permite una combinación eficiente ya que los pórticos absorben cargas y los muros de concreto, proporcionan rigidez lateral principalmente para la distorsión de entrepiso para la funcionalidad arquitectónica con la seguridad estructural normativa.

2.1.1.4. Cargas. Según al MVCS (2020), las fuerzas actuantes generadas por el peso de los elementos sobre la estructura, pudiendo ser esta viva o muerta, refiriendo si proviene del peso de ocupantes, equipamiento, elementos móviles o mobiliarios muerta, definida por el peso propio de la estructura y otros elementos de servicio o tabiques que sean permanentes, respectivamente.

2.1.1.5. Concreto. Mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino,

agregado grueso y agua, con o sin aditivos. (MVCS, 2020).

2.1.1.6. Concreto armado. Concreto estructural reforzado con no menos de la cantidad mínima de acero, preesforzado o no (MVCS, 2020).

2.1.1.7. Refuerzo corrugado. Barras de refuerzo corrugado, mallas de barras, alambre corrugado o refuerzo electrosoldado de alambre (MVCS, 2020).

2.1.1.8. Estribo. Refuerzo perpendicular al recubrimiento o en ángulo con respecto al refuerzo longitudinal, empleado para resistir esfuerzos de cortante y de torsión en un elemento estructural. Los estribos también cumplen función de control del pandeo de las barras longitudinales y de confinamiento al concreto (MVCS, 2020).

2.1.1.9. Viga. Elemento estructural que trabaja fundamentalmente a flexión y cortante (MVCS, 2020).

2.1.1.10. Viga chata. De acuerdo a Morales (2006), son elementos estructurales de sección reducida en altura en comparación con su ancho y longitud, diseñadas para soportar cargas en edificaciones donde se requiere minimizar el peralte de la estructura.

2.1.1.11. Losa. Elemento estructural de espesor reducido respecto de sus otras dimensiones usado como techo o piso, generalmente horizontal y armado en una o dos direcciones según el tipo de apoyo existente en su contorno. Usado también como diafragma rígido para mantener la unidad de la estructura frente a cargas horizontales de sismo. (MVCS, 2020).

2.1.1.12. Muro Estructural. Muro diseñado para resistir combinaciones de fuerzas cortantes, momentos y fuerzas axiales inducidas por cargas laterales. Un muro de corte o placa es un muro estructural (MVCS, 2020).

2.1.1.13. Columna. Elemento usado principalmente para resistir carga axial de compresión. También puede resistir flexión, cortante y torsión (MVCS, 2020).

2.1.1.14. Junta de expansión. Separación entre partes adyacentes de una estructura de concreto, usualmente un plano vertical, en una ubicación definida en el diseño de tal modo que interfiera al mínimo con el comportamiento de la estructura, y al mismo tiempo permita

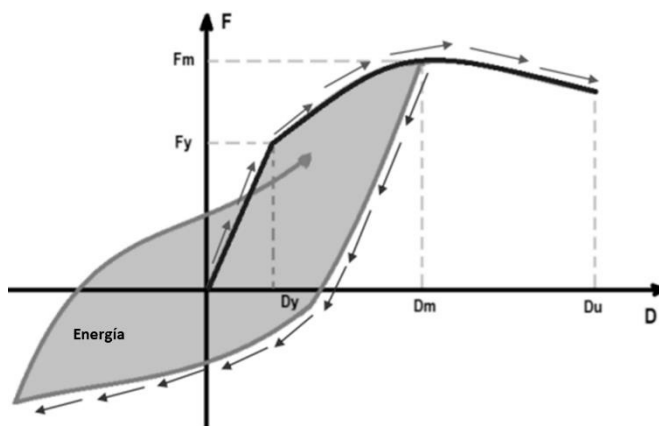
movimientos relativos en tres direcciones y evite la formación de fisuras en otro lugar del concreto y a través de la cual se interrumpe parte o todo el refuerzo adherido (MVCS, 2020).

2.1.1.15. Diafragma estructural. Elemento, como una losa de piso o cubierta, que transmite fuerzas que actúan en el plano del elemento hacia los elementos verticales del sistema de resistencia ante cargas laterales (MVCS, 2020).

2.1.1.16. Conceptos estructurales principales. Para garantizar la seguridad y eficiencia de las estructuras, es fundamental comprender los principios que rigen su comportamiento. A continuación, se presentan los conceptos estructurales clave que permiten el diseño y ejecución adecuada de elementos en concreto armado.

Figura 2

Diagrama de histéresis Fuerza - Desplazamiento / Esfuerzo – Deformación.



Nota. Elaboración propia.

Rigidez: Capacidad para oponerse a la deformación ($K=F_y/D_y$)

Resistencia: Capacidad de soportar cargas (F_m)

Comportamiento Lineal: Relación fuerza – deformación es proporcional ($F < F_y$; $D < D_y$)

Comportamiento no lineal: Relación fuerza – deformación no es proporcional ($F \geq F_y$; $D \geq D_y$)

Energía histerética: Energía que se disipa debido al daño estructural (área sombreada)

Comportamiento elástico: No existe o es despreciable el daño estructural (No Energía histerética)

Comportamiento inelástico: Existe daño estructural (Si Energía histerética)

Ductilidad: Capacidad de deformación en el intervalo de comportamiento no lineal y plástico ($u = D/D_y$ donde $D \geq D_y$)

Sobre resistencia: Capacidad de soportar cargas en el intervalo de comportamiento no lineal o adicional a la resistencia de diseño ($\Omega = F/F_y$ donde $F \geq F_y$)

Redundancia: Capacidad de redistribuir la fuerza actuante a otros elementos en el comportamiento no lineal.

2.1.1.17. Análisis estático y dinámico de la estructura

El análisis estático y dinámico de la estructura está acondicionado a la norma E.030 “Diseño Sismorresistente” del cual se comprende lo siguiente:

2.1.1.18. Análisis estático

Método representado por las acciones de fuerza sísmica por medio de un sistema de fuerzas que actúan en el centro de masa de cada nivel de la edificación. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2018, E.030).

a. Fuerza Cortante. Este método representa el corte total de la base de la estructura.

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

El valor de C/R no será menor con la siguiente condición:

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

b. Periodo fundamental de Vibración. El periodo fundamental de vibración se definirá con la siguiente fórmula para cada dirección:

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

Donde:

$C_T = 35$ para edificaciones donde son:

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

$C_T = 45$ para edificaciones donde son:

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

$C_T = 60$ para edificaciones de mampostería y para todas las edificaciones de hormigón armado doble, con paredes estructurales y paredes de ductilidad limitada.

Considerar que de ser necesario se puede usar la siguiente expresión:

$$T = 2. \pi. \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i^2)}{(g \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i)}}$$

c. Distribución de la Fuerza Sísmica. Las fuerzas sísmicas horizontales serán distribuidas considerando el cálculo mediante:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i \cdot (h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j \cdot (h_j)^k}$$

Se consideraría, n el número de pisos, K el exponente del periodo fundamental de vibración de la estructura y en T(periodo) según la dirección considerada:

- Siendo T menor o igual a 0.5 segundos: $k=1.0$.

- Para T mayor que 0.5 segundos: $k=(0.75+0.5T) \leq 2.0$.

2.1.1.19. Análisis dinámico Modal Espectral. El análisis modal espectral es un método de diseño sísmico dinámico que calcula la respuesta estructural ante un sismo, descomponiendo el edificio en sus "modos de vibración" (formas y frecuencias naturales), calcula la respuesta de cada modo usando un espectro de diseño, y los combina para obtener los desplazamientos y fuerzas máximos.

2.1.1.20. Modos de Vibración. Se puede definir como las formas en que una estructura puede vibrar libremente sin la aplicación de fuerzas externas como una frecuencia natural específica. Mediante un procedimiento de análisis que considera apropiadamente las características de rigidez y la distribución masas, pueden determinar los modos de vibración. Se consideran en cada dirección los modos de vibración donde la suma de masas efectivas sea de la masa total, el 90%, tomando en cuenta los 3 primeros modos predominantes por lo menos en la dirección de análisis.

a. Aceleración Espectral. Para cada una de las analizadas direcciones horizontales, un espectro de pseudoaceleración inelástica definido por:

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

Para un análisis vertical, puede usarse 2/3 del espectro horizontal definido en las direcciones horizontales. En caso excepcional para periodos cortos ($T < 0.2T_p$) en donde se considera:

$$C = 1 + 7.5\left(\frac{T}{T_p}\right)$$

b. Fuerza Cortante mínima. Para las direcciones consideran en el análisis, la fuerza cortante no puede ser menor que el 80% del valor calculado según el artículo 25 para

estructuras regulares de la norma E.030 (2018) , ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

c. Modelo para análisis. El modelo matemático representa correctamente la distribución espacial de masas en la estructura. La resistencia de los elementos es obtenida en base a los valores esperados sobre la resistencia del material, endurecimiento por deformación y degradación por carga cíclica. Se tomará supuesto de propiedades lineales para elementos que en análisis demuestren propiedades de rango elástico. De ser necesario, se tomará en cuenta un supuesto empotrado de base o alternativamente la flexibilidad de sistema de cimentación. La incertidumbre se presenta en la localización de los centros de masa en cada nivel.

d. Desplazamientos laterales relativos admisibles. Límites de desplazamiento entre piso no deben exceder la fracción de la altura de entre piso (distorsión)

Tabla 1.

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 ductilidad limitada	0.005

Nota. Adaptado de límites para la distorsión de entrepiso (p. 13), por Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento, 2018, Norma Técnica De Edificación - E.030 Diseño Sismorresistente.

2.1.1.21. Diseño por flexión. El diseño de estructuras de concreto armado debe proporcionar resistencias adecuadas debidos a las disposiciones del reglamento nacional de edificaciones, especialmente en su desarrollo por flexión, el cual toma consideraciones.

a. Combinaciones de cargas. Se definirán las combinaciones de carga para el diseño en su demanda y capacidad del elemento.

- $U = 1.4D$
- $U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$
- $U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.5W)$
- $U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$
- $U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$
- $U = 0.9D + 1.0W$
- $U = 0.9D + 1.0E$

Donde:

- D = carga muerta
- L = carga viva
- L_r = carga en el techo
- S = carga de nieve
- R = carga de lluvia
- W = carga de viento
- E = carga por sismo.

Donde se buscará cumplir que la resistencia de diseño sea mayor a la resistencia requerida.

$$Mr = \phi Mn > Mu$$

Donde la resistencia de diseño (capacidad) o es mayor a la resistencia requerida (demanda), satisfaciendo la demanda ((Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2021, 55 E.060).

b. Tipos de falla. Dependiendo del estado de esfuerzo deformación que se presente en un proyecto, este puede ser catalogado como falla frágil, transición y dúctil.

Figura 3

Esquema curva esfuerzo-deformación de tipos de falla en elementos.

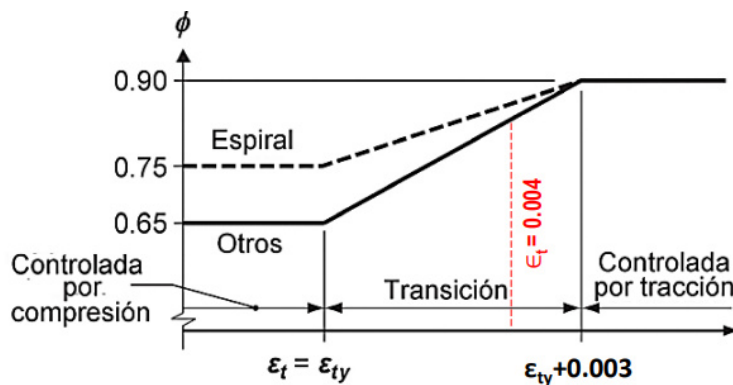


Nota. Elaboración propia.

El código ACI las define como sección controlada por compresión a la falla frágil, sección controlada a tracción a la falla dúctil y sección controlada en transición a las secciones con limitada carga axial y momento gran flector. Donde define el valor del coeficiente ϕ .

Figura 4

Variación de ϕ con la deformación unitaria de tracción en el acero extremo a tracción ϵ_t



Nota. Adaptada de “Variación de ϕ con la deformación unitaria de tracción en el acero extremo a tracción ϵ_t ”, ACI 318-19, (2019).

c. Cuantía mínima. De acuerdo al ACI 318-19, se toma en cuenta la referencia de las cuantías mínimas que hacen referencia a:

$$\rho_{min} = \max \left(\frac{0.8\sqrt{f'c}}{f_y}; \frac{14}{f_y} \right)$$

Por otro lado, MV esta referencia de cuantía mínima tanto por la normativa E.060 como en ACI318-19. Mientras que en la Norma E.060.

$$\rho_{min} = \frac{0.7\sqrt{f'c}}{f_y}$$

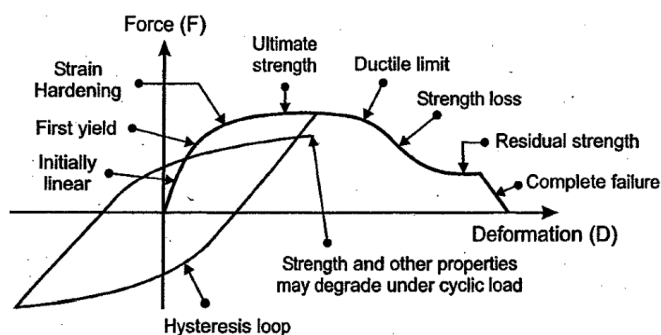
d. Cuantía máxima. Según al MVCS (2009), la norma E.060 relaciona el porcentaje respecto a la cuantía balanceada como cuantía máxima de acero a flexión.

$$\rho_{min} = 0.75\rho_b$$

2.1.1.22. Diseño sísmico. El diseño tiene la metodología normativa que permite que la estructura se pueda dañar en un sismo de gran intensidad, pero esta no debe colapsar (sea inestable).

Figura 5

Comportamiento de un componente estructural.

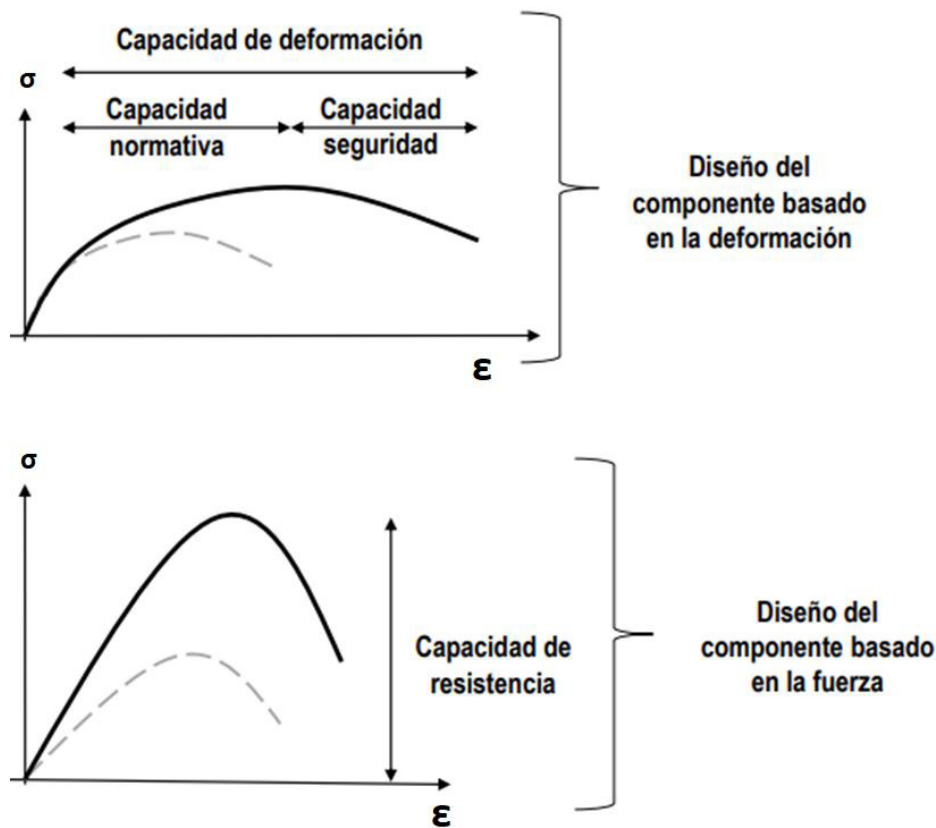


Nota. Adaptado de gráfico de relación fuerza deformación. Graham Powell, 2010, Modeling for structural Analysis.

2.1.1.23. Diseño por capacidad. Según Piqué (1995), el diseño estructural por capacidad propone un proceso metodológico de diseño donde se decide qué elementos del sistema estructural permiten un comportamiento inelástico (componentes dúctiles) y cuales deberían ser elásticos (componentes frágiles). El diseño por capacidad es una consecuencia de la metodología que usa las normativas al reducir el sismo para inducir a la inelasticidad a las estructuras. Una vez decididos los sistemas dúctiles o frágiles, se procede el diseño.

Figura 6

Esquema de diseño basado en deformación y fuerza.



Nota. Elaboración propia.

a. Procedimiento para el diseño por capacidad. Debido a la consideración del mecanismo de falla, se acepta la incursión inelástica por fuerza sísmica, siguiendo el siguiente procedimiento.

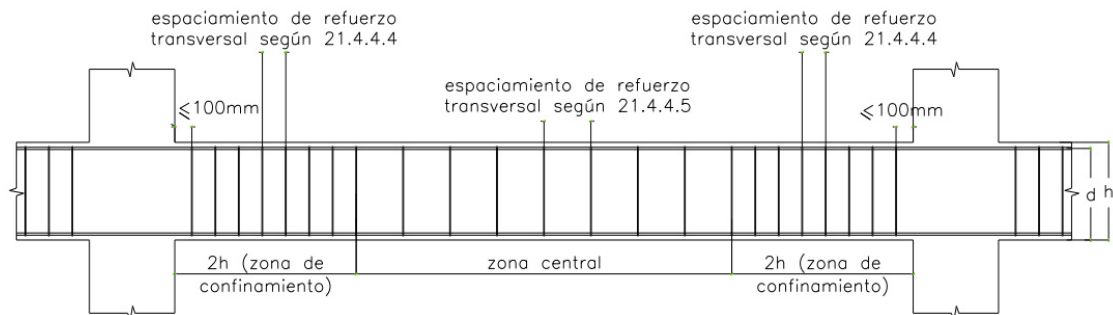
- Seleccionar la falla deseada (Preferencia de falla en vigas que en columnas y que la viga falle por flexión antes que en corte)
- Proveer de resistencia para el mecanismo de la falla deseada
- Detallar los elementos estructurales para que el mecanismo sea dúctil
- Determinar la resistencia probable.
- Determinar las fuerzas requeridas para alcanzar la resistencia probable
- Diseñar los otros elementos de estructuras para resistir las fuerzas

b. Capacidad según norma E.060. La norma cuenta con una tipología según diseño que representa el análisis, donde la norma E.060 (MVCS, 2020), presenta disposiciones sísmicas clasificando los sistemas estructurales en: Muros Estructurales, Pórtico, Dual Tipo I y tipo II, de los cuales hacen equivalencia a Muros especiales, pórticos intermedios y especiales según ACI.

a) Disposiciones sísmicas por cortante (Pórticos intermedios). Como se menciona en la norma E.060, en ambos extremos del elemento deben disponerse estribos cerrados de confinamiento en longitudes iguales a dos veces el peralte del elemento medido desde la cara del elemento de apoyo hacia el centro de la luz. El primer estribo cerrado de confinamiento debe estar situado a no más de 100 mm de la cara del elemento de apoyo. Los estribos serán como mínimo de 8 mm 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. El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder del menor de (a), (b), (c) y (d):

- a) $d/4$, pero no es necesario que el espaciamiento sea menor de 100 mm;
- b) Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro;
- c) 24 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento;
- d) 300 mm.

Los estribos deben estar espaciados a no más de $0,5 d$ a lo largo de la longitud del elemento. En todo el elemento la separación de los estribos, no deberá ser mayor que la requerida por fuerza cortante de acuerdo a:

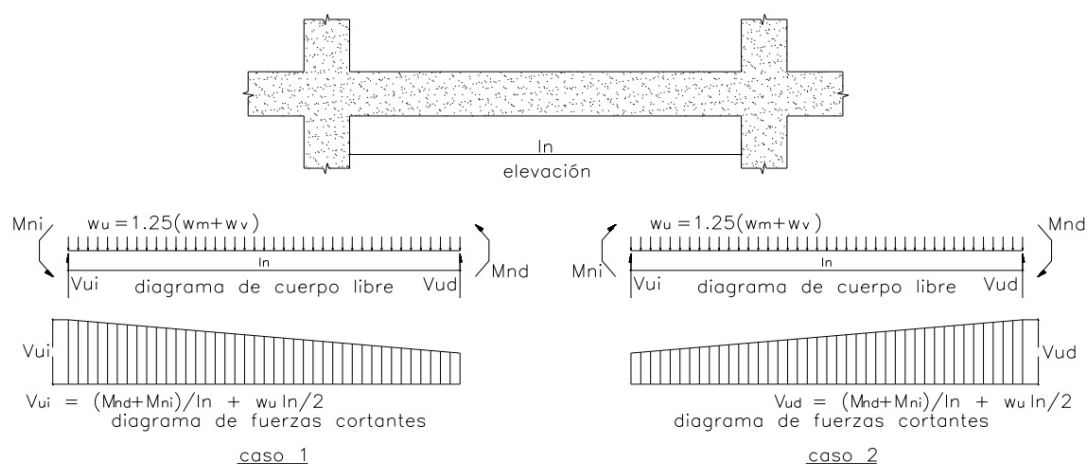
Figura 7*Requerimiento de estribos en vigas.*

Nota. Adaptado de “Norma E.060”, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009, Reglamento nacional de edificaciones.

A su vez, la norma E.060, indica que la fuerza cortante de diseño V_u de las vigas que resistan efectos sísmicos, no debe ser menor que el menor valor obtenido de (a) y (b):

a) Diseño por capacidad: la suma del cortante asociado con el desarrollo de los momentos nominales (M_n) con curvatura inversa del elemento en cada extremo restringido de la luz libre y el cortante isostático calculado para las cargas de gravedad tributarias amplificadas.

b) El cortante máximo obtenido de las combinaciones de carga de diseño de 9.2.3 con un factor de amplificación para los valores del sismo igual a 2,5.

Figura 8*Fuerza cortante de diseño por capacidad en vigas.*

Nota. Adaptado de “Norma E.060”, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009, Reglamento nacional de edificaciones.

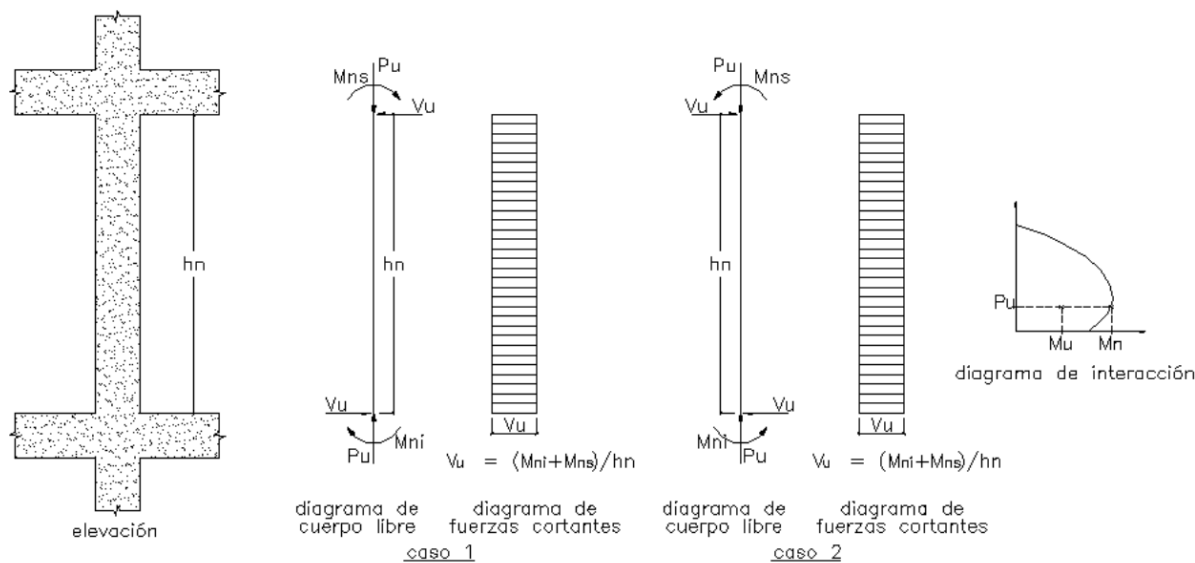
La fuerza cortante de diseño V_u de las columnas que resistan efectos sísmicos, no debe ser menor que el menor valor obtenido de (a) y (b):

a) Diseño por capacidad: la suma del cortante debido a la flexión con curvatura inversa asociado con el desarrollo de los momentos nominales (M_n) de la columna en cada extremo restringido de la luz libre. Los momentos nominales deben calcularse para la fuerza axial amplificada (P_u) consistente con la dirección de las fuerzas laterales consideradas, que dé como resultado el mayor momento nominal posible (Fig. 21.4.3.2).

b) El cortante máximo obtenido de las combinaciones de carga de diseño de 9.2.3 con un factor de amplificación para los valores del sismo igual a 3,0.

Figura 9

Fuerza cortante de diseño por capacidad en columnas.



Nota. Adaptado de “Norma E.060”, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009, Reglamento nacional de edificaciones.

b) Disposiciones sísmicas por cortante (Pórticos especiales). De acuerdo a lo especificado por la Norma E.060, deben disponerse estribos cerrados de confinamiento en las siguientes regiones:

a) En una longitud igual a dos veces el peralte del elemento, medida desde la cara del elemento de apoyo hacia el centro de la luz, en ambos extremos del elemento en flexión; b) En longitudes iguales a dos veces el peralte del elemento a ambos lados de una sección donde puede ocurrir fluencia por flexión debido a desplazamientos laterales inelásticos de la estructura.

Los estribos serán como mínimo de 3/8" para barras longitudinales de hasta 1" de diámetro y de 1/2" para barras longitudinales de mayor diámetro. El primer estribo cerrado de confinamiento debe estar situado a no más de 50 mm de la cara del elemento de apoyo. El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder del menor de (a), (b) y (c):

- a) $d/4$,
- b) Seis veces el diámetro de las barras longitudinales más pequeñas,
- c) 150 mm.

En las zonas de confinamiento, la distancia horizontal entre las barras de refuerzo por flexión más cercanas a las caras de tracción y compresión que están restringidas por las ramas verticales del refuerzo transversal (estribos cerrados y/o grapas suplementarias) no deberá exceder de 300 mm.

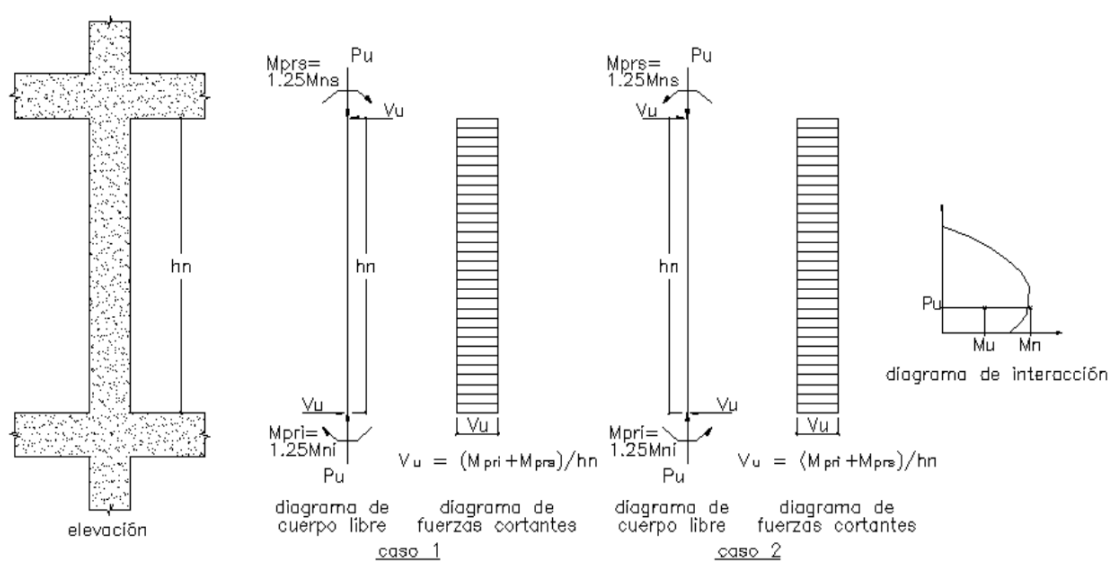
Fuera de las zonas de confinamiento, deben colocarse estribos cerrados con ganchos sísmicos en ambos extremos, espaciados a no más de $d/2$ en toda la longitud del elemento. En todo el elemento la separación de los estribos, no será mayor que la requerida por fuerza cortante.

Definido en la normativa E.060, La fuerza de cortante de diseño, V_u , se debe determinar considerando las máximas fuerzas que se puedan generar en las caras de los nudos en cada extremo del elemento. Estas fuerzas se deben determinar usando las resistencias máximas probables en flexión ($M_{pr} = 1,25 M_n$) en cada extremo del elemento (con flexión en doble

curvatura), correspondientes al rango de cargas axiales amplificadas, P_u , que actúan en él. No es necesario que las fuerzas cortantes en el elemento sean mayores que aquellas determinadas a partir de la resistencia de los nudos, basada en el M_{pr} de los elementos transversales (vigas) que confluyen en el nudo. En ningún caso V_u debe ser menor que el cortante amplificado determinado a partir del análisis de la estructura.

Figura 10

Fuerza cortante de diseño en columnas.



Nota. Adaptado de “Norma E.060”, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009, Reglamento nacional de edificaciones.

2.1.1.24. Longitud de desarrollo. La normativa E.060 define las características de anclaje respectiva en el modelo, donde se tendrían las siguientes condiciones planteadas.

Figura 11

Longitud de desarrollo de barras en tracción.

Condiciones	Alambres corrugados o barras de 3/4" y menores	Barras mayores de 3/4"
Espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo eMPalmados o desarrolladas no menor que db , con recubrimiento libre no menor que db , y estribos a lo largo de ℓ_d por lo menos iguales al mínimo indicado en 11.5.6	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_e \lambda}{2,6 \sqrt{f'_c}} \right) db$	$\left(\frac{f_y \psi_t \psi_e \lambda}{2,1 \sqrt{f'_c}} \right) db$
Aplicable también cuando el espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo desarrolladas o eMPalmadas no sea menor que $2 db$ y el recubrimiento libre no menor que db (ver Fig 12.2.2)		
Otros casos	Ver 12.2.3	Ver 12.2.3

Nota. Adaptado de “Norma E.060”, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009, Reglamento nacional de edificaciones.

Figura 12

Factores de modificación de las longitudes de desarrollo de barras y alambres corrugados a tracción.

Factor	Condiciones	Valor
Ubicación ψ_t	Barras superiores.*	1,3
	Otras barras.	1,0
Epóxico ψ_e	Barras o alambres con recubrimiento epóxico o zinc y barras con recubrimiento dual de zinc con recubrimiento menor de $3 db$ o espaciamiento libre menor que $6 db$.	1,5
	Refuerzo con recubrimiento epóxico o zinc y barras con recubrimiento dual de zinc y epóxico para todas las otras condiciones.	1,2
	Barras sin tratamiento superficial	1,0
Tamaño ψ_s	Barras de 3/4" y menores.	0,8
	Barras mayores de 3/4".	1,0
Concreto de peso liviano λ	Concreto de peso liviano.	1,3
	Concreto de peso normal.	1,0

El producto: $\psi_t \psi_e$ no necesita considerarse mayor que 1,7

* Se consideran barras superiores aquellas que tienen 300 mm o más de concreto fresco colocado bajo el refuerzo horizontal

Nota. Adaptado de “Norma E.060”, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009, Reglamento nacional de edificaciones.

Por otro lado, según al MVCS (2009) en la normativa E.060 también se indica sus características de barras corrugadas a compresión para las barras y alambres, debe tomarse como el mayor entre:

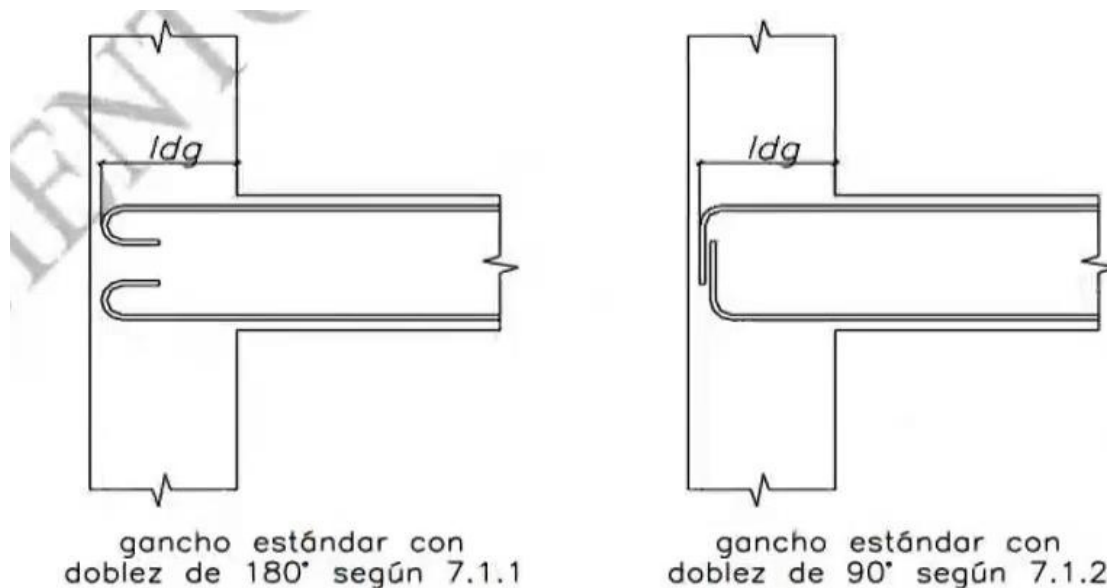
a) $\frac{0.24fy\lambda}{\sqrt{f'c}} db$

b) $(0.043fy\lambda)db$, donde la constante 0.043 tiene la unidad de mm^2/N .

Dependiendo del posicionamiento de la viga con su elemento adyacente sea viga o muro estructural, este puede ser acondicionado con la representación del desarrollo de ganchos con las características del refuerzo. Para el desarrollo de ganchos estándar en tracción, la longitud de desarrollo para barras corrugadas se puede definir $ldg = \left(\frac{0.024fy\psi_e\psi_c\psi_r}{\sqrt{f'c}}\right)db$

Figura 13

Desarrollo de ganchos estándar en tracción.



Nota. Adaptado de “Norma E.060”, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009, Reglamento nacional de edificaciones.

Por lo que se podría optar con las siguientes medidas:

- 3/8" → $la = 18 \text{ cm}$ y $g = 11 \text{ cm}$
- 1/2" → $la = 24 \text{ cm}$ y $g = 15 \text{ cm}$

- $5/8'' \rightarrow la = 30 \text{ cm}$ y $g = 19 \text{ cm}$
- $3/4'' \rightarrow la = 36 \text{ cm}$ y $g = 23 \text{ cm}$
- $1'' \rightarrow la = 48 \text{ cm}$ y $g = 30 \text{ cm}$

Figura 14

Factores de modificación para el desarrollo de las barras con gancho en tracción.

Factor	Condiciones	Valor
Epóxico Ψ_e	Refuerzo con recubrimiento epóxico o zinc y barras con recubrimiento dual de zinc y epóxico	1,2
	Refuerzo sin recubrimiento o refuerzo recubierto con zinc (galvanizado)	1,0
Recubrimiento Ψ_c	Para ganchos de barras $1\ 3/8''$ y menores, con recubrimiento lateral (normal al plano del gancho) $\geq 65 \text{ mm}$ y adicionalmente para ganchos de 90 grados con recubrimiento en la extensión de la barra más allá del gancho $\geq 50 \text{ mm}$. Ver Figura 12.5.3.a	0,7
	Otros casos.	1,0
Confinamiento $\Psi_r^{[2]}$	Para ganchos de 90 grados de barras $1\ 3/8''$ y menores que se encuentran: (1) confinados a lo largo de ldg con estribos ^[1] perpendiculares a ldg con $s \leq 3db$, o bien, (2) confinados a lo largo de la barra que se está desarrollando más allá del gancho por estribos ^[1] perpendiculares con $s \leq 3db$. Ver Figura 12.5.3.b	0,8
	Para ganchos de 180 grados de barra $1\ 3/8''$ y menores que se encuentra confinados con estribos perpendiculares con $s \leq 3db$. Ver Figura 12.5.3.c	
	Otros	1,0
Concreto de peso liviano λ	Concreto de peso liviano.	1,3
	Concreto de peso normal.	1,0

[1] El primer estribo debe confinar la parte doblada del gancho dentro de una distancia $2db$ del borde externo del doblado del gancho.

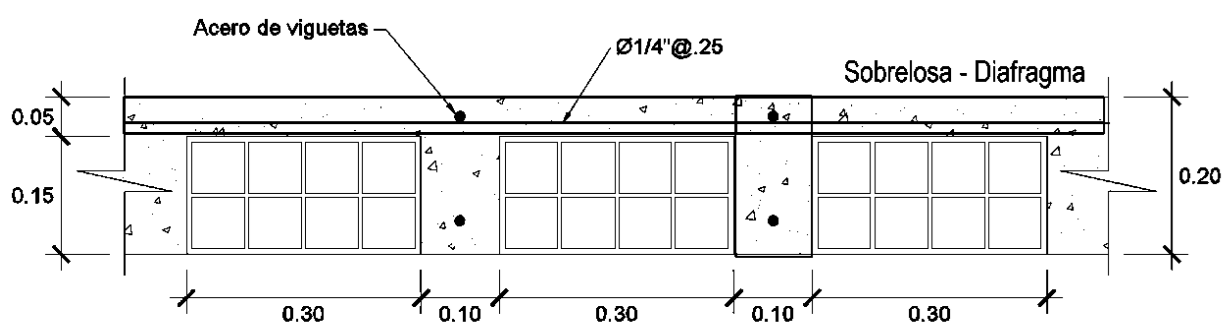
[2] db es el diámetro nominal de la barra del gancho.

Nota. Adaptado de “Norma E.060”, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2009, Reglamento nacional de edificaciones.

2.1.1.25. Diseño de losas aligeradas. Las losas nervadas o aligeradas se utilizan para reducir el costo del sistema de piso o techo. El ahorro se obtiene directamente al suprimir un cierto volumen de concreto e indirectamente por la reducción del peso en comparación con una losa maciza. El aligeramiento se consigue usando bloques de relleno permanentes (de arcilla o de concreto).

Figura 15

Sección típica de losa aligerada.



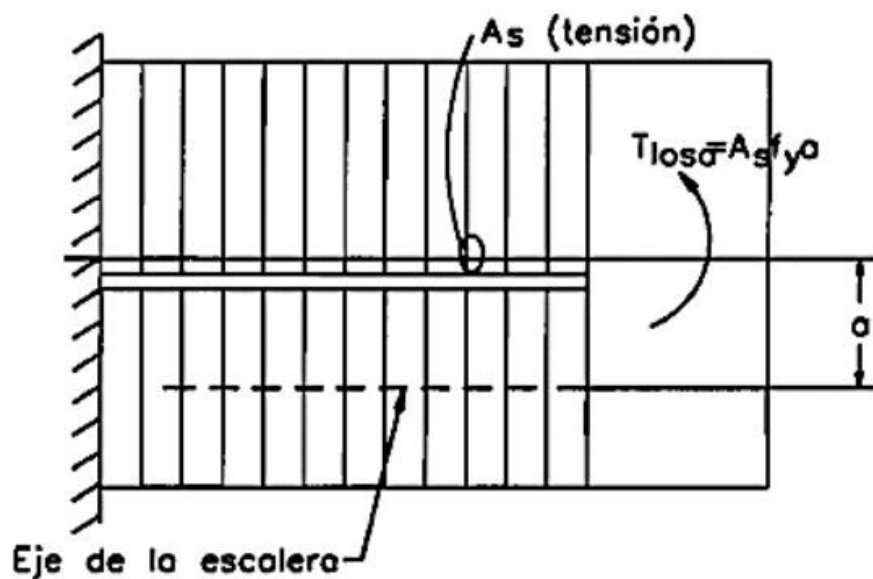
Nota: Elaboración propia.

2.1.1.26. Diseño de losas Macizas. Estas losas por lo general tienen una mayor resistencia por la diferencia de la sección de concreto que puede presentar. Es común mantener el peralte de las losas macizas como el de las losas aligeradas, entonces, el acero requerido es comúnmente menor que la cuantía mínima. Sin embargo, a diferencia de las vigas, la cuantía mínima puede ser repartida en toda la cara, entonces, si faltase acero por cuantía mínima, se puede poner el faltante en la otra cara no esforzada.

2.1.1.27. Escaleras de concreto armado. Son elementos de la estructura que conectan el nivel específico con su nivel siguiente por lo general. Este elemento es conformado por su zona de descanso y tramos.

Figura 16

Esquema de escaleras de concreto armado.

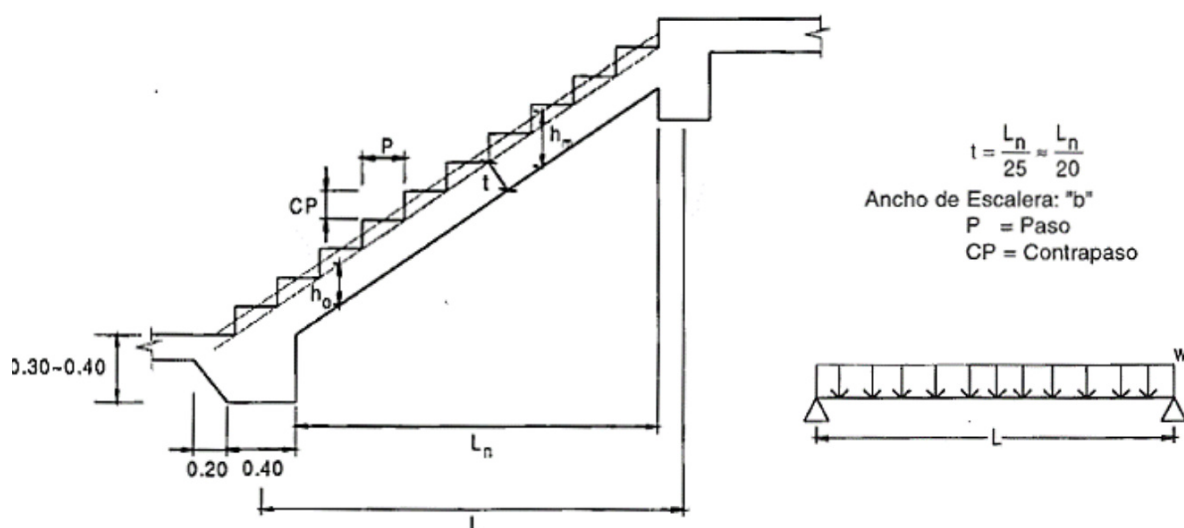


Nota. Adaptado de “Diseño de estructuras de concreto armado” por Harmsen, 2005. Fondo editorial PUCP.

Según Roberto Morales, estas pueden predimensionarse e idealizarse con la siguiente figura.

Figura 17

Predimensionamiento de escaleras.



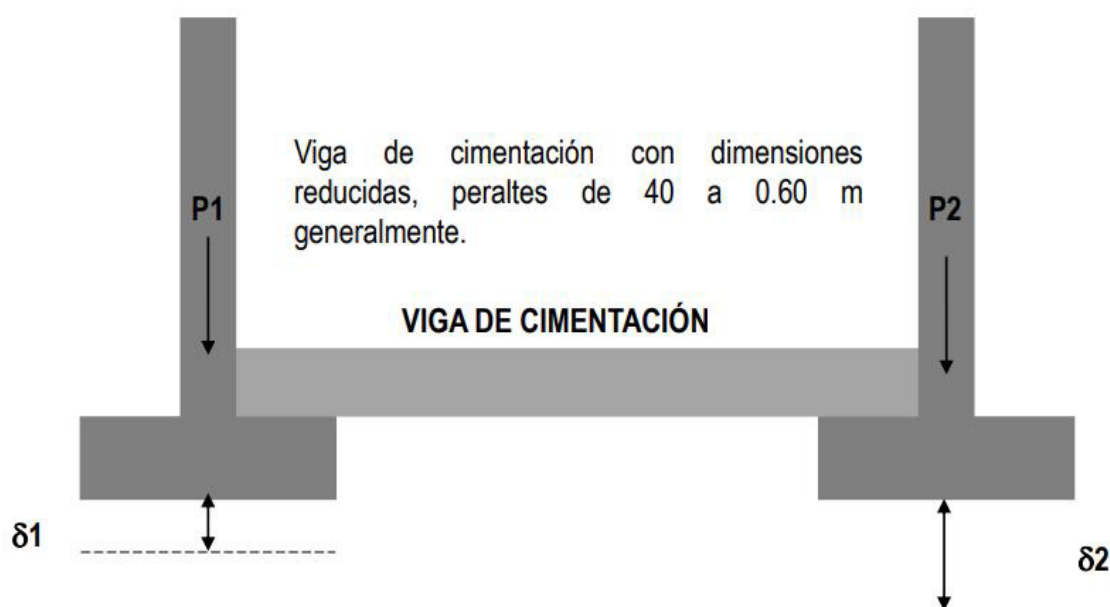
Nota. Fuente: Adaptado de “Diseño en concreto armado” por Morales, 2006. Fondo editorial ICG.

2.1.1.28. Cimentaciones de concreto armado. Son elementos que sirven de interacción de esfuerzos y movimientos de la estructura con el suelo, para la interpretación de cargas. De acuerdo a al MVCS (2020), estos elementos están limitados por la norma E.050; E.030 y E.060.

a. Vigas de cimentación. Las vigas de cimentación se representan como elementos que pueden evitar el volcamiento de la estructura.

Figura 18

Esquema de viga de cimentación.



Nota. Elaboración propia.

b. Verificaciones de las cimentaciones. Las verificaciones correspondientes en la zapata tomarán las combinaciones de carga dictadas por la norma a través de:

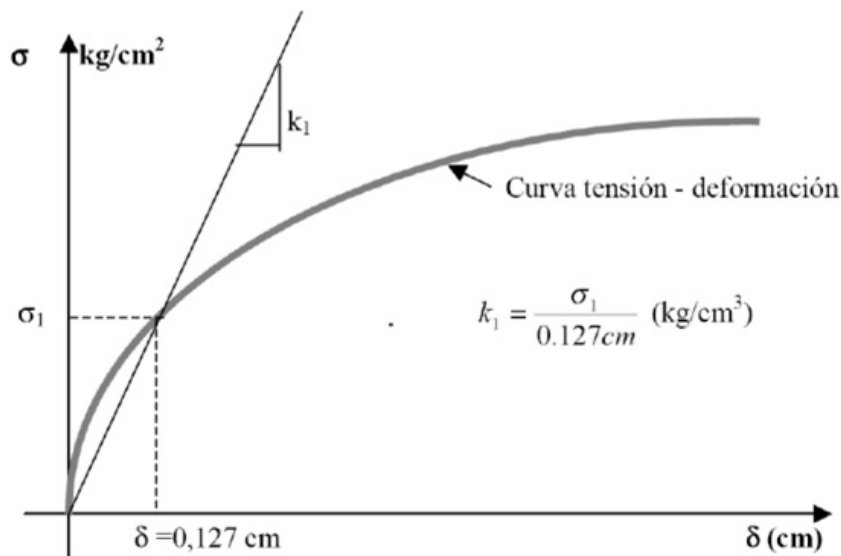
- Punzonamiento
- Corte
- Flexión

c. Coeficiente de Balasto. El ensayo K30 o coeficiente de balasto sirve para realizar el análisis estructural de las cimentaciones, Comprende en modelar el suelo representándolo por un número infinito de resortes cada uno de los cuales no es afectado por el otro. La

constante que define la función fuerza- desplazamiento de estos resortes es conocida como el coeficiente de balasto y puede ser vertical u horizontal, dependiendo de la dirección de las fuerzas analizadas.

Figura 19

Coeficiente de Balasto vertical.



Nota. Adaptado de “Definición de coeficientes de balasto para el diseño de fundaciones” por Echezuria & Cárdenas, 2004.

Así mismo, JE Bowles (1996) indica que el coeficiente de balasto se puede obtener según es una fórmula que estima el módulo de reacción del suelo (k) usando la capacidad de carga admisible del terreno (q_a), un factor de seguridad (FS), y un posible factor que relaciona el tamaño de la placa de ensayo con las dimensiones de la cimentación. La fórmula más directa $k = 40(FS)(q_a)$ donde el "40" es un factor empírico que asume un asentamiento específico y asocia la capacidad de carga con el coeficiente de balasto.

$$k \left(\frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \right) = 40 \cdot FS \cdot \sigma_{adm} (\text{kPa})$$

2.1.2. Metodología BIM (Building information Modeling)

De acuerdo Spain, B. S. (2021), es llamado así por sus siglas en inglés (Building information Modeling) es el modelado de información de una construcción. Se puede describir como una metodología de gestión, supervisión, generación y mantenimiento de una infraestructura en 3 a más dimensiones y en el tiempo real con la finalidad de optimizar recursos, reducir pérdida de tiempo y desarrollar la ejecución de obra eficientemente a través del uso de modelamiento en software y trabajo centralizado usando el poder del cómputo teniendo información gráfica como no gráfica (datos).

2.1.2.1. Usos BIM. Métodos de aplicación de BIM para satisfacer necesidades en los procesos del flujo de trabajo los cuales pueden relacionar, ubicar y orientar el ciclo de inversión para alcanzar objetivos específicos. Sirviendo a las partes involucradas con conocimiento enfatizado en el proceso que optimice su inversión.

2.1.2.2. Dimensiones BIM. Las dimensiones BIM, son una descripción utilizada por muchos autores las cuales se clasifican en torno al avance o ciclo de vida que tiene el proyecto, comenzando con un punto de partida expresándose este ciclo en 7 fases que se han de denominar dimensiones BIM, las cuales relacionan el proceso y uso del BIM:

- **Primera dimensión (1D): Punto de partida**

Referencia al punto de partida del proyecto la cual comprende los antecedentes, la normativa, los requerimientos.

- **Segunda dimensión (2D): Trazo o Vector**

Define el desarrollo 2D, documentación, planos y vistas.

- **Tercera dimensión (3D): 3D Modelado**

Desarrolla el modelo de coordinación en 3D en revisión de diseño, nube de puntos, realidad virtual, uso de drones, cámaras 360°

- **Cuarta dimensión (4D): Tiempo**

Enfocado en gestión de la construcción simulacros del ciclo de vida, planificación, proyección de ejecución, rastreo de actividades y logística.

- **Quinta dimensión (5D): Costo**

Desarrollo en la obtención de cuantificaciones y estimación de costos detallados en relación de todos los elementos del modelo vinculados en la ejecución de partidas.

- **Sexta dimensión (6D): Sostenibilidad**

Centrado en la eficiencia y análisis energético, de iluminación, de vientos con la finalidad de reducir el consumo de energía y el impacto ambiental.

- **Séptima dimensión (7D): Operación y mantenimiento**

Planificación de mantenimiento, gestión de activos y fuente de información para la etapa de operación y mantenimiento del proyecto.

2.1.2.3. Nivel de detalle (LOD). El nivel de detalle en un proyecto de edificación, especificado por AIA (American Institute of Architects) a través del BIM Forum (2025), se define según sus siglas en inglés como LOD (Level Of Detailing), siendo este un indicador del modelamiento virtual respecto a la realidad en el proyecto tomando como siguientes denominaciones:

- **LOD 100: Mínimo detalle:** Modelado del entorno representado de forma conceptual representado como volumetría o elementos esquemáticos para estimación del proyecto.
- **LOD 200: Detalle más elaborado en dimensiones:** Modelo contiene la geometría aproximada de los elementos BIM representando una forma genérica suficiente para medir el largo ancho, alto y el diámetro. No presenta detalles o elementos adicionales.

- **LOD 300: Detalle intermedio considerando mayor descripción:** El modelo contiene elementos de geometría definida de elementos BIM. Considera en este nivel el refuerzo estructural, y las disciplinas involucradas.
- **LOD 400: Detalle elaborado casi a lo pedido manufacturado:** El modelo contiene la geometría representada de forma detallada, considerando las formas y dimensiones precisas incluyendo acabados con texturas, conexiones o uniones en las especialidades.
- **LOD 500: Máximo detalle realizado (As Built):** Representación de elementos verificados conteniendo la información en tamaño, localización, posición y cantidad de los elementos del proyecto culminado.

Estas denominaciones son adoptadas por la Guía nacional técnica del Ministerio de economía y Finanzas (2023) asimilando los valores como LOD 1, LOD 2, LOD 3, LOD 4 Y LOD 5.

2.1.2.4. Roles BIM. Esto se define como la función que se ejerce en alguna etapa del desarrollo y operación de proyectos o infraestructura, en base a capacidades BIM que se suman a otras competencias no BIM. Se tienen los roles más importantes y frecuentes:

- **Gestor BIM:** Responsable de la gestión, organización, requisitos, documentación y comunicación del proyecto BIM e información con la entidad, pudiendo definir todo ello y el entorno común de datos (CDE: Common Data Enviroment) a través del PEB (Plan de ejecución BIM).
- **Líder BIM:** Responsable de desarrollar estrategias para la adopción del BIM, supervisar su aplicación en la organización, recopilar lecciones, capacitación al personal y establecer requisitos de información necesarios para la mejora y colaboración de proyectos.

- **Coordinador BIM:** Responsable encargado de la coordinación colaborativa con los modeladores participantes del proyecto BIM con el objetivo de planificar, definir y delimitar la ejecución el proyecto BIM con los estándares de calidad, información y modelado establecidos en el PEB (Plan de ejecución BIM) definidos por el Gestor BIM.
- **Modelador BIM:** Responsable del modelado de los elementos del proyecto generando la visualización 3D, generación de planimetría y/o detallado de la información de la especialidad representadas por el diseño del especialista, lo programado a ejecutar o lo construido en obra (definido por la etapa del proyecto y su LOD correspondiente).
- **Supervisor BIM:** Responsable encargado de la supervisión de los modeladores participantes del proyecto BIM con el objetivo de verificar, corregir y observar la ejecución el proyecto BIM con los estándares de calidad, información y modelado establecidos en el PEB (Plan de ejecución BIM) definidos por el Gestor BIM y el cliente.

2.1.2.5. Software. El software es el conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que permiten a los dispositivos procesar datos y realizar tareas específicas.

Revit: Software BIM desarrollado por Autodesk que permite la colaboración multidisciplinaria en un entorno 3D para el desarrollo de los especialistas involucrados en un proyecto de ingeniería con la integración de modelos estructurales, arquitectónicos y MEP (Mecánicos, eléctricos y sanitarios) con la posibilidad de documentar, diseñar y tomar una gama de materiales.

AutoCAD: Software desarrollado por Autodesk de dibujo técnico detallado asistido por computadora utilizado en la creación de planos 2D y modelos 3D usado principalmente en la generación de planimetría de detalle, de construcción y documentación técnica.

Robot Structural: Software BIM desarrollado por Autodesk con la capacidad avanzada para el análisis y diseño estructural de edificios, permitiendo a los ingenieros realizar los cálculos de cargas y reacciones, evaluar el comportamiento estructural bajo condiciones específicas sísmicas, viento y generando informes detallados para la verificación del diseño de manera segura y óptima.

Etabs: Software desarrollado por Computers and Structures, INC (CSI) especializado en el análisis y diseño de sistemas estructurales de edificaciones. Su capacidad de análisis permite simular el comportamiento estructural bajo diversas condiciones, incluyendo cargas sísmicas y de viento para un diseño óptimo y seguro de estructuras de edificios de varias plantas con una visualización de objetos 3D y capacidad de cálculo analítico lineal como no lineal según las características físicas, mecánicas definidas por el material obteniendo informes, gráficos y diseños que faciliten la comprensión del análisis y resultados.

BIMCOLLAB: Plataforma de colaboración, gestión y revisión de modelos BIM que ayuda a los equipos del proyecto a identificar, gestionar y resolver colisiones, incidencias o problemas en los modelos de construcción. Ofrece herramientas para la detección de conflictos, la gestión de tareas y la comunicación entre los distintos participantes del proyecto, mejorando el flujo del trabajo BIM en la lectura de archivos con el formato IFC y BCP.

Navisworks Manage: Software BIM desarrollado por Autodesk, es un software de revisión de proyectos que permite integrar y coordinar modelos 3D provenientes de diferentes disciplinas en un solo entorno para la detección de conflictos y la planificación de la ejecución de partidas mediante las herramientas avanzadas de visualización y análisis, lo que ayuda a minimizar errores y mejorar la colaboración entre los involucrados del proyecto.

2.1.2.6. Hardware. Componentes físicos que se utilizan para ejecutar el software de diseño, análisis y gestión de proyectos, proporcionando la plataforma necesaria para

almacenar datos y realizar cálculos necesarios para el análisis de un proyecto e infraestructura.

2.1.2.7. Incidencias. Referidas a problemáticas, errores o situaciones imprevistas que afectan el desarrollo del proyecto y que surgen durante la fase de diseño, construcción o mantenimiento. A diferencia de las interferencias, que son conflictos específicos entre elementos del modelo correspondientes a cruces geométricos o proyectados de elementos, las incidencias incluyen problemáticas de información, de normativa, diseño, realidad, programación, etcétera, entre los equipos de trabajo.

2.1.3. Normativa Nacional

2.1.3.1. Plan BIM Perú. Medida política planteada e impulsada por el Ministerio de economía y Finanzas (2019), el Plan Nacional de Competitividad y Productividad, aprobada mediante decreto supremo N° 237-2019-EF, N°289-2019 EF, modificado por el decreto supremo N° 108-2021-EF aprobando la implementación de hoja de ruta del plan BIM Perú. Este documento describe la planificación para la adopción de progresiva del BIM en los procesos de inversión de las entidades y empresas públicas con un enfoque de desarrollo en un marco legal y técnico con la finalidad de dar impulso y soporte a la adopción progresiva de BIM en inversiones de las entidades y empresas públicas en los procesos de las fases de ciclo de inversión desarrollados por las entidades y empresas públicas sujetas al Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones. El Plan BIM Perú precisa las acciones y los objetivos para que se implemente el BIM en las inversiones de manera progresiva, buscando garantizar una adecuada ejecución de las inversiones, mejorando la calidad y eficiencia de estas. El Plan BIM Perú cuenta con la siguiente representación cronológica de Hitos:

Tabla 2*Hitos de implementación del plan BIM Perú.*

Hito	Jul-2021	Jul-2025	Jul-2030
Proyecto de Decreto Supremo que regula el BIM (Set-2019)	Estándares y requerimientos BIM elaborados	BIM aplicado en proyectos del Gobierno Nacional y Gobiernos Regionales en tipologías seleccionadas	Plataforma tecnológica habilitante para uso en todo el sector público
Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM (Mar-2020)	Proyectos piloto aplicando la metodología BIM	Marco regulatorio para la aplicación del BIM en el sector público y articulación con sistemas administrativos aprobado	Obligatoriedad del BIM en todo el sector público normada
	Estrategia de formación de capital humano para el uso del BIM iniciada	Plataforma tecnológica habilitante para sectores priorizados del Gobierno Nacional	

Nota. Adaptado de: “Plan BIM Perú”, por Ministerio de Economía y Finanzas, 2019, Plan BIM

Perú. <https://www.mef.gob.pe/planbimperu/planbim.html>

2.1.3.2. Guía Nacional BIM. Documentación de orientación elaborada por el MEF mediante la resolución del decreto supremo N° 003-2023-EF/63.01 con el objetivo de describir la aplicación del entorno de datos comunes, siendo sus principales documentos de referencias las normativas ISO 19650 el cual comprende parte 1 y 2 adaptadas al contexto nacional introducida como medida de adopción desde el sector público y privado para mejorar en el desarrollo de las inversiones en todas las fases del ciclo de inversión.

2.1.3.3. RNE. Reglamento nacional de edificaciones es la norma técnica de cumplimiento obligatoria por toda entidad pública, persona natural y jurídica cuya proyección se de en habilitaciones urbanas y edificaciones en el territorio del Perú.

2.1.3.4. Normativa E.030. Normativa del RNE que se centra en el diseño sísmico de estructuras, la cual proporciona criterios, procedimiento y lineamientos que respondan adecuadamente a las fuerzas sísmicas basándose en la filosofía de diseño que corresponde a evitar la pérdida de vidas humanas, la continuidad de servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad.

2.1.3.5. Normativa E.060. Normativa del RNE que se centra en los requisitos y exigencias de diseño, construcción, calidad, materiales y supervisión de las estructuras de concreto armado, prees forzado y simple en las construcciones dentro del marco peruano.

2.1.4. Normativa Internacional

2.1.4.1. ISO 19650. Conjunto normativo que establece un marco, los principios y requisitos para la gestión, uso y adquisición de la información de los proyectos activos tanto de edificación como de ingeniería civil durante el ciclo de vida destinado a los agentes participantes de las fases de diseño, construcción y operación & mantenimiento o con los agentes relacionados con la gestión de activos. Este establece Jerarquía de los requisitos de información:

Figura 20

Jerarquía de los requisitos de información según ISO 19650-1



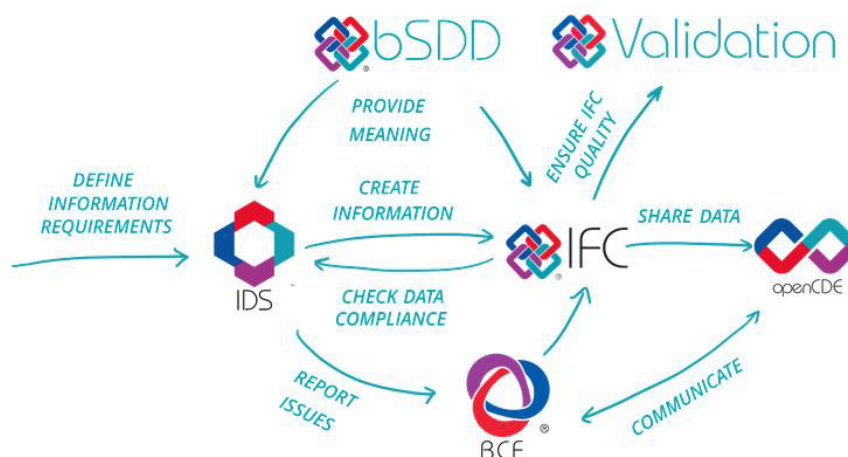
Nota. Adaptado de “Introducción EN ISO 19650” (p. 13) por Spain, B. S., 2021, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

2.1.4.2. BIM Fórum. Guía de especificación disponible para referencia del estándar del nivel de detalle o LOD (Level of Development) de los usuarios del BIM para desarrollar la interpretación de características de los elementos del modelo. Esta guía ofrece características gráficas como no gráficas de las clases de elementos de la construcción.

2.1.4.3. OPEN BIM. Es una filosofía de uso del BIM como estándar abierto para una interoperabilidad de todos los agentes involucrados en el proyecto.

Figura 21

Flujo de trabajo OpenBIM.



Nota. Adaptado de: BuildingSMART

Los beneficios en estándares se encuentran en el uso de los estándares:

a. IFC (*Industry foundation classes*). Esquema de datos abierto que permite describir la información del activo diseñado/ construido, con la finalidad de contener y transportar información de los objetos y las relaciones entre ellos. El IFC es un estándar internacional, ISO 16739-1:2025, desarrollado por buildingSMART, y su uso está muy extendido en la industria.

b. BCF (*Protocolo de comunicación basado en modelos sin dependencia de software específico*). Siendo la definición de BIM Collaboration Format, un formato y estándar abierto internacional donde se podrá mantener la información de la colaboración de incidencias (errores, indefiniciones, colisiones, reportes, problemas, etc.) para notificación gestionada de un modo adecuado.

c. IDS (*Definición de requisitos de datos comprendidos por máquinas*). Estándar de BuildingSMART para definir los requisitos de información en un formato interpretable por ordenador. Permite comprobar automáticamente la conformidad de los modelos IFC, lo que mejora el control de calidad y la certeza de los datos. IDS también ayuda a la entrega eficiente de información, estableciendo las expectativas y proporcionando líneas claras de lo que necesita ser intercambiado. Por este medio cualquier responsable puede especificar cómo deben entregarse los objetos, clasificaciones, materiales, propiedades e incluso valores en un modelo IFC.

d. OPENCODE (*Interfaces estandarizadas para el acceso de datos*). Es una interfaz programada para hacer posible la adecuación del software del usuario final el cual pueda interactuar con el entorno común de datos. Esto correspondería a tener configuraciones de almacenamiento, permisos o manejos, revisiones de documentación, registros, actualizaciones de modelo, etc. mediante una plataforma que controla y accede a la información del proyecto.

2.1.4.4. VDC. Llamado, así como la metodología del diseño y construcción virtual, orientada a la gestión de proyectos y negocios a través del uso de Modelos multidisciplinarios de proyectos de diseño y construcción, incluyendo el producto, los procesos de trabajo y la organización del equipo de diseño, construcción y operación para respaldar los objetivos del negocio.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

El proyecto de investigación tiene diseño no experimental de tipo aplicada porque su propósito es resolver mediante la formulación de una propuesta de diseño estructural de una edificación específica y corte transversal porque se analiza en el momento único en el tiempo en la recolección y análisis de datos en la fase de anteproyecto para desarrollar el diseño de la edificación, mediante los Softwares Etabs y Revit a través del modelado del edificio con sus resultados analizados de la estructura; con enfoque cuantitativo puesto que la validación de la propuesta se basa en medición numérica de las variables y de tipo explicativo al determinar los conceptos, características y variables del análisis de una metodología de diseño a través de la recopilación de información en los procesos con la inclusión del software. Se incorpora un diagrama de flujo en los anexos que sintetizará las etapas de estudio.

3.2.Ámbito temporal y espacial

3.2.1. Área geográfica

La edificación estaría ubicada en el departamento de Lima, en San Borja. El área de estudio se localiza en el distrito de San Borja.

3.2.2. Época o período:

La tesis sería realizada desde la aceptación del plan, hasta su culminación, planteada en 7 meses. Por lo tanto, la investigación tendría un periodo 7 meses.

3.3.Variables

3.3.1. Variables Independientes

La aplicación de la metodología BIM asistida por los softwares ETABS & Revit.

3.3.2. Variables Dependientes

Optimización de la calidad del diseño estructural.

3.4. Población y muestra

La población en estudio corresponde Las edificaciones multifamiliares de 8 pisos en Lima Metropolitana y la muestra, considerando que menciona Hernández et al. (2014) que el subgrupo de elección no depende de la probabilidad, sino de la investigación; corresponde a una edificación multifamiliar de 8 pisos ubicada en Lima, San Borja siendo la selección realizada de manera intencional, considerando criterios técnicos, normativos y de aplicabilidad de los softwares ETABS y Revit, con el fin de validar una metodología de diseño estructural en un contexto urbano real y representativo.

3.5. Instrumentos

Se eligieron como instrumentos de recolección de información para el cumplimiento necesario de los objetos de estudio:

3.5.1. Observación

Toda la información del proyecto que ocurra en el determinado espacio o contexto que sean susceptibles de ser observados. En este sentido con atención voluntaria, reflexiva y selectiva contando con la participación y propuesta como investigador se recopilaría la información que resulte necesaria del análisis y diseño de la edificación para la investigación. Se podrán usar instrumentos para la recolección de datos como cuadernos, equipos de topografía, cámaras fotográficas.

3.5.2. Recopilación de documentación

Basado en la consulta de fuentes primarias y secundarias, como libros, artículos científicos, informes, documentos legales, tesis previas, estadísticas, estudios previos y cualquier otro tipo de material que pueda proporcionar información pertinente al tema investigado, pudiendo ser empleada de forma independiente o combinada con otras técnicas, como ponencias u observaciones, para enriquecer la investigación.

3.5.3. Análisis de información

A través del uso de los softwares de Etabs y Revit, puede aplicarse los requerimientos básicos del análisis de estructuras por medio del computador Acer nitro 5 procesador Core I7 con 40GB de RAM para procesar los datos a investigar a través del modelado al igual que las delimitaciones teóricas del diseño y el reglamento nacional de edificaciones. Los softwares utilizados para el análisis serán el Revit para el modelado 3D del cual se podría obtener la planimetría y la información del proyecto; AutoCAD como herramienta de dibujo técnico asistido por computadora; Etabs como herramienta virtual para el cálculo estructural sismorresistente del proyecto con uso de la aplicación de CSIXREVIT y el Excel como procesador de datos numéricos

3.6. Procedimientos

El procedimiento no experimental a seguir en trabajo de investigación sobre la variable dependiente se desarrollará como indica el diagrama de flujo y se resume como lo siguiente.

- ✓ Toma de datos del área a analizar.
- ✓ Aplicación de modelado en Revit propuesta arquitectónica en predio
- ✓ Estructuración de edificación de concreto.
- ✓ Exportación al modelo analítico del proyecto del proyecto Revit.
- ✓ Determinación del cálculo analítico estructural mediante el software de análisis Etabs.
- ✓ Diseño de elementos estructurales.
- ✓ Importación del modelo analítico al proyecto Revit.
- ✓ Determinación de la planimetría del modelo estructural.
- ✓ Interpretación de resultados y comparativo de procesos.

3.7. Análisis de datos

Posteriormente a la determinación del cálculo estructural mediante el procedimiento, se realizará el análisis del proceso de gestión de la información del proyecto para obtener los óptimos procesos y la correcta toma de decisiones que servirán para próximas investigaciones.

3.8. Consideraciones éticas

En esta investigación, se garantiza la integridad y veracidad de los datos mediante un riguroso procedimiento de recolección y análisis, evitando cualquier tergiversación y manipulación indebida. Se tendrá evaluación de cualquier impacto social y ambiental de las propuestas cumpliendo con las normativas sin generar problemáticas adversas a la comunidad o entorno.

IV. RESULTADOS

4.1. Criterios de estructuración

Se debe tomar en cuenta las principales consideraciones ante estos sistemas.

4.1.1. *Uniformidad estructural*

La estructura debe tener una continuidad entre las plantas y en elevación evitando cambios de rigidez para así evitar la concentración de esfuerzos. Un claro ejemplo de esto es la amplificación.

4.1.2. *Simetría y simpleza*

La propuesta estructural debe ser generada buscando una simpleza de elementos, evitando tener demasiadas secciones.

4.1.3. *Hiperestaticidad estructural*

Se define cuando una estructura tiene más restricciones de las necesarias para el equilibrio, requiriendo métodos adicionales para determinar sus fuerzas internas. Esto mejora su resistencia y redundancia ante fallas.

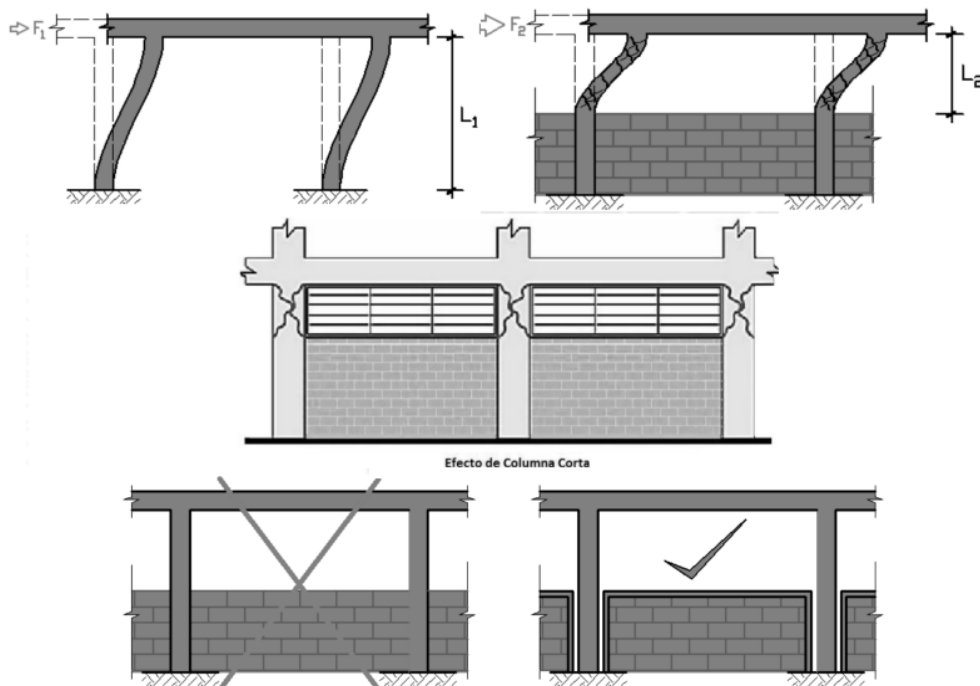
4.1.4. *Integridad arquitectónica*

Capacidad para mantener la coherencia en diseño, funcionalidad y estructura en la edificación con sus elementos para mantener su propósito original, estabilidad y estética.

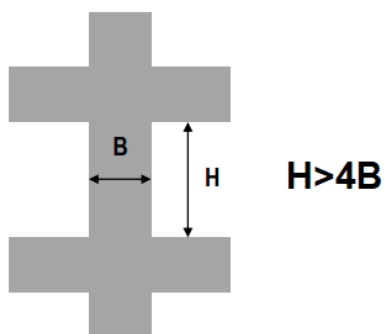
4.1.5. *Fallas estructurales en edificaciones*

La prevención y reconocimiento de fallas estructurales por estructuración es esencial para comprender las causas, prevenir la solución y garantizar seguridad y estabilidad de la estructura en las condiciones de diseño normativo, para evitar fallas como:

4.1.5.1. *Columna corta.* Falla frágil donde no se consideraba adecuadamente la necesidad de las juntas sucediendo en muros de carácter arquitectónico que cuentan con aberturas como de ventanas.

Figura 22*Efecto de columna corta**Nota.* Elaboración propia.

El criterio básico para evitar este fallo es utilizar la recomendación de proporción de ancho en dirección de análisis y la altura libre.

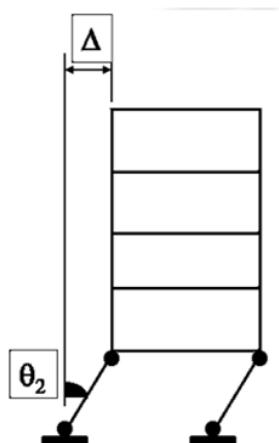
Figura 23*Criterio para reconocimiento de falla por efecto de columna corta**Nota.* Elaboración propia.

4.1.5.2. Piso blando. Debido a la rigidez principal ubicada en los primeros niveles, estos reciben una mayor cantidad de fuerza cortante en un evento sísmico, por lo que este

puede reconocerse como una deficiencia de rigidez en los primeros niveles generado por un mecanismo plástico de colapso ubicada en las columnas.

Figura 24

Efecto de piso blando



Nota. Elaboración propia.

4.1.5.3. Piso débil. Debido a la resistencia principal ubicada en los primeros niveles, estos reciben una mayor cantidad de fuerza, por lo que este puede reconocerse como una deficiencia de resistencia en los primeros niveles generado por un mecanismo plástico no deseado.

Figura 25

Efecto de piso débil

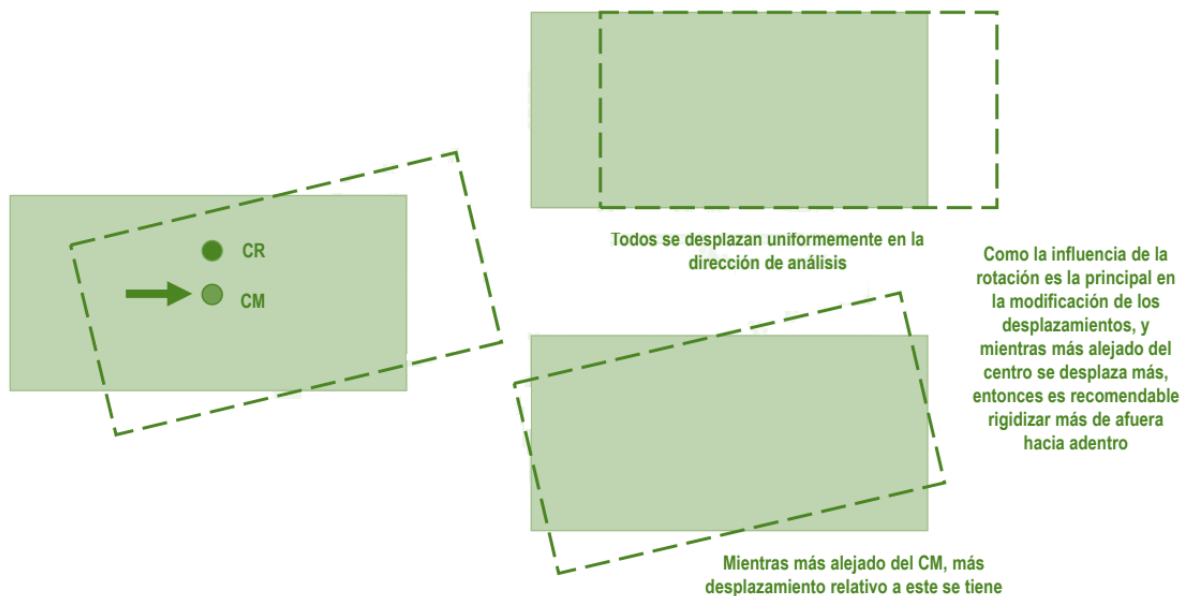


Nota. Fotografía de efecto de terremoto de Pisco en una vivienda donde fallaron los muros del primer piso por la excesiva carga sin un adecuado diseño, 2007.

4.1.5.4. Torsión estructural. Ocurre cuando una estructura es susceptible debido a una distribución irregular y excentricidad del centro rigidez y el centro de masa a un momento torsional ante cargas horizontales siendo desarrollado en estas edificaciones.

Figura 26

Recomendaciones de estructuración



Nota. Elaboración propia.

4.2. Presentación de la arquitectura

La arquitectura fue recreada en el software Revit para poder generar una mejor coordinación entre especialidades regenerando los planos en dicho software. El proyecto consta de una edificación de vivienda multifamiliar donde se tienen 8 niveles teniendo 3 tipos de configuración de niveles siendo 1 de ellos el típico.

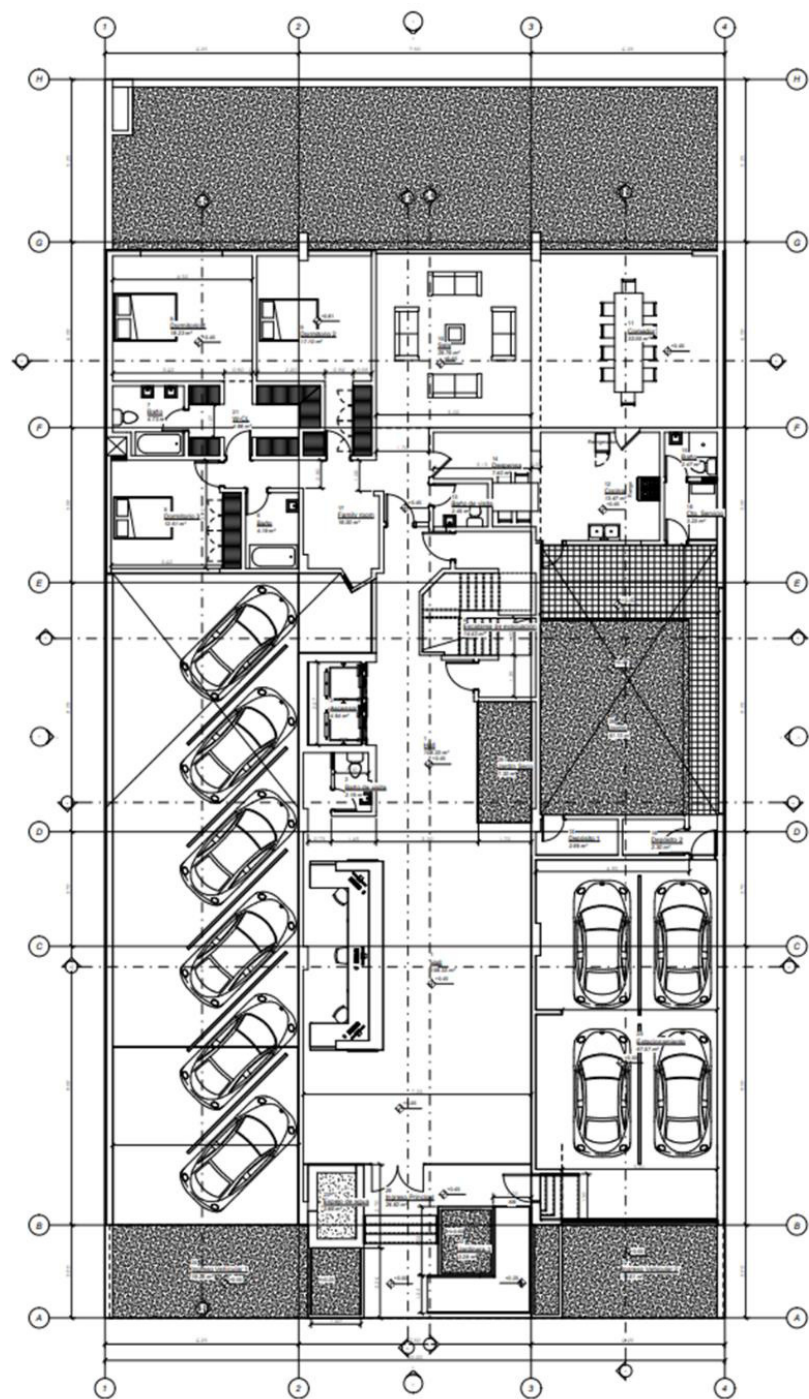
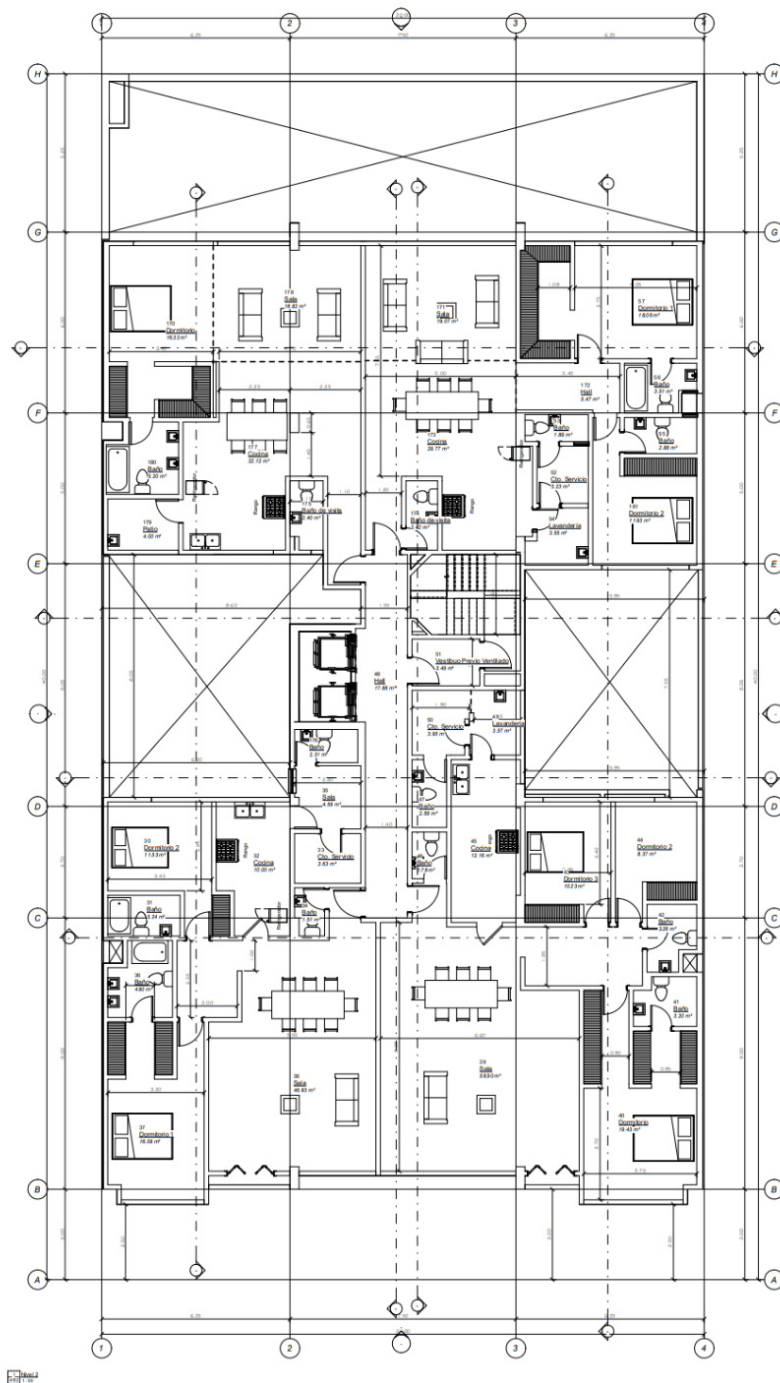
Figura 27*Planta arquitectónica primer piso**Nota.* Elaboración propia.

Figura 28

Planta arquitectónica típica (Segundo al séptimo piso)



Nota. Elaboración propia.

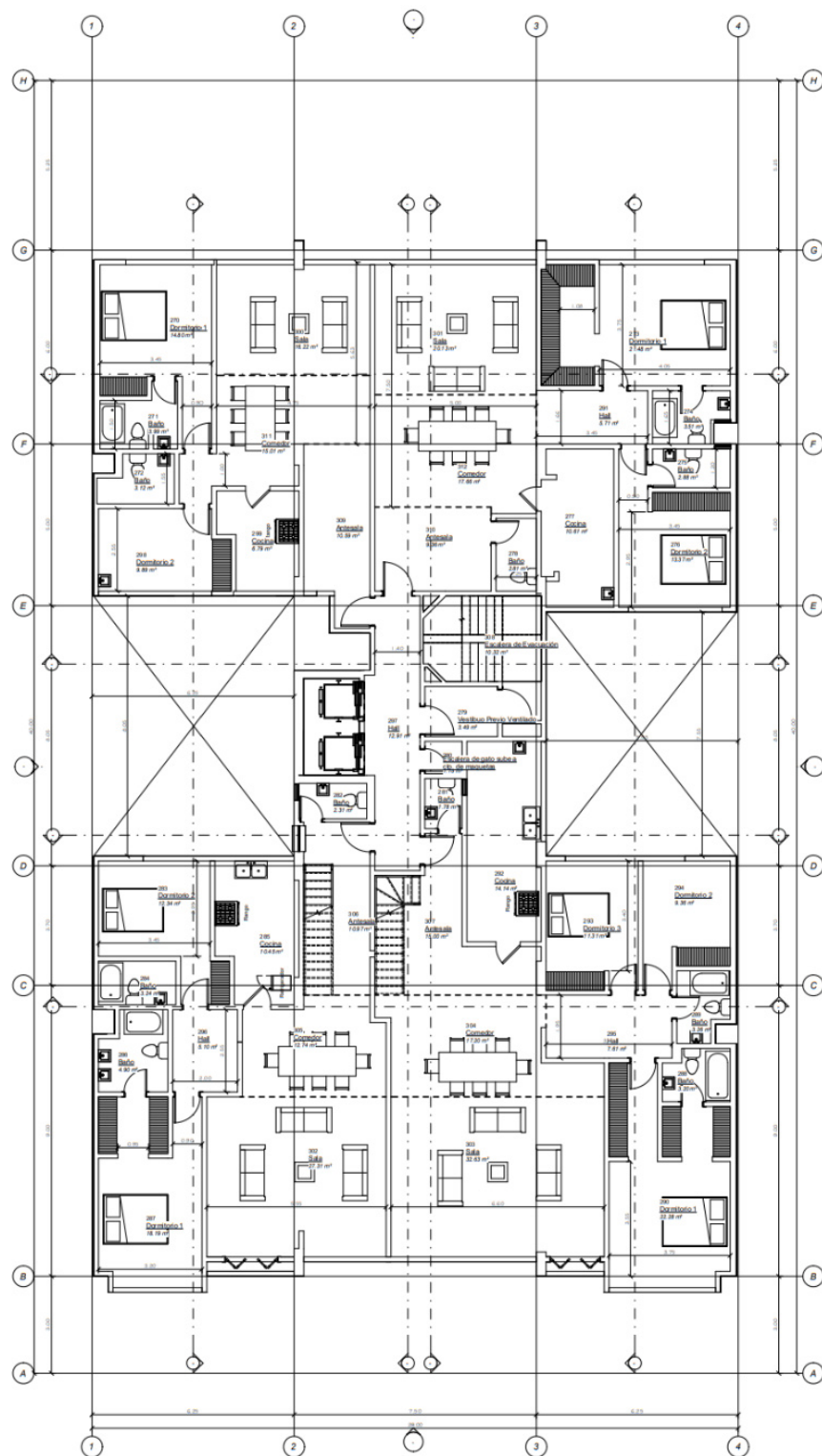
Figura 29*Planta arquitectónica de octavo piso**Nota. Elaboración propia.*

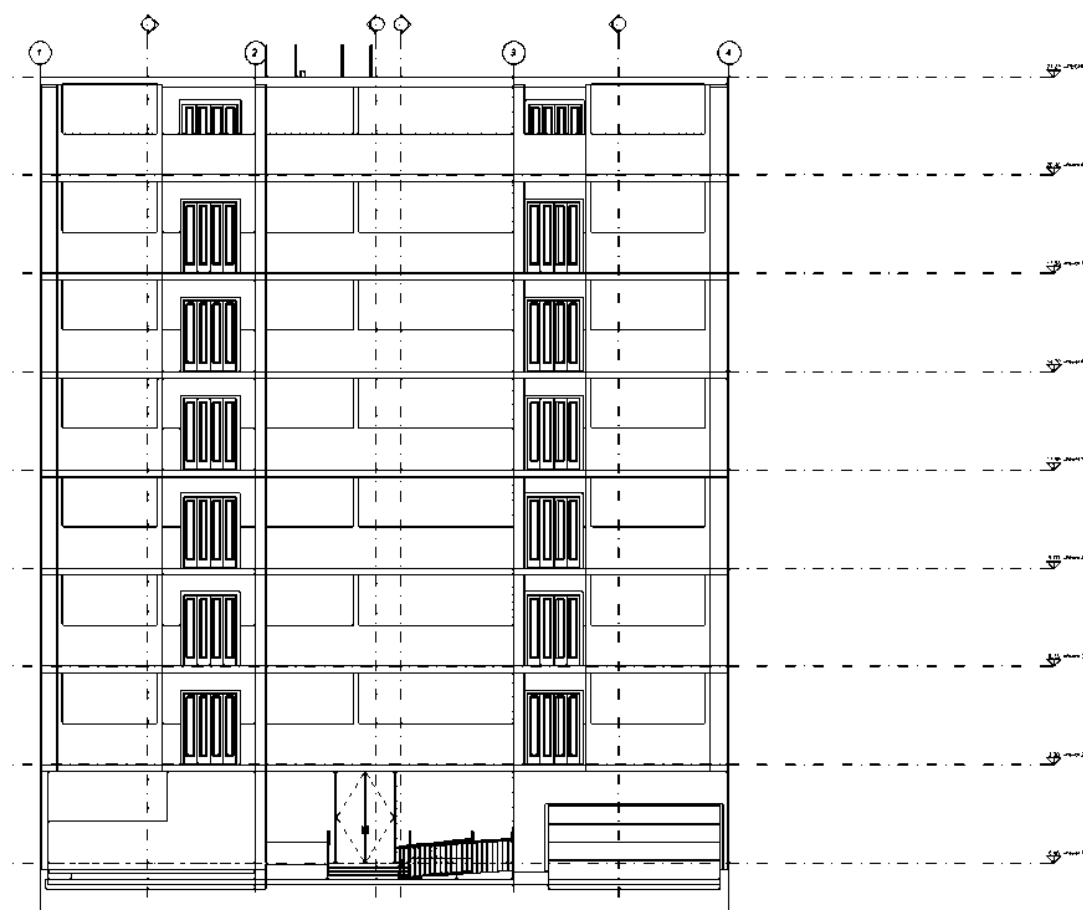
Figura 30*Elevación arquitectónica Sur**Nota.* Elaboración propia.

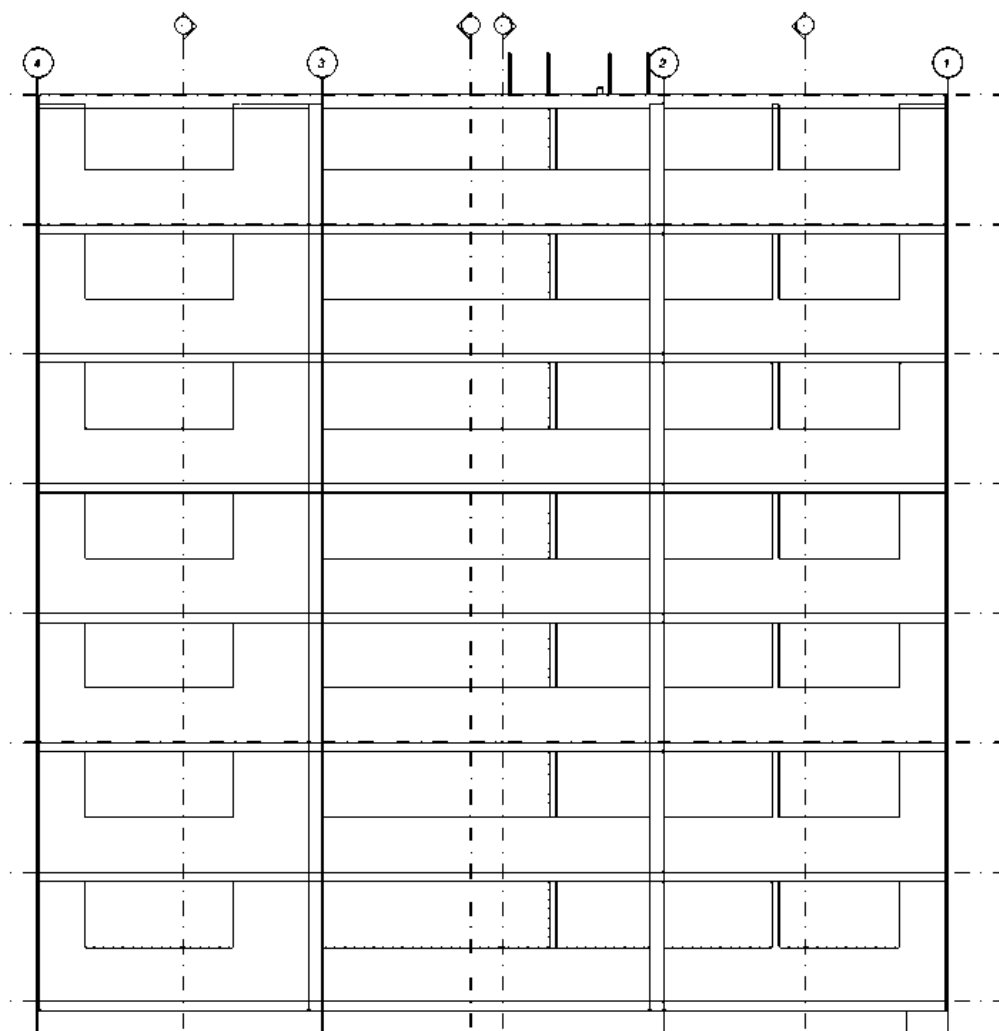
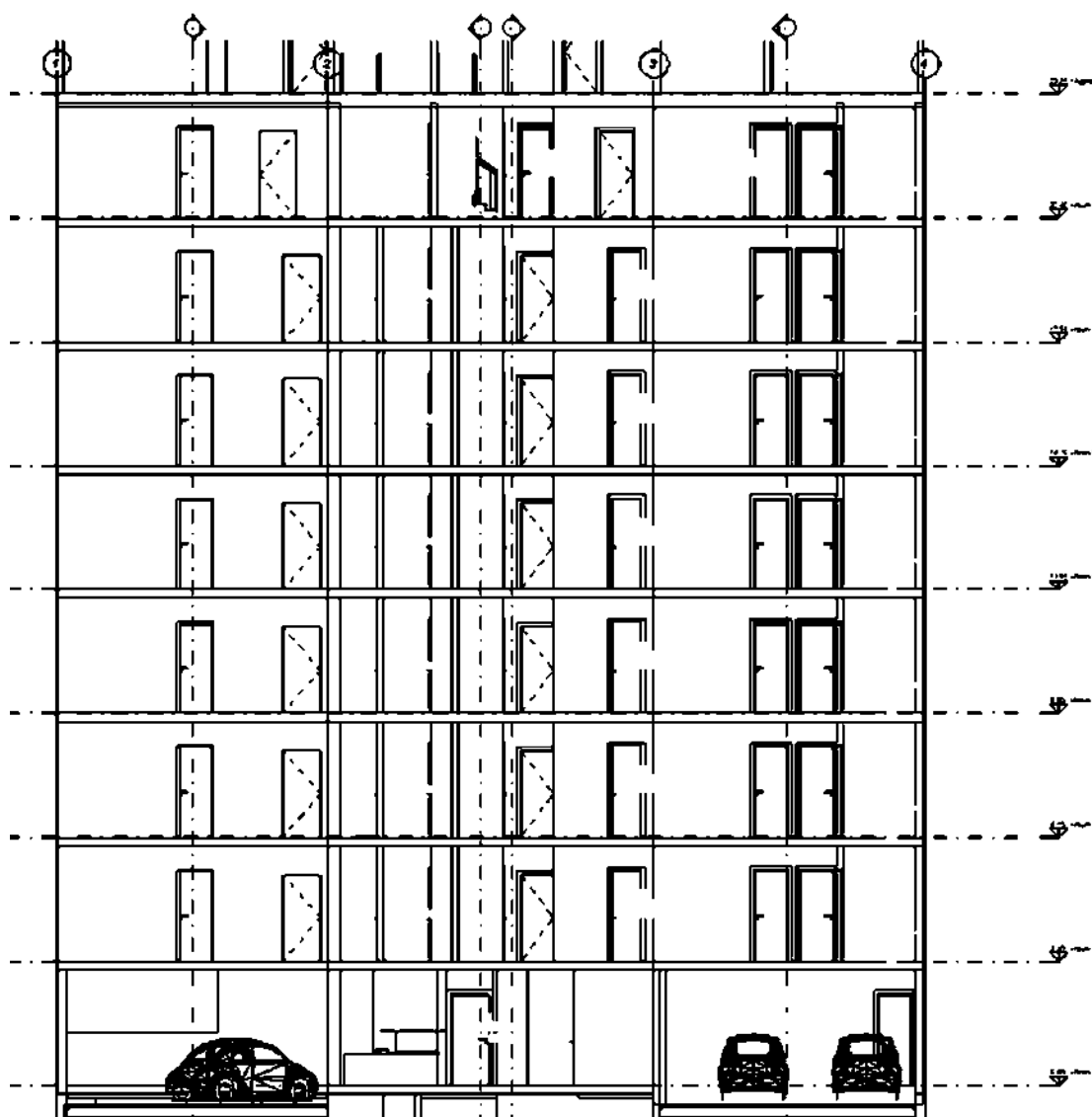
Figura 31*Elevación arquitectónica Oeste**Nota.* Elaboración propia.

Figura 32*Corte 1-1*

Nota. Elaboración propia.

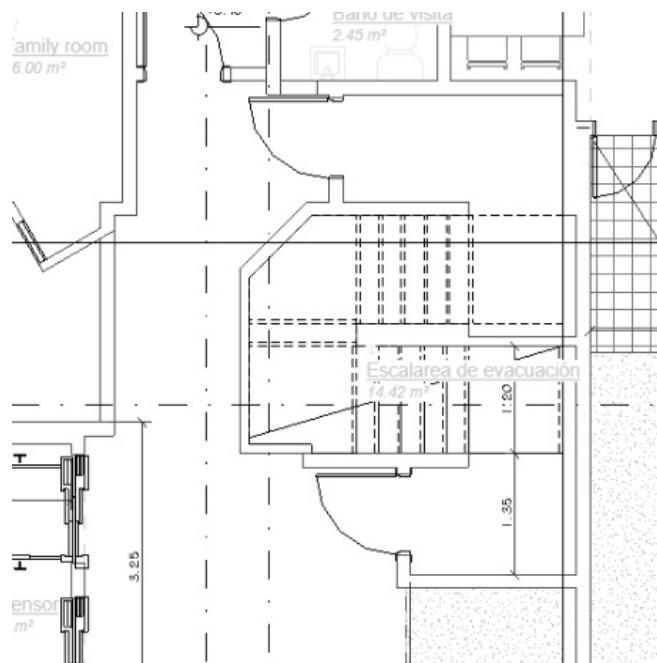
4.3. Comentarios de la arquitectura

Las características de la edificación que se observan es la distribución típica en los niveles del segundo al séptimo piso en lo correspondiente a la distribución de muros,

habitaciones y aperturas para el paso de ventilación, un ascensor y una escalera principal con techo abierto.

Figura 33

Zona de escalera

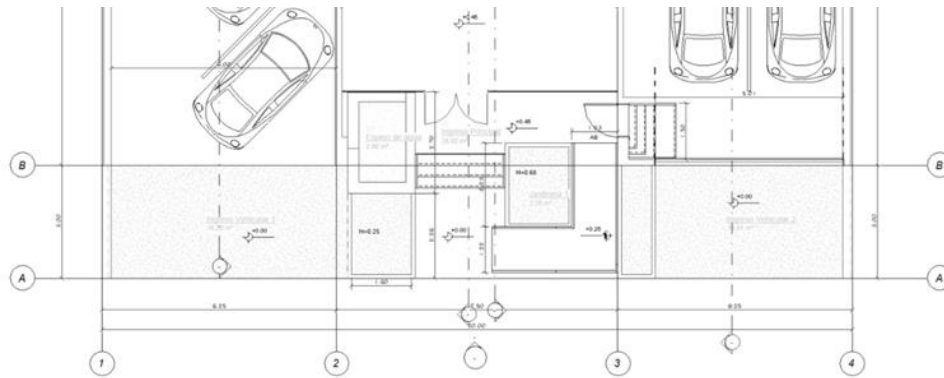


Nota. Elaboración propia.

aumentar el ancho de los elementos. En el lado frontal como el posterior, se presentan tanto puertas como ventanas a lo largo del eje 1 y el eje 4.

Figura 36

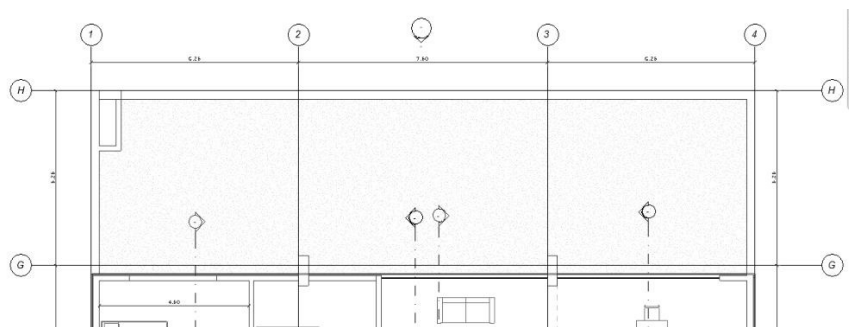
Ventanas y puertas en eje B



Nota. Elaboración propia.

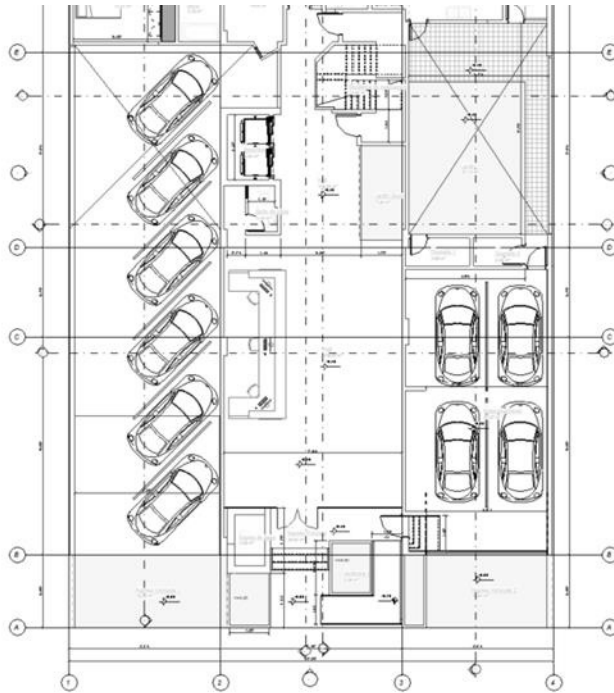
Figura 37

Puertas y ventanas en el eje G

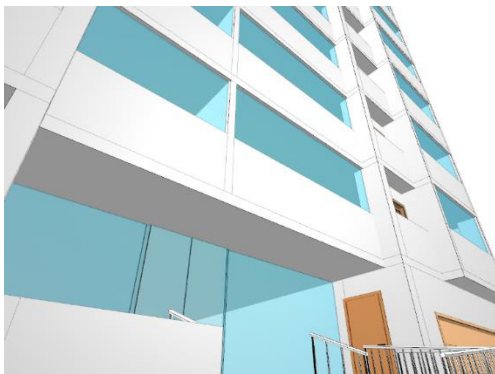


Nota. Elaboración propia.

En primer nivel se tiene una pequeña diferencia de elevación donde se encontrará los estacionamientos disponibles de la edificación en el lado frontal hacia las avenidas. La que se encuentra en el lateral izquierdo presenta una disponibilidad de 6 estacionamientos dentro de la misma edificación.

Figura 38*Estacionamiento interior de edificación**Nota.* Elaboración propia.

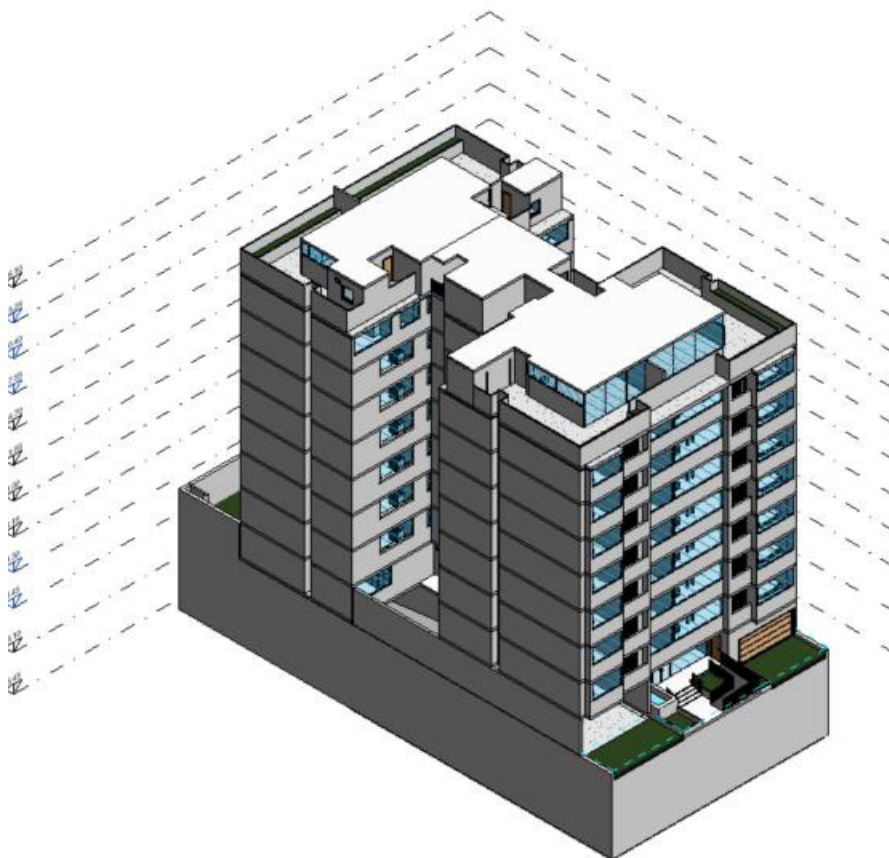
Por otro lado, se encuentra otra entrada al estacionamiento vehicular de la edificación, este se encuentra en el frontis de la edificación cerrado exteriormente por una puerta levadiza de madera.

Figura 39*Representación modelada de la arquitectura del voladizo**Nota.* Elaboración propia.

Se toma de referencia que el arquitecto consideró una separación con la propiedad de terceros de 3 cm por piso para evitar variaciones en la planta, teniendo 24 cm de separación con la propiedad de terceros.

Figura 40

Edificación de arquitectura modelada en Revit

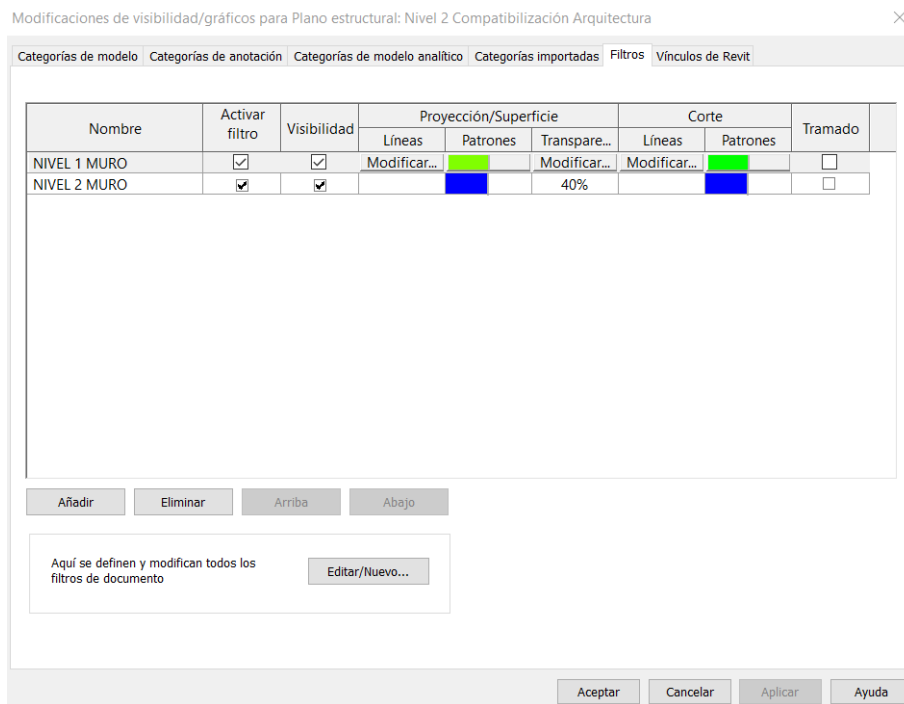
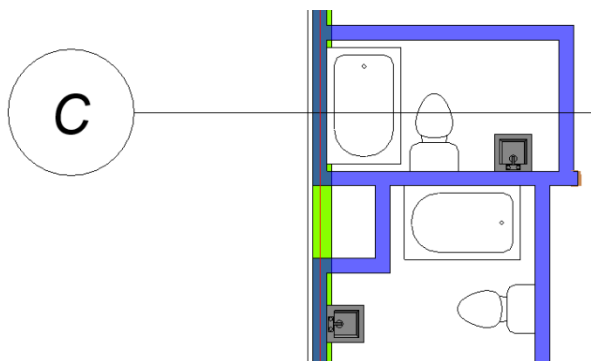


Nota. Elaboración propia.

4.4. Estructuración de edificación

La estructuración es un proceso por el cual se puede definir una estructura bajo ciertas condiciones según el criterio del diseñador estructural basado en conceptos teóricos, estándares normativos y experiencia para poder satisfacer las solicitudes de la arquitectura proyectada.

Este proceso estará integrado en la concepción del proyecto con el uso del software Revit para poder buscar tanto continuidad en la arquitectura como posibles adaptaciones al superponer niveles en la vista de planta.

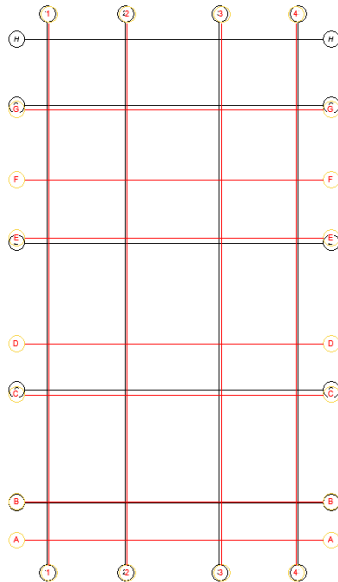
Figura 41*Filtros de compatibilización de niveles en arquitectura**Nota.* Elaboración propia.**Figura 42***Proyección filtrada superpuesta con tercer color**Nota.* Elaboración propia.

Donde dichos filtros permitirán encontrar la continuidad o la proximidad debida para poder plantear elementos estructurales, tales como columnas, vigas y muros. Para ello, se

proyectarán los ejes estructurales de color rojo que definan la óptima proyección del trazo de columnas y vigas aprovechando la superposición de filtros.

Figura 43

Rejillas estructurales planteadas y arquitectónicas



Nota. Elaboración propia.

4.4.1. Predimensionamiento de Columnas:

De acuerdo a la arquitectura del proyecto, se ha propuesto un análisis de estructura de sistema dual teniendo la aplicación de placas, vigas, columnas y losas de concreto armado, por lo que se considerará el predimensionamiento correspondiente adaptando los requerimientos recomendados en el predimensionamiento de columnas del Ing. Blasco (1997) mínimos de la norma E.060 (2019), por lo que se tiene:

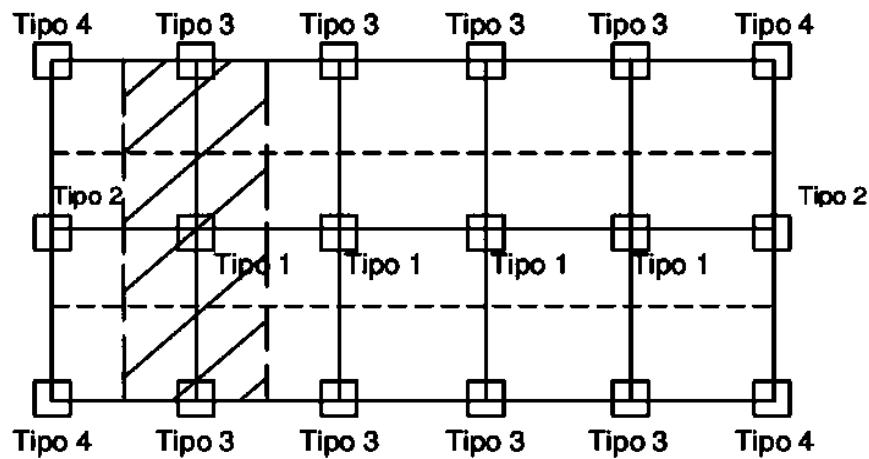
$$\text{Área de columna interiores} = \frac{P(\text{Servicio})}{0.45 * f'c}$$

$$\text{Área de columna exteriores} = \frac{P(\text{Servicio})}{0.35 * f'c}$$

Por consiguiente, las columnas tendrán su análisis respectivo evaluando los casos más desfavorables para luego homogeneizar la propuesta estructural.

Figura 44

Representación de tipología según ubicación en planta

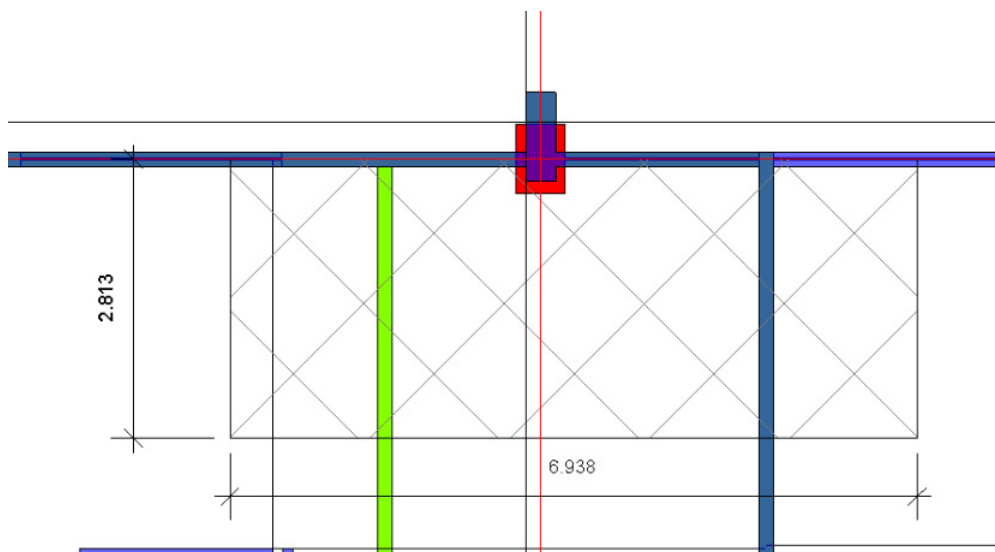


Nota. Elaboración propia.

4.4.1.1. Columna esquinera. Definida como columna Tipo C3 según el esquema mostrado tiene la siguiente configuración.

Figura 45

Región tributaria en columna intermedia



Nota. Elaboración propia.

Aplicando la configuración del área tributaria pertinente, se tendría los siguientes resultados:

Figura 46

Predimensionamiento en región tributaria de columna intermedia

P ($P_D + P_L$)	=	1000.00 kgf/m ²	Peso por nivel maximizada
N	=	9.00	Numero de niveles
At	=	19.51 m ²	Area tributaria
f'c	=	280.00 kg/cm ²	Resistencia a la compresión
Ubicac.	=	Columnas Excentricas	
A	=	3135.86 cm ²	Area de columna
L	=	56.00 cm	Dimension Columna Cuadrada
L1	=	70.00 cm	Lado 1 de columna
L2	=	44.80 cm	Lado 2 de columna

Nota. Elaboración propia.

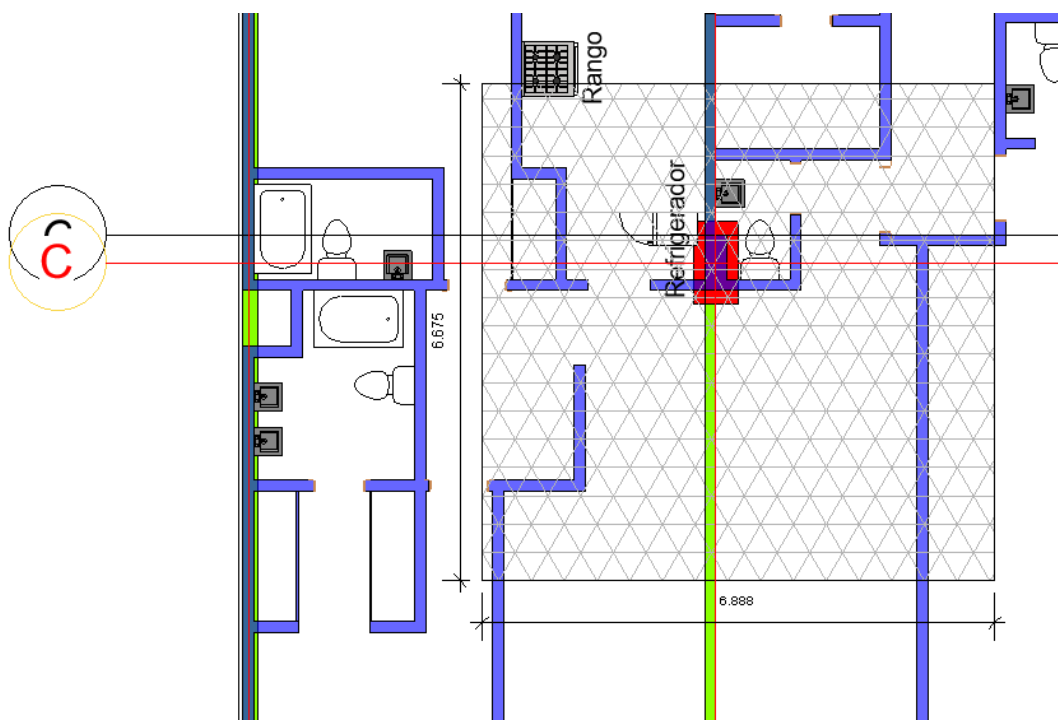
Decidiendo para el cumplimiento del área 70x50 cm².

4.4.1.2. Columna central. Definida como columna Tipo C1 según el esquema

mostrado tiene la siguiente configuración:

Figura 47

Región tributaria en columna central



Nota. Elaboración propia.

Figura 48

Predimensionamiento en región tributaria de columna central

P (P _D +P _L)	=	1000.00 kgf/m ²	Peso por nivel maximizada
N	=	9.00	Numero de niveles
At	=	45.97 m ²	Area tributaria
f' _c	=	280.00 kg/cm ²	Resistencia a la compresión
Ubicac.	=	Columnas Centradas	
A	=	5418.36 cm ²	Area de columna
L	=	73.61 cm	Dimension Columna Cuadrada
L1	=	100.00 cm	Lado 1 de columna
L2	=	54.18 cm	Lado 2 de columna

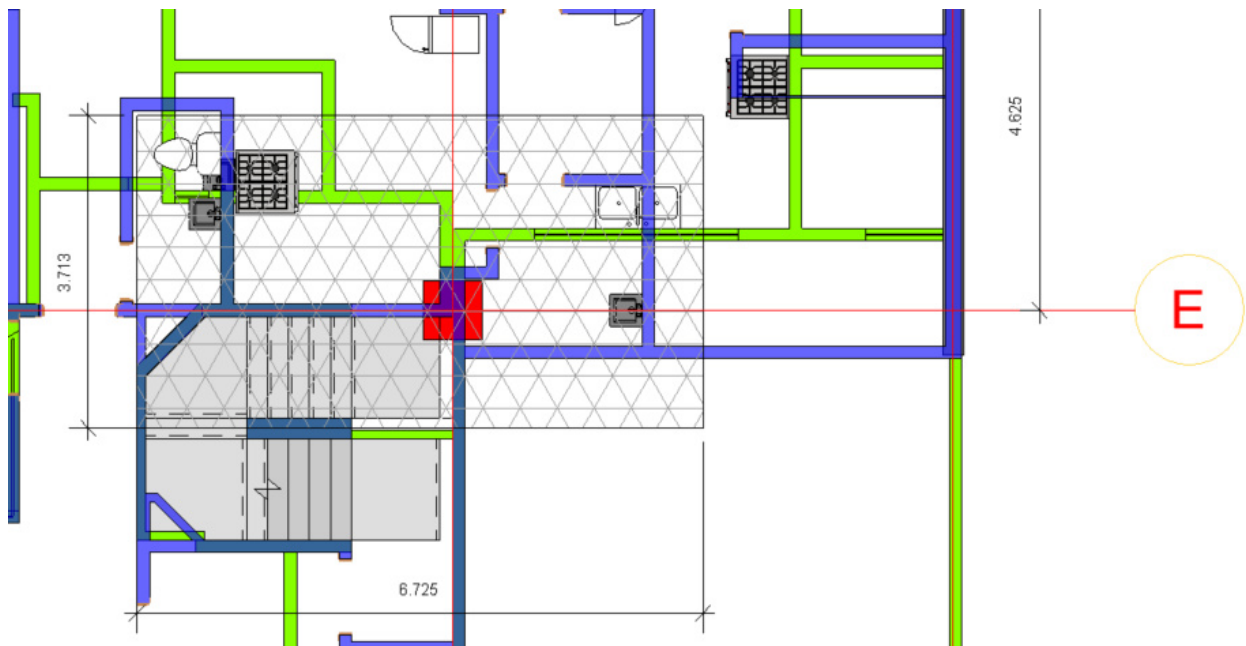
Nota. Elaboración propia.

Tomando como propuesta las columnas de lado de 100x60 cm².

4.4.1.3. Columna esquinada interior. Definida como columna Tipo C2 según el esquema mostrado tiene la siguiente configuración:

Figura 49

Región tributaria en columna esquinada interior



Nota. Elaboración propia.

Figura 50

Predimensionamiento en región tributaria de columna esquinada interior

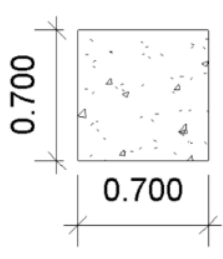
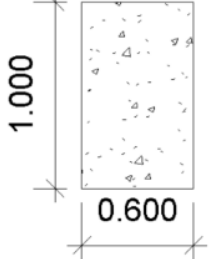
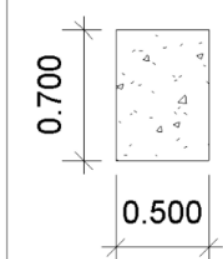
P (P_D+P_L)	=	1000.00 kgf/m ²	Peso por nivel maximizada
N	=	10.00	Numero de niveles
At	=	24.97 m ²	Area tributaria
f' _c	=	280.00 kg/cm ²	Resistencia a la compresión
Ubicac.	=	Columnas Excentricas	
A	=	4458.39 cm ²	Area de columna
L	=	66.77 cm	Dimension Columna Cuadrada
L1	=	70.00 cm	Lado 1 de columna
L2	=	63.69 cm	Lado 2 de columna

Nota. Elaboración propia.

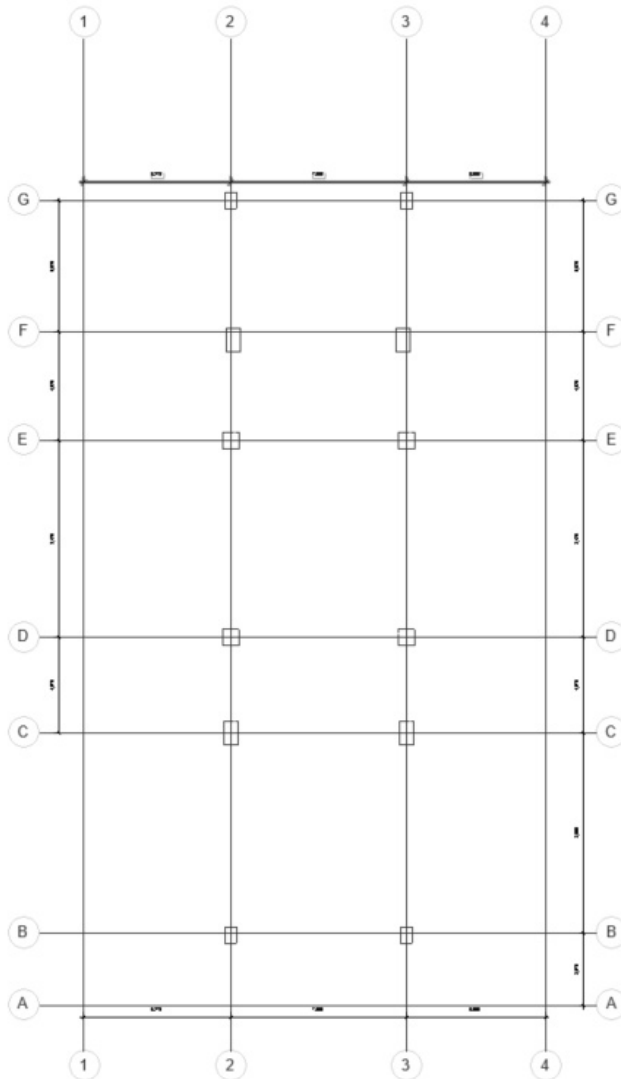
Decidiendo la dimensión de una columna cuadrada de 70x70 cm².

4.4.1.4. Cuadro de columnas estructurales. Teniendo consideración del posible uso de placas en los laterales y en el centro de la estructura, se ha optado por fijar el posicionamiento y selección de las columnas. Cabe recalcar que ante la preconfiguración de columnas que se ha definido, se ha optado por tener la resistencia de 280 kg/cm².

Figura 51*Cuadro de propuesta de columnas estructurales*

COLUMNAS ESTRUCTURALES		
C-1	C-2	C-3
		

Nota. Elaboración propia.**Figura 52***Configuración de columnas en planta típica*



Nota. Elaboración propia.

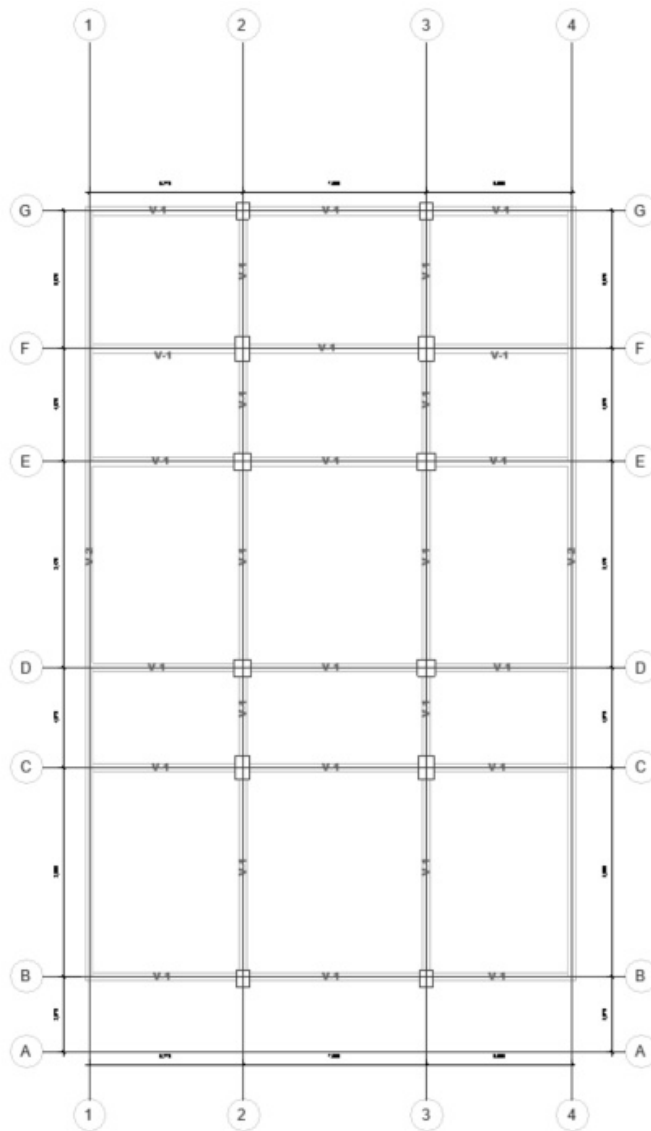
4.4.2. Predimensionamiento de vigas

4.4.2.1. Relación de vigas predimensionadas. Considerando que las vigas pueden ser proporcionadas de 1 a 2 teniendo un espesor por su longitud, se acomoda la proporción $L/12$, considerando la longitud mayor apoyada $L=8$ m, obteniendo 0.67 m, el cual se redondeará al múltiplo de 5 centímetros superior, el cual sería 0.70 metros aproximadamente, considerando una viga de sección 0.35×0.70 m². Por otro lado, en la zona donde no se tiene proyectado que soporte losas, se planteará el trazo de vigas con sección de 0.30×0.70 m, porque se busca que los esfuerzos no se concentren en el lado central de la edificación. Para lo que dará un trazo

tentativo de vigas las cuales recorrerán los ejes estructurales planteados con las columnas y los muros.

Figura 53

Estructuración de vigas de concreto armado.



Nota. Elaboración propia.

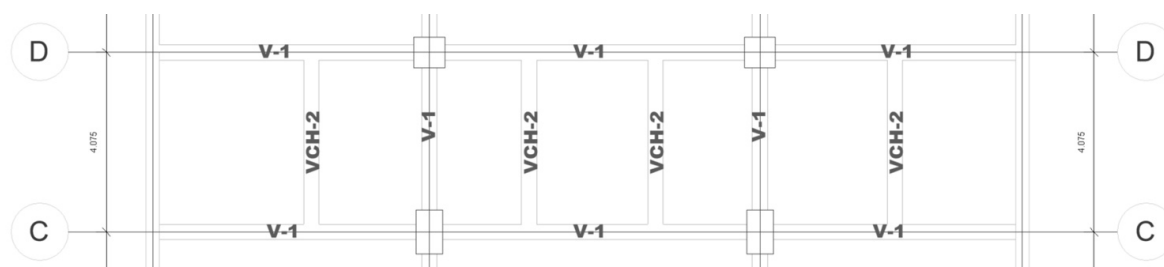
4.4.2.2. Predimensionamiento de Vigas chatas. Considerando la experiencia en campo, se configura en la selección de vigas chatas según la longitud de luces en un peralte de 25 cm.

Tabla 3*Recomendaciones de dimensiones de vigas chatas.*

Para longitudes	Base de viga chata	Peralte de viga chata
$L < 3 \text{ m}$	25	25
$L < 5 \text{ m}$	35	25
$L > 5 \text{ m}$	50	25
$L > 5 \text{ m}$	60	25
$L > 5 \text{ m}$	75	25

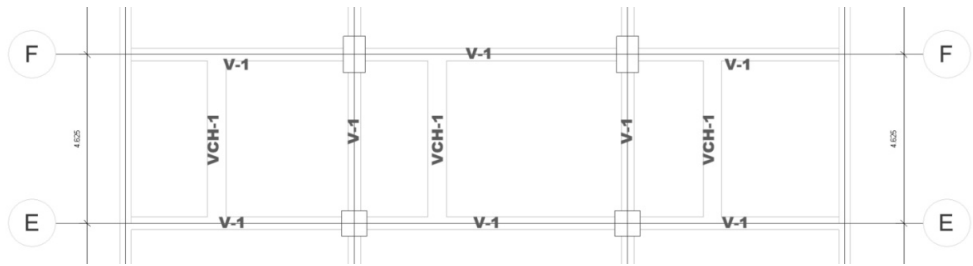
Nota. Elaboración propia.

Se tomarán estas recomendaciones como base según longitud acondicionado al peralte respectivo que necesite el diseño. Teniendo dicha representación y recomendaciones, se analizó una de las propuestas más críticas.

Figura 54*Estructuración de vigas chatas entre ejes D-D y C-C según longitud.**Nota.* Elaboración propia.

Por lo que se definiría como una sección de 35x25 cm donde la arquitectura proyecta sus muros entre los ejes D-D y C-C. A su vez también proyectaría la misma condición ubicada entre el eje F-F y E-E, teniendo una viga proyectada de 50x25 cm.

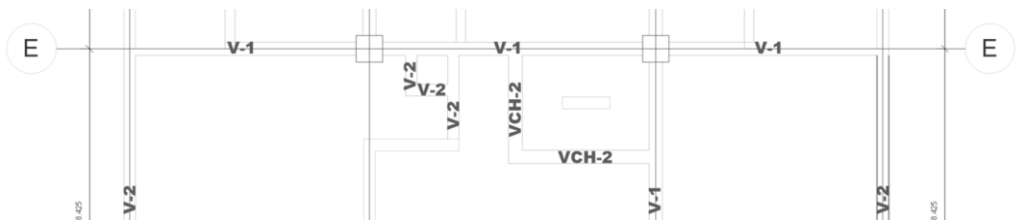
Figura 55
Estructuración de vigas chatas entre ejes F-F y E-E según longitud.



Nota. Elaboración propia.

En el caso de la losa central, se proyectará vigas chatas cercanamente a la escalera de emergencia.

Figura 56
Estructuración de vigas chatas entre ejes E-E y D-D según longitud.



Nota. Elaboración propia.

4.4.2.3. Configuración de vigas. Al tener definidos nuestro pre-dimensionado se tendría la siguiente representación de cuadro de vigas.

Figura 57
Cuadro de propuesta de vigas estructurales.

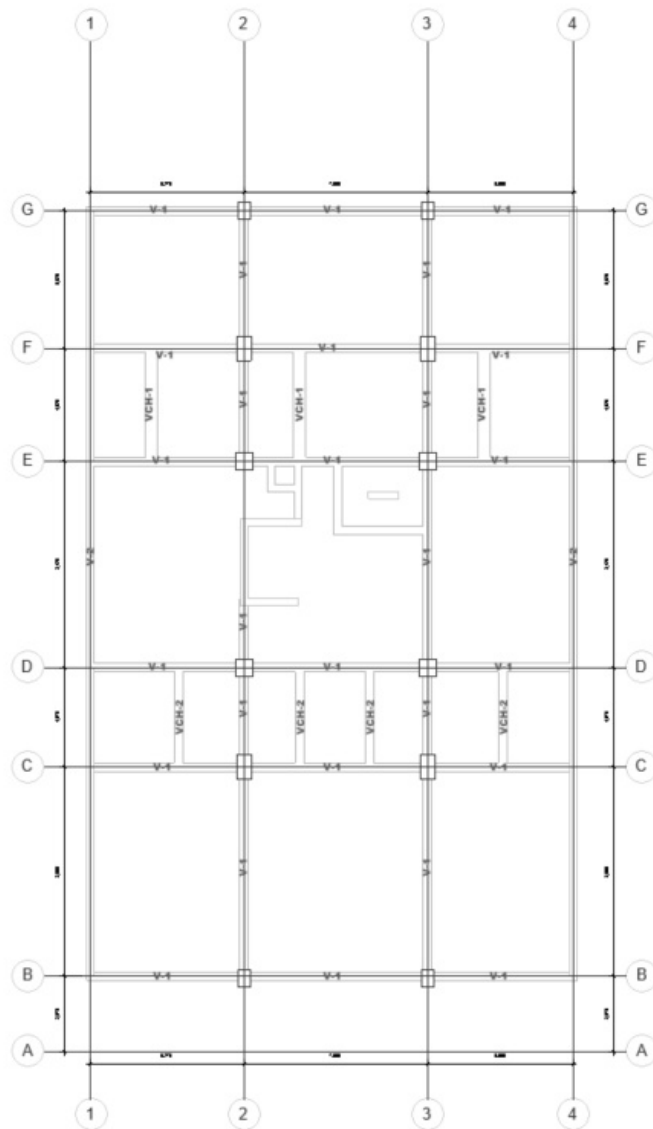
VIGAS ESTRUCTURALES			
V-1	V-2	VCH-1	VCH-2

Nota. Elaboración propia.

Por lo que se tendría la siguiente configuración en base a la necesidad del modelo, considerando que llevaría placas en tramos que se analizarán más adelante.

Figura 58

Configuración de vigas en planta típica.



Nota. Elaboración propia.

4.4.3. Predimensionamiento de Losas. Referenciando lo señalado por Blasco (1997), mientras más difícil la estructuras, más difícil resulta predecir su comportamiento sísmico. Por lo da las siguientes recomendaciones.

Tabla 4*Recomendaciones de estructuración*

Peralte de losa	Longitud en losa aligerada	Longitud en losa maciza
h=17 cm	Luces menores de 4 mts	h=12 cm Luces menores o 13 cm de 4 mts
h=20 cm	Luces entre 4 mts y 5.5 mts	h=15 cm Luces entre 4 mts y 5.5 mts
h=25 cm	Luces entre 5mts y 6.5 mts	h=20 cm Luces entre 5mts y 6.5 mts
h=30 cm	Luces entre 6 mts y 7.5 mts	h=25 cm Luces entre 6 mts y 7.5 mts

- *Nota. Adaptada de "Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado", por Blasco, 1990. Colegio de Ingenieros del Perú.*

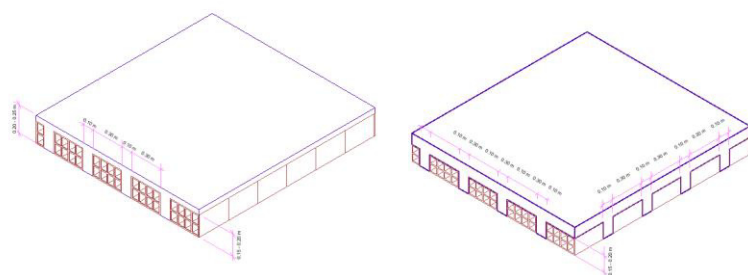
Para el presente proyecto la mayoría de paños más desfavorables se encuentran entre el eje B y C. Para llegar a lograr una homogeneidad y simpleza constructiva se tomará un peralte de losa h=25 cm si esta es aligerada y 25 cm si esta es maciza según necesidad de la luz libre. Por otro lado, se toma en consideración los requerimientos mínimos indicados por el reglamento nacional de edificaciones a través de la siguiente tabla.

Tabla 5*Espesores de vigas o losas en una dirección*

Espesor o peralte mínimo, h				
Elementos	Simplemente apoyados		Con extremo continuo	Ambos extremos continuos
	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes			En voladizo
Losas macizas en una dirección	L/20		L/24	L/28
Vigas o losas nervadas en una dirección	L/16		L/18.5	L/21
				L/10
				L/8

Nota. Los valores expresados en la Tabla se deben usar directamente en elementos de concreto de peso normal (2300 Kg/m³ alrededor) y refuerzo con f_y igualado a 420 MPa. Para otras condiciones, deben modificarse los valores. Adaptado de “Propuesta de Norma E.060-2019” (p. 56), por Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento, 2019, SENCICO.

4.4.3.1. Configuración de losas. Las losas pueden ser definidas como losas macizas o aligeradas, siendo las macizas de mayor resistencia y rigidez al paño, mientras que las aligeradas tienden a tener menores intensidades en resistencia y rigidez, pero una menor carga al elemento y una mayor economía.

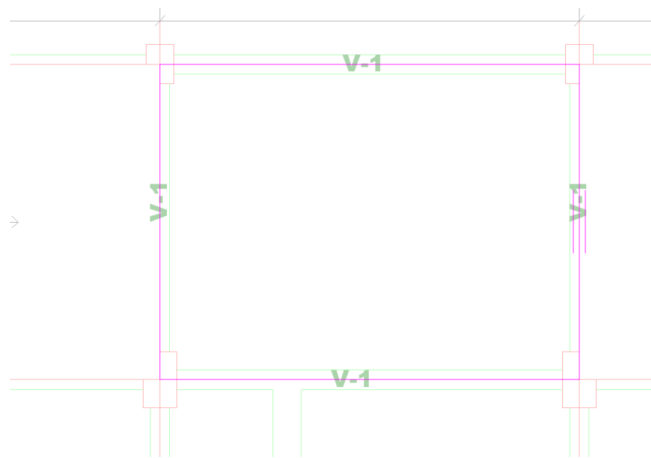
Figura 59*Losa aligerada unidireccional y bidireccional.*

Nota. Elaboración propia.

Según el posicionamiento de las losas, se definirá el apoyo de manera bidireccional en el tramo haciendo énfasis en el uso aligerado de la losa. Al generar la estructuración en las losas en el software Revit, se debe tomar en cuenta no evitar las colisiones con vigas y columnas, esto con el fin de generar una proyección armada ordenada del modelo de cálculo estructural que se obtendrá más adelante. A su vez se puede plantear el direccionamiento en su colocación para la interpretación analítica de los elementos.

Figura 60

Colocación de losas aligeradas y direccionamiento.

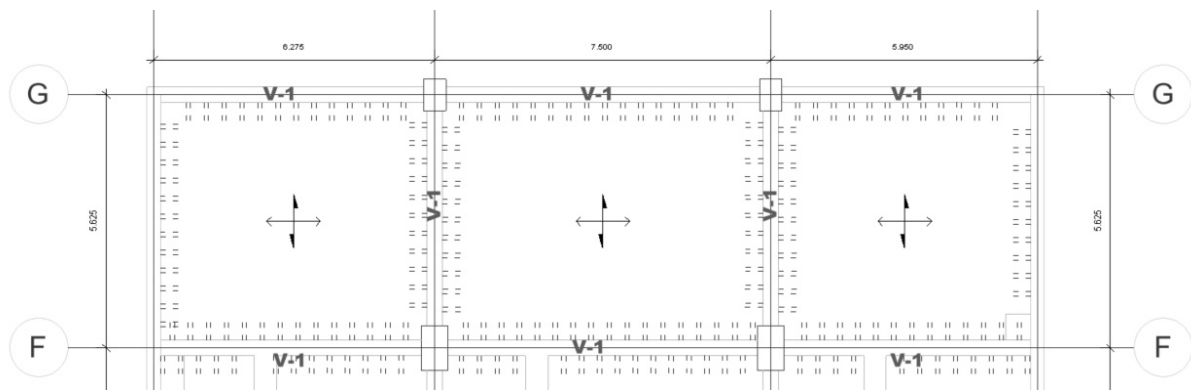


Nota. Elaboración propia.

Según el posicionamiento de las losas, se definirá el apoyo de manera bidireccional en el tramo haciendo énfasis en el uso aligerado de la losa y en su direccionamiento.

Figura 61

Direccionamiento de losa aligerada bidireccional.

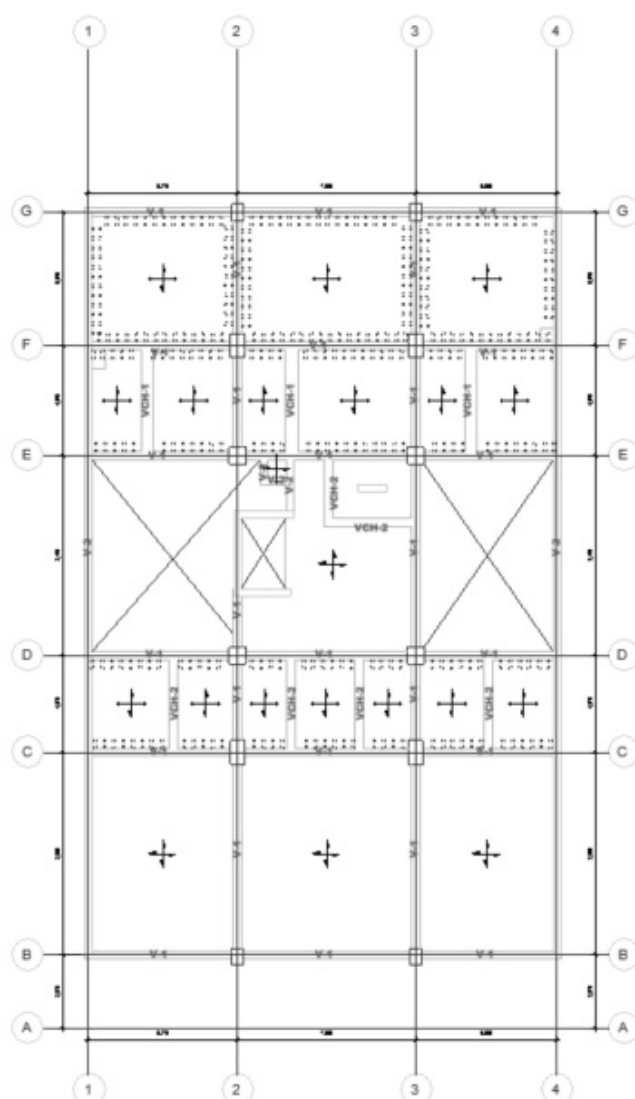


Nota. Elaboración propia.

Por la distribución de losas, los que contienen rayas discontinuas referenciarán a ser losas aligeradas (pudiendo ser en una o dos direcciones), mientras que los que no, serán catalogadas como losas macizas. Se tiene una configuración acomodada a longitudes menores a 6 metros por lo general en los paños, por lo que se ha optado a tener un predimensionamiento de peralte de losa de 25 cm considerando el paño G1 – F2, al buscar una continuidad y mantenimiento de peralte, se ha considerado como un paño bidireccional. Desarrollando la configuración se tiene el siguiente direccionamiento:

Figura 62

Configuración de tipología de losas y direccionamiento



Nota. Elaboración propia.

Al plantear todas las losas con su direccionamiento preferencial, se tendrá las posibles superposiciones que se deben considerar antes de exportar el modelo.

4.4.4. Predimensionamiento de muros de concreto armado.

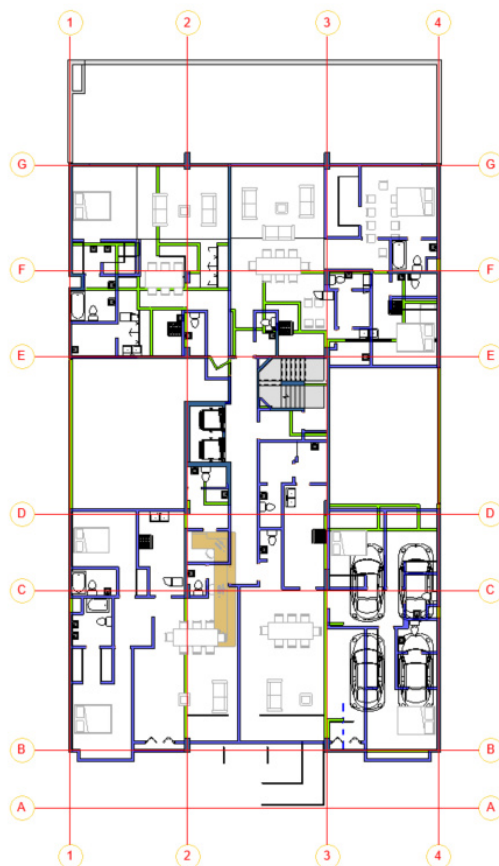
Los muros de concreto armado o las placas se toman en consideración en la repartición de la cortante y el equilibrio simétrico que este pueda tener para evitar demasiada separación entre el centro de rigidez y el centro de masa. Un punto relevante para posicionar las placas es proyectarla evitando el cambio arquitectónico de proyección de muros.

4.4.5. Proyección de muros continuos

Se debe proyectar los elementos estructurales del primer al segundo nivel para buscar una continuidad y un equilibrio geométrico de planta en la estructuración, pudiéndose utilizar la herramienta de filtros de Revit para poder traslapar la arquitectura modelada.

Figura 63

Vista filtrada de nivel 2 con profundidad en nivel 1.

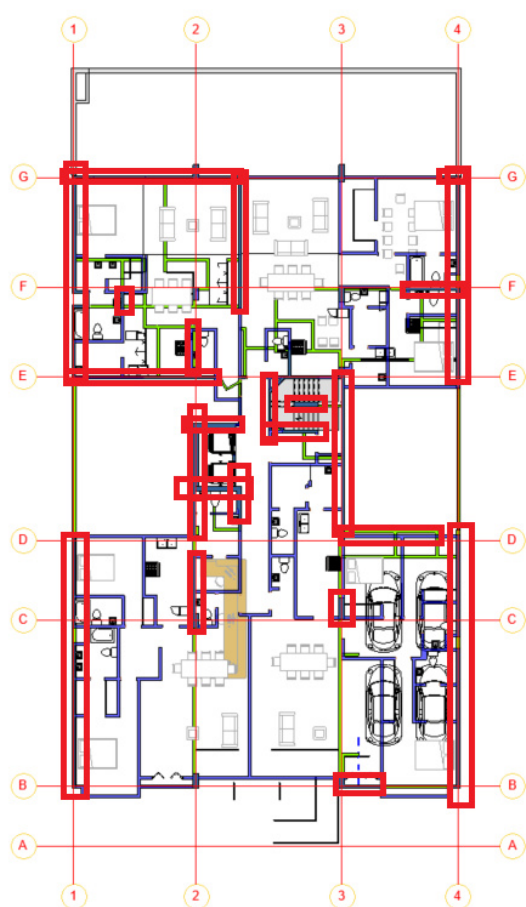


Nota. Elaboración propia.

Pudiéndose observar los muros que tienen continuidad y tendencia de continuidad entre ambos niveles haciendo factible una propuesta de un sistema de concreto armado de placas y columnas por lo que se la haría las siguientes propuestas estructurales.

Figura 64

Posibilidades de Disponibilidad de selección de continuidad de muros de concreto armado.



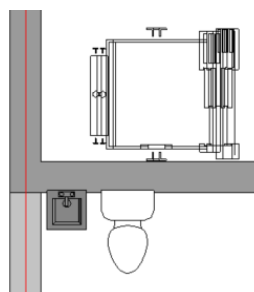
Nota. Elaboración propia.

De estas posibilidades tienen que ser representadas con la consideración de elementos arquitectónicos como ventanas, puertas, pases, etc., así como también la posible modificación de arquitectura que se le pueda rediseñar en los componentes de instalaciones como los son los aparatos sanitarios. La colocación de placas tiene que considerar mantener un equilibrio entre

el centro de rigidez y el centro de masa buscando la menor separación posible entre estos ante la colocación de elementos placa.

Figura 65

Presencia de aparatos sanitarios en estructuración de muros de concreto armado.

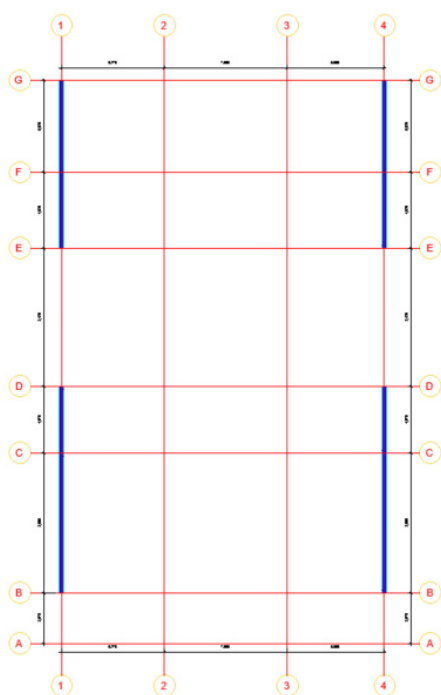


Nota. Elaboración propia.

Los muros que tiendan a estar en los ejes 1-1 y en eje 4-4, muestran una tentativa de poder proyectar una continuidad estructural, esto debido a que la edificación se encuentra proyectada con vecinos.

Figura 66

Estructuración de muros de concreto armado en laterales de edificación.

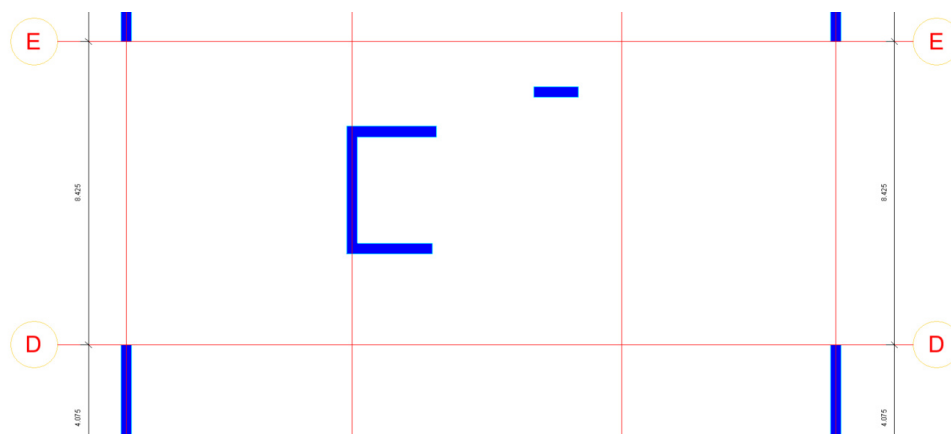


Nota. Elaboración propia.

A su vez, se proyectará los muros de concreto armado por el lado del ascensor de la edificación y en la escalera de emergencia.

Figura 67

Estructuración de muros de concreto armado en zona de ascensor.

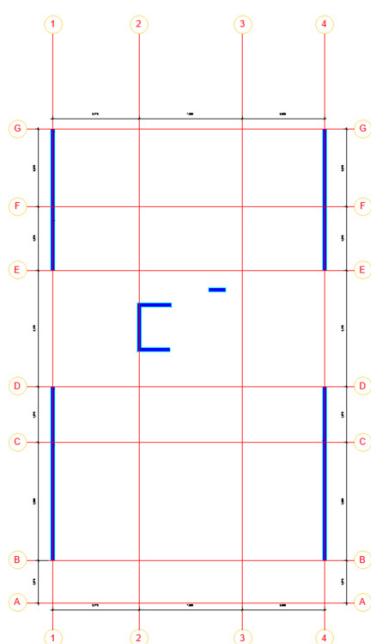


Nota. Elaboración propia.

Esta indicación representaría a ser la presentación de solo placas en esta propuesta de estructuración. El muro estaría proyectado a un ancho de 30 cm para poder mantener la continuidad de vigas que hayan sido proyectadas en dichas posiciones.

Figura 68

Estructuración de muros de concreto armado típicos



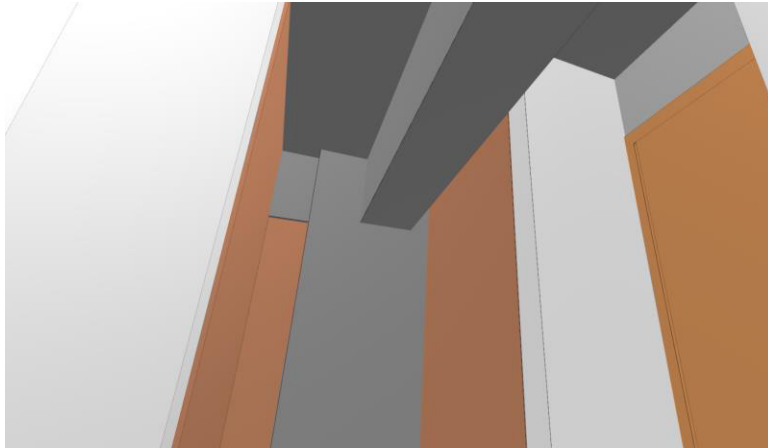
Nota. Elaboración propia.

4.4.6. Esquema de estructuración

Para el modelado general del proyecto, se toma en consideración que el modelo BIM sirve para identificar y compatibilizar tramos arquitectónicos y limitar de manera más directa la estructuración.

Figura 69

Compatibilización de closet y sistema estructural



Nota. Elaboración propia.

Figura 70

Compatibilización de puertas y columnas de concreto armado



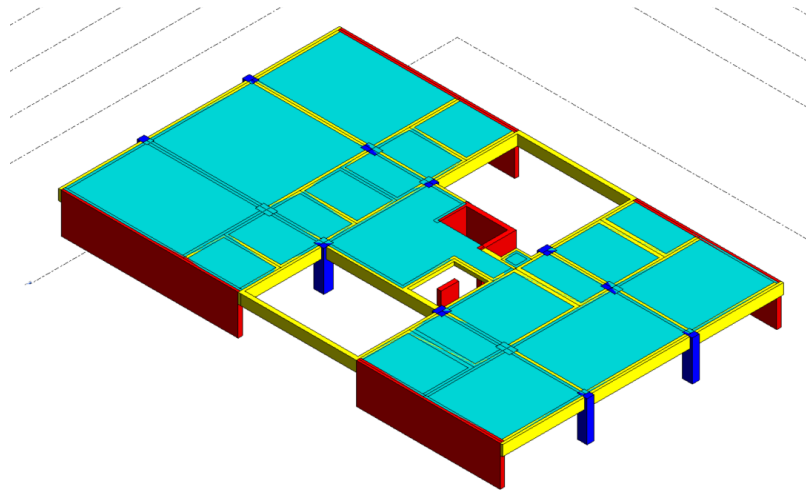
Nota. Elaboración propia.

Teniendo el avance pertinente, se ha tenido que compatibilizar la estructura con la arquitectura proyecta habiendo tenido que elegir los muros o columnas necesarios,

modificando levemente la posición de algunas puertas y reajustar la proyección de ciertos ambientes arquitectónicos levemente.

Figura 71

Modelado de estructuración en Revit con elementos superpuestos

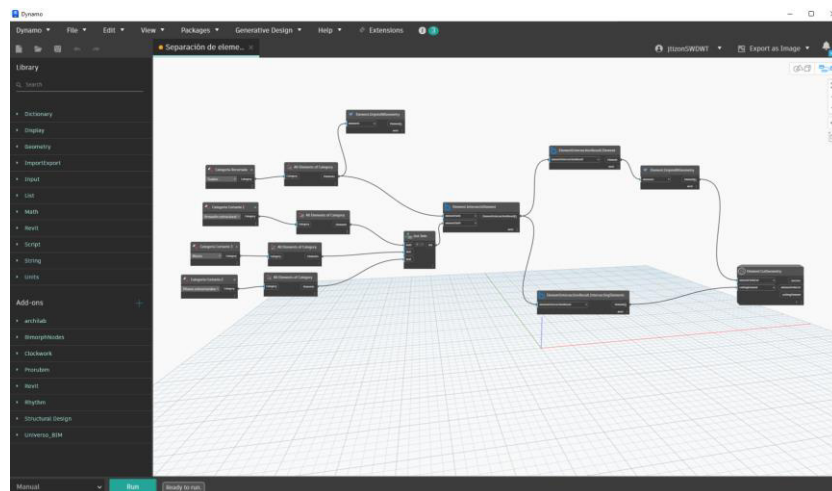


Nota. Elaboración propia.

Para poder mantener un flujo de trabajo automatizado se busca que los elementos sean recortados automáticamente, por lo que se hará uso de la herramienta de programación, Dynamo, para poder programar las acciones como algoritmo en el programa, creando una aplicación para la separación de elementos.

Figura 72

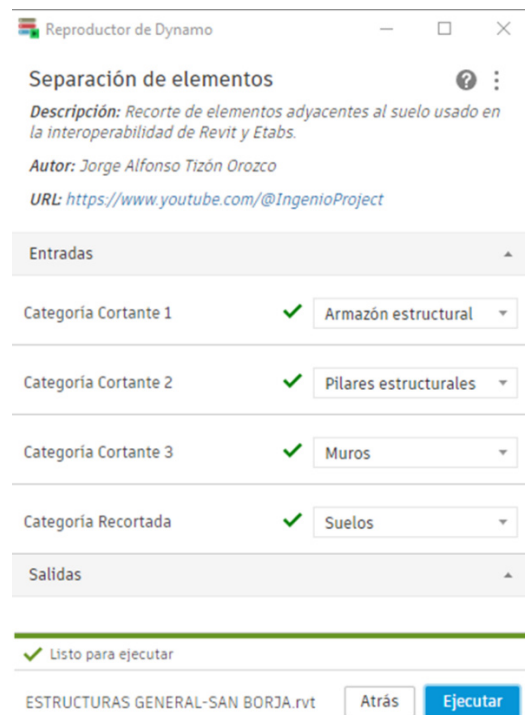
Esquema de programa de separación de elementos en Dynamo



Nota. Elaboración propia.

Figura 73

Reproductor de Dynamo de aplicación de separación de elementos

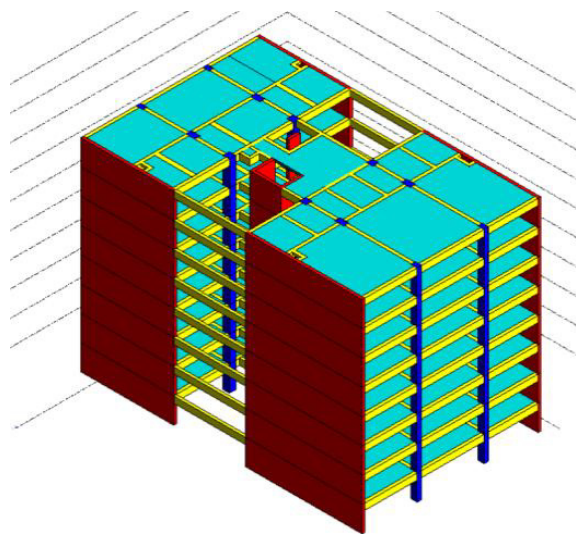


Nota. Elaboración propia.

Obteniendo el correcto modelado evitando las colisiones por superposición de elementos en el proyecto.

Figura 74

Modelado de estructuración en Revit con elementos separados

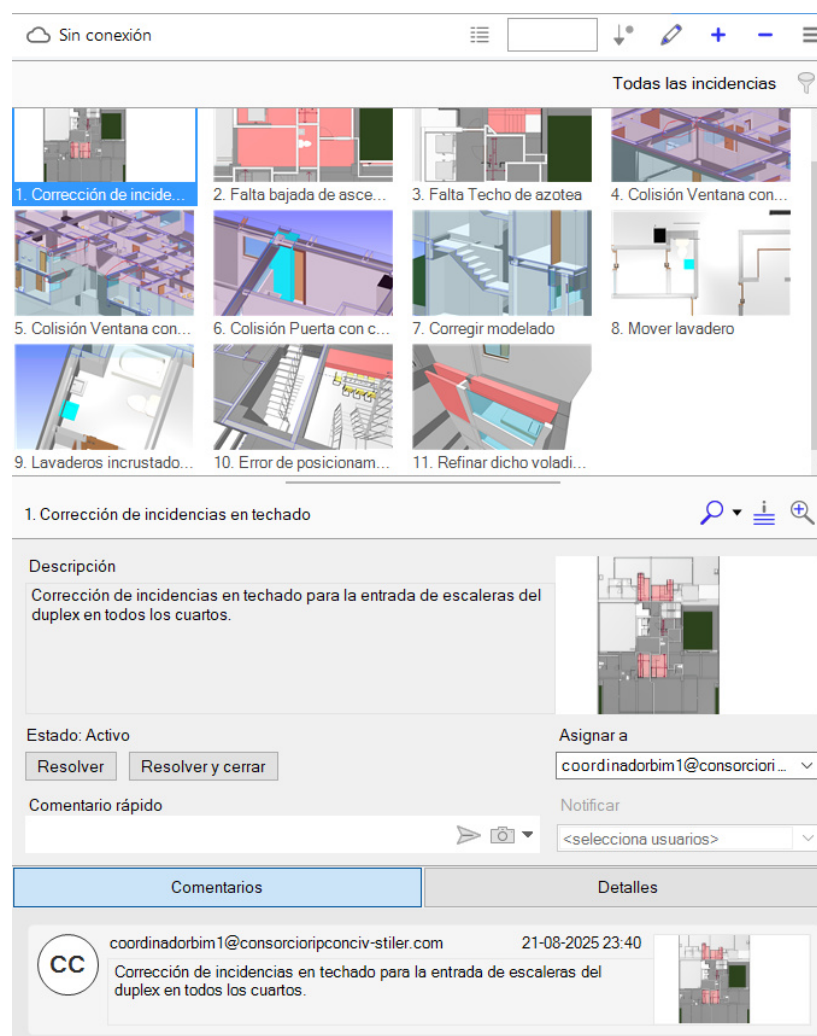


Nota. Elaboración propia.

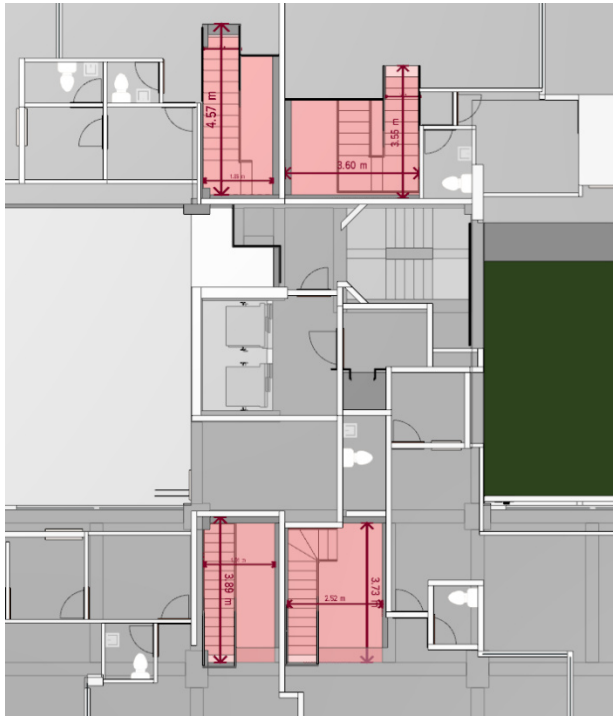
De la edificación estructurada podrá servir para poder definir posibles aperturas del nivel típico frente a la azotea haciendo uso de las herramientas de compatibilización. Así mismo, se puede dar seguimiento a elementos y vistas vinculadas con el identificador de incidencias BCF como es posible en el software BIMCOLLAB.

Figura 75

Incidencias reportadas en archivo BCF



Nota. Elaboración propia.

Figura 76*Aperturas necesarias por escalera de duplex en azotea**Nota.* Elaboración propia.

4.5. Exportación de Revit a Etabs mediante CSIXRevit

El modelo de estructuras hecho en el software Revit 2025 fue generado con el uso de generar la primera etapa de estructuración y póstumamente la planimetría proyectando un nivel de detalle LOD 350 definido por BIM Forum (2025). Sin embargo, ahora el análisis estructural estará comprendido por la exportación del plano modelado en el proyecto, donde se tendrá la siguiente estructura. Cabe recalcar que todos los elementos deben estar enlazados a su objeto 3D original para que las propiedades puedan exportarse en el nuevo archivo. Esto se logrará con la herramienta de automatización analítica.

Figura 77

Herramienta de automatización analítica para edificaciones nativa de Revit 2025

Automatización analítica

De físico a analítico para edificios 2025.2

Descripción: Genere el modelo analítico estructural para los elementos físicos estructurales seleccionados. El modelo analítico resultante se alinea con las referencias horizontales y verticales clave generadas a partir del modelo físico.

Autor: Autodesk

URL: <https://www.autodesk.com/rvt-physical-analytical-automation-help-2025-esp>

Entradas

1. Seleccionar elementos del modelo

Nº total de elementos: 94

Mostrar elementos

✓

Seleccionar

Seleccione los elementos físicos estructurales para los que desea generar equivalentes analíticos. Los elementos analíticos se crean solo para aquellos elementos estructurales que no tengan ya elementos analíticos correspondientes.

2. Factor de alineación de pilares/muros a niveles

0.1

Representa el valor que se multiplica por la altura del elemento para determinar la tolerancia. El valor por defecto es 0,35. Si los elementos no están alineados, aumente el factor para alinearlos al nivel más cercano. Si no deben alinearse, reduzca el factor.

3. Factor de alineación de vigas a niveles

1

Representa el valor que se multiplica por la altura del elemento para determinar la tolerancia. El valor por defecto es 1. Si los elementos no están alineados, aumente el factor para alinearlos al nivel más cercano. Si no deben alinearse, reduzca el factor.

4. Factor de alineación de suelos a niveles

1

Representa el valor que se multiplica por el grosor del suelo para determinar la tolerancia. El valor por defecto es 1. Si los elementos no están alineados, aumente el factor para alinearlos al nivel más cercano. Si no deben alinearse, reduzca el factor.

5. Factor de alineación de elementos en el plano horizontal

0.3

Representa el valor que controla la alineación de los elementos analíticos en el plano horizontal. Si este valor es alto, los elementos analíticos se alinean en la misma referencia, lo que proporciona una representación más sencilla. Si este valor es bajo, los elementos analíticos que están cerca unos de otros se alinean en planos de referencia diferentes, lo que da como resultado una representación que refleja mejor el modelo físico.

Salidas

Información detallada sobre los elementos no admitidos

✓ Ejecución completada

ESTRUCTURAS GENERAL-SAN BORJA.rvt

Atrás

Ejecutar

Nota. Elaboración propia.

Se toma en cuenta que el modelado automatizado es una aproximación de la representación geométrica, por lo que se definirá que se ajusten a los planos horizontales, es decir, referenciados a las rejillas estructurales planteadas en el proyecto. Después de aplicar dicha consideración, se tomará una actualización de los elementos analíticos.

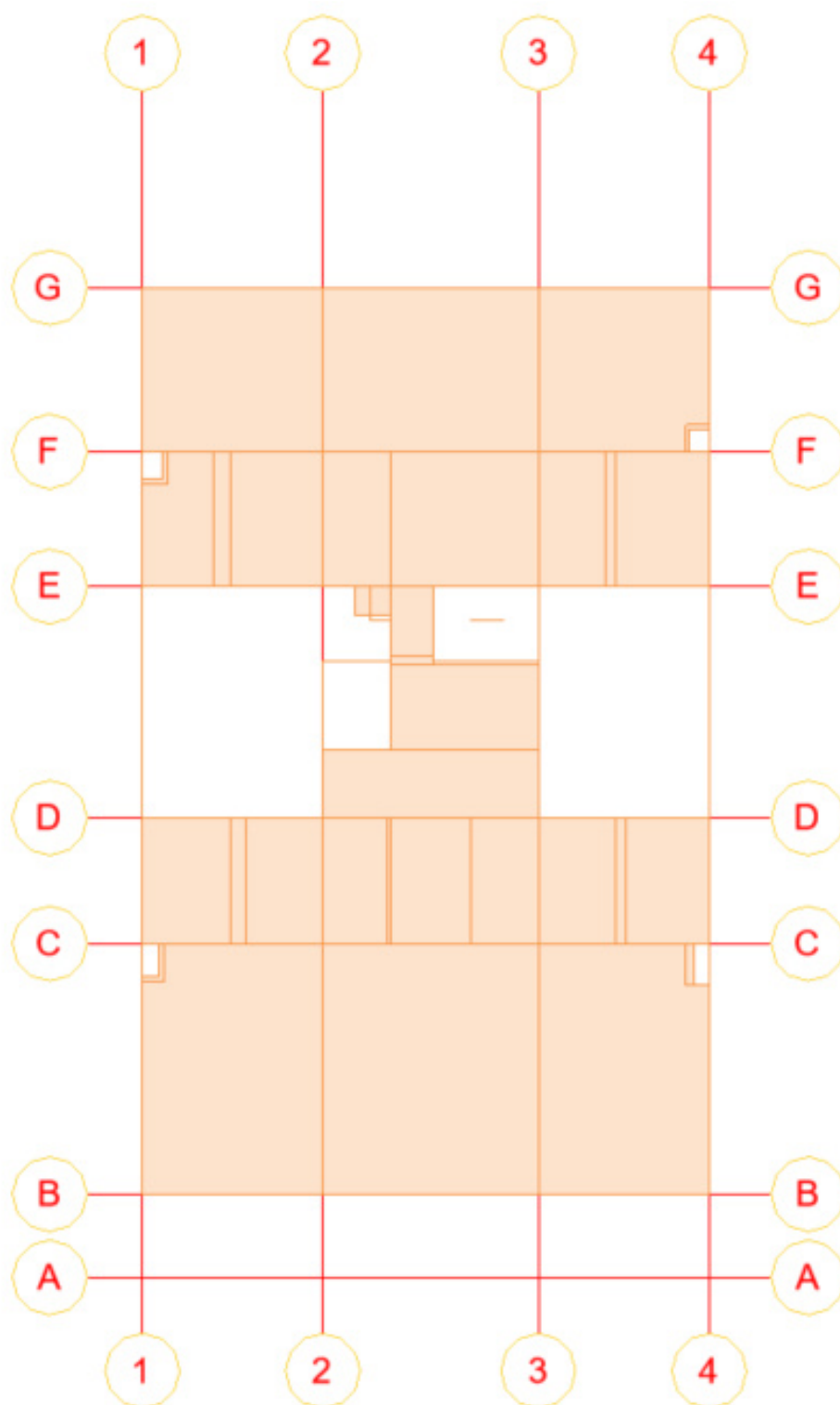
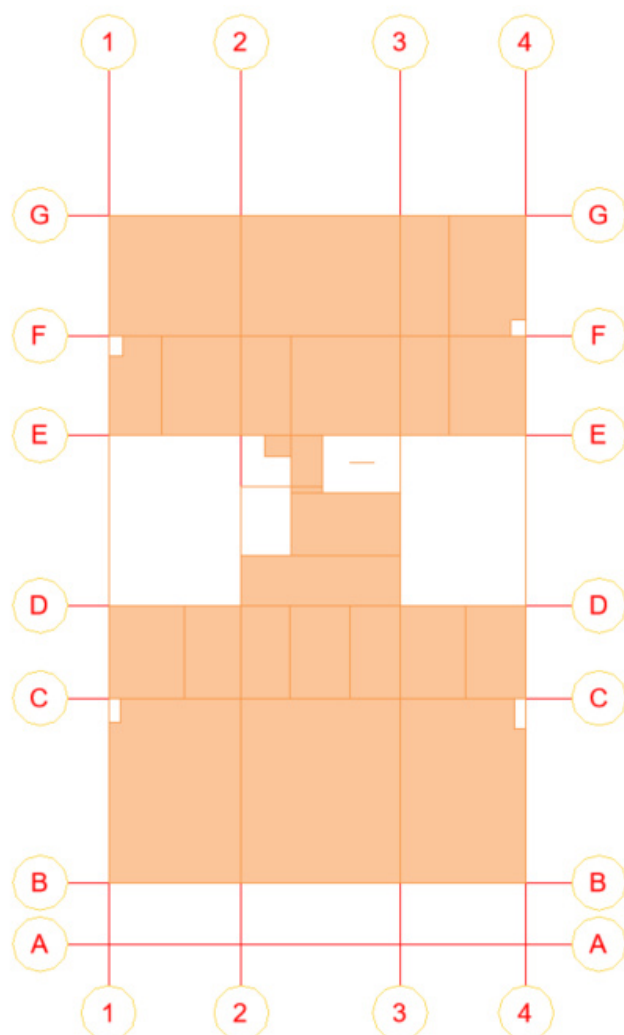
Figura 78*Modelo analítico generado automáticamente**Nota.* Elaboración propia.

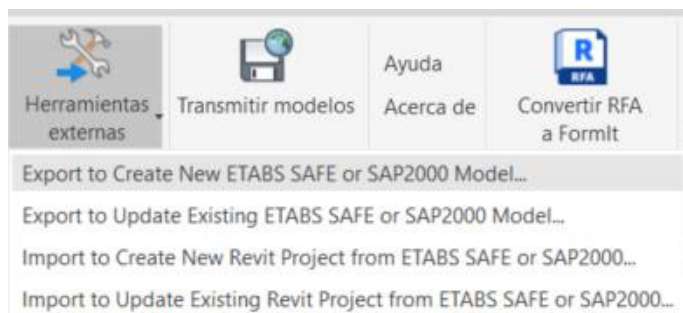
Figura 79

Modelo analítico corregido según posicionamiento referenciado con elementos geométricos



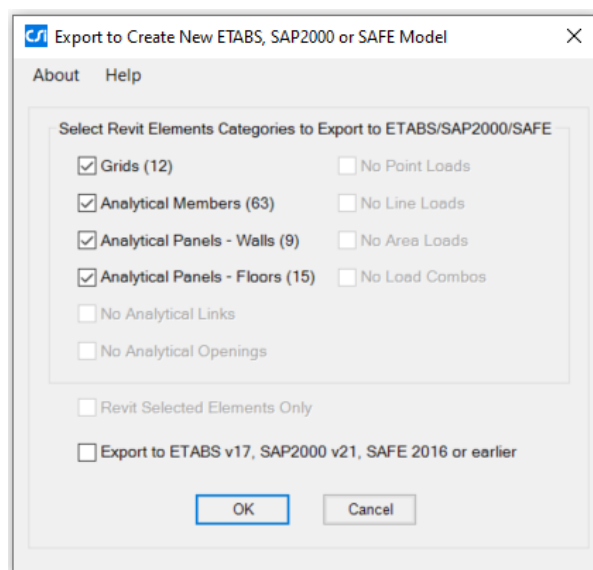
Nota. Elaboración propia.

El proyecto tendrá que ser exportado al software ETABS mediante el uso de la herramienta de CSIXRevit, pudiendo ayudar esto a la primera representación del análisis correspondiente a la generación de niveles, colocación de elementos estructurales e inclusive asignación de secciones del elemento completamente verificables en el software, pudiendo incluso incluir el material, pero se omitirá este paso para colocarlo dentro del mismo software de ETABS.

Figura 80*Herramienta de exportación de CSIxRevit*

Nota. Elaboración propia.

Se debe considerar que esta exportación debe tomar los elementos necesarios modelados hasta el momento para este apartado inicial de análisis. Pudiendo verificar que se pueden exportar también características de cargas, combinaciones de carga, aperturas, etc.

Figura 81*Asistente de exportación de CSIxRevit para Revit.*

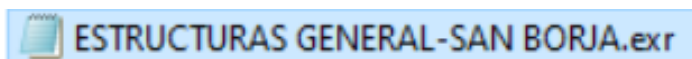
Nota. Elaboración propia.

4.5.1. Importación de modelo analítico a ETABS

Al generar el modelo analítico se obtendrá un archivo de extensión EXR, el cual contiene la información de la distribución de elementos analíticos.

Figura 82

Archivo de extensión EXR.

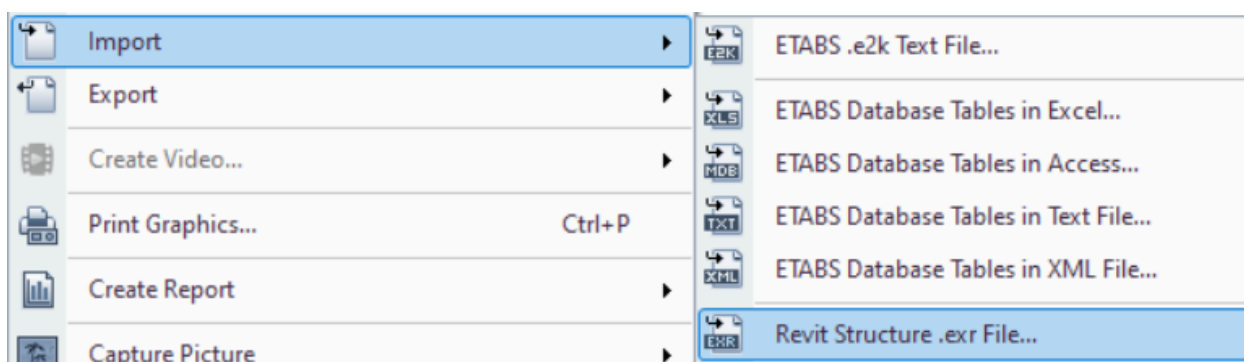


Nota. Elaboración propia.

Para evaluar el modelado dentro del software de ETABS se importará el archivo exr proveniente de Revit en un archivo nuevo en blanco.

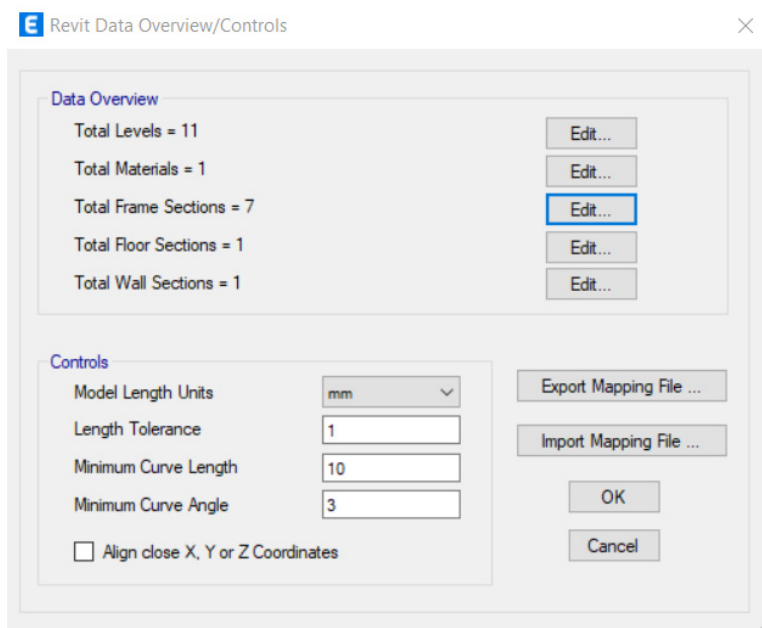
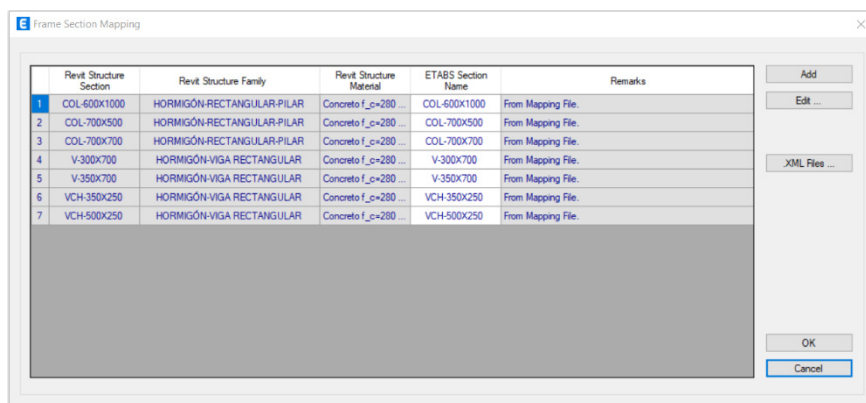
Figura 83

Importación desde ETABS

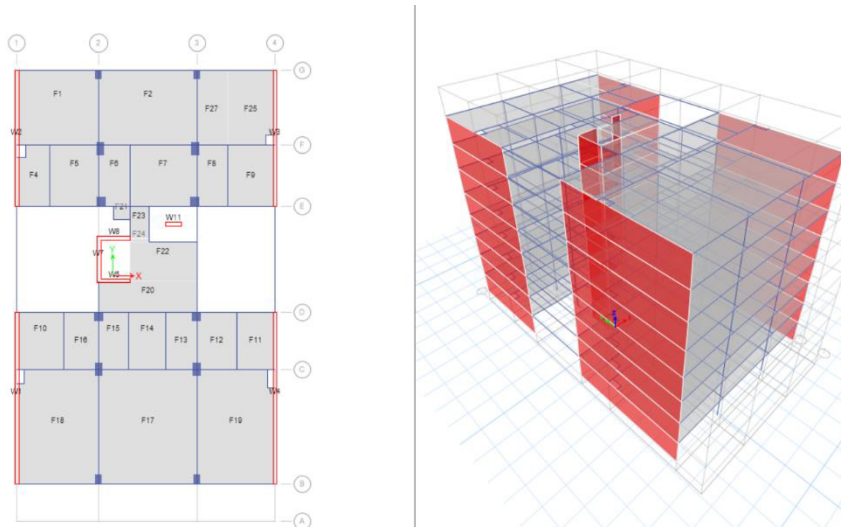


Nota. Elaboración propia.

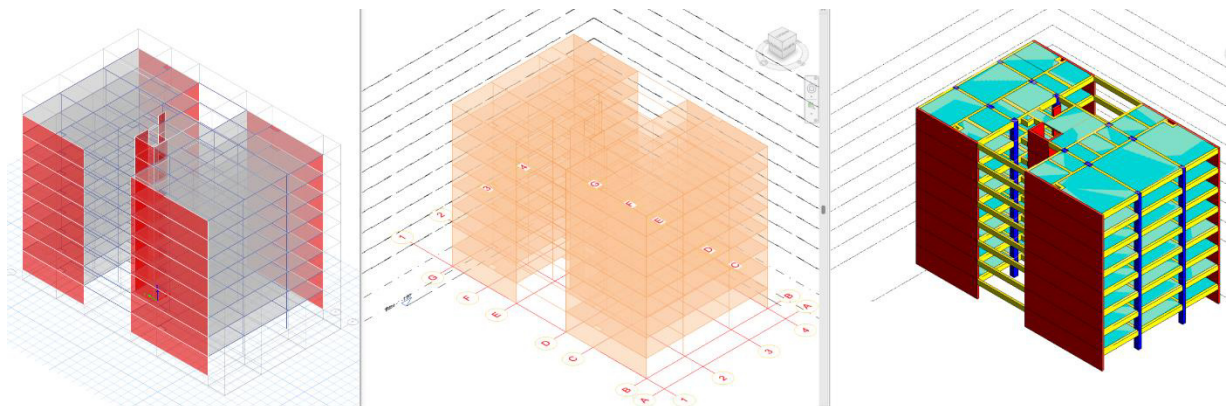
El asistente de importación nos brindará la información básica para compatibilizar el proyecto, donde se obtendrá que verificar las alturas coherentes de los niveles, las secciones de los elementos viga, columnas, losas y muros del modelado al igual como las características de los materiales importados.

Figura 84*Asistente de importación de información EXR**Nota.* Elaboración propia.**Figura 85***Mapeo de compatibilización de secciones Revit – Etabs**Nota.* Elaboración propia.

En el software de ETABS se deberá actualizar las referencias con el mismo nombre para mantener la uniformidad de secciones en el proyecto. Teniendo la importación del nivel típico generado en función del modelo del primer piso del proyecto Revit se visualizaría en el modelo de la siguiente forma.

Figura 86*Modelado importado en ETABS**Nota.* Elaboración propia.

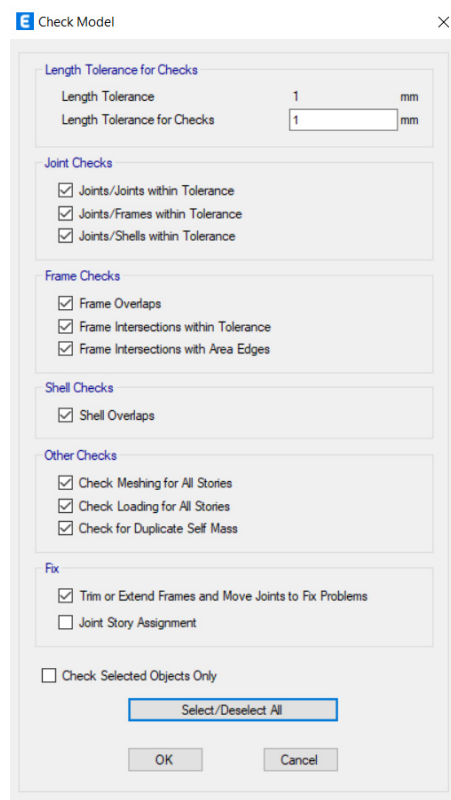
Replicando el nivel del proyecto típico tendría el siguiente resultado del proyecto reduciendo el trabajo de la estructuración inicial. Es importante decir que el modelado en Revit debe considerar la mayor consideración de que los elementos como vigas y muros estén considerados en el centro del eje ya que al replicar estos en el modelo pueden tener una variación en su excentricidad al ser replicada en otro nivel, que parece ser un defecto del software ETABS 21.0.

Figura 87*Comparativo de modelado de pisos típicos de la estructuración del proyecto**Nota.* Elaboración propia.

Con el fin de verificar el modelado en el software importado del proyecto, se realizará el siguiente chequeo del proyecto correspondiente con el software ETABS.

Figura 88

Chequeo de modelado del proyecto



Nota. Elaboración propia.

De ello se comprobará que el modelado no responde con ningún defecto de mal modelamiento como intersección o cercanía sin conexión. Cabe destacar que para que el modelado no tenga problemáticas se debe evitar contar con puntos geométricos analíticos cercanos entre los elementos que lo conforman, prefiriendo discretizar elementos paneles con rectángulos.

4.6. Definición de materiales en Etabs

El modelo importado tiene características básicas que pudieron haber sido definidas de igual manera dentro del mismo Revit del material. Sin embargo, se ha optado por definir los materiales dentro del mismo software de ETABS para este proyecto.

4.6.1. Definición de concreto

Se toma de referencia que el concreto utilizado en el proyecto tiene una resistencia de $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, por lo que las consideraciones de este concreto se describirán en el programa.

Figura 89*Propiedades del concreto 280kg/cm²*

Material Property Data

General Data

Material Name: Concreto f_{cc}=280 kg/cm²

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2400 kg/m³

Mass per Unit Volume: 2402.77 kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2509.98 kgf/mm²

Poisson's Ratio, U: 0.25

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.000055 1/C

Shear Modulus, G: 1003.99 kgf/mm²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

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

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

☒ Program Default (Based on Concrete Slab Design Code) ☐ User Specified

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.**Figura 90***Verificación de propiedades no lineales.*

Nonlinear Material Data

Material Name and Type

Material Name: Concreto f_c=280 kg/cm²

Material Type: Concrete, Isotropic

Miscellaneous Parameters

Hysteresis Type: Concrete

Modify/Show Hysteresis Parameters...

Drucker-Prager Parameters

Friction Angle: 0 deg

Dilatational Angle: 0 deg

Acceptance Criteria Strains

	Tension	Compression	
IO	0.01	-0.003	mm/mm
LS	0.02	-0.006	mm/mm
CP	0.05	-0.015	mm/mm

☒ Ignore Tension Acceptance Criteria

Stress Strain Curve Definition Options

☒ Parametric ☐ User Defined

Mander

Convert to User Defined

Parametric Strain Data

Strain at Unconfined Compressive Strength, f_c: 0.001839

Ultimate Unconfined Strain Capacity: 0.005

Final Compression Slope (Multiplier on E): -0.1

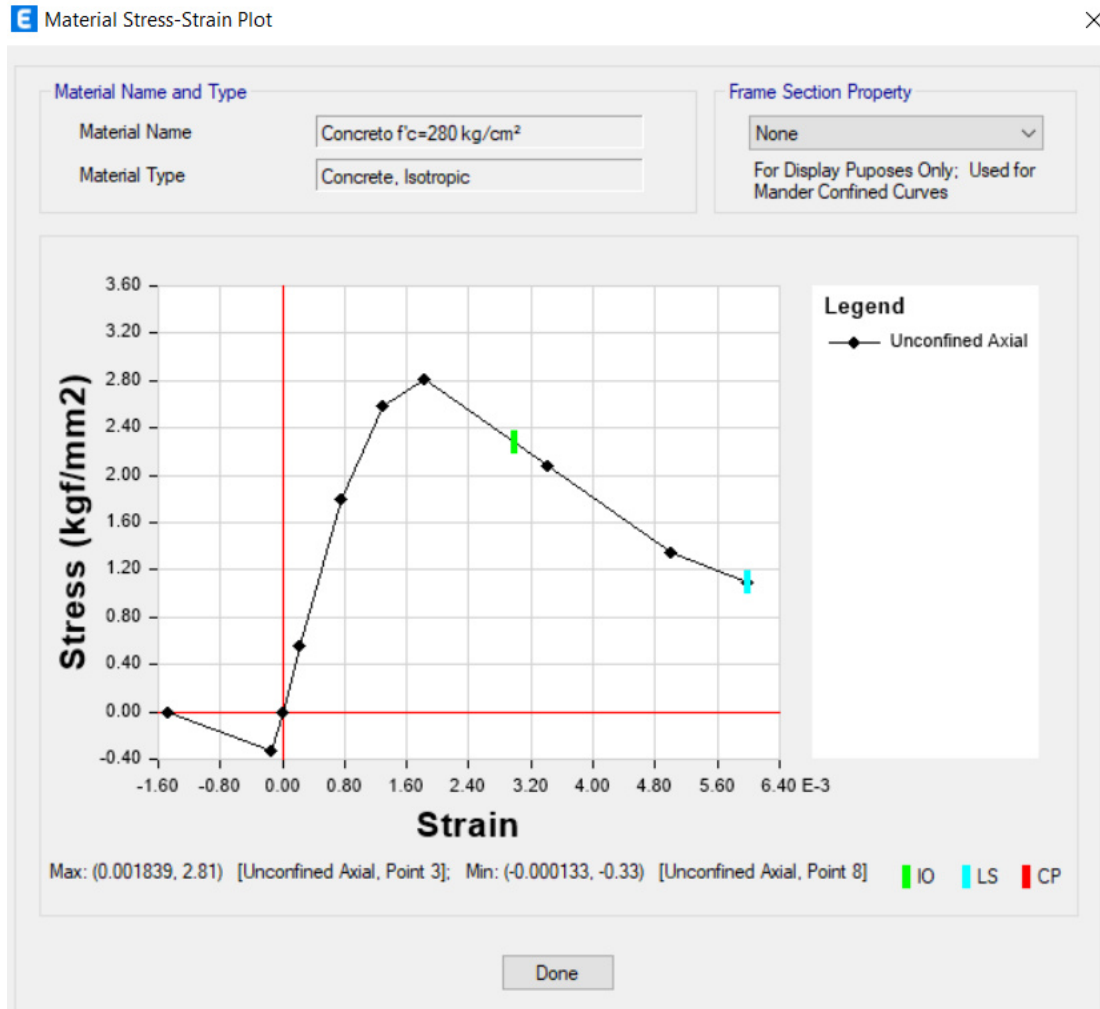
Show Stress-Strain Plot...

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.

Figura 91

Curva esfuerzo - deformación del concreto.



Nota. Elaboración propia.

4.6.2. Definición del acero de refuerzo

El material del acero del proyecto tiene la consideración de $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ siendo esta la indicación de fluencia del acero.

Figura 92*Propiedades del acero 4200kg/cm²*

Material Property Data

General Data

Material Name:

Material Type:

Directional Symmetry Type:

Material Display Color:

Material Notes:

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: kgf/m³

Mass per Unit Volume: kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: kgf/mm²

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1/C

Design Property Data

Advanced Material Property Data

Nota. Elaboración propia.

4.7. Definición de elementos en Etabs

Los elementos fueron inicialmente propuestos a través del software Revit y mediante la importación de CSIxRevit hace que el proyecto pueda importar sus características y nombres que estos tuvieron, por lo que se definirán según su categoría.

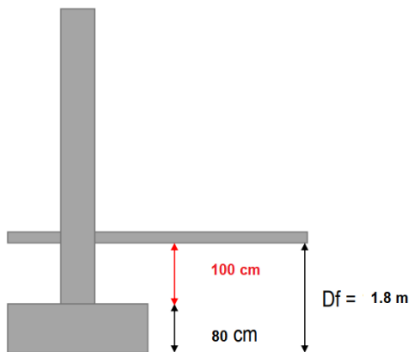
4.7.1. Desplante en edificación

La estructura tiene un desplante considerado en la base de la edificación donde en coordinación con la proyección de la obra de manera conservadora se ha referenciado a 1.8

metros y proyectando una zapata de peralte de 80 cm, por lo que se generará la extensión de elementos en dicha posición.

Figura 93

Desplante en edificación proyectado.

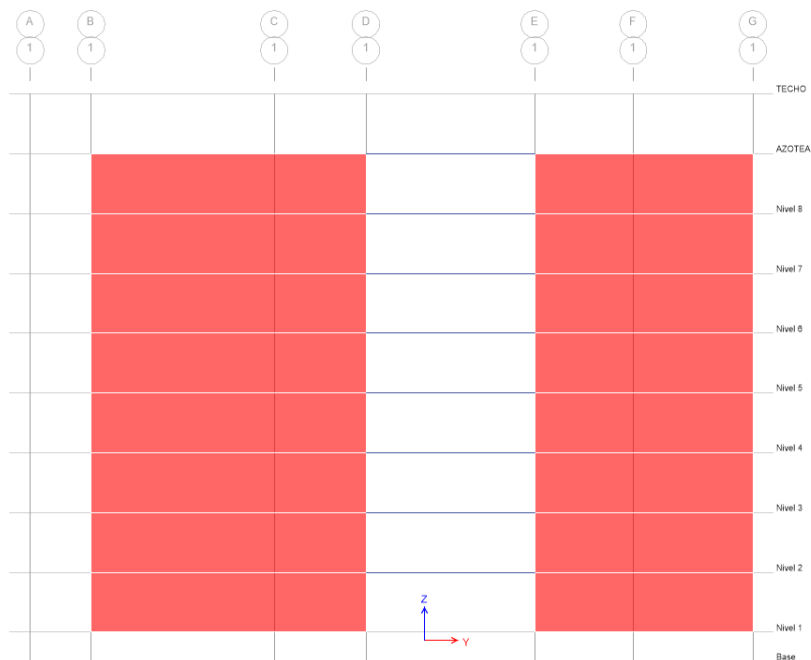


Nota. Elaboración propia.

Se deberá actualizar el alineamiento en las columnas y placas para poder dar la representación correcta en el proyecto a través del software Etabs.

Figura 94

Actualización de posicionamiento de niveles en elevación.



Nota. Elaboración propia.

4.7.2. Definición de placas

Se referencia que, para los muros del proyecto, tomando en cuenta el grosor del muro definido, se tiene la representación del concreto en el programa. Cabe recalcar que en el Revit inicialmente se llamaba “MURO-30”.

Figura 95

Propiedades de muro de 300 mm de espesor.

Wall Property Data

General Data

Property Name	MURO-30
Property Type	Specified
Wall Material	Concreto f_c=280 kg_cm²
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thin
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	Change...
Property Notes	Modify/Show...

Property Data

Thickness	300 mm
☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall	

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.

4.7.3. Definición de sección de Losas

Se referencia, para las losas del proyecto, la configuración de aligerado y macizo así mismo con los peraltes especificados de 250 mm. Tomando en cuenta la sección de la losa definido en el detalle, se tiene la representación del concreto en el programa.

Figura 96

Propiedades de Aligerado 250 mm

Slab Property Data

General Data

Property Name: Aligerado 250 mm

Slab Material: Concreto $f_c=280 \text{ kg_cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: [Dark Gray Swatch] Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Type: Ribbed

Overall Depth: 250 mm

Slab Thickness: 50 mm

Stem Width at Top: 100 mm

Stem Width at Bottom: 100 mm

Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction): 400 mm

Rib Direction is Parallel to: Local 1 Axis

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.

Se deberá definir también la sección aligerada repartida en 2 direcciones por el planteamiento inicial del proyecto en su estructuración.

Figura 97*Propiedades de losa aligerada en 2 direcciones de 250 mm*

Slab Property Data

General Data

Property Name: Aligerado Bidireccional 250 mm

Slab Material: Concreto $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Type: Waffle

Overall Depth: 250 mm

Slab Thickness: 50 mm

Stem Width at Top: 100 mm

Stem Width at Bottom: 100 mm

Spacing of Ribs that are Parallel to Slab 1-Axis: 400 mm

Spacing of Ribs that are Parallel to Slab 2-Axis: 400 mm

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.

De igual manera se hará con las secciones como la losa Maciza deberá ser definida con las características pertinentes.

Figura 98

Propiedades de losa maciza 250 mm

Slab Property Data

General Data

Property Name	Losa Maciza 250 mm
Slab Material	Concreto $f_c=280 \text{ kg_cm}^2$
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thin
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	 Change...
Property Notes	Modify/Show...

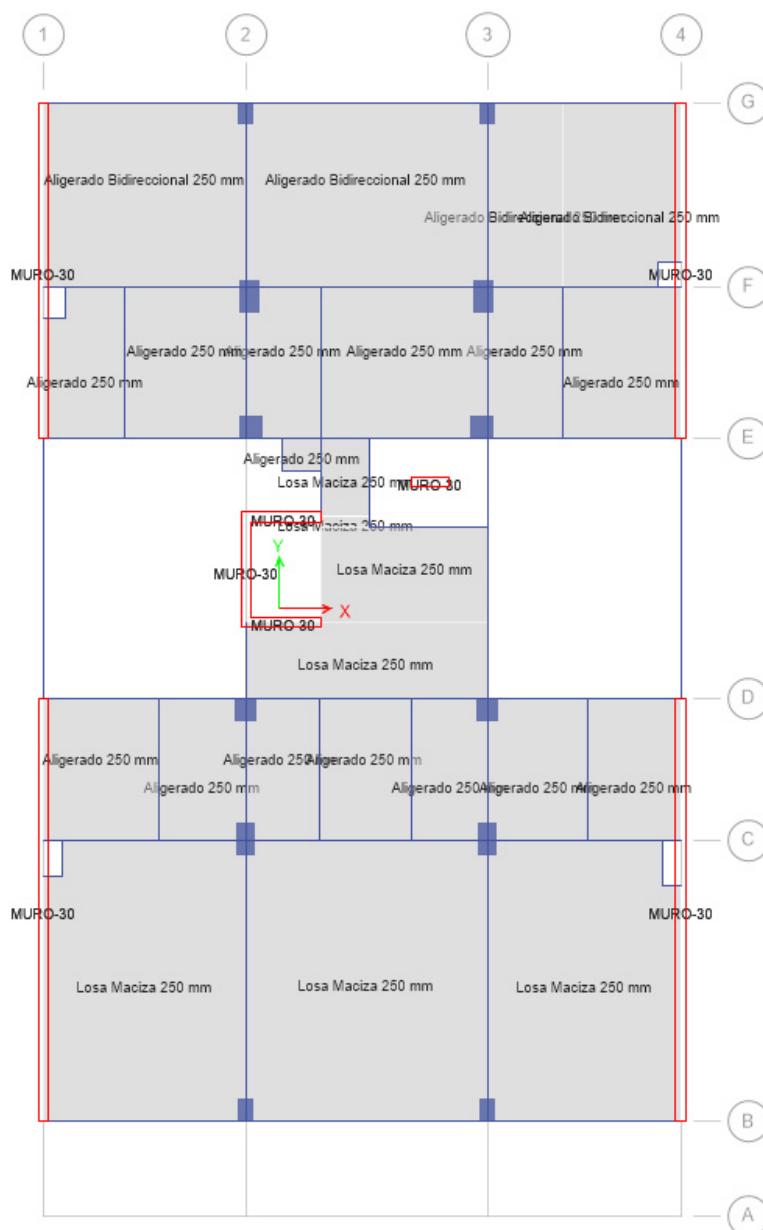
Property Data

Type	Slab
Thickness	250 mm

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.

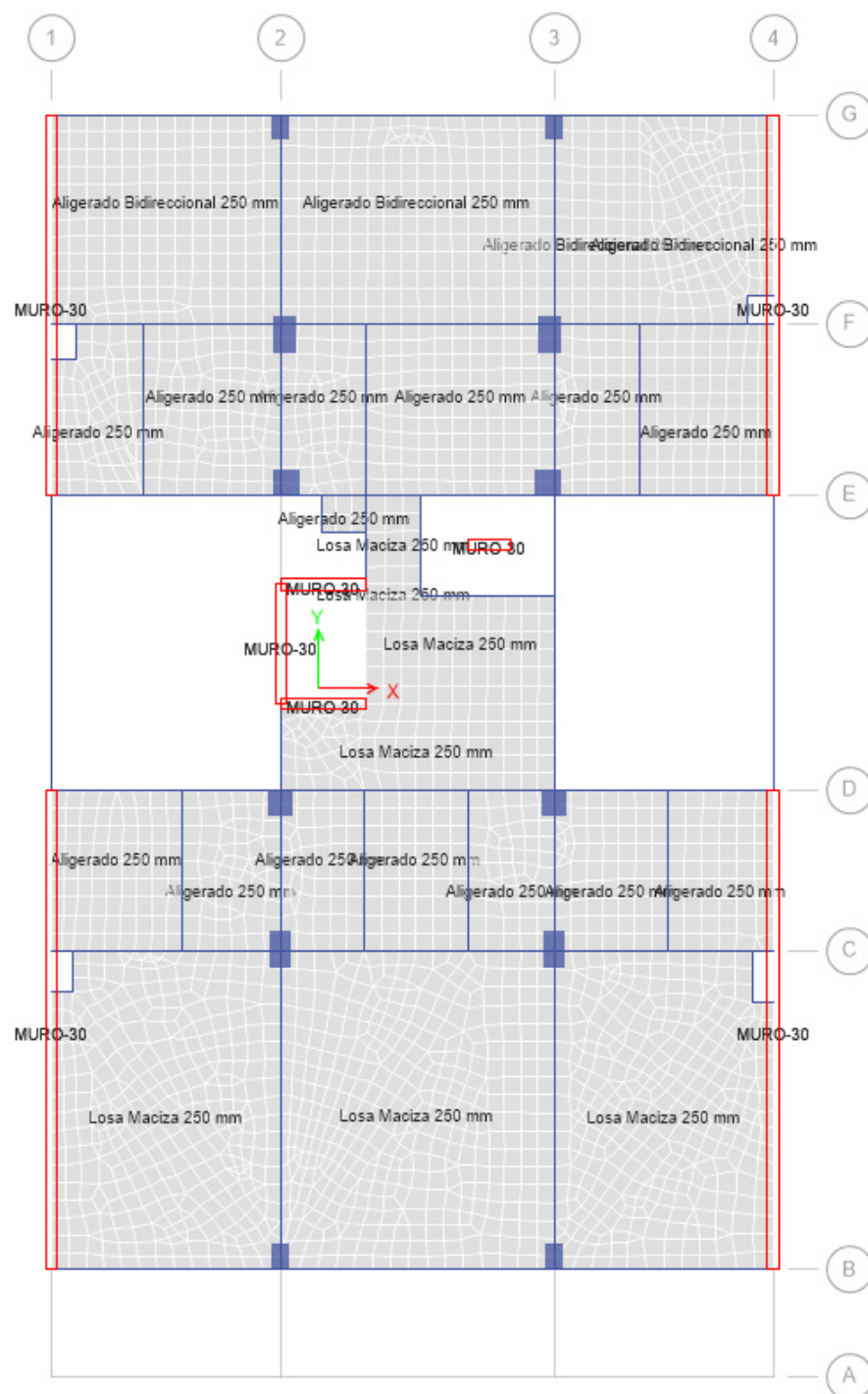
Esta distribución será representada a través de la planta del proyecto configurada.

Figura 99*Estructuración etiquetada con ejes locales en Etabs**Nota.* Elaboración propia.

Debido a la necesidad de que el proyecto pueda verificarse su mejor precisión debido a las losas configuradas como elementos shell en el proyecto, se tiene la necesidad de considerarlas con una mayor precisión y separación mitigando las deformaciones del enmallado generado.

Figura 100

Vista inicial de enmallado (Mesh) de losas del modelado en ETABS.



Nota. Elaboración propia.

Esta separación será generada con el recorte analítico de las losas posicionadas para afinar la malla con la menor cantidad de deformaciones posibles.

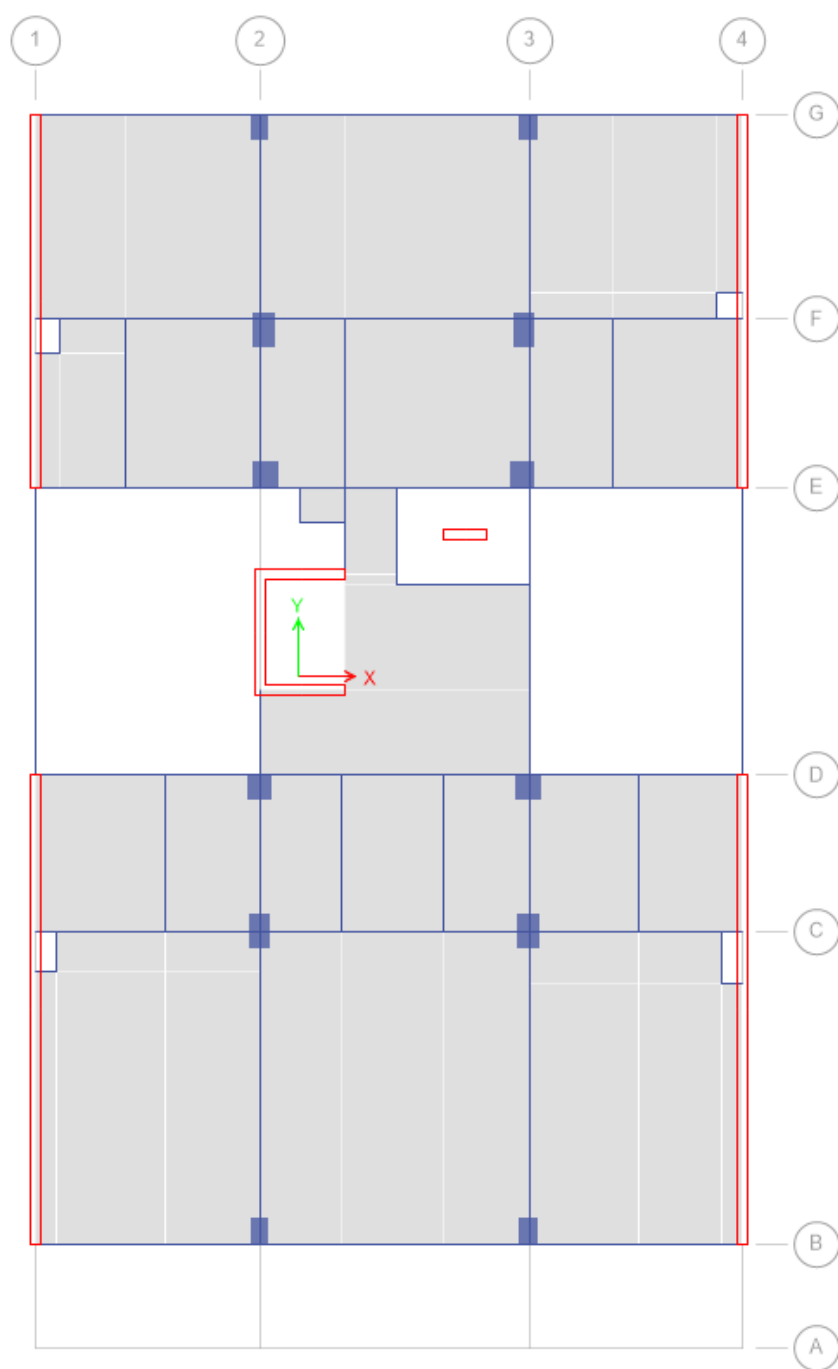
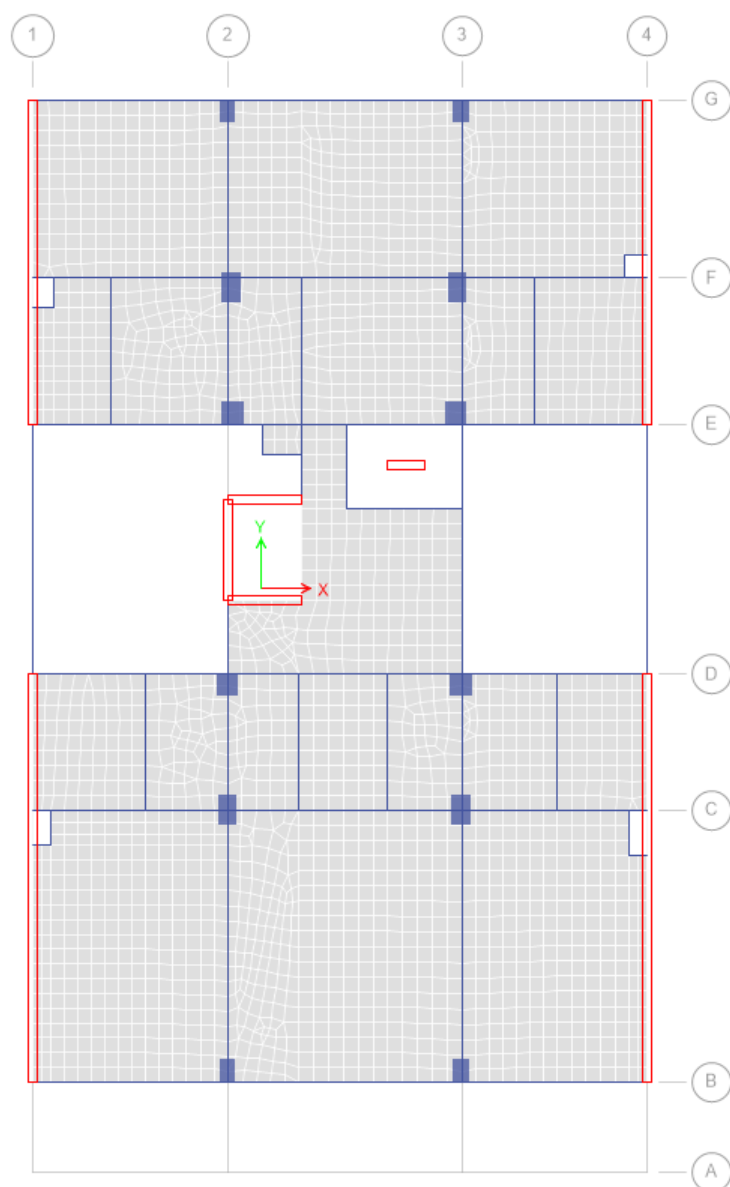
Figura 101*División de losas analíticas para enmallado afinado**Nota.* Elaboración propia.

Figura 102

Vista inicial de enmallado (Mesh) de losas del modelado en ETABS



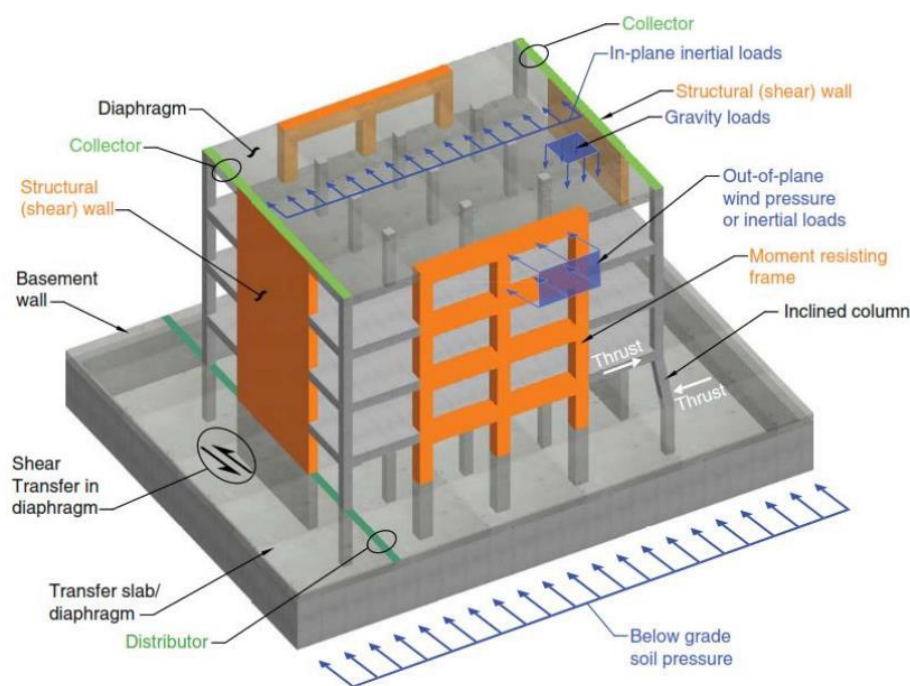
Nota. Elaboración propia.

4.7.4. Diafragma rígido

Se acondiciona el modelado al uso del diafragma rígido que está compuesto de varios elementos como la losa del diafragma a tracción y compresión de las cuerdas, conexiones y colectores de elementos verticales.

Figura 103

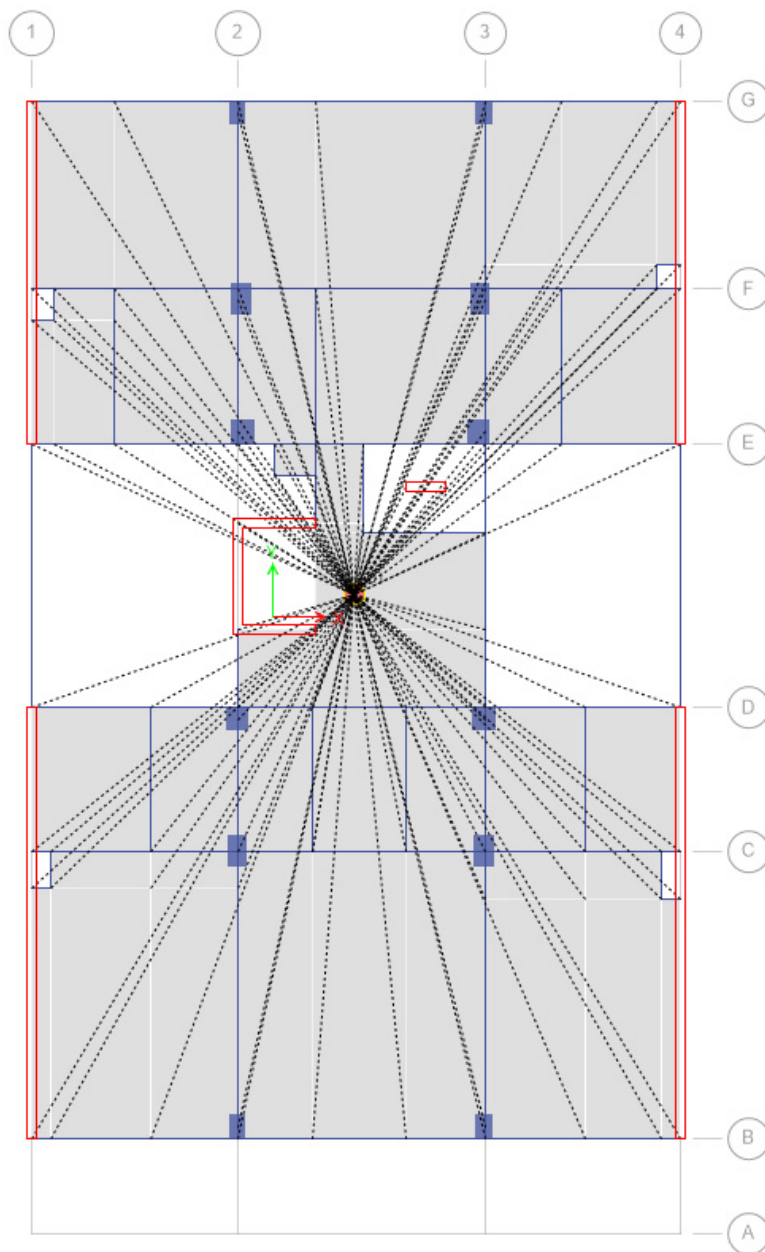
Acciones típicas en diafragmas



Acciones típicas en diafragmas
(ACI 318-19)

Nota. Adaptado de “Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural” (p. 187) por American Concrete Institute, 2019.

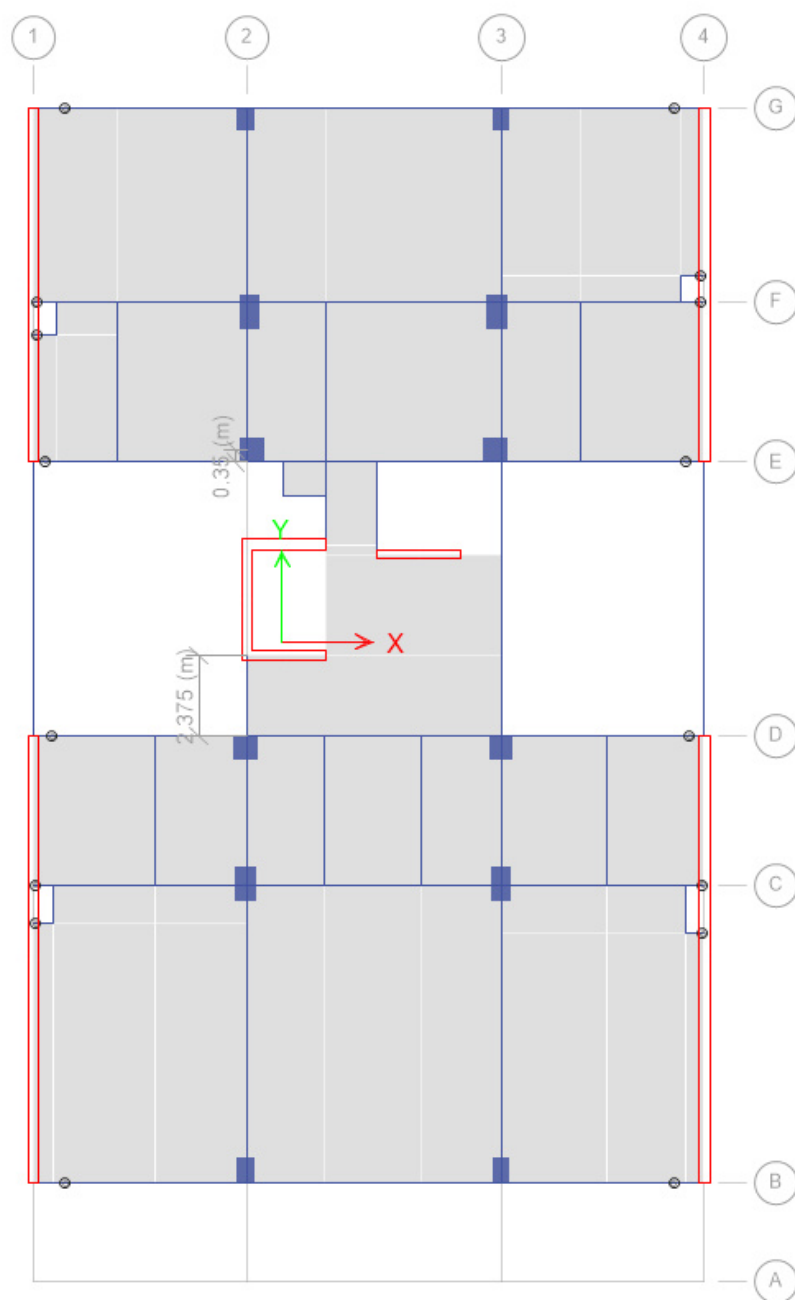
Por lo tanto, se acondicionará la restricción de puntos en el modelo para poder transmitir las cargas laterales hacia los elementos verticales, apoyar las cargas de gravedad y dar fuerza en conexión entre el diafragma y los elementos verticales.

Figura 104*Diafragma rígido típico en edificación.**Nota.* Elaboración propia.**4.7.5. Consideración por corta longitud de desarrollo**

Se considera para el proyecto que, en el extremo de los elementos donde se puedan encontrar espesores de elementos (muros o columnas), la capacidad de la flexión es pequeña, por ende, se puede comportar como una rotula ya que no opone el giro considerablemente.

Figura 105.

Rotulas proyectadas en extremos de vigas en muros.



Nota. Elaboración propia.

4.8. Definición de cargas en Etabs

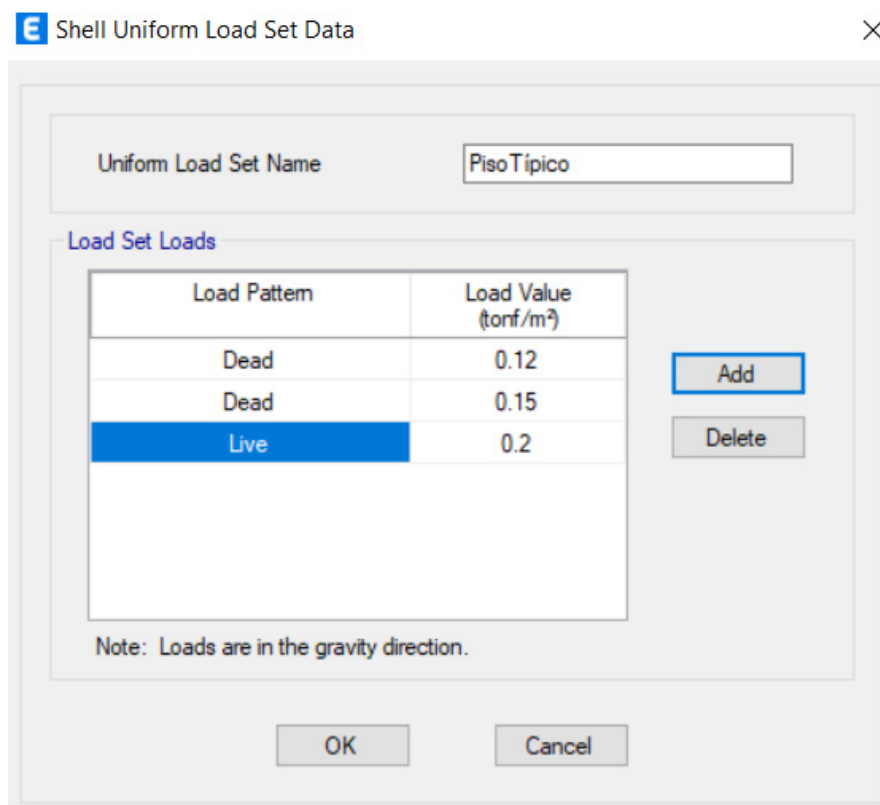
La delimitación en el uso de cargas está definida en el RNE publicado en su normativa E.020 donde nos da una categorización de las cargas según su proyección de uso en la edificación.

4.8.1. Cargas aplicadas en pisos

En este caso se tiene un uso de oficinas proyectado en la edificación, por lo que se proyectará las cargas referentes en los pisos típicos que contemplan el acabado, tabiquería y la sobrecarga normativa, especificando los valores de 120 kgf/m², 150 kgf/m² y 200 kgf/m².

Figura 106

Cargas de acabado, tabiquería y sobrecarga en software Etabs



Shell Uniform Load Set Data

Uniform Load Set Name:

Load Set Loads

Load Pattern	Load Value (tonf/m ²)
Dead	0.12
Dead	0.15
Live	0.2

Add

Delete

Note: Loads are in the gravity direction.

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.

A su vez se añadiría las cargas en el techo para el análisis respectivo en el último piso.

4.8.2. Cargas aplicadas por ascensor

Para la edificación se debe considerar un peso referente a la carga aproximada del ascensor de capacidad para 8 personas.

Peso de la cabina = 770 kg

Carga útil = 630 kg

Chasis=160 kg

Peso del contrapeso =1100 kg (Peso del Contrapeso= Peso de cabina+ 0.5x Carga Útil)

Motor=480 kg

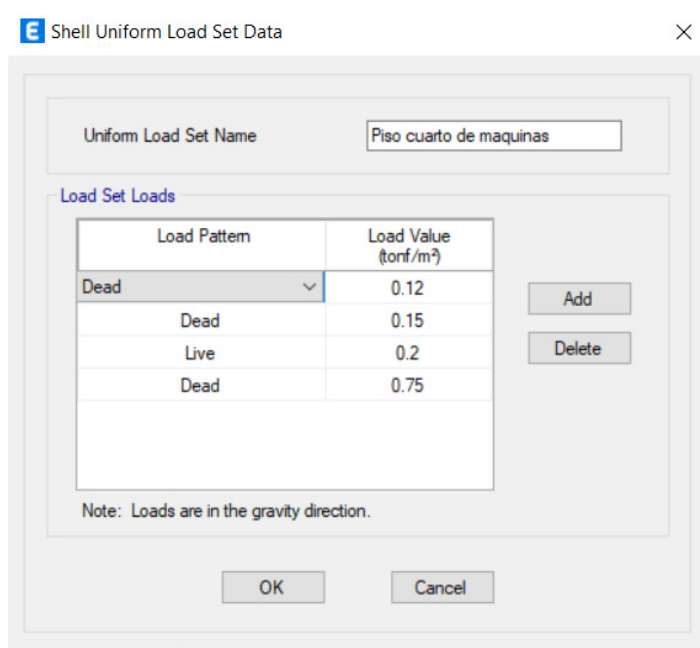
Carga estática=3140 kg

Carga dinámica= Carga estática x 1.4 = 4396 kg

Esta carga será repartida en el área del cuarto de máquinas que cuenta aproximadamente con 6 m², por lo que se redondearía a una carga de 750 kgf/m².

Figura 107

Cargas de piso en cuarto de máquinas en software Etabs



Shell Uniform Load Set Data

Uniform Load Set Name:

Load Set Loads

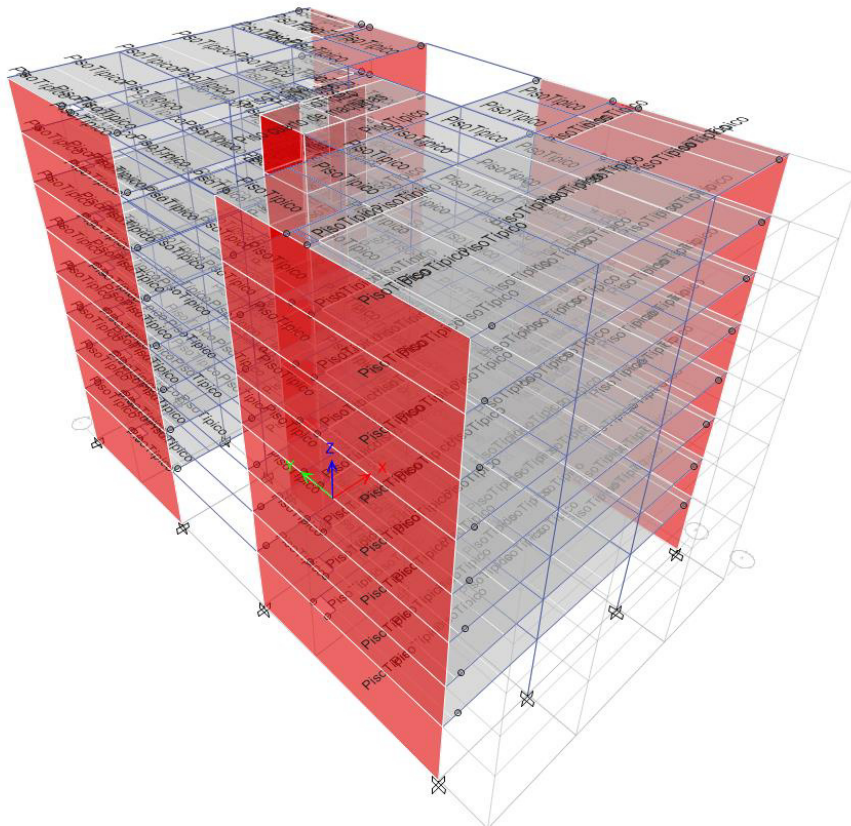
Load Pattern	Load Value (tonf/m ²)
Dead	0.12
Dead	0.15
Live	0.2
Dead	0.75

Note: Loads are in the gravity direction.

Buttons: Add, Delete, OK, Cancel

Nota. Elaboración propia.

Por lo tanto, el modelo estaría cargado de la siguiente manera:

Figura 108*Edificación con cargas Shell asignadas en pisos*

Nota. Elaboración propia.

4.8.3. Cargas aplicadas por muros

Las cargas aplicadas representan una proyección de tabiquería húmeda que tendrá la función de división de ambientes, por lo que se establecerá el metrado de cargas correspondiente.

- Muro alto: $\gamma_m = 1800 \text{ kgf/m}^3$, $e = 15 \text{ cm}$, $h = 2.20 \text{ m}$
 - $\text{Peso/m} = \gamma_m * e * h = 1800 * 0.15 * 2.1 = 567 \text{ kgf/m}$
- Muro bajo: $g_m = 1800 \text{ kgf/m}^3$, $e = 15 \text{ cm}$, $h = 1.20 \text{ m}$
 - $\text{Peso/m} = g_m * e * h = 1800 * 0.15 * 1.2 = 309.273 \text{ kgf/m}$

Figura 109*Definición de cargas por muros altos*

Frame Load Assignment - Distributed

Load Pattern Name: Dead

Load Type and Direction:
☒ Forces ☐ Moments
 Direction of Load Application: Gravity

Options:
☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads

	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0.25	0.75	1
Load	0	0	0	0

tonf/m

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load
 Load: 0.567 tonf/m

OK Close Apply

Nota. Elaboración propia.**Figura 110***Definición de cargas por muros bajos.*

Frame Load Assignment - Distributed

Load Pattern Name: Dead

Load Type and Direction:
☒ Forces ☐ Moments
 Direction of Load Application: Gravity

Options:
☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads

	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0.25	0.75	1
Load	0	0	0	0

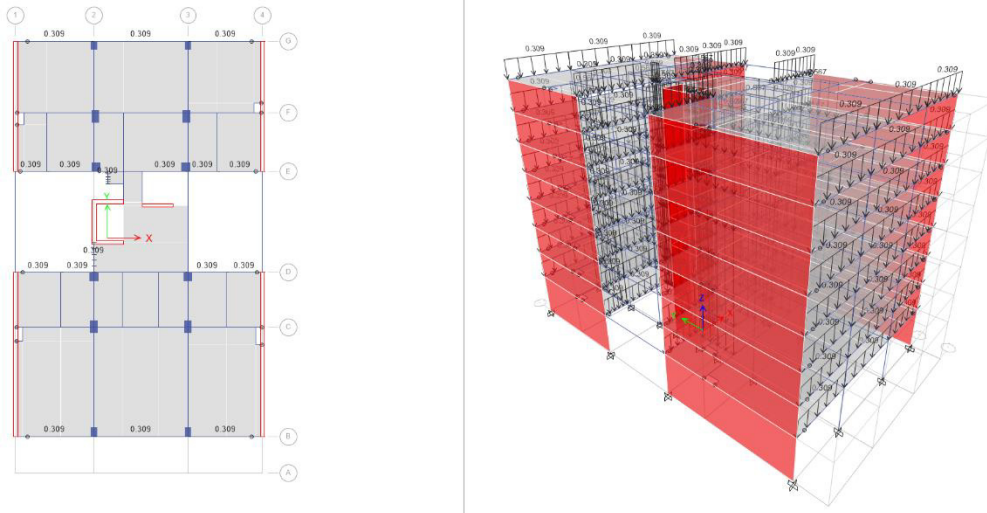
tonf/m

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load
 Load: 0.309 tonf/m

OK Close Apply

Nota. Elaboración propia.

Figura 111*Cargas definidas por muros**Nota.* Elaboración propia.**4.8.4. Definición de combinaciones de cargas**

En el diseño de estructuras de concreto armado, los elementos se deben proporcionar para una resistencia adecuada, de acuerdo a las disposiciones de este reglamento, utilizando factores de carga y factores de reducción de resistencia ϕ . Se definirán las combinaciones de carga.

- $U = 1.4D$
- $U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$
- $U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.5W)$
- $U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$
- $U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$
- $U = 0.9D + 1.0W$
- $U = 0.9D + 1.0E$

Donde:

- D = carga muerta

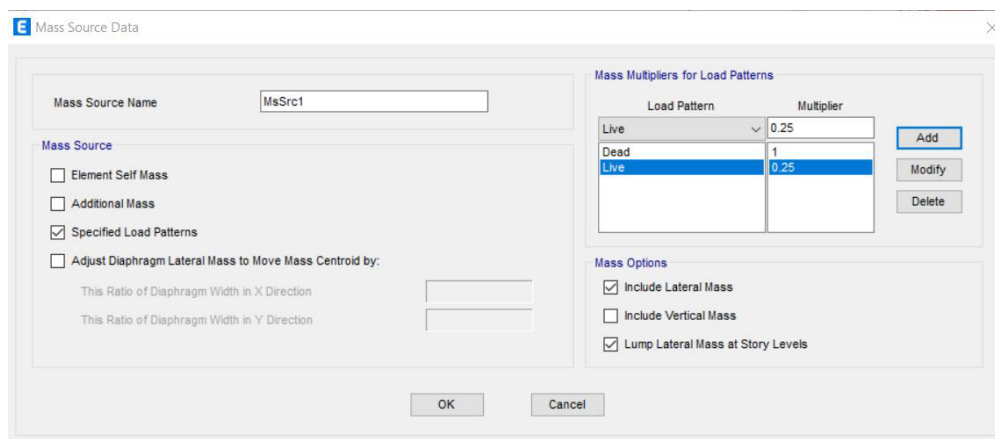
- L = carga viva
- Lr = carga en el techo
- S = carga de nieve
- R = carga de lluvia
- W = carga de viento
- E = carga por sismo.

4.8.5. Definición masa participativa

La masa participativa del proyecto puede ser referenciado con la carga propia de la estructura y las masas adicionales, sin embargo, para el análisis se contará con un 25% de la masa de la carga viva y el 100% de la carga muerta, referenciando a la norma E.030 (2018) en su artículo 26, que la sostiene siendo este una edificación de categoría C por su carácter de edificación común.

Figura 112

Asignación de masa participativa en ETABS.



Nota. Elaboración propia.

4.9. Análisis dinámico

4.9.1. Análisis modal

El análisis modal representa los modos de vibración y respuestas máximas por los espectros de respuesta. La estructura por su distribución de pisos puede tener una gran cantidad de modos de vibración en función de sus grados de libertad que presente, se entiende que, al tener elementos considerados como Shell, estos pueden tener mayores grados de libertad al ser desarrollados como elementos finitos. Conservadoramente, se usará una cantidad de modos representativos en función de los niveles, siendo estos 3 veces la cantidad de niveles.

Tabla 6

Modos de vibración en la dirección X e Y de propuesta

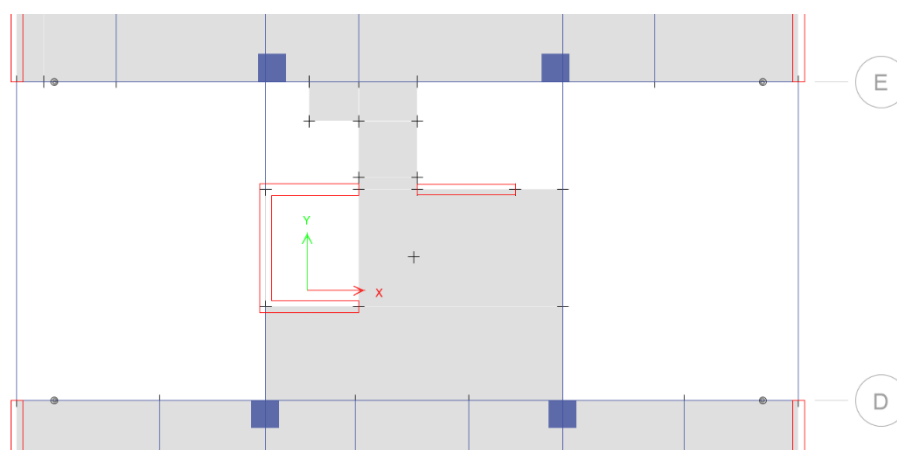
Caso	Modo	Periodo seg	UX	UY	SumUX	SumUY	SumUZ	RZ
Modal	1	0.9810	0.7936	0.0000	0.7936	0.0000	0.0000	0.0001
Modal	2	0.3250	0.0001	0.0024	0.7937	0.0024	0.0000	0.7358
Modal	3	0.2820	0.1227	0.0117	0.9164	0.0141	0.0000	0.0000
Modal	4	0.2720	0.0016	0.7213	0.9180	0.7355	0.0000	0.0025
Modal	5	0.1360	0.0478	0.0000	0.9658	0.7355	0.0000	0.0000
Modal	6	0.0810	0.0120	0.0002	0.9778	0.7356	0.0000	0.0791
Modal	7	0.0800	0.0086	0.0004	0.9865	0.7360	0.0000	0.1215
Modal	8	0.0660	0.0000	0.2027	0.9865	0.9386	0.0000	0.0005

Nota. Elaboración propia.

De la estructuración planteada se verifica que el periodo tiene un valor aproximado a 0.981 segundos en el primer periodo en dirección X, superior al periodo referente a la décima parte de los niveles del edificio, el cual sirve como indicador de planteamiento de definición de rigidez o flexibilidad del edificio. Se puede inferir que el edificio tiende a ser flexible ante los modos de vibración, es por ello que aprovechando la disponibilidad de recursos en la proyección de muros de concreto armado de la **Figura 64**, se acondicionaría la proyección de muros de concreto armado alrededor de la escalera de evacuación, entre el eje E y el D.

Figura 113.

Proyección de muros de concreto armado alrededor de la escalera de evacuación.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 7

Modos de vibración en la dirección X e Y de propuesta actualizada

Caso	Modo	Periodo seg	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ
Modal	1	0.8950	0.8074	0.0000	0.8074	0.0000	0.0003
Modal	2	0.3290	0.0006	0.0031	0.8079	0.0031	0.7426
Modal	3	0.2780	0.0001	0.7398	0.8081	0.7430	0.0030
Modal	4	0.2610	0.1225	0.0006	0.9306	0.7435	0.0009
Modal	5	0.1300	0.0437	0.0000	0.9743	0.7435	0.0000
Modal	6	0.0840	0.0000	0.0006	0.9743	0.7441	0.1951
Modal	7	0.0800	0.0166	0.0000	0.9909	0.7442	0.0009
Modal	8	0.0700	0.0000	0.1985	0.9909	0.9426	0.0006

Nota. Elaboración propia.

Estos modos representan la participación de masas en las direcciones principales en X, Y y rotación en Z, verificando que mínimamente los modos que participen tengan el 90% del acumulado de su masa. A su vez se verifica que no hay irregularidad considerable en la estructuración propuesta al verificar que no hay superposición rotacional los modos de vibración. De estos resultados se interpreta que el principal modo de vibración en X representa el 80.74%; en Y, el 73.98% y en la dirección torsional RZ, el 74.26%. Se verifica que el periodo mayor obtenido es de 0.895 en el primer periodo en dirección X, inferior al periodo referente

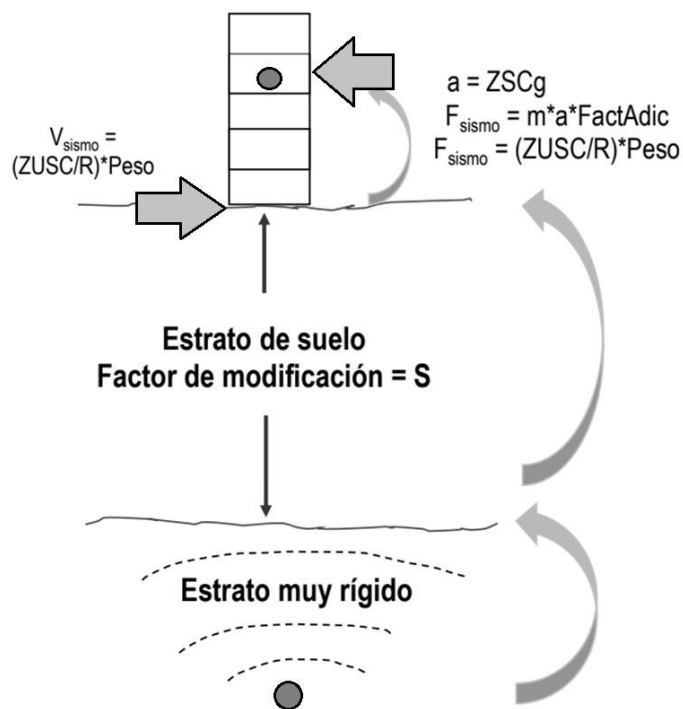
a la décima parte de los niveles del edificio, el cual sirve como indicador de planteamiento de definición de rigidez del edificio.

4.9.2. *Análisis estático o de fuerzas equivalentes*

El análisis estático de la edificación ayuda a interpretar los resultados en la estructura que en uno pseudo-dinámico y que normativamente, este por lo menos represente una relación con la cortante dinámica, a pesar de que este no sea específico para el diseño, donde bajos ciertos criterios especificados en la norma E.030, pueda validarse el uso.

Figura 114

Bosquejo de interrelación de fuerzas por sismos.



Nota. Elaboración propia.

4.9.2.1. Fuerza Cortante en la base. La fuerza cortante total en la base de la estructura refiere a la expresión:

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

Donde dichos valores representarían la zonificación, uso de edificación, amplificación sísmica, factores de suelo y reducciones.

Figura 115

Zonificación sísmica en Perú. Extraído de normativa E.030



Nota. Elaboración propia.

Al considerar que nuestro terreno se encuentra en una zona 4 con tipo suelo S1, se puede inferir en base a las tablas de la norma E.30.

Tabla 8

Factores de zona "Z"

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

Nota. Adaptado para la interpretación del factor de la aceleración máxima horizontal en un suelo rígido como una fracción de la aceleración de la gravedad (p. 8), por Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento, 2018, Norma Técnica De Edificación - E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 9*Factor de suelo "S"*

Zona \ Suelo	S₀	S₁	S₂	S₃
Z ₄	0.8	1	1.05	1.1
Z ₃	0.8	1	1.15	1.2
Z ₂	0.8	1	1.2	1.4
Z ₁	0.8	1	1.6	2

Nota. Adaptado de parámetros de sitio (p. 7), por Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento, 2018, Norma Técnica De Edificación - E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 10*Periodos de "TP" y "TL"*

Periodos de "TP" y "TL"				
Zona \ Suelo	S₀	S₁	S₂	S₃
TP (s)	0.3	0.4	0.6	1
TL (s)	3	2.5	2	1.6

Nota. Adaptado de parámetros de sitio (p. 7), por Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento, 2018, Norma Técnica De Edificación - E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 11*Categoría de las edificaciones y factor de Uso*

Categoría	Factor U
A Edificaciones Esenciales	1.5 a más (Depende de uso de aislador sísmico)
B Edificaciones Importantes	1.5
C Edificaciones Comunes	1.3
D Edificaciones Temporales	1

Nota. Adaptado de parámetros de sitio (p. 6), por Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento, 2018, Norma Técnica De Edificación - E.030 Diseño Sismorresistente.

Obteniendo que la zonificación tiene un valor igual a 0.45; el factor de suelo, 1; el uso de la edificación común, 1 y un periodo T_p y T_L de valor 0.4 y 2.5. Para ello se deberá utilizar los periodos respectivos en X e Y, 0.895 y 0.278 respectivamente. Asumiendo inicialmente el valor de $R=1$

- $0.2T_p < T < T_p \quad C = 2.5$
- $T_p < T < T_L \quad C = 2.5\left(\frac{T_p}{T}\right)$
- $T < T_L \quad C = 2.5(T_p * T_L / T^2)$

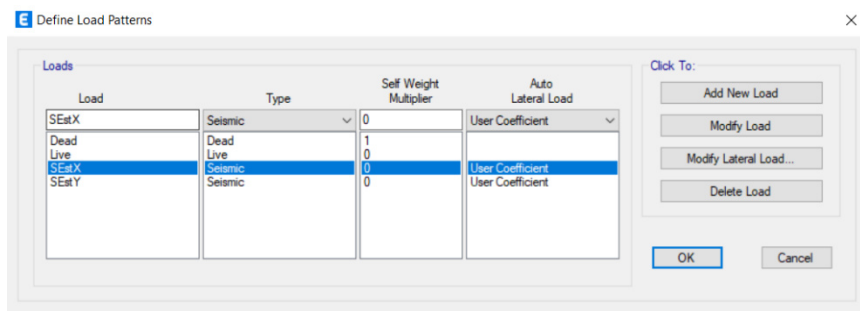
En la dirección x, $\frac{Z*U*C*S}{R} = 0.502793$ se obtiene el valor para el coeficiente de la cortante basal. En la dirección y, $\frac{Z*U*C*S}{R} = 1.125$ se obtiene el valor para el coeficiente de la cortante basal, para la edificación, K es un exponente relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura, definidos por la dirección X o Y, el cual considera:

- Sí T es menor que 0.5 segundos, entonces $K = 1.0$
- Sí T es mayor que 0.5 segundos, entonces $K = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0$

Entonces $K_x=1.1975$ y $K_y=1.00$ serían los exponentes requeridos. Estos valores serán ingresados al ETABS mediante la definición de cargas sísmicas estáticas, por lo cual se deberá definir un coeficiente de reducción respectivo al sistema estructural.

Figura 116

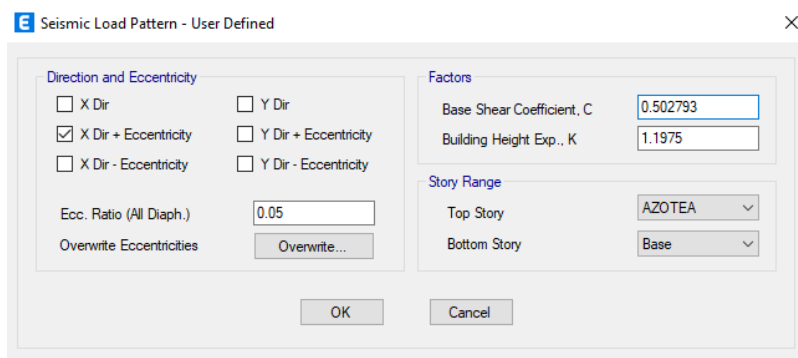
Definición de patrones de carga sísmica estática.



Nota. Elaboración propia.

Figura 117

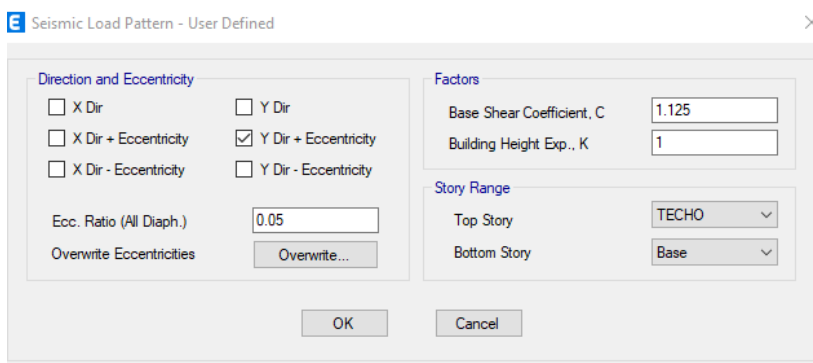
Modificación de carga lateral sísmica estática en X.



Nota. Elaboración propia.

Figura 118

Modificación de carga lateral sísmica estática en X.



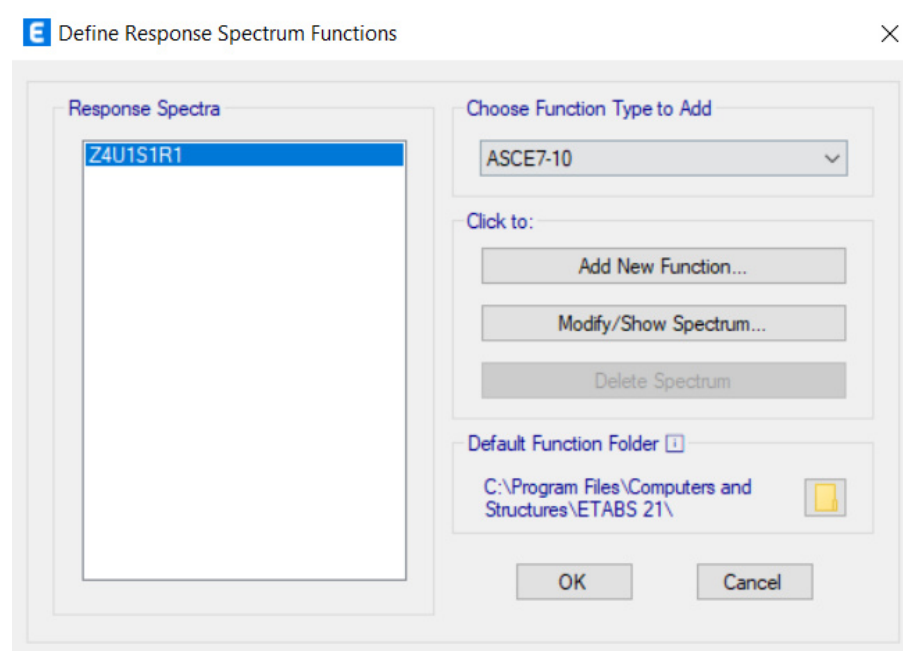
Nota. Elaboración propia.

4.9.3. Análisis pseudo-dinámico

Este análisis será configurado para poder expresar y a su vez se debe delimitar el espectro sísmico utilizado según la normativa E.030 (en este caso se usará el 2014) donde lo definiremos según las características previas expuestas.

Figura 119

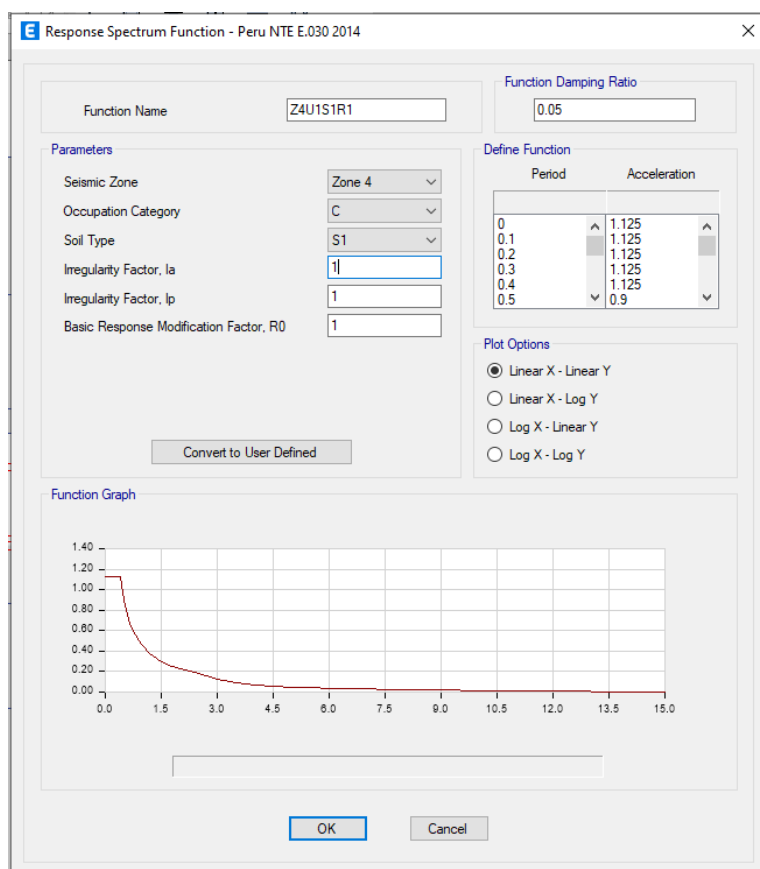
Espectro de respuesta según normativa E.030.



Nota. Elaboración propia.

Figura 120

Espectro de respuesta según normativa E.030 de la edificación.



Nota. Elaboración propia.

Los casos de carga que serán analizados tienen que expresar dicho espectro de respuesta por lo que se indica que este movimiento debe definirse con la dirección de la aceleración pertinente considerando los casos modales (Nótese que para fines más realistas se considera un 5% de excentricidad de diafragma para mejor consideración de resultados).

Figura 121

Definición de caso sísmico dinámico respecto al espectro de respuesta en X.

E Load Case Data ×

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Response Spectrum Notes...

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Z4U1S1R1	9806.65

Add
Delete
☐ Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal ▼

Modal Combination Method: CQC ▼

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: Absolute ▼

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05 Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms Modify/Show...

OK
Cancel

Nota. Elaboración propia.

Figura 122

Definición de caso sísmico dinámico respecto al espectro de respuesta en Y.

Load Case Data

General

Load Case Name: SDy

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	Z4U1S1R1	9806.65

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type: Absolute

Absolute Directional Combination Scale Factor: 1

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

OK Cancel

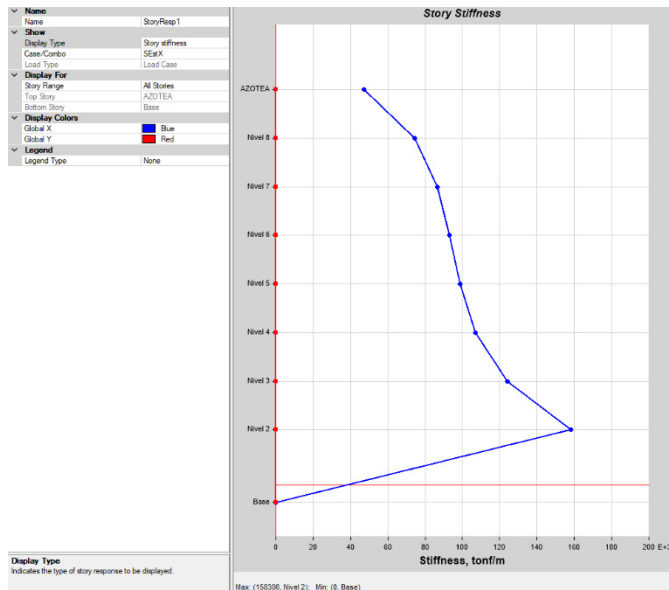
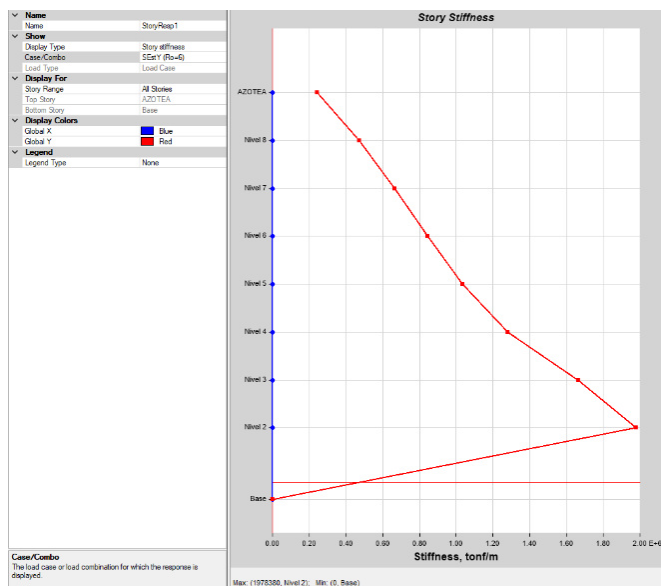
Nota. Elaboración propia.

4.9.4. Irregularidad estructural en edificación

Las irregularidades de una estructura deben ser verificadas para poder calificar la edificación como regular o irregular para establecer un procedimiento apropiado de análisis, hallando el coeficiente de reducción (R) correctamente.

4.9.4.1. Irregularidad en Altura. El factor determinante que considera la norma hace referencia al cambio de un entrepiso en la rigidez, la masa, la discontinuidad de elementos y las dimensiones en planta.

a. Irregularidad de rigidez. Ocurre cuando un entrepiso es significativamente menos rígido frente a fuerzas laterales que el piso superior. Se considera que existe esta irregularidad cuando la rigidez lateral es menor al 70% del piso superior o al 80% del promedio de los tres pisos superiores

Figura 123*Rigidez de nivel estático en dirección X**Nota.* Elaboración propia.**Figura 124***Rigidez de nivel estático en dirección Y**Nota.* Elaboración propia.

El tipo de carga estática se utiliza para realizar parte de las verificaciones porque obtiene de un propio estado de carga y no específicamente de varios modos de vibración. De este gráfico se verifica la irregularidad de rigidez del nivel, evaluando su relación $K_i/(K_{(i+1)}) <$

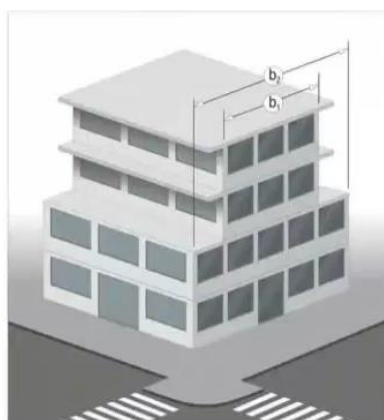
70% , siendo esta proporción mayor al 70%, por lo que se deduce que no cumple necesariamente con las condiciones para tomarlo como irregular.

b. Irregularidad de Masa. Se puede tener irregularidad de masa, cuando el área techada de los niveles se puede reducir o variar en la estructuración, pero el peso por m^2 se mantiene constante, por lo que el área tendría que reducirse al 67%. En este caso se tiene una distribución típica en todos los niveles por lo que no hay depósitos que podrían aumentar remarcar este cambio. A pesar de que hay una azotea techada, este nivel no afecta según la normativa E.030.

c. Irregularidad geométrica. La irregularidad geométrica es de cierta manera común e inevitable debido a la propia configuración arquitectónica cuando hay reducción de ambientes, teniendo una relación específica según sus cambios en el nivel siguiente.

Figura 125

Irregularidad de geometría vertical.



Irregularidad de Geometría Vertical, $I_a=0.90$
<i>Cuando $b_2 > 1.3 \times b_1$</i>

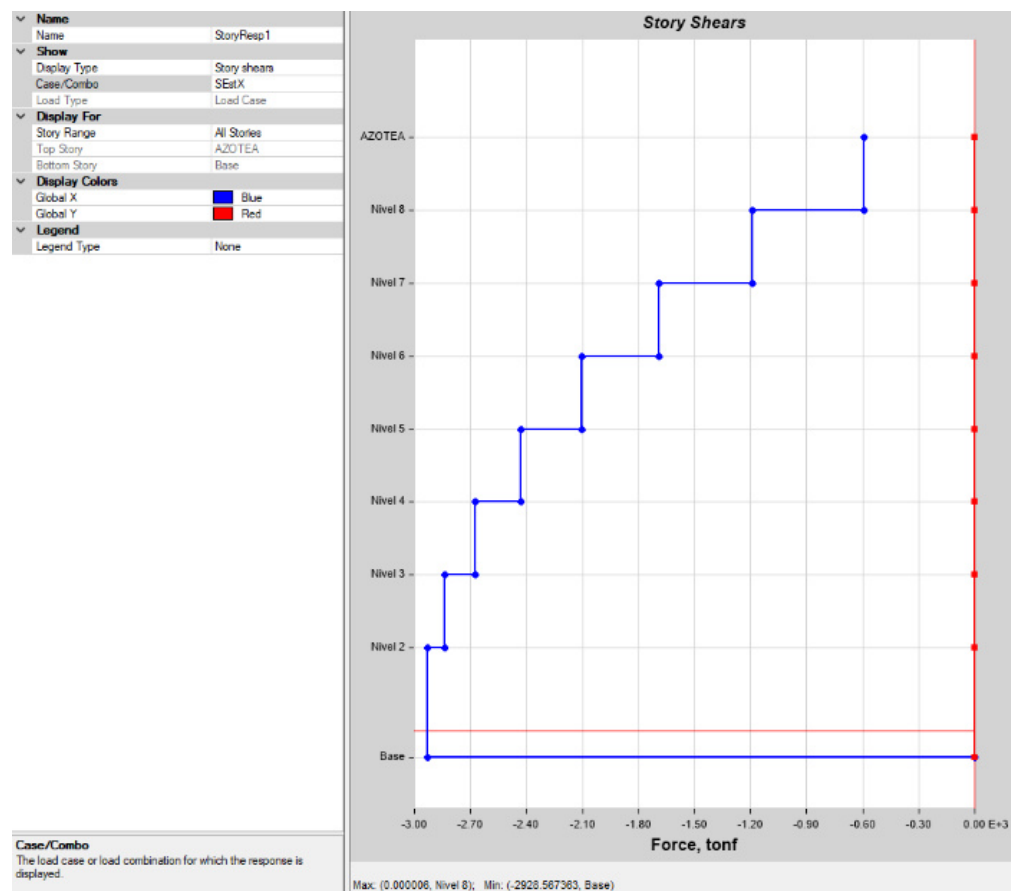
Nota. Adaptado de “Comentarios a la norma E030 diseño sismorresistente” (p.27), 2020, Ing. Alejandro Muñoz.

De igual manera al tener una estructura pequeña en azotea, este no contaría dentro de este análisis porque no contaría con bastante influencia en el comportamiento estructural.

d. **Discontinuidad de sistemas resistentes.** La edificación puede analizarse con los resultados obtenidos del propio ETABS por lo que este puede verificarse con los valores graficados.

Figura 126

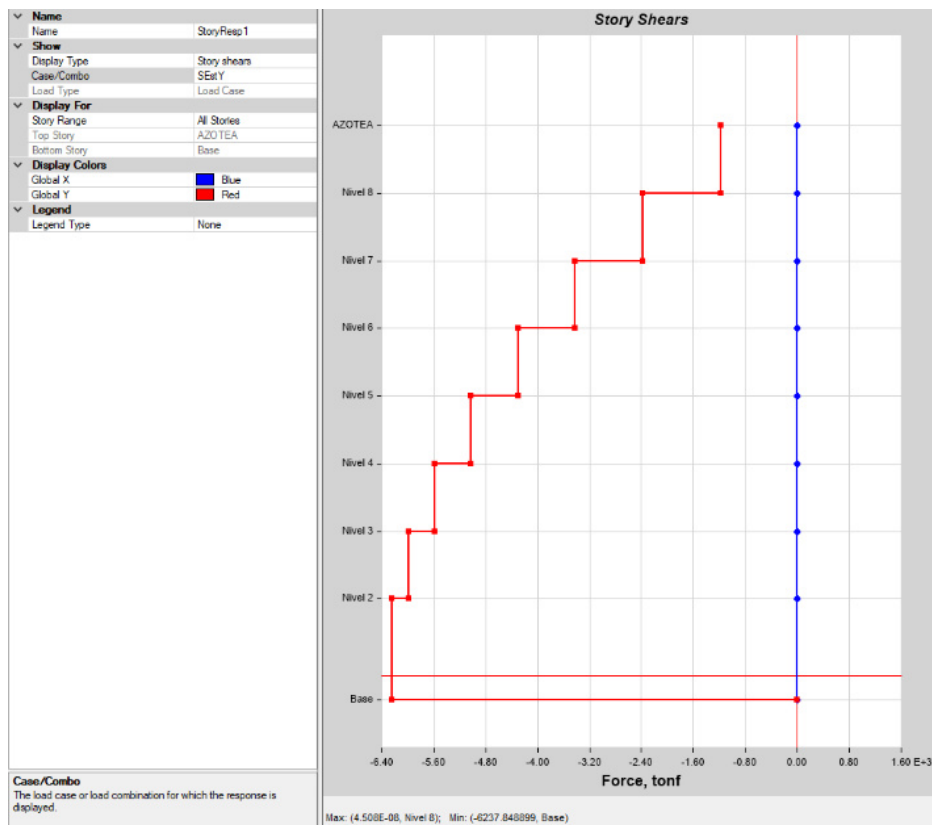
Fuerzas cortantes por piso por fuerza estática en X.



Nota. Elaboración propia.

Figura 127

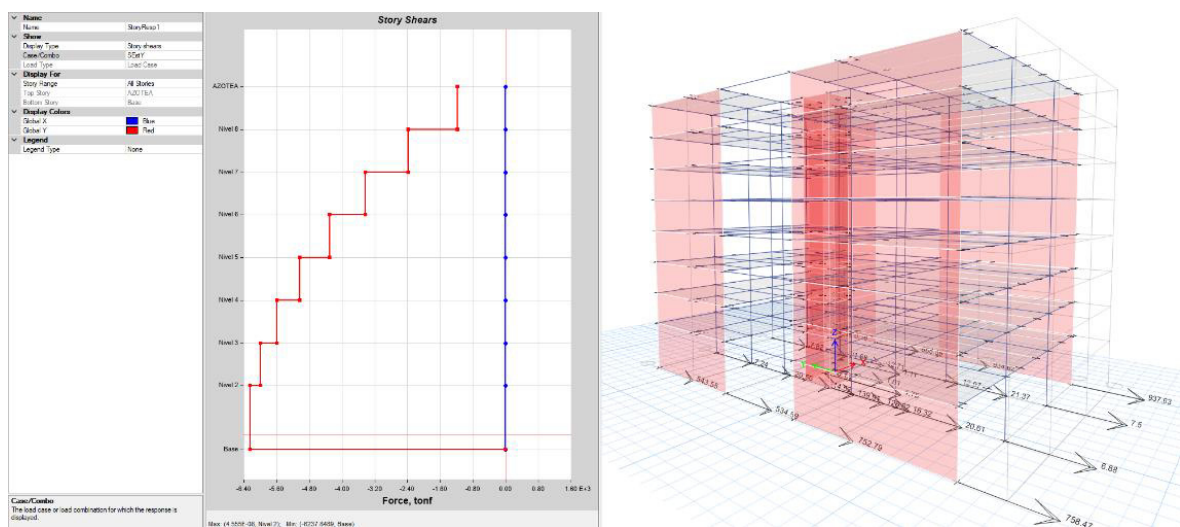
Fuerzas cortantes por piso por fuerza estática en Y.



Nota. Elaboración propia.

Figura 128

Revisión de cortante variable en primer piso.



Nota. Elaboración propia.

Figura 129

Revisión de discontinuidad de sistemas resistentes.

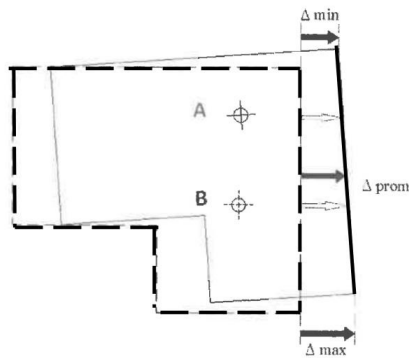
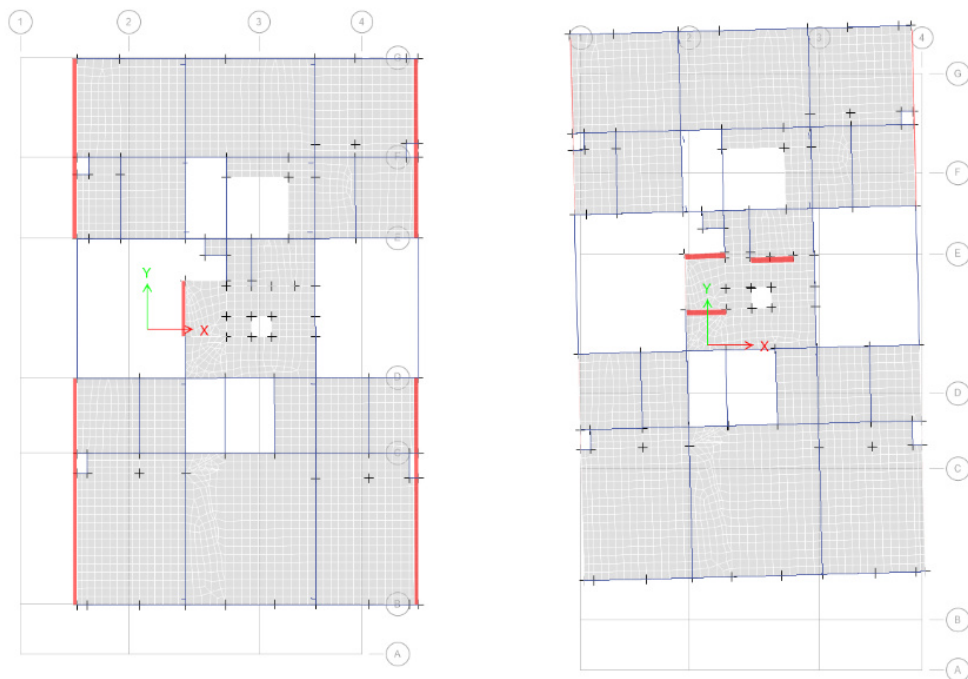
Discontinuidad en Sistemas Resistentes, $I_a = 0.80$
$V_{elem} \geq 0.1V_{Edifc}$ y $e > 0.25b$
Discontinuidad Extrema en Sistemas Resistentes, $I_{aext} = 0.60$
$V_{elem} \geq 0.25V_{Edifc}$ y $e > 0.25b$

Nota. Adaptado de “Comentarios a la norma E030 diseño sismorresistente” (p.27), 2020, Ing. Alejandro Muñoz.

Siendo esta cortante de la placa 937.63 Tonf de la base y el valor de rigidez de nivel 1978380 Tonf/m, no cumple la condición de irregularidad de discontinuidad en sistemas resistentes porque no se presenta un cambio en su sección transversal respecto al siguiente nivel ya que es una estructuración con nivel típico.

4.9.4.2. Irregularidad en planta.

a. Irregularidad torsional. Inicialmente, se toma en cuenta que se añade intencionalmente una excentricidad de 5%, verificando cuanto se ha girado y cuanto se ha desplazado en la torsión. Tener en cuenta que las distorsiones son en los extremos del diafragma y revisados por el caso de carga estática.

Figura 130*Ejemplo de irregularidad torsional.**Nota.* Elaboración propia.**Figura 131***Verificación de Irregularidad torsional de sismo estático.**Nota.* Elaboración propia.

Se debe verificar que:

$$D_{prom} = (D_{max} + D_{min}) / 2$$

- $D_{promX} = (0.004416 + 0.004328) / 2 = 0.004372$

- $D_{promY} = (0.001501 + 0.001872) / 2 = 0.0016865$

Donde, si:

$$D_{max} / D_{prom} > 1.3 \rightarrow \text{Irregular}$$

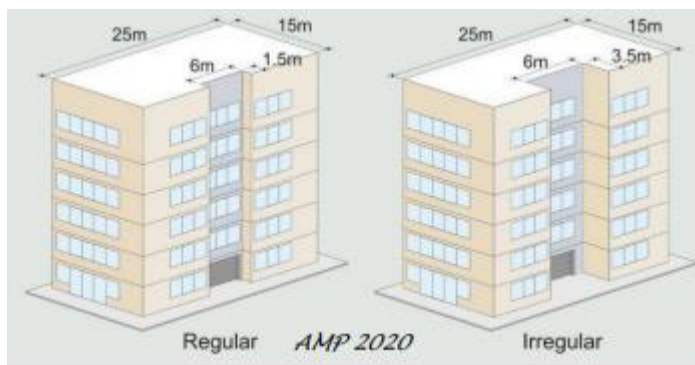
$$D_{max} / D_{prom} < 1.3 \rightarrow \text{Regular}$$

El valor sale 1.01 con el sismo estático en dirección X, y 1.11 con el sismo estático en dirección Y siendo ambos menores a 1.3, siendo por este lado, regular.

b. Irregularidad esquinas entrantes. La edificación no presenta esquinas entrantes, por lo que se puede validar que no hay consideración de falta en esta zona.

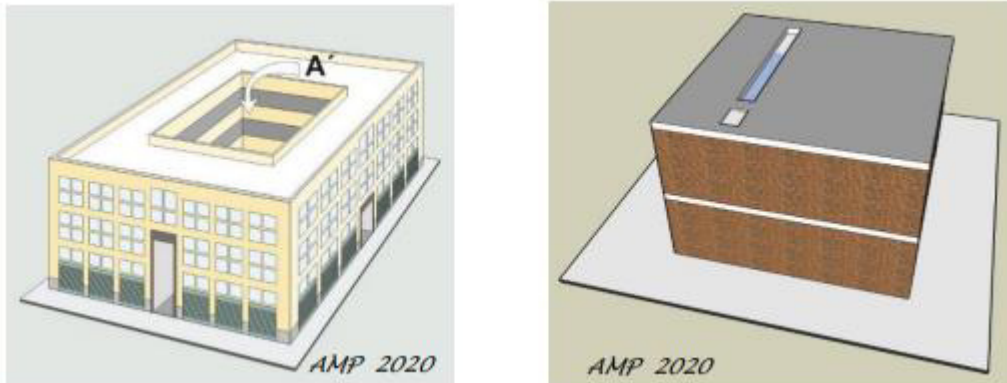
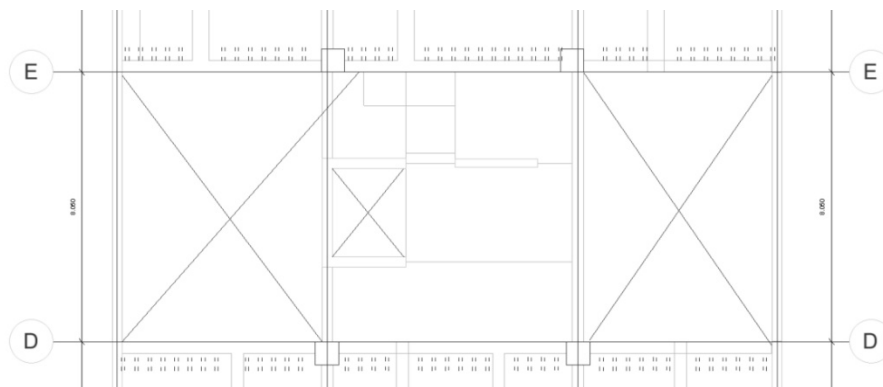
Figura 132

Esquema de irregularidad de esquinas entrantes en Edificación.



Nota. Elaboración propia.

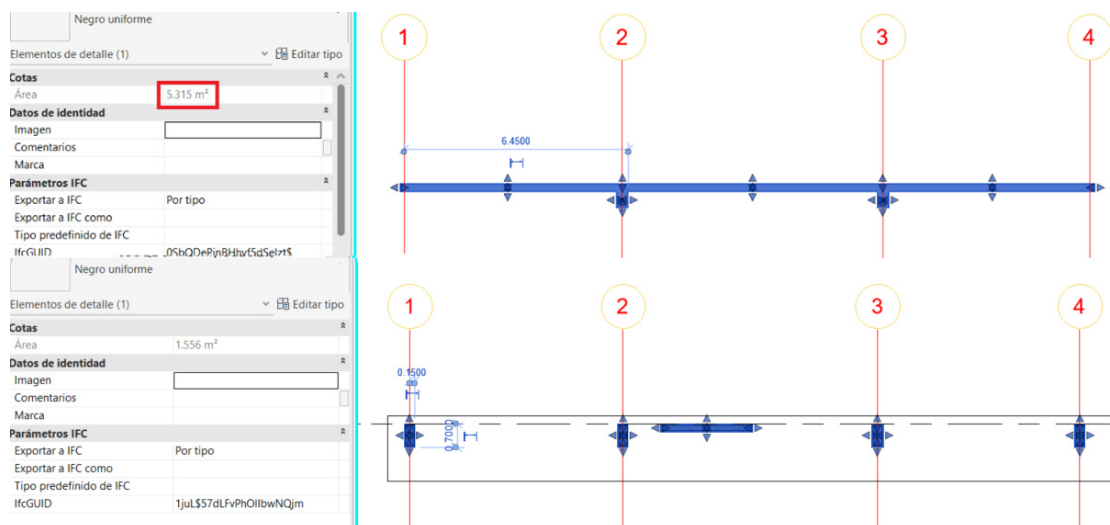
c. Irregularidad discontinuidad de diafragmas. Esta edificación presenta una discontinuidad de diafragma porque registra en los laterales una apertura con un área en planta considerable del piso, por lo cual no presenta esta.

Figura 133*Esquema de discontinuidad de diafragma.**Nota.* Elaboración propia.**Figura 134***Modelado de Apertura de la planta.**Nota.* Elaboración propia.

Esta apertura mínima se analizará con el software Revit, el cual permitirá sacar áreas exactas para la referencia correspondientes de dicha zona de manera directa.

Figura 135

Relación de áreas en sección crítica evaluada en Revit.



Nota. Elaboración propia.

Siendo la proporción de estas 2 áreas 5.315 m² y 1.556 m² de 0.2927, el cual no es menor al límite normativo 0.25, en consecuencia, tampoco dispone de esta irregularidad.

d. Irregularidad de sistemas paralelos. Esta irregularidad es evitable por la configuración arquitectónica del proyecto que está distribuido con las fuerzas laterales paralelas a las direcciones de análisis además que los ejes o pórticos del proyecto no forman ángulos menores de 30°.

e. Respuesta de irregularidad en edificación. Se puede concluir de las verificaciones de que nuestra edificación tiene una configuración de ser regular ya que no presenta irregularidades en altura ni tampoco irregularidades en planta.

$$I_a=1.00; I_p=1.00$$

4.9.5. Verificación de distorsiones

Se toma en cuenta que se tiene una estructura regular desarrollada, por lo que se hará referencia a lo indicado por la normativa E.030 (2018), la cual indica tomar 0.75R de los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas.

Tabla 12*Coefficientes de reducción según sistemas estructurales*

Sistema Estructural	Coefficiente básico de reducción R_o
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales concéntricamente arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
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 (Por esfuerzos admisibles)	7

Nota. Adaptado de Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (p. 7), por Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento, 2018, Norma Técnica De Edificación - E.030 Diseño Sismorresistente.

Tabla 13*Límites para la distorsión del entrepiso*

Material Predominante	Δ/h
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Nota. Adaptado de Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles (p. 11), por Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento, 2018, Norma Técnica De Edificación - E.030 Diseño Sismorresistente.

Figura 136*Combinación reducida de carga dinámica en X para distorsiones*

The screenshot shows the 'Load Combination Data' dialog box. The 'General Data' section contains the following fields:

- Load Combination Name: Dx (Distorsiones)
- Combination Type: Linear Add
- Notes: Modify/Show Notes...
- Auto Combination: No

The 'Define Combination of Load Case/Combo Results' section contains a table with the following data:

Load Name	Scale Factor
SDx	0.75

Buttons for 'Add', 'Delete', 'OK', and 'Cancel' are visible.

Nota. Elaboración propia.**Figura 137***Combinación reducida de carga dinámica en Y para distorsiones*

The screenshot shows the 'Load Combination Data' dialog box. The 'General Data' section contains the following fields:

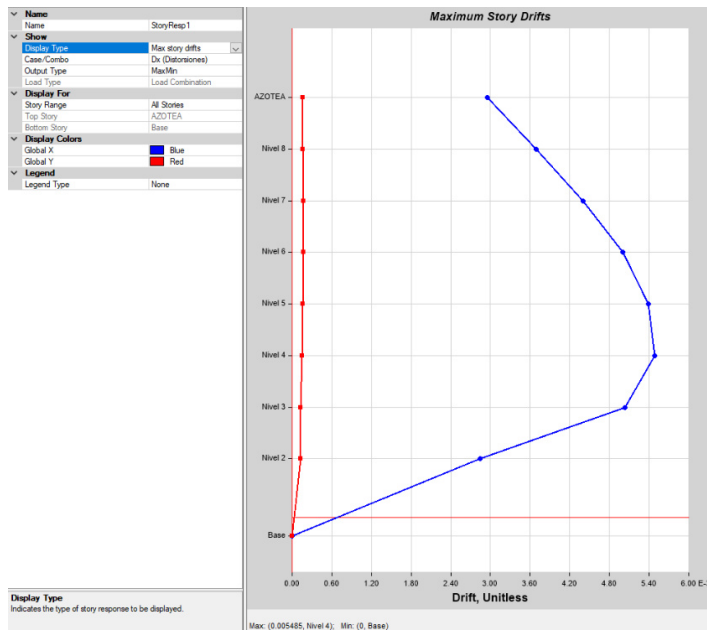
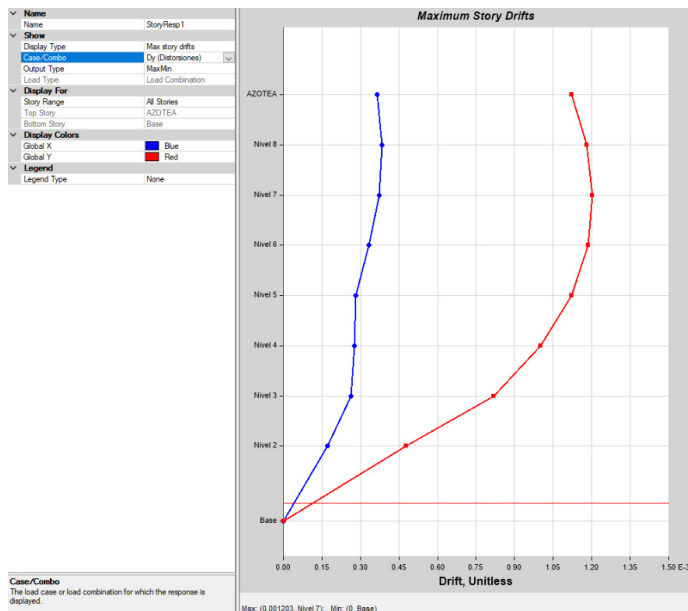
- Load Combination Name: Dy (Distorsiones)
- Combination Type: Linear Add
- Notes: Modify/Show Notes...
- Auto Combination: No

The 'Define Combination of Load Case/Combo Results' section contains a table with the following data:

Load Name	Scale Factor
SDy	0.75

Buttons for 'Add', 'Delete', 'OK', and 'Cancel' are visible.

Nota. Elaboración propia.

Figura 138*Máximas derivas de nivel en dirección X**Nota.* Elaboración propia.**Figura 139***Máximas derivas de nivel en dirección Y**Nota.* Elaboración propia.

Donde se verifica que las derivas máximas en X y en Y tienen valor menor al límite de 0.007 al ser de concreto armado, siendo 0.005485 y 0.001203 respectivamente.

4.9.6. Verificación del sistema estructural.

El sistema estructural se revisará en base a los resultados obtenidos de las tablas considerando que cada muro se presentará como PIER. Con ello se definirá el tipo de sistema estructural. De las reacciones cortantes se obtendrá lo siguiente:

Tabla 14

Reacciones de fuerzas cortantes en resistencia

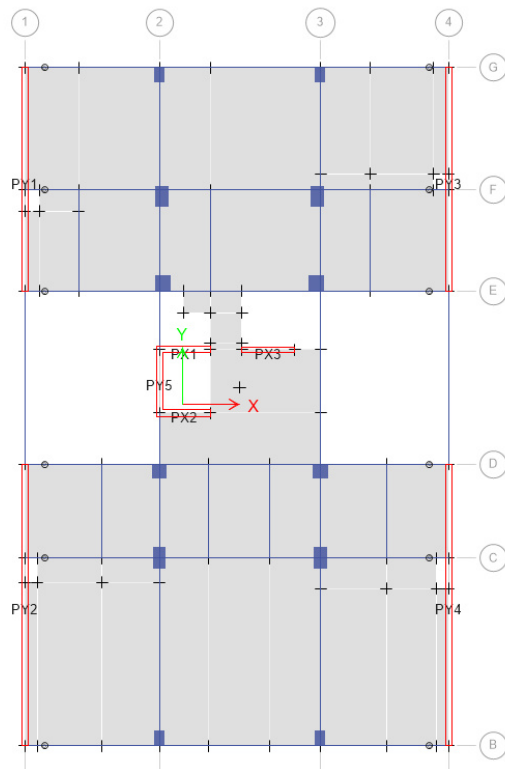
Caso	Tipo de caso	FX Tonf	FY Tonf
SEstX	LinStatic	-2790.2735	0
SEstY	LinStatic	0	-6243.2387

Nota. Elaboración propia.

Los muros serán definidos por dirección y enumerados según posicionamiento.

Figura 140

Selección de muros etiquetados como PIER.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 15*Fuerzas en Muros etiquetados PIER en Dirección de sismo estático en X*

Nivel	Etiqueta	V2
Nivel 2	PX2	647.7143
Nivel 2	PX1	607.1247
Nivel 2	PX3	383.5783

Nota: Elaboración propia.**Tabla 16***Fuerzas en Muros etiquetados PIER en Dirección de sismo estático en Y*

Nivel	Etiqueta	V2
Nivel 2	PY1	1101.3851
Nivel 2	PY2	1512.7493
Nivel 2	PY3	1318.3831
Nivel 2	PY4	1837.6325
Nivel 2	PY5	225.3468

Nota: Elaboración propia.

Por lo que se obtiene en la dirección X:

- Suma de fuerzas cortantes = 1638.4173 Tonf.
- Reacción total en dirección X = 2790.2735 Tonf.
- Participación de cortante en X = 59% → Sistema Dual

Por lo que obtiene en la dirección Y:

- Suma de fuerzas cortantes = 5995.4968 Tonf.
- Reacción total en dirección Y = 6243.2387 Tonf.
- Participación en X = 96% → Muros de concreto armado

La norma E.030 nos define el sistema estructural mediante la relación de la fuerza cortante basal total y la cortante que toman elementos estructurales.

- $V_{muros} < 20\% \rightarrow$ Sistema de pórticos de
- $CA \ 20\% < V_{muros} < 70\% \rightarrow$ Sistema Dual
- $V_{muros} > 70\% \rightarrow$ Sistema de muros de CA

Teniendo una estructura de Sistema dual en la dirección X y Sistema de Muros de concreto armado (Muros de CA) en la dirección Y, por lo que se debe tener un $R_o=7$ en la dirección X y $R_o=6$ en la dirección Y. Después de poder definir el coeficiente, se actualizará los datos en el software respecto a los coeficientes de reducción sísmica en cada dirección del sistema estructural.

Figura 141

Actualización de caso de carga sísmica dinámica en X por reducción debido a factor de reducción

Load Case Data [X]

General

Load Case Name: SDx (Ro=7) [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Z4U1S1R1	1.401

[Add] [Delete] ☐ Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: []

Rigid Frequency, f2: []

Periodic + Rigid Type: []

Earthquake Duration, td: []

Directional Combination Type: Absolute

Absolute Directional Combination Scale Factor: 1

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Nota. Elaboración propia.

Figura 142

Actualización de caso de carga sísmica dinámica en Y por reducción debido a factor de reducción

E Load Case Data ×

General

Load Case Name: Design...

Load Case Type: Notes...

Mass Source:

Analysis Model:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	Z4U1S1R1	1.6345

1
Add
Delete
☐ Advanced

Other Parameters

Modal Load Case:

Modal Combination Method:

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, td:

Directional Combination Type:

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Modify/Show...

Diaphragm Eccentricity: Modify/Show...

OK
Cancel

Nota. Elaboración propia.

Figura 143

Actualización de coeficiente de carga sísmica estática debido a reducción en dirección X.

The dialog box 'Seismic Load Pattern - User Defined' is shown. It has a title bar with a blue 'E' icon and a close button. The main area is divided into three sections: 'Direction and Eccentricity', 'Factors', and 'Story Range'. In the 'Direction and Eccentricity' section, the 'X Dir + Eccentricity' checkbox is checked, while others are unchecked. The 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0.05. In the 'Factors' section, 'Base Shear Coefficient, C' is 0.071828 and 'Building Height Exp., K' is 1.1975. In the 'Story Range' section, 'Top Story' is 'AZOTEA' and 'Bottom Story' is 'Base'. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Nota. Elaboración propia.

Figura 144

Actualización de coeficiente de carga sísmica estática debido a reducción en dirección Y.

The dialog box 'Seismic Load Pattern - User Defined' is shown. In the 'Direction and Eccentricity' section, the 'Y Dir + Eccentricity' checkbox is checked, while others are unchecked. The 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0.05. In the 'Factors' section, 'Base Shear Coefficient, C' is 0.1875 and 'Building Height Exp., K' is 1. In the 'Story Range' section, 'Top Story' is 'AZOTEA' and 'Bottom Story' is 'Base'. At the bottom are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Nota. Elaboración propia.

4.9.7. Factores de amplificación Sísmica

Se da los resultados actualizados del espectro sísmico colocando el 80% de la fuerza estática, debido a que la norma E.030 indica que para edificaciones regulares tiene ese factor, para comparar con la fuerza dinámica.

Figura 145*Combinación de carga en X.*

The dialog box 'Load Combination Data' has a title bar with a blue 'E' icon and a close button. It contains two main sections: 'General Data' and 'Define Combination of Load Case/Combo Results'.

General Data:

- Load Combination Name: 80% SEstX (Ro=7)
- Combination Type: Linear Add (dropdown menu)
- Notes: Modify/Show Notes... (button)
- Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results:

Load Name	Scale Factor
SEstX (Ro=7)	0.8

Buttons: Add, Delete, OK, Cancel.

Nota. Elaboración propia.**Figura 146***Combinación de carga en Y.*

The dialog box 'Load Combination Data' has a title bar with a blue 'E' icon and a close button. It contains two main sections: 'General Data' and 'Define Combination of Load Case/Combo Results'.

General Data:

- Load Combination Name: 80% SEstY (Ro=6)
- Combination Type: Linear Add (dropdown menu)
- Notes: Modify/Show Notes... (button)
- Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results:

Load Name	Scale Factor
SEstY (Ro=6)	0.8

Buttons: Add, Delete, OK, Cancel.

Nota. Elaboración propia.

Por lo que se obtendrá los siguientes resultados.

Tabla 17*Reacción de cortante sísmica dinámica y 80% estática*

Caso	FX Tonf	FY Tonf
SDx (Ro=7)	343.768	6.418
SDy (Ro=6)	7.4879	800.352
80% SEstX (Ro=7)	-318.888	0
80% SestY (Ro=6)	-5.059	-832.431

Nota. Elaboración propia.

Por lo que haciendo la relación de la cortante dinámica y el 80% de la cortante estática se definiría que nuestro factor de amplificación de fuerza cortante dinámica en Y es 1.04, mientras que en la dirección X, la fuerza dinámica supera al 80% de la estática por lo que no requiere escalar la carga.

Figura 147*Factor de amplificación de carga sísmica dinámica en dirección Y*

E Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: SDy (FE=1.04)

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
SDy (Ro=6)	1.04

Add

Delete

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.

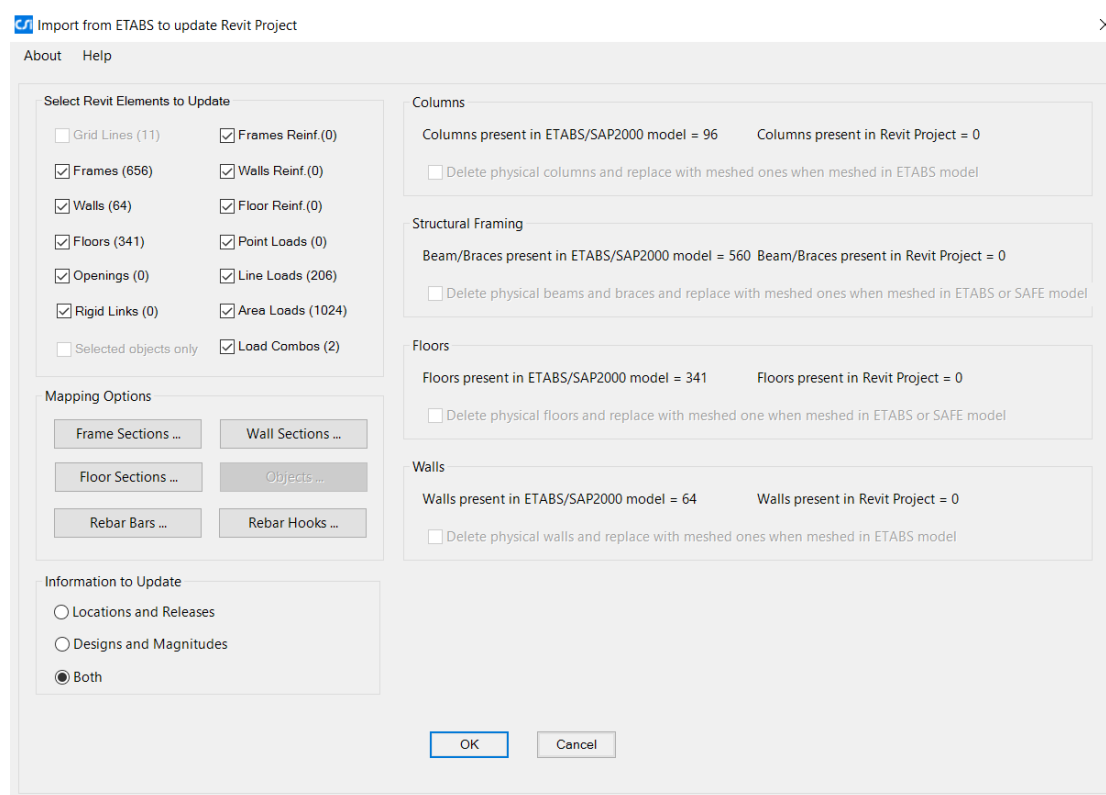
A su vez se puede considerarse amplificar la carga un 30% en la otra dirección para poder considerar un diseño preparado para un mejor desempeño.

4.9.8. Actualización de modelado BIM

Al generar la exportación pertinente se podrá tener de manera actualizada automática la representación de la estructuración y el 3D. Donde servirá de compatibilización con la arquitectura en los ambientes y la presentación de las ventanas principales. Se exportará con la herramienta de interoperabilidad CSIxRevit hacia Revit con la importación del archivo EXR generado del ETABS.

Figura 148

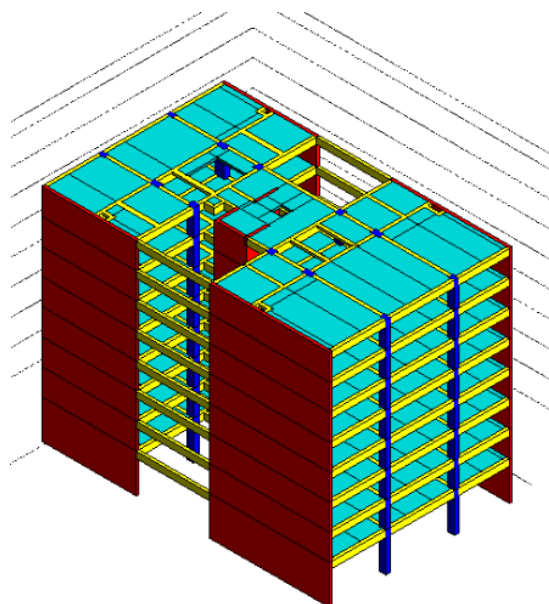
Consideraciones de propiedades de importación a Revit desde ETABS



Nota. Elaboración propia.

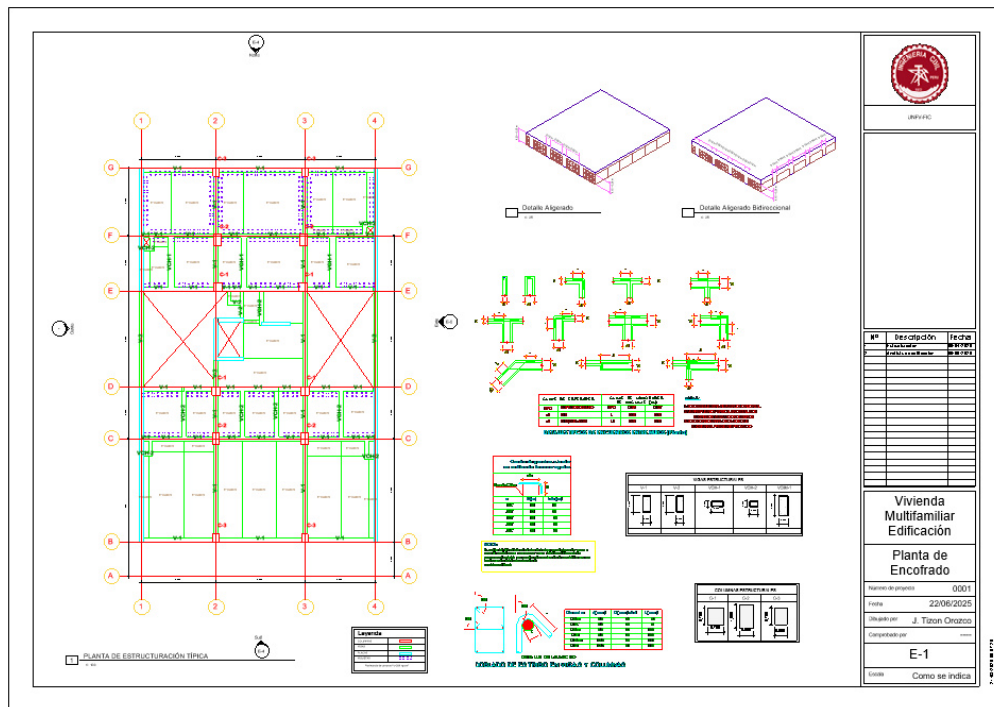
Figura 149

Actualización de modelado en software Revit.



Nota. Elaboración propia.

En el caso de la escalera de emergencia termina apareciendo un nuevo muro de concreto armado y en la azotea se generan los cierres de los ambientes de la estructuración típica que en coordinación con la especialidad de arquitectura no generaría cambios planteados en la edificación proyectada.

Figura 150*Planimetría generada en Revit*

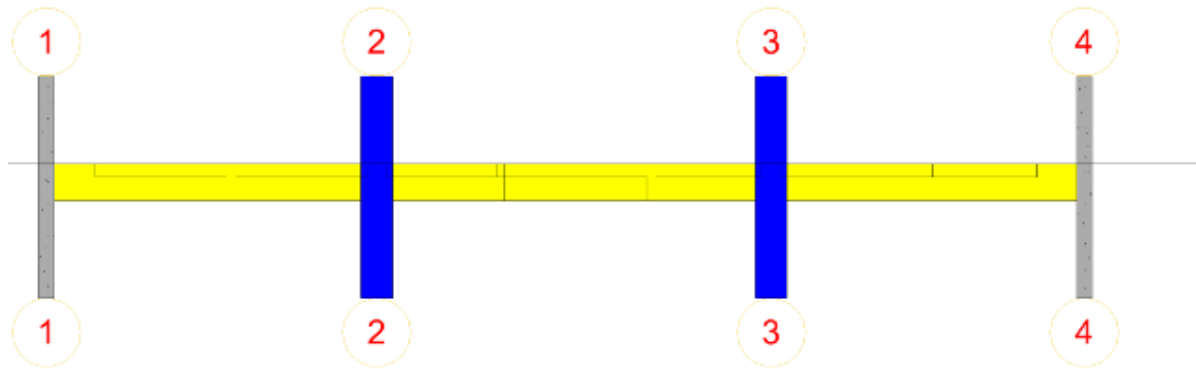
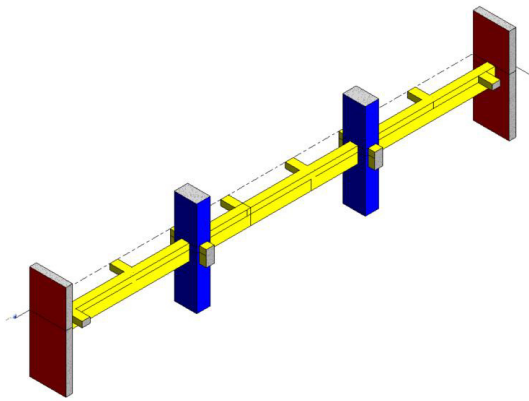
Nota. Elaboración propia.

De esto se considera que la arquitectura puede replantear la presentación y compatibilización con las consideraciones de diseño inicialmente planteadas.

4.10. Diseño estructural de vigas

4.10.1. Diseño por flexión de vigas

Se diseñará de manera analítica un eje cargado de la estructura en el nivel 4, el cual es el eje C-C. Dándose las representaciones correspondientes para el diseño en base a la envolvente con la combinación de cargas respectiva.

Figura 153*Idealización de viga C-C extraída del Revit**Nota.* Elaboración propia.**Figura 154***Idealización isométrica de viga C-C extraída del Revit**Nota.* Elaboración propia.

Para el lado inicial se consideró que no se considerará una transmisión debido a que el muro no cuenta con la suficiente longitud de desarrollo, por lo que se usará el mínimo de acero. Cabe recalcar que se tomará las referencias predominantes para el diseño de la sección en su momento positivo como el negativo:

Para el momento último negativo de 44.56 Tonf-m

Tabla 18*Cálculo de acero requerido en vigas en momento negativo*

Propiedad	Valor	Unidad
M_u	44.56	Tonf-m
M_n	49.51	Tonf-m
$\rho_{\min}$	0.00	
ρ_b	0.03	
$\rho_{\max}$	0.02	
A_{sb}	63.25	cm ²
$A_{s\text{-req}}$	20.08	cm ²
$A_{s\min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$	6.23	cm ²
$A_{s\min} = 4/3 \cdot A_{s\text{-req}}$	26.77	cm ²
$A_{s\max}$	47.43	cm ²
n	5	

Nota. Elaboración propia.

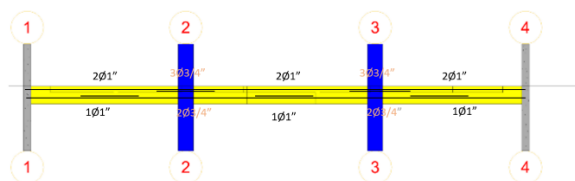
Para la primera columna en el lado izquierdo requeriría 2 varillas de $\frac{3}{4}$ " y 3 varillas de 1". Así mismo, se analiza para el momento último positivo de 16.93 Tonf-m.

Tabla 19*Cálculo de acero requerido en vigas en momento positivo*

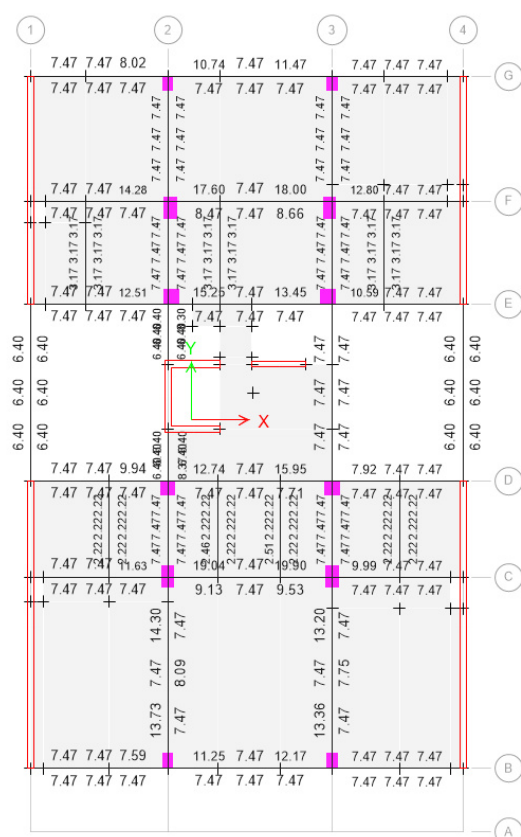
Propiedad	Valor	Unidad
M_u	16.93	Tonf-m
M_n	18.81	Tonf-m
$\rho_{\min}$	0.00	
ρ_b	0.03	
$\rho_{\max}$	0.02	
A_{sb}	63.25	cm ²
$A_{s\text{-req}}$	7.23	cm ²
$A_{s\min} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d$	6.23	cm ²
$A_{s\min} = 4/3 \cdot A_{s\text{-req}}$	9.64	cm ²
$A_{s\max}$	47.43	cm ²
n	5	

Nota. Elaboración propia.

Donde requeriría 7.23 cm², el cual cumple con 1 varillas de 1" y 2 de $\frac{3}{4}$ ", por lo que se esquematizaría (Dicho armado de podría usarse hasta para un momento positivo de 24.88 Tonf-m).

Figura 155*Diseño de refuerzo longitudinal de viga**Nota.* Elaboración propia.**4.10.2. Diseño por flexión de vigas: ETABS**

Este diseño usa la automatización generada por el mismo ETABS para la generación de elementos con sus áreas respectivas necesarias en el diseño por flexión. Se toma en cuenta estas características de en el diseño.

Figura 156*Diseño de acero propuesto por ETABS en planta de nivel 4**Nota.* Elaboración propia.

Donde analizando el eje C-C en el pórtico con la herramienta de “Concrete Frame Design” de ETABS, se obtiene lo siguiente considerando solo el refuerzo longitudinal por flexión.

Figura 157

Diseño de eje C-C en nivel 4

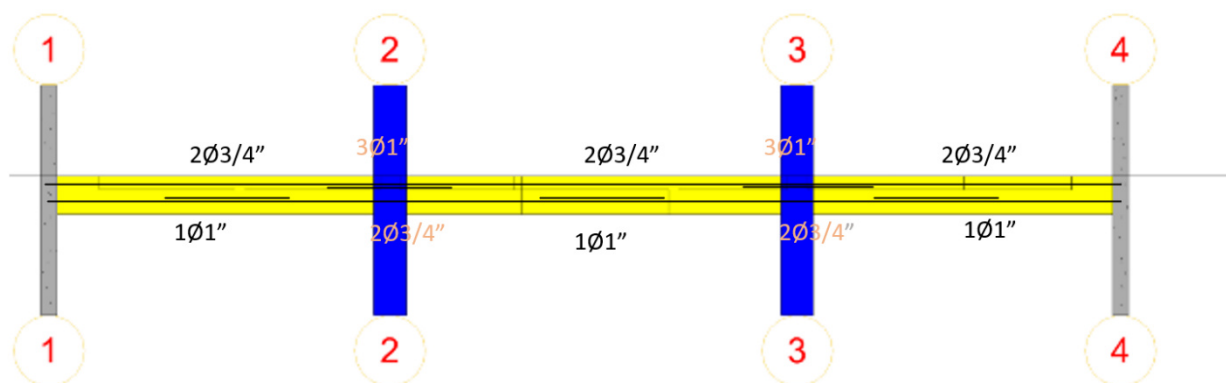


Nota. Elaboración propia.

Donde dicha actualización de diseño representaría la misma configuración del hecho manual:

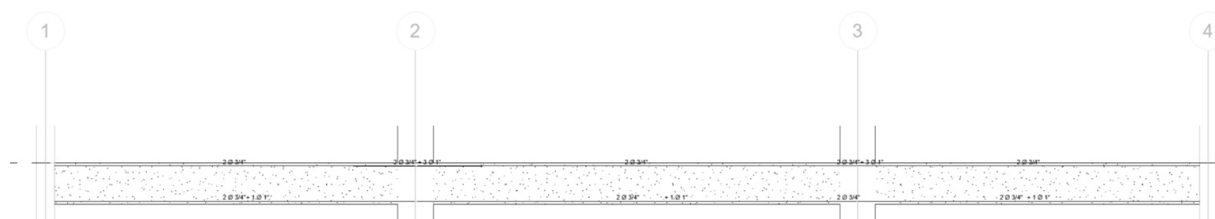
Figura 158

Propuesta de refuerzo longitudinal de eje C-C & propuesta del software ETABS.



Nota. Elaboración propia.

Donde se puede notar que, en comparativo con la primera propuesta manual, teniendo una similitud en los aceros propuestos con los requeridos en la intersección de la segunda columna manteniendo los requerimientos en donde aparecen los momentos máximos.

Figura 159*Modelado de acero longitudinal en Revit**Nota.* Elaboración propia.**4.10.3. Longitud de desarrollo en vigas**

Considerando que se tomará los requerimientos para su longitud de desarrollo y anclaje

$$\psi_t; \psi_e; \psi_s = 1$$

Definiendo las siguientes características se tendrá respectivamente el valor de acero correspondiente:

Tabla 20*Propiedades de refuerzo para la longitud de desarrollo*

Propiedad	Valor	Und.
f_y	420	mpa
f'_c	28	mpa
Y_t	1	
Y_e	1	
"λ"	1	

Nota. Elaboración propia.**Tabla 21***Propiedades de refuerzo para la longitud de desarrollo*

db	db (cm)	ld (cm)
ø3/8	0.95	29.00
ø1/2	1.27	38.77
ø5/8	1.60	48.84
ø3/4	1.90	58.00
ø1	2.54	96.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 22

Longitud de desarrollo en compresión en concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

db	ld(cm)/db	ld(cm)
ø3/8	19.05	18.10
ø1/2	19.05	24.19
ø5/8	19.05	30.48
ø3/4	19.05	36.19
ø1	19.05	48.39

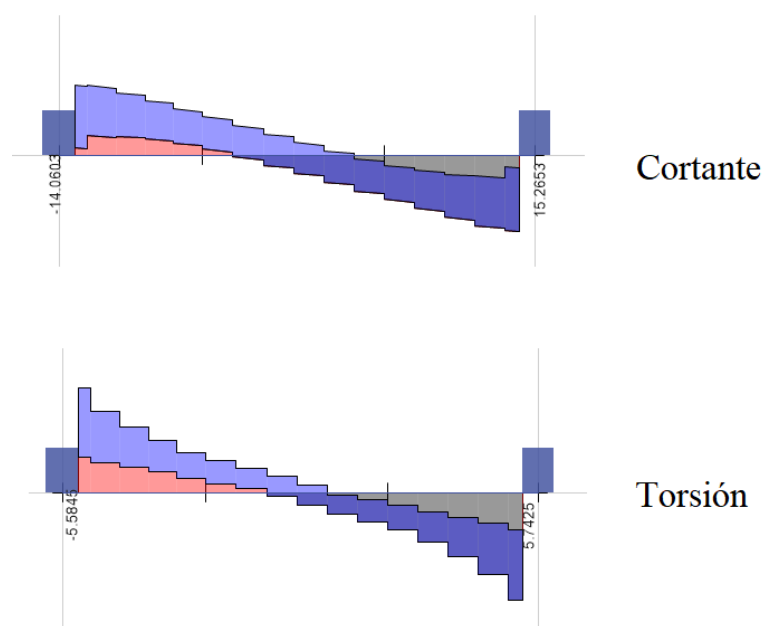
Nota. Elaboración propia.

4.10.4. Verificación de torsión

Se aplicará la versión más cargada para la verificación de la torsión en cortantes, siendo ubicada en la viga central del eje B del quinto nivel. En este se puede apreciar una carga cortante de 19.93 Tonf y una torsión de 6.21 Tonf-m visible presentes en la estructura, las cuales se tomará como máximos para el análisis.

Figura 160

Análisis de fuerzas cortantes para verificación de torsión en vigas.



Nota. Elaboración propia.

Mediante la fórmula se analiza la torsión.

$$V_{act} = \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_{u*Ph}}{1.7 * A_{oh}^2}\right)^2}$$

$$V_{adm} = \Phi * \left(\frac{V_c}{b_w * d} + 2.1\sqrt{f'c}\right)$$

Tabla 23

Análisis de torsión en vigas

Propiedad	Valor	Unidad
Peralte	70	cm
Peralte De Ala	20	cm
Peralte Efectivo	65	cm
Factor De Reducción Por Corte Y Torsión	0.85	
Área Confinada	1500	cm ²
Perímetro Confinado	160	cm
Resistencia A La Compresión Del Concreto	280	kgf/cm ²
Cortante Última	15265.3	kgf
Torsión Última	574250	kgf-cm
Esfuerzo De Corte Por Cortante	6.71002	kgf/cm ²
Esfuerzo De Corte Por Torsión	24.0209	kgf/cm ²
V _{act}	24.9405	kgf/cm ²
V _{adm}	37.4071	kgf/cm ²

Nota. Elaboración propia.

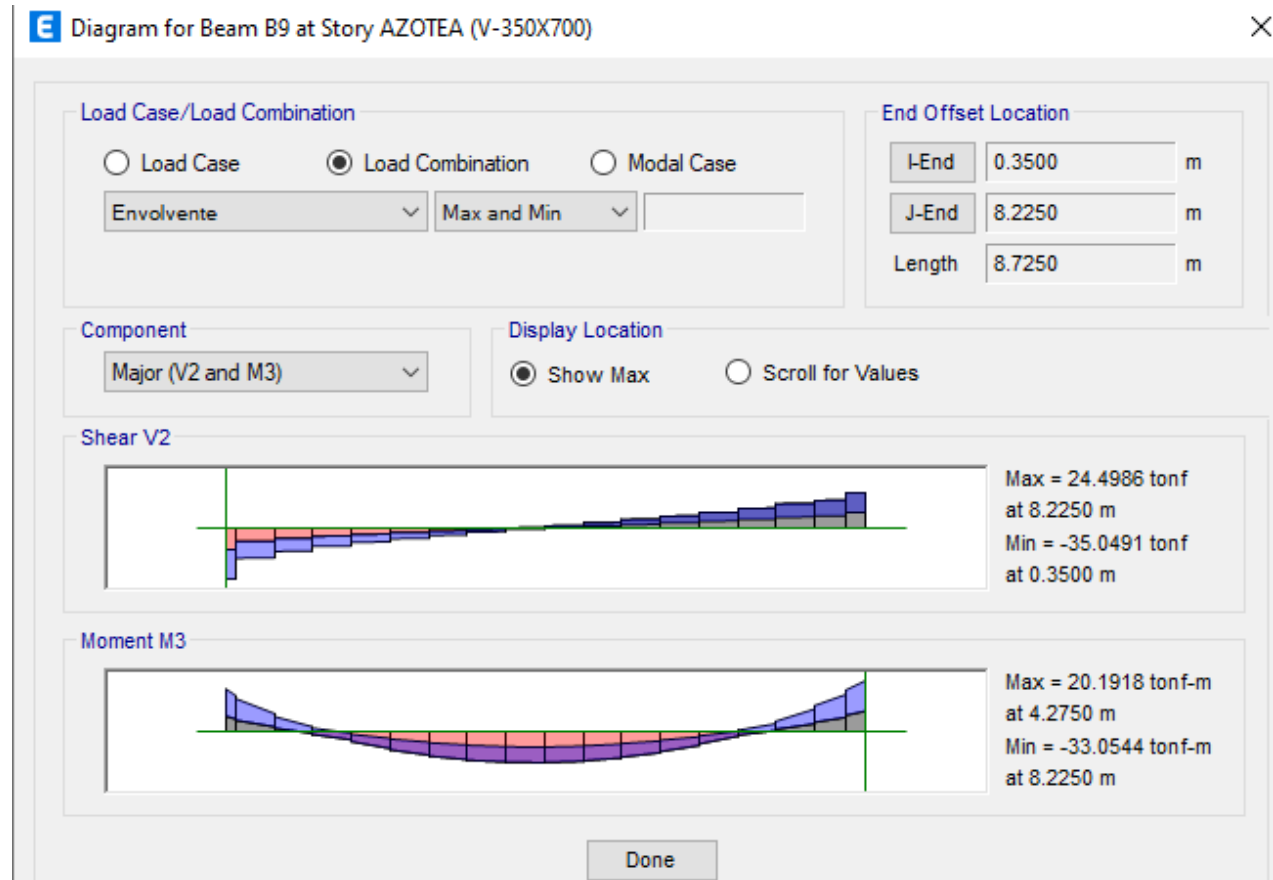
Del cálculo se puede identificar que no se necesita refuerzo para torsión.

4.10.5. Diseño cortante de vigas

Basando en el diseño por capacidad y buscando mantener la ductilidad, se debe representar la sección armada del proyecto a usar usando los datos analizados de la estructura, esto se puede extraer del análisis propio y la propuesta de la armadura.

Figura 161

Diagramas de viga B40 en nivel de la azotea.



Nota. Elaboración propia.

Datos: $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, $d = h - t$

$M_{u+} = 20.1918 \text{ tf-m} \rightarrow A_s = 8.67 \text{ cm}^2 \rightarrow 1 \text{ } \varnothing 3/4'' + 2 \varnothing 1'' = 13.04 \text{ cm}^2$

$M_{u-} = 27.5276 \text{ tf-m} \rightarrow A_s = 11.99 \text{ cm}^2 \rightarrow 2 \varnothing 1'' + 1 \varnothing 3/4'' = 15.88 \text{ cm}^2$

$M_{ud-} = 33.0544 \text{ tf-m} \rightarrow A_s = 14.55 \text{ cm}^2 \rightarrow 2 \varnothing 1'' + 2 \varnothing 3/4'' = 15.88 \text{ cm}^2$

Momentos nominales

$M_{ni(-)} = 39.73 \text{ tf-m} \leftrightarrow 2 \varnothing 1'' + 2 \varnothing 3/4'' = 15.82 \text{ cm}^2$

$M_{ni(+)} = 26.02 \text{ tf-m} \leftrightarrow 2 \varnothing 1'' = 10.12 \text{ cm}^2$

$M_{nc(-)} = 14.87 \text{ tf-m} \leftrightarrow 2 \varnothing 1'' = 5.68 \text{ cm}^2$

$$M_{nc}(+) = 33 \text{ tf-m} \leftrightarrow 1\text{Ø}3/4'' + 2\text{Ø}1'' = 12.97 \text{ cm}^2$$

$$M_{nd}(-) = 32.96 \text{ tf-m} \leftrightarrow 2\text{Ø}1'' + 1\text{Ø}3/4'' = 12.97 \text{ cm}^2$$

$$M_{nd}(+) = 26.02 \text{ tf-m} \leftrightarrow 2\text{Ø}1'' = 10.12 \text{ cm}^2$$

Verificación de disposiciones de diseño por capacidad.

Disposición Sísmica Por Flexión

Izquierda

$$M_{ni}(-)/3 = 13.2 \text{ tf-m}$$

$$M_{ni}(+) = 26.0 \text{ tf-m}$$

$$M_{ni}(+) > M_{ni}(-)/3 \quad \text{Cumple!}$$

Derecha

$$M_{nd}(-)/3 = 11.0 \text{ tf-m}$$

$$M_{nd}(+) = 26.0 \text{ tf-m}$$

$$M_{nd}(+) > M_{ni}(-)/3 \quad \text{Cumple!}$$

Segunda Disposición Sísmica Por Flexión

Centro - Izquierda

$$M_{nc}(-) = 14.9 \text{ tf-m}$$

$$M_{ni.\max}/4 = 9.93 \text{ tf-m}$$

$$M_{nc}(-) > M_{ni.\max}/4 \quad \text{Cumple!}$$

$$M_{nc}(+) = 33.0 \text{ tf-m}$$

$$M_{nd.\max}/4 = 9.93 \text{ tf-m}$$

$$M_{nc}(+) > M_{ni.\max}/4 \quad \text{Cumple!}$$

Centro - Derecha

$$M_{nc(-)} = 14.9 \text{ tf-m}$$

$$M_{ni.max}/4 = 8.24 \text{ tf-m}$$

$$M_{nc(-)} > M_{ni.max}/4 \quad \text{Cumple!}$$

$$M_{nc(+)} = 33.0 \text{ tf-m}$$

$$M_{nd.max}/4 = 8.24 \text{ tf-m}$$

$$M_{nc(+)} > M_{ni.max}/4 \quad \text{Cumple!}$$

Según el análisis, la edificación tiene un sistema de muros de concreto armado, por ende, este análisis se acondiciona a pórticos intermedios.

Figura 162

Cortante última respecto al diseño por capacidad.

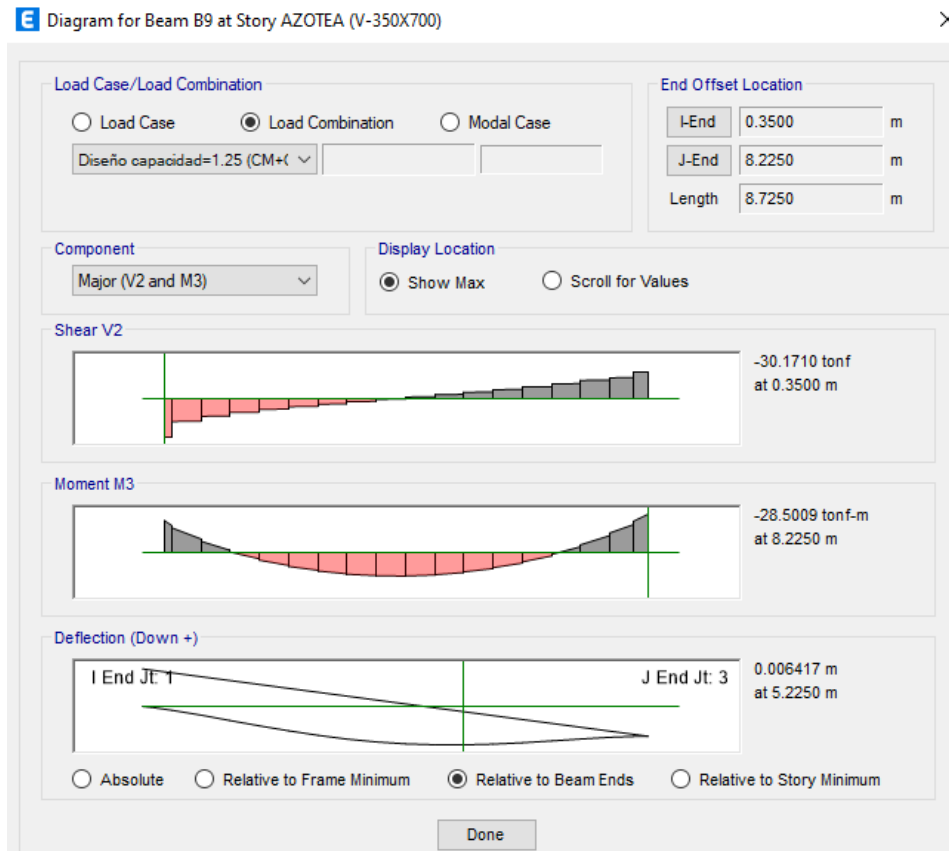
Pórticos Intermedios							
$V_{ui} = \frac{(M_{ni(-)} + M_{nd(+)})}{L_n} + V_{i.1.25(CM+CV)}$		$V_{ud} = \frac{(M_{ni(+)} + M_{nd(-)})}{L_n} + V_{d.1.25(CM+CV)}$					
Pórticos Especiales							
$V_{ui} = \frac{(M_{pri(-)} + M_{prd(+)})}{L_n} + V_{i.1.25(CM+CV)}$		$V_{ud} = \frac{(M_{pri(+)} + M_{prd(-)})}{L_n} + V_{d.1.25(CM+CV)}$					

Nota. Elaboración propia.

Para el análisis se debe considerar la cortante con la combinación de carga respectiva 1.25(CM+CV), donde se obtiene las cortantes respectivas.

Figura 163

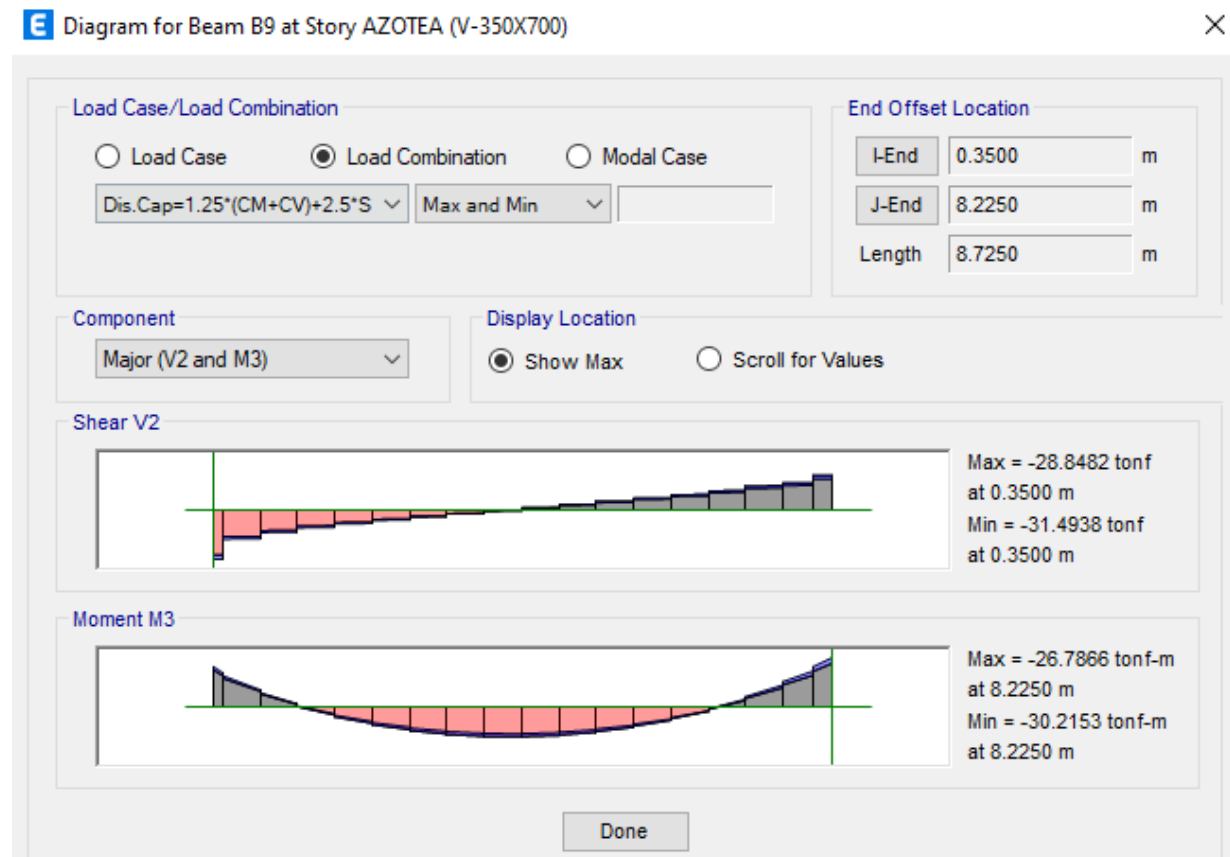
Combinación de carga es 1.25(CM+CV) para diseño por capacidad.



Nota. Elaboración propia.

Figura 164

*Combinación de carga es $1.25(CM+CV)+2.5*SDy$ para diseño por capacidad.*



Nota. Elaboración propia.

Siendo las cortantes respectivas:

$$V_i 1.25(CM+CV) = 30.171 \text{ tf}$$

$$V_d 1.25(CM+CV) = 21.1212 \text{ tf}$$

$$V_{ui} 2.5*Sismo = 31.4938 \text{ tf}$$

$$V_{ud} 2.5*Sismo = 22.3249 \text{ tf}$$

Despejando la fórmula se obtiene el resultado de las cortantes que servirán para el diseño de estribos de la sección:

$$V_{ui}=39.03 \text{ tf} ; V_{ud}=29.07 \text{ tf}$$

4.10.5.1. Diseño de estribos. Los estribos estarán definidos por las cargas calculadas por la capacidad de la sección y a su vez por el diseño propiamente de estribos, donde se tendrá los siguientes datos:

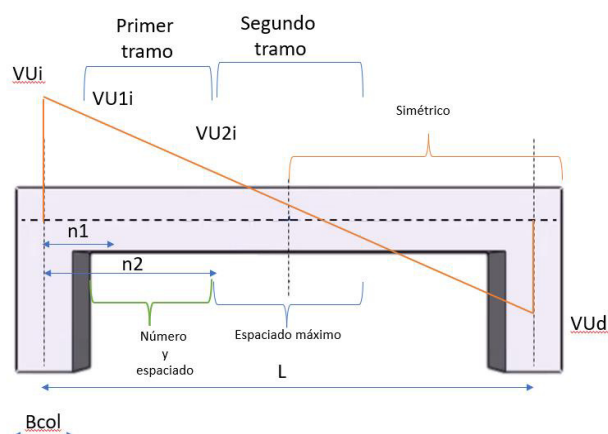
Tabla 24
Parámetros necesarios para el diseño de estribos

Parámetros	Valor	Unidad
V _{ui}	39.026	tf-m
V _{ud}	29.065	tf-m
b _w	35.000	cm
h	70.000	cm
d	63.778	cm
f _c	280.000	kg/cm ²
f _y	4200.000	kg/cm ²
ø(PHI cortante)	0.850	
L	7.525	m
$0.53(f'c)^{0.5}b_w d = V_c$	19796.591	kg
B _{col}	50.000	cm
Ø(dbLong)	1.000	pulg
Ø(dbEstribo)	0.375	pulg

Nota. Elaboración propia.

Se tomará como bosquejo de la sección y de los valores con la figura descrita.

Figura 165
Descripción de viga diseñada por cortante.



Nota. Elaboración propia.

Para el primer tramo se obtendrán las proporciones necesarias para la cortante.

Tabla 25

Datos de primer tramo de cortante de viga analizada (Zona confinada)

Propiedades	Valor	Unidad
2h	140.000	cm
n1	0.888	m
Vui1	30874.977	kg
Vs	16526.911	kg
Av	1.425	cm ²
S1	23.098	cm
Redondeo múltiplo de medición	1.000	
S redondeo	23.000	cm

Nota. Elaboración propia.

Tabla 26

Propiedades de propuesta de distribución por capacidad de cortante

Propiedades	Valor	Unidad
S2(propuesto)	20.000	cm
S2	20.000	cm
Vs	19086.954	kg
Vui2	33051.014	kg
n2	0.649	m

Nota. Elaboración propia.

Para ello se tendrá la distribución correspondiente según esta aplicación, sin embargo, está aún no considera las limitaciones de la norma.

Tabla 27*Distribución de estribos en primer tramo de viga*

Parámetro	Valor	Unidad
Primer estribo	0.05	m
Espaciado	0.23	m
Número (Calculo)	6.09	
Número	7.00	und

Nota. Elaboración propia.

Así mismo, se coloca las mismas referencias para el siguiente tramo.

Tabla 28*Distribución de estribos en segundo tramo de viga*

Parámetro	Valor	Unidad
Espaciado máximo	0.2	m

Nota. Elaboración propia.

Donde se obtiene un valor de armado correspondiente a: 1@0.05m ; 7@0.23m ; R@0.2m Donde no necesariamente corresponde a un armado validado con las limitaciones de la norma. Para ello, se deberá calcular dicha actualización bajos las consideraciones de pórticos intermedios.

Tabla 29*Análisis Resistencia de sección armada inicial sin norma de pórticos intermedios*

Parámetros	Valor	Unidad
Vc	19.797	Tf
ØVc	16.827	Tf
S(final)	23.000	cm
Av.min	0.671	cm ²
Av	1.425	cm ²
Vs(Resistencia con el espaciamiento actual)	16.597	Tf
VR	30.935	Tf

Nota. Elaboración propia.

Se calculará el S_{max} aplicando las consideraciones de la normativa E.060.

Tabla 30

Espaciamiento máximo (S_{max} en zona de confinamiento)

Parámetro	Valor (cm)
$d/4$	15.94
$8 \cdot db_{Long}$	20.32
$24 \cdot db_{Estrib}$	22.86
300mm	30.00
$S_{conf} =$	15.94
Redondeo=	1
$S_{conf}(\text{redond})$	15

Nota. Elaboración propia.

Tabla 31

Espaciamiento máximo (S_{max} en zona de no confinamiento)

Parámetro	Valor (cm)
$d/2$	31.888
S_{noconf}	31.888
Redondeo	1
$S_{noconf}(\text{redond})$	31

Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, se tiene que a su vez revisarse las compatibilidades de la cortante, donde se toma en cuenta que este al tener un valor de $V_u > \phi \cdot V_c$, se estará cumpliendo con la verificación:

Figura 166

Verificaciones de cortante última y cortante del concreto reducida.

RESUMEN DE VERIFICACIONES			
	✓ Si $V_u \leq \phi V_c/2$, entonces no se necesita refuerzo transversal.		Si necesita Refuerzo Transversal
$V_u \leq \phi V_c$	✓ Si $V_u \geq \phi V_c/2$ y $V_u \leq \phi V_c$, se requiere refuerzo transversal mínimo. Donde, $s \leq d/2$ y $s \leq 60$ cm		Necesita más refuerzo transversal que el mínimo
			$39.59318295 = 1.06 (f'c)^{0.5} b_w d$
	✓ Si $V_u \geq \phi V_c$, tenemos:		La cortante última es mayor a la cortante del concreto
$V_u > \phi V_c$	a) Si $V_{sdemanda} \leq 1.06 (f'c)^{0.5} b_w d$, entonces: $s \leq d/2$ ó $s \leq 60$ cm		22 cm
	b) Si $V_{sdemanda} > 1.06 (f'c)^{0.5} b_w d$ y $V_s \leq 2.12 f'c b_w d$, entonces: $s \leq d/4$ ó $s \leq 30$ cm		No cumple este inciso
	✓ $V_{sdemanda} > 2.12 f'c b_w d$, entonces:		No es necesario cambiar la sección

Nota. Elaboración propia.

- a) Si $V_{sdemanda} \leq 1.06 (f'c)^{0.5} b_w d$, entonces: $s \leq d/2$ ó $s \leq 60$ cm

Por lo que el espaciamiento sería 22 cm según cálculo. Para este desarrollo, se tendrá la redistribución, pero ahora considerando la normativa con sus restricciones.

Tabla 32

Distribución de estribos en primer tramo de viga

Parámetro	Valor	Unidad
Primer estribo	0.05	m
Espaciado	0.15	m
Número (Cálculo)	9.33	
Número	10	und

Nota. Elaboración propia.

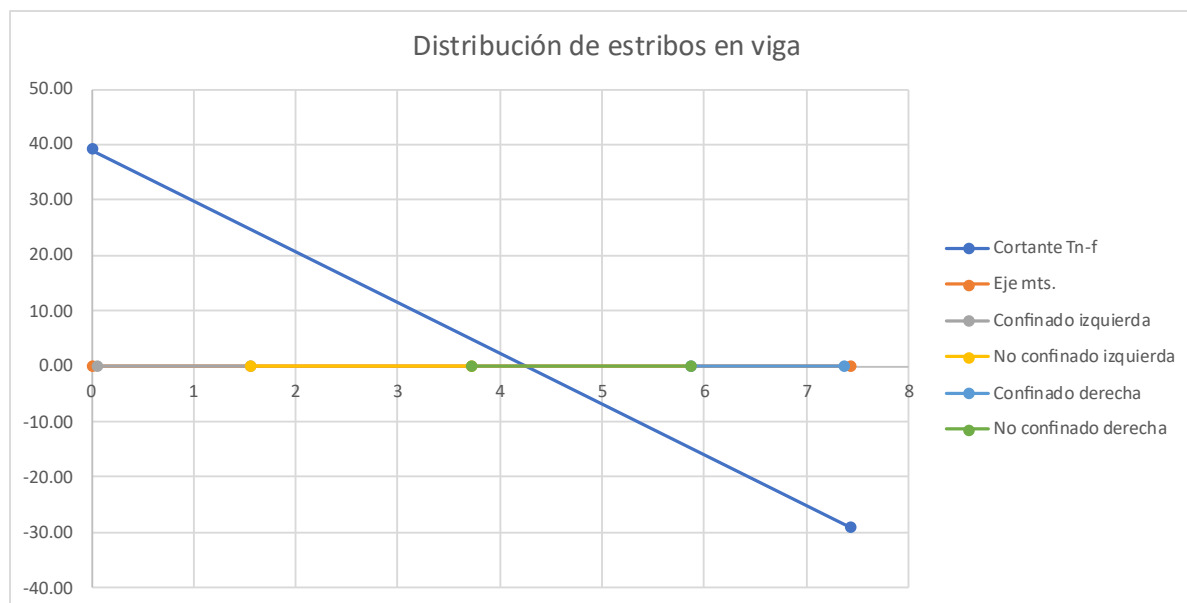
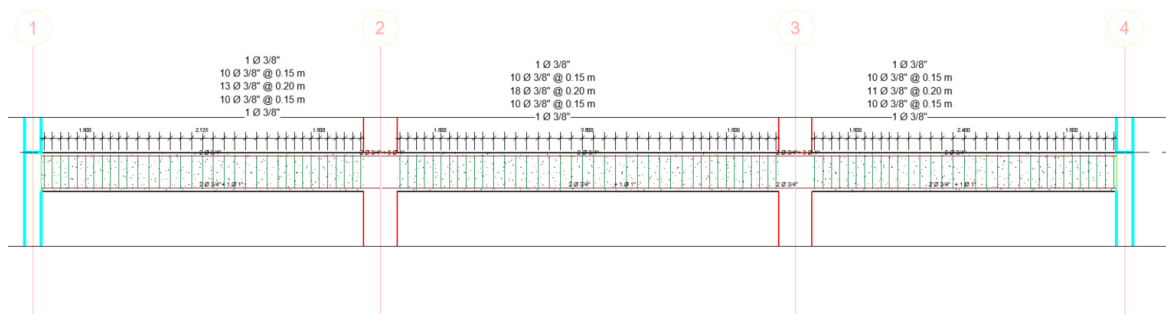
Tabla 33

Distribución de estribos en segundo tramo de viga

Parámetro	Valor	Unidad
Espaciado máximo	0.2	m

Nota. Elaboración propia.

De la cual se contaría con el correcto armado de estribos, siendo este $1@0.05m$; $10@0.15m$; $R@0.20m$., del cual recibirá el mismo tratamiento en el lado simétrico de la viga por sus variables. Se planteo un gráfico con las referencias obtenidas para obtener el bosquejo espacial de los resultados analizados, siendo estos competentes.

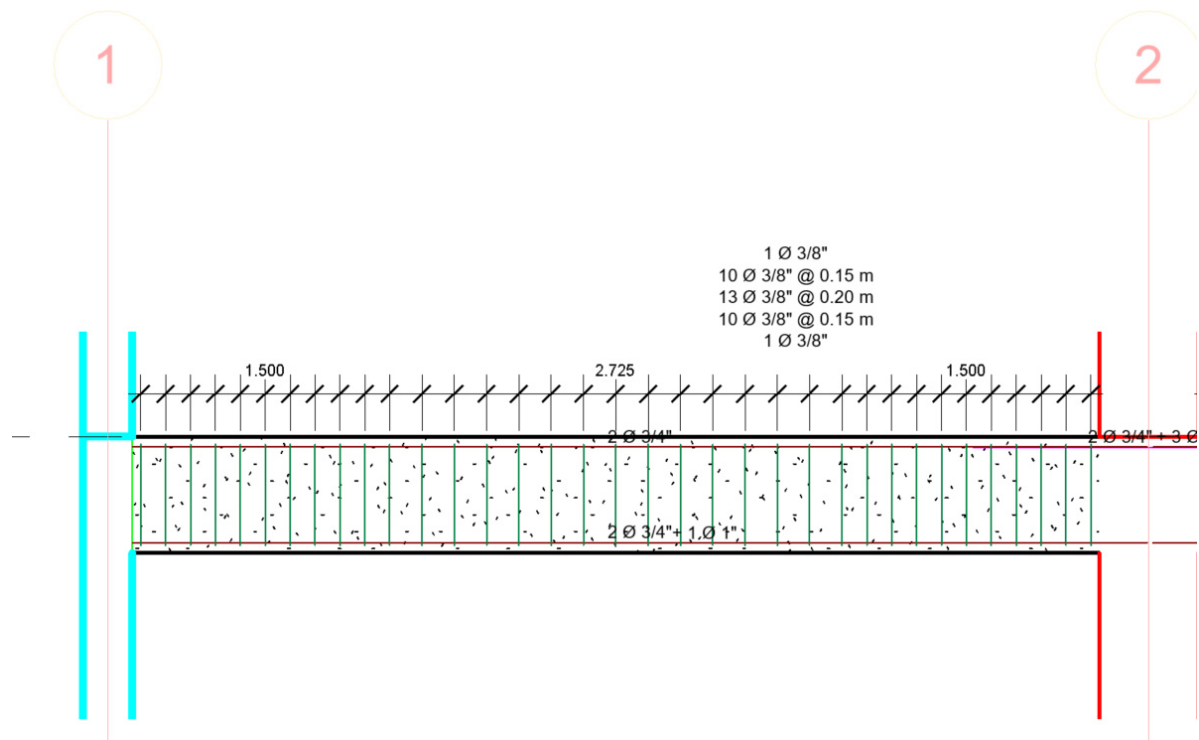
Figura 167*Distribuciones de estribos en viga obtenido del espaciamiento**Nota.* Elaboración propia.**Figura 168***Armado de estribos en Revit de viga**Nota.* Elaboración propia.

4.10.6. Deflexiones en vigas

Se toma anotada las deflexiones según el armado de acero propuesto en el proyecto, siendo:

Figura 169

Armado de acero longitudinal en viga de eje C-C.



Nota. Elaboración propia.

Para las deflexiones aplicadas en la viga se tomará también en cuenta las referencias de deflexiones posibles utilizadas en vigas.

Figura 170

Tabla de deflexiones en vigas simplemente apoyadas.

Tipo de Viga	Pendiente	Deflexión
2.1	$\theta_{AB} = -\frac{q}{24EI}(L^3 - 6Lx^2 + 4x^3)$ $\theta_{max} = \theta_A = -\theta_B = -\frac{qL^3}{24EI}$	$y_{AB} = -\frac{qx}{24EI}(L^3 - 2Lx^2 + x^3)$ $y_{max} = -\frac{5qL^4}{384EI}, \text{ cuando } x = \frac{L}{2}$

Nota. Adaptado de resumen de vigas cargadas (p. 218), por Pytel, A., & Singer, F., 2008, Resistencia de Materiales.

Se tomará como las cargas de servicio referenciadas en el proyecto con la proporción de la inercia efectiva.

Figura 171

Deflexión de viga bajo cargas de servicio.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 34*Cálculo de Inercias efectivas de Viga 35x70 cm²*

Propiedades	Valor	Unidad
Condición	Un extremo continuo	
Ancho de la Viga	35	cm
Peralte de la viga	70	cm
Distancia de fibra externa al centro de la viga	35	cm
Peralte efectivo de la viga	67	cm
Resistencia a la compresión del concreto	280	kgf/cm ²
Módulo de rotura	33.466	kgf/cm ²
Área de acero	8.55	cm ²
Momento actuante 2	19022.7	kgf-m
Momento actuante 3	11352.4	kgf-m
Módulo de elasticidad del acero	2000000	kgf/cm ²
Módulo de elasticidad del concreto	250998.01	kgf/cm ²
Relación de modular	7.968	
Inercia bruta	1000416.7	cm ⁴
Distancia de la zona en compresión	14.32069	cm
Inercia agrietada	223326.8	cm ⁴
Momento de agrietamiento	9565.813	kgf-m
Inercia efectiva 2	322141.25	cm ⁴
Inercia efectiva 3	688242.11	cm ⁴
Inercia efectiva	566208.49	cm ⁴
Porcentaje de inercia agrietada	56.6%	

Nota. Elaboración propia.

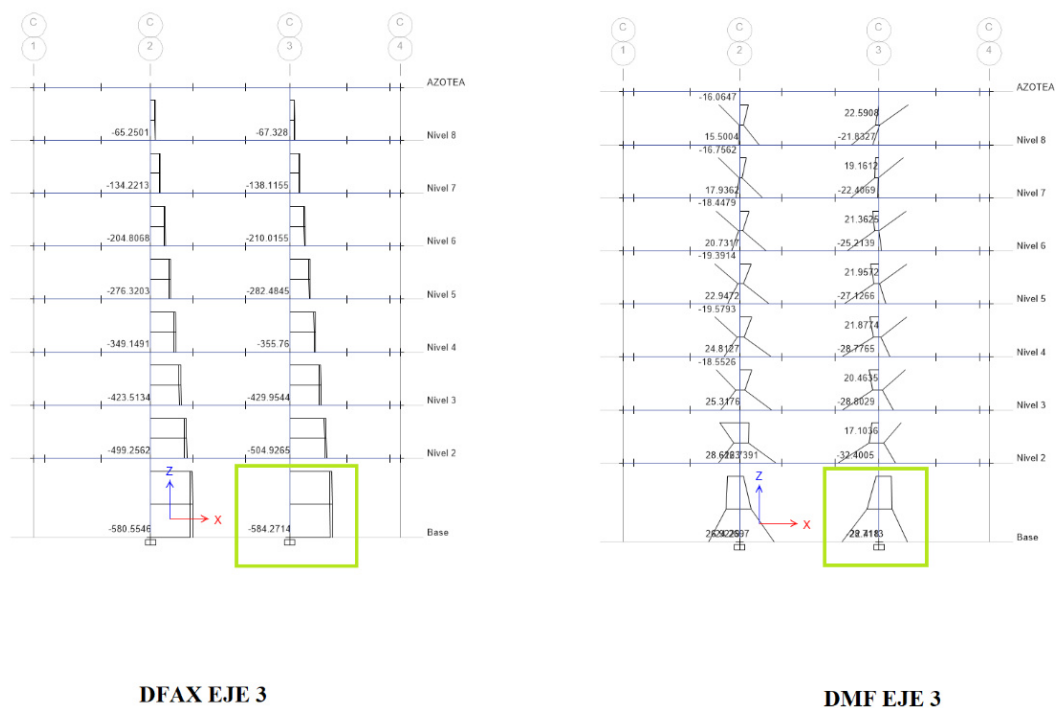
Pudiendo verificar que la inercia efectiva es la diferente que la no agrietada, teniendo el desplazamiento proporcional a esta, siendo $4.189\text{mm}/0.56$, siendo 7.40 mm el desplazamiento, según la norma E.060 se tiene un límite de deflexión $L_n/240$, donde L_n sería la luz libre equivalente a 7.95 metros, por lo que su límite sería de 3 cm .

4.11. Diseño de columnas

La columna a diseñar será representativa por cada sección del caso más crítico debido a cargas, donde la columna seleccionada será.

Figura 172

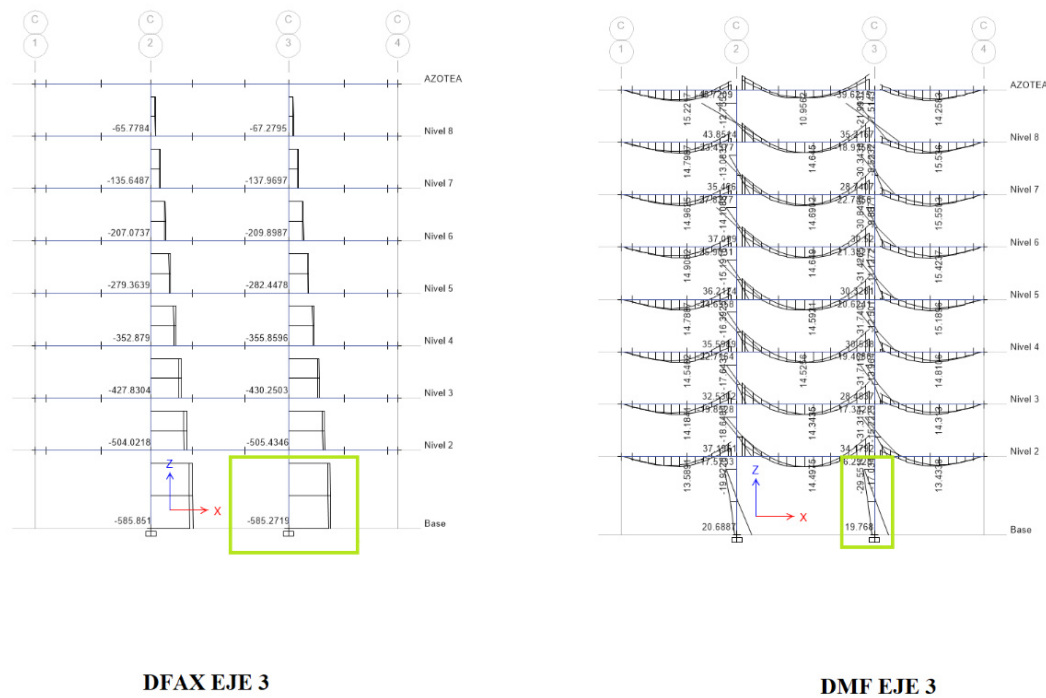
Selección de columna más crítica de sección $60 \times 100 \text{ cm}^2$ mediante comparativo de fuerzas axiales y de momento flector en el eje C con sismo en X.



Nota. Elaboración propia.

Figura 173

Selección de columna más crítica de sección $60 \times 100 \text{ cm}^2$ mediante comparativo de fuerzas axiales y de momento flector en el eje C con sismo en Y.



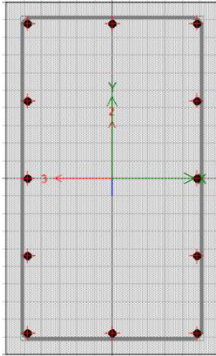
Nota. Elaboración propia.

4.11.1. Análisis de propuesta de armado de columna

Las columnas tomarán como refuerzo longitudinal valores entre el 1% y el 6% del área de la sección (A_g) como indica la normativa. Se tomará de referencia el arreglo de las columnas con el uso de varillas de 1" para el acero longitudinal.

Figura 174

Sección propuesta de columna de columna 60x100 cm²

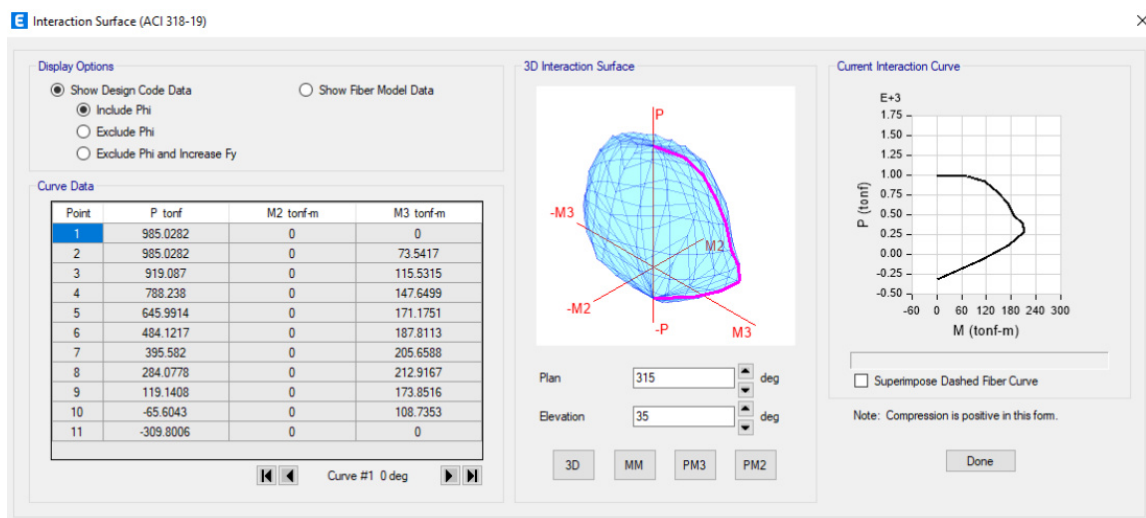


Nota. Elaboración propia.

Esta propuesta busca satisfacer inicialmente la cuantilla mínima de 1%, donde se tiene conformado por varillas de 1" con 81.07cm² de acero y el requerido mínimo sería 60 cm², validándose el mínimo para el diseño y sin superar al 6% de la cuantilla máxima. En el software, mediante el uso de la herramienta de "section designer", se usará la sección crítica evaluada para examinar.

Figura 175

Herramienta de superficie de interacción de columna, mediante el software Etabs de la columna 60x100 cm².



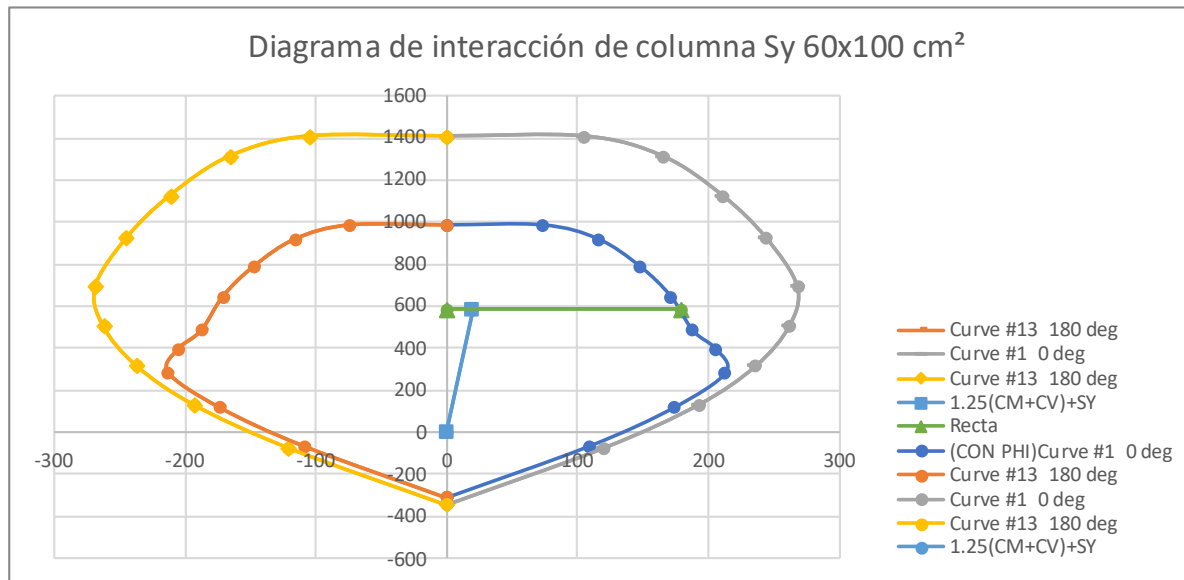
Nota. Elaboración propia.

Donde se aplicará el análisis considerando el PHI de reducción para el diseño, por lo que se analizará en el eje a la carga de la sección (respecto al M3) con el mismo Sy, por lo que

al aplicar la combinación con dirección de sismo Sy para la edificación, se tendrán la combinación de carga de $M_u=19.768 \text{ Tn-m}$ y $P_u=585.2719 \text{ Tn}$.

Figura 176

Diagrama de interacción de columna en dirección Y nivel I de 60X100 cm².



Nota. Elaboración propia.

Donde se puede comprobar que, para esa posición de fuerza axial, este elemento tendría aproximadamente la resistencia nominal de:

Tabla 35

Momento nominal iterado para columna de 60x100cm² de carga 585.2719 Tn en dirección Sy

Carga	Valor	Unidad
Momento nominal	180	Tonf-m
Fuerza (P)	585.271	Tonf
Cortante (Vp)	84.705	Tonf

Nota. Elaboración propia.

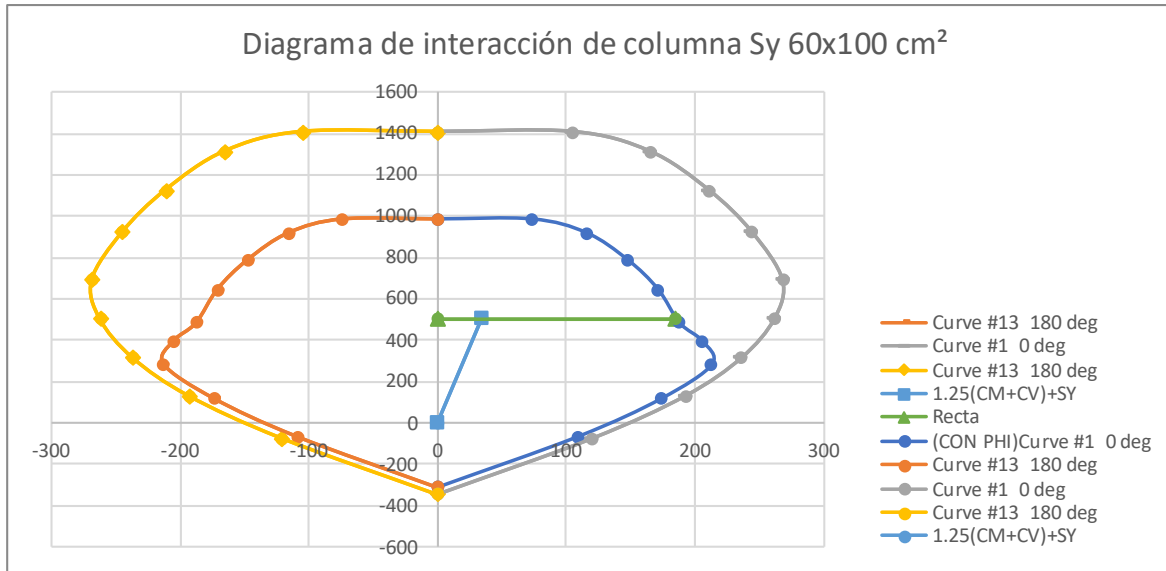
Por lo que al obtener este momento nominal se puede obtener los requerimientos de diseño de cortante para el elemento mediante una cortante y su póstuma verificación en nodo.

$$V_p = \frac{180 + 180}{4.25} = 84.705 \text{ Tn}$$

Así mismo, se podrá indicar el momento nominal que propone la columna superior para hacer el diseño correspondiente respecto al nodo. Para esta columna se tendrán la combinación de carga de $M_u=34.1792 \text{ Tn-m}$ y $P_u=505.4346 \text{ Tn}$.

Figura 177

Diagrama de interacción de columna en dirección Y nivel 2 de 60x100cm².



Nota. Elaboración propia.

Donde se puede comprobar que, para esa posición de fuerza axial, este elemento tendría aproximadamente la resistencia nominal de:

Tabla 36

Momento nominal iterado para columna de 60x100cm² de carga 505.4346 Tn en dirección SY

Carga	Valor	Unidad
Momento nominal	185	Tonf-m
Fuerza (P)	505.434	Tonf
Cortante (Vp)	129.824	Tonf

Nota. Elaboración propia.

Por lo que al obtener este momento nominal se podrá obtener los requerimientos de diseño de cortante para el elemento mediante una cortante y su póstuma verificación en nodo.

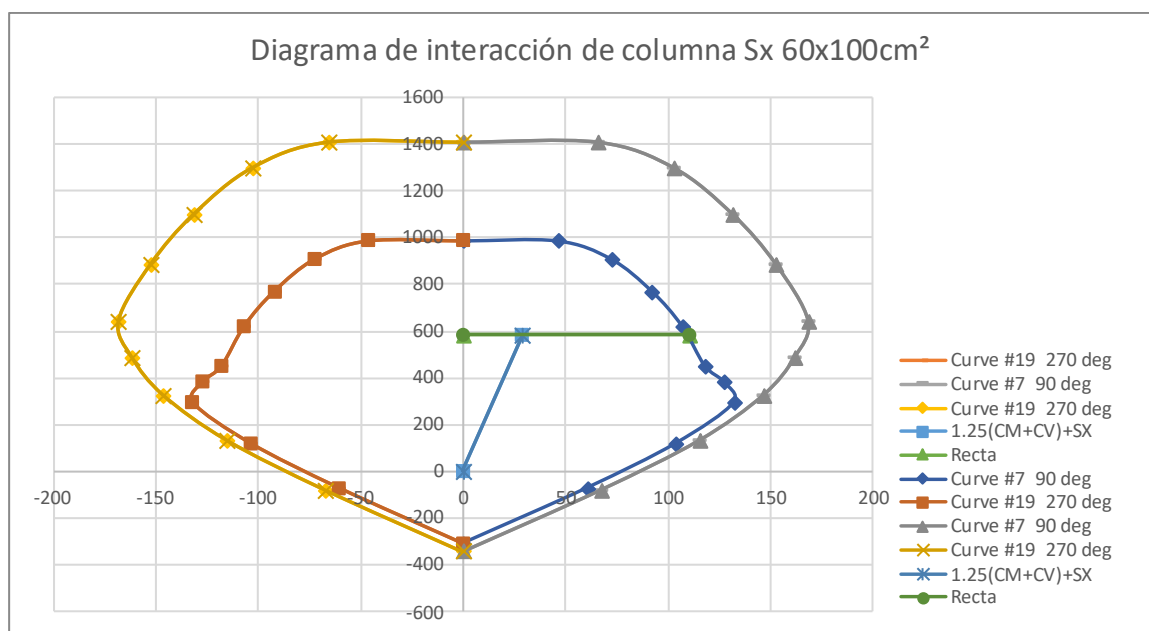
$$V_p = \frac{185 + 185}{2.85} = 129.83 \text{ Tonf}$$

Estos datos servirán para verificar las restricciones Viga débil – nudo fuerte.

Por otro lado, con el mismo S_x , se debe aplicar la combinación con dirección de sismo S_x para la edificación, se tendrán la combinación de carga de $M_u=28.7113 \text{ Tonf-m}$ y $P_u=584.2714 \text{ Tonf}$.

Figura 178

Diagrama de interacción de columna en dirección X nivel I de 60X100 cm².



Nota. Elaboración propia.

Donde se puede comprobar que, para esa posición de fuerza axial, este elemento tendría aproximadamente la resistencia nominal de:

Tabla 37

Momento nominal iterado para columna de 60x100cm² de carga 584.2714 Tn en dirección Sx

Carga	Valor	Unidad
Momento nominal	110	TN-M
Fuerza (P)	584.271	TN
Cortante (Vp)	51.764	TN

Nota. Elaboración propia.

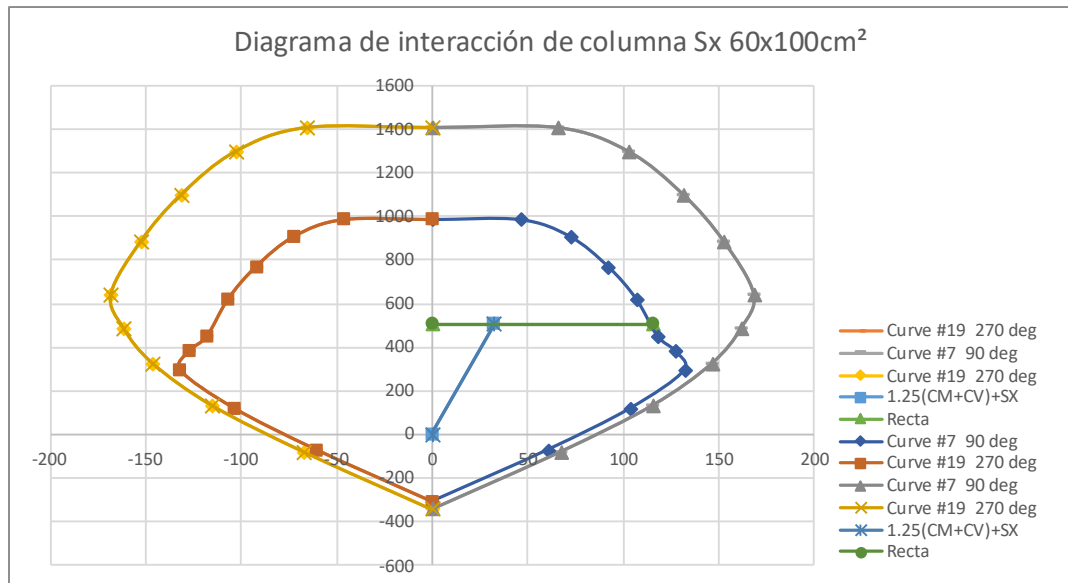
Por lo que al obtener este momento nominal se puede obtener los requerimientos de diseño de cortante para el elemento mediante una cortante y su póstuma verificación en nodo.

$$Vp = \frac{110 + 110}{4.25} = 51.764 \text{ Tonf}$$

Así mismo, se tendrá que indicar el momento nominal que propone la columna superior para hacer el diseño correspondiente respecto al nodo. Para esta columna se tendrán la combinación de carga de Mu=32.4 Tonf-m y Pu=504.9265Tonf-m.

Figura 179

Diagrama de interacción de columna en dirección X nivel 2 de 60x100cm².



Nota. Elaboración propia.

Donde se puede comprobar que, para esa posición de fuerza axial, este elemento tendría aproximadamente la resistencia nominal de:

Tabla 38

Momento nominal iterado para columna de 60x100cm² de carga 504.9265 Tn en dirección Sx

Carga	Valor	Unidad
Momento nominal	115	TN-M
Fuerza (P)	504.926	TN
Cortante (Vp)	80.701	TN

Nota. Elaboración propia.

Por lo que al obtener este momento nominal se puede obtener los requerimientos de diseño de cortante para el elemento mediante una cortante y su póstuma verificación en nodo.

$$V_p = \frac{115 + 115}{2.85} = 80.701 \text{ Tonf}$$

Estos datos servirán para verificar las restricciones Viga débil – nudo fuerte.

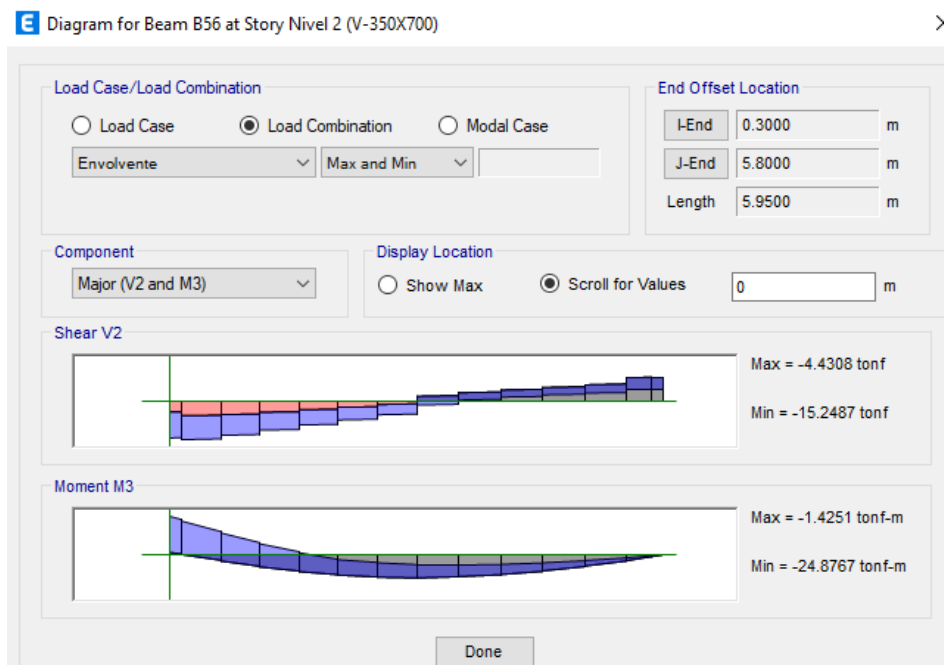
4.11.2. Análisis de nudo

En el nudo se debe considerar la intervención de los momentos de las vigas

4.11.2.1. Momento nominal de nudo en viga derecha. La viga derecha tiene el momento último correspondiente a -24.8767Tonf-m

Figura 180

Diagramas de viga B56 en nivel 2.



Nota. Elaboración propia.

Esta viga debería considerar el acero correspondiente real suficiente para el momento, donde se propone por la necesidad, $2\emptyset 1'' + 1\emptyset 3/4''$ (10.78 cm^2), el cual reproduciría un momento nominal correspondiente a 24.88 Tonf-m.

Figura 181

Momento nominal requerido y propuesto para satisfacer momento último de viga B56.

3.0 ANÁLISIS ESTRUCTURAL			
M_u	24.88 tonf-m	Momento último actuante	
M_n	27.64 tonf-m	Momento nominal	
4.0 DISEÑO ESTRUCTURAL			
Norma	E.060	Elegir para cuantía mínima	
ρ_{min}	0.0028	Cuantía mínima	
ρ_b	0.0283	Cuantía balanceada	
ρ_{max}	0.0213	Cuantía máxima	
A_{sb}	63.25 cm ²		
$A_{s,req}$	10.78 cm ²		



Nota. Elaboración propia.

4.11.2.2. Momento nominal de nodo en viga izquierda. La viga izquierda tiene el momento último correspondiente a 10.2472 Tn-m

Figura 182

Diagramas de viga B54 en nivel 2



Nota. Elaboración propia.

Esta viga debería considerar el acero correspondiente real suficiente para el momento, donde se propone por la necesidad, $2\phi 1'' + 3\phi 3/4''$ (18.72 cm^2), el cual reproduciría un momento nominal correspondiente a 41.79 Tonf-m.

Figura 183

Momento nominal requerido y propuesto para satisfacer momento último de viga B54.

3.0 ANÁLISIS ESTRUCTURAL			
M_u	40.04 tonf-m	Momento último actual	
M_n	44.49 tonf-m	Momento nominal	
4.0 DISEÑO ESTRUCTURAL			
Norma	E.060	Elegir para cuantía mínima	
ρ_{min}	0.0028	Cuantía mínima	
ρ_b	0.0283	Cuantía balanceada	
ρ_{max}	0.0213	Cuantía máxima	
A_{sb}	63.25 cm^2		
$A_{s,req}$	17.87 cm^2		



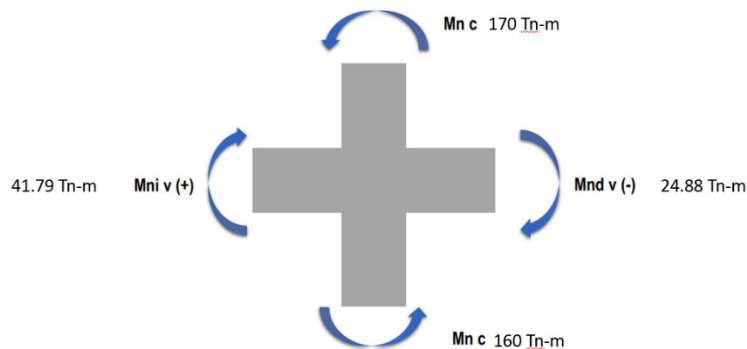
3.0 ANÁLISIS ESTRUCTURAL			
M_u	41.79 tonf-m	Momento último actual	
M_n	46.43 tonf-m	Momento nominal	
4.0 DISEÑO ESTRUCTURAL			
Norma	E.060	Elegir para cuantía mínima	
ρ_{min}	0.0028	Cuantía mínima	
ρ_b	0.0283	Cuantía balanceada	
ρ_{max}	0.0213	Cuantía máxima	
A_{sb}	63.25 cm^2		
$A_{s,req}$	18.72 cm^2		

Nota. Elaboración propia.

4.11.2.3. Verificación Viga débil – columna fuerte. Para este diseño se estará aplicando la siguiente representación (se aplica esta comprobación a pesar de no ser obligatoria por ser se sistema de muros de concreto armado):

Figura 184

Momentos nominales y verificación Viga débil - columna fuerte.



Nota. Elaboración propia.

Donde aplicando la configuración de cargas, se podrá saber que

$$V_{u,col} = \frac{M_{ni} + M_{nd}}{H} = \frac{41.79 + 24.88}{4.25} = 15.687 \text{ tn}$$

$$V_u \text{ en el plano } xx = 1.25 f_y (A_{s1} + A_{s2}) - V_{col}$$

$$Vu \text{ en el plano } xx = 1.25 * 4.2 * (10.78 + 18.72) - V_{u,col} = 139.188 \text{ Tn}$$

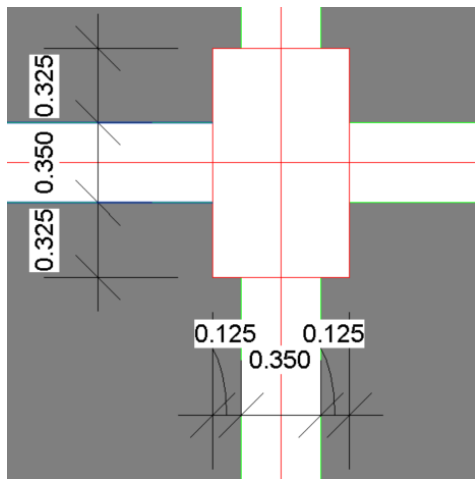
Donde se verá que la fuerza última sería:

- Para nudos confinados en tres caras o en dos
 - Caras opuestas: $4.0\sqrt{f'c}A_j$ [kgf,cm]
 - Para otros casos: $3.2\sqrt{f'c}A_j$ [kgf,cm]

Donde se tendrá que:

Figura 185

Nudo de encuentro con vigas en eje 3-3 y C-C.



Nota. Elaboración propia.

$$A_j = 60 * 100 = 6000 \text{ cm}^2$$

$$\phi V_c = 0.85 * ((3.2) * 280^{0.5} * 6000 / 1000) = 273.086 \text{ Tonf}$$

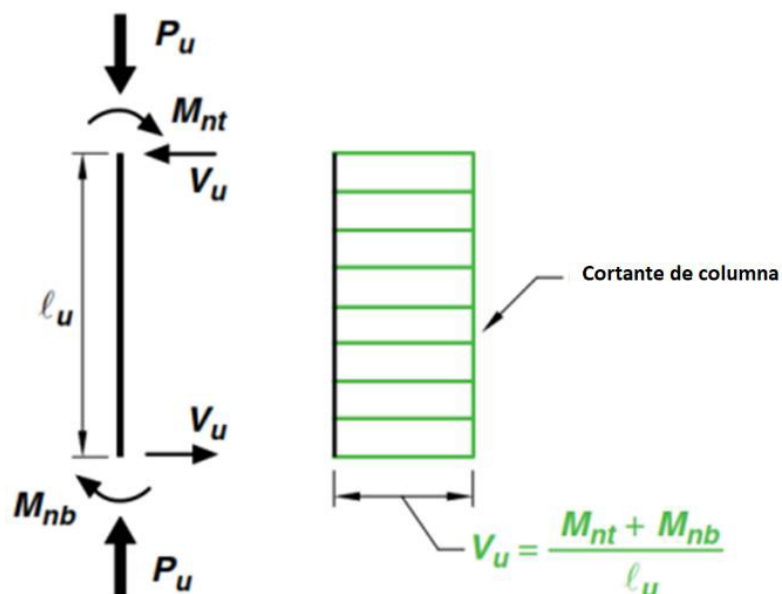
$$\text{Donde } \phi V_c = 273.085 \text{ Tn} > 139.188 \text{ Tonf}$$

4.11.3. Diseño de cortante de columna

El cortante máximo obtenido de las combinaciones de carga de diseño que tome la columna debe tomar en cuenta el desglose correspondiente:

Figura 186

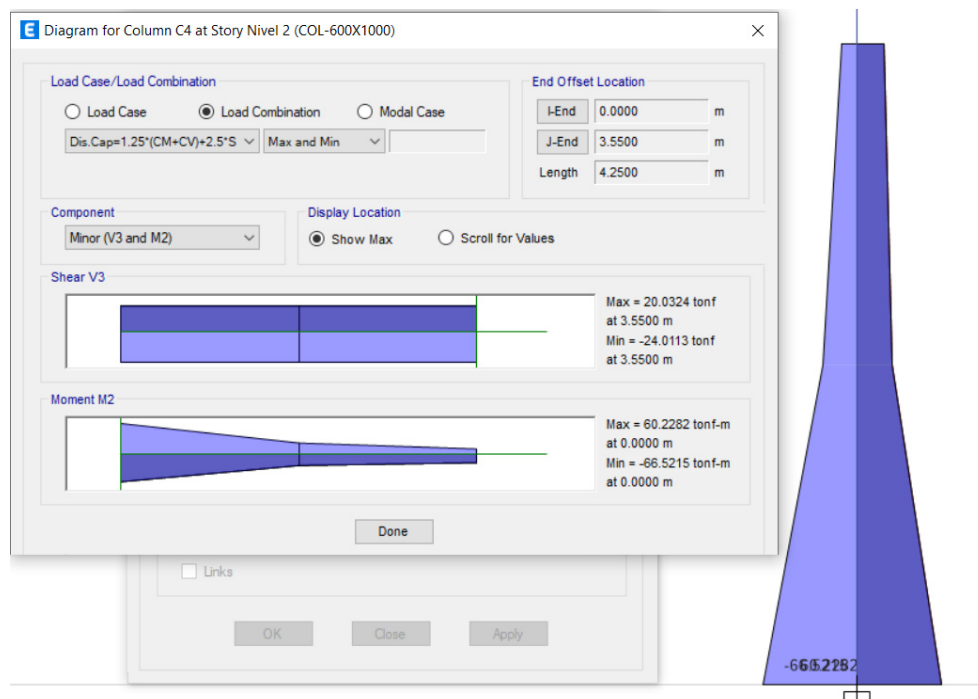
Diseño de pórticos intermedios por cortante.



Nota. Elaboración propia.

Figura 187

Diagramas de columna C4 en nivel 2



Nota. Elaboración propia.

El valor de la cortante será considerando su capacidad de la sección respecto a los momentos nominales del elemento (el cual debe ser mayor a la cortante obtenida amplificada 24.0113 Tn), teniendo el momento nominal en el elemento 110 Tn-m y a su vez una fuerza de compresión axial de 597.463 Tn.

$$V_u = \frac{M_u^L + M_u^R}{H} = \frac{1.25 * 110 + 1.25 * 110}{4.25} = 64.706 \text{ Tonf.}$$

Debido a estos resultados se calculará el diseño de estribos para las exigencias de la columna.

Tabla 39

Datos para diseño de estribos en columnas

Propiedad	Valor	Unidad
Mn	110	Tonf-m
Mpr	137.5	Tonf-m
Vui	127.906	Tonf
Vud	127.906	Tonf
bw	100	cm
h	60	cm
Rec	4	cm
d	53.78	cm
f _c	280.00	kgf/cm ²
f _y	4200.00	kgf/cm ²
Ag	6000.00	cm ²
Nu (Fuerza axial)	504.93	Tonf
ø(PHI cortante)	0.85	
L	2.15	m
$0.53(f'c)^{0.5}bw*d*(1+N_u/(140*Ag))=V_c$	76361.554	kgf
Bvig	30	cm
Ø(dbLong)	1	pulg
Ø(dbEstribo)	3/8	pulg

Nota. Elaboración propia.

Tabla 40*Espaciamiento de estribos mínimos por disposiciones sísmicas en columnas*

Característica de zona de columna	Requerimiento	Longitud (cm)
Smax (zona de confinamiento)	8*dbLong	20.32
	h/2 ó b/2	30
	100mm	10
La longitud Lo (zona de confinamiento)	1/6(Luz libre)	30.833
	Max dimensión sección	100
	100mm	10
	Sconf	10
	Redondeo	1
	Sconf(redond)	10
	Lo	100
Smax (zona de no confinamiento)	d/2	26.888
	300mm	30
	SnoConf	26.888
	Redondeo	1
	SnoConf(redond)	26

Nota. Elaboración propia.

Figura 188*Verificación de estribos mínimas.*

RESUMEN DE VERIFICACIONES			
	✓ Si $V_u \leq \phi V_c/2$, entonces no se necesita refuerzo transversal.	Si necesita Refuerzo Transversal	
$V_u \leq \phi V_c$	✓ Si $V_u \geq \phi V_c/2$ y $V_u \leq \phi V_c$, se requiere refuerzo transversal mínimo. Donde, $s \leq d/2$ y $s \leq 60$ cm	Se requiere refuerzo transversal mínimo 26.38875 cm	
		178.0865761	$= 1.06 (f'c)^{0.5} bw d$
	✓ Si $V_u \geq \phi V_c$, tenemos:	La cortante del concreto es superior, revisar arriba	
$V_u > \phi V_c$	a) Si $V_{s\text{demanda}} \leq 1.06 (f'c)^{0.5} bw d$, entonces: $s \leq d/2$ ó $s \leq 60$ cm	26.38875	cm
	b) Si $V_{s\text{demanda}} > 1.06 (f'c)^{0.5} bw d$ y $V_s \leq 2.12 f'c bw d$, entonces: $s \leq d/4$ ó $s \leq 30$ cm	No cumple este inciso	
	✓ $V_{s\text{demanda}} > 2.12 f'c bw d$, entonces:	No es necesario cambiar la sección	

Nota. Elaboración propia.**Tabla 41***Distribución de estribos en columnas*

Zona	Distribución	Espacio (cm)	Unidad
Primer tramo (Número y espaciado)	Primer estribo	0.05	m
	Espaciado	0.10	m
	Número (Calculo)	10	
	Número	10	
Siguiente tramo (espaciado máximo)	Siguiente tramo (espaciado máximo)	0.26	m

Nota. Elaboración propia.

Donde se tendría el armado de acero para la columna igual a $1@0.05\text{m}$; $10@0.1\text{m}$; $R@0.26\text{m}$, satisfaciendo los requerimientos por cortante especificados.

4.11.4. Refuerzo transversal de columnas

Ante los requerimientos de la norma E.060, se tomará el cálculo respectivo para poder añadir los ganchos correspondientes que confinen a los elementos de la armadura.

Tabla 42*Refuerzo transversal de elementos verticales*

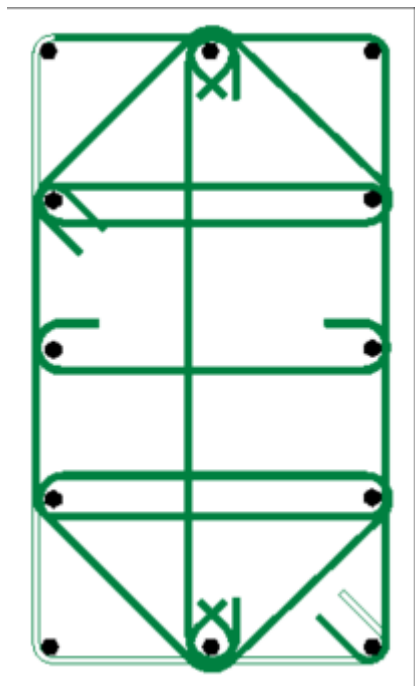
Dirección	Propiedad	Valor	Unidad
General	f _c	280	kg/cm ²
	f _y	4200	kg/cm ²
	b _c	100	cm
	L _c	60	cm
	Se _b	10	cm
Dirección Transversal	Ø _{est.eb}	3/8	in
	rec	4	cm
	A _{gi}	6000	cm ²
	L _{ci}	52	cm
	b _{ci}	92	cm
	A _{ch}	4784	cm ²
	A _{sht}	3.12	cm ²
	nest.eb.t	4.379	Und
Dirección Longitudinal	Ø _{est.eb}	3/8	in
	A _{sht}	5.52	cm ²
	nest.eb.L	7.747	Und

Nota. Elaboración propia.

Por lo que la propuesta brindada se tomará en referencia a la columna con los aceros de 3/8". Cabe destacar que se colocará el acero necesario, por lo que, en caso de elementos en diagonal, este se puede aproximar con el ángulo correspondiente según la necesidad transversal (4.379 o 5 unidades) y la longitudinal (7.747 u 8 unidades).

Figura 189

Refuerzo transversal de columna de concreto armado 60x100 cm.



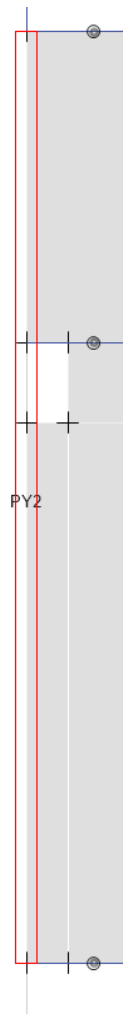
Nota. Elaboración propia.

4.12. Diseño de muros de concreto armado

Los muros de concreto armado se definen por su proporción ancho-largo, del cual tendrá refuerzo tanto transversal como longitudinal, pudiendo tener según la necesidad elementos de borde. Se analizará la siguiente distribución.

Figura 190

Muro de concreto armado en el eje 1 entre los ejes B y D en el software ETABS.



Nota. Elaboración propia.

4.12.1. Verificación de doble malla

Se verifica el refuerzo en dos capas sí:

- $V_u > 0.53(f'c)^{0.5} A_{cv}$ (ACI 318-19 y Propuesta E.060-20)
 - $V_u > 0.53 \cdot 280^{0.5} \cdot (13100 \cdot 30) / 1000 = 1742.679 \text{ Tnf}$
- Si: $e \geq 20 \text{ cm}$ (Propuesta E.060-2019)
 - $e = 30 \text{ cm} \rightarrow$ Sí requiere
- $h/L > 2.0$
 - $h/L = 24.2 / 13.1 = 1.847 > 2.0 \rightarrow$ No requiere

En conclusión, por el ancho propuesto en la dirección indicada, sí requiere.

4.12.2. Obtener cuantía mínima vertical y horizontal

Se tomará en cuenta que la cuantilla mínima según la norma es E.060 es 0.0020, pero conservadoramente para mantener uniformidad se utilizará 0.0025:

Considerando Ø3/4" en 2 capas: $A_v = 2 * 1.27 = 2.54 \text{ cm}^2$

$$\rho = A_{sv} / (A_{cv}) \rightarrow 0.0025 = 2.54 / (30 * s)$$

$$S = 33.87 \text{ cm} \rightarrow S = 0.30 \text{ m}$$

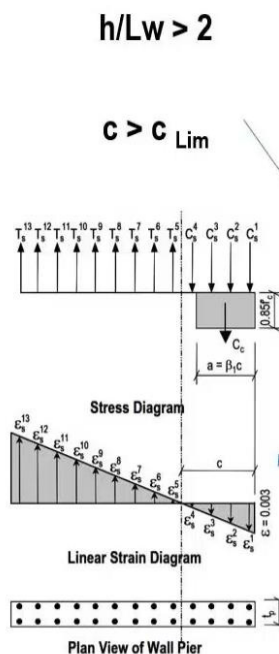
Por lo que se tendrá como propuesta inicial mínima de diseño acero de Ø1/2" @ 0.30m en la doble malla.

4.12.3. Verificación de elementos de borde.

Los elementos de borde se basan por criterio inicial en placas de concreto armado donde aparezca flexión o donde aparezca más del 20% de la resistencia del concreto en compresión.

Figura 191

Diagrama de análisis de sección de muros estructurales.



Nota. Elaboración propia.

Se usará refuerzo de 1" en la sección de los elementos de borde, la cual será aplicada.

Figura 192

Consideraciones de preferencias en diseño de muros de concreto.

E Shear Wall Design Preferences for ACI 318-19 ×

	Item	Value
► 01	Design Code	ACI 318-19
02	Multi-Response Case Design	Step-by-Step - All
03	Rebar Material	Rebar
04	Rebar Shear Material	Rebar
05	Design System Rho	1
06	Design System Sds	0.5
07	Importance Factor	1
08	System Cd	5.5
09	Wall Ductility Type	Special Structural Wall
10	Phi (Tension Controlled)	0.9
11	Phi (Compression Controlled)	0.7
12	Phi (Shear and/or Torsion)	0.85
13	Phi (Shear Seismic)	0.85
14	Pmax Factor	0.8
15	Number of Curves	24
16	Number of Points	11
17	Edge Design PT-Max	0.06
18	Edge Design PC-Max	0.04

Item Description
The selected design code. Subsequent design is based on this selected code.

Explanation of Color Coding for Values
Blue: Default Value
Black: Not a Default Value
Red: Value that has changed during the current session

Set To Default Values

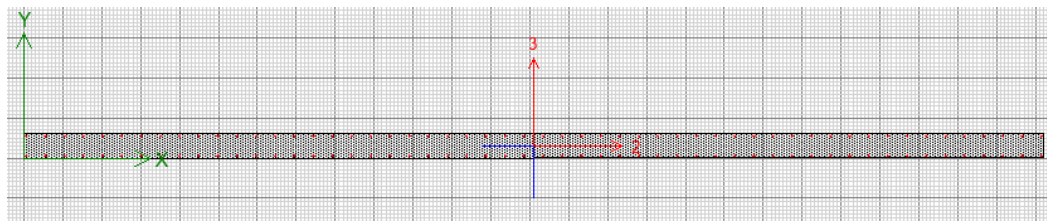
Reset To Previous Values

Nota. Elaboración propia.

El muro analizado tomará la referencia de las columnas aledañas para el diseño de la sección. Para ello se basará la sección como elemento PIER tanto para el muro.

Figura 193

Muro de concreto armado en PIER propuesta en diseño de estructura en ETABS.

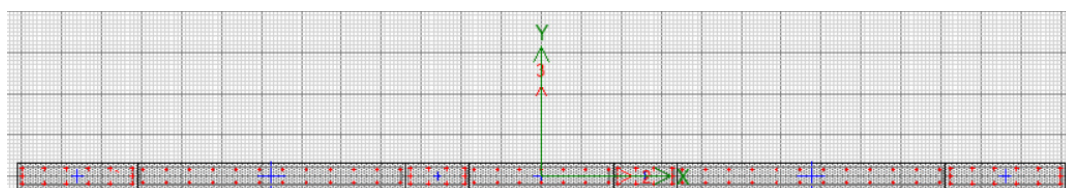


Nota. Elaboración propia.

Para luego poder definir la sección PIER con los requerimientos propuestos y satisfaciendo que la columna tenga una cuantía de acero de por lo menos el 1% de su sección.

Figura 194

Placa en PIER propuesta en diseño de estructura en ETABS.



Nota. Elaboración propia.

Teniendo definido las características de acero en la columna y las placas, se procederá a analizar el chequeo del elemento propuesto a través de la herramienta de diseño.

Figura 195

Chequeo de elementos de borde a través de informe de ETABS.

Boundary Element Check (ACI 18.10.6.3, 18.10.6.4)									
Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u tonf	M _u tonf-m	Stress Comp tonf/m ²	Stress Limit tonf/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	1.43537	Dis.Cap=1.25*(CM+CV)+2.5*SDy (Ro=6)	747.4684	-7806.5672	1100	562.46	2.74537	2.91111
Top-Right	Leg 1	1.43537	Dis.Cap=1.25*(CM+CV)+2.5*SDy (Ro=6)	747.4684	7136.0459	1021.85	562.46	2.74537	2.91111
Bottom-Left	Leg 1	1.50765	Dis.Cap=1.25*(CM+CV)+2.5*SDy (Ro=6)	797.5759	-10278.2317	1400.8	562.46	2.81765	2.91111
Bottom-Right	Leg 1	1.50765	Dis.Cap=1.25*(CM+CV)+2.5*SDy (Ro=6)	797.5759	9583.5542	1319.84	562.46	2.81765	2.91111

Nota. Elaboración propia.

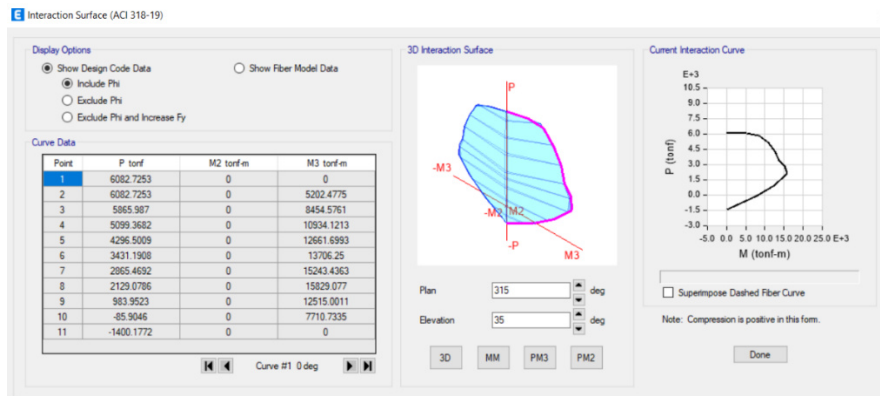
Al verificar dicha dimensión, indica que el elemento de borde se desarrolla en la izquierda a 1.435 m y a 1.508 m.

4.12.4. Análisis de propuesta de armado de muro de concreto armado

El muro de concreto propuesto tiene la siguiente representación del diagrama de interacción.

Figura 196

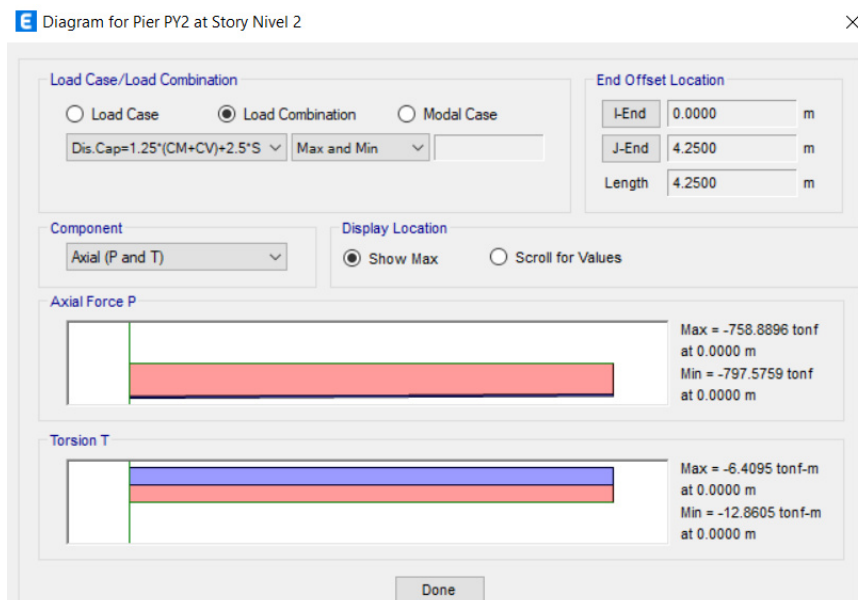
Herramienta de superficie de interacción de columna, mediante el software Etabs de muro de concreto armado.



Nota. Elaboración propia.

Figura 197

Diagramas de fuerza axial en muro de concreto armado.

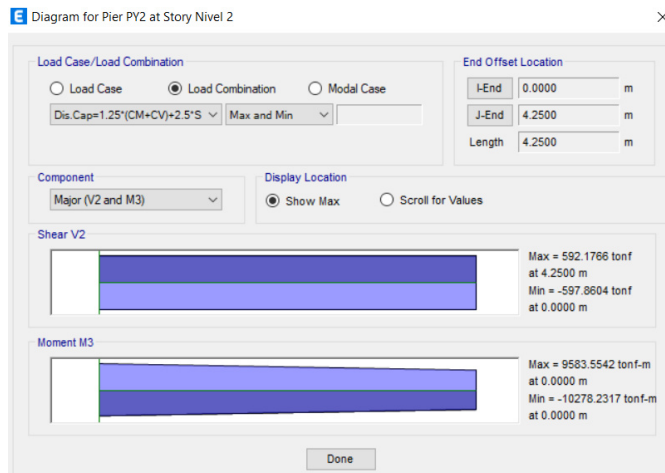


Nota. Elaboración propia.

Pudiendo verificar la fuerza axial de -758.889 Tnf

Figura 198

Diagramas de momentos y fuerza cortante en muro de concreto armado.

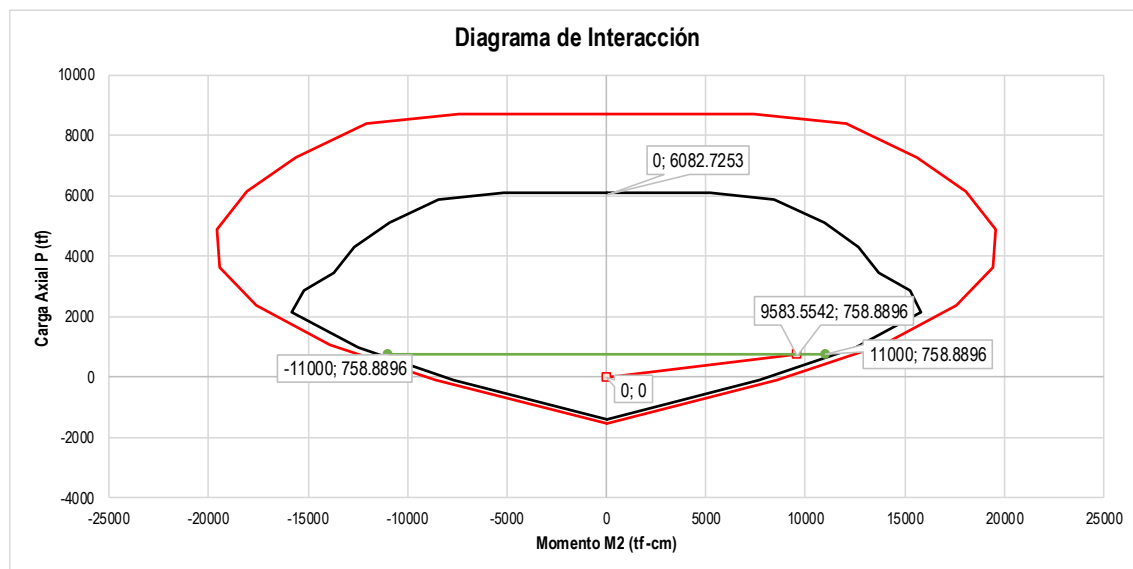


Nota. Elaboración propia.

Pudiendo revisar el momento 9583.554 Tn-m y 10278.231 Tnf, donde se podrá verificar su momento nominal requerido.

Figura 199

Diagrama de interacción de muro de concreto armado en dirección PDY.



Nota. Elaboración propia.

4.12.5. Diseño de cortante de muro de concreto armado

La verificación del muro de concreto armado se da por la siguiente intervención:

Tabla 43*Verificación de cálculos de cortante de muro de concreto armado*

Análisis	Propiedad	Valor	Unidad
Datos del muro de CA	bw	30	cm
	h	3380	cm
	lw	13100	cm
	Rzo Hz	5/8"	
	N mallas	2	
	Esp Rzo.Hz.	30	cm
	pt	0.0044	
	ac	0.8	
	fy	4200	kgf/cm ²
	f'c	280	kgf/cm ²
	Acv	393000	cm ²
Verificación de cortante	Vn	12523.56	Tonf
	Vn max	13941.43	Tonf
	fVn	10645.02	Tonf
Factor de amplificación por diseño por capacidad	Ro	6	
	Mn/Mua	1.199	
	FA	1.199	
	Vua	597.86	Tonf
	Vu	717.415	Tonf

Nota. Elaboración propia.

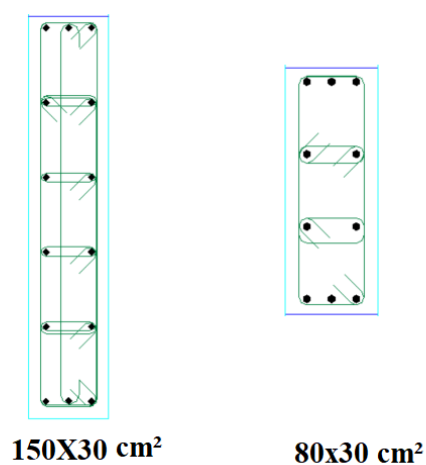
En la verificación de la cortante, se puede apreciar que ambos valores están correctamente dentro de los límites que ofrece la sección ($V_{nmax} > V_n$ y $\phi V_n > V_u$), pudiendo anotar que tiene cumplimiento de la verificación de la cortante en el proyecto. Por otro lado, se debe considerar que el elemento de borde también debe tener su anclaje representativo según lo requerido por normativa E.060, por lo tanto, se hará el cálculo.

Tabla 44*Elementos transversales y longitudinales en elementos de borde*

Dirección	Propiedad	Valor	Unidad
General	f _c	280	kg/cm ²
	f _y	4200	kg/cm ²
	b _c	30	cm
	L _c	80	cm
	Se _b	10	cm
Dirección Transversal	Ø _{est.eb}	3/8	in
	rec	4	cm
	A _{gi}	3600	cm ²
	L _{ci}	52	cm
	b _{ci}	52	cm
	A _{ch}	2704	cm ²
	A _{sht}	3.446	cm ²
	nest.eb.t	4.836	Und
Dirección Longitudinal	Ø _{est.eb}	3/8	in
	A _{sht}	3.446	cm ²
	nest.eb.L	4.836	Und

Nota. Elaboración propia.

Teniendo el armado de los elementos con las varillas longitudinal es de 1" y los estribos de 3/8" de borde siguiente:

Figura 200*Bosquejo de armado de estribos de elemento de borde en Revit**Nota.* Elaboración propia.

4.13. Diseño de losas

En el diseño de la losa aligerada se tomará en cuenta el uso de la herramienta “Strip” para poder analizar los esfuerzos de las losas plasmadas en el modelo de ETABS.

4.13.1. Diseño por flexión

Este trazo tomará en cuenta las configuraciones longitudinales variables y críticas de tramo separándolo en las 2 capas, siendo “A” para horizontales y “B” para verticales.

Figura 201

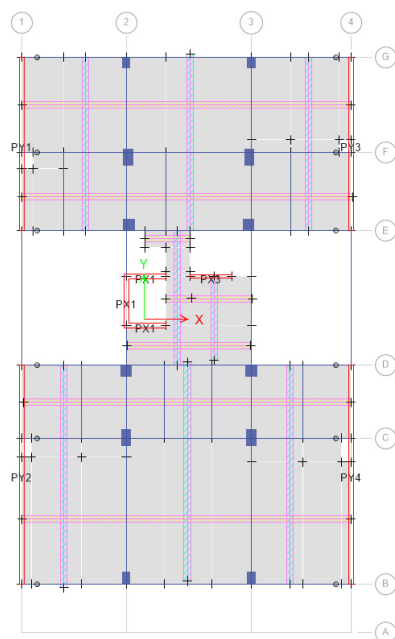
Propiedades de la franja STRIP.

Properties of Object	
Type of Object	Strip
Strip Layer	B
Strip Design Type	Middle Strip
Start Width Left, cm	20
Start Width Right, cm	20
End Width Left, cm	20
End Width Right, cm	20

Nota. Elaboración propia.

Figura 202

Trazo de líneas de STRIP en planta.

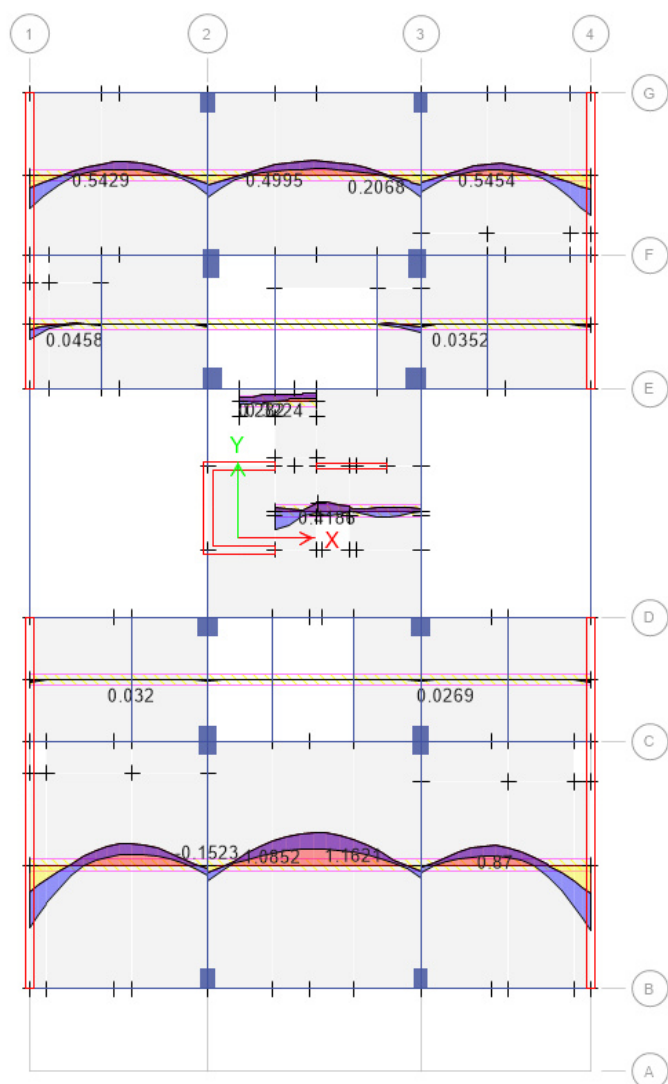


Nota. Elaboración propia.

En este análisis de losas se puede usar la configuración de la envolvente de las combinaciones de cargas.

Figura 203

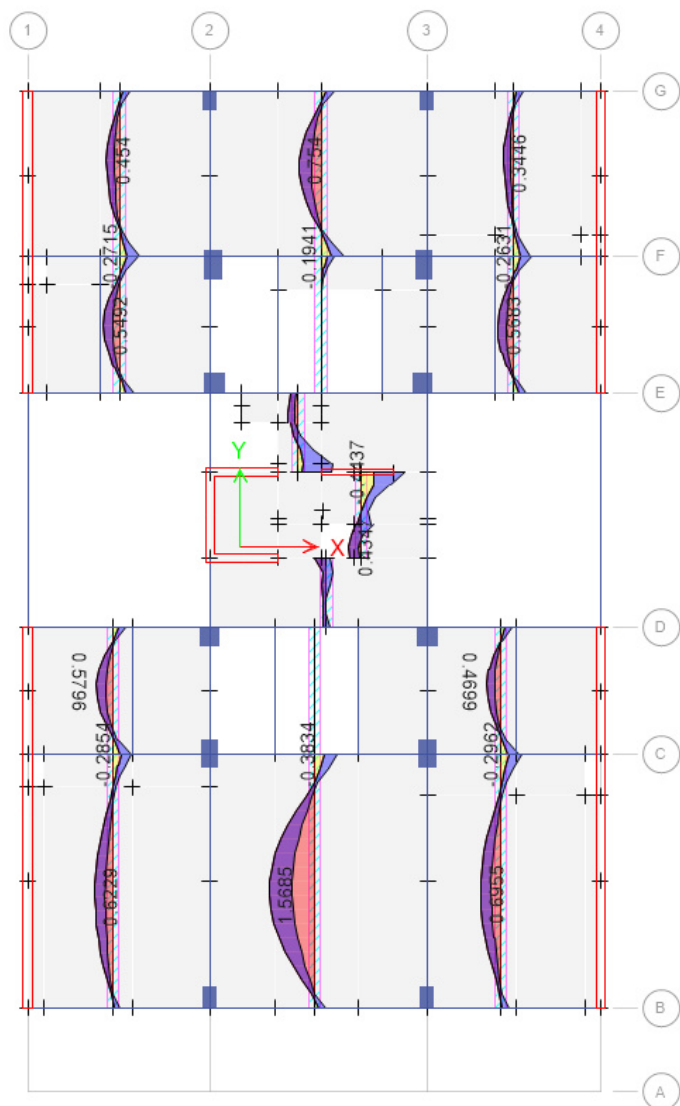
Análisis de franjas STRIP horizontales para losas en la planta del Azotea.



Nota. Elaboración propia.

Figura 204

Análisis de franjas STRIP verticales para losas en la planta de la azotea.



Nota. Elaboración propia.

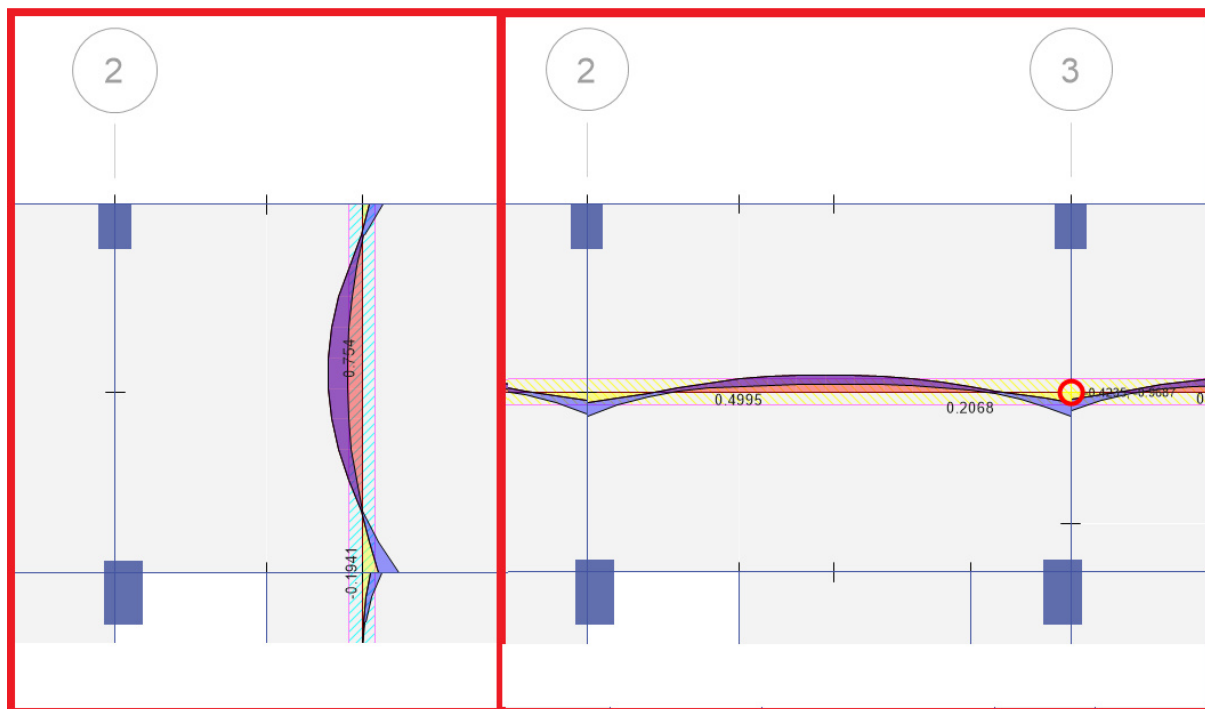
De estas se analizará una de las más grandes que se encuentran en el primer paño, verificando las más críticas en ambos sentidos. Se propondrá el trazo de la vertical cuyo momento positivo es 1.5685 Tnf-m en la losa maciza.

Tabla 45*Diseño de acero en losa maciza*

Propiedades	Valor	Unidad
f_c	280	kgf/cm ²
f_y	4200	kgf/cm ²
ϕ_b	0.9	
β_1	0.85	
b	40	cm
h	25	cm
d	22	cm
M_{u-}	0.40	Tonf-m
M_{u+}	1.57	Tonf-m
V_u	0.86	Tonf
ρ_{min}	0.0018	
ρ_b	0.0283	
ρ_{max}	0.0213	
A_{sreq}	1.92	cm ²
ϕ	1/2"+3/8"	cm ²
Esp_{req}	41.60	cm
Esp_{prop}	40	cm
A_{sprop}	2.00	cm ²
Tipo de enmallado	1	mallas
A_{min}	1.8	cm ²
A_{smin}	1.80	cm ²
V_c (Verificación de cortante)	8.585	Tonf
ϕV_c (Verificación de cortante)	7.297	Tonf

Nota. Elaborado propia.

Donde se propondrá en este caso 1 varillas de 1/2" y 3/8" como refuerzo positivo y se propondrá 5/8" de refuerzo al negativo. validando su configuración de anclaje verificando el cumplimiento de A_{sprop} superando al necesario y al A_{smin} .

Figura 205*Diagrama de momentos de losa aligerada bidireccional**Nota.* Elaboración propia.

Respecto al desarrollo de la losa aligerada bidireccional se cuenta con el momento nominal 0.754 en el requerimiento positivo y 0.9687 en el requerimiento negativo.

Tabla 46*Diseño de acero en losa aligerada*

Propiedades	Valor	Unidad
f_c	280	kgf/cm ²
f_y	4200	kgf/cm ²
ϕ_b	0.9	
β_1	0.85	
b	10	cm
h	25	cm
rec	2	cm
ϕ_{long}	1/2	in
#capas	2	
r	4.52	cm
d	20.48	cm
M_{u+}	0.969	Tonf-m
M_{u-}	0.40	Tonf-m
ρ_{min}	0.0033	
ρ_b	0.0283	
ρ_{max}	0.0213	
A_{sb}	5.80	cm ²
A_{s-req}	1.33	cm ²
Condición 01	1.77	cm ²
Condición 02	0.68	cm ²
A_{smin}	0.68	cm ²
A_{smax}	4.35	cm ²
n	2	

Nota. Elaboración propia.**Tabla 47***Verificación a corte en losa aligerada*

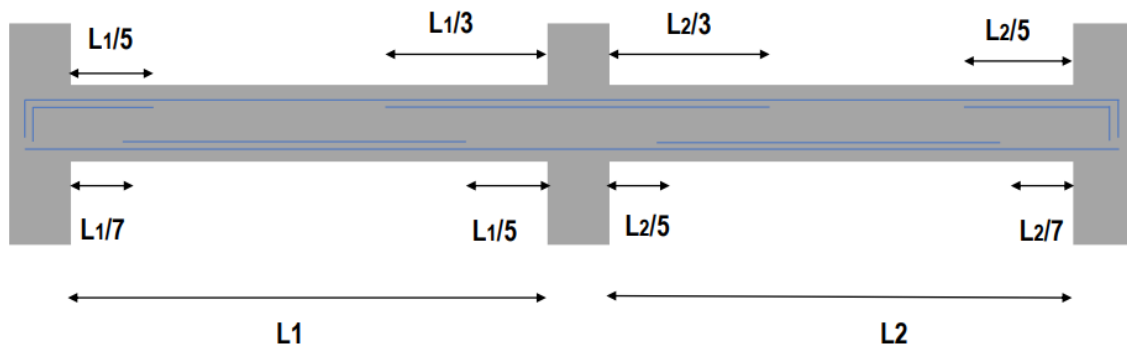
Propiedades	Valor	Unidad
f_y	4200	kgf/cm ²
ϕ_c	0.85	
Ensanche	No	
ϕV_c	1698.23	kgf
V_u	0.83	Tonf
VR	1.70	Tonf

Nota. Elaboración propia.

Donde se propone en este caso $1\text{Ø}1/2''$ como acero positivo y $1\text{Ø}5/8''$ como acero negativo. De igual manera se verifica que cumple con la resistencia al corte, por lo que así mismo se dará aplicación y validando su configuración de anclaje.

Figura 206

Configuración de longitudes en losa.



Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, se hará la configuración necesaria para losa aligerada, por lo que se añadirá todo el trazo respectivo en la losa en el modelado en Revit, para satisfacer la necesidad.

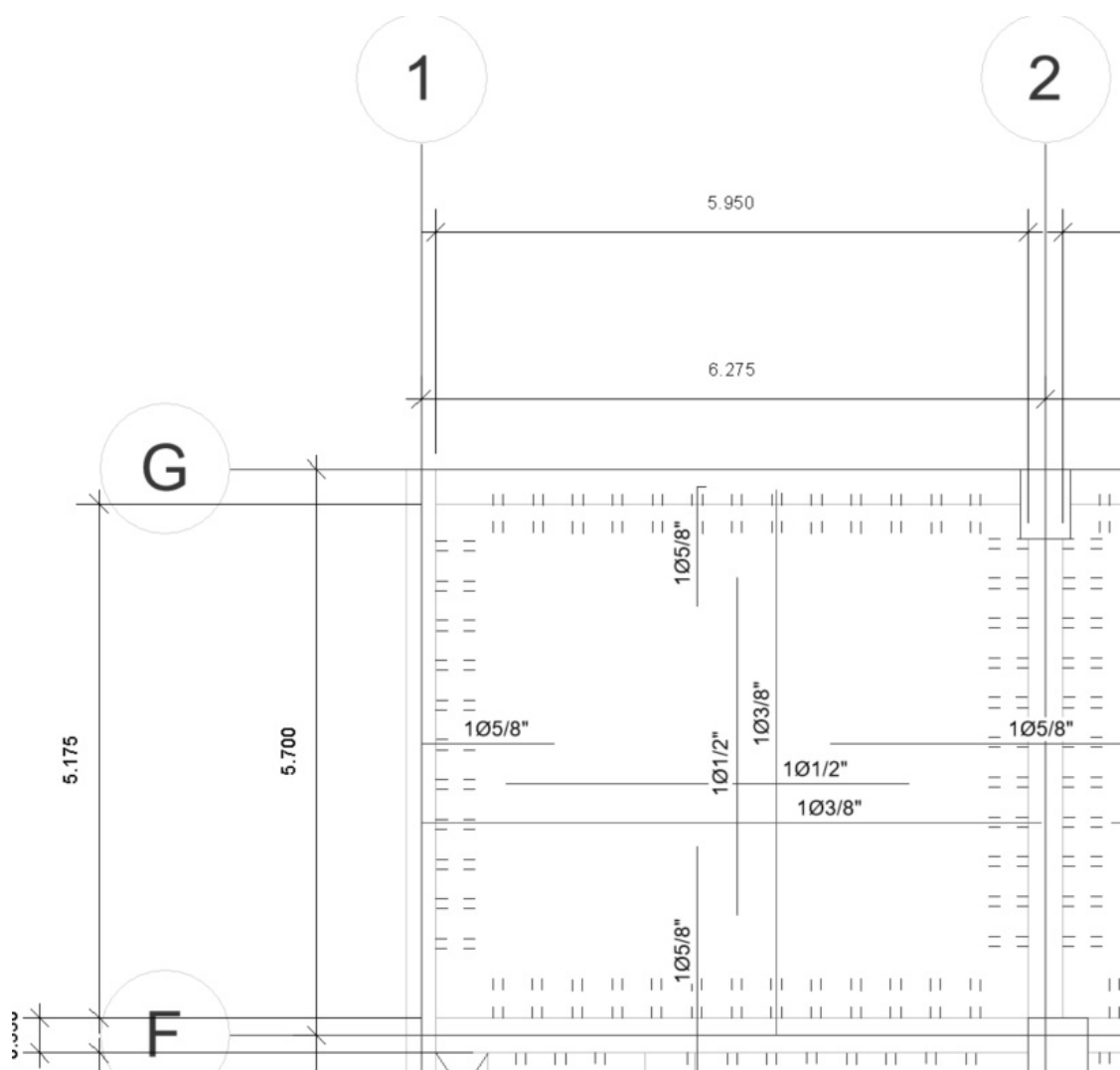
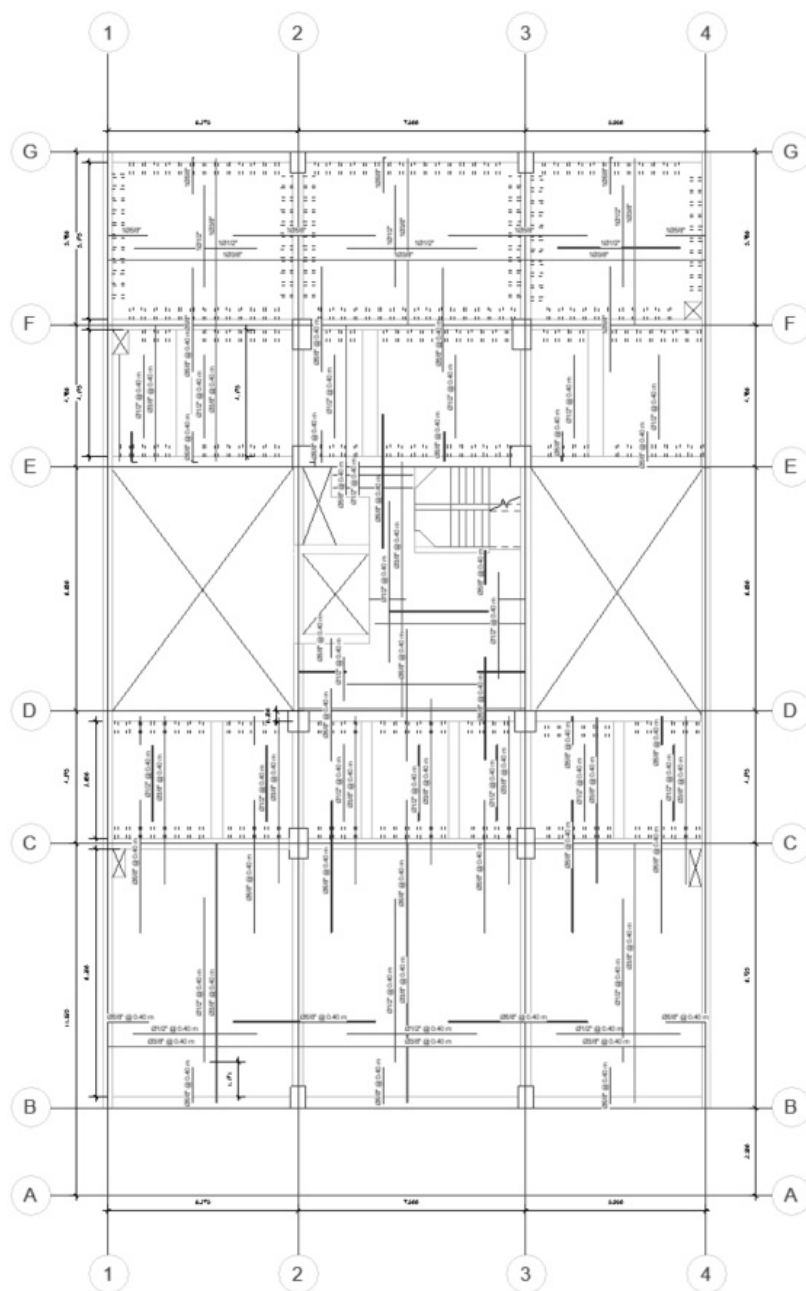
Figura 207*Diseño de paño de losa aligerada bidireccional.**Nota.* Elaboración propia.

Figura 208*Planta de encofrados típica*

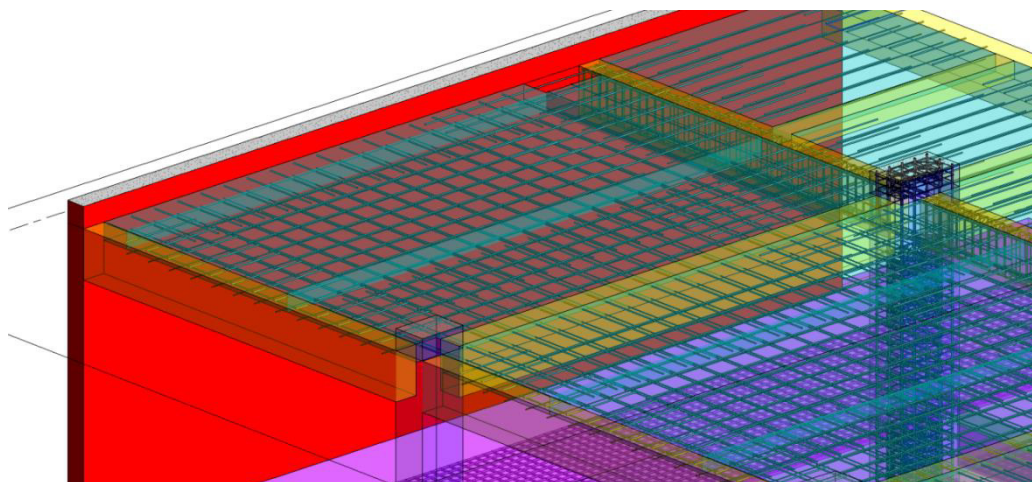
Nota. Elaboración propia.

Para el caso de acero de temperatura en el aligerado, este será acondicionado según la norma E.060 donde refiere que la cuantilla será 0.0018, siendo la sección en la losa aligerada a considerar por metro y la losita de espesor de 5cm, se requeriría 0.9cm^2 , donde usando varillas

de Ø6mm nos proporcionará 3.21 barras necesarias por metro, de la cual se redondeará a 4 barras por metro perpendicularmente.

Figura 209

Esquema de armado de acero de losas en Software Revit



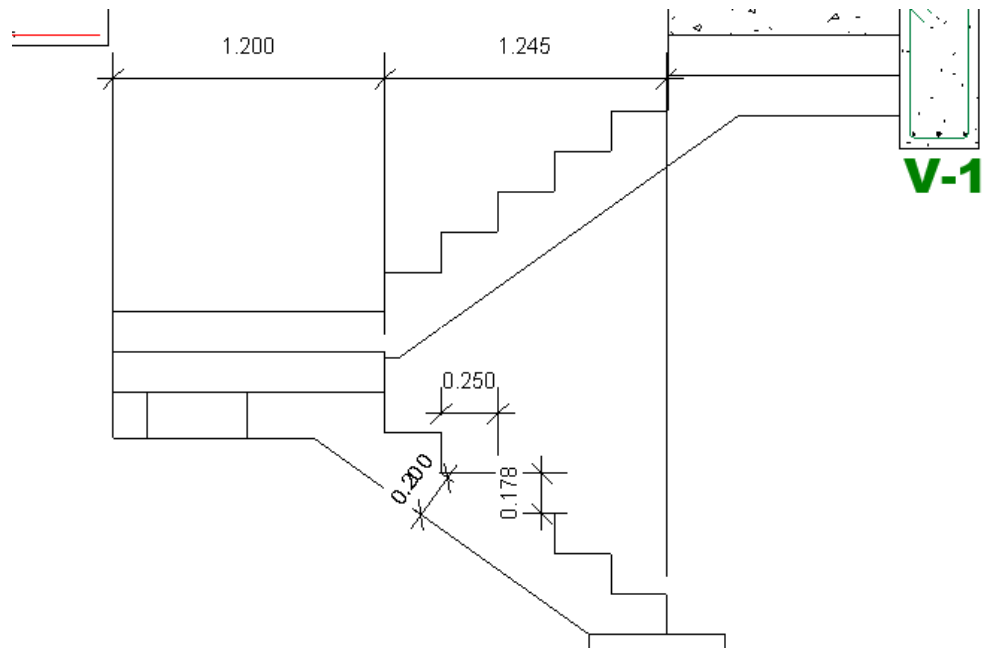
Nota. Elaboración propia.

4.14. Diseño de escaleras de concreto armado

Las escaleras diseñadas serán las ubicadas en el cuarto de emergencia, donde se podría representar el cálculo referencial de ellas.

Figura 210

Escaleras de emergencia de concreto armado.



Nota. Elaboración propia.

Se tomará el diseño por tramos con las cargas definidas por sus dimensiones para considerar un diseño oportuno. Se propondrá como mínimo que la garganta de la escalera de 15 cm.

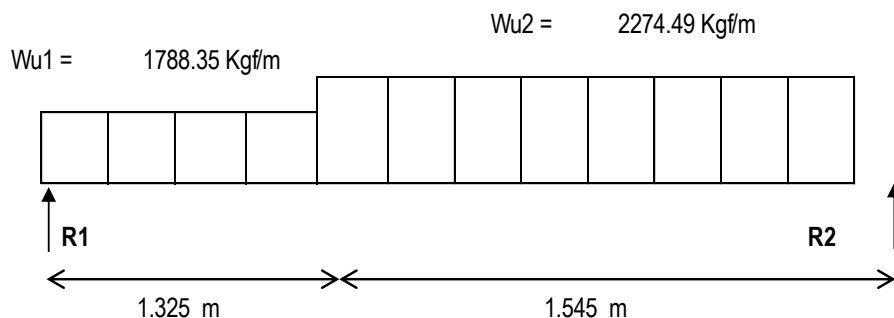
Tabla 48

Propiedades geométricas de primer tramo de escalera de concreto armado

Propiedades	Símbolo	Medida
Ancho de Escalera	b	1.175 m
Paso	P	0.250 m
Contrapaso	CP	0.178 m
Angulo de Inclinación	θ	35.45 °
Luz Libre del descanso	L1	1.200 m
Luz libre de la escalera	L2	1.245 m
Luz Libre del Tramo	Ln	2.445 m
Ancho Apoyo 1 (izquierda)	B1	0.250 m
Ancho Apoyo 2 (derecha)	B2	0.600 m

Nota. Elaboración propia.

Obteniendo en base a las cargas de acabados y sobrecargas, un momento último máximo positivo 2133.34 kgf-m y el momento último negativo 1920.00 Kgf-m .

Figura 211*Esquema de equilibrio en escalera**Nota.* Elaboración propia.

Obteniendo los cálculos de reacciones R1 y R2, 2661.50 Kgf y 3115.21 Kgf respectivamente.

Tabla 49*Diseño de acero en primer tramo escalera*

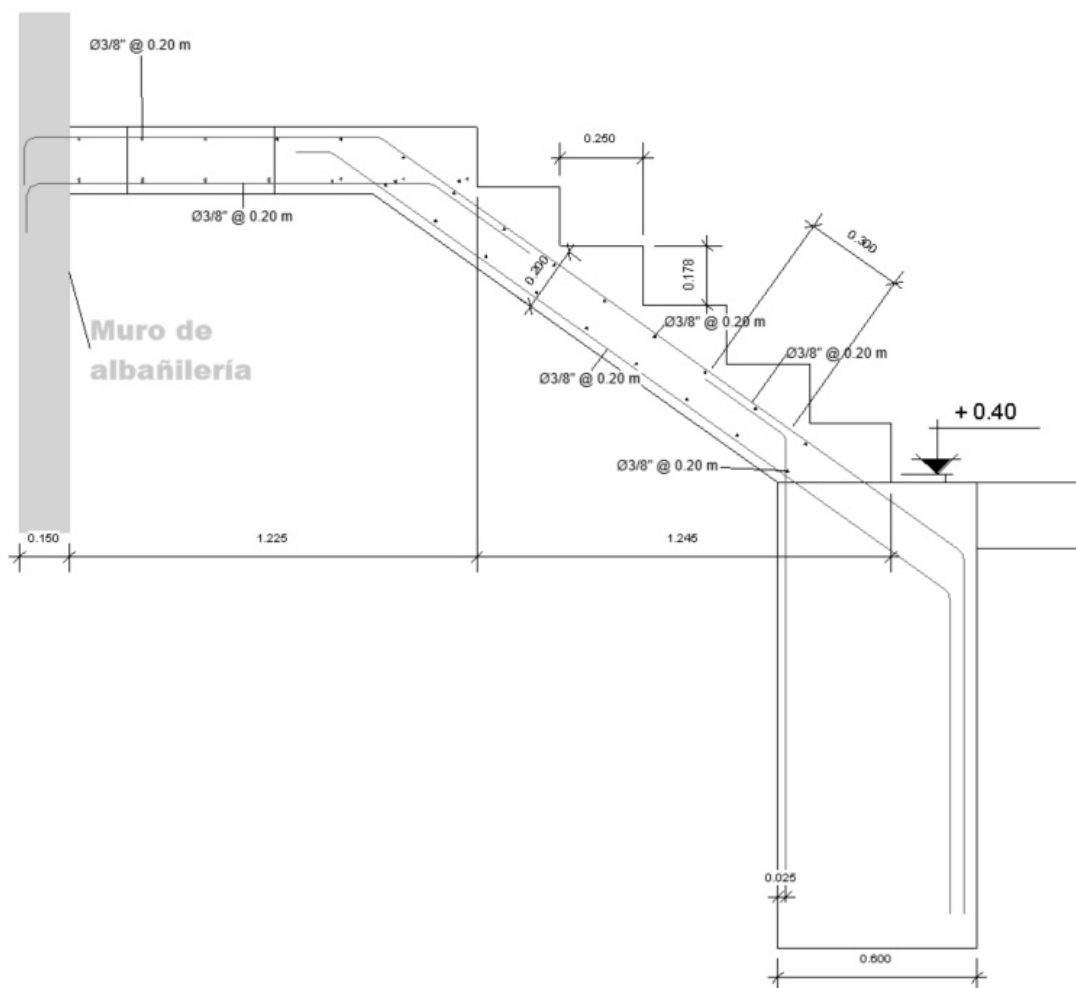
Análisis	Propiedad	Valor	Unidad
Momento Positivo	(+)Mu dis	192000.176	kgf-cm
	Ø	0.9	
	f _c	280	kg/cm ²
	f _y	4200	kg/cm ²
	ø	3/8"	pulg
	Asø	0.9525	cm ²
	d	12.52375	cm ²
	b	117.5	cm ²
	As (+)	4.15953287	cm ²
	Requerimiento	ø3/8"@26.91	cm
Momento Negativo	(-)Mu dis	96000.0878	kgf-cm
	ø	3/8"	
	Asø	0.71	cm ²
	As (-)	2.0531716	cm ²
	Requerimiento	ø3/8"@40.63	cm
	Asmin	3.1725	cm ²
Transversal (Temperatura)	ø	3/8"	cm ²
	Asø	0.71	cm ²
	Requerimiento	ø3/8"@26.3	cm
Cortante	Vu	3115.20648	Kgf
	Øc=	0.85	
	ØcVn	11092.9248	Kgf

Nota. Elaboración propia.

De los resultados se verifica que la cortante no supera la resistencia de la sección y que todo requerimiento debido a la flexión necesitará el mínimo de separación ante lo calculado, poniendo una separación de 20 cm con varillas de 3/8". De esta forma el diseño final de la escalera quedaría definido mediante la siguiente forma como muestra el esquema acotado y distribuido:

Figura 212

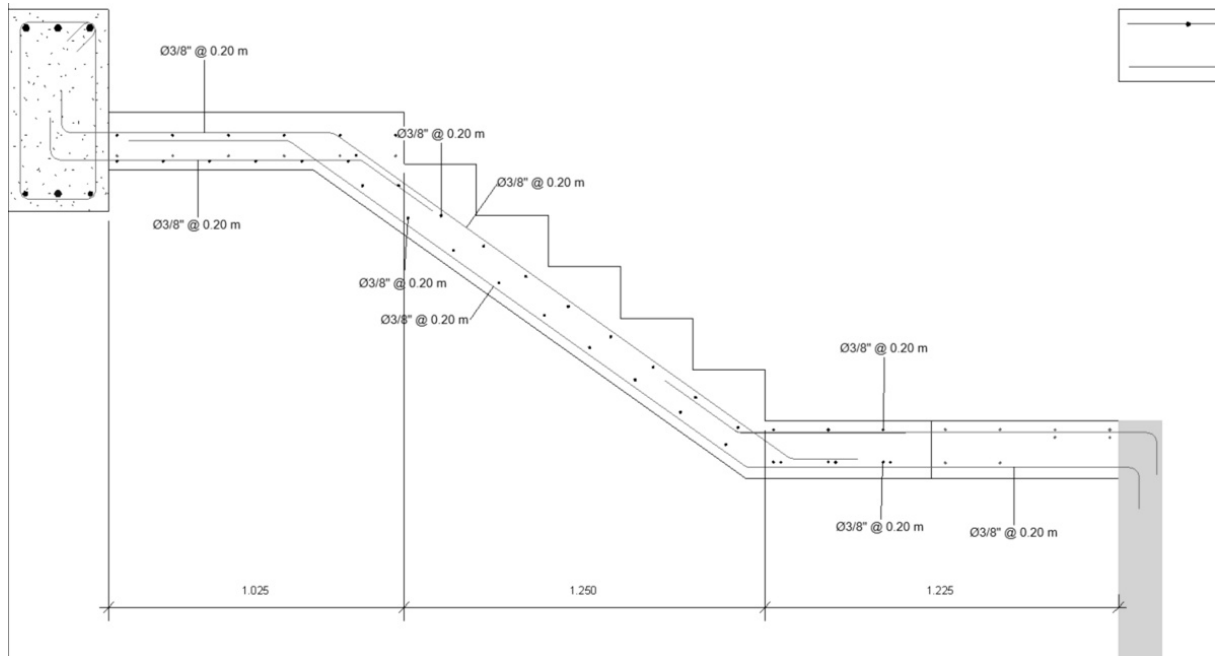
Diseño de primer tramo de escalera de concreto armado.



Nota. Elaboración propia.

Figura 213

Diseño de tercer tramo de escalera de concreto armado.



Nota. Elaboración propia.

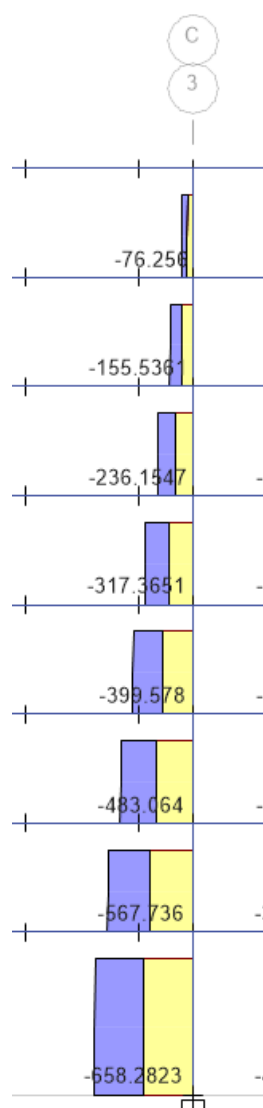
4.15. Diseño de cimentaciones

El diseño de cimentaciones puede comprender del uso de plateas de cimentación, cimentaciones corridas y zapatas, por lo que en este proyecto se estará estructurando con el uso de zapatas principalmente.

4.15.1. Diseño por flexión de zapata aislada

Figura 214

Análisis de carga en columna para zapata en el eje 3-3 y C-C.



Nota. Elaboración propia.

Para ello se debe considerar los cálculos para generar el dimensionamiento necesario para la zapata.

Tabla 50*Análisis de dimensionamiento de zapata de concreto armado*

Categoría	Descripción	Valor	Unidad
Datos:	Coeficientes de Amplificación: α (PD)	1.4	
	Coeficientes de Amplificación: β (PL)	1.7	
	Altura de la columna	4.25	m
	Carga Muerta Análisis (PD)	385.586	tn
	Carga Viva Análisis (PL)	69.6835	tn
	Peso de Servicio (Ps)	461.3895	tn
	Peso Último (Pu)	666.8503	tn
	Sobrecarga Piso Primer Nivel (SC)	200	kg/m ²
Datos del terreno	Peso Específico de Suelo (γ_s)	1.8	t/m ³
	Peso Específico del concreto (γ_c)	2.4	t/m ³
	Peso Específico Promedio (γ_m)	2.1	t/m ³
	Capacidad Portante del terreno (σ_t)	4	kg/cm ²
Geometría Vertical	Desplante (Df)	1.8	m
	Resistencia del Concreto (f_c)	280	kg/cm ²
De los materiales	Esfuerzo de fluencia del Acero (f_y)	4200	kg/cm ²
	Factor de reducción de capacidad de flexión	0.9	
	Factor de reducción de capacidad de corte	0.85	
Dimensión de la columna	Long. Larga	1	m
	Long. Corta	0.6	m
	Espesor de piso	0.3	m
	hf	2.1	m
Datos de análisis	esfuerzo neto del terreno	35.39	t/m ²
	Área de la zapata (Azap)	13.0372	m ²
	lado largo mínimo de zapata (T)	3.81071	m
	lado corto mínimo de zapata (S)	3.41071	m

Nota. Elaboración propia.

Del cálculo se puede obtener valores de dimensionamiento para una zapata de 4.00x4.20m². Para verificar la resistencia a cortante de la zapata se tomará en cuenta sus restricciones por cortante.

Tabla 51*Dimensionamiento de peralte en zapata.*

Propiedad	Valor	Unidad
Carga distribuida por m ² en zapata (q _u)	35.283	tn/m ²
Relación entre dimensiones de columna (β):	1.667	
$V_c = 0.53\sqrt{f_c} * (1 + 2/\beta)b_0 * d < 1.06\sqrt{f_c} * b_0 * d$	1.060	$\sqrt{f_c} * b_0 * d$
Perímetro de la sección crítica (b ₀)	5.874	m
Peralte efectivo Mínimo (d)	0.668	m
Peralte de Zapata mínimo (h _{z min})	75.844	cm
Peralte de Zapata (h _z)	80.000	cm
Peralte efectivo de Zapata (d)	71.000	cm

Nota. Elaboración propia.

Por lo que se definirá una propuesta de armado de acero pertinente, la cual sería:

Tabla 52*Propuesta de armado de acero en zapata*

Propiedad	Valor	Unidad
Mu del sistema	31.08277257	tn/m/m
Mu: Momento actuante:	85.11	tn/m/m
Acero de refuerzo (A _s)	33.07	cm ²
Acero de refuerzo mínimo (A _{s min})	14.4	cm ²

Nota. Elaboración propia.

Por lo que inicialmente se propondría una zapata de sección 4.50x4.20x0.80 m³ con un armado de varillas de 1" @0.15m.

4.15.2. Verificación por punzonamiento de zapata aislada.

Se dará el análisis correspondiente de la zapata a través del punzonamiento comprobando las restricciones del reglamento.

Tabla 53*Cálculo de verificaciones de punzonamiento en zapata*

Propiedad	Valor	Unidad	Descripción
f _c	280	kgf/cm ²	Resistencia a la compresión
f	0.85		Factor de reducción de resistencia
b	60	cm	Ancho de carga de columna
s	100	cm	Largo de carga de columna
h	80	cm	Peralte de elemento
d	71	cm	Peralte efectivo de elemento
m	131	cm	Ancho de zona crítica por punzonamiento
n	171	cm	Largo de zona crítica por punzonamiento
bo	604	cm	Perímetro de zona crítica por punzonamiento
Pu	658.2823	Tonf	Carga última aplicada
B	4.2	m	Ancho de elemento
S	4.5	m	Largo de elemento
A	18.9	m ²	Área de elemento
qu	34.82975 1	Tonf/m ²	Carga última distribuida en elemento
V _{up}	580.2601 7	Tonf	Cortante por punzonamiento último actuante sobre elemento
fV _{cp}	988.1167 1	Tonf	
fV _{cp}	760.6417 7	Tonf	
as	40		
fV _{cp}	1298.499	Tonf	
Ratio D/C por punzonamiento	0.762856 1		
Vu ₁	170.8399 3	Tonf	Cortante actuante en dirección del ancho
fV _{c1}	240.8489	Tonf	Cortante resistente en la dirección del ancho
Vu ₂	152.1363 5	Tonf	Cortante actuante en dirección del largo
fV _{c2}	224.7923 1	Tonf	Cortante resistente en la dirección del largo
Ratio D/C por cortante	0.709324 1		

Nota. Elaboración propia.

4.15.3. Diseño de cimentaciones en ETABS

Del diseño obtenido a través de los cálculos en base a las hojas de datos, se obtiene una propuesta para analizar en el software, donde lo se ingresará con las siguientes características.

Figura 215*Propiedades de grosor de cimentaciones en Etabs.*

Slab Property Data

General Data

Property Name: Z - 800

Slab Material: Concreto f_c=280 kg_{cm}²

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Shell-Thin

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show...

Property Data

Type: Slab

Thickness: 80 cm

OK Cancel

Nota. Elaboración propia.

Cabe recalcar que, para los análisis respectivos en las zapatas, se tomará el módulo de reacción del suelo, conocido como coeficiente de balasto. En función de la tensión admisible de la cimentación, se utilizará la fórmula de Bowles con el factor de seguridad de 3.

$$K\left(\frac{KN}{m^3}\right) = 40.FS.\sigma_{adm}(kPa)$$

Figura 216*Propiedades del suelo en la edificación.*

Area Spring Property Data

General Data

Property Name: Suelo 4.8 kg/cm³

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show Notes...

Spring Stiffness Options

☒ User Specified Stiffness and Nonlinearity

☐ Link Property (Link local axes are same as Area local axes)

☐ Based on Soil Profile

Spring Constants / Unit Area

Local 1 Direction: 0 tonf/m²

Local 2 Direction: 0 tonf/m²

Local 3 Direction (Compression Only): 4800 tonf/m²

Nonlinear Option for Local 3 Direction

☐ None (Linear) ☒ Compression Only ☐ Tension Only

OK Cancel

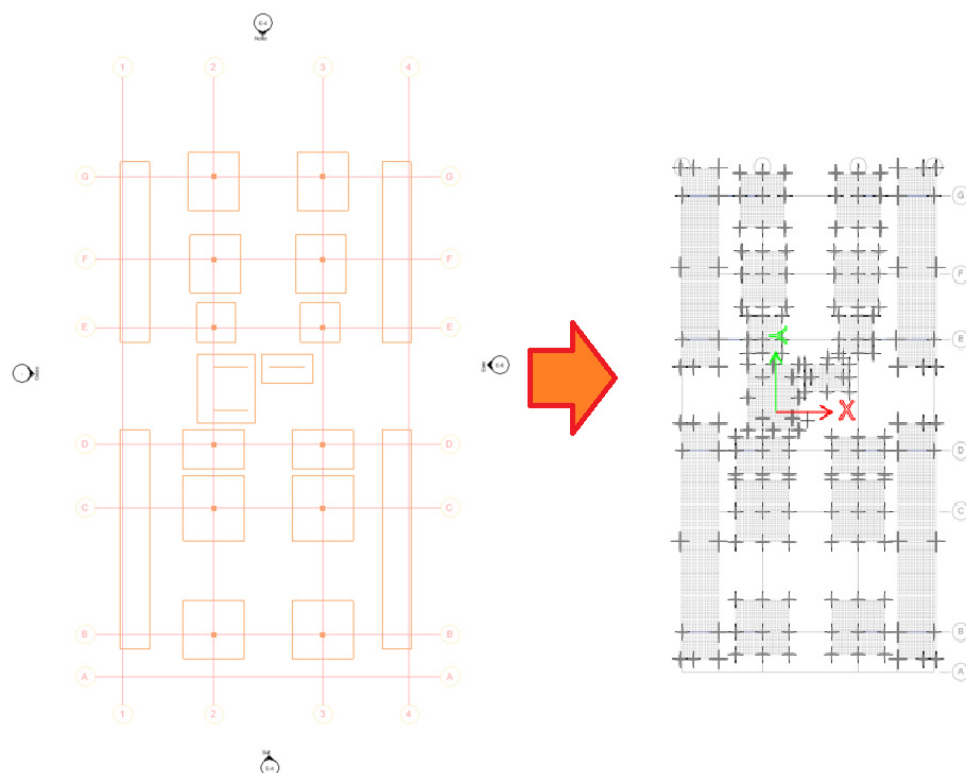
Nota. Elaboración propia.

En este modelo se considera la capacidad portante del suelo con 4 kg/cm² de acuerdo con el informe técnico del CISMID (2019). Cabe recalcar que en el modelo se discretizó la cimentación propuesta a un ancho de 25 cm, por lo que se obtendría los esfuerzos en el suelo respectivo.

Buscando la automatización gráfica y una mayor rapidez en el trazo del dibujo planteado, se toma en consideración hacer una proyección a la cara de la columna para el boceto de la cimentación, de valores entre 50 cm a 100 cm de desfase de trazo, mientras que en los muros de concreto armado al tener una gran magnitud de la carga se extenderá entre 100 cm a 300 cm por delimitación vecinal. Para esto, se trazaría un boceto hecho en el mismo software Revit para luego ser reajustado y modificado en el software ETABS.

Figura 217

Estructuración de zapatas dentro del software Revit al modelo analítico.



Nota. Elaboración propia.

Para esto se actualizaría con la herramienta de automatización del software para entender si dicha propuesta se ajusta a la necesidad del proyecto inicial, aplicando las características del suelo con resistencia de 4 kg/cm^2 de acuerdo con el informe técnico del CISMID (2019).

Figura 218*Combinación de envolvente de presiones de suelo*

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name:

Combination Type:

Notes:

Auto Combination:

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
U=CM+CV+0.8CSx (Suelo)	1
U=CM+CV+0.8CSy (Suelo)	1
Servicio=CM+CV	1

Nota. Elaboración propia.

Para el análisis de esfuerzos de suelo se considera las cargas combinadas respectivas para poder definir, donde se considera el factor 0.8 para verificación de las presiones en el suelo de cimentación bajo las solicitaciones sísmicas que se obtienen con la norma E.030 (2018). A su vez que bajo consideración de la norma E.060, se puede considerar un incremento del 30% de la presión admisible del suelo para estados de cargas donde intervengan cargas temporales, por lo que la capacidad portante admisible podría considerarse a 5.2 kg/cm². Por ello se tendrá las siguientes combinaciones de cargas:

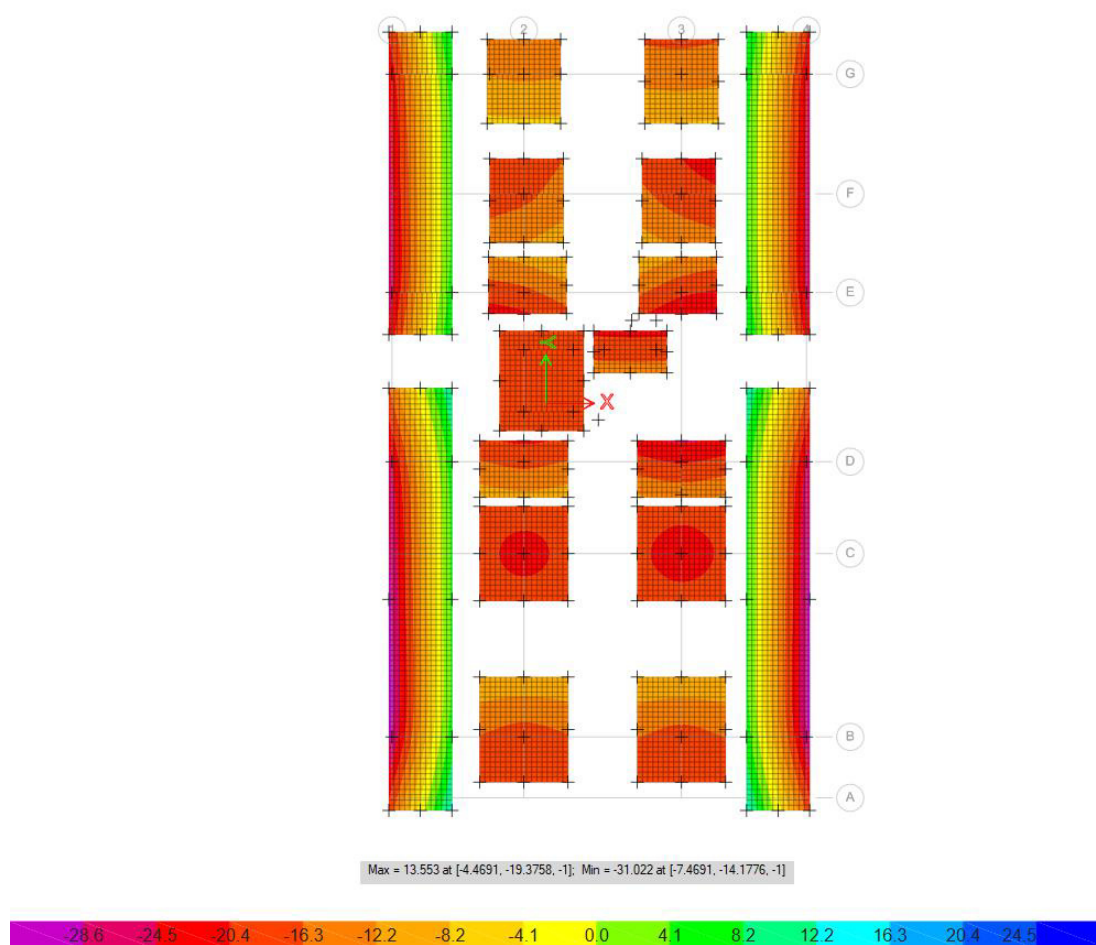
Presión 1 = CM+CV

Presión 2 = CM +CV±0.8(SX)

Presión 3 = CM+CV±0.8(SY)

Figura 219

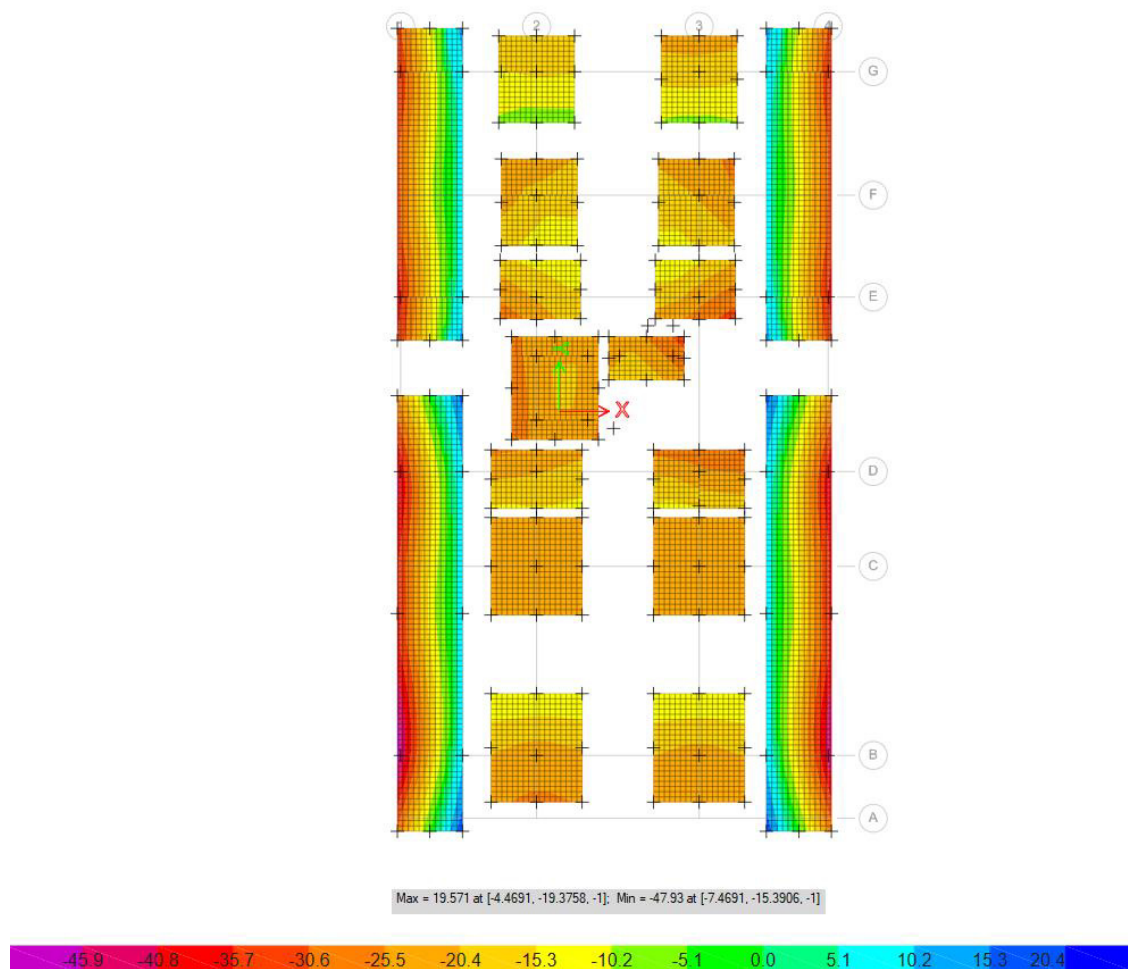
Esfuerzos de suelo por cargas de servicio (Presión 1).



Nota. Elaboración propia.

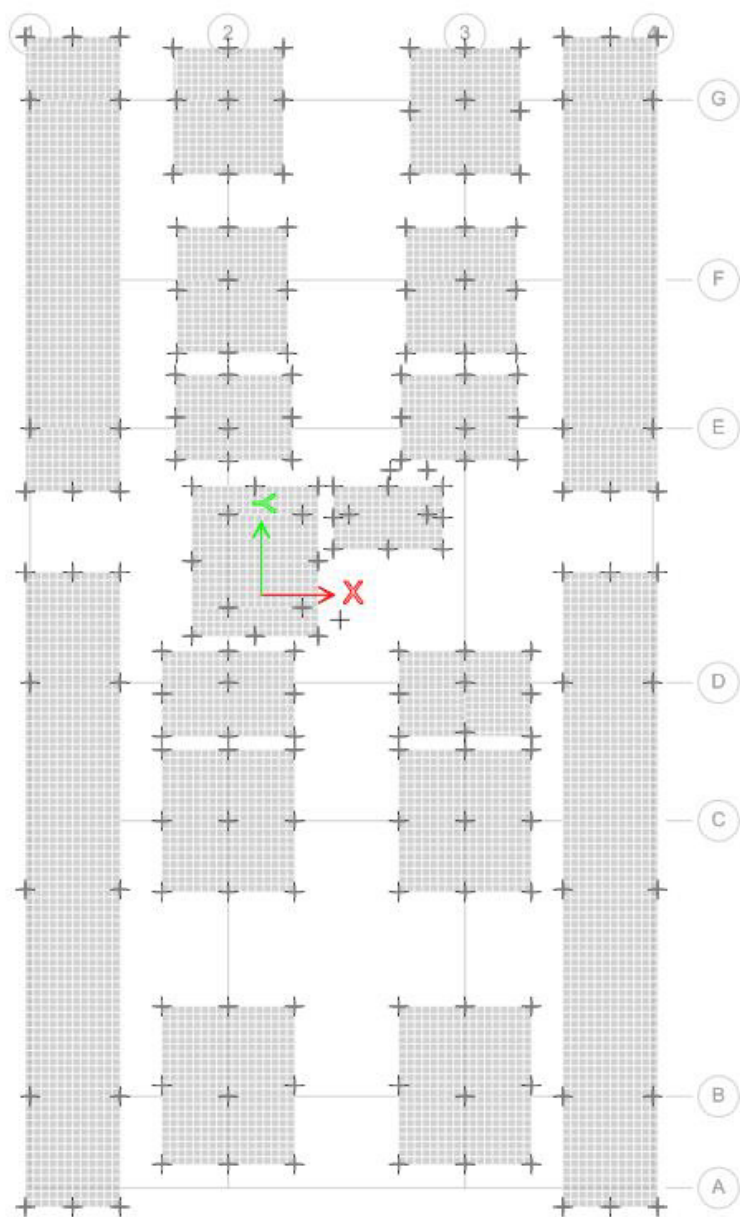
Figura 220

Distribución de esfuerzos por envolvente de presiones de cargas en suelos



Nota. Elaboración propia.

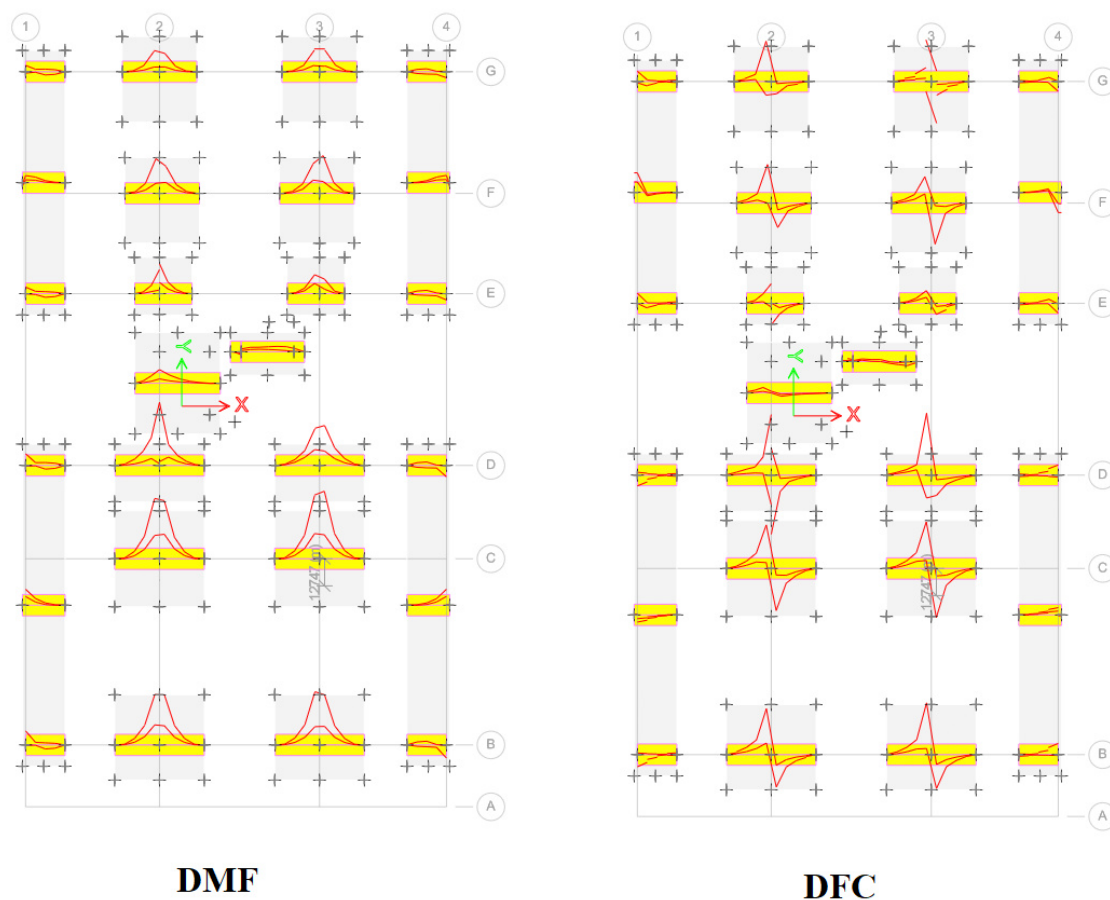
Donde se aprecia que la propuesta presenta una cimentación susceptible al volcamiento, por lo que las zapatas corridas en los muros laterales. De esto se hace referencia que el valor de mayor presión es 3.102 kg/cm^2 por servicio, siendo la resistencia del suelo 4 kg/cm^2 , menor al valor admisible y el valor de mayor presión con cargas sísmicas es 4.793 kg/cm^2 , el cual es menor a la presión del suelo incrementada, 5.2 kg/cm^2 . Por lo tanto, la capacidad de suelo cumple con la normativa.

Figura 221*Estructuración definida con zapatas.**Nota.* Elaboración propia.

Para el análisis con Strips se usará la más cargada, donde se tendrá los siguientes analizados

Figura 222

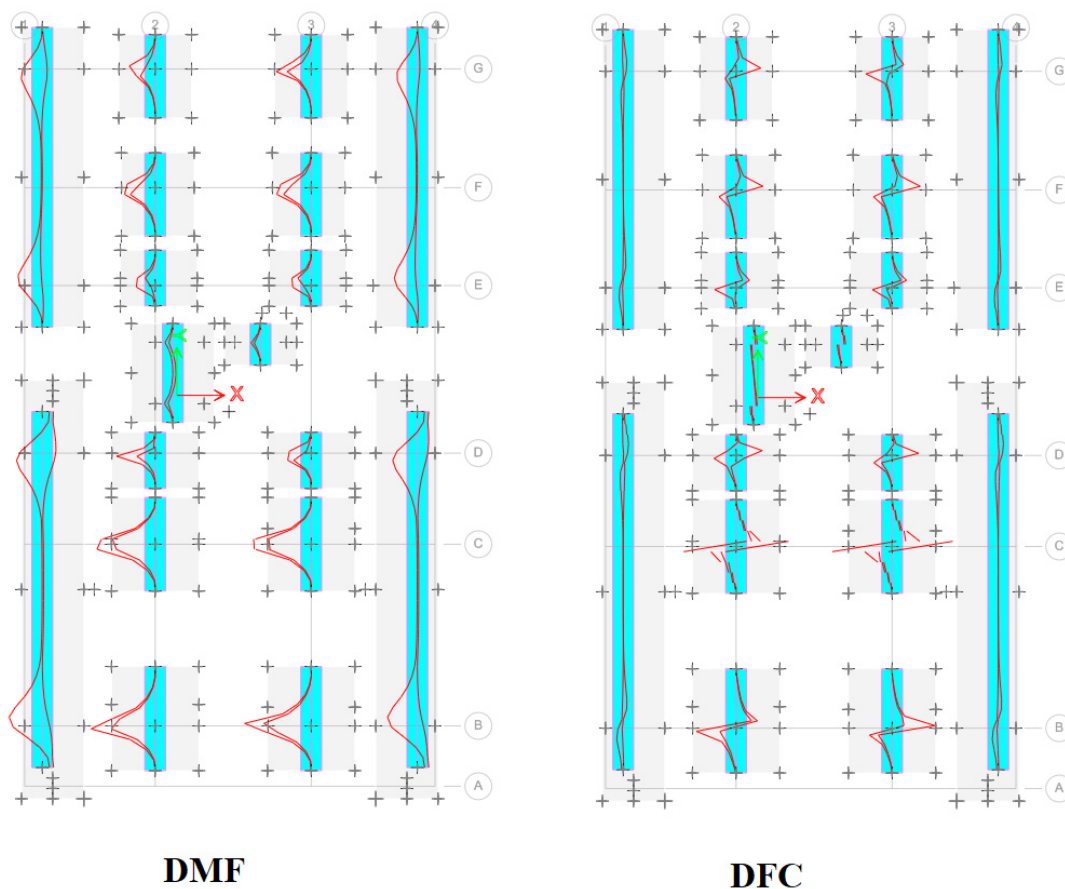
Diagramas de momentos flectores y de fuerza cortante en eje vertical de zapata.



Nota. Elaboración propia.

Figura 223

Diagramas de momentos flectores y de fuerza cortante en eje vertical de zapata.



Nota. Elaboración propia.

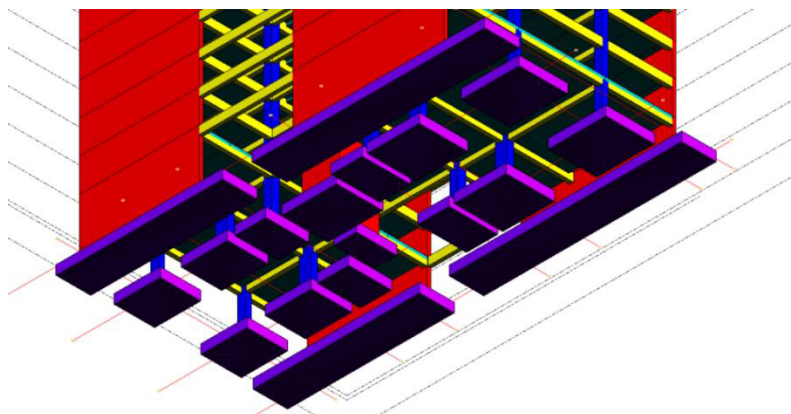
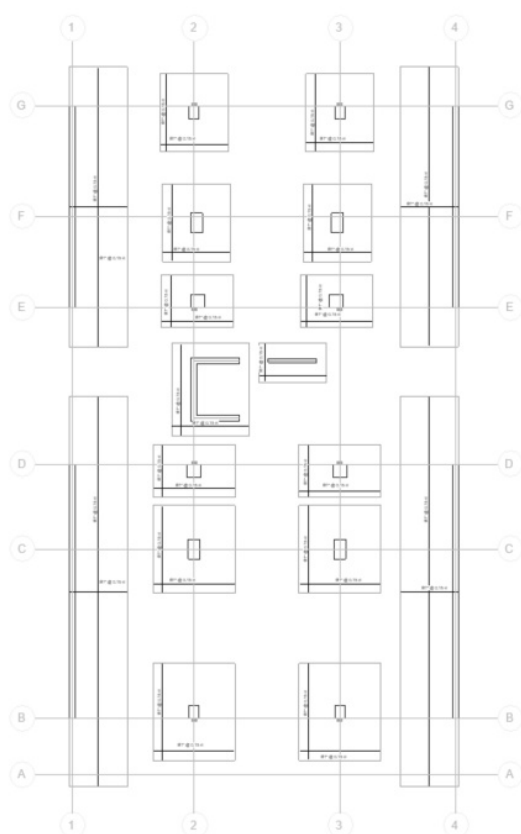
Donde las cargas de mayor intensidad de momento servirán para el diseño de la zapata en la dirección correspondiente. En este caso vimos que la zapata más cargada es ubicada en el eje 3-C la cual está también requerirá un reforzamiento por la conexión con la zapata siguiente. Esta estará cargada con un momento último a la cara de las caras columna de 61.63 Tonf-m y 85.11 Tonf-m y una fuerza cortante 27.78 Tonf y 31.03 Tonf en dirección vertical y horizontal respectivamente.

Tabla 54*Cálculos de diseño de zapatas*

Propiedad	Valor	Unidad
b	100.000	cm
h	80.000	cm
d	72.500	cm
Mu	85.110	Tonf-m
Vu	31.030	tf
ρ min	0.002	
ρ b	0.028	
ρ max	0.021	
Asreq	32.328	cm ²
Φ	1	"
Esp req	15.776	cm
Esp prop	15.000	cm
Asprop	34.000	cm ²
Tipo enmallado	1 malla	
Amin	14.400	cm ²
Asmin	14.400	cm ²
Vc	70.727	tf
ϕV_c	60.118	tf

Nota. Elaboración propia.

De ello se tendrá la necesidad de colocar el acero de $\emptyset 1'' @ 0.15m$ en la zapata, al igual. Por lo que se obtendrá en base al más crítico el diseño de cimentaciones aplicable a la zapata. De este detalle se aprecia que hay una variación del acero diseñado localmente en la columna más cargada y el acero de la cimentación propuesta y analizada en Etabs, la cual, al identificar con la hoja de cálculo, se llega a la conclusión que se necesitaría más fuerza debido a la distribución interna de fuerzas y momentos.

Figura 224*Cimentación de estructuras en isométrico 3D en Revit.**Nota.* Elaboración propia.**Figura 225***Diseño de cimentaciones de concreto armado**Nota.* Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La edificación analizada fue apoyada en los conceptos referidos a través del cálculo en el software ETABS y el modelamiento en el software Revit para definir inicialmente la estructuración, del cual se ha realizado la propuesta de estructuración del proyecto bajo los criterios del Ing. Blasco (1990), considerando las características arquitectónicas que tenga el proyecto de edificación de esquina de uso de oficinas satisfaciendo las necesidades básicas para el predimensionamiento de los elementos estructurales modelados tales como vigas, columnas, losas y placas y a su vez se comparte con Quezada y Torres (2024) que se pudo mantener la interoperabilidad con el uso de la herramienta CSIxRevit, . El análisis estructural de la edificación, expresa de la estructura que tiene una presentación regular en planta de continuidad estructural, siendo esta de un sistema estructural definido como sistema dual en la dirección X y sistema de muros de concreto armado en la dirección Y. La estructura presenta 8 modos de vibración que satisfacen el 90 % de la masa participativa donde se verifica que se cuenta con un comportamiento regular en las direcciones X e Y. Por otro lado, se verifica que la estructura presenta un cumplimiento de las derivas en la dirección X e Y siendo 0.005485 y 0.001203 respectivamente correspondientes con la estructuración replanteada adecuándose a la normativa siendo menores a 0.007 referente al concreto armado como material predominante. Mientras que, para la reducción, se determinó que su factor R_o en la dirección X tiene el valor de 6 y en la Y. 7, mientras que el factor de amplificación dinámica y estática en las direcciones en Y es 1.04, esto debido porque el 80% de la cortante estática es mayor inicialmente que la dinámica en esa dirección. Estos resultados explican cómo la rigidez lateral de los muros de corte garantiza la seguridad estructural ante eventos sísmicos.

Este análisis representó una actualización automatizada en el dimensionamiento, la cantidad y configuración de los elementos donde la cantidad de tipos de columnas, losas y vigas serían 3, 3 y 4 respectivamente, siendo columnas de 70x70 cm², 60x100 cm² y 70x500cm²;

vigas de 30x70 cm², 35x70cm², 50x25 cm² y 35x25cm²; y las losas macizas y aligeradas de 25 cm de peralte, siendo esta última tanto unidireccional como bidireccional con una resistencia de concreto $f'_c=280$ kg/cm², donde todo esto se puede compartir con Reyes (2023) ya que la automatización BIM es importante en la preparación del modelo para optimizar la gran cantidad de información y detalle que maneja el proyecto para tener una mejor detección de errores y mayor rapidez en el desarrollo del modelo que el dibujo en CAD. A su vez, para el diseño de vigas, cimentaciones y losas se tomó los requerimientos de diseño de flexión y cortante; para el de columnas y muros de concreto armado, una propuesta de diseño por capacidad; de ambas teniendo consideraciones de sus disposiciones sísmicas bajo pórticos intermedios. Cabe recalcar que, para efectos de la capacidad portante del suelo, este llegó a ser satisfactorio siendo 3.102 kg/cm², menor al de 4kg/cm² que dispone el terreno. De estos elementos se pudo dar compatibilidad a la representación más crítica de su presentación para determinar la capacidad necesaria de acero y su respectiva aplicación, validando su resistencia a través de las hojas de cálculo usadas para resolver la estructura. Por otro lado, para el diseño de la escalera, se ha tomado que no tiene influencia en nuestra estructura analizada, por la poca rigidez que aporta y es menor, sin embargo, se desarrolló el diseño de la propia escalera considerando sus requerimientos de cargas. Esto valida que la metodología BIM incrementa la precisión técnica en la fase de propuesta asegurando la integridad espacial del diseño.

En relación al proyecto planteado en Revit, se ha generado tanto un modelo arquitectónico como de estructuras para la proyección métrica y compatibilidad del proyecto a través de la planimetría referida, teniendo en esta etapa de estructuración un volumen de concreto de 330.14 m³, 598.88 m³, 139.39 m³, 408.80 m³, 15.94m³ y 362.58 m³ respectivamente en cimentaciones, losas, columnas, muros, escaleras y vigas, mientras que en el refuerzo de acero se obtiene 21.47 m³ de volumen que representa 168.54 toneladas. Todo esto es referido a través de la visualización paralela de modelos y el análisis correspondiente de información la

cual se mantiene para el análisis de los especialistas involucrados en el proyecto, teniendo un enfoque compartido con Leonardi et al. (2023) quienes validan el crecimiento de la interoperabilidad del BIM en la automatización de procesos considerando esta metodología como una herramienta en la recopilación de la información con un historial para su revisión. Esta trazabilidad de datos asegura la calidad de la documentación técnica y demuestra que la interoperabilidad es fundamental para la eficiencia en la entrega del proyecto.

El proyecto presenta leves cambios arquitectónicos debido a la estructuración y a la corrección mediante el análisis, pero sin limitar o perjudicar la función principal del ambiente con la coordinación debida del arquitecto proyectista, por lo que se podrán notar la aparición de vigas más anchas, muros de mayor espesor en algunas zonas. A su vez, debido a la estructuración, no todos los muros necesariamente son propuestos de concreto armado, por lo que se puede considerar que serán de tabiquería no estructural tales como muros de tabiquería húmeda o de seca como el drywall.

VI. CONCLUSIONES

- Se aplicó la metodología BIM asistida por los softwares ETABS y Revit para una edificación multifamiliar de 8 pisos ubicada en el distrito de San Borja, Lima que comprende en la actualización bidireccional entre dichos software para el cálculo y el detallado de información respectivamente, de la cual se demuestra que mejora la eficiencia del proceso de diseño estructural a través de su estructuración compatibilizada con arquitectura, precisión del diseño estructural a través del modelo analítico garantizando control de derivas con mayor coordinación y reducción de interferencias, optimización del tiempo de modelado en el software ETABS, la retroalimentación en Revit en el diseño consolidando el flujo de trabajo entre especialidades, permitiendo la referenciación respectiva precisando según el nivel de detalle del proyecto, por lo que se confirma la mejora en eficiencia técnica y productiva del diseño estructural mediante metodología BIM aplicada alineándose directamente con los lineamientos del plan de implementación BIM impulsado por el MEF y cumpliendo con la política de estado en la modernización de la gestión de inversión pública , promoviendo un modelo de diseño colaborativo que es fundamental para la digitalización del sector, distanciándose del trabajo por softwares aislados. Así mismo, el desarrollo de esta investigación proporciona un marco de trabajo práctico y replicable, donde la documentación de la metodología se presenta con detalle que puede referir como una guía de trabajo para estudiantes y profesionales de la Ingeniería Civil que deseen implementar de forma efectiva la interoperabilidad entre software de cálculo y software BIM.
- Se obtuvo el dimensionamiento y diseño compatibilizado de columnas, vigas y losas conforme a los requerimientos arquitectónicos mediante el uso de los softwares ETABS y Revit, evidenciándose que la estructura mantiene su funcionalidad y que el proceso BIM favorece la organización, coherencia y trazabilidad del diseño estructural, estableciendo un

mecanismo de control sobre las actualizaciones, manteniendo la integridad y la unicidad de los datos a lo largo de todo el ciclo de diseño.

- El análisis de cargas desarrollado en ETABS permitió verificar el cumplimiento de las normas E.030 (2018) y E.060 (2020), asegurando que las fuerzas internas y solicitaciones generadas sean adecuadas para el diseño y desempeño estructural de la edificación. Cabe recalcar que esta metodología de trabajo puede implementarse bajo los fundamentos que la norma estructural pueda actualizar.
- La planimetría y las cuantificaciones elaboradas el software Revit, reflejaron la información estructural actualizada, mejorando la eficiencia su elaboración, en función del desarrollo del modelo calculado según el requerimiento estructural, reduciendo el riesgo de inconsistencias y errores de transcripción (tergiversación de datos), inherentes al traspaso manual entre plataformas aisladas (cálculo a dibujo/CAD).

VII. RECOMENDACIONES

- En la fase de estructuración, la herramienta Revit debe tener vinculado la arquitectura para poder definir con una mayor representación, sin embargo, esta etapa puede durar más de dependiendo de la experiencia del diseñador estructural o la actualización de la arquitectura, como la alineación de eje estructurales, el planteamiento de niveles, el ajuste de nodos analíticos.
- En lo que respecta a la interoperabilidad Etabs – Revit, se recomienda siempre revisar los nodos analíticos en el Revit antes de exportar a ETABS con los filtros por defecto para generar el alineamiento analítico correspondiente en cada uno de los elementos plasmados en el proyecto. Por otro lado, en la compatibilización geométrica, se debe revisar con un recorrido en las habitaciones donde aparezcan aperturas necesarias o compatibilización de elementos con el Revit o cualquier software OPENBIM como el BIMCOLLAB para esta navegación, especialmente en zonas que proyecten especialidades como aparatos sanitarios o donde aparecen aperturas verticales u horizontales como ductos o pases de escalera teniendo una revisión consecuente del modelo de Revit compatibilizado de la exportación con la herramienta CSIXRevit, para poder mantener un eficiente desarrollo del modelo
- Se recomienda tener una nomenclatura estandarizada tanto para el modelo Revit como para el modelo ETABS para lograr la automatización de elementos no requiera igualar por tipo manualmente. Así mismo, se recomienda usar el complemento de Dynamo para reducir el tiempo de trazo, modelado y llenado de información en la representación del proyecto.
- Por el lado de ETABS, se debe tomar en cuenta que el software puede recortar elementos innecesariamente de manera automática, por lo que siempre se debe tener en consideración la corrección con el “End Length offset” ya que esto recorta la viga suponiendo una rigidez que puede ser especificada en el modelo de cálculo. A su vez se busca discretizar una subdivisión automatizada en los elementos Shell para un correcto análisis, donde se

recomienda 0.5 m ya que permite una precisión numérica aceptable con un uso necesario de los recursos del computador.

- Cabe recalcar que software ETABS tiene que compatibilizar las elevaciones con Revit ya que se debe verificar que las elevaciones no discrepen con lo necesario en el cálculo ya que ETABS no necesariamente trabaja con niveles intermedios, los cuales puede generar gasto computacional innecesario o discretización de elementos innecesaria. Un ejemplo de esto podría ser evitar crear un Nivel 1 en la elevación -0.05 en estructuras donde va el falso piso, pero no van el trazo de los elementos estructurales, haciendo que los elementos como columnas o muros puedan subdividirse en 2 partes tanto para el análisis como para la geometría.
- Se recomienda que, al generar el análisis sísmico de la edificación, se puede tener replanteos dentro del mismo software ETABS que dependen del análisis del diseñador estructural, debido a que la estructura pueda ser replanteada debido a que la respuesta estructural debe encajar con los requerimientos normativos, por lo que la actualización bidireccional en el software ETABS a Revit es posible y necesaria al finalizar el análisis.
- Se recomienda tener noción del estilo de representación al trazar la sección del muro dentro de ETABS ya que la herramienta “Section designer” no divide los muros por cómo se define, por lo que en el modelo Revit puede separarse idealmente mediante líneas de detalle como bosquejo para poder añadir el acero de los elementos de borde e interiores. Por otro lado, puede definirse modelar de manera separada desde antes de actualizar de Revit a ETABS o incluso en el mismo ETABS, también y así se daría la separación con los muros cada uno con su respectivo ID (facilita por el automatizado de recubrimiento interno). Esta consideración impactaría en el estilo del trabajo que el modelado que debe seguir, pero los resultados llegarían computados llegarían a prácticamente lo mismo.

- Para el caso de las cimentaciones se recomienda proponer la forma de las zapatas dentro del Revit (Después de actualizar la información de ETABS) por la facilidad del modelado y la compatibilización necesaria que se pueda necesitar con otras especialidades, para luego actualizar. Sin embargo, al hacer el proceso inverso desde ETABS a Revit puede borrar las armaduras ya modeladas, por lo que se recomienda verificar la exportación del modelo en ETABS verificando no haber movido algo innecesariamente y o mantener una copia de las armaduras.
- Se recomienda contar con plantillas de visualización previas para poder tener la representación gráfica estilizada según la información del plano, sea este de planta, corte o detalles considerando tener los filtros de colores establecidos para poder discernir cada elemento importante en la representación o incluso en la compatibilización o revisión de lo planteado en el cálculo estructural para representar lo acondicionado al proyecto tanto para presentación como para coordinación de especialidades.

VIII. REFERENCIAS

- American Concrete Institute [ACI]. (2019). *ACI 318-19: Building code requirements for structural concrete and commentary*. American Concrete Institute.
- Aziz, R., Nasreldin, T., & Hashem, O. (2024). *The role of BIM as a lean tool in design phase*. *Journal of Engineering and Applied Science*, 71(1), 23.
https://www.researchgate.net/publication/377589589_The_role_of_BIM_as_a_lean_tool_in_design_phase
- BIMForum. (2025). *Level of development (LOD) specification*. <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2025/11/LOD-Spec-2025-Part-I-official-Spanish.pdf>
- Blasco, A. (1990). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. Colegio de Ingenieros del Perú.
- Bowles, J. (1988). *Foundation analysis and design* (4.^a ed.). McGraw-Hill.
- BuildingSMART Spain. (3 de mayo 2021). *Introducción a la serie de normas ISO 19650*.
<https://www.buildingsmart.es/recursos/en-iso-19650/>
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. (2019). *Microzonificación sísmica del distrito de San Borja: Informe técnico - Programa Presupuestal 0068*. Universidad Nacional de Ingeniería; Ministerio de Economía y Finanzas.
- Condori, J. (2020). *Análisis y diseño estructural de una edificación de 5 pisos de concreto armado mediante la aplicación de la metodología BIM en el distrito de Tacna*.
<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1567>
- Del Barco, D. (2019). *Diario de un BIM Manager*. COSTOS S.A.C.
- Echezuría, H., López, I. y Cárdenas, J. (2004). *Definición de coeficientes de balasto para el diseño de fundaciones*.

Harmsen, T. E. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Fondo Editorial PUCP.

<https://repositorio.pucp.edu.pe/items/41ea2b77-b8e4-4690-aec0-369872d9fd80>

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.

Horna, N. (2023). *Diseño estructural de edificio para uso de vivienda multifamiliar de 4 pisos aplicando Softwares Robot Structural y Revit-Chachapoyas–2022*.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/116452>

Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI]. (2017). *Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw*.

Leonardi, M., Granja, J., Oliveira, D., & Azenha, M. (2024). *Scalable BIM based open workflow for structural analysis of masonry building aggregates*. *Computers & Structures*, 297, (107321).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045794924000506>

Ministerio de Economía y Finanzas [MEF]. (5 de mayo de 2023). *Guía Técnica BIM para edificaciones e infraestructuras*.

https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo_RD005_2023EF6301.pdf

Ministerio de Economía y Finanzas [MEF]. (31 de julio de 2019). *Plan BIM Perú*.

<https://www.mef.gob.pe/planbimperu/planbim.html>

Ministerio de Economía y Finanzas [MEF]. (24 de marzo de 2023). *Guía Nacional BIM: Gestión de la información para inversiones desarrolladas con BIM (Actualización 2023)*. Dirección General de Programación Multianual de Inversiones.

https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/anexos/anexo_RD003_2023EF6301.pdf

Ministerio de Economía y Finanzas [MEF]. (28 de febrero de 2025). *Malla curricular BIM: Propuesta para la adopción de BIM en los planes de estudios de las instituciones de educación superior en el Perú.*

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7742800/6546018-rd004_2025ef6301_anexo_malla_curricular_bim.pdf?v=1741399310

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (2020). *Norma Técnica E.020: Cargas. Reglamento Nacional de Edificaciones.*

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (29 de julio de 2020). *Norma Técnica De Edificación - E.060 Concreto Armado.*

<https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (23 de octubre de 2018).

Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (24 de enero de 2025). *El*

Plan de Implementación BIM para el sector de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7542193/6409955-rm-026-2025-vivienda.pdf?v=1737985436>

Morales, R. (2006). *Diseño en concreto armado.* Fondo Editorial ICG.

Municipalidad de San Borja [MSB]. (2024). *Certificado de Parámetros Urbanísticos y Edificatorios N° D000412-2024-MSB-GM-GDUC.* Gerencia de Desarrollo Urbano y Catastro.

- Murguía, D., Vasquez, C., Culqui, D., Ley, J. D., Supanta, O., y Yañez, S. (2023). *Tercer estudio de adopción BIM en proyectos de edificación en Lima*.
<https://repositorio.pucp.edu.pe/items/cee4bfa1-aaed-4f17-b6ae-9e8a34ebb9de>
- Pacha, C. (2023). *Análisis estructural comparativo aplicando Robot Structural y Tekla Structural Designer de la infraestructura del colegio Las Mercedes, Juliaca, Puno*.
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/9246401>
- Piqué, J. (1995). *Diseño por capacidad: Una estrategia neozelandesa de diseño sismorresistente*. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Powell, G. H. (2010). *Modeling for structural analysis: behavior and basics*. Computers & Structures.
https://thuvienso.hcmute.edu.vn/tailieu/2022/20220806/runordie6/csi_modeling_for_structural_analysis_p1_6606.pdf
- Quezada, C., y Torres, C. (2023). *Análisis y diseño estructural de una edificación de seis niveles utilizando Revit y Etabs, Trujillo—2022*.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/113932>
- Reyes, P. (2023). *Estructuras en BIM: Cómo de automático puede llegar a ser el modelado de estructuras en BIM. Ventajas con respecto al flujo de trabajo tradicional en CAD*.
<https://journalbim.org/index.php/jb/article/view/40>
- Sánchez, B. (2022). *Determinar la respuesta estructural del módulo “I” de la IEP Alfonso Villanueva Pinillos, de la ciudad de Jaén al ser analizado con los softwares Robot Structural Analysis Professional y ETABS*.
<https://repositorio.unc.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f9cc4ba6-44f5-4edb-b964-43ea7a18a1f7/content>
- Singer, F., y Pytel, A. (2008). *Resistencia de materiales (4.ª ed.)*. Alfaomega.

IX. ANEXOS

ANEXO A

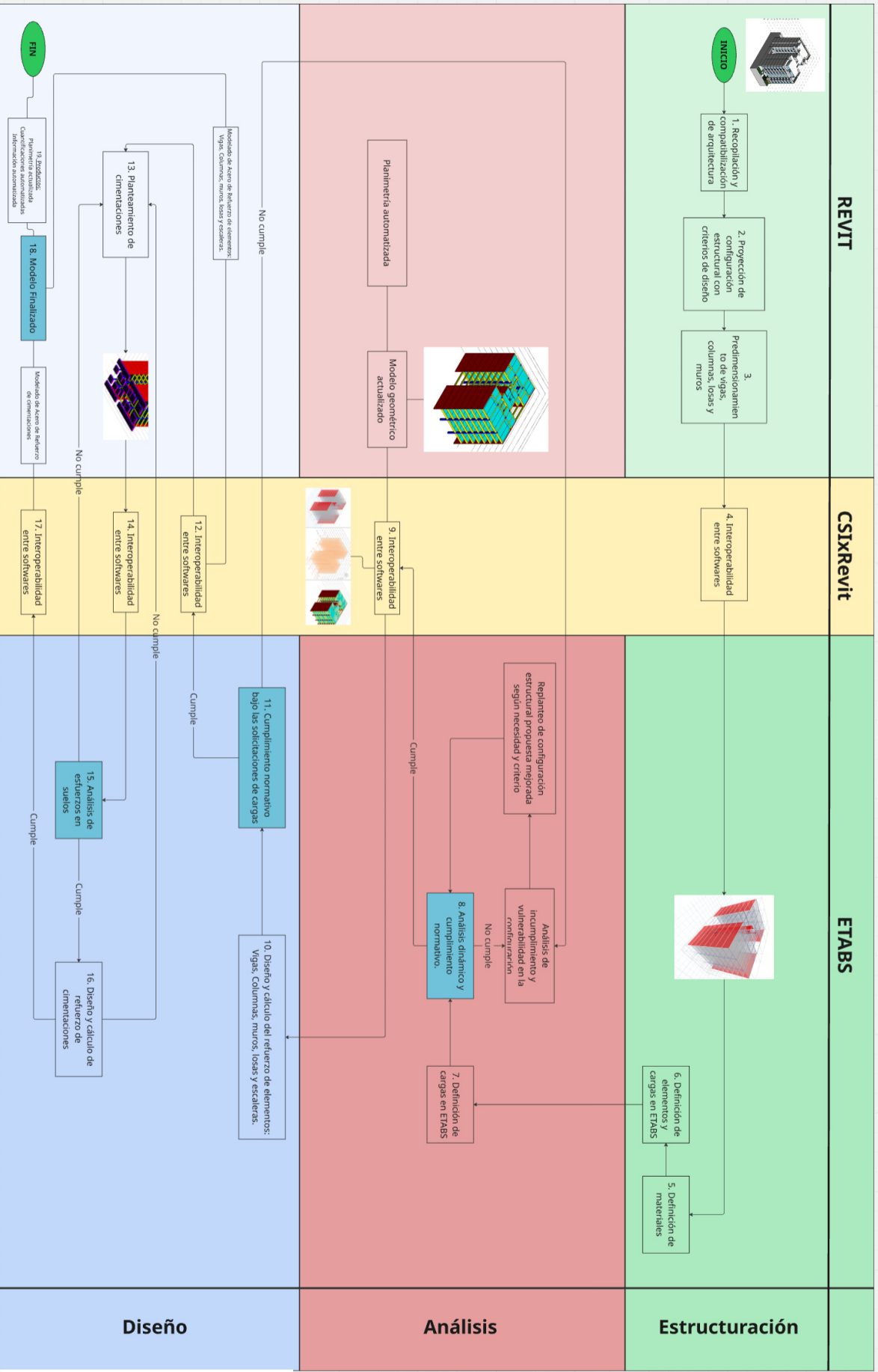
MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA " Optimización de la calidad del diseño estructural mediante la aplicación de la metodología BIM, en una Vivienda Multifamiliar, San Borja 2025 "						
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	Variable Independiente			Tipo de estudios: Aplicada
¿De qué manera la metodología BIM asistida mediante los softwares ETABS y Revit condiciona la calidad del diseño estructural garantizando la seguridad y eficiencia técnica de una edificación multifamiliar de 8 pisos en San Borja – Lima, 2025?	Evaluar la influencia de la aplicación de la metodología BIM asistida por los softwares ETABS y Revit en la calidad del diseño estructural de una edificación multifamiliar de 8 pisos ubicada en el distrito de San Borja, Lima – 2025.	La aplicación de la metodología BIM asistida por los softwares ETABS y Revit optimiza significativamente la calidad del diseño estructural, garantizando el cumplimiento de los límites de distorsión de entrepiso (derivas) y la eficiencia en la integración de la información de acuerdo con las normas E.030 y E.060 del RNE.	La aplicación de la metodología BIM asistida por los softwares ETABS & Revit	Modelo de la edificación ETABS	Resultados del análisis de la edificación Calidad del modelado	Enfoque de investigación: Cuantitativo Diseño de investigación: No experimental, Transversal Nivel de Investigación: Explicativo Método de investigación: Científico Población: Las edificaciones multifamiliares de 8 pisos en Lima Metropolitana Muestra: Una edificación multifamiliar de 8 pisos ubicada en Lima, San Borja.
				Modelo de edificación en software Revit	Calidad de planimetría de Estructuras Cuantificación de partidas del proyecto.	
				Interoperabilidad de software entre ETABS y Revit	Exportación e importación de la información contenida en el proyecto entre los softwares Procesos del estándar ISO 19650 Usos BIM aplicados de la Guía nacional BIM	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	Variable Dependiente			
¿Cómo proponer el dimensionamiento compatibilizado de columnas, vigas, muros y losas para la arquitectura de la edificación de 8 niveles mediante el uso del software Revit? ¿Cómo analizar la distribución de cargas en la edificación multifamiliar de 8 pisos en San Borja – Lima 2025 con el software ETABS? ¿Cómo se compatibilizaría los resultados del diseño estructural del software ETABS a través de la planimetría utilizando el software Revit para una edificación multifamiliar de 8 pisos ?	-Evaluar la influencia del modelado paramétrico en la precisión del dimensionamiento compatibilizado de columnas, vigas y losas con la arquitectura de la edificación multifamiliar de 8 pisos, utilizando software Revit. -Analizar el comportamiento del flujo de cargas y la respuesta sísmica de la edificación multifamiliar de 8 pisos en San Borja – Lima 2025 con el software Etabs garantizando la seguridad estructural y cumplimiento normativo. -Determinar de qué manera la integración de resultados de los softwares Etabs y Revit optimizan la calidad de la documentación técnica y planimetría estructural de una edificación multifamiliar de 8 pisos.	El uso del software Revit mejora la compatibilización entre las especialidades de arquitectura y estructura para el dimensionamiento de la edificación. Mediante el uso del software ETABS se analizará la distribución de cargas de la edificación multifamiliar de 8 pisos en San Borja – Lima 2025. El software Revit puede usar los resultados del diseño estructural obtenido del software ETABS para optimizar la representación de la planimetría para una edificación multifamiliar de 8 pisos.	Optimización de la calidad del diseño estructural	Estructuración	Compatibilización arquitectónica Cumplimiento de predimensionado según norma E.060	
				Análisis estructural	Cumplimiento normativo según norma E.020, E.030 y E.060 en los resultados de las Cargas, Derivas, Esfuerzos y Deformaciones	
				Diseño estructural	Cumplimiento normativo E.060 de la configuración de dimensión y armado de acero de refuerzo de la cimentación ,vigas, columnas, losas y muros.	

Nota. Elaboración propia.

ANEXO B
DIAGRAMA DE FLUJO

Diagrama de flujo



ANEXO C
DOCUMENTOS Y PLANOS

San Borja, 14 de Junio del 2024

CERTIF.DE PARÁMETROS URB. Y EDIF. N° D000412-2024-MSB-GM-GDUC

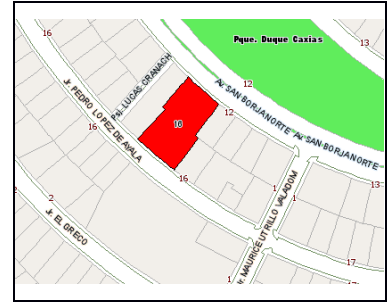
EXPEDIENTE N° : 0019015-2024

FECHA DE EMISION : 14.06.2024

TERMINO DE VIGENCIA : 14.06.2027

La Gerencia de Desarrollo Urbano y Catastro de la Municipalidad de San Borja, que suscribe de conformidad con el Artículo 59° del D.S. N°029-2019-VIVIENDA del 06 de noviembre del 2019, otorga el presente CERTIFICADO DE PARÁMETROS URBANÍSTICOS Y EDIFICATORIOS, a solicitud de XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX para el área urbana en donde se ubica el presente predio:

DATOS DEL TERRENO			
Código del Lote	30071016		
Área Territorial	Distrito de San Borja		
Ubicación (1)	Av. SAN BORJA NORTE Mz. B-8, Lts. 5 y 6 (URB. SAN BORJA, OCTAVO SECTOR), Jr. PEDRO LOPEZ DE AYALA, Mz. D-15, Lts. 12 y 13 (URB. SAN BORJA SUR, TERCERA ETAPA SECTOR A)		
Urbanización	URB. SAN BORJA, NOVENO SECTOR (Mz B-8, Lts. 5 y 6) (*) URB. SAN BORJA SUR, TERCERA ETAPA, SECTOR A (Mz D-15, Lts. 12 y 13) (**) (P.E. N° 15627944)		
Área del Lote (1)	1,396.59 m2 (P.E. N° 15627944)	Fronte del Lote (1)	25.94 ml (Av. SAN BORJA NORTE) (P.E. N° 15627944)



PARAMETROS NORMATIVOS APLICABLES AL AREA DEL LOTE			
ZONIFICACION	RDA (RESIDENCIAL DE DENSIDAD ALTA) frente a la Av. SAN BORJA NORTE RDB (RESIDENCIAL DE DENSIDAD BAJA) frente a la Jr. PEDRO LOPEZ DE AYALA		
AREA DE ESTRUCTURACION	III	AREA DIFERENCIADA	C
Usos Permisibles	VIVIENDA UNIFAMILIAR, VIVIENDA MULTIFAMILIAR.		
Usos Compatibles (2)	RESIDENCIAL		
Área Mínima por Unidad de Vivienda	90.00 m2. (Ord. N° 556-MSB, Art. 5°, modifica Art. 15° de Ord. N° 491-MSB)		
Lote Normativo (3)	Se considera el Área del Lote resultante de la Habilitación Urbana		
Área Libre	Residencial: 35%		
Altura Máxima	Fronte a Av. SAN BORJA NORTE Residencial Multifamiliar: 08 pisos (24.00 ml.) Ord. N° 1063-MML, Anexo N° 02, Literal B.7; Ord. N° 1444-MML, Art. Tercero.		
	Fronte a Jr. PEDRO LOPEZ DE AYALA Residencial Multifamiliar: 04 pisos (12.00 ml.) Ord. N° 1063-MML, Anexo N° 02, Literal B.7; Ord. N° 1444-MML, Art. Tercero.		
	Se permite el nivel de azotea solo para uso residencial (Ord. N°491-MSB Art. 18°); Siendo factible para uso diferente al de vivienda, solo de acuerdo a lo indicado en la Ord. N°491 Art.18 Inciso 4.		
Retiro Frontal	5.00 ml. Frente a la Av. SAN BORJA NORTE. 3.00 ml. Frente a la Jr. PEDRO LOPEZ DE AYALA.		
Alineamiento de Fachada	VARIABLE ml. medido con respecto al eje de la Av. SAN BORJA NORTE (VARIABLE ml.) + RETIRO (5.00 ml.) 10.00 ml. medido con respecto al eje de la Jr. PEDRO LOPEZ DE AYALA (7.00 ml.) + RETIRO (3.00 ml.)		
Estacionamiento (4)	1 por cada unidad de vivienda + 10% de estacionamientos para visita (Ord. 556, Art.5, Cuadro N° 03)		

Observar las siguientes normativas:

- Ley N° 29090: Ley de Regulación de Habilitaciones Urbanas y de Edificaciones y su Reglamento: D.S. N° 029-2019-VIV. (p.06.11.19).
- Reglamento Nacional de Edificaciones (p.23.05.06) Norma A.010 CONDICIONES GENERALES DE DISEÑO modificada por el R.M. N° 191-2021-VIVIENDA (p.08.07.21).
- Ord. N° 1063-2007-MML (p.10.09.07), Aprueban Reajuste Integral de la Zonificación de los Usos del Suelo del Distrito de San Borja.
- Ord. N° 1444-2010-MML (p.16.10.10), Modifican Plano de Zonificación, Plano de Alturas y Consideraciones Normativas del Distrito de San Borja, (Ord. N° 1063-MML).
- Ord. N° 491-MSB (p.08.12.12) Aprueban Reglamento de Edificaciones y Normas Complementarias de la Zonificación del Distrito de San Borja.
- Ord. N° 556-MSB (p.11.02.16), Modifica la Ord. N° 491-MSB - Reglamento de Edificaciones y Normas Complementarias de la Zonificación del Distrito de San Borja.
- Ord. N° 623-MSB (p. 16.04.19) Modifica la Ord. N° 610-MSB - Promoción de edificaciones sostenibles en zonas residenciales del distrito (FRENTE A AV. SAN BORJA NORTE)
- Ord. N° 707-MSB (p.08.11.2023) Ordenanza que aprueba el Reglamento de Licencias de Funcionamiento y Autorizaciones de la Municipalidad de San Borja

Observaciones:

- Tramite de Licencia de Edificación, de acuerdo al Art. 12.1 - Reglamento de Licencias de Habilitación Urbana y Licencias de Edificación - D.S. N° 029-2019-VIV. (p.06.11.19).
- Las Normas Técnicas no establecidas en el presente reglamento se regirán por el Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Sección Vial = VARIABLE ml, frente a Av. SAN BORJA NORTE.
- Sección Vial = 14.00 ml, frente a Jr. PEDRO LOPEZ DE AYALA

Notas:

- (1) Manzana, N° de Lote, Área y Frente del Lote, según Ficha Catastral y datos consignados en la solicitud.
- (2) Usos Compatibles: Ord. N° 600-MSB, Artículo Primero modifica Ord. N° 491-MSB, Art. 36° Niveles Operacionales de las Actividades en Zonas Residenciales (RDB, RDM, RDA).
- (3) Para la Subdivisión de Lotes: En ningún caso el lote resultante será menor de 300.00 m2. (Ord. N° 1063-MML).
- (4) Deberá considerarse estacionamientos de bicicletas, según Ord. N° 491-MSB, Art. 14°, Cuadro N° 05.
- (*) Mediante Decreto de Alcaldía N°1845-70-CPL (diciembre de 1970), se declara cumplida la ejecución de las obras correspondientes al Octavo Sector de la Urbanización San Borja
- (**) Mediante Resolución Directoral Superior N°1114-76-VC-5500 (15.10.1976), de acuerdo a los planos de replanteo N°041-76-DCU, se declara cumplida la ejecución de obras correspondientes a los Sectores "A" y "B" de la Cuarta Etapa y los Sectores "A", "B" y "C" de la Sexta Etapa de la Urbanización San Borja Sur.

El presente Certificado se emite de conformidad con lo indicado en la Ley 29090, Art. 14, Párrafo 2° (p. 25.09.2007) y al D.S. N° 029-2019-VIV., Art. 5.2 (p.06.11.19).

Documento firmado digitalmente

SUSANA RAMÍREZ DE LA TORRE

GERENTE DE DESARROLLO URBANO Y CATASTRO

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en la Municipalidad de San Borja, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web:

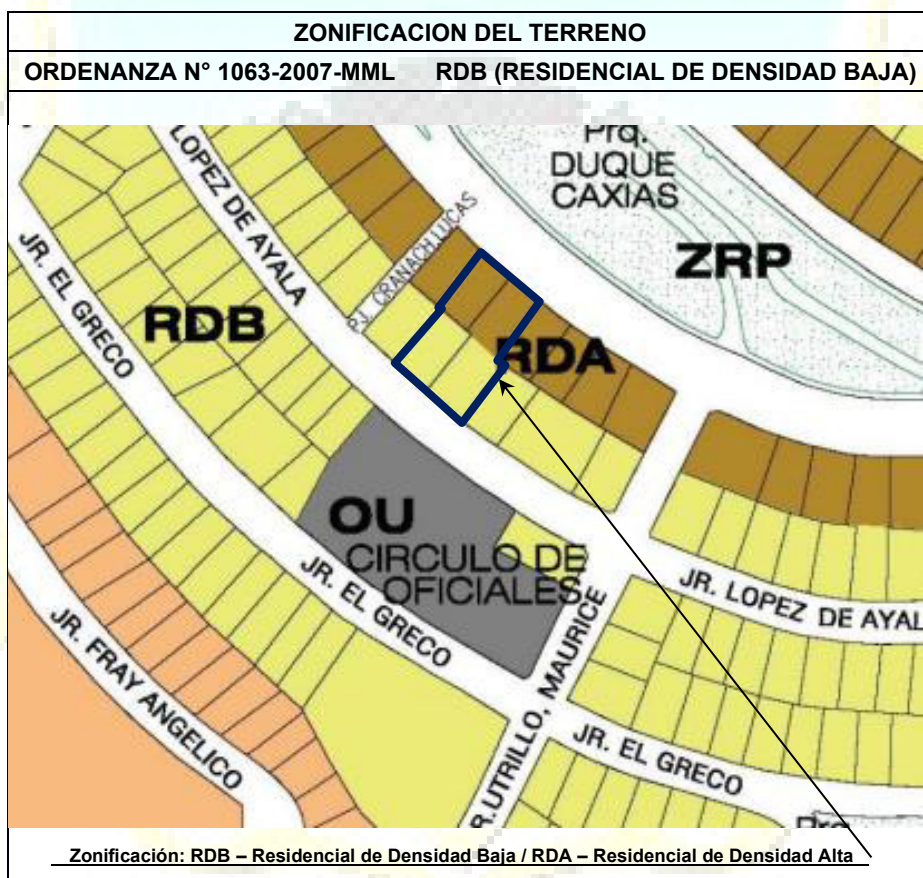
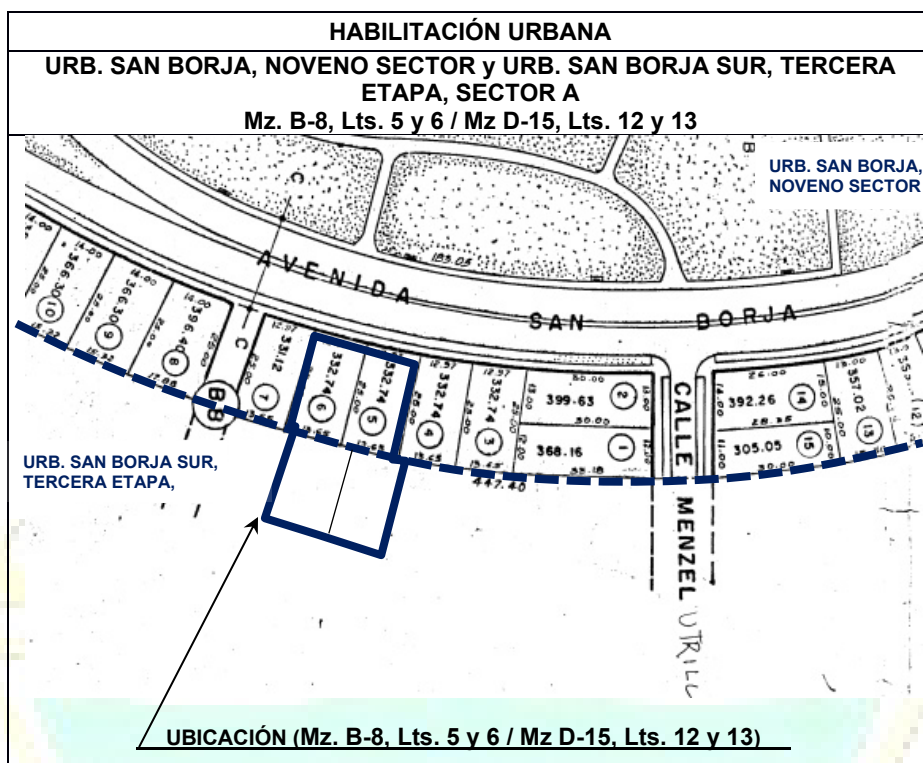
Url: <https://validadoc.msb.gob.pe:8181/verifica/inicio.do> Clave: XAEFSA

GERENCIA MUNICIPAL

GERENCIA DE DESARROLLO URBANO Y CATASTRO

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"

"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"





1 : 100

1 : 100



1:25

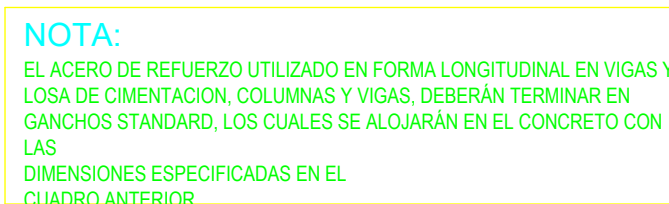


1:25

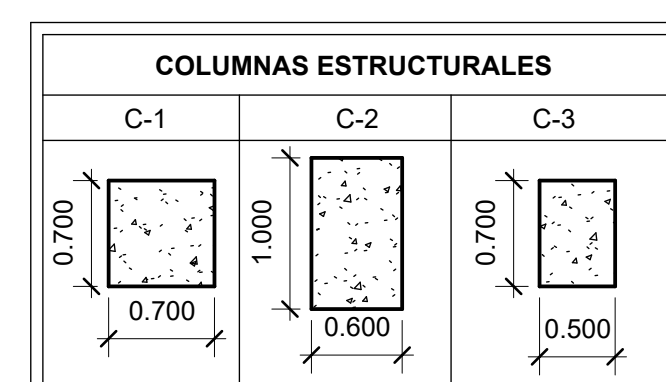


DETALLES TÍPICOS DE ENCUENTROS ENTRE MUROS (Planta)

- 1.-SOLO SE MUESTRA REFUERZO HORIZONTAL
- 2.-VER REFUERZO VERTICAL EN DETALLE DE EXTREMOS Y ELEVACION DE MUROS
- 3.-SOLO CONSIDERAR LOS CASOS QUE EXISTEN N EL PRESENTE PROYECTO



NOTA:
EL ACERO DE REFUERZO UTILIZADO EN FORMA LONGITUDINAL EN VIGAS Y LOSA DE CIMENTACION, COLUMNAS Y VIGAS, DEBERÁN TERMINAR EN GANCHOS STANDARD, LOS CUALES SE ALOJARÁN EN EL CONCRETO CON LAS DIMENSIONES ESPECIFICADAS EN EL CUADRO ANTERIOR.



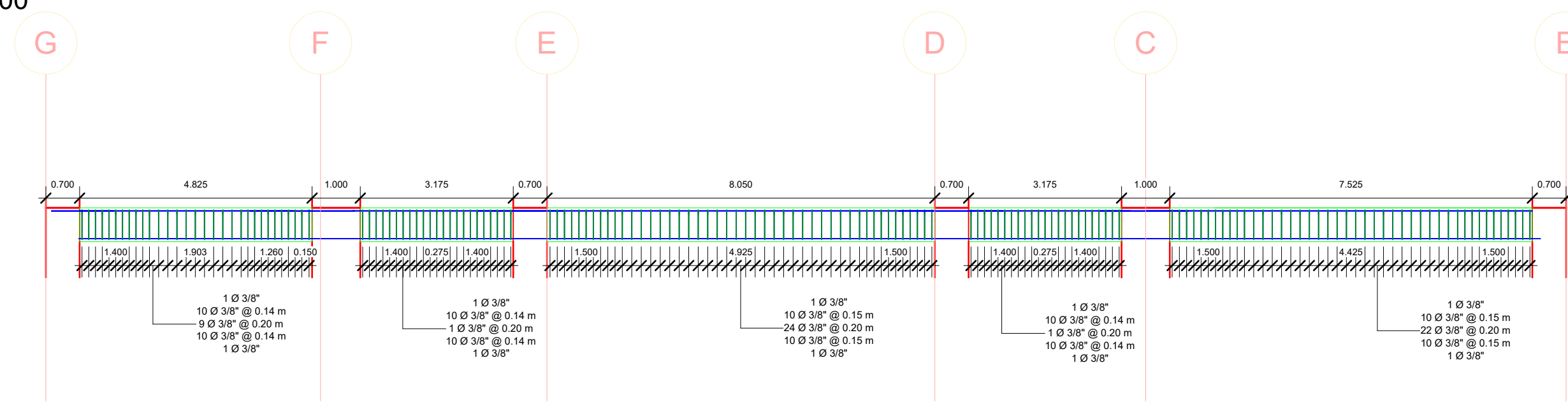
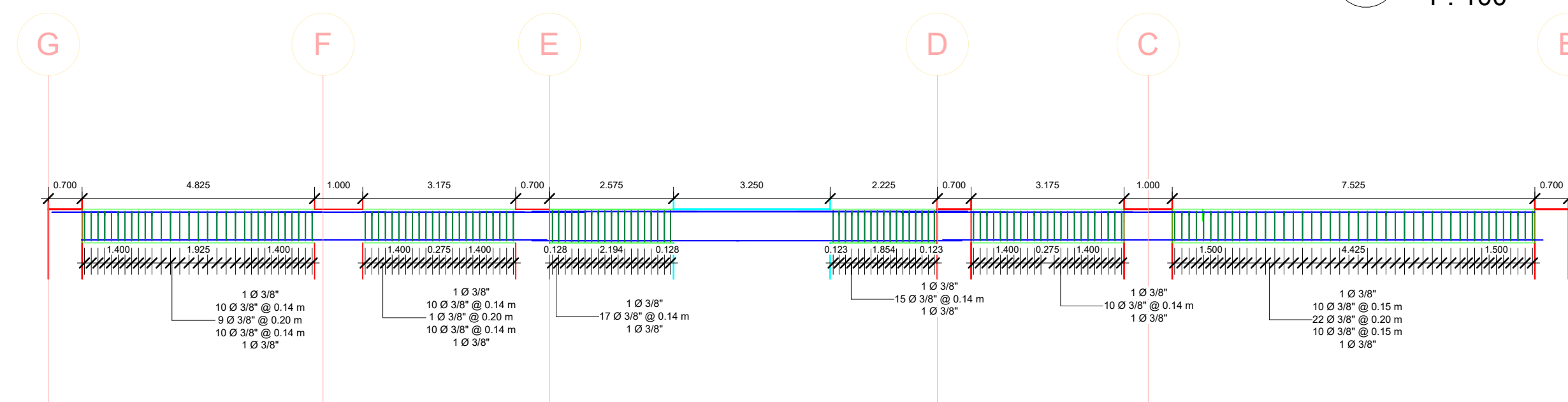
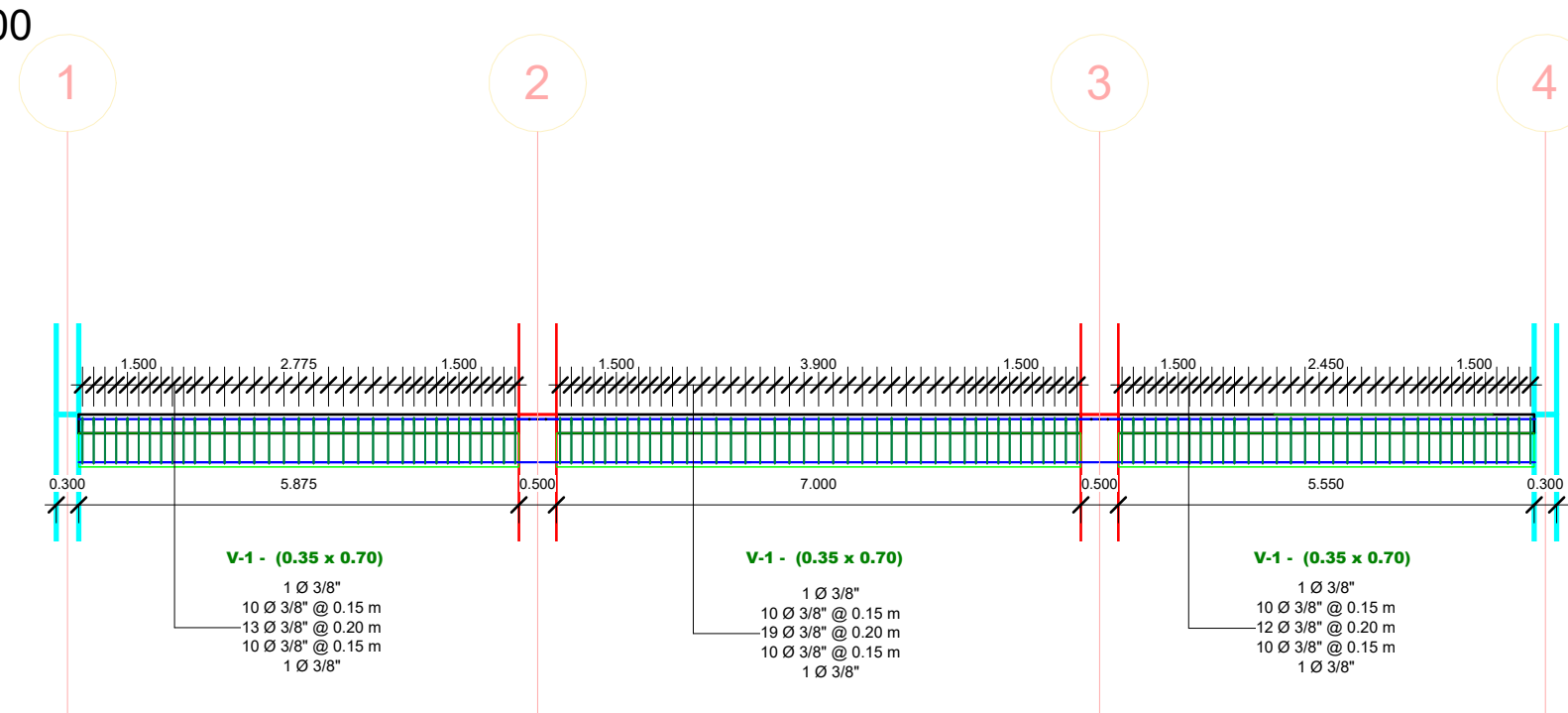
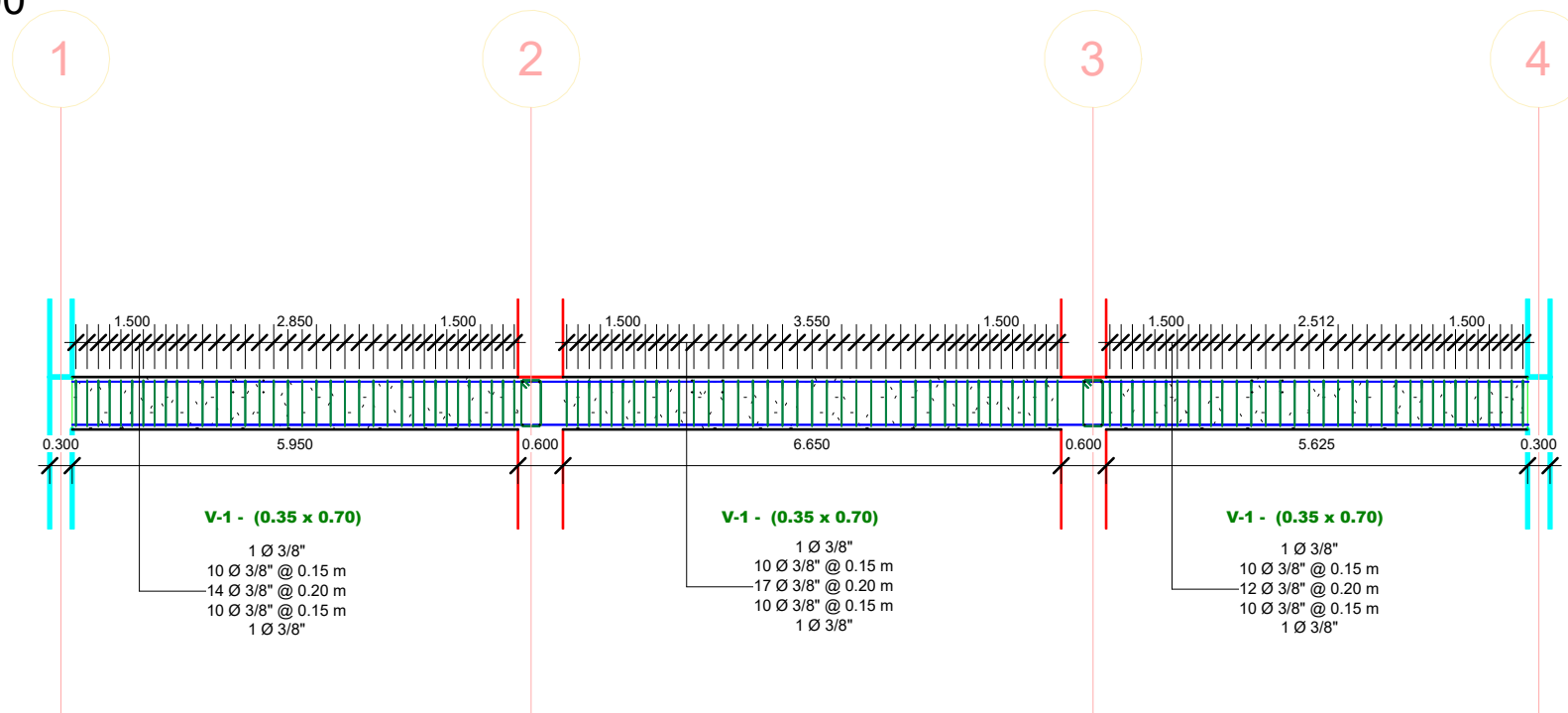
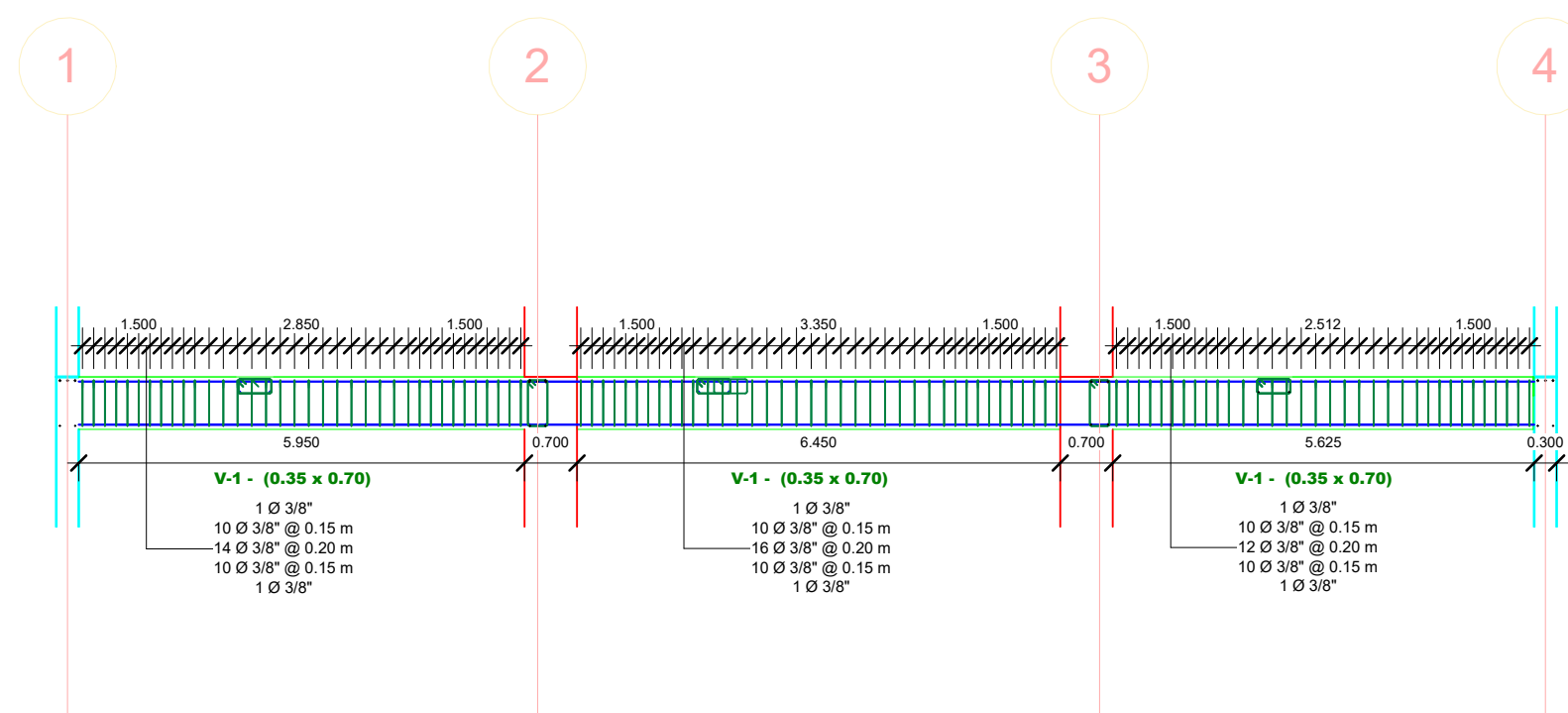
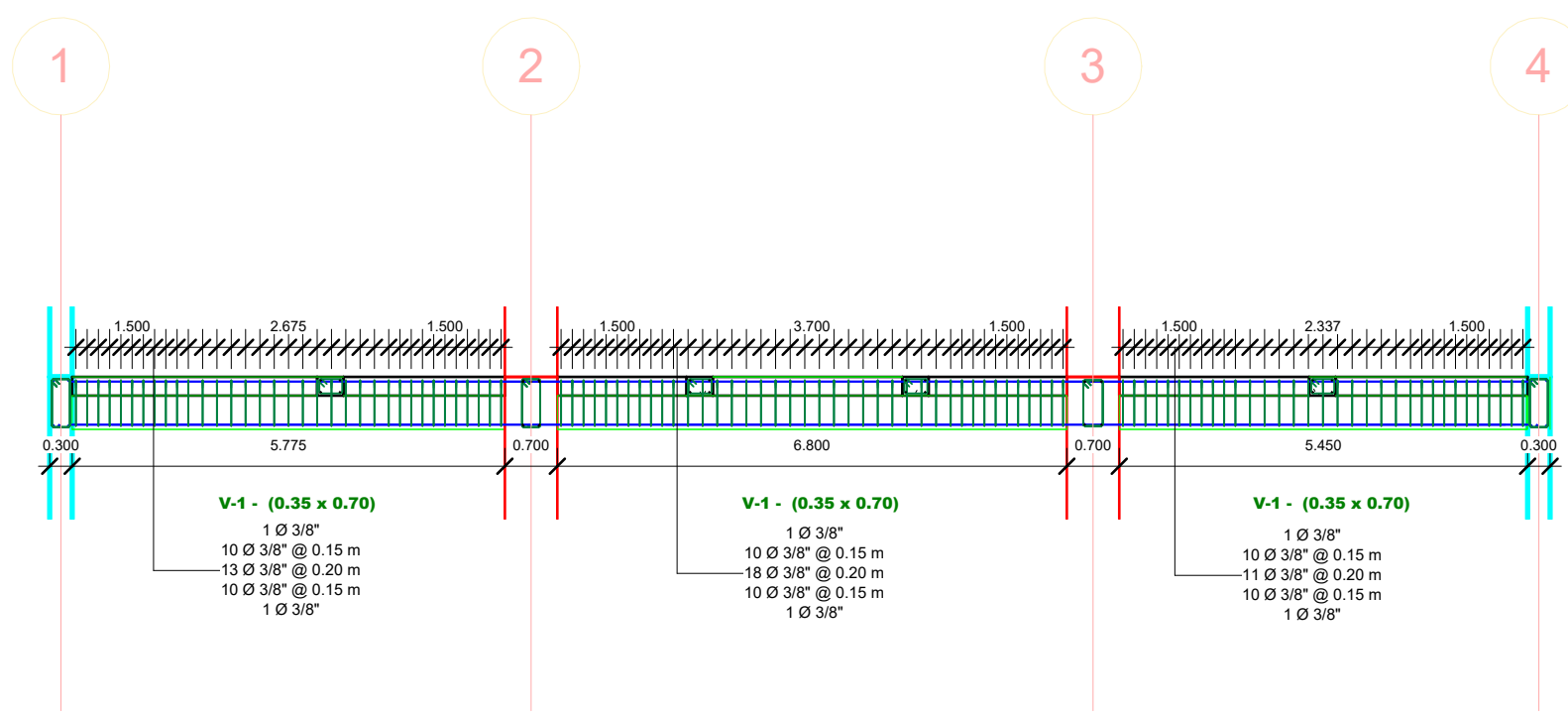
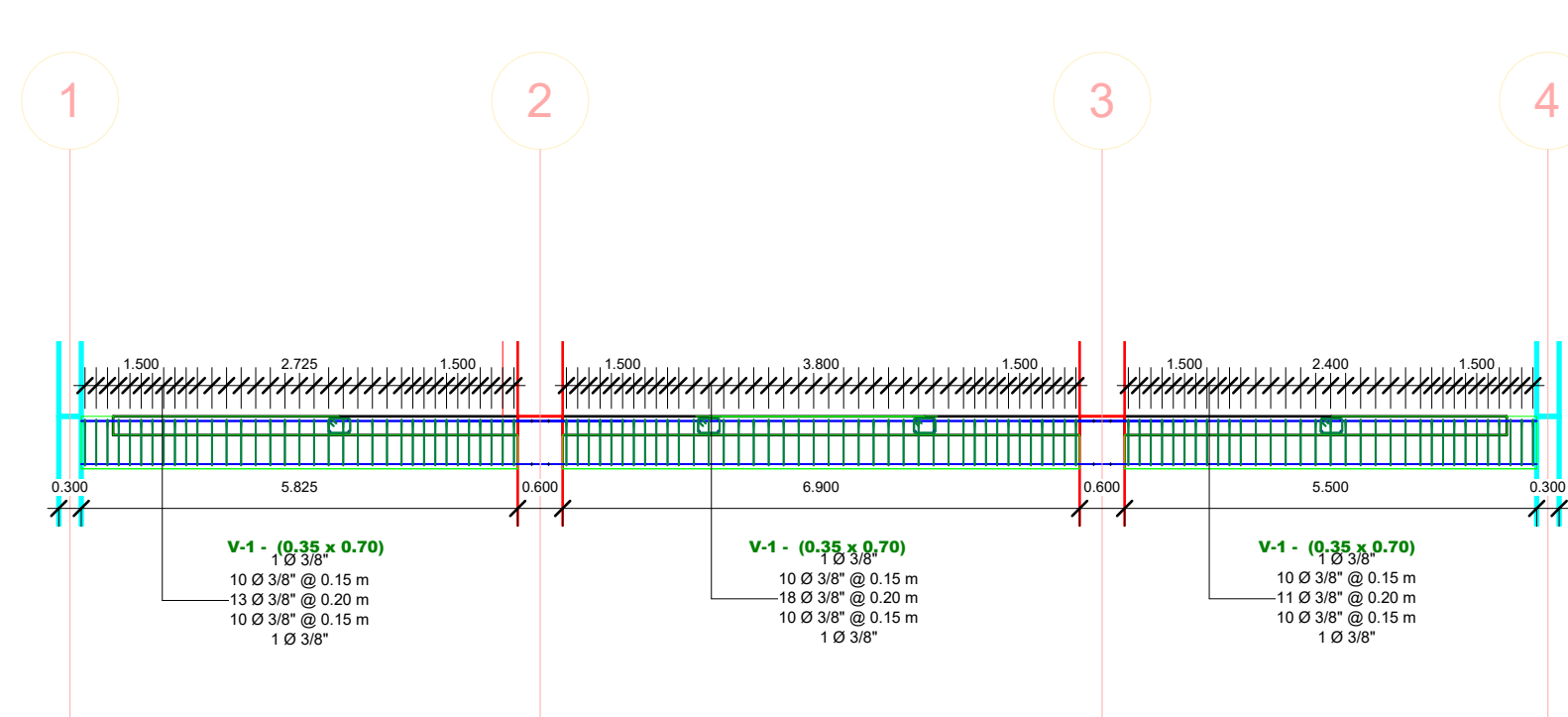
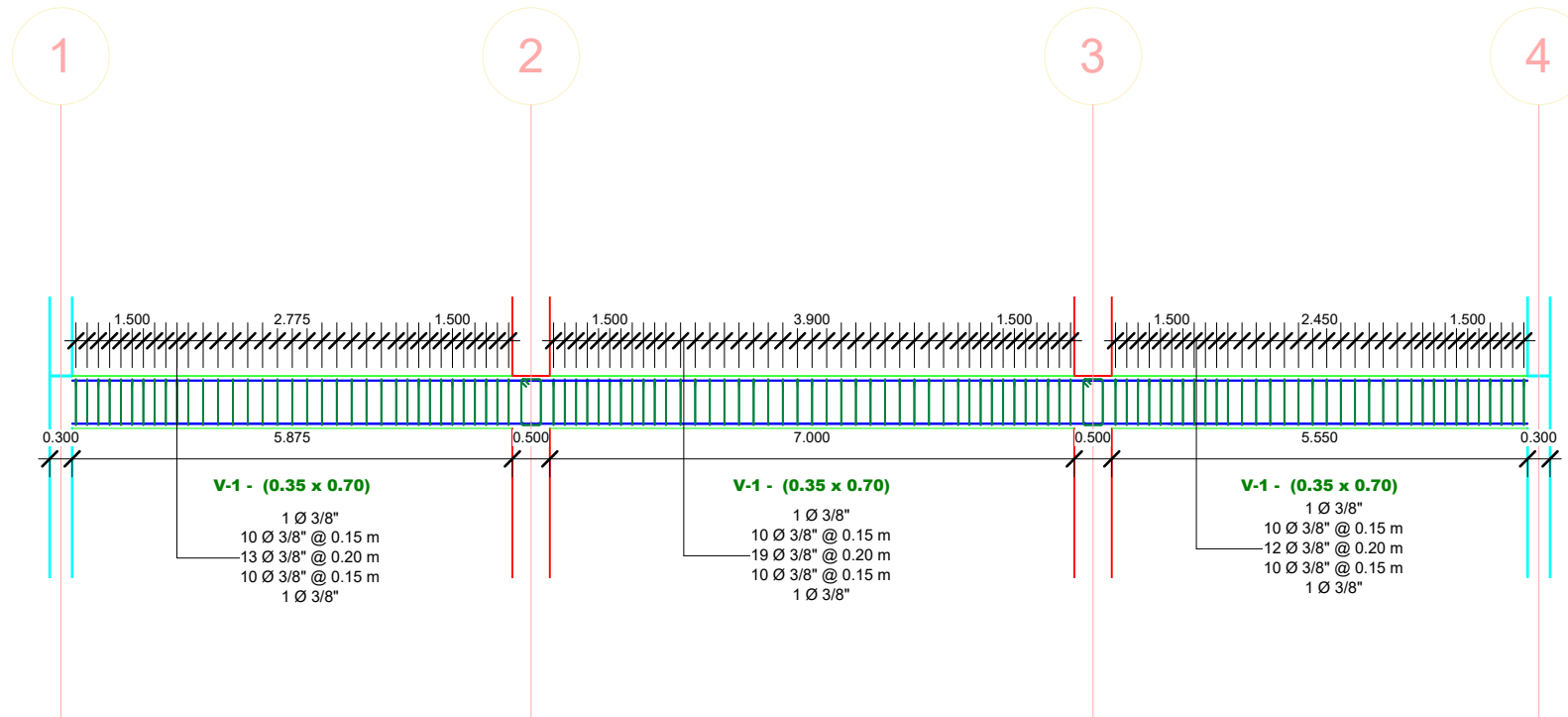
Diametro	d(mm)	D(mm)=4d	L(mm)
Ø6mm	6.0	24	93
Ø1/4"	6.4	26	95
Ø8mm	8.0	32	100
Ø3/8"	9.5	38	105
Ø12mm	12.0	48	111
Ø1/2"	12.7	51	115

DETALLE DEL GANCHO

ESTRIBO EN VIGAS Y COLUMNAS

Leyenda	
COLUMNAS	
VIGAS	
PLACAS	
VIGUETAS	

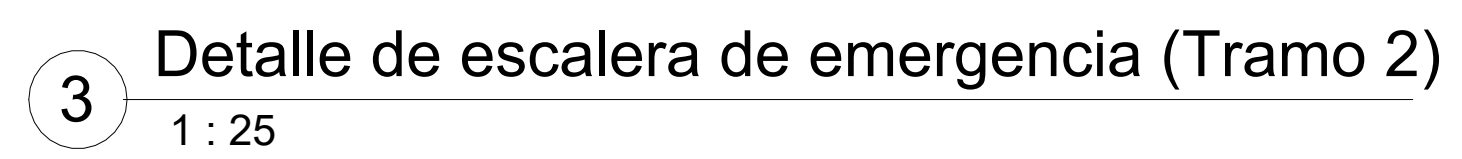
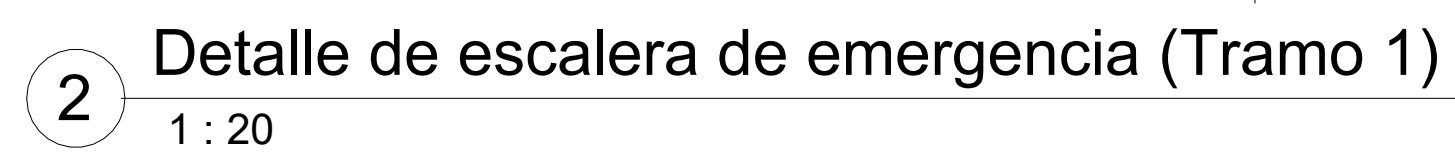
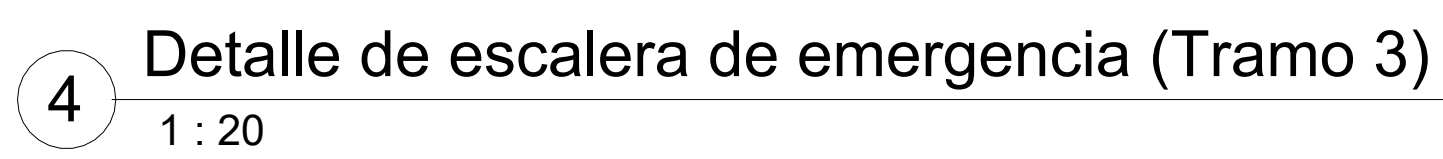
Resistencia de concreto $f' = 280 \text{ kg/cm}^2$

[illegible]

Vivienda Multifamiliar Edificación

Elevaciones de Vigas

Número de proyecto	0001
Fecha	30/11/2025
Dibujado por	Bach. Jorge Tizón Orozco
Comprobado por	Ing. Francisco Jaramillo
E-3	
Escala	1 : 100



Vivienda
Multifamiliar
Edificación

Detalle de Escalera

2/06/2026 20:22:25