

INGENIERÍA CIVIL

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Civil

AUTOR: Wilmer Patricio Rea Bozmediano

TUTOR: Ing. Alberto David Icaza Verdesoto

**Análisis comparativo técnico-económico entre un
sistema aporticado y uno dual para una vivienda dúplex
aplicando la metodología BIM**

Certificación de Autoría

Yo, **Wilmer Patricio Rea Bozmediano** declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.

Wilmer Patricio Rea Bozmediano.

c.c. 171438526-5

Aprobación del Tutor

Yo **Alberto David Icaza Verdesoto**, certifico que conozco al autor del presente trabajo de titulación denominado **“Análisis comparativo técnico-económico entre un sistema aporticado y uno dual para una vivienda dúplex aplicando la metodología BIM.”**, **Wilmer Patricio Rea Bozmediano** siendo el responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Alberto David Icaza Verdesoto.

Director del Trabajo de Titulación.

Dedicatoria

A los ingenieros civiles, guardianes silenciosos del bienestar humano, que, con cada diagrama, cada plano y cada estructura, levantan no solo edificaciones, sino también esperanzas. A quienes, desde el hormigón y el acero, construyen seguridad, confianza y un mejor futuro para todos.

Esta tesis es un tributo a su pasión, a su entrega incansable y a su noble misión de salvar vidas, incluso sin ser vistos. Porque detrás de cada estructura sismorresistente, siempre hay un ingeniero civil que soñó con protegernos.

Agradecimiento

A mis padres, por ser los primeros ingenieros de mis sueños. Su amor, su ejemplo y su fe inquebrantable fueron los planos sobre los cuales comencé este increíble viaje a través del mundo de la sismorresistencia. Gracias por enseñarme que las mejores cimentaciones se las construyen con valores sólidos.

A mi amada esposa, mi compañera de vida y de construcción. Gracias por ser y estar, por convertirte en las columnas que sostienen mi existencia. Tu amor me dio equilibrio, y tu presencia, estabilidad en cada sismo emocional.

A mi hermosa hija, mi inspiración más pura. Con tu sonrisa me recordaste que los sueños no son solo planos olvidados, se viven, se construyen y se alcanzan. Gracias por enseñarme que siempre se puede llegar más lejos, cuando el amor es el hogar y la motivación, la familia.

Tabla de Contenido

Certificación de Autoría	2
Aprobación del Tutor	3
Dedicatoria	4
Agradecimiento	4
Tabla de Contenido	5
Índice de Tablas	10
Índice de Figuras	12
Resumen	18
Abstract	19
Introducción	20
Objetivos	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos	21
Justificación	21
Justificación Teórica	21
Justificación Metodológica	22
<i>Seguridad Estructural</i>	22
<i>Adaptabilidad Interdisciplinaria en Entorno BIM</i>	23
<i>Costos de Construcción</i>	23
<i>Análisis comparativo técnico-económico</i>	23
Delimitaciones	24
<i>Ubicación Geográfica</i>	24
<i>Tipo de Vivienda</i>	24

<i>Sistemas Estructurales</i>	24
<i>Programas</i>	24
<i>Aspectos Económicos</i>	24
Marco Referencial	25
Marco Teórico.....	25
Marco Conceptual.....	25
<i>Sistemas Estructurales</i>	25
<i>Metodología BIM</i>	25
<i>Análisis Comparativo Técnico-Económico</i>	25
Marco Normativo.....	26
<i>Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15)</i>	26
<i>Código ACI 318-19</i>	26
Capítulo 1: Modelos Analíticos de los Sistemas Aporticado y Dual.....	27
Descripción del Proyecto	27
Aplicación de la Metodología BIM en el Ámbito Estructural.....	31
<i>Usos BIM</i>	31
<i>Roles BIM</i>	31
<i>Flujo de Trabajo para el Desarrollo del Modelo Analítico</i>	33
<i>CDE en la Metodología BIM</i>	34
Datos Técnicos de Diseño	36
<i>Materiales</i>	36
<i>Suelo</i>	36
Cargas	36
<i>D: Carga Muerta</i>	36
<i>L: Carga Viva</i>	37

Sistema Aporticado	37
<i>Elementos Estructurales del Sistema Aporticado</i>	38
<i>Coeficiente Sísmico del Sistema Aporticado</i>	50
<i>Fuerzas Laterales del Sistema Aporticado</i>	52
<i>Torsión en los Modos de Vibración del Sistema Aporticado</i>	52
<i>Irregularidad Torsional Extrema del Sistema Aporticado</i>	53
<i>Periodo de Vibración Sísmica del Sistema Aporticado</i>	54
<i>Derivas del Sistema Aporticado</i>	55
<i>Diseño por Última Resistencia</i>	57
<i>Diseño de Elementos Estructurales del Sistema Aporticado</i>	58
<i>Diseño de Cimentación del Sistema Aporticado</i>	59
<i>Diseño de Columnas del Sistema Aporticado</i>	64
<i>Diseño de Vigas del Sistema Aporticado</i>	69
Sistema Dual	75
<i>Elementos Estructurales del Sistema Dual</i>	75
<i>Coeficiente Sísmico del Sistema Dual</i>	79
<i>Clasificación de Sistema Dual según la NEC-SE-DS</i>	81
<i>Fuerzas Laterales del Sistema Dual</i>	83
<i>Torsión en los Modos de Vibración del Sistema Dual</i>	83
<i>Irregularidad Torsional Extrema del Sistema Dual</i>	84
<i>Periodo de Vibración Sísmica del Sistema Dual</i>	86
<i>Derivas del Sistema Dual</i>	87
<i>Diseño por Última Resistencia</i>	88
<i>Diseño de Elementos Estructurales del Sistema Dual</i>	89
<i>Diseño de Cimentación del Sistema Dual</i>	90
<i>Diseño de Columnas del Sistema Dual</i>	95

<i>Diseño de Vigas del Sistema Dual</i>	109
Capítulo 2: Adaptabilidad de los Modelos Estructurales en la Arquitectura.....	115
Flujo de Trabajo para el Desarrollo del Modelo Estructural	115
<i>Adaptabilidad del Modelo Estructural Aporticado en Arquitectura</i>	119
<i>Adaptabilidad del Modelo Estructural Dual en Arquitectura</i>	122
Verificación de Interferencias en el Modelo Estructural Aporticado	125
Modelo Estructural Aporticado en Revit	126
<i>Modelo Estructural Dual en Revit</i>	129
Capítulo 3: Costos de Construcción de los Sistemas Aporticado y Dual.....	132
Metodología BIM para la planificación y presupuestación	132
Sistema Aporticado.....	133
<i>Cantidades de Materiales del Sistema Aporticado</i>	133
<i>Costos Directos del Sistema Aporticado</i>	133
<i>Tiempo de Ejecución para la Construcción del Sistema Aporticado</i>	135
Sistema Dual	136
<i>Cantidades de Materiales del Sistema Dual</i>	136
<i>Costos Directos del Sistema Dual</i>	136
<i>Tiempo de Ejecución para la Construcción del Sistema Dual</i>	138
Capítulo 4: Análisis Comparativo de los Sistemas Aporticado y Dual	139
Seguridad Estructural	139
Costos de Construcción	143
<i>Cantidad de Acero del Sistema Dual y Aporticado</i>	143
<i>Costos Directos de Hormigón y Acero del Sistema Dual y Aporticado</i>	144
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones.....	145

Conclusiones	145
Recomendaciones	146
Referencias Bibliográficas	147
Anexos	149

Índice de Tablas

Tabla 1	Momentos últimos y As final para losa maciza, $h=13\text{cm}$	39
Tabla 2	Armadura en losa, $b = 100\text{ cm}$	39
Tabla 3	Carga de diseño: Viga 3, entre los ejes C y D, del nivel +2.52	40
Tabla 4	Prediseño: Viga 3, entre los ejes C y D, del nivel +2.52	40
Tabla 5	Diseño de estribos en viga. Sistema aporticado.	41
Tabla 6	Prediseño de columna D-3	43
Tabla 7	Cálculo de estribos para columna 35x25 cm.	44
Tabla 8		45
Tabla 9	Prediseño de plinto.....	48
Tabla 10	Cargas y combinaciones por ultima resistencia.	57
Tabla 11	Diseño de nudo C-3, N+2.52	68
Tabla 12	Diseño a corte, viga de hormigón.	70
Tabla 13	Cargas y combinaciones por ultima resistencia (NEC - SE - DS, 2015).....	88
Tabla 14	Acero de refuerzo en muro C-1.	100
Tabla 15	Acero de refuerzo en muro C-4.	102
Tabla 16	Acero de refuerzo en muro E-3.	104
Tabla 17	Acero de refuerzo en muro F-1.....	106
Tabla 18	Acero de refuerzo en muro F-4.....	108
Tabla 19	Diseño a corte, viga de hormigón.	110
Tabla 20	Resumen de cantidades de acero y hormigón del sistema aporticado.	133
Tabla 21	Tabla de costos directos del sistema aporticado.	133
Tabla 22	Resumen de cantidades de acero y hormigón del sistema dual.	136
Tabla 23	Tabla de costos directos del sistema dual.	136
Tabla 24	Cuadro de control: Periodos de vibración de los dos sistemas.	140
Tabla 25	Cuadro de control: Torsión en modos de vibración de los dos sistemas.....	141

Tabla 26 Cuadro de control: Derivas inelásticas máximas de los dos sistemas.142

Tabla 27 Resumen de cantidades de acero de los dos sistemas.143

Índice de Figuras

Figura 1	Modelo arquitectónico N±0.00	28
Figura 2	Modelo arquitectónico N+2.52	29
Figura 3	Modelo arquitectónico N+5.04	30
Figura 4	Roles en un proyecto BIM.....	32
Figura 5	Flujo de trabajo.	33
Figura 6	Diagrama de WCPA	35
Figura 7	Modelo analítico del sistema aporticado en Etabs.	37
Figura 8	Losa maciza tipo H = 13 cm. Detalle estructural.	39
Figura 9	Momento de inercia efectivo en viga 25x25: 0.5 (Sistema aporticado).....	42
Figura 10	Viga 25x25 cm. Detalle estructural.....	42
Figura 11	Momento de inercia efectivo en columna 25x35: 0.8 (Sistema aporticado). .	46
Figura 12	Momento de inercia efectivo en columna 25x60: 0.8 (Sistema aporticado). .	46
Figura 13	Columna 25x35 cm. Detalle estructural.....	47
Figura 14	Columna 25x60 cm. Detalle estructural.....	47
Figura 15	Plinto altura tipo, H = 30 cm. Detalle estructural.....	49
Figura 16	Cargas laterales.....	52
Figura 17	Modos de vibración.....	53
Figura 18	Irregularidad torsional en X.....	54
Figura 19	Irregularidad torsional en Y.....	54
Figura 20	Período fundamental de vibración de la estructura.	54
Figura 21	Deriva Elástica Máxima X.	55
Figura 22	Deriva Elástica Máxima Y.	56
Figura 23	Modelo analítico final del sistema aporticado.....	58
Figura 24	Coeficiente de Balasto, $K_s = 1\ 180.59\ t/m^3$	59
Figura 25	Implantación de cimentación. Plintos h=30cm.	59

Figura 26	Distribución de presiones en el Suelo (t/m^2), (D + L).....	60
Figura 27	Deformaciones en el suelo (cm).....	61
Figura 28	Control de punzonamiento en plintos, $h = 30$ cm.	62
Figura 29	Cuantía de acero inferior en plintos (cm^2/m).....	63
Figura 30	Diagrama de momentos por carga envolvente. Ejes C, D, E, F (tm).	64
Figura 31	Diagrama de momentos por carga envolvente. Ejes A, B (tm).	64
Figura 32	As columnas (cm^2). Dimensiones 25 x 60 cm. Ejes: C, D, E, F.	65
Figura 33	As columnas (cm^2). Dimensiones 25 x 35 cm. Ejes: A, B.	65
Figura 34	As columnas (%). Dimensiones 25 x 60 cm. Ejes: C, D, E, F.....	66
Figura 35	As columnas (%). Dimensiones 25 x 35 cm. Ejes: A, B.....	66
Figura 36	Relación 6/5, columna fuerte – viga débil.....	67
Figura 37	As vigas (cm^2). Dimensiones 25 x 25 cm. N+2.52.....	69
Figura 38	Diagrama de corte por carga envolvente. Eje 3 entre C y D (t).	70
Figura 39	As vigas (cm^2). Dimensiones 25 x 25 cm. N+5.04.....	71
Figura 40	As vigas (%). Dimensiones 25 x 25 cm. N+2.52.....	72
Figura 41	As vigas (%). Dimensiones 25 x 25 cm. N+5.04.....	73
Figura 42	Diagrama de deflexiones.	74
Figura 43	Modelo analítico del sistema dual en Etabs.	75
Figura 44	Plinto altura tipo, $H = 30$ cm. Detalle estructural.....	76
Figura 45	Losa maciza tipo $H = 13$ cm. Detalle estructural.	76
Figura 46	Viga 25x25 cm. Detalle estructural.....	77
Figura 47	Columna 25x35 cm. Detalle estructural.....	77
Figura 48	Momento de inercia efectivo en muros de corte 25x130: 0.6 (Sist. dual).....	78
Figura 49	Muro de corte 25x130 cm. Detalle estructural.	78
Figura 50	Sx, Fuerzas sísmicas en muros y columnas.	81
Figura 51	Sx, Fuerzas sísmicas en muros.	82

Figura 52 Sy, Fuerzas sísmicas en muros y columnas.	82
Figura 53 Sy, Fuerzas sísmicas en muros.	83
Figura 54 Cargas laterales.....	83
Figura 55 Modos de vibración.....	84
Figura 56 Irregularidad torsional en X.....	85
Figura 57 Irregularidad torsional en Y.....	85
Figura 58 Período fundamental de vibración de la estructura.	86
Figura 59 Deriva Elástica Máxima X.	87
Figura 60 Deriva Elástica Máxima Y.	88
Figura 61 Modelo analítico final del sistema dual.....	89
Figura 62 Coeficiente de Balasto, $K_s = 1\ 180.59\ t/m^3$	90
Figura 63 Implantación de cimentación. Plintos $h=30\text{cm}$	90
Figura 64 Distribución de presiones en el suelo (t/m^2), $(D + L)$	91
Figura 65 Deformaciones en el suelo (cm).....	92
Figura 66 Control de punzonamiento en plintos, $h = 30\text{ cm}$	93
Figura 67 Cuantía de acero inferior en plintos (cm^2/m).	94
Figura 68 Diagrama de momentos por carga envolvente. Ejes C, D, E, F (tm).	95
Figura 69 Diagrama de momentos por carga envolvente. Ejes A, B (tm).	95
Figura 70 As columnas (cm^2). Dimensiones $25 \times 35\text{ cm}$. Ejes: C, D, E, F.	96
Figura 71 As columnas (cm^2). Dimensiones $25 \times 35\text{ cm}$. Ejes: A, B.....	96
Figura 72 As columnas (%). Dimensiones $25 \times 35\text{ cm}$. Ejes: C, D, E, F.....	97
Figura 73 As columnas (%). Dimensiones $25 \times 35\text{ cm}$. Ejes: A, B.....	97
Figura 74 Acero de refuerzo en muro C-1, $e = 25\text{ cm}$	99
Figura 75 Acero de refuerzo en muro C-4, $e = 25\text{ cm}$	101
Figura 76 Acero de refuerzo en muro E-3, $e = 25\text{ cm}$	103
Figura 77 Acero de refuerzo en muro F-1, $e = 25\text{ cm}$	105

Figura 78 Acero de refuerzo en muro F-4, $e = 25$ cm.....	107
Figura 79 As vigas (cm^2). Dimensiones 25 x 25 cm. N+2.52.....	109
Figura 80 Diagrama de corte por carga envolvente. Eje 3 entre C y D (t).	110
Figura 81 As vigas (cm^2). Dimensiones 25 x 25 cm. N+5.04.....	111
Figura 82 As vigas (%). Dimensiones 25 x 25 cm. N+2.52.....	112
Figura 83 As vigas (%). Dimensiones 25 x 25 cm. N+5.04.....	113
Figura 84 Diagrama de deflexiones.	114
Figura 85 Flujo de trabajo.	115
Figura 86 Exportación de archivo IFC, desde Etabs.	116
Figura 87 Planta N+2.52 en Revit a partir de la importación desde Etabs. LOD 300.	117
Figura 88 Vista 3D en Revit a partir de la importación desde Etabs. LOD 300.....	117
Figura 89	117
Figura 90 Adaptabilidad de modelo estructural aporticado, entre ejes A y C, $N\pm 0.00$	119
Figura 91 Adaptabilidad de modelo estructural aporticado, entre ejes C y F, $N\pm 0.00$	120
Figura 92 Adaptabilidad de modelo estructural aporticado, entre ejes C y F, N+2.52.	121
Figura 93 Adaptabilidad de modelo estructural dual, entre ejes A y C, $N\pm 0.00$	122
Figura 94 Adaptabilidad de modelo estructural dual, entre ejes C y F, $N\pm 0.00$	123
Figura 95 Adaptabilidad de modelo estructural dual, entre ejes C y F, N+2.52.	124
Figura 96 Comprobación de interferencias en el modelo estructural aporticado.	125
Figura 97 Comprobación de interferencias en el modelo estructural dual.	125
Figura 98 Modelo estructural aporticado, LOD 350.....	126
Figura 99 Armadura estructural LOD 400. Acople plinto–columna, N-1.20.	126
Figura 100 Armadura estructural LOD 400: Nudo columna–viga, N+2.52.....	127
Figura 101 Armadura estructural LOD 400: Nudo columna-viga perimetrales, N+2.52	127

Figura 102 Armadura estructural LOD 400, Varilla de refuerzo y traslapes en viga, N+2.52.....	128
Figura 103 Modelo Estructural Dual, LOD 350.....	129
Figura 104 Armadura estructural LOD 400. Acople plinto–muro, N-1.20.....	129
Figura 105 Armadura estructural LOD 400: Acople muro-viga, N+2.52.....	130
Figura 106 Armadura estructural LOD 400: Acople muro-viga perimetrales, N+2.52 .	130
Figura 107	131
Figura 108 Dimensiones BIM.....	132
Figura 109 Cronograma de obra para el sistema aporticado.	135
Figura 110 Cronograma de obra para el sistema dual.	138
Figura 111 Histograma de los períodos de vibración entre los dos sistemas	140
Figura 112 Histograma de torsión en modos de vibración entre los dos sistemas.	141
Figura 113 Histograma de derivas inelásticas máximas entre los dos sistemas.	142
Figura 114 Histograma comparativo de la cantidad de acero entre los dos sistemas.	143
Figura 115 Resumen de costos directos de los dos sistemas.....	144
Figura 116 Histograma comparativo de costos entre los dos sistemas.....	144
Figura 117 Informe de mecánica de suelos, parte 1.	149
Figura 118 Informe de mecánica de suelos, parte 2.	150
Figura 119 Informe de mecánica de suelos, parte 3.	151
Figura 120 Informe de mecánica de suelos, parte 4.	152
Figura 121 Informe de mecánica de suelos, parte 5.	153
Figura 122 Informe de mecánica de suelos, parte 6.	154
Figura 123 Informe de mecánica de suelos, parte 7.	155
Figura 124 Informe de mecánica de suelos, parte 8.	156
Figura 125 Informe de mecánica de suelos, parte 9.	157
Figura 126 Planilla de acero del sistema aporticado.	158

Figura 127	Resumen de acero del sistema aporticado.	159
Figura 128	Planilla de acero del sistema dual.....	160
Figura 129	Resumen de acero del sistema dual.	161
Figura 130	Planilla de hormigón del sistema aporticado.	162
Figura 131	Planilla de hormigón del sistema dual, parte 1.	163
Figura 132	Planilla de hormigón del sistema dual, parte 2.	164
Figura 133	Especificaciones técnicas del hormigón en plintos.....	165
Figura 134	Especificaciones técnicas del acero en plintos.....	165
Figura 135	Especificaciones técnicas del hormigón en columnas.....	166
Figura 136	Especificaciones técnicas del acero en columnas.....	166
Figura 137	Especificaciones técnicas del hormigón en vigas.....	167
Figura 138	Especificaciones técnicas del acero en vigas.....	167
Figura 139	Especificaciones técnicas del hormigón en losas.....	168
Figura 140	Especificaciones técnicas del acero en losas.....	168

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo realizar un análisis comparativo técnico-económico entre dos sistemas estructurales comúnmente empleados en la construcción de viviendas dúplex de hormigón armado: el sistema aporticado y el sistema dual.

El sistema aporticado se basa en una estructura compuesta principalmente por vigas y columnas, que trabajan conjuntamente para resistir cargas verticales y horizontales. Por otro lado, el sistema dual integra un pórtico resistente a momentos con muros de corte, lo que permite una mayor rigidez lateral y un mejor desempeño sísmico.

La comparación se enfocará en evaluar las ventajas y limitaciones de cada sistema desde dos perspectivas fundamentales: la seguridad estructural y los costos asociados a su implementación.

Este estudio busca aportar criterios técnicos que favorezcan la adopción de soluciones estructurales más eficientes, contribuyendo así a mejorar la calidad de vida de la población ecuatoriana mediante edificaciones más seguras y económicamente viables.

Abstract

The purpose of this study is to conduct a comparative technical and economic analysis of two composite structural systems used in the construction of reinforced concrete duplex homes: the framed system and the dual-frame system.

The framed system is based on a structure composed primarily of beams and columns, which work together to resist vertical and horizontal loads. The dual-frame system, on the other hand, integrates a moment-resistant frame with shear walls, allowing for greater lateral rigidity and improved seismic performance.

The comparison will focus on evaluating the advantages and limitations of each system from two fundamental perspectives: structural safety and the costs associated with its implementation.

This study seeks to provide technical criteria that favor the adoption of more efficient structural solutions, thus contributing to improving the quality of life of the Ecuadorian population through safer and more economically viable buildings.

Introducción

En el contexto de la construcción de viviendas en Ecuador, el uso del hormigón armado como sistema estructural ha adquirido una notable relevancia. De acuerdo con el Censo Nacional de Población y Vivienda 2022 (Censo Ecuador, 2022), el 61,6 % de las viviendas particulares en el país corresponden a casas o villas, de las cuales 953.862 cuentan con cubiertas de hormigón armado. Esta cifra sugiere un alto uso de estructuras de hormigón armado en el sector residencial.

La evidencia práctica indica que la mayoría de estas viviendas han sido construidas utilizando el sistema estructural aporticado, caracterizado por el empleo de vigas y columnas como elementos principales de soporte. En menor proporción, también se ha implementado el sistema dual, el cual combina pórticos resistentes a momentos con muros de corte.

En el caso del Distrito Metropolitano de Quito, se reportan 689.999 viviendas con cubiertas de hormigón armado (Censo Ecuador, 2022), lo que refuerza la necesidad de analizar los sistemas estructurales predominantes en esta región de alta actividad sísmica.

El presente estudio tiene como finalidad realizar una comparación técnico-económica entre los sistemas estructurales aporticado y dual, aplicados a viviendas dúplex de hormigón armado, considerando su desempeño en términos de seguridad estructural y costos constructivos, todo este estudio se lo realizara empleando la metodología BIM.

La adopción de sistemas más eficientes y seguros en la edificación residencial contribuye significativamente a mejorar la calidad de vida de la población ecuatoriana.

Objetivos

Objetivo General

Realizar un análisis comparativo técnico-económico entre un sistema aporticado y uno dual para una vivienda dúplex, aplicando la metodología BIM, con el fin de determinar cuál de los dos sistemas ofrece mayores ventajas en términos de seguridad estructural y economía.

Objetivos Específicos

- Evaluar la seguridad estructural de un sistema aporticado y de un sistema dual, utilizando como caso de estudio una vivienda dúplex de hormigón armado. El análisis se realizará mediante simulaciones con un modelo analítico desarrollado bajo la metodología BIM.
- Determinar la flexibilidad que ofrece cada sistema estructural para adaptarse a diferentes configuraciones arquitectónicas, utilizando la metodología BIM.
- Identificar costos de construcción de cada uno de los sistemas, considerando materiales (acero y hormigón), mano de obra y tiempo de ejecución.
- Realizar un análisis comparativo detallado de la seguridad estructural, flexibilidad de diseño y costos de construcción, con base en los resultados de los objetivos anteriores.

Justificación

Justificación Teórica

En el año 1906, las costas de la provincia de Esmeraldas fueron sacudidas por un terremoto de magnitud 8.8 en la escala de magnitud de momento (Mw), provocado por la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamérica (Instituto Geofísico - EPN, 2024) . Este evento sísmico generó un tsunami que causó numerosas pérdidas humanas y dejó un número incalculable de heridos.

Varios sismólogos y estudios de vulnerabilidad anticipan que, en la ciudad de Quito, ante un sismo de magnitud 8.8 en la escala de magnitud de momento (Mw), solo el 60% de las

viviendas quedarían habilitadas (SciELO, 2022). Esto refleja la alta vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en la capital ecuatoriana.

El terremoto de 2016, con una magnitud de 7.8 en la escala de magnitud de momento (Mw), afectó principalmente a las provincias de Manabí y Esmeraldas. Este sismo provocó pérdidas económicas de aproximadamente 3 000 millones de dólares, principalmente en infraestructura de edificios y viviendas, y resultó en más de 700 víctimas (Instituto Geofísico - EPN, 2020).

Estos antecedentes nos recuerdan que los terremotos en Ecuador pueden alcanzar gran magnitud y tener consecuencias desastrosas. Por esta razón, este estudio aportará una alternativa estructural eficiente con el fin de salvaguardar vidas de la manera más económica posible.

Justificación Metodológica

El presente estudio se fundamenta en la realización de un análisis comparativo técnico-económico entre los sistemas aporticado y dual, aplicados a una vivienda dúplex de hormigón armado. Este análisis se desarrollará mediante la aplicación de la metodología BIM. Aunque BIM permite una coordinación integral entre disciplinas, en este caso su implementación se enfocará exclusivamente en el ámbito estructural, no solo con el objetivo de obtener resultados precisos y detallados que faciliten una toma de decisiones acertada, sino también en respuesta a los estándares tecnológicos actuales, que exigen el uso de metodologías modernas y eficientes.

Seguridad Estructural.

A partir del modelo arquitectónico bidimensional, se procederá con la evaluación estructural de dos sistemas dentro del entorno BIM. Para la generación del modelo analítico, en el cual se desarrollarán el análisis, el cálculo y el diseño estructural, se emplearán como herramientas los programas Etabs y Safe, debido a su fiabilidad y a su amplia aceptación en el ámbito de la ingeniería estructural en Ecuador.

Adaptabilidad Interdisciplinaria en Entorno BIM

La información generada por el modelo arquitectónico se integra de manera eficiente con el modelo analítico, permitiendo así la obtención de resultados precisos que alimentan el desarrollo del modelo estructural. Esta interoperabilidad garantiza una colaboración fluida entre disciplinas, optimizando el diseño y la toma de decisiones en cada etapa del proyecto.

Costos de Construcción

El modelo estructural contiene información detallada, como materiales, dimensiones y propiedades técnicas, lo que permite generar automáticamente detalles constructivos y extraer cantidades con alta precisión mediante planillas de acero y hormigón. Esta información también posibilita la elaboración de un cronograma de obra y la incorporación de la dimensión 5D de costos, optimizando así la planificación, el control financiero y la toma de decisiones en todas las etapas del proyecto, en coordinación con el área de arquitectura.

Análisis comparativo técnico-económico

El análisis se realizará considerando tres aspectos fundamentales:

- La seguridad estructural, mediante la evaluación de la capacidad de los sistemas para resistir cargas y su comportamiento ante eventos sísmicos.
- La adaptabilidad. La metodología BIM permite analizar la adaptabilidad del modelo estructural al arquitectónico, mejorando la coordinación, detección de interferencias y coherencia del diseño.
- Los costos de construcción, comparando los recursos requeridos en términos de materiales, mano de obra y tiempo de ejecución.

Este enfoque basado en BIM permite obtener una visión integral y detallada de las ventajas y desventajas de cada sistema estructural, proporcionando recomendaciones fundamentadas para seleccionar la opción más adecuada según los requerimientos del proyecto.

Delimitaciones

Ubicación Geográfica

El estudio se enfocará en el barrio Collasqui, ubicado en la parroquia Tumbaco, perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito, en la provincia de Pichincha. Esta zona presenta una alta vulnerabilidad sísmica, lo que resalta la necesidad de mejorar la seguridad estructural de las viviendas existentes en la región.

Tipo de Vivienda

La investigación se limitará a viviendas dúplex de hormigón armado, excluyendo otros tipos de edificaciones y materiales de construcción.

Sistemas Estructurales

Se analizarán únicamente dos sistemas estructurales: el sistema aporticado y el sistema dual. No se considerarán otros sistemas estructurales.

Programas

Las simulaciones estructurales se realizarán exclusivamente con los programas Etabs y Safe, y el modelo estructural será generado con Revit.

Se desarrollará un modelo estructural tridimensional que se integrará con el modelo arquitectónico bidimensional dentro de un entorno BIM.

El modelo estructural incluirá datos sobre materiales, dimensiones y cantidades, lo que permitirá generar automáticamente detalles constructivos, cronogramas y presupuestos dentro del entorno BIM.

Aspectos Económicos

El análisis económico se centrará en los costos de materiales (acero y hormigón), mano de obra y tiempo de ejecución.

Se realizará un estudio de suelos en el terreno destinado a la construcción de la vivienda dúplex, ubicado en la parroquia Tumbaco, Distrito Metropolitano de Quito, con el fin de determinar las condiciones geotécnicas necesarias para el diseño estructural.

Estas delimitaciones ayudarán a enfocar el estudio y asegurar que los resultados sean relevantes y aplicables a la situación específica de la ciudad de Quito y las viviendas dúplex de hormigón armado.

Marco Referencial

Marco Teórico

El análisis comparativo técnico-económico entre un sistema aporticado y uno dual para una vivienda dúplex de hormigón armado, utilizando la metodología BIM, es fundamental para promover la seguridad y la económica en la construcción de viviendas.

Marco Conceptual

Sistemas Estructurales

Sistema Aporticado. Utiliza columnas y vigas interconectadas para formar un marco rígido, conocido por su resistencia y estabilidad.

Sistema Dual. Combina elementos del sistema aporticado y de muros estructurales, proporcionando mayor rigidez y estabilidad.

Metodología BIM

Building Information Modeling (BIM). BIM es un proceso colaborativo que utiliza modelos digitales para planificar, diseñar, construir y operar edificaciones. Esta metodología facilita la creación de modelos detallados y la realización de simulaciones precisas, mejorando la coordinación entre disciplinas y optimizando la toma de decisiones.

Análisis Comparativo Técnico-Económico

Seguridad Estructural. Evaluación de la capacidad de los sistemas para resistir cargas gravitacionales y sísmicas utilizando un modelo analítico.

Flexibilidad de Diseño. Capacidad de los sistemas estructurales para adaptarse al modelo arquitectónico mediante la metodología BIM.

Costos de Construcción. Comparación de costos de acero y hormigón, mano de obra y tiempo de ejecución.

Marco Normativo

Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015), establecen los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones en Ecuador. Estas normas incluyen especificaciones sobre la resistencia de materiales, diseño estructural, y seguridad sísmica, asegurando que las construcciones sean seguras y duraderas.

Código ACI 318-19

El Código ACI 318-19 del Instituto Americano del Concreto (ACI) proporciona directrices para el diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado. Este código es ampliamente utilizado en Ecuador y establece criterios para la resistencia, durabilidad y seguridad de las estructuras de concreto.

Capítulo 1: Modelos Analíticos de los Sistemas Aporticado y Dual

Descripción del Proyecto

Este estudio realiza un análisis comparativo técnico-económico entre un sistema estructural aporticado y otro dual, aplicando la metodología BIM. El caso de estudio corresponde al proyecto arquitectónico LUCIANA I, una vivienda dúplex de 266,32 m² ubicada en el barrio Collasqui, parroquia Tumbaco, en el Distrito Metropolitano de Quito, provincia de Pichincha. El proyecto fue desarrollado en el despacho de la arquitecta Micaela Muñoz Hidalgo (Senescyt: 1005-16-1440285).

Las plantas arquitectónicas se las presenta a continuación.

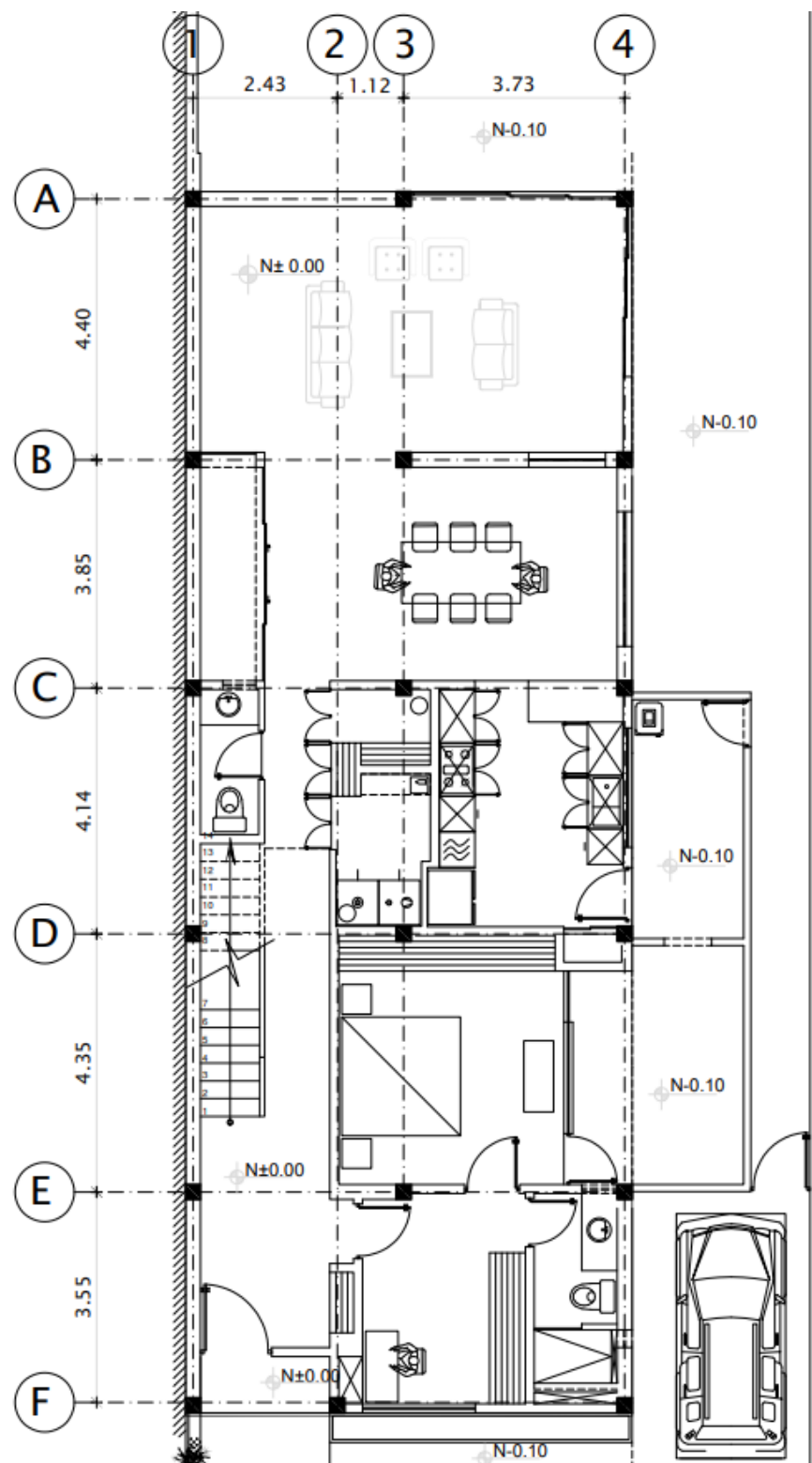
Figura 1*Modelo arquitectónico N±0.00*

Figura 2

Modelo arquitectónico N+2.52

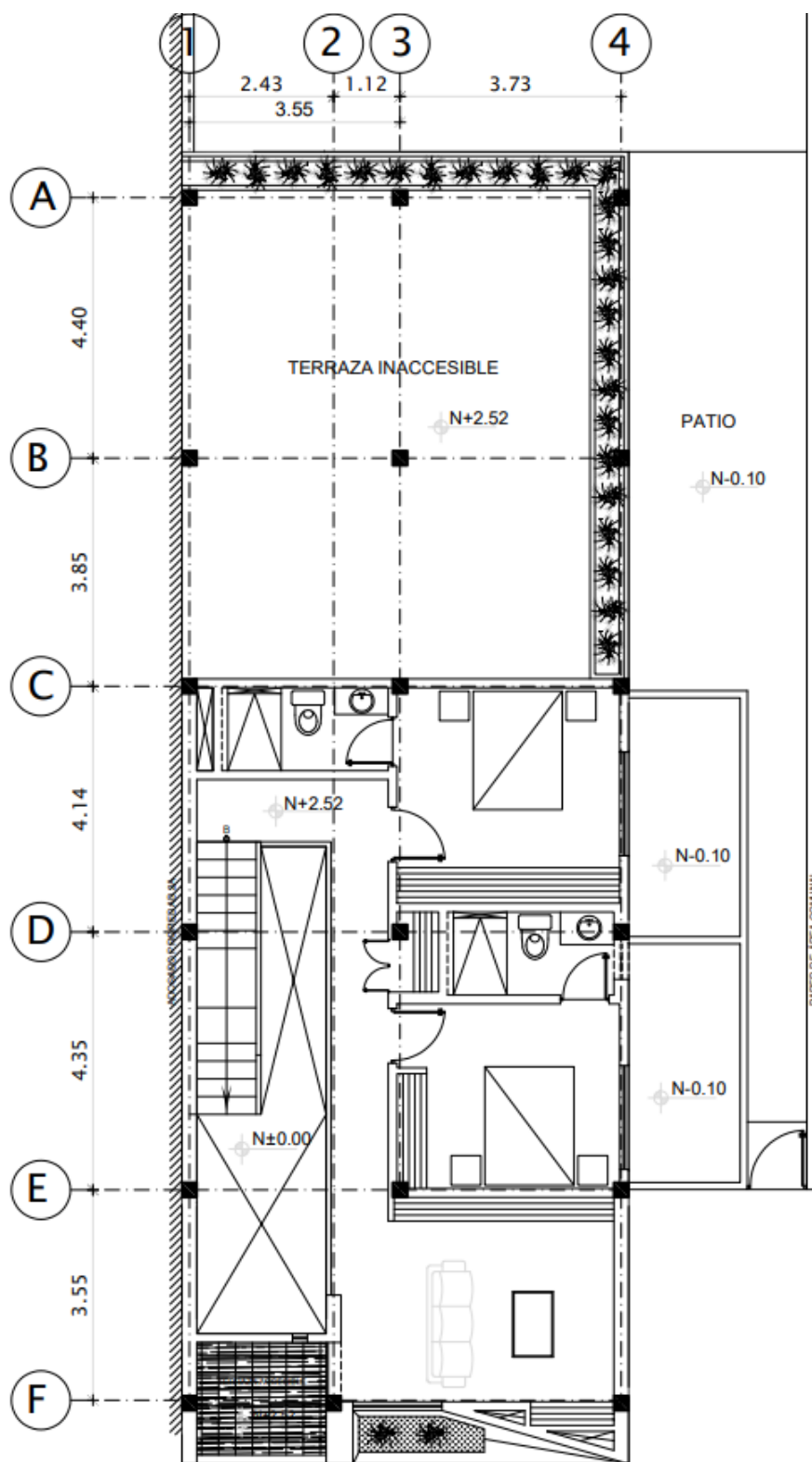
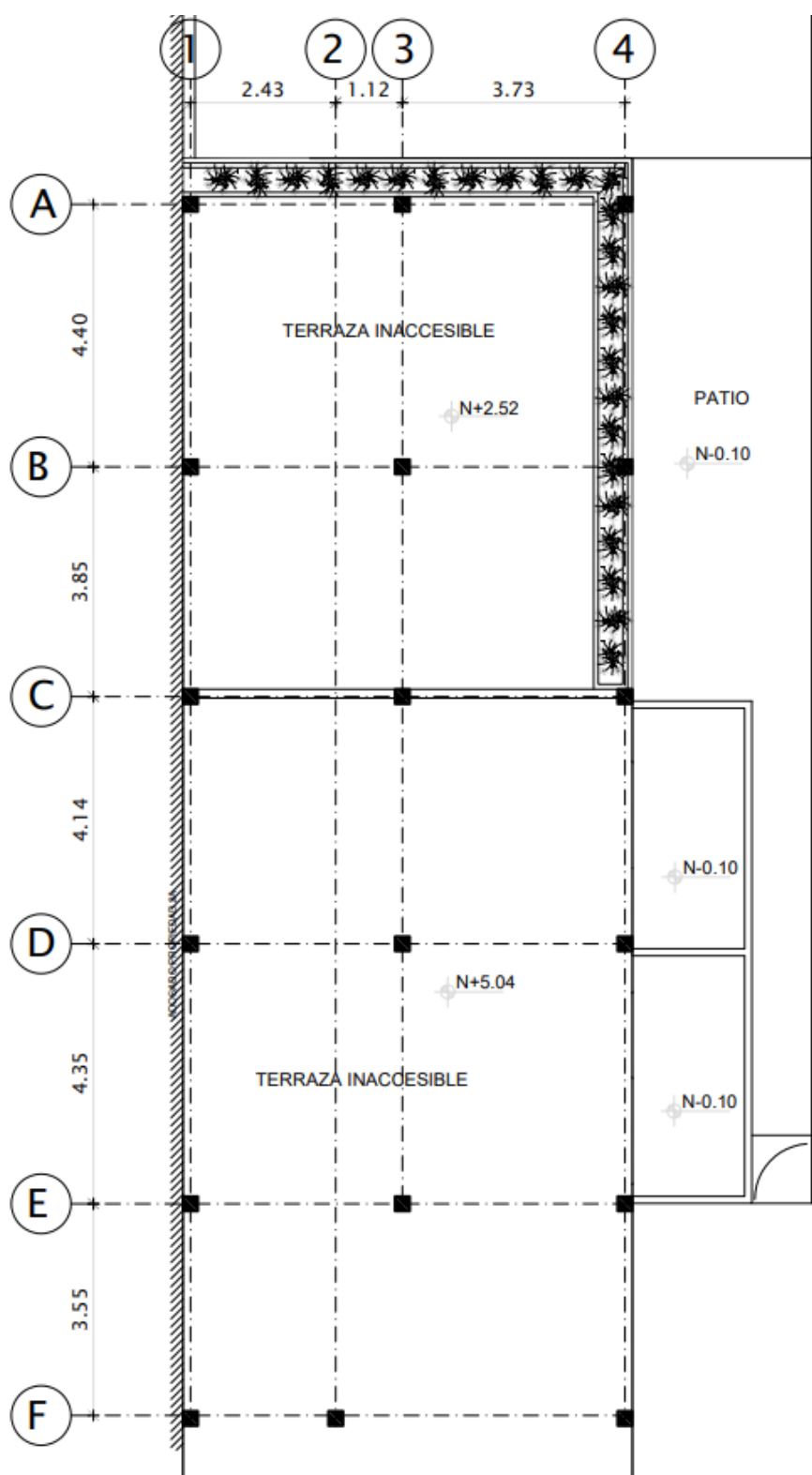


Figura 3*Modelo arquitectónico N+5.04*

Aplicación de la Metodología BIM en el Ámbito Estructural

Usos BIM

La metodología BIM permite establecer objetivos específicos para el área estructural, mejorando la coordinación, el análisis y la eficiencia del proyecto. Para ello, se identifican los siguientes usos BIM aplicables a este ámbito.

Estimación de Costes. Cuantificación de materiales estructurales (acero, concreto, etc.) para presupuestos más precisos.

Auditoría de Diseño. Revisión técnica del modelo estructural para verificar cumplimiento normativo y coherencia técnica.

Revisión de Diseño. Coordinación con el ámbito arquitectónico para evitar interferencias.

Análisis Estructural. Simulación de cargas, esfuerzos y comportamiento estructural mediante herramientas integradas en BIM.

Validación de la Normativa. Verificación automática del cumplimiento de códigos estructurales locales e internacionales.

Coordinación 3D. Detección de interferencias entre elementos estructurales y el modelo arquitectónico en el modelo tridimensional.

Roles BIM

La metodología BIM (Building Information Modeling) involucra a diversos profesionales con funciones específicas. Para este estudio, se consideran los siguientes roles:

BIM Project Manager. Lidera el equipo BIM y gestiona el proyecto. En el caso de una vivienda dúplex como LUCIANA I, este rol suele ser asumido por el arquitecto, designado por el cliente o promotor.

BIM Coordinador. Actúa como enlace entre el BIM Project Manager y el Modelador BIM, asegurando la correcta implementación de los procesos definidos en el BEP (Plan de Ejecución BIM).

Ingeniero BIM. Encargado de desarrollar el modelo analítico del proyecto, proporcionar información técnica al Modelador BIM, y responsable de entregar la información estructurada y validada al BIM Coordinador para su integración y revisión.

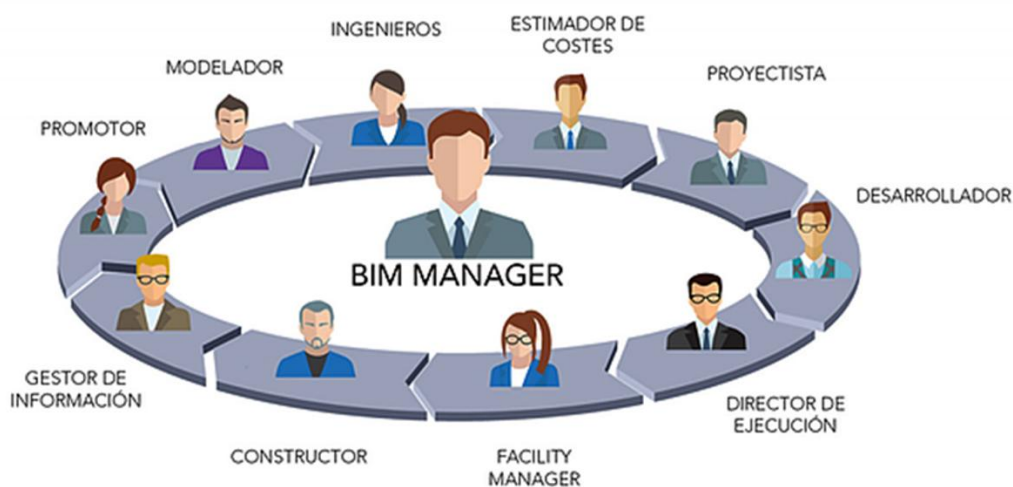
Modelador BIM. En este proyecto, el rol lo desempeña el ingeniero civil estructural, encargado de desarrollar el modelo estructural.

Estimador de Costes BIM. Es responsable de calcular y gestionar los costos de un proyecto utilizando el modelo estructural BIM. Extrae cantidades, materiales y datos del modelo para elaborar presupuestos.

Para el desarrollo del proyecto LUCIANA I, correspondiente a una estructura dúplex de áreas pequeñas, los roles de Ingeniero BIM, Modelador BIM y Estimador de Costes serán asumidos por una sola persona. Esta estará dedicada exclusivamente al área estructural, que constituye el objeto de estudio de la presente tesis.

Figura 4

Roles en un proyecto BIM.



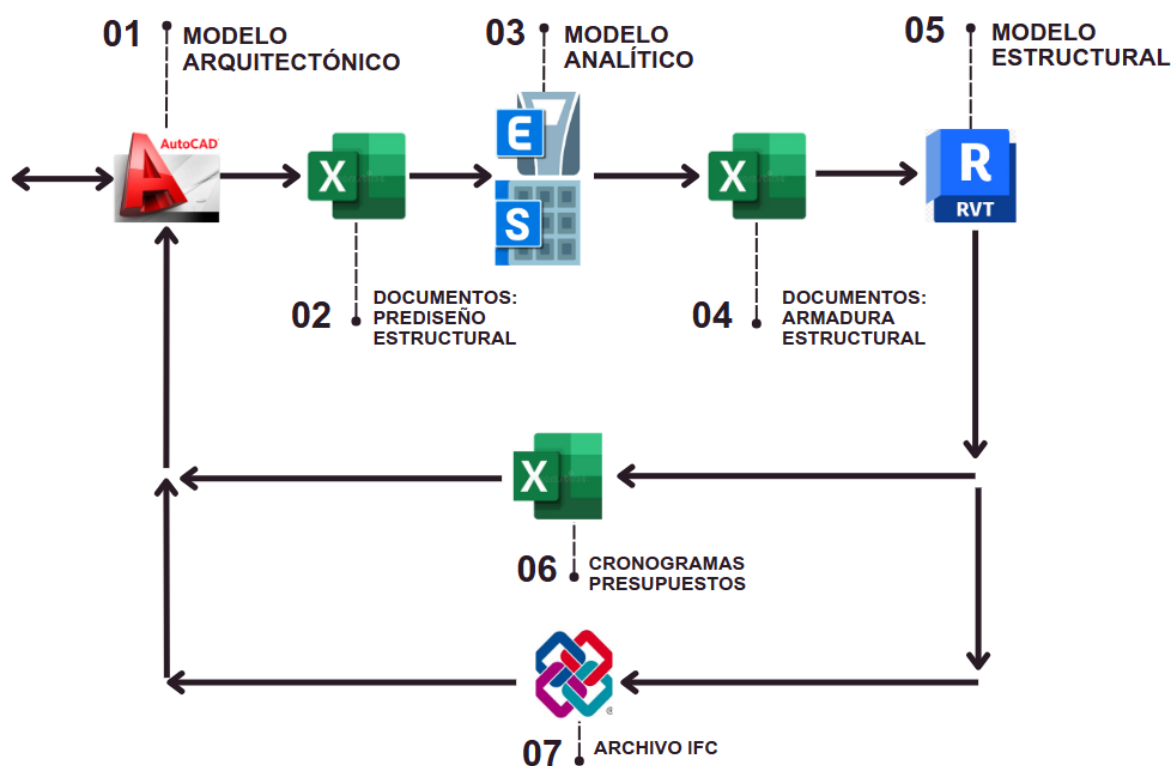
Nota. Roles BIM, por Eduardo Álvarez, 2022, Konstruedu (<https://konstruedu.com/es/blog/roles-bim>).

Flujo de Trabajo para el Desarrollo del Modelo Analítico

El proceso se inicia con la entrega, por parte del Coordinador BIM, de la información derivada del modelo arquitectónico al Ingeniero BIM. Esta información incluye planos en formato bidimensional generados en AutoCAD, los cuales representan ejes, niveles y plantas del proyecto, junto con la ubicación de ductos y los perímetros correspondientes.

Figura 5

Flujo de trabajo.



Con esta base, el Ingeniero BIM implementa la metodología BIM en el área estructural, desarrollando los documentos de prediseño que guían la creación de los modelos analíticos.

Para el desarrollo de los modelos analíticos de la vivienda dúplex, se seleccionaron los programas Etabs y Safe, para evaluar el comportamiento estructural estático frente a cargas gravitacionales y sísmicas. La asignación de dichas cargas se realizará conforme a las directrices establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015 (NEC, 2015), con el fin de garantizar un análisis estático completo.

CDE en la Metodología BIM

Common Data Environment, (Entorno Común de Datos), es una plataforma digital centralizada donde se almacena, gestiona y comparte toda la información del proyecto BIM. Es liderada por el BIM Project Manager para garantizar la colaboración entre arquitectos, ingenieros, constructores, promotores, etc.

Dentro del CDE existen cuatro etapas del ciclo de gestión de la información en proyectos BIM denominadas WCPA.

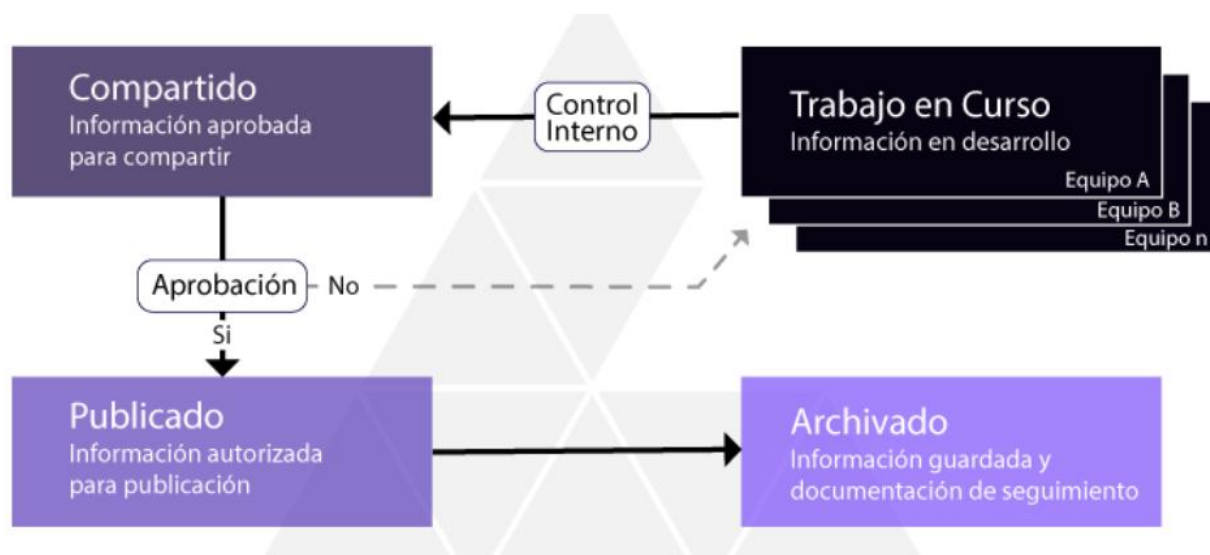
W, Work in Progress (Trabajo en Progreso). Información en desarrollo por cada equipo. No está disponible para otros hasta que se verifica.

C, Compartida. Información verificada y compartida con otros equipos para coordinación y revisión.

P, Publicada. Información aprobada para uso oficial.

A, Archivada. Información histórica del proyecto, para uso en modelo As Built.

El WCPA es la base organizativa del CDE. Permite que todos los Roles BIM trabajen con información estructurada y asegurando que cada versión del modelo o documento esté correcta.

Figura 6*Diagrama de WCPA*

Nota. WCPA, por José Salanova, 2019, Atbim (<https://atbim.com/une-en-iso-19650-1-novedades-y-conceptos-clave-de-la-nueva-norma-iso/>).

Datos Técnicos de Diseño

Materiales

- Hormigón simple: $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Elasticidad H.A: $E = 195\,633.59 \text{ kg/cm}^2$
- Acero Estructural – varillas: $f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Elasticidad Acero: $E = 2\,100\,000 \text{ kg/cm}^2$

Suelo

- Capacidad portante del suelo: $q_a = 15.00 \text{ t/m}^2$
- Coeficiente de balasto: $K_s = 1\,180.59 \text{ t/m}^3$

Cargas

Tanto las cargas muertas como las cargas vivas utilizadas en ambas estructuras fueron determinadas conforme a lo establecido en la NEC (NEC-SE-CG, 2015).

D: Carga Muerta

La carga muerta en edificaciones residenciales corresponde al peso permanente de los elementos estructurales y no estructurales fijos, tales como cubiertas y acabados. En el presente estudio, el peso propio de los elementos de hormigón armado ha sido determinado mediante el software Etabs.

D: Carga Muerta, Residencia.

Mampostería = 200 Kg/m^2

Instalaciones = 30 kg/m^2

Pisos = 20 kg/m^2

- D residencia = mampostería + instalaciones + pisos = 250 kg/m^2 .

D: Carga Muerta, Balcones y Cubierta Inaccesible.

Instalaciones = 30 kg/m^2

Pisos = 20 kg/m^2

- $D_{\text{cubierta}} = \text{instalaciones} + \text{pisos} = 50 \text{ kg/m}^2$.

L: Carga Viva

La carga viva en edificaciones residenciales corresponde a las acciones variables derivadas del uso cotidiano, como el peso de personas, mobiliario y equipos.

L: Carga Viva, Sistema Aporticado y Dual.

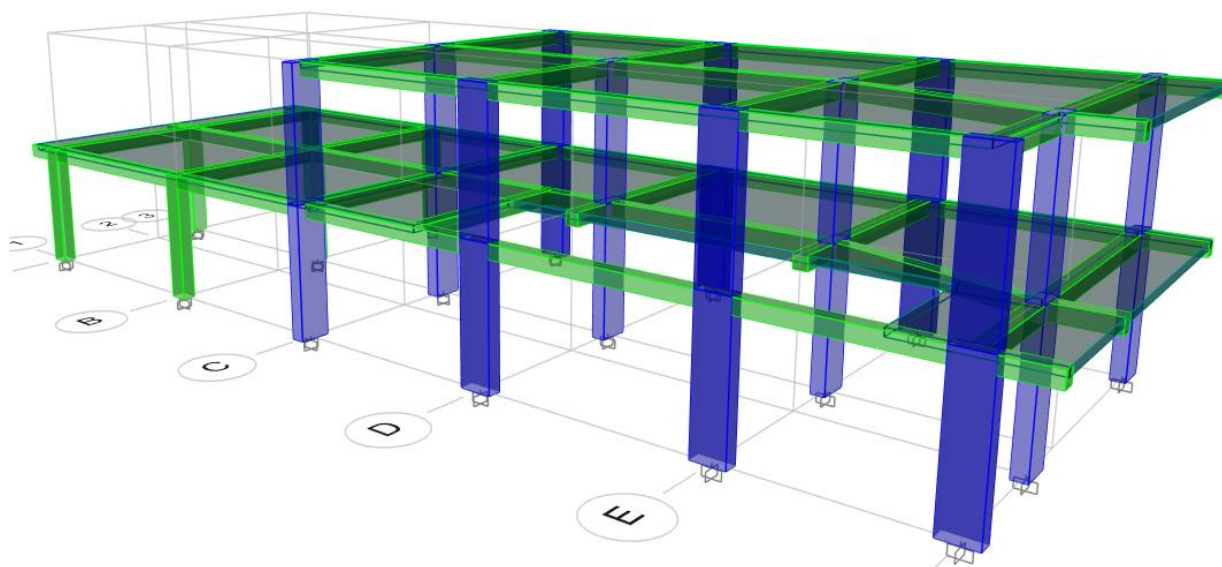
- $L_{\text{residencia}} = 200 \text{ kg/m}^2$.
- $L_{\text{balcones}} = 480 \text{ kg/m}^2$.
- $L_{\text{cubierta inaccesible}} = \text{servicio} + \text{granizo} = 70 \text{ kg/m}^2 + 100 \text{ kg/m}^2 = 170 \text{ kg/m}^2$.

Sistema Aporticado

El sistema aporticado es una técnica ampliamente utilizada en la construcción de estructuras de hormigón armado, especialmente en países con alta sismicidad como Ecuador. Está compuesto por vigas y columnas que forman marcos rígidos, capaces de resistir tanto cargas verticales como horizontales. Su diseño se basa en el principio de columna fuerte – viga débil, lo que permite que, ante un sismo, las vigas absorban la mayor parte de la energía, evitando el colapso de las columnas y garantizando así un desempeño estructural más seguro.

Figura 7

Modelo analítico del sistema aporticado en Etabs.



Elementos Estructurales del Sistema Aporticado

Losas. Las losas corresponden a un diseño de losas macizas, armadas en dos direcciones. Para el diseño se ha elegido el tablero con mayores dimensiones.

- Prediseño del tablero entre los ejes D - E y 3 - 4, en el nivel +2.52
- Materiales:

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

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

- Dimensiones del tablero:

$$L1 = 4.35 \text{ m}$$

$$L2 = 3.73 \text{ m}$$

- Altura mínima de losa maciza, para el cálculo tentativo del espesor de la losa, se usará dos fórmulas empíricas las cuales se detallan a continuación:

$$h_{\text{maciza}} = 0.03 \text{ longitud} = 11.19 \text{ cm}$$

$$\therefore h = 13 \text{ cm}$$

- Cargas de diseño:

$$D_{\text{residencia}} = 250 \text{ kg/m}^2 + \text{losa } 13\text{cm}$$

$$D_{\text{residencia}} = 250 \text{ kg/m}^2 + \text{losa } h = 13\text{cm} = 250 + 312 = 562 \text{ kg/m}^2$$

$$L_{\text{residencia}} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$q_u = 1.2 D + 1.6 L = 994 \text{ kg/m}^2$$

- Diseño de losa maciza:

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$h = 13 \text{ cm}$$

$$\text{rec.} = 3 \text{ cm}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$A_s \text{ mín.} = 0.0018 * b * h = 2.34 \text{ cm}^2$$

Usando la teoría de placas, para el diseño de losas macizas y nervadas de geometría rectangular, apoyadas perimetralmente sobre vigas, se determinan los momentos flectores en las direcciones longitudinal y transversal. A partir de estos momentos, se calcula el área de acero requerida (A_s) mediante la fórmula de diseño a flexión:

$$A_s \text{ cálculo} = \frac{0.85 * f'_c * b * d}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.61 * M_u}{f'_c * b * d^2}}\right) \quad (1)$$

Tabla 1

Momentos últimos y A_s final para losa maciza, $h=13\text{cm}$.

Mu		As - calculo		As final	
M Lmín-	0.91 tm	As cal. Lmín-	2.48 cm ²	As. Lmín-	2.48 cm ²
M Lmín+	0.44 tm	As cal. Lmín+	1.18 cm ²	As. Lmín+	2.34 cm ²
M Lmáx -	0.80 tm	As cal. Lmáx -	2.16 cm ²	As. Lmáx -	2.34 cm ²
M Lmáx +	0.33 tm	As cal. Lmáx +	0.89 cm ²	As. Lmáx +	2.34 cm ²

Nota. Lmín representa la longitud menor del tablero en la losa, mientras que Lmáx corresponde a la longitud mayor.

Tabla 2

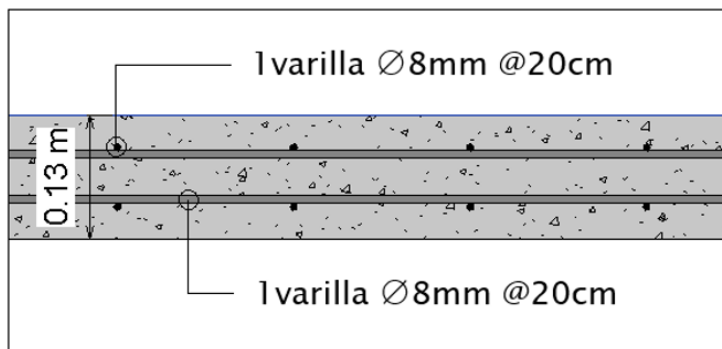
Armadura en losa, $b = 100\text{ cm}$.

Armado de varillas en losa			
As. Lmín -	varillas @ 20 cm	0.50 cm ²	Ø 8mm
As. Lmín +	varillas @ 20 cm	0.47 cm ²	Ø 8mm
As. Lmáx -	varillas @ 20 cm	0.47 cm ²	Ø 8mm
As. Lmáx +	varillas @ 20 cm	0.47 cm ²	Ø 8mm

Nota. La armadura positiva y negativa de la losa está compuesta por varillas de 8 mm de diámetro.

Figura 8

Losa maciza tipo $H = 13\text{ cm}$. Detalle estructural.



Vigas. Se realiza el prediseño de la viga con mayor longitud de la estructura.

Tabla 3

Carga de diseño: Viga 3, entre los ejes C y D, del nivel +2.52

Cargas de diseño	
	D 562 kg/m ²
	L 200 kg/m ²
	qu = 1.2 D + 1.6 L 994 kg/m ²
	Wu 2 027 kg/m
	Wu 2.03 t/m
	R1 = R2 = Wu * L / 2 4.20 t
	Mu empotrado = Wu * L ² / 12 2.90 tm

Tabla 4

Prediseño: Viga 3, entre los ejes C y D, del nivel +2.52

Propiedades: viga		Prediseño: viga
f'c	210 kg/cm ²	As mín. = 14 * b * d / fy 1.83 cm ²
fy	4200 kg/cm ²	As cálc. = $\frac{0.85*f'c*b*d}{fy} * (1 - \sqrt{1 - \frac{2.61*Mu}{f'c*b*d^2}})$

Predimensionamiento de altura en viga

$h = L / 20$	21 cm		As cálc.	3.78 cm ²
$\therefore h$	25 cm			
b	25 cm	As	3.78 cm ²	
rec.	3 cm	Ø	16 mm	2 u
d	22 cm	As	0.61%	ok

Tabla 5

Diseño de estribos en viga. Sistema aporticado.

Propiedades		Diseño por corte	
f _c	210 kg/cm ²	Vu (dato)	4.20 t
f _y	4200 kg/cm ²		
		Vn	$0.0026 \cdot \phi \cdot b \cdot d \cdot \sqrt{f_c}$
b	25 cm	Vn	15.54 t
h	25 cm		
rec.	3 cm	Vu < Vn	ok
d	22 cm		
Ø	0.75		
Diseño de estribos			
Vc	$0.53 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d$	Ø estribo	10 mm
Vc	4.22 t	# ramales	2 u
		As	1.57 cm ²
Vs	$V_u - \phi \cdot V_c / \phi$		
Vs	1.38 t	Ø var. long.	16 mm
		S1	$As \cdot f_y \cdot d / Vs$
		S1	105.5 cm

	$S2 = d/4$	5.5 cm
	$S3 = 6 * \varnothing \text{ var.}$	9.6 cm
	$S4 \leq$	20.0 cm
$S \text{ máx.} =$	@ 5.5 cm	zona de mayor confinamiento
$S \text{ máx.} = d/2 =$	@ 11.0 cm	zona de menor confinamiento

Nota. Los estribos serán de 2 ramales de $\varnothing 10$ mm, con una separación de 5 cm en zonas de mayor confinamiento y 10 cm en zonas de menor confinamiento.

Figura 9

Momento de inercia efectivo en viga 25x25: 0.5 (Sistema aporricado).

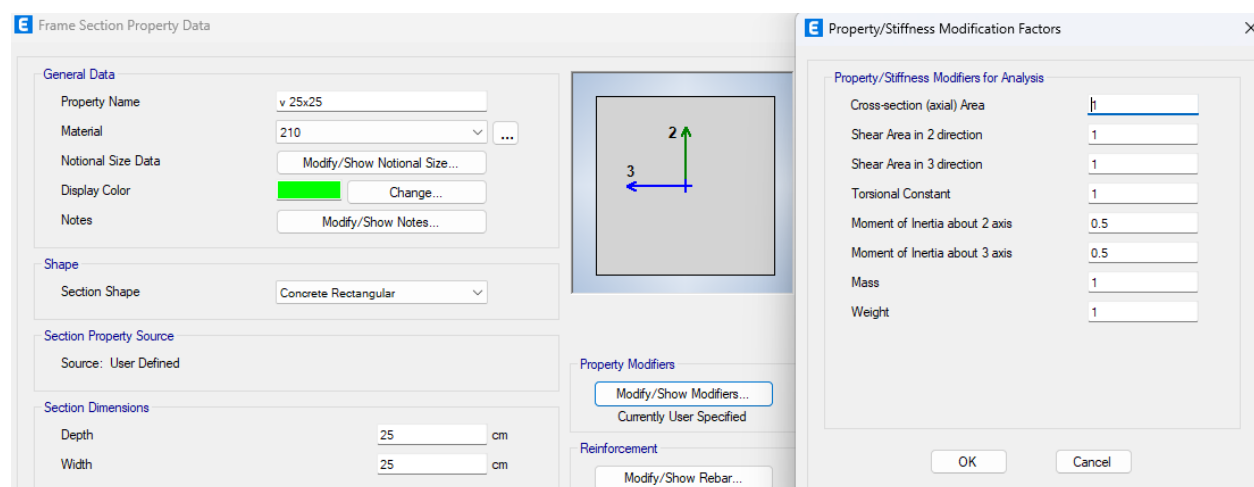
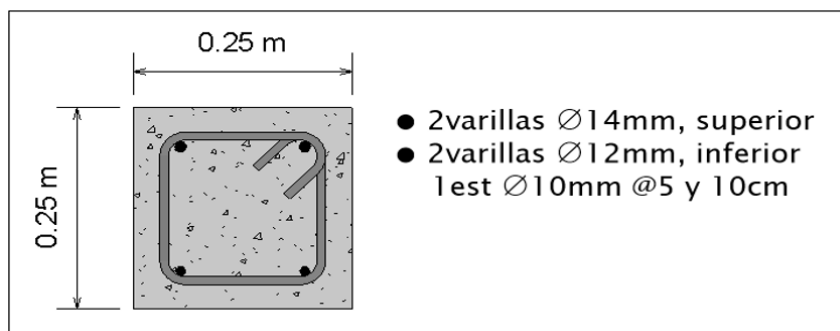


Figura 10

Viga 25x25 cm. Detalle estructural.



Columnas. El prediseño de las columnas de hormigón armado se ha realizado considerando la fórmula de esfuerzo axial, con el fin de garantizar su capacidad resistente preliminar.

Tabla 6

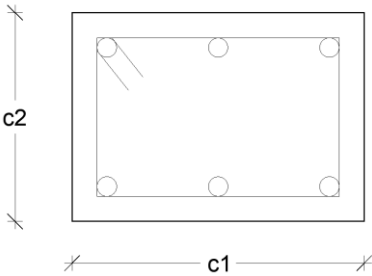
Prediseño de columna D-3

<i>Prediseño: Dimensiones de Columna</i>			
<i>Cargas de diseño</i>			
D residencia	562 kg/m ²	D cubierta	362 kg/m ²
L residencia	200 kg/m ²	L cubierta	170 kg/m ²
$q_u = 1.2 D + 1.6 L$			
qu residencia	994 kg/m ²	qu cubierta	706 kg/m ²
$q_u = q_u \text{ residencia} + q_u \text{ cubierta}$			
qu	1701 kg/m ²		
<i>Área cooperante</i>		<i>Prediseño</i>	
Long. hor. 1	3.55 m	$\Gamma = f'c$	210 kg/cm ²
Long. hor. 2	3.73 m	f_y	4200 kg/cm ²
Long. vert. 1	4.35 m	$\Gamma = P_u / A$	
Long. vert. 2	4.14 m	$A = P_u / \Gamma$	125 cm ²
		$c1 = c2 = \sqrt{A}$	11 cm
A coop.	15.45 m ²	Dimensión mín.	25 cm
$P_u = q_u * A \text{ coop.}$	26280 kg		
$c1 = c2$			25 cm

Nota. El prediseño contemplaba columnas de 25x25 cm; no obstante, para cumplir con los requisitos de sismorresistencia en diseño, se incrementaron sus dimensiones a 25x35 cm y 25x60 cm. Estas nuevas secciones serán detalladas en el diseño estructural.

Tabla 7

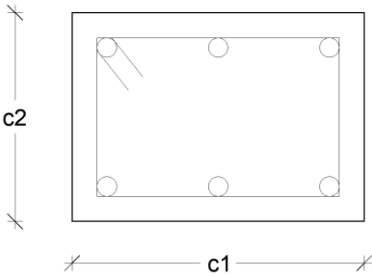
Cálculo de estribos para columna 35x25 cm.

propiedades		diseño			
f'_c	210 kg/cm ²	c1	35 cm	# var	6 u
f_y	4200 kg/cm ²	c2	25 cm	As	9.23 cm ²
rec.	3 cm			Ag	875 cm ²
Cálc. Aplastamiento		# var. c1	3 u	Ac	551 cm ²
H	2.52 m	# var. c2	2 u		
Pu	26.28 t	Ø long.	14 mm	s (lo)	8 cm
Aplast.	0.3 ok			s (int)	8 cm
		Ø estribo	10 mm		
		gancho mín.	8 cm	ramal c1	3 u
				ramal c2	2 u
		sep. Ø long. c1	11 cm ok		
		sep. Ø long. c2	14 cm ok		
		cuantía	1.06% ok		

Nota. Se utilizarán ramales 2 x 3 (Ø 10 mm), con una separación entre estribos de 8 cm.

Tabla 8

Cálculo de estribos para columna 60x25 cm.

Propiedades		Diseño			
f_c	210 kg/cm ²	c_1	60 cm	# var	10 u
f_y	4200 kg/cm ²	c_2	25 cm	As	15.39 cm ²
rec.	3 cm			Ag	1500 cm ²
Cálc. Aplastamiento		# var. c_1	5 u	Ac	1026 cm ²
H	2.52 m	# var. c_2	2 u		
P_u	26.28 t	Ø long.	14 mm	s (lo)	8 cm
Aplast.	0.2 ok			s (int)	8 cm
		Ø estribo	10 mm		
		gancho mín.	8 cm	ramal c_1	5 u
				ramal c_2	2 u
		sep. Ø long. c_1	11 cm ok		
		sep. Ø long. c_2	14 cm ok		
		cuantía	1.03% ok		

Nota. Se utilizarán ramales 2 x 5 (Ø 10 mm), con una separación entre estribos de 8 cm.

Figura 11

Momento de inercia efectivo en columna 25x35: 0.8 (Sistema aporticado).

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: c 25x35

Material: 210

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 35 cm

Width: 25 cm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.8
Moment of Inertia about 3 axis	0.8
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Figura 12

Momento de inercia efectivo en columna 25x60: 0.8 (Sistema aporticado).

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: c 25x60

Material: 210

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

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 60 cm

Width: 25 cm

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently User Specified

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

Property/Stiffness Modification Factors

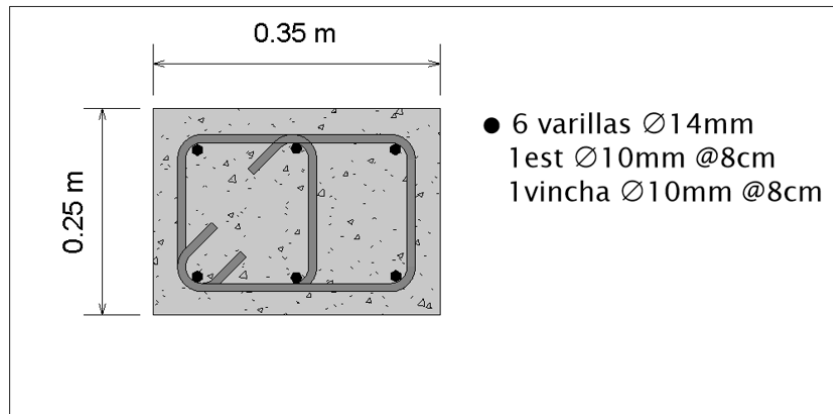
Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.8
Moment of Inertia about 3 axis	0.8
Mass	1
Weight	1

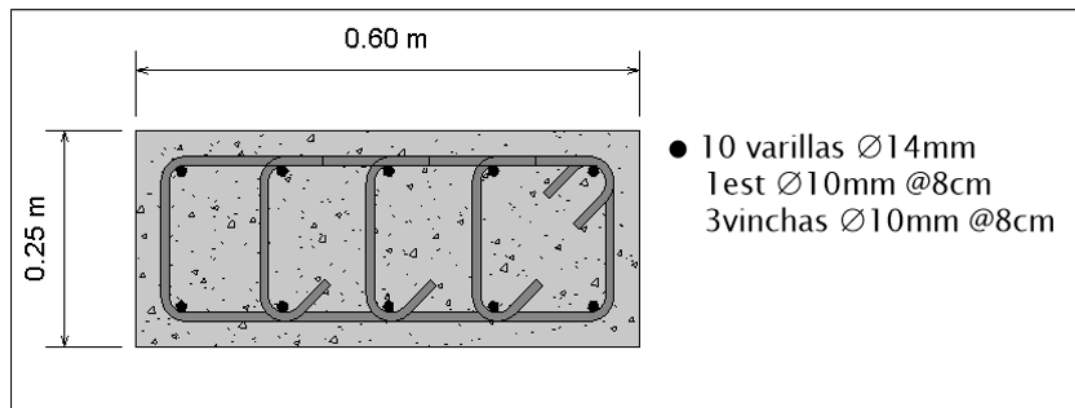
OK Cancel

Figura 13

Columna 25x35 cm. Detalle estructural.

**Figura 14**

Columna 25x60 cm. Detalle estructural.



Cimentación. La solución adoptada para el prediseño de la cimentación consiste en plintos aislados, definidos en función de las características del terreno descritas en el estudio de mecánica de suelos.

- Prediseño de plinto D-3

- Materiales:

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

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

- Cargas de diseño:

$$P_u = 27.17 \text{ t}$$

$$q_a = 15.00 \text{ t/m}^2$$

- Dimensiones del plinto:

$$q_a = P_u / A \text{ plinto}$$

$$A \text{ plinto} = P_u / q_a = 1.81 \text{ m}^2$$

$$b = L = \sqrt{A \text{ plinto}} = 1.35 \text{ m}$$

Tabla 9

Prediseño de plinto.

Dimensiones del Plinto	
b = 135 cm	H = 30 cm (valor asumido)
L = 135 cm	recubrimiento = 5 cm
A = 18225 cm ²	d = 25 cm

- Punzonamiento en plinto:

Esfuerzo máximo de reacción del suelo

$$q = P_u / A = 1.49 \text{ kg/cm}^2$$

Fuerza cortante sobre la sección crítica

Donde:

bc: lado corto de la columna.

hc: lado largo de la columna.

$$V_u = q (A - (bc + d) (hc + d))$$

$$V_u = 23443 \text{ kg}$$

Esfuerzo cortante por punzonamiento

$$\phi = 0.85$$

$$b = 2 * (c_1 + d) + 2 * (c_2 + d) = 200 \text{ cm}$$

$$v_u = V_u / \phi * b * d$$

$$v_u = 5.52 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo resistente a corte por punzonamiento

$$V_c = \sqrt{f'_c}$$

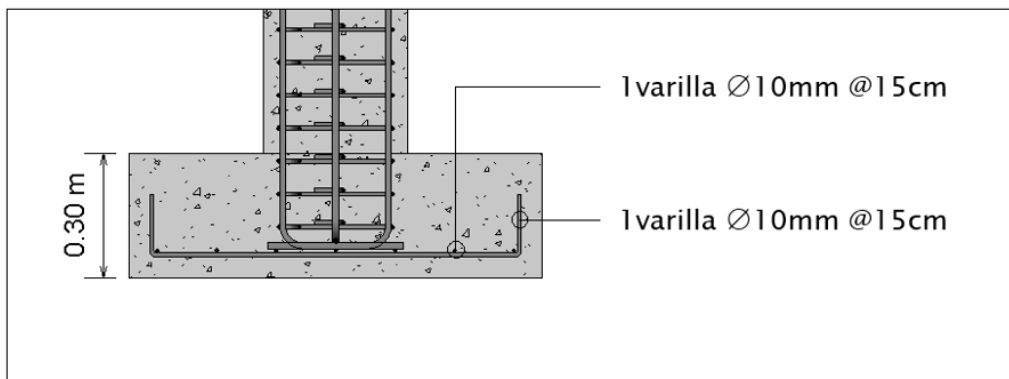
$$V_c = 14.49 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_u < V_c : \text{Ok}$$

∴ Las dimensiones del plinto son suficientes frente a las cargas impuestas en el prediseño.

Figura 15

Plinto altura tipo, H = 30 cm. Detalle estructural.



Coeficiente Sísmico del Sistema Aporticado

Para la determinación del corte basal y la distribución de cargas horizontales en cada nivel de la estructura, se ha aplicado lo establecido en la NEC (NEC - SE - DS, 2015), considerando la zonificación sísmica, el tipo de suelo y los factores definidos por el sistema estructural adoptado, conforme a los criterios de regularidad exigidos por la normativa vigente.

Periodo de Vibración. Es el tiempo que tarda una estructura en completar una oscilación.

Tipo de estructura: Pórticos espaciales de hormigón armado sin muros estructurales

$$C_t = 0.055$$

$$\alpha = 0.90$$

Altura Máxima de la Edificación Medida desde la Base

$$h_n = 5.04 \text{ m}$$

- $T = C_t * h_n^\alpha = 0.236 \text{ s}$: Período de Vibración.

Coeficiente k. Coeficiente del periodo de vibración de la estructura, si $T \leq 0.5$, $k=1$

- $k = 1.00$

Zona Sísmica y Factor de Zona Z. La NEC (**NEC-SE-CG, 2015**), en la tabla 10.2, establece la clasificación sísmica del territorio nacional. Para el Distrito Metropolitano de Quito, se asignan los siguientes valores correspondientes a la zona sísmica y al factor de zona:

- Zona sísmica: V
- $Z = 0.40$: Factor de zona, de peligro sísmico alto.

Tipo de Perfil de Suelo. De acuerdo con el estudio geotécnico realizado para el proyecto, se ha determinado que el terreno corresponde al siguiente perfil:

- Suelo tipo D.

Coeficientes de Perfil de Suelo F_a , F_d y F_s . Con base en los valores obtenidos previamente y conforme a la normativa sísmica vigente, se determinan los siguientes coeficientes asociados al tipo de suelo:

- $F_a = 1.20$: Coeficiente de amplificación del suelo en la zona de período corto.
- $F_d = 1.19$: Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos, correspondiente al diseño en roca.
- $F_s = 1.28$: Coeficiente que representa el comportamiento no lineal del suelo.

Límites para el Período de Vibración T_C y T_L .

- $T_C = 0.55 * F_s \frac{F_d}{F_a} = 0.70$
- $T_L = 2.4 * F_d = 2.86$

Espectro de Respuesta Elástico de Aceleraciones S_a .

$r = 1$: Factor usado en el espectro de diseño elástico, para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E.

$\eta = 2.48$: Relación de amplificación espectral, : Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

- $0 \leq T \leq T_C$: $0 \leq 0.251 \leq 0.70$: verdadero

$$S_a = \eta * Z * F_a = 1.19$$

- $T > T_C$: $0.251 > 0.70$: falso
- $S_a = 1.19 \text{ g}$

Corte Basal de Diseño.

- $I = 1.0$: Otras estructuras, categoría de edificio y coeficiente de importancia I.
- $Z = 0.40$: Factor de zona.
- $\emptyset P_i = 0.90$: Coeficiente de irregularidad en planta.
- $\emptyset E_i = 0.90$: Coeficiente de irregularidad en elevación.

- $R = 8$: Coeficiente de reducción de respuesta estructural. Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas descolgadas.

$$V = \frac{I * S_a * W}{R * \phi P_i * \phi E_i} = 0.184 W$$

Con base en los parámetros establecidos, se ha determinado el factor de corte basal, obteniéndose un valor equivalente al 18.4% de la masa sísmica total de la estructura.

Fuerzas Laterales del Sistema Aporticado

El programa Etabs distribuye el corte basal (V) en forma de fuerzas laterales equivalentes, aplicadas en el centro de masa de cada nivel, conforme a lo establecido por el método estático.

Figura 16

Cargas laterales.

E Load Pattern Definitions - Auto Seismic - User Coefficient								
File Edit Format-Filter-Sort Select Options								
Units: As Noted Hidden Columns: Yes Sort: None Load Pattern Definitions - Auto Seismic - User Coefficient								
Filter: None								
	Name	Ecc Ratio	Top Story	Bottom Story	C	K	Weight Used tonf	Base Shear tonf
►	Sx	0.05	Story2	Base	0.184	1	139.29	25.63
	Sy	0.05	Story2	Base	0.184	1	139.29	25.63

Torsión en los Modos de Vibración del Sistema Aporticado

El programa Etabs determina los períodos y las formas modales de vibración del edificio, calculando las cargas actuantes a partir de la masa estructural. La siguiente figura presenta los modos de vibración obtenidos, junto con su período asociado y el porcentaje de participación modal en cada dirección de análisis.

Figura 17**Modos de vibración.**

Modal Participating Mass Ratios												
File Edit Format-Filter-Sort Select Options												
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None												
Filter: None												
	Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
▶	Modal	1	0.293	0.718	0.011	0	0.718	0.011	0	0.005	0.353	0.089
	Modal	2	0.282	0.009	0.782	0	0.726	0.792	0	0.32	0.006	0.003

Nota. Con la información proporcionada en esta tabla podemos observar que la torsión generada por las fuerzas en el modo 1 es 8.9%, y en el modo 2 tiene un valor de 0.3%.

Irregularidad Torsional Extrema del Sistema Aporticado

Según la Tabla 12.3-1 del ASCE 7-22 (ASCE / SCI 7-22, 2022), hay irregularidad torsional cuando la deriva máxima en un extremo de un piso es más de 1.2 veces el promedio de las derivas en ambos extremos. Si esta relación supera 1.4 veces, se trata de una irregularidad torsional extrema, lo que requiere un rediseño de la estructura.

- $\Delta_{\text{piso}} / \Delta_{\text{promedio}} < 1.2$: $\emptyset P_i = 1.0$
- $1.2 < \Delta_{\text{piso}} / \Delta_{\text{promedio}} < 1.4$: $\emptyset P_i = 0.9$
- $\Delta_{\text{piso}} / \Delta_{\text{promedio}} > 1.4$: Rediseño de la estructura

Donde:

- Δ máx. Es el desplazamiento máximo en planta, en dirección perpendicular a la carga sísmica.
- Δ promedio. Es el desplazamiento promedio de todos los puntos de control en esa planta. Este criterio se aplica para cada piso y para cada dirección de análisis (X e Y).

Figura 18*Irregularidad torsional en X.*

E Story Max Over Avg Drifts								
File Edit Format-Filter-Sort Select Options								
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None								
Filter: ([Output Case] = 'Sx')								
	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift cm	Avg Drift cm	Ratio
▶	Story2	Sx	LinStatic		X	0.4	0.4	1.052
	Story1	Sx	LinStatic		X	0.2	0.2	1.029

Figura 19*Irregularidad torsional en Y.*

E Story Max Over Avg Drifts								
File Edit Format-Filter-Sort Select Options								
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None								
Filter: ([Output Case] = 'Sy')								
	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift cm	Avg Drift cm	Ratio
▶	Story2	Sy	LinStatic		Y	0.4	0.4	1.036
	Story1	Sy	LinStatic		Y	0.2	0.2	1.034

Periodo de Vibración Sísmica del Sistema Aporticado

Se calculó el período fundamental de vibración de la estructura (T_e). Según la NEC-15, este valor no debe superar en más de un 30% al período normativo (T_{neC}), para evitar posibles efectos de resonancia y asegurar un buen comportamiento sísmico de la estructura.

Figura 20*Período fundamental de vibración de la estructura.*

E Modal Participating Mass Ratios			
File Edit Format-Filter-Sort Select Options			
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None			
Filter: None			
	Case	Mode	Period sec
▶	Modal	1	0.293

- $T_e = 0.293$ s: Período de vibración de la estructura, modelo Etabs.
- $T_{NEC} = \text{Periodo normativo} + 30\% = 0.236 \text{ s} + 30\%$

$$T_{NEC} = 0.307 \text{ s}$$

$$T_e < T_{NEC}$$

$$0.293 < 0.307: \text{Ok.}$$

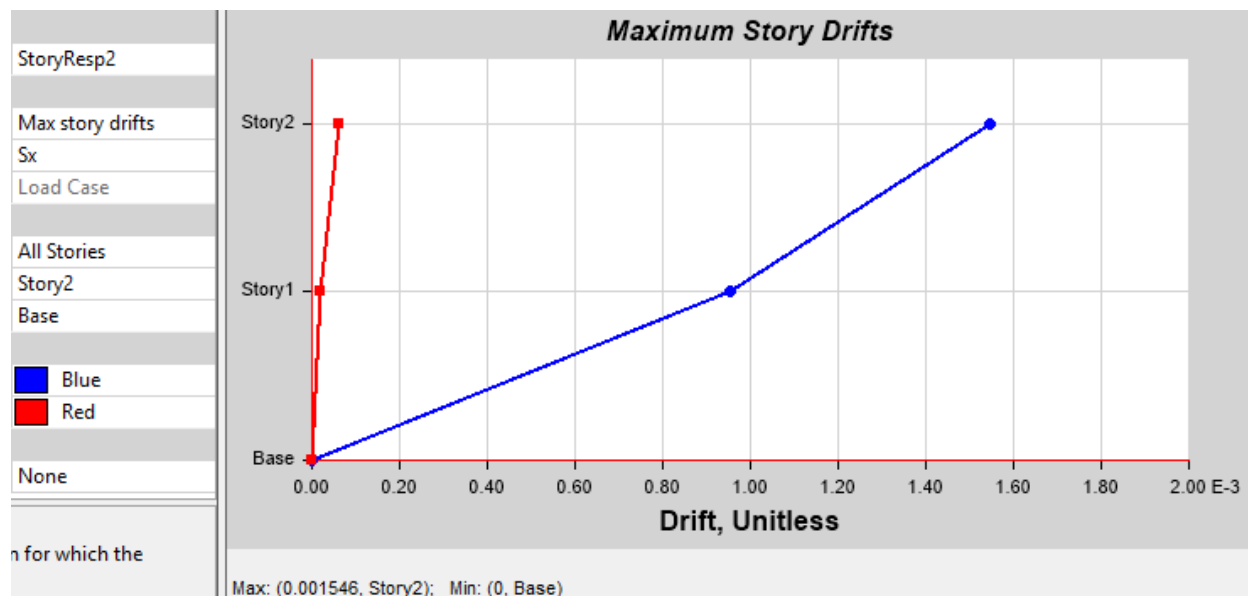
Derivas del Sistema Aporticado

Las derivas son el cociente entre el desplazamiento relativo horizontal entre dos niveles consecutivos de una edificación y la altura entre dichos niveles. Este parámetro permite estimar la deformación lateral de la estructura y controlar posibles daños durante un sismo.

Durante el proceso iterativo de prediseño, se verificó que las derivas máximas no superen el límite del 2 % establecido por la NEC-15 para eventos sísmicos.

Figura 21

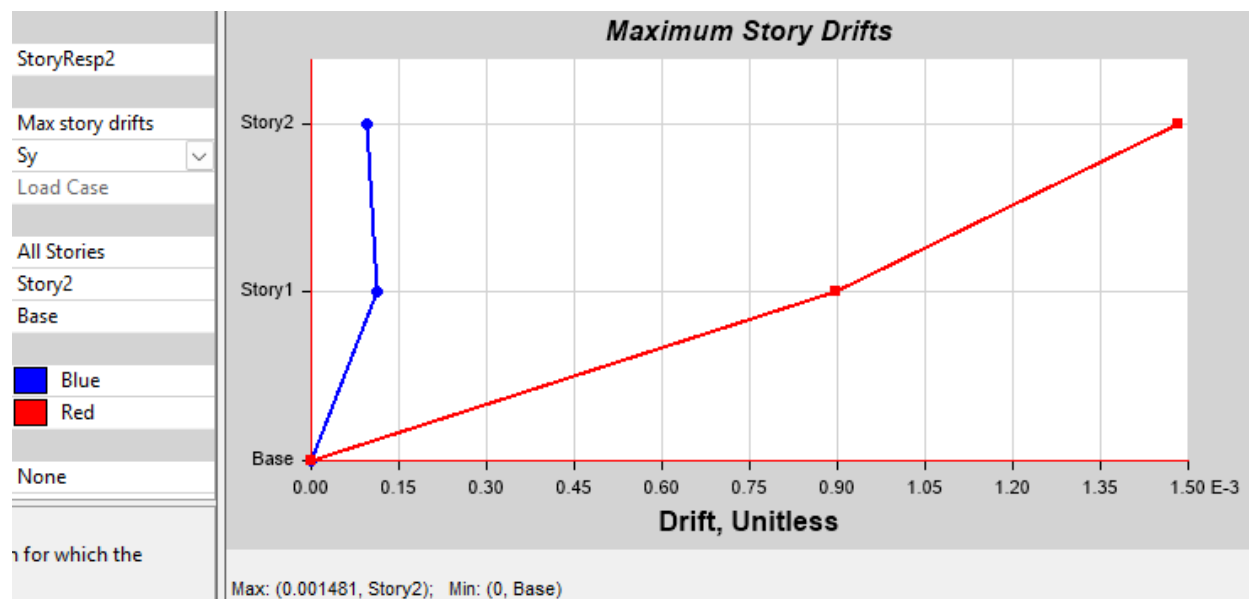
Deriva Elástica Máxima X.



$$\text{Deriva Inelástica Máxima X} = \Delta E_x \cdot R \cdot 0.75$$

$$\text{Deriva Inelástica Máxima X} = 1.55 \text{ E-3} \cdot 8 \cdot 0.75 = 0.93\%$$

$$0.93\% < 2.00\%: \text{Ok.}$$

Figura 22*Deriva Elástica Máxima Y.*

Deriva Inelástica Máxima $Y = \Delta E_y * R * 0.75$

Deriva Inelástica Máxima $Y = 1.48 \text{ E-3} * 8 * 0.75 = 0.89\%$

$0.89\% < 2.00\%$: Ok.

Diseño por Última Resistencia

En el diseño estructural por última resistencia, las acciones gravitacionales y sísmicas se combinan utilizando factores de carga que aseguran la seguridad frente a los estados límite últimos. Según lo establecido en la NEC (NEC - SE - DS, 2015), las combinaciones más representativas incluyen:

Tabla 10

Cargas y combinaciones por ultima resistencia.

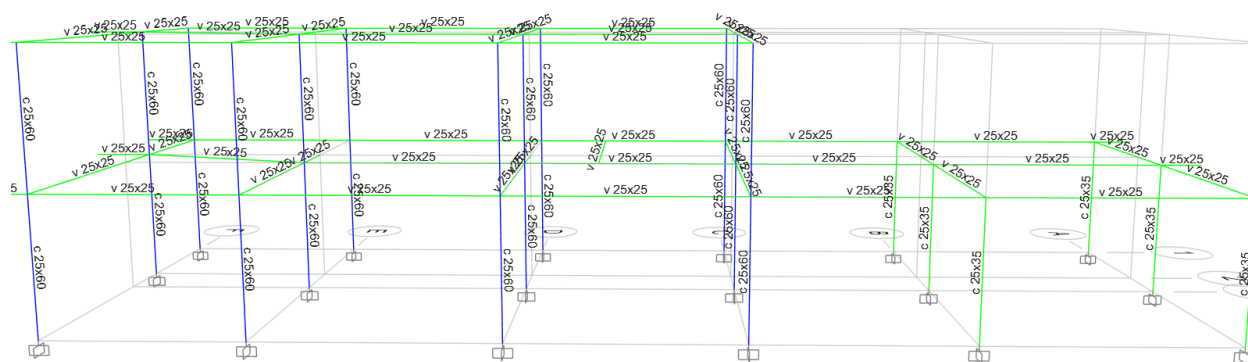
Cargas	Combinaciones
D = Carga Muerta	UR1 = 1.4D
L = Carga Viva	UR2 = 1.2D + 1.6L
S = Carga Sísmica	UR5 Sx = 1.2D + 1.0L ± 1.0Sx
	UR5 Sy = 1.2D + 1.0L ± 1.0Sy
	UR6 = 0.9D
	UR7 Sx = 0.9D ± 1.0Sx
	UR7 Sy = 0.9D ± 1.0Sy

Diseño de Elementos Estructurales del Sistema Aporticado

Una vez incorporadas las cargas sísmicas al modelo estructural, se procedió a incrementar las dimensiones de los elementos estructurales con respecto a su prediseño inicial, con el fin de cumplir con las normativas sismorresistentes vigentes. A continuación, se detalla cada elemento estructural con sus dimensiones finales.

Figura 23

Modelo analítico final del sistema aporticado.



Diseño de Cimentación del Sistema Aporticado

Propiedades del Suelo.

Figura 24

Coefficiente de Balasto, $K_s = 1\,180.59 \text{ t/m}^3$.

S Area Spring Property Data

General Data

Property Name: 15 t/m2

Display Color: Change...

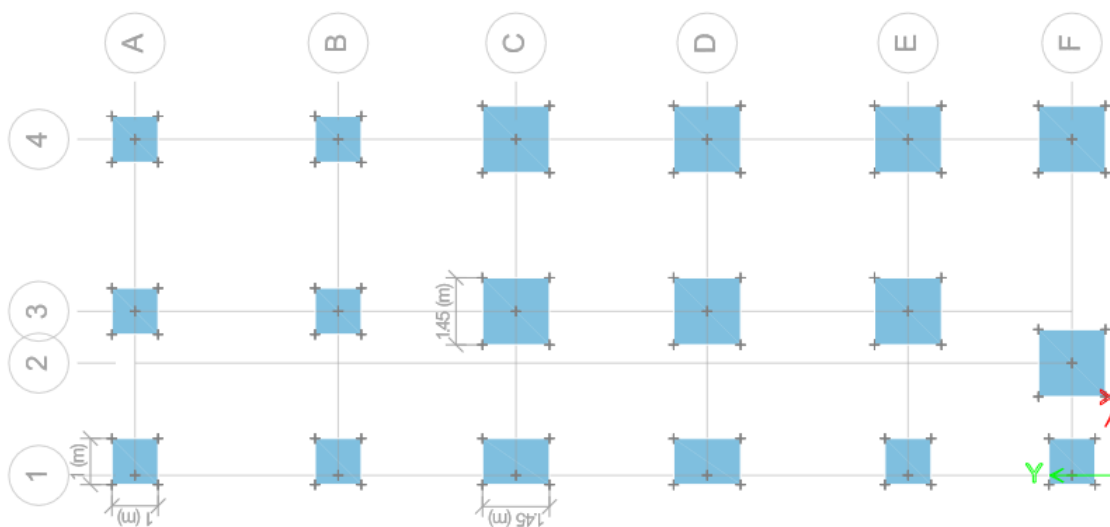
Property Notes: Modify/Show Notes...

Property

Subgrade Modulus (Compression Only): 1180.59 tonf/m/m²

Figura 25

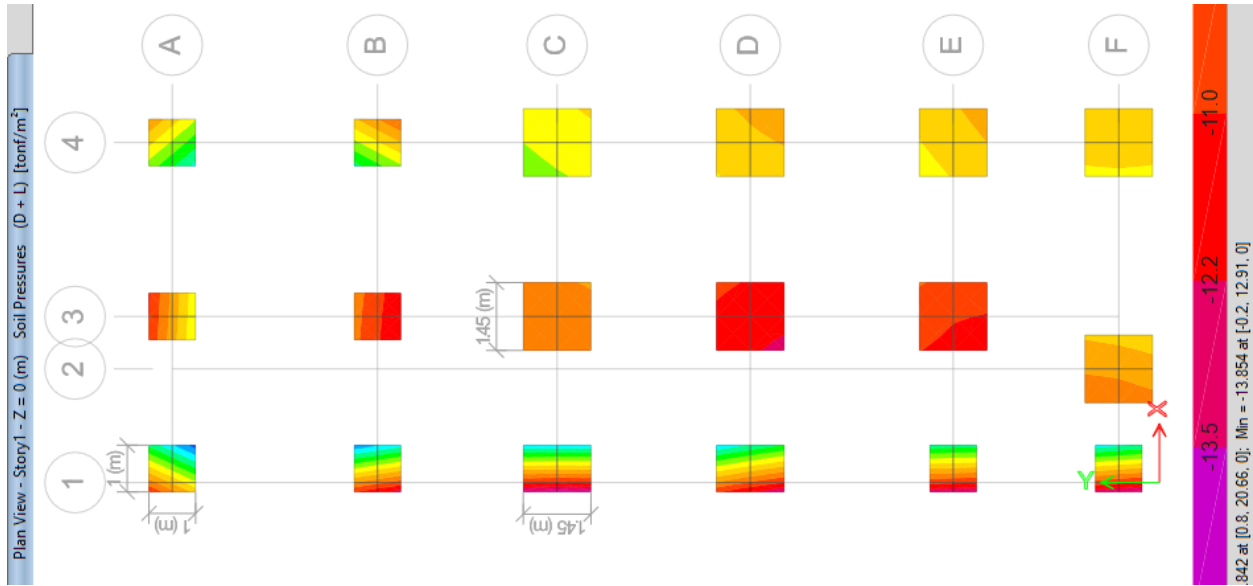
Implantación de cimentación. Plintos $h=30\text{cm}$.



Distribución de Presiones en el Suelo (t/m^2), (D + L).

Figura 26

Distribución de presiones en el Suelo (t/m^2), (D + L).



- $q_a \text{ Safe} = 13.85 \text{ t/m}^2$
- $q_a \text{ admisible} = 15.00 \text{ t/m}^2$

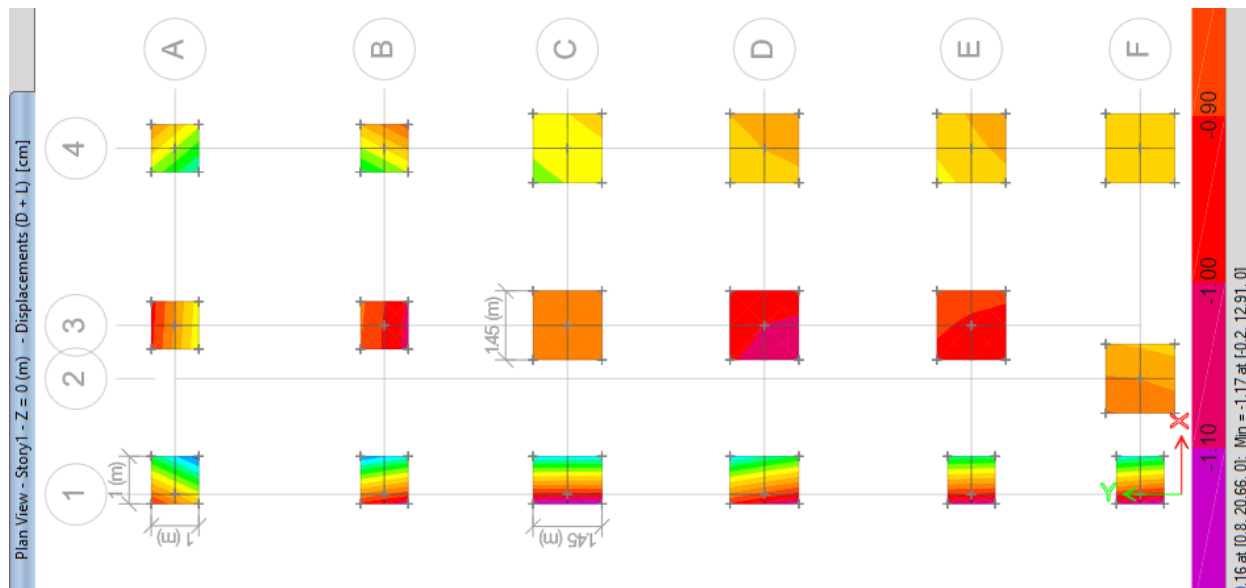
$q_a \text{ Safe} \leq q_a \text{ admisible}$

$13.85 \text{ t/m}^2 \leq 15.00 \text{ t/m}^2$: Ok.

Distribución de Deformaciones, (D + L).

Figura 27

Deformaciones en el suelo (cm).



- $\Delta \text{ Safe} = 1.17 \text{ cm}$

$$\Delta \text{ admissible} = 1.50 \text{ cm}$$

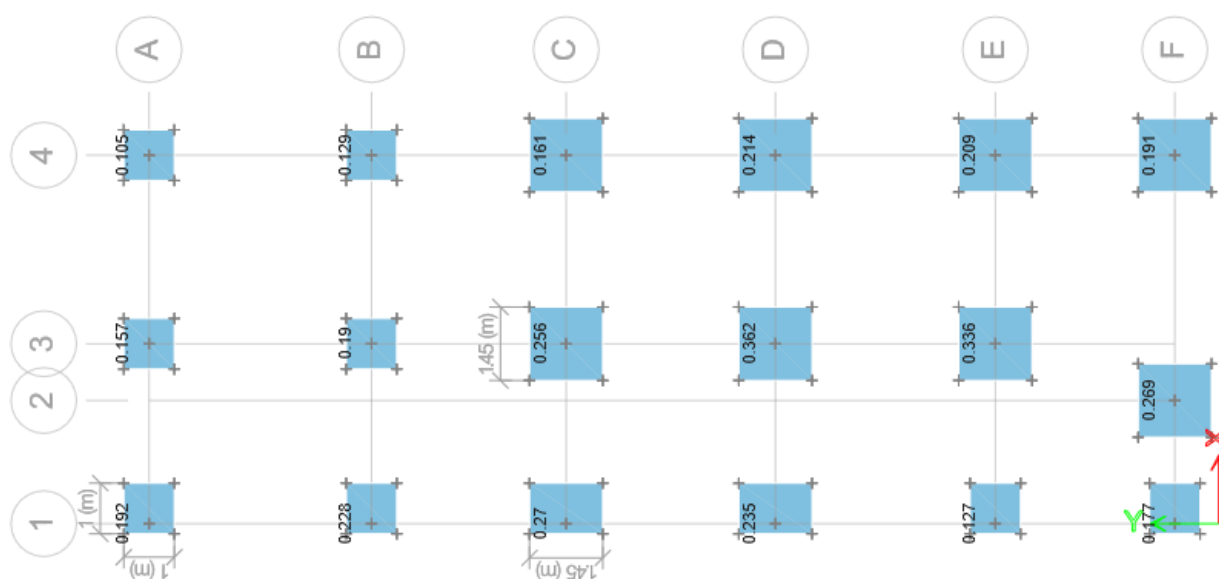
$$\Delta \text{ Safe} < \Delta \text{ admissible}$$

1.17 cm < 1.50 cm: Ok.

Punzonamiento en Plintos. El punzonamiento es el control de la relación altura/anchura del plinto. El programa Safe permite evaluar esta relación geométrica con el fin de evitar concentraciones excesivas de esfuerzo en la cimentación. Para que el comportamiento estructural sea considerado favorable, los resultados deben ser inferiores a 1.

Figura 28

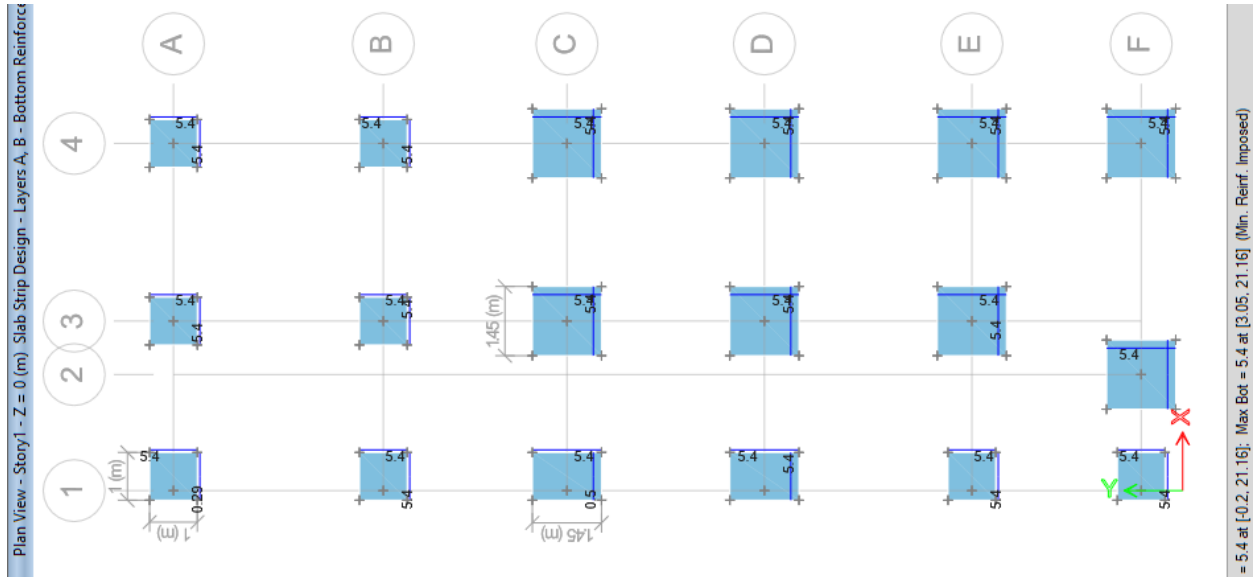
Control de punzonamiento en plintos, $h = 30$ cm.



Cuantía de Acero en Plintos.

Figura 29

Cuantía de acero inferior en plintos (cm^2/m).



- As Safe = $5.40 \text{ cm}^2/\text{m}$

As plintos = 5.40 cm^2 / (varillas @ 15 cm: 7u)

As plintos = 0.77 cm^2 @ 15 cm

As plintos = 1Ø10 @ 15 cm

Diseño de Columnas del Sistema Aporticado

Figura 30

Diagrama de momentos por carga envolvente. Ejes C, D, E, F (tm).

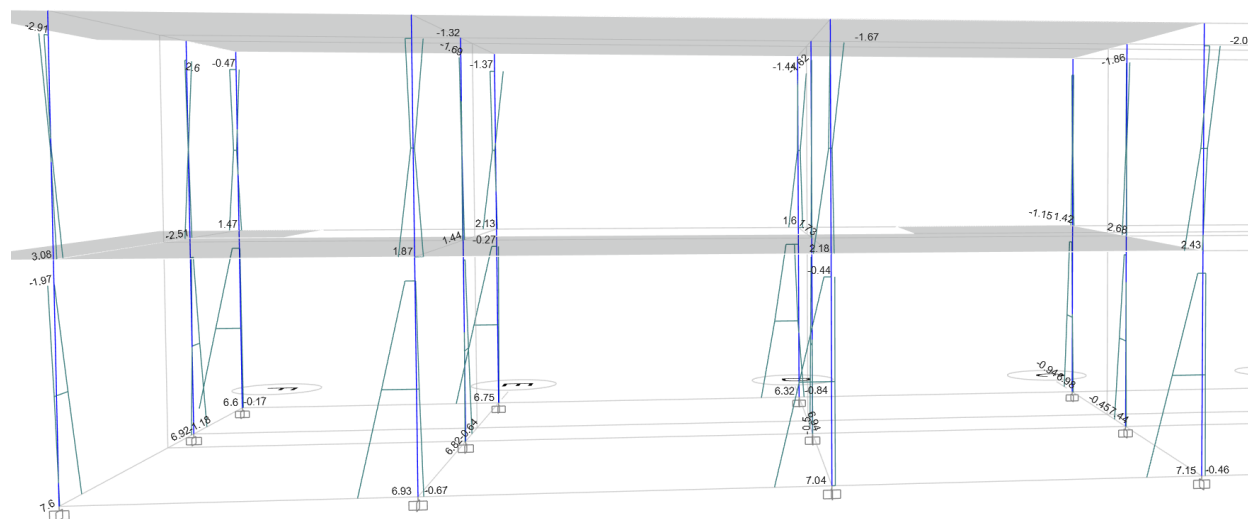
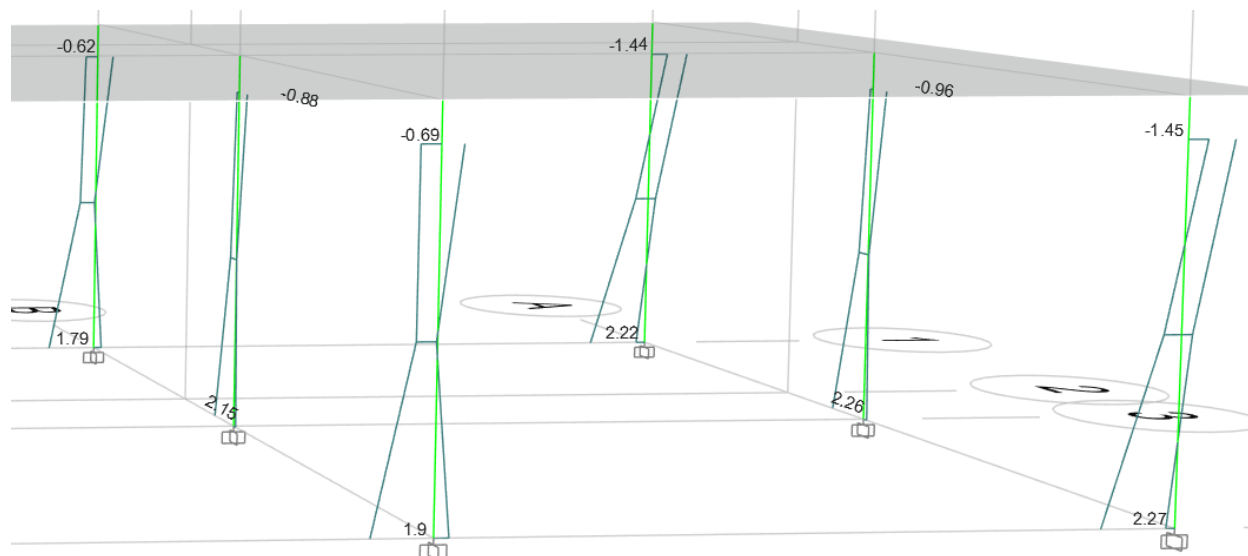


Figura 31

Diagrama de momentos por carga envolvente. Ejes A, B (tm).



Acero de Refuerzo en Columnas - A_s (cm^2).

Figura 32

A_s columnas (cm^2). Dimensiones 25 x 60 cm. Ejes: C, D, E, F.

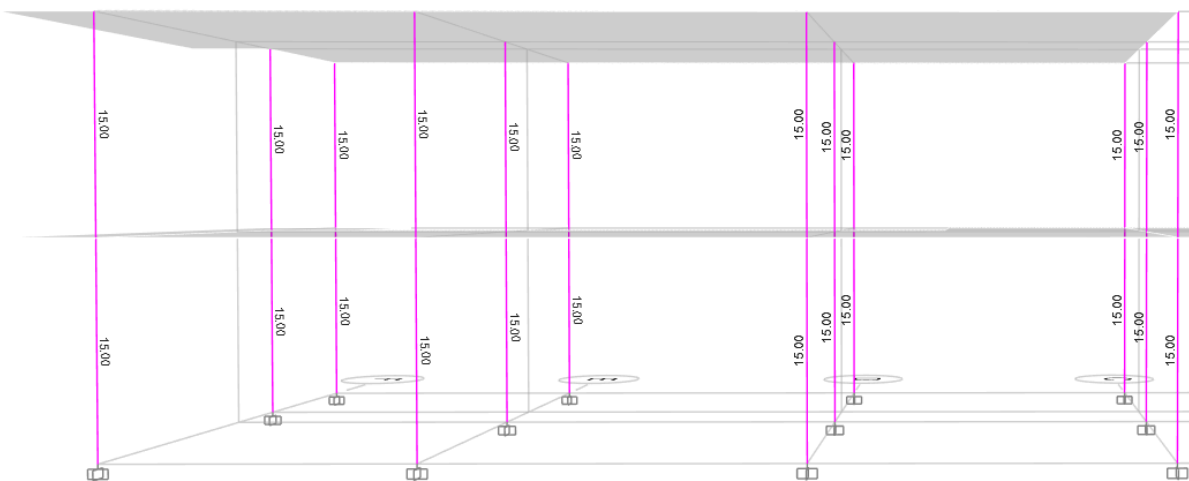
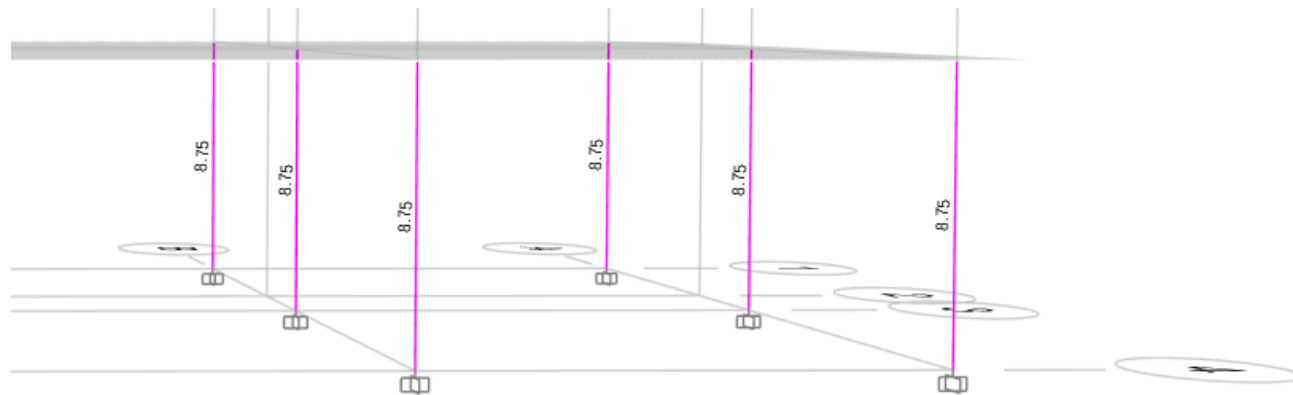


Figura 33

A_s columnas (cm^2). Dimensiones 25 x 35 cm. Ejes: A, B.



Acero de Refuerzo en Columnas - A_s (%).

Figura 34

A_s columnas (%). Dimensiones 25 x 60 cm. Ejes: C, D, E, F.

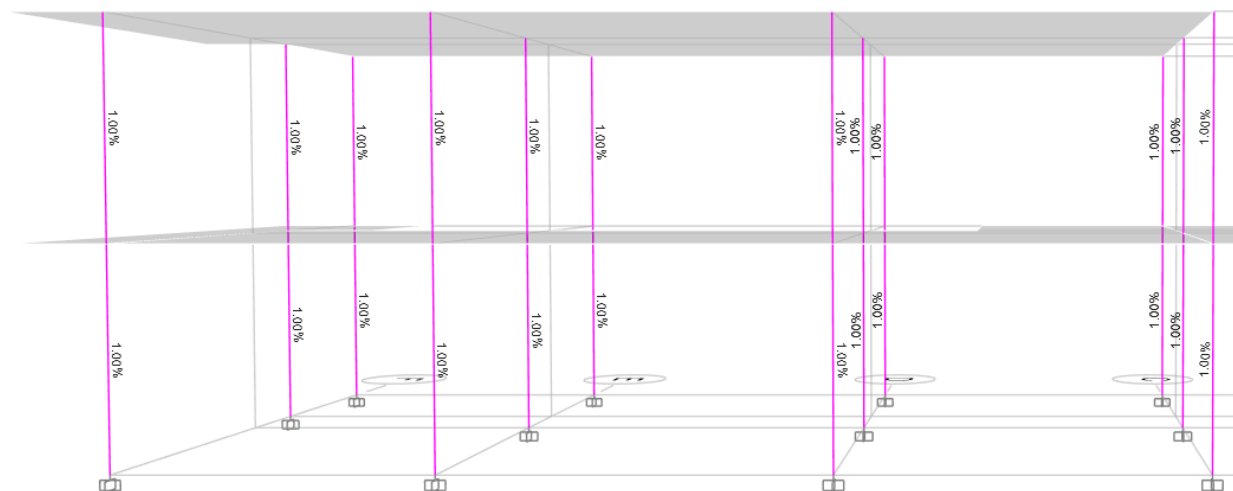


Figura 35

A_s columnas (%). Dimensiones 25 x 35 cm. Ejes: A, B.

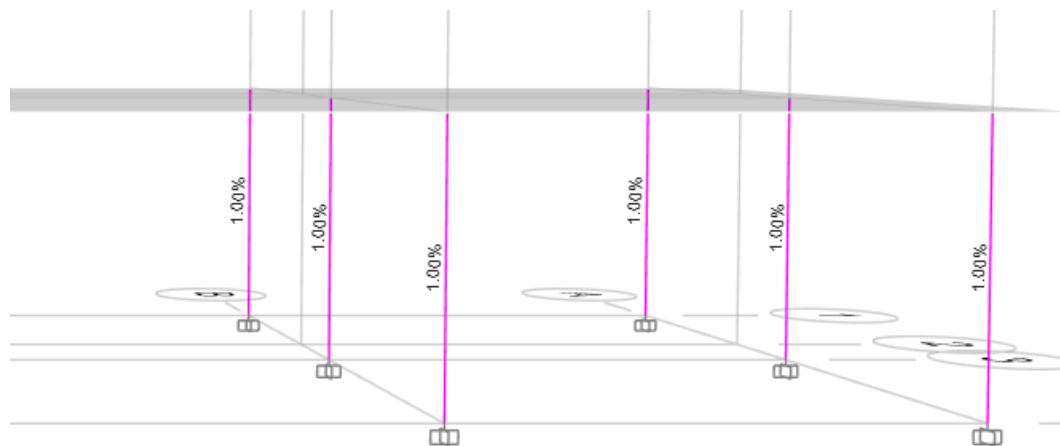


Tabla 11*Diseño de nudo C-3, N+2.52*

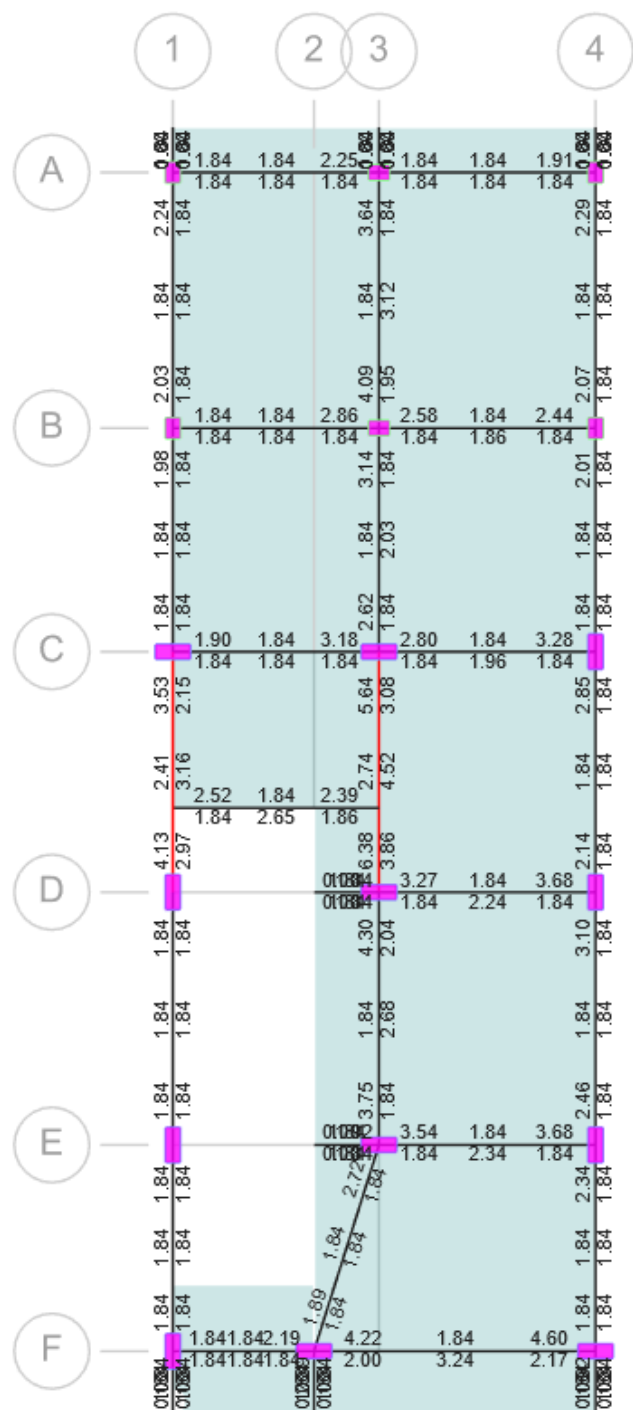
<i>Elementos Estructurales</i>		<i>Diseño de Nudo</i>		<i>Checklist</i>	
<i>Datos Columna</i>		T1	21 105 kg	21.11 t	Corte OK
a	25 cm	T2	11 875 kg	11.88 t	Adherencia OK
b	65 cm	M1	414 403 kg	4.14 t	Corte V OK
H	2.52 m	M2	245 454 kg	2.45 t	
<i>Datos viga</i>		V col.	2 618 kg	2.62 t	
b	25 cm	Vj	30 362 kg	30.36 t	
h	25 cm				
recubrimiento	3 cm			a	
<i>As sup. - viga</i>		INT		5.30	
núm. de var.	1 Ø 16 mm	MED		4.00	
núm. de var.	1 Ø 16 mm	ESQ		3.20	
As1	4.02 cm ²				
<i>As inf. - viga</i>				INT	
núm. de var.	2 u	a		5.30	
Ø	12 mm				
As1	2.26 cm ²	Aj		1125	
		Vn (Ton)		86.40	
d	22 cm	Ø*Vn		73.44	
f'c	210 kg/cm ²				
fy	4200 kg/cm ²				

Diseño de Vigas del Sistema Aporticado

Acero de Refuerzo en Vigas - As (cm²).

Figura 37

As vigas (cm²). Dimensiones 25 x 25 cm. N+2.52.



En la figura 36 se observan elementos en color rojo que indican un diagnóstico de falla por corte. Sin embargo, se realizó la evaluación correspondiente mediante fórmulas, y el resultado fue favorable. A continuación, se presenta la evidencia del análisis mencionado, para la viga con la carga más crítica.

Figura 38

Diagrama de corte por carga envolvente. Eje 3 entre C y D (t).

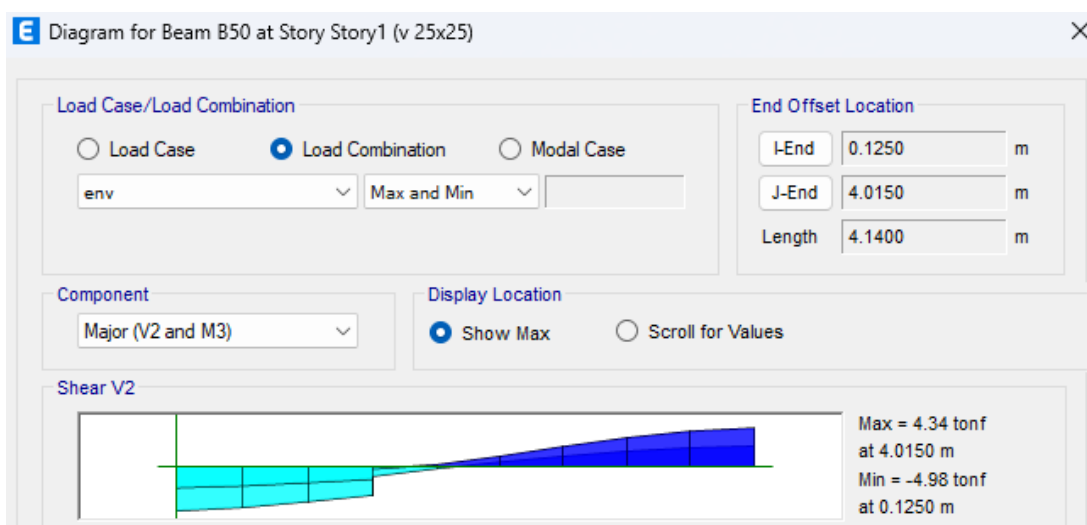


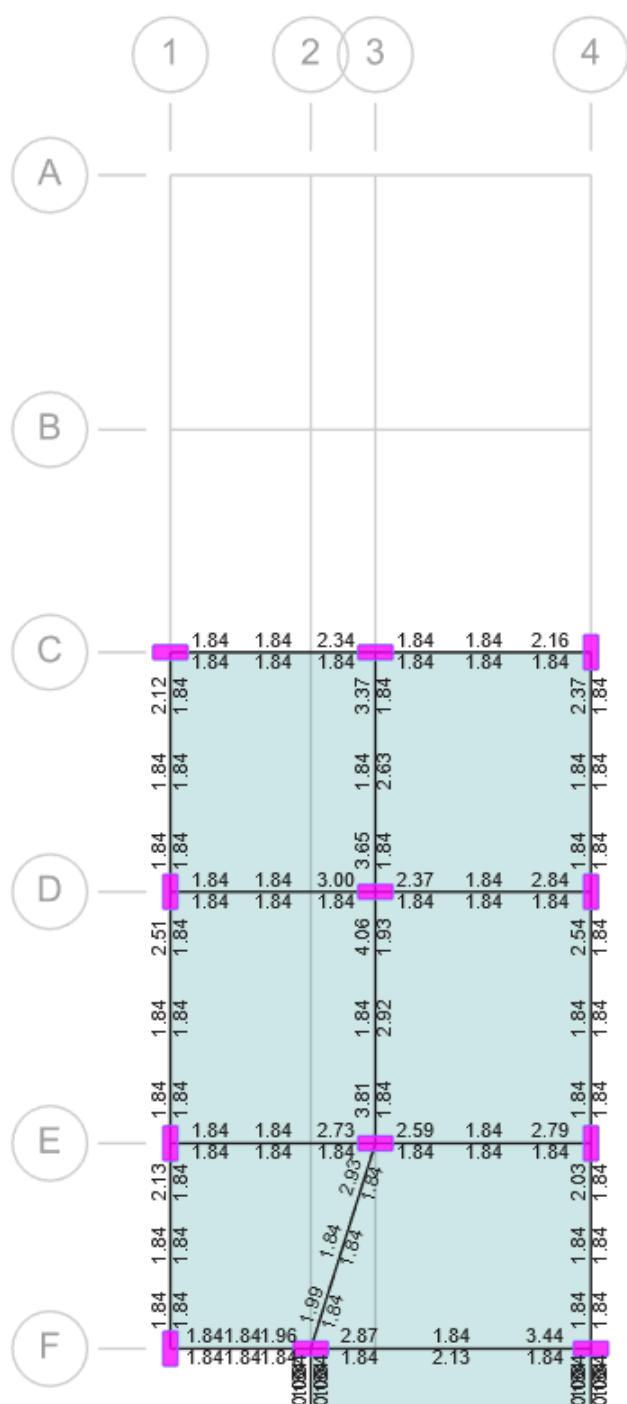
Tabla 12

Diseño a corte, viga de hormigón.

Propiedades		Diseño por corte	
f _c	210 kg/cm ²	Vu (dato)	4.98 t
f _y	4200 kg/cm ²		
		Vn	0.0026*Ø*b*d*√f _c
b	25 cm	Vn	15.54 ton
h	25 cm		
rec.	3 cm	Vu < Vn	ok
d	22 cm		
Ø	0.75		

Figura 39

As vigas (cm²). Dimensiones 25 x 25 cm. N+5.04.



Acero de Refuerzo en Vigas - As (%).

Figura 40

As vigas (%). Dimensiones 25 x 25 cm. N+2.52.

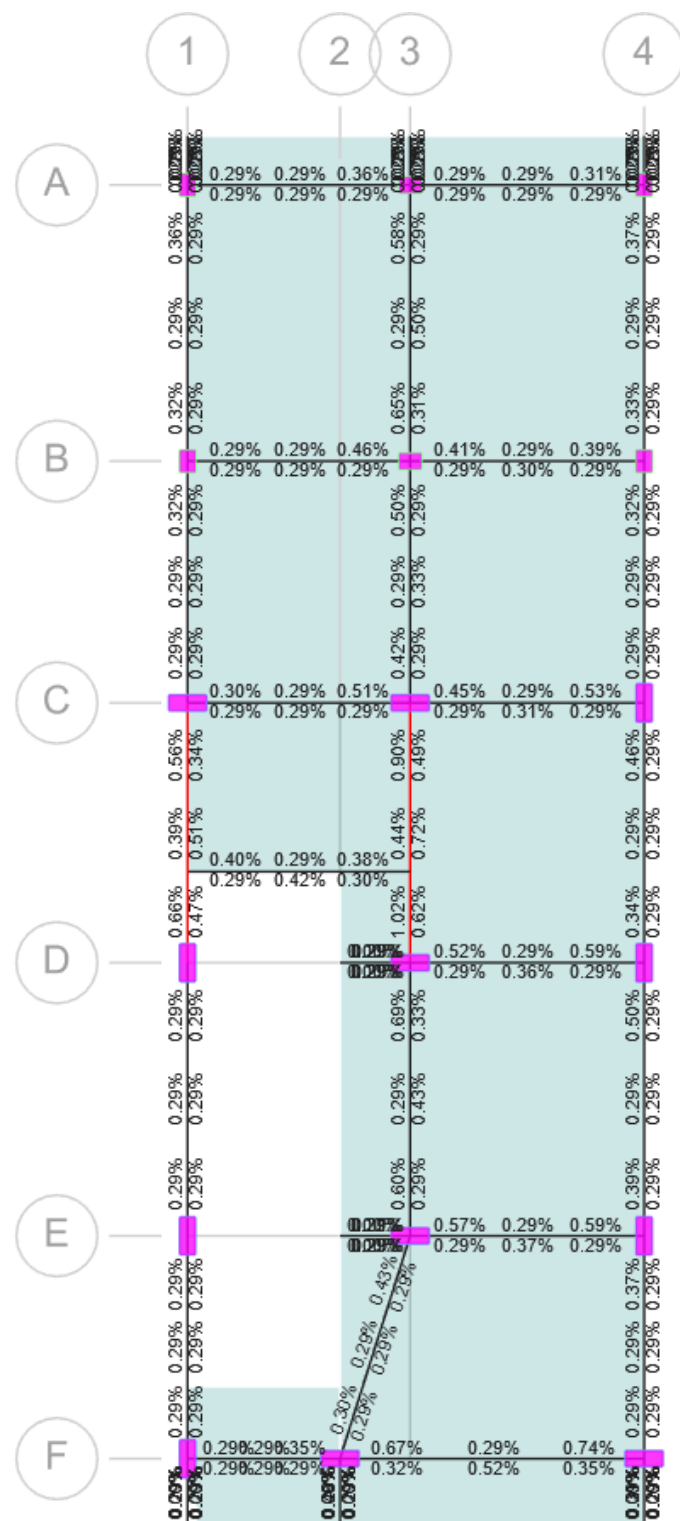
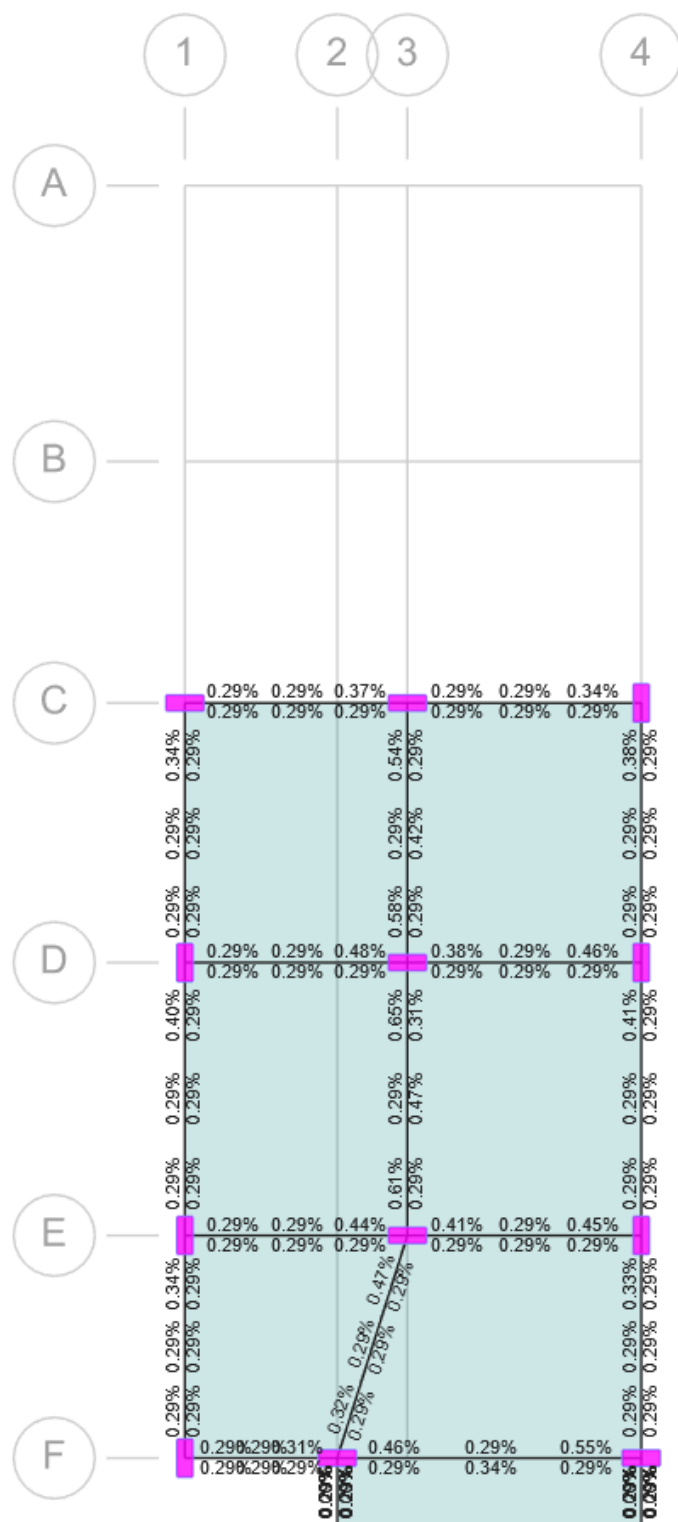


Figura 41

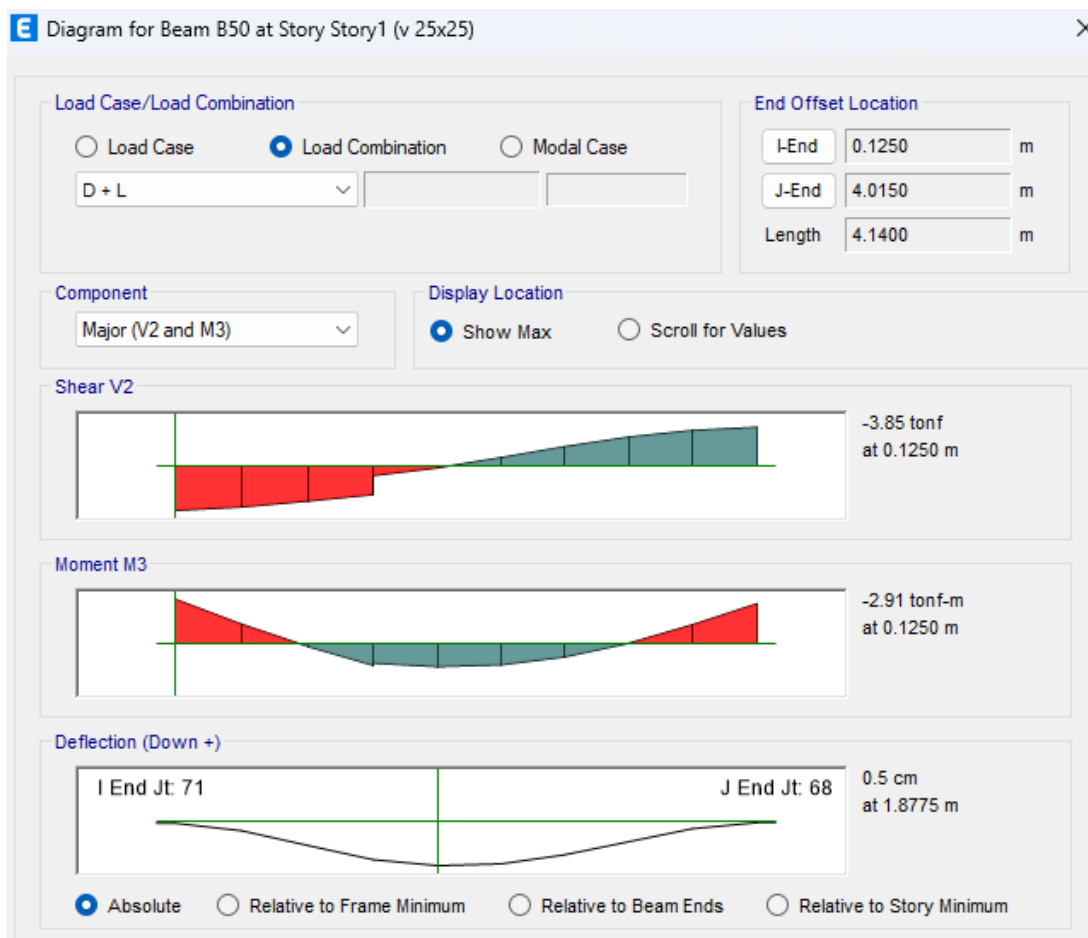
As vigas (%). Dimensiones 25 x 25 cm. N+5.04.



Deflexiones en Vigas. Se analizó la deflexión de la viga en el eje 3, entre los ejes C y D, en el nivel +2.52. Con una longitud de 4.14 m, fue evaluada bajo la combinación de cargas muerta y viva, conforme a la normativa vigente.

Figura 42

Diagrama de deflexiones.



- Deflexión Etabs = 0.5 cm.
- L/360 para vigas sin acabados frágiles. NEC-SE-HM, sección 4.2.1

Deflexión máxima permisible = $414 \text{ cm} / 360 = 1.15 \text{ cm}$.

$\Delta \text{ Etabs} < \Delta \text{ admisible}$

0.50 cm < 1.15 cm: Ok.

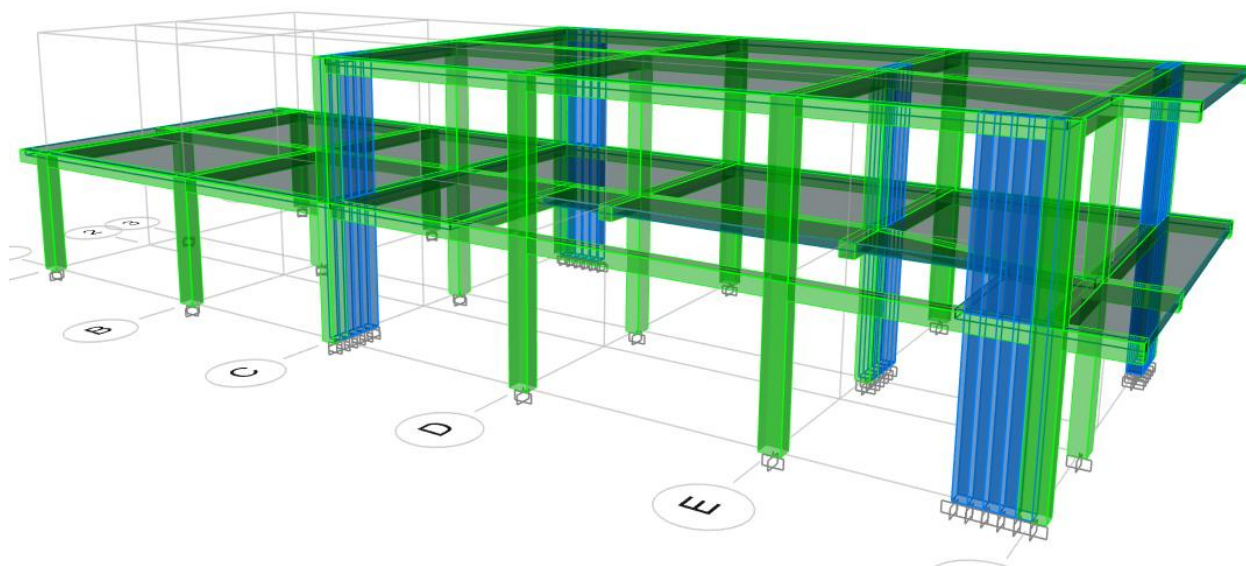
Sistema Dual

Es un sistema sismorresistente que combina pórticos resistentes a momento con muros de corte, los cuales actúan conjuntamente para proporcionar ductilidad y rigidez lateral, respectivamente, mejorando así el desempeño sísmico de la estructura.

Para que una estructura califique como sistema dual, los muros estructurales deben estar diseñados para resistir al menos el 75 % del corte basal en cada dirección principal (NEC - SE - DS, 2015). El porcentaje restante será resistido por el sistema aporticado, que proporciona ductilidad y disipación de energía, logrando así un desempeño sísmico integral.

Figura 43

Modelo analítico del sistema dual en Etabs.



Elementos Estructurales del Sistema Dual

Dado que el sistema dual mantiene la misma configuración arquitectónica, el prediseño de los elementos estructurales será idéntico, con excepción de los muros de corte, los cuales requerirán un nuevo diseño estructural. No obstante, de manera empírica, se iniciará el análisis con muros de 25x130 cm, ya que estas dimensiones coinciden con las de las columnas, lo que permitirá utilizar el mismo encofrado para fundir columnas y muros de forma conjunta.

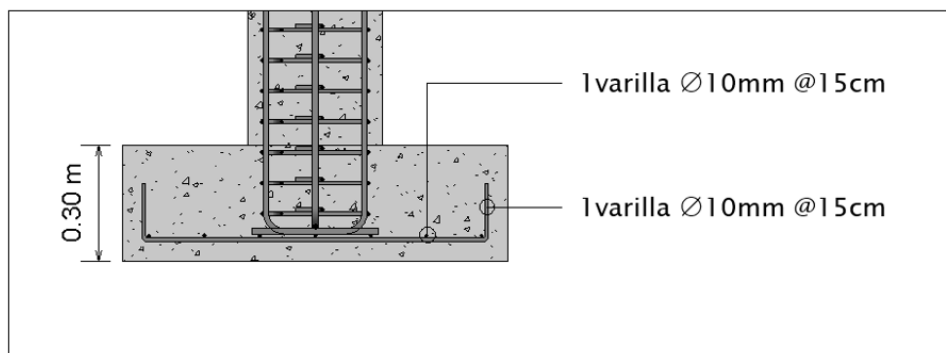
Materiales.

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

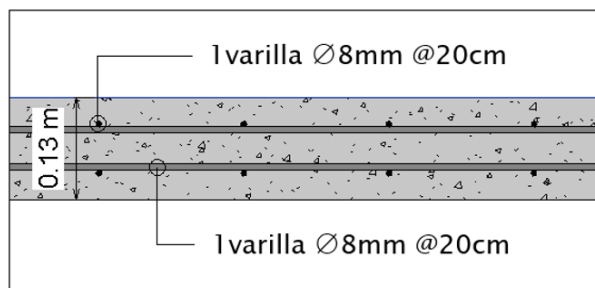
$$f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$$

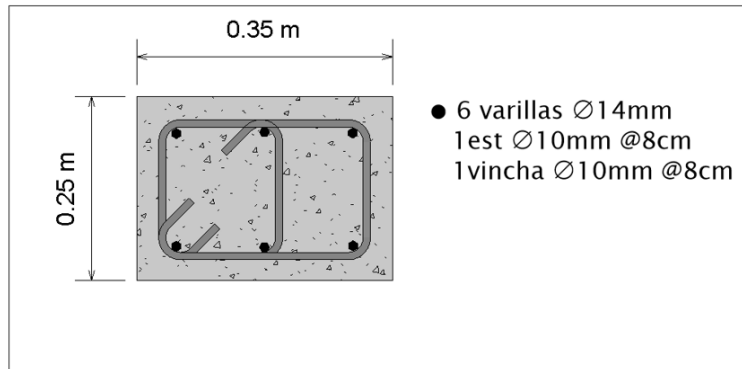
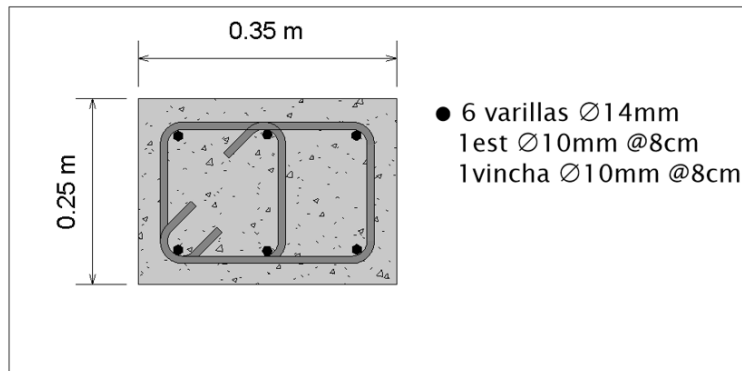
Cimentación.**Figura 44**

Plinto altura tipo, $H = 30 \text{ cm}$. Detalle estructural.

**Losas.****Figura 45**

Losa maciza tipo $H = 13 \text{ cm}$. Detalle estructural.



Vigas.**Figura 46***Viga 25x25 cm. Detalle estructural.***Columnas.****Figura 47***Columna 25x35 cm. Detalle estructural.*

Muros de corte.

Figura 48

Momento de inercia efectivo en muros de corte 25x130: 0.6 (Sist. dual).

The image shows two side-by-side software windows. The left window is titled 'Wall Property Data' and contains the following fields:

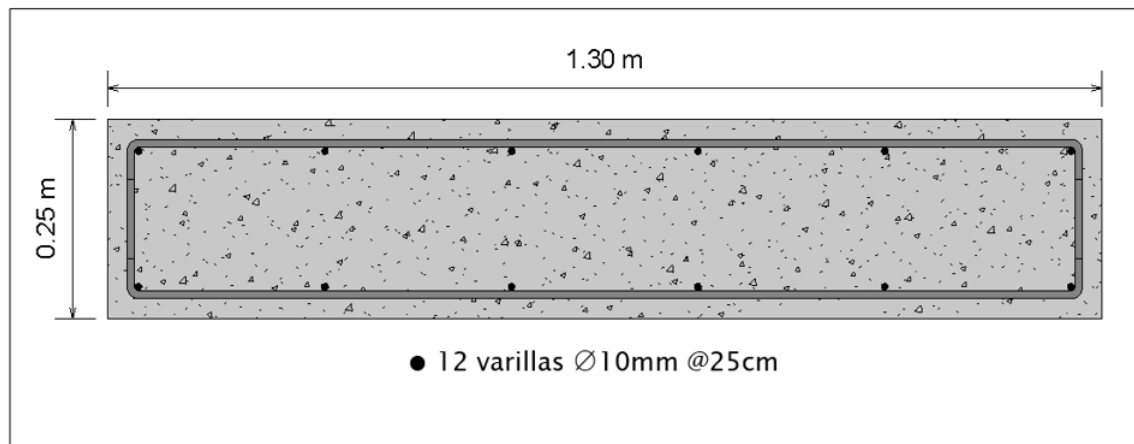
- Property Name: muro 25
- Property Type: Specified
- Wall Material: 210
- Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...
- Modeling Type: Shell-Thin
- Modifiers (Currently User Specified): Modify/Show...
- Display Color: [Blue swatch] Change...
- Property Notes: Modify/Show...
- Property Data: Thickness 0.25 m

The right window is titled 'Property/Stiffness Modification Factors' and contains the following fields:

- Property/Stiffness Modifiers for Analysis
- Membrane f11 Direction: 1
- Membrane f22 Direction: 1
- Membrane f12 Direction: 1
- Bending m11 Direction: 0.6
- Bending m22 Direction: 0.6
- Bending m12 Direction: 0.6
- Shear v13 Direction: 1
- Shear v23 Direction: 1
- Mass: 1
- Weight: 1

Figura 49

Muro de corte 25x130 cm. Detalle estructural.



Coeficiente Sísmico del Sistema Dual

Para la determinación del corte basal y la distribución de cargas horizontales en cada nivel de la estructura, se ha aplicado lo establecido en la NEC (NEC - SE - DS, 2015), considerando la zonificación sísmica, el tipo de suelo y los factores definidos por el sistema estructural adoptado, conforme a los criterios de regularidad exigidos por la normativa vigente.

Periodo de Vibración. Es el tiempo que tarda una estructura en completar una oscilación.

Tipo de estructura: Pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales

$$C_t = 0.055$$

$$\alpha = 0.75$$

Altura Máxima de la Edificación Medida desde la Base

$$h_n = 5.04 \text{ m}$$

- $T = C_t * h_n^\alpha = 0.185 \text{ s}$: Período de Vibración.

Coeficiente k. Coeficiente del periodo de vibración de la estructura, si $T \leq 0.5$, $k=1$

- $k = 1.00$

Zona Sísmica y Factor de Zona Z. La NEC (NEC-SE-CG, 2015), en la tabla 10.2, establece la clasificación sísmica del territorio nacional. Para el Distrito Metropolitano de Quito, se asignan los siguientes valores correspondientes a la zona sísmica y al factor de zona:

- Zona sísmica: V
- $Z = 0.40$: Factor de zona, de peligro sísmico alto.

Tipo de Perfil de Suelo. De acuerdo con el estudio geotécnico realizado para el proyecto, se ha determinado que el terreno corresponde al siguiente perfil:

- Suelo tipo D.

Coeficientes de Perfil de Suelo F_a , F_d y F_s . Con base en los valores obtenidos previamente y conforme a la normativa sísmica vigente, se determinan los siguientes coeficientes asociados al tipo de suelo:

- $F_a = 1.20$: Coeficiente de amplificación del suelo en la zona de período corto.
- $F_d = 1.19$: Coeficiente de amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos, correspondiente al diseño en roca.
- $F_s = 1.28$: Coeficiente que representa el comportamiento no lineal del suelo.

Límites para el Período de Vibración T_C y T_L .

- $T_C = 0.55 * F_s \frac{F_d}{F_a} = 0.70$
- $T_L = 2.4 * F_d = 2.86$

Espectro de Respuesta Elástico de Aceleraciones S_a .

$r = 1$: Factor usado en el espectro de diseño elástico, para todos los suelos, con excepción del suelo tipo E.

$\eta = 2.48$: Relación de amplificación espectral, : Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.

- $0 \leq T \leq T_C$: $0 \leq 0.251 \leq 0.70$: verdadero

$$S_a = \eta * Z * F_a = 1.19$$

- $T > T_C$: $0.251 > 0.70$: falso
- $S_a = 1.19 \text{ g}$

Corte Basal de Diseño.

- $I = 1.0$: Otras estructuras, categoría de edificio y coeficiente de importancia I.
- $Z = 0.40$: Factor de zona.
- $\emptyset P_i = 0.90$: Coeficiente de irregularidad en planta.
- $\emptyset E_i = 0.90$: Coeficiente de irregularidad en elevación.

- R = 8: Coeficiente de reducción de respuesta estructural. Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas descolgadas.

$$V = \frac{I * Sa * W}{R * \emptyset Pi * \emptyset Ei} = 0.184 W$$

Con base en los parámetros establecidos, se ha determinado el factor de corte basal, obteniéndose un valor equivalente al 18.4% de la masa sísmica total de la estructura.

Clasificación de Sistema Dual según la NEC-SE-DS

A continuación, se presenta la revisión de los criterios necesarios para que una estructura sea clasificada como sistema dual. De acuerdo con la NEC (NEC - SE - DS, 2015), los muros estructurales deben estar diseñados para resistir al menos el 75 % del corte basal en las direcciones principales X e Y.

Figura 50

Sx, Fuerzas sísmicas en muros y columnas.

The screenshot shows the 'Section Cut Forces' window with the following data:

Section Cutting Line				Load Case		Resultant Force Location and Angle			
	Start Point	End Point		Sx		Global X	1.6401	m	
Global X	-9.6293	12.9095	m			Global Y	-1.0646	m	
Global Y	-0.889	-1.2401	m			Global Z	0	m	
						Angle	359.107	deg	

Integrated Forces							
	Left Side			Right Side			
	1	2	Z	1	2	Z	
Force	30.3503	0.4728	0	-30.3503	-0.4728	0	tonf
Moment	-1.8038	115.779	-310.0711	1.8038	-115.779	310.0711	tonf-m

Buttons: Save Left Side Cut, Save Right Side Cut

Nota. Sx, Fuerzas sísmicas en muros y columnas: 30.35 t. (100 %)

Figura 51*Sx, Fuerzas sísmicas en muros.*

E Section Cut Forces

Section Cutting Line

	Start Point	End Point	
Global X	-9.6293	12.9095	m
Global Y	-0.889	-1.2401	m

Load Case

Sx

Resultant Force Location and Angle

Global X	1.6401	m
Global Y	-1.0646	m
Global Z	0	m
Angle	359.107	deg

Objects to Include

☐ Columns
 ☐ Beams
 ☐ Braces
 ☐ Floors
 ☒ Walls
 ☐ Links

Integrated Forces

	Left Side			Right Side			
	1	2	Z	1	2	Z	
Force	26.7604	0.4066	1.9635	-26.7604	-0.4066	-1.9635	tonf
Moment	18.6778	96.8563	-246.0914	-18.6778	-96.8563	246.0914	tonf-m

Save Left Side Cut Save Right Side Cut

*Nota. Sx, Fuerzas sísmicas en muros: 26.76 t. (85.7 %)***Figura 52***Sy, Fuerzas sísmicas en muros y columnas.*

E Section Cut Forces

Section Cutting Line

	Start Point	End Point	
Global X	-9.8707	13.129	m
Global Y	-1.0646	-1.3279	m

Load Case

Sy

Resultant Force Location and Angle

Global X	1.6291	m
Global Y	-1.1963	m
Global Z	0	m
Angle	359.344	deg

Objects to Include

☒ Columns
 ☐ Beams
 ☐ Braces
 ☐ Floors
 ☒ Walls
 ☐ Links

Integrated Forces

	Left Side			Right Side			
	1	2	Z	1	2	Z	
Force	-0.3475	30.352	0	0.3475	-30.352	0	tonf
Moment	-115.7855	-1.3258	76.1624	115.7855	1.3258	-76.1624	tonf-m

Save Left Side Cut Save Right Side Cut

Nota. Sy, Fuerzas sísmicas en muros y columnas: 30.35 t. (100 %)

Figura 53

Sy, Fuerzas sísmicas en muros.

Section Cut Forces

Section Cutting Line

	Start Point	End Point	
Global X	-9.8707	13.129	m
Global Y	-1.0646	-1.3279	m

Load Case

Sy

Objects to Include

☐ Columns ☐ Beams ☐ Braces
☐ Floors ☒ Walls ☐ Links

Resultant Force Location and Angle

Global X	1.6291	m
Global Y	-1.1963	m
Global Z	0	m
Angle	359.344	deg

Integrated Forces

	Left Side			Right Side			
	1	2	Z	1	2	Z	
Force	-0.0014	26.028	0.7382	0.0014	-26.028	-0.7382	tonf
Moment	-95.8607	3.8594	61.2181	95.8607	-3.8594	-61.2181	tonf-m

Save Left Side Cut Save Right Side Cut

Sy, Fuerzas sísmicas en muros: 26.03 t. (85.8 %)

Fuerzas Laterales del Sistema Dual

El programa Etabs distribuye el corte basal (V) en forma de fuerzas laterales equivalentes, aplicadas en el centro de masa de cada nivel, conforme a lo establecido por el método estático.

Figura 54

Cargas laterales.

Load Pattern Definitions - Auto Seismic - User Coefficient

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: Yes Sort: None Load Pattern Definitions - Auto Seismic - User Coefficient

Filter: None

	Name	Ecc Ratio	Top Story	Bottom Story	C	K	Weight Used tonf	Base Shear tonf
▶	Sx	0.05	Story2	Base	0.21	1	144.54	30.35
	Sy	0.05	Story2	Base	0.21	1	144.54	30.35

Torsión en los Modos de Vibración del Sistema Dual

El programa Etabs determina los períodos y las formas modales de vibración del edificio, calculando las cargas actuantes a partir de la masa estructural. La siguiente figura

presenta los modos de vibración obtenidos, junto con su período asociado y el porcentaje de participación modal en cada dirección de análisis.

Figura 55

Modos de vibración.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ
Modal	1	0.191	0.0003368	0.752	0	0.0003368	0.752	0	0.388	5.788E-06	0.001
Modal	2	0.167	0.749	0.0004139	0	0.75	0.752	0	0.0004331	0.282	0.02

Nota. Con la información proporcionada en esta tabla podemos observar que la torsión generada por las fuerzas en el modo 1 es 0.1%, y en el modo 2 tiene un valor de 2.0%.

Irregularidad Torsional Extrema del Sistema Dual

Según la Tabla 12.3-1 del ASCE 7-22 (ASCE / SCI 7-22, 2022), hay irregularidad torsional cuando la deriva máxima en un extremo de un piso es más de 1.2 veces el promedio de las derivas en ambos extremos. Si esta relación supera 1.4 veces, se trata de una irregularidad torsional extrema, lo que requiere un rediseño de la estructura.

- $\Delta_{\text{piso}} / \Delta_{\text{promedio}} < 1.2$: $\emptyset P_i = 1.0$
- $1.2 < \Delta_{\text{piso}} / \Delta_{\text{promedio}} < 1.4$: $\emptyset P_i = 0.9$
- $\Delta_{\text{piso}} / \Delta_{\text{promedio}} > 1.4$: Rediseño de la estructura

Donde:

- Δ máx. Es el desplazamiento máximo en planta, en dirección perpendicular a la carga sísmica.
- Δ promedio. Es el desplazamiento promedio de todos los puntos de control en esa planta. Este criterio se aplica para cada piso y para cada dirección de análisis (X e Y).

Figura 56*Irregularidad torsional en X.*

E Story Max Over Avg Drifts

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Story Max Over Avg Drifts

Filter: ([Output Case] = 'Sx')

	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift m	Avg Drift m	Ratio
►	Story2	Sx	LinStatic		X	0.001872	0.001513	1.24
	Story1	Sx	LinStatic		X	0.001199	0.000888	1.35

Nota. En la figura 41, el mayor valor de irregularidad torsional es 1.35, el mismo que se encuentra entre el presente intervalo: $1.2 < \Delta_{\text{piso}} / \Delta_{\text{promedio}} < 1.4$, por esta razón el valor de $\emptyset P_i$: 0.9, y este parámetro se ha tomado en cuenta para el determinar el factor de corte basal.

Figura 57*Irregularidad torsional en Y.*

E Story Max Over Avg Drifts

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Story Max Over Avg Drifts

Filter: ([Output Case] = 'Sy')

	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift m	Avg Drift m	Ratio
►	Story2	Sy	LinStatic		Y	0.002113	0.00204	1.04
	Story1	Sy	LinStatic		Y	0.001051	0.001015	1.04

Periodo de Vibración Sísmica del Sistema Dual

Se calculó el período fundamental de vibración de la estructura (T_e). Según la NEC-15, este valor no debe superar en más de un 30% al período normativo (T_{neC}), para evitar posibles efectos de resonancia y asegurar un buen comportamiento sísmico de la estructura.

Figura 58

Período fundamental de vibración de la estructura.

E Modal Participating Mass Ratios			
File	Edit	Format-Filter-Sort	Select Options
Units: As Noted		Hidden Columns: No	Sort: No
Filter: None			
	Case	Mode	Period sec
►	Modal	1	0.191

- $T_e = 0.191$ s: Período de vibración de la estructura, modelo Etabs.
- $T_{NEC} = \text{Periodo normativo} + 30\% = 0.185 \text{ s} + 30\%$

$$T_{NEC} = 0.241 \text{ s}$$

$$T_e < T_{NEC}$$

$$0.191 < 0.241: \text{Ok.}$$

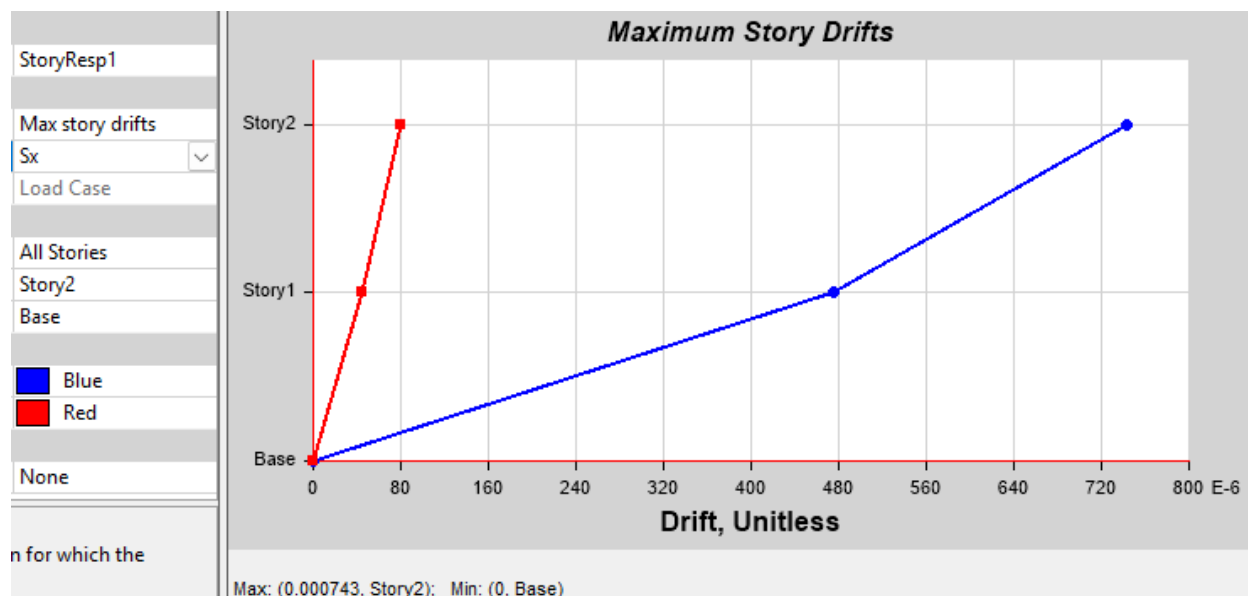
Derivas del Sistema Dual

Las derivas son el cociente entre el desplazamiento relativo horizontal entre dos niveles consecutivos de una edificación y la altura entre dichos niveles. Este parámetro permite estimar la deformación lateral de la estructura y controlar posibles daños durante un sismo.

Durante el proceso iterativo de prediseño, se verificó que las derivas máximas no superen el límite del 2 % establecido por la NEC-15 para eventos sísmicos.

Figura 59

Deriva Elástica Máxima X.



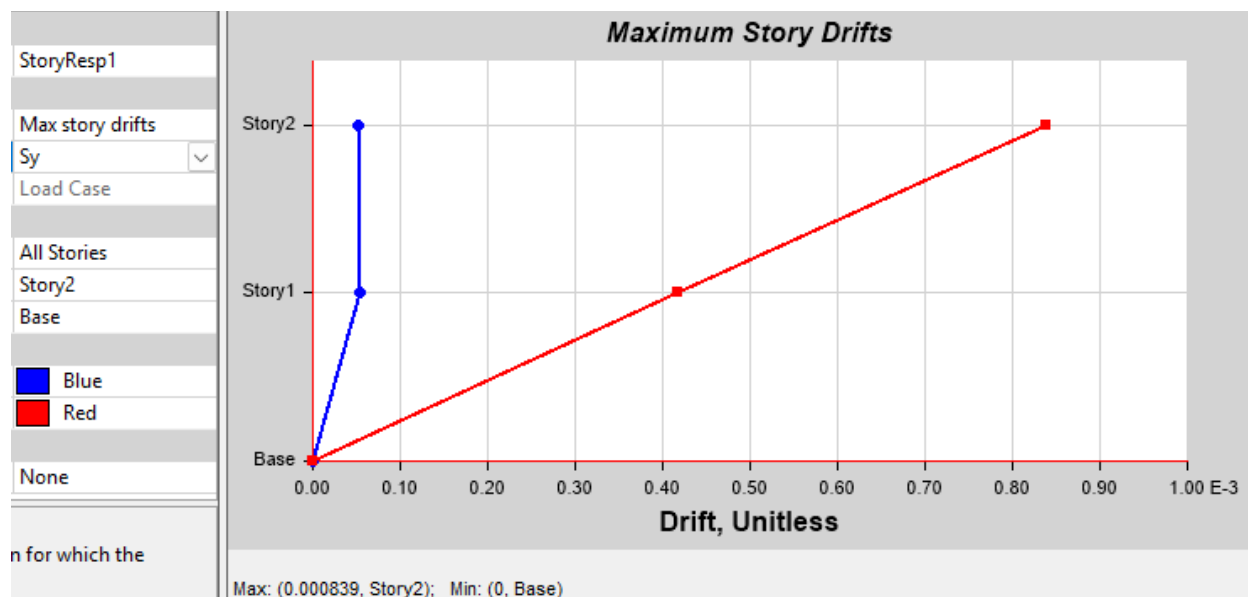
$$\text{Deriva Inelástica Máxima X} = \Delta E_x * R * 0.75$$

$$\text{Deriva Inelástica Máxima X} = 0.75 \text{ E-3} * 8 * 0.75 = 0.52\%$$

$$0.45\% < 2.00\%: \text{Ok.}$$

Figura 60

Deriva Elástica Máxima Y.



$$\text{Deriva Inelástica Máxima Y} = \Delta E_y \cdot R \cdot 0.75$$

$$\text{Deriva Inelástica Máxima Y} = 0.84 \text{ E-3} \cdot 8 \cdot 0.75 = 0.50\%$$

0.50% < 2.00%: Ok.

Diseño por Última Resistencia

Tabla 13

Cargas y combinaciones por ultima resistencia (NEC - SE - DS, 2015).

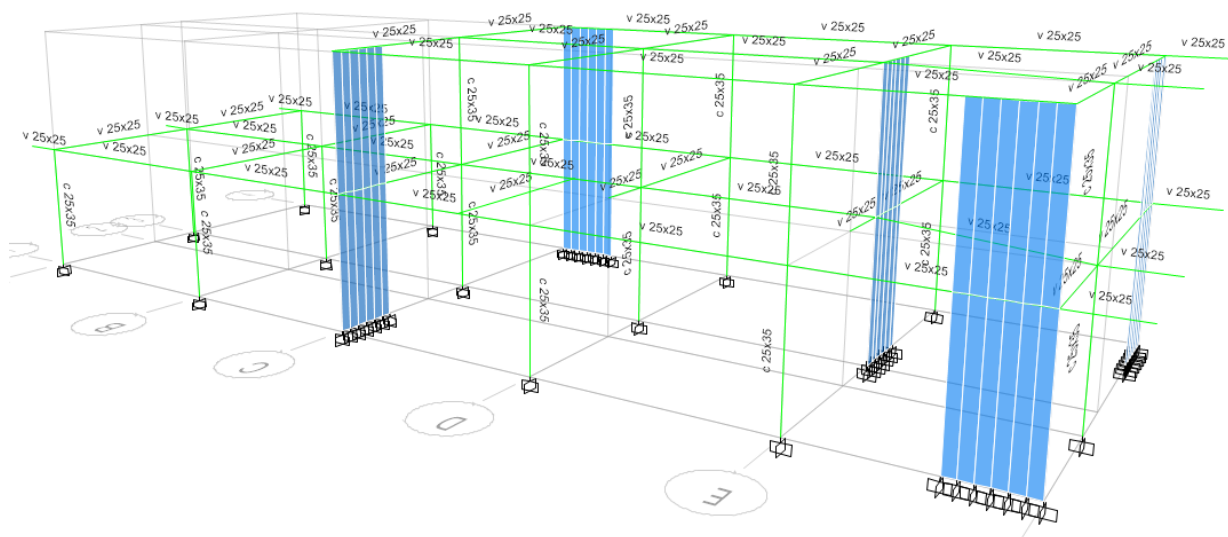
Cargas	Combinaciones
D = Carga Muerta	UR1 = 1.4D
L = Carga Viva	UR2 = 1.2D + 1.6L
S = Carga Sísmica	UR5 Sx = 1.2D + 1.0L ± 1.0Sx
	UR5 Sy = 1.2D + 1.0L ± 1.0Sy
	UR6 = 0.9D
	UR7 Sx = 0.9D ± 1.0Sx
	UR7 Sy = 0.9D ± 1.0Sy

Diseño de Elementos Estructurales del Sistema Dual

Una vez incorporadas las cargas sísmicas al modelo estructural, se procedió a incrementar las dimensiones de los elementos estructurales con respecto a su prediseño inicial, con el fin de cumplir con las normativas sismorresistentes vigentes. A continuación, se detalla cada elemento estructural con sus dimensiones finales.

Figura 61

Modelo analítico final del sistema dual.



Diseño de Cimentación del Sistema Dual

Propiedades del Suelo.

Figura 62

Coeficiente de Balasto, $K_s = 1\,180.59 \text{ t/m}^3$.

S Area Spring Property Data

General Data

Property Name: 15 t/m2

Display Color: Change...

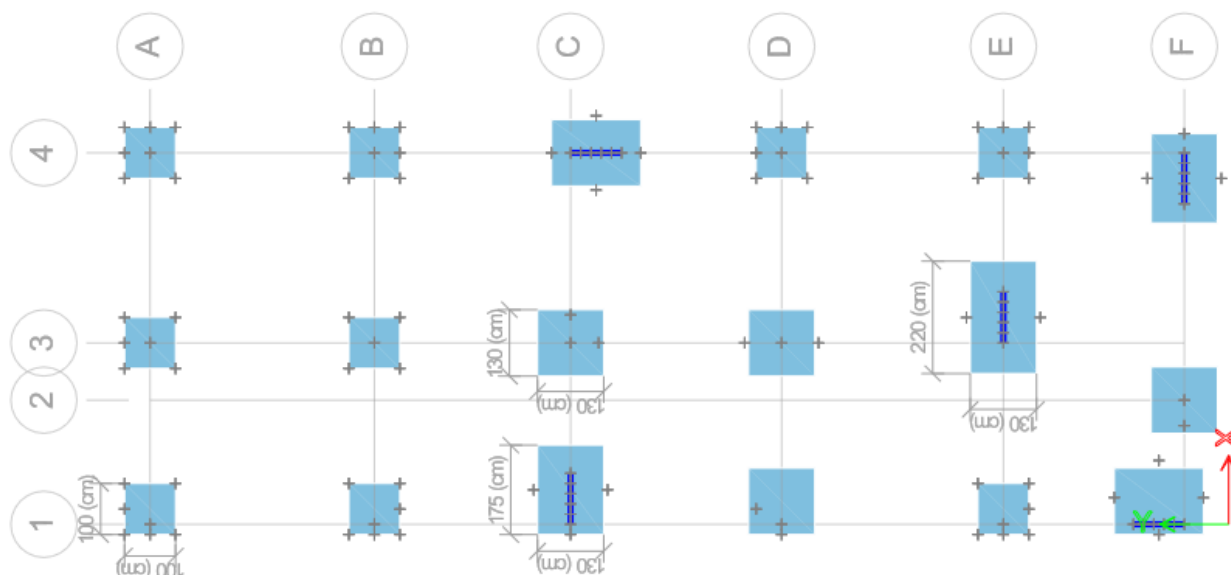
Property Notes: Modify/Show Notes...

Property

Subgrade Modulus (Compression Only): 1180.59 tonf/m/m²

Figura 63

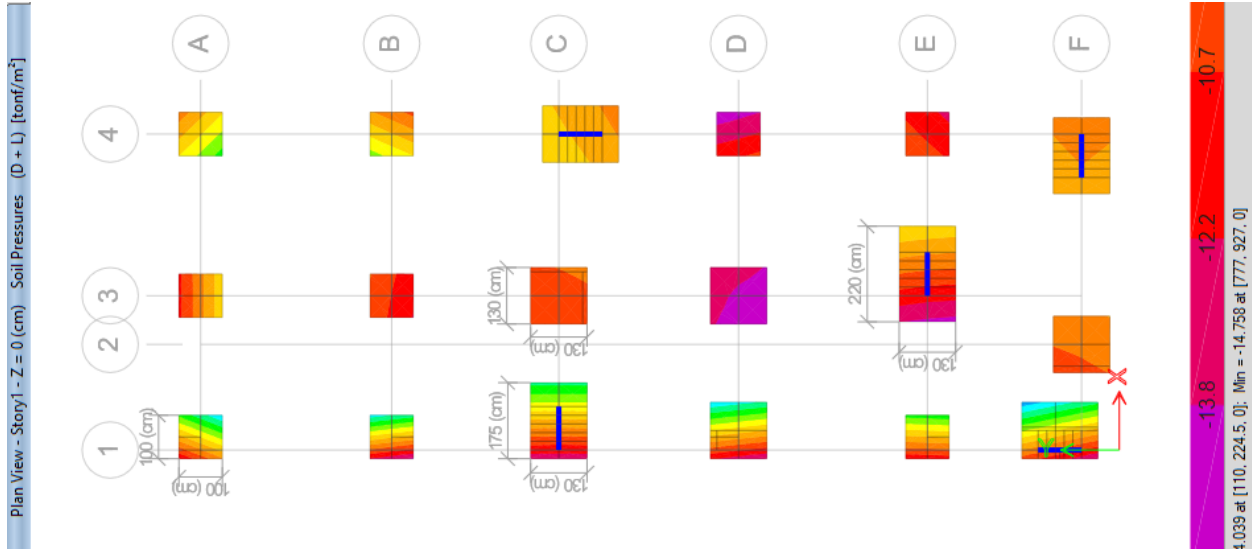
Implantación de cimentación. Plintos $h=30\text{cm}$.



Distribución de Presiones en el Suelo (t/m^2), (D + L).

Figura 64

Distribución de presiones en el suelo (t/m^2), (D + L).



- $q_a \text{ Safe} = 14.76 \text{ t/m}^2$
- $q_a \text{ admisible} = 15.00 \text{ t/m}^2$

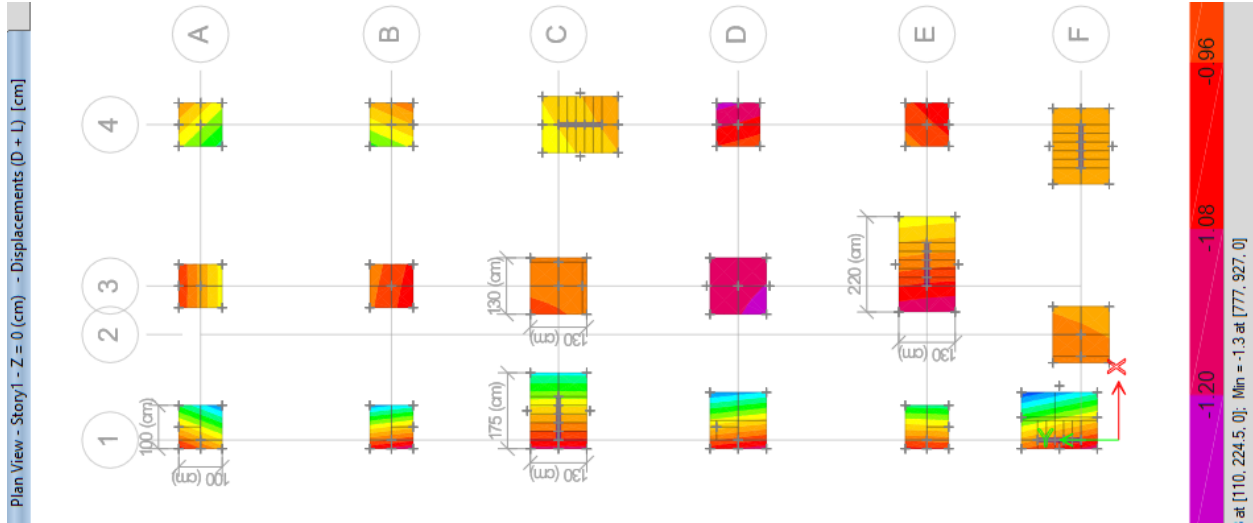
$q_a \text{ Safe} \leq q_a \text{ admisible}$

$14.76 \text{ t/m}^2 \leq 15.00 \text{ t/m}^2$: Ok.

Distribución de Deformaciones, (D + L).

Figura 65

Deformaciones en el suelo (cm).



- $\Delta \text{ Safe} = 1.30 \text{ cm}$

$\Delta \text{ admisible} = 1.50 \text{ cm}$

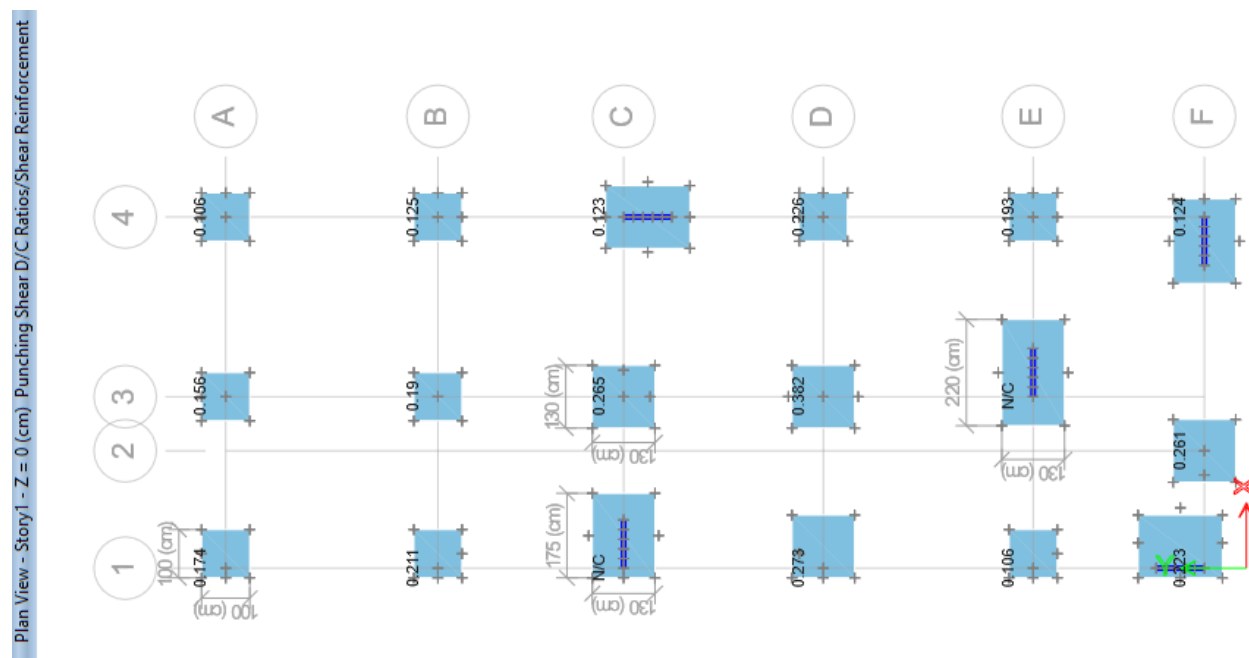
$\Delta \text{ Safe} < \Delta \text{ admisible}$

$1.30 \text{ cm} < 1.50 \text{ cm}$: Ok.

Punzonamiento en Plintos. El punzonamiento es el control de la relación altura/anchura del plinto. El programa Safe permite evaluar esta relación geométrica con el fin de evitar concentraciones excesivas de esfuerzo en la cimentación. Para que el comportamiento estructural sea considerado favorable, los resultados deben ser inferiores a 1.

Figura 66

Control de punzonamiento en plintos, $h = 30$ cm.



Cuantía de Acero en Plintos.

Figura 67

Cuantía de acero inferior en plintos (cm^2/m).



- As Safe = $5.40 \text{ cm}^2/\text{m}$

As plintos = $5.40 \text{ cm}^2 / (\text{varillas @ } 15 \text{ cm: } 7u)$

As plintos = $0.77 \text{ cm}^2 @ 15 \text{ cm}$

As plintos = $1\emptyset 10 @ 15 \text{ cm}$

Diseño de Columnas del Sistema Dual

Figura 68

Diagrama de momentos por carga envolvente. Ejes C, D, E, F (tm).

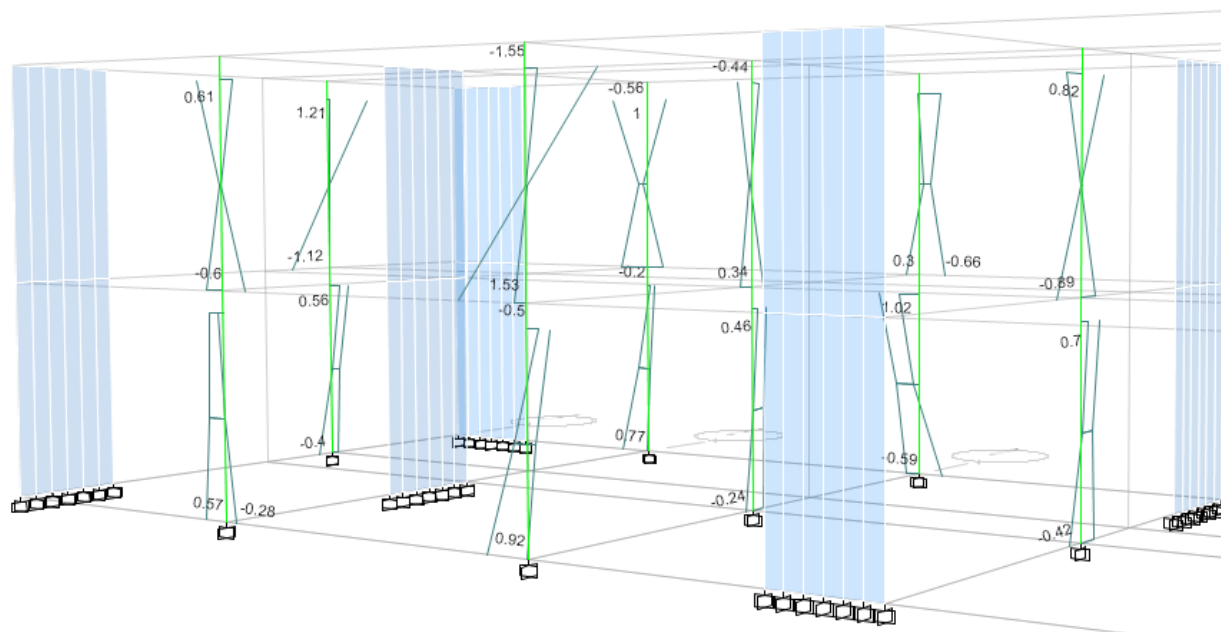
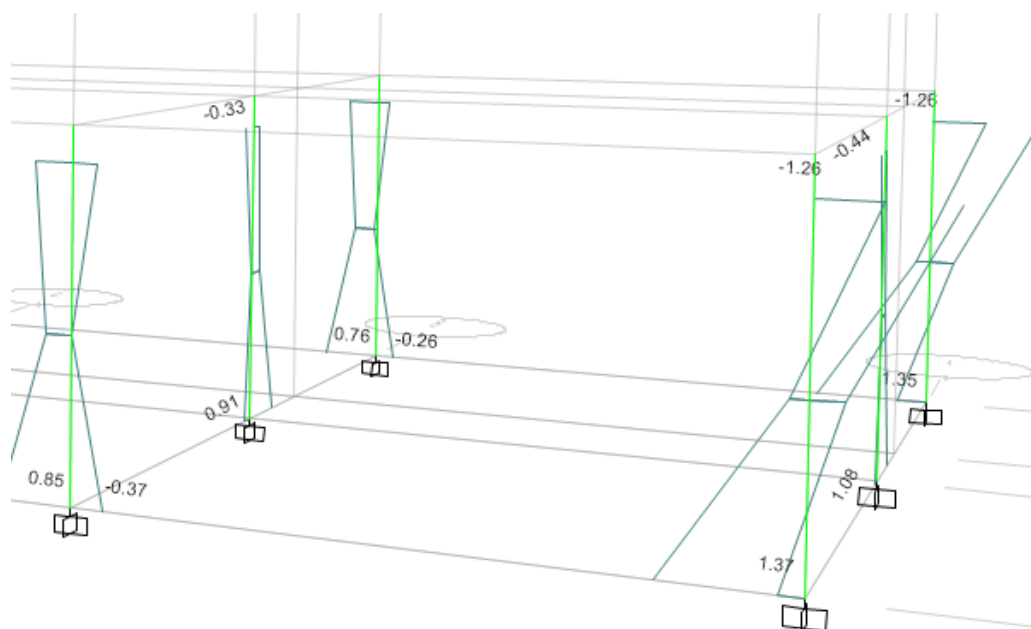


Figura 69

Diagrama de momentos por carga envolvente. Ejes A, B (tm).



Acero de Refuerzo en Columnas - A_s (cm^2).

Figura 70

A_s columnas (cm^2). Dimensiones 25 x 35 cm. Ejes: C, D, E, F.

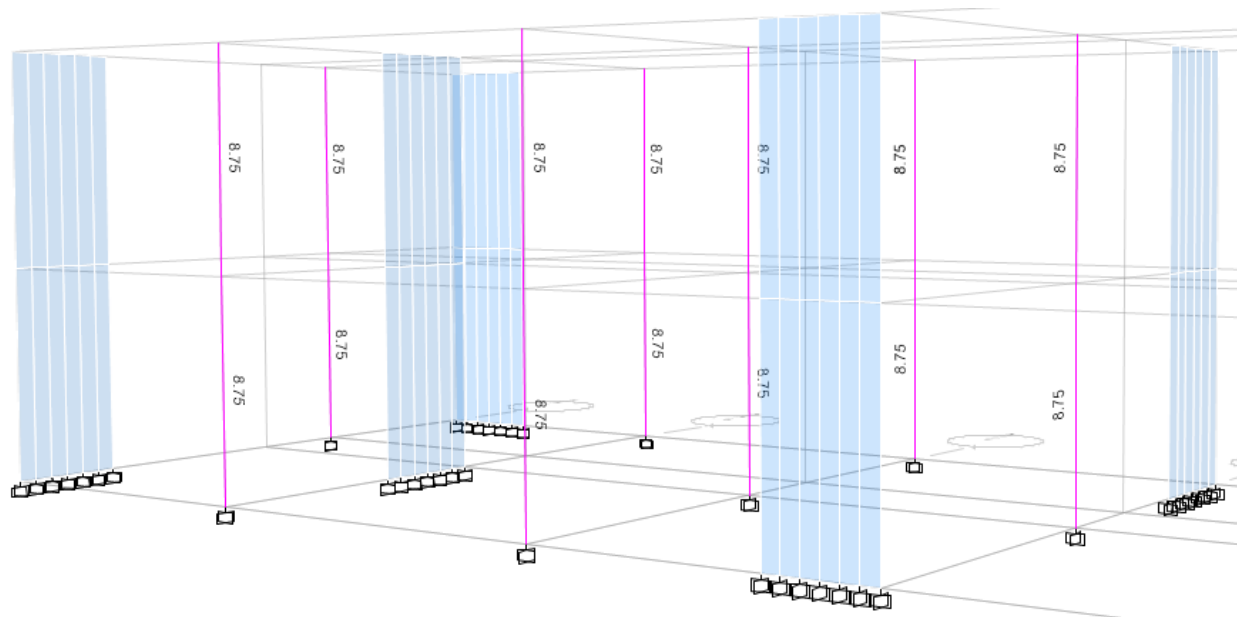
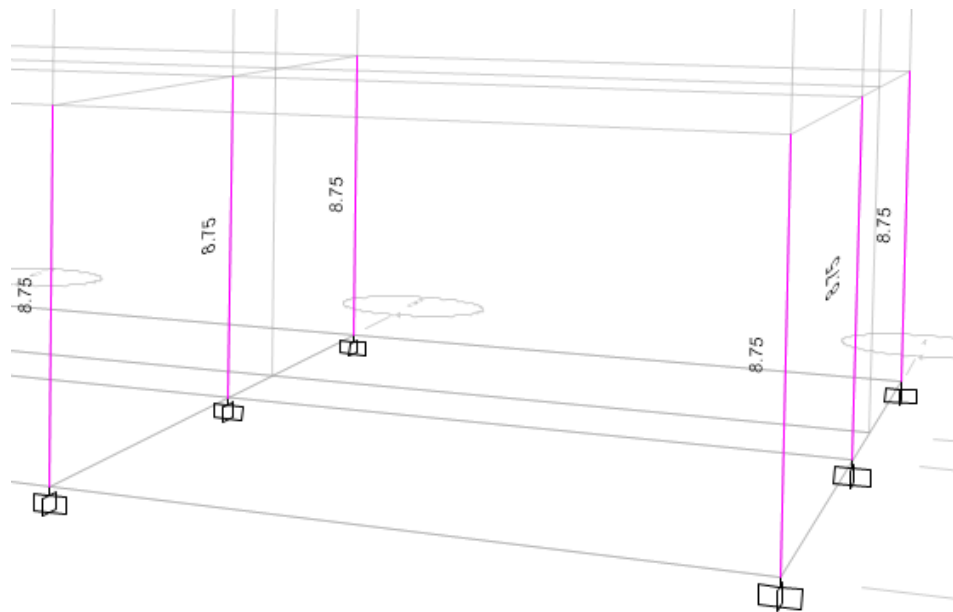


Figura 71

A_s columnas (cm^2). Dimensiones 25 x 35 cm. Ejes: A, B.



Acero de Refuerzo en Columnas - As (%).

Figura 72

As columnas (%). Dimensiones 25 x 35 cm. Ejes: C, D, E, F.

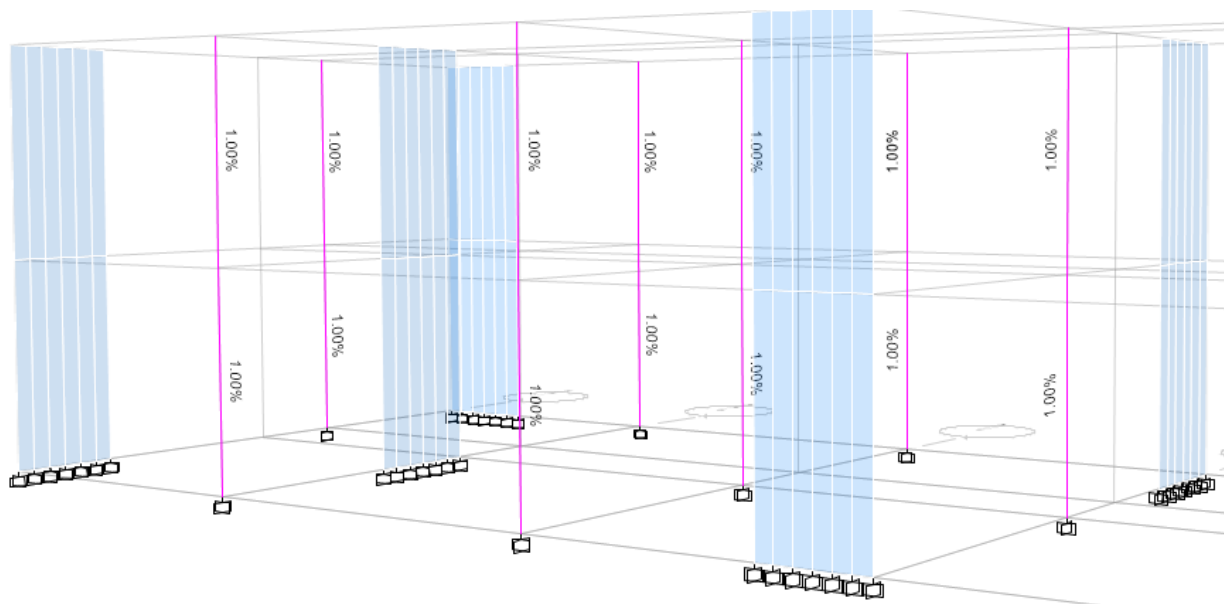
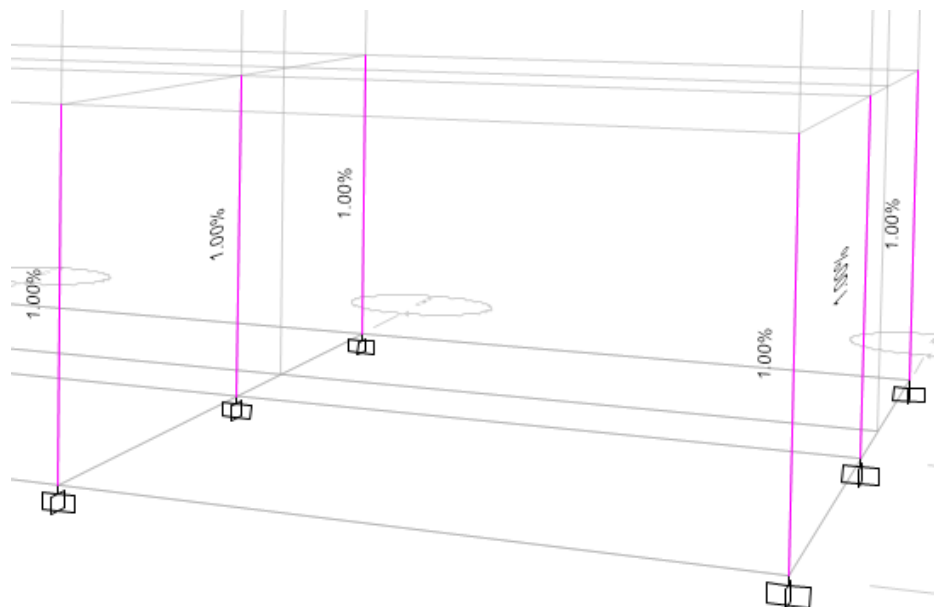


Figura 73

As columnas (%). Dimensiones 25 x 35 cm. Ejes: A, B.



Relación 6/5, Columna Fuerte - Viga Débil. No se llevó a cabo la verificación de la relación 6/5 entre la capacidad de las columnas y las vigas en los nudos, debido a que la participación de los muros en la resistencia sísmica supera el 80%. Esta condición se encuentra justificada en el apartado “Clasificación del Sistema Dual según la NEC-SE-DS” del presente estudio, cuyo contenido se resume a continuación.

- Sismo X, Fuerzas sísmicas en muros: 26.76 t. (85.7 %)
- Sismo Y, Fuerzas sísmicas en muros: 26.03 t. (85.8 %)

No obstante, se mantienen las características de inercia superiores de las columnas frente a las vigas, lo cual se refleja en sus dimensiones: columnas de 25 x 35 cm y vigas de 25 x 25 cm. Esta configuración contribuye a garantizar un comportamiento estructural adecuado.

Acero de Refuerzo en Muros de Corte.

Figura 74

Acero de refuerzo en muro C-1, $e = 25 \text{ cm}$.

ACI 318-19 Pier Design

Pier Details

Story ID	Pier ID	Centroid X (m)	Centroid Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	Height (m)	LLRF
Story2	P1	0.65	12.91	1.3	0.25	2.52	1

Material Properties

E_c (tonf/m ²)	f'_c (tonf/m ²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f_y (tonf/m ²)	f_{ys} (tonf/m ²)
1956335.86	2100	1	42000	42000

Design System Parameters

ρ	S_{DB}	Ω_0	SDC	Type
1	0.5	2.5	D	Special Structural Wall

Design Code Parameters

ϕ_T	ϕ_c	ϕ_v	ϕ_v (Seismic)	IP_{MAX}	IP_{MIN}	P_{MAX}
0.9	0.65	0.75	0.6	0.04	0.0025	0.8

Pier Leg Location, Length and Thickness

Station Location	ID	Left X ₁ m	Left Y ₁ m	Right X ₂ m	Right Y ₂ m	Length m	Thickness m	Pier A ₂ cm ²
Top	Leg 1	0	12.91	1.3	12.91	1.3	0.25	3250
Bottom	Leg 1	0	12.91	1.3	12.91	1.3	0.25	3250

Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}

Station Location	Required Rebar Area (cm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	P_u tonf	Minimum M_2 tonf-m	M_{u2} tonf-m	M_{u3} tonf-m
Top	8.13	0.0025	0.0029	UR7 Sy	2.16	0.05	-0.97	0.22
Bottom	8.13	0.0025	0.0029	UR7 Sy	3.93	0.09	0.93	-1.3

Axial Force and Minor Moment Factors

Station Location	C_m Factor Unitless	δ_{ns} Factor Unitless	β_{dns} Unitless	El_{eff} tonf-m ²	P_c tonf
Top Minor Bend(M2)	0.215693	1	0.905784	695.0432	1080.22
Bottom Minor Bend(M2)	0.215693	1	0.948212	679.9067	1056.69

Shear Design Capacity Parameters

Station Location	ID	Shear Combo	M_{pr} major tonf-m	Ω_v Unitless	ω_v Unitless	$\Omega_v * \omega_v$ Unitless
Top	Leg 1	UR7 Sx	0	1	3	3
Bottom	Leg 1	UR7 Sx	0	1	3	3

Shear Design

Station Location	ID	Rebar cm ² /m	Shear Combo	P_u tonf	M_u tonf-m	V_u tonf	$V_{u,design}$ tonf	h_w/l_w Unitless	α_c Unitless	ϕV_c tonf	ϕV_n tonf
Top	Leg 1	6.25	UR7 Sx	1.21	-1.2	4.32	12.97	3.876923	2	14.99	35.46
Bottom	Leg 1	6.25	UR7 Sx	2.98	9.7	4.32	12.97	3.876923	2	14.99	35.46

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	Not Required	UR5 Sy	3.53	0.42	4.94	420		
Top-Right	Leg 1	Not Required	UR5 Sy	3.53	0.42	16.78	420		
Bottom-Left	Leg 1	Not Required	UR5 Sy	5.89	-1.6	40.82	420		
Bottom-Right	Leg 1	Not Required	UR5 Sy	5.89	-1.6	-4.57	420		

Tabla 14*Acero de refuerzo en muro C-1.*

<i>acero vertical</i>		<i>acero horizontal</i>	
<i>espesor</i>	<i>25 cm</i>	<i>acero por corte</i>	<i>6.25 cm²/m</i>
<i>Ag</i>	<i>2500 cm²</i>	<i>varillas c/lado</i>	<i>4 u</i>
<i>required reinf ratio</i>	<i>0.0025</i>		
<i>As vertical</i>	<i>6.25 cm²</i>		
<i>As vertical c/lado</i>	<i>3.13 cm²</i>		
<i>varillas c/lado</i>	<i>4 u</i>		
<i>As vertical</i>	<i>0.78 cm²</i>	<i>As corte</i>	<i>0.78 cm²</i>
<i>Ø 10mm</i>	<i>@ 25 cm</i>	<i>Ø 10mm</i>	<i>@ 25 cm</i>

Figura 75

Acero de refuerzo en muro C-4, $e = 25 \text{ cm}$.

ACI 318-19 Pier Design

Pier Details

Story ID	Pier ID	Centroid X (m)	Centroid Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	Height (m)	LLRF
Story2	P2	7.27	12.26	1.3	0.25	2.52	1

Material Properties

E_c (tonf/m ²)	f'_c (tonf/m ²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f_y (tonf/m ²)	f_{ys} (tonf/m ²)
1956335.86	2100	1	42000	42000

Design System Parameters

ρ	S_{DS}	Ω_0	SDC	Type
1	0.5	2.5	D	Special Structural Wall

Design Code Parameters

ϕ_T	ϕ_C	ϕ_V	ϕ_V (Seismic)	IP _{MAX}	IP _{MIN}	P _{MAX}
0.9	0.65	0.75	0.6	0.04	0.0025	0.8

Pier Leg Location, Length and Thickness

Station Location	ID	Left X ₁ m	Left Y ₁ m	Right X ₂ m	Right Y ₂ m	Length m	Thickness m	Pier A ₂ cm ²
Top	Leg 1	7.27	11.61	7.27	12.91	1.3	0.25	3250
Bottom	Leg 1	7.27	11.61	7.27	12.91	1.3	0.25	3250

Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}

Station Location	Required Rebar Area (cm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	P_u tonf	Minimum M_{u2} tonf-m	M_{u2} tonf-m	M_{u3} tonf-m
Top	8.13	0.0025	0.0029	UR7 Sy	2.51	0.06	0.41	-1.68
Bottom	8.13	0.0025	0.0029	UR7 Sy	4.29	0.1	-0.51	11.57

Axial Force and Minor Moment Factors

Station Location	C _m Factor Unitless	δ_{ns} Factor Unitless	β_{dns} Unitless	El _{eff} tonf-m ²	P _c tonf
Top Minor Bend(M2)	0.275627	1	0.807799	732.7156	1138.76
Bottom Minor Bend(M2)	0.275627	1	0.887223	701.879	1090.84

Shear Design Capacity Parameters

Station Location	ID	Shear Combo	M_{pr} major tonf-m	Ω_V Unitless	ω_V Unitless	$\Omega_V \cdot \omega_V$ Unitless
Top	Leg 1	UR7 Sy	0	1	3	3
Bottom	Leg 1	UR7 Sy	0	1	3	3

Shear Design

Station Location	ID	Rebar cm ² /m	Shear Combo	P_u tonf	M_u tonf-m	V_u tonf	$V_{u,design}$ tonf	h_w/l_w Unitless	α_c Unitless	ϕV_c tonf	ϕV_n tonf
Top	Leg 1	6.25	UR7 Sy	2.51	-1.68	5.26	15.77	3.876923	2	14.99	35.46
Bottom	Leg 1	6.25	UR7 Sy	4.29	11.57	5.26	15.77	3.876923	2	14.99	35.46

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	Not Required	UR5 Sy	3.94	-2.09	41.84	420		
Top-Right	Leg 1	Not Required	UR5 Sy	3.94	-2.09	-17.6	420		
Bottom-Left	Leg 1	Not Required	UR5 Sy	6.3	10.81	-134.1	420		
Bottom-Right	Leg 1	Not Required	UR5 Sy	6.3	10.81	172.87	420		

Tabla 15*Acero de refuerzo en muro C-4.*

<i>acero vertical</i>		<i>acero horizontal</i>	
<i>espesor</i>	<i>25 cm</i>	<i>acero por corte</i>	<i>6.25 cm²/m</i>
<i>Ag</i>	<i>2500 cm²</i>	<i>varillas c/lado</i>	<i>4 u</i>
<i>required reinf ratio</i>	<i>0.0025</i>		
<i>As vertical</i>	<i>6.25 cm²</i>		
<i>As vertical c/lado</i>	<i>3.13 cm²</i>		
<i>varillas c/lado</i>	<i>4 u</i>		
<i>As vertical</i>	<i>0.78 cm²</i>	<i>As corte</i>	<i>0.78 cm²</i>
<i>Ø 10mm</i>	<i>@ 25 cm</i>	<i>Ø 10mm</i>	<i>@ 25 cm</i>

Figura 76

Acero de refuerzo en muro E-3, $e = 25 \text{ cm}$.

ACI 318-19 Pier Design

Pier Details

Story ID	Pier ID	Centroid X (m)	Centroid Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	Height (m)	LLRF
Story2	P3	4.2	4.42	1.3	0.25	2.52	1

Material Properties

E_c (tonf/m ²)	f'_c (tonf/m ²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f_y (tonf/m ²)	f_{ys} (tonf/m ²)
1956335.86	2100	1	42000	42000

Design System Parameters

ρ	S_{DS}	Ω_0	SDC	Type
1	0.5	2.5	D	Special Structural Wall

Design Code Parameters

ϕ_T	ϕ_c	ϕ_v	ϕ_v (Seismic)	IP _{MAX}	IP _{MIN}	P _{MAX}
0.9	0.65	0.75	0.6	0.04	0.0025	0.8

Pier Leg Location, Length and Thickness

Station Location	ID	Left X ₁ m	Left Y ₁ m	Right X ₂ m	Right Y ₂ m	Length m	Thickness m	Pier A _g cm ²
Top	Leg 1	3.55	4.42	4.85	4.42	1.3	0.25	3250
Bottom	Leg 1	3.55	4.42	4.85	4.42	1.3	0.25	3250

Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}

Station Location	Required Rebar Area (cm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	P_u tonf	Minimum M_{u2} tonf-m	M_{u2} tonf-m	M_{u3} tonf-m
Top	8.13	0.0025	0.0029	UR7 Sy	6.52	0.15	-0.1	-2.4
Bottom	8.13	0.0025	0.0029	UR7 Sy	8.29	0.19	0.29	0.72

Axial Force and Minor Moment Factors

Station Location	C_m Factor Unitless	δ_{ns} Factor Unitless	β_{dns} Unitless	EI_{eff} tonf-m ²	P_c tonf
Top Minor Bend(M2)	0.456683	1	0.991334	665.1836	1033.81
Bottom Minor Bend(M2)	0.456683	1	0.993186	664.5655	1032.85

Shear Design Capacity Parameters

Station Location	ID	Shear Combo	$M_{pr,major}$ tonf-m	Ω_v Unitless	ω_v Unitless	$\Omega_v * \omega_v$ Unitless
Top	Leg 1	UR5 Sx	0	1	3	3
Bottom	Leg 1	UR5 Sx	0	1	3	3

Shear Design

Station Location	ID	Rebar cm ² /m	Shear Combo	P_u tonf	M_u tonf-m	V_u tonf	$V_{u,design}$ tonf	h_w / l_w Unitless	α_c Unitless	ϕV_c tonf	ϕV_n tonf
Top	Leg 1	6.25	UR5 Sx	11.23	-5.37	5.96	17.89	3.876923	2	14.99	35.46
Bottom	Leg 1	6.25	UR5 Sx	13.59	9.66	5.96	17.89	3.876923	2	14.99	35.46

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	Not Required	UR5 Sy	11.46	-4.06	92.89	420		
Top-Right	Leg 1	Not Required	UR5 Sy	11.46	-4.06	-22.39	420		
Bottom-Left	Leg 1	Not Required	UR5 Sy	13.82	0.95	29	420		
Bottom-Right	Leg 1	Not Required	UR5 Sy	13.82	0.95	56.04	420		

Tabla 16*Acero de refuerzo en muro E-3.*

<i>acero vertical</i>		<i>acero horizontal</i>	
<i>espesor</i>	<i>25 cm</i>	<i>acero por corte</i>	<i>6.25 cm²/m</i>
<i>Ag</i>	<i>2500 cm²</i>	<i>varillas c/lado</i>	<i>4 u</i>
<i>required reinf ratio</i>	<i>0.0025</i>		
<i>As vertical</i>	<i>6.25 cm²</i>		
<i>As vertical c/lado</i>	<i>3.13 cm²</i>		
<i>varillas c/lado</i>	<i>4 u</i>		
<i>As vertical</i>	<i>0.78 cm²</i>	<i>As corte</i>	<i>0.78 cm²</i>
<i>Ø 10mm</i>	<i>@ 25 cm</i>	<i>Ø 10mm</i>	<i>@ 25 cm</i>

Figura 77

Acero de refuerzo en muro F-1, $e = 25 \text{ cm}$.

ACI 318-19 Pier Design

Pier Details

Story ID	Pier ID	Centroid X (m)	Centroid Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	Height (m)	LLRF
Story2	P4	0	1.52	1.3	0.25	2.52	1

Material Properties

E_c (tonf/m ²)	f'_c (tonf/m ²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f_y (tonf/m ²)	f_{ys} (tonf/m ²)
1956335.86	2100	1	42000	42000

Design System Parameters

ρ	S_{DS}	Ω_o	SDC	Type
1	0.5	2.5	D	Special Structural Wall

Design Code Parameters

ϕ_T	ϕ_c	ϕ_v	ϕ_v (Seismic)	IP _{MAX}	IP _{MIN}	P _{MAX}
0.9	0.65	0.75	0.6	0.04	0.0025	0.8

Pier Leg Location, Length and Thickness

Station Location	ID	Left X ₁ m	Left Y ₁ m	Right X ₂ m	Right Y ₂ m	Length m	Thickness m	Pier A _s cm ²
Top	Leg 1	0	0.87	0	2.17	1.3	0.25	3250
Bottom	Leg 1	0	0.87	0	2.17	1.3	0.25	3250

Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}

Station Location	Required Rebar Area (cm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	P_u tonf	Minimum M_2 tonf-m	M_{u2} tonf-m	M_{u3} tonf-m
Top	8.13	0.0025	0.0029	UR7 Sy	0.61	0.01	-0.34	-1.2
Bottom	8.13	0.0025	0.0029	UR7 Sy	2.39	0.05	0.24	11.76

Axial Force and Minor Moment Factors

Station Location	C_m Factor Unitless	δ_{ns} Factor Unitless	β_{dns} Unitless	EI_{eff} tonf-m ²	P_c tonf
Top Minor Bend(M2)	0.325117	1	1	662.3012	1029.33
Bottom Minor Bend(M2)	0.325117	1	1	662.3012	1029.33

Shear Design Capacity Parameters

Station Location	ID	Shear Combo	$M_{pr, major}$ tonf-m	Ω_v Unitless	ω_v Unitless	$\Omega_v * \omega_v$ Unitless
Top	Leg 1	UR7 Sy	0	1	3	3
Bottom	Leg 1	UR7 Sy	0	1	3	3

Shear Design

Station Location	ID	Rebar cm ² /m	Shear Combo	P_u tonf	M_u tonf-m	V_u tonf	$V_{u, design}$ tonf	h_w / l_w Unitless	α_c Unitless	ϕV_c tonf	ϕV_n tonf
Top	Leg 1	6.25	UR7 Sy	0.61	-1.2	5.14	15.43	3.876923	2	14.99	35.46
Bottom	Leg 1	6.25	UR7 Sy	2.39	11.76	5.14	15.43	3.876923	2	14.99	35.46

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	Not Required	UR5 Sx	1.94	0.65	-3.31	420		
Top-Right	Leg 1	Not Required	UR5 Sx	1.94	0.65	15.23	420		
Bottom-Left	Leg 1	Not Required	UR5 Sx	4.3	0.71	3.19	420		
Bottom-Right	Leg 1	Not Required	UR5 Sx	4.3	0.71	23.26	420		

Tabla 17*Acero de refuerzo en muro F-1.*

<i>acero vertical</i>		<i>acero horizontal</i>	
<i>espesor</i>	<i>25 cm</i>	<i>acero por corte</i>	<i>6.25 cm²/m</i>
<i>Ag</i>	<i>2500 cm²</i>	<i>varillas c/lado</i>	<i>4 u</i>
<i>required reinf ratio</i>	<i>0.0025</i>		
<i>As vertical</i>	<i>6.25 cm²</i>		
<i>As vertical c/lado</i>	<i>3.13 cm²</i>		
<i>varillas c/lado</i>	<i>4 u</i>		
<i>As vertical</i>	<i>0.78 cm²</i>	<i>As corte</i>	<i>0.78 cm²</i>
<i>Ø 10mm</i>	<i>@ 25 cm</i>	<i>Ø 10mm</i>	<i>@ 25 cm</i>

Figura 78

Acero de refuerzo en muro F-4, $e = 25 \text{ cm}$.

ACI 318-19 Pier Design

Pier Details

Story ID	Pier ID	Centroid X (m)	Centroid Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	Height (m)	LLRF
Story2	P5	6.62	0.87	1.3	0.25	2.52	1

Material Properties

E_c (tonf/m ²)	f'_c (tonf/m ²)	Lt.Wt Factor (Unitless)	f_y (tonf/m ²)	f_{ys} (tonf/m ²)
1956335.86	2100	1	42000	42000

Design System Parameters

ρ	S_{DB}	Ω_o	SDC	Type
1	0.5	2.5	D	Special Structural Wall

Design Code Parameters

ϕ_T	ϕ_C	ϕ_V	ϕ_V (Seismic)	IP _{MAX}	IP _{MIN}	P _{MAX}
0.9	0.65	0.75	0.6	0.04	0.0025	0.8

Pier Leg Location, Length and Thickness

Station Location	ID	Left X ₁ m	Left Y ₁ m	Right X ₂ m	Right Y ₂ m	Length m	Thickness m	Pier A _o cm ²
Top	Leg 1	5.97	0.87	7.27	0.87	1.3	0.25	3250
Bottom	Leg 1	5.97	0.87	7.27	0.87	1.3	0.25	3250

Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}

Station Location	Required Rebar Area (cm ²)	Required Reinf Ratio	Current Reinf Ratio	Flexural Combo	P_u tonf	Minimum M_2 tonf-m	M_{u2} tonf-m	M_{u3} tonf-m
Top	8.13	0.0025	0.0029	UR7 Sy	3.13	0.07	-0.39	-1.05
Bottom	8.13	0.0025	0.0029	UR7 Sy	4.9	0.11	0.5	-0.1

Axial Force and Minor Moment Factors

Station Location	C_m Factor Unitless	δ_{ns} Factor Unitless	β_{dns} Unitless	El_{eff} tonf-m ²	P_c tonf
Top Minor Bend(M2)	0.28569	1	1	662.3012	1029.33
Bottom Minor Bend(M2)	0.28569	1	1	662.3012	1029.33

Shear Design Capacity Parameters

Station Location	ID	Shear Combo	M_{pr} major tonf-m	Ω_V Unitless	ω_V Unitless	$\Omega_V * \omega_V$ Unitless
Top	Leg 1	UR5 Sx	0	1	3	3
Bottom	Leg 1	UR5 Sx	0	1	3	3

Shear Design

Station Location	ID	Rebar cm ² /m	Shear Combo	P_u tonf	M_u tonf-m	V_u tonf	$V_{u,design}$ tonf	h_w / l_w Unitless	α_c Unitless	ϕV_c tonf	ϕV_n tonf
Top	Leg 1	6.25	UR5 Sx	5.97	-2.05	3.39	10.16	3.876923	2	14.99	35.46
Bottom	Leg 1	6.25	UR5 Sx	8.33	6.49	3.39	10.16	3.876923	2	14.99	35.46

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	Not Required	UR5 Sx	5.97	-2.05	47.46	420		
Top-Right	Leg 1	Not Required	UR5 Sx	5.97	-2.05	-10.72	420		
Bottom-Left	Leg 1	Not Required	UR5 Sx	8.33	6.49	-66.52	420		
Bottom-Right	Leg 1	Not Required	UR5 Sx	8.33	6.49	117.79	420		

Tabla 18*Acero de refuerzo en muro F-4.*

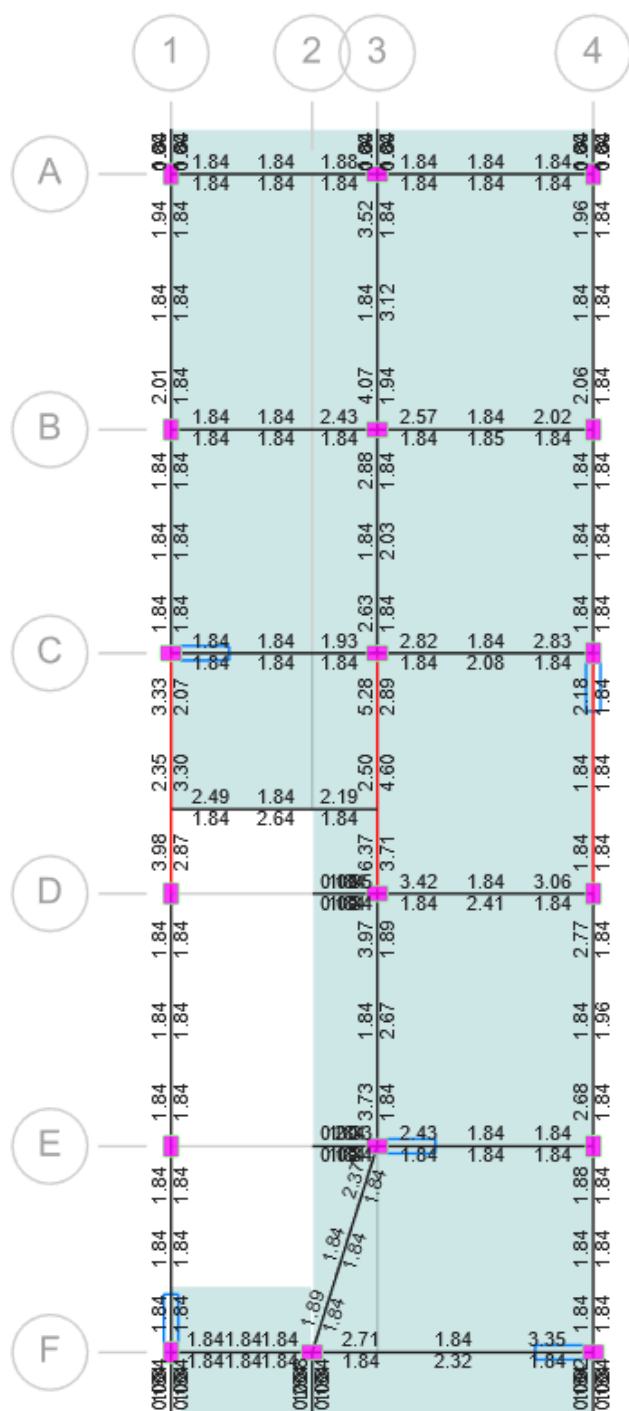
<i>acero vertical</i>		<i>acero horizontal</i>	
<i>espesor</i>	<i>25 cm</i>	<i>acero por corte</i>	<i>6.25 cm²/m</i>
<i>Ag</i>	<i>2500 cm²</i>	<i>varillas c/lado</i>	<i>4 u</i>
<i>required reinf ratio</i>	<i>0.0025</i>		
<i>As vertical</i>	<i>6.25 cm²</i>		
<i>As vertical c/lado</i>	<i>3.13 cm²</i>		
<i>varillas c/lado</i>	<i>4 u</i>		
<i>As vertical</i>	<i>0.78 cm²</i>	<i>As corte</i>	<i>0.78 cm²</i>
<i>Ø 10mm</i>	<i>@ 25 cm</i>	<i>Ø 10mm</i>	<i>@ 25 cm</i>

Diseño de Vigas del Sistema Dual

Acero de Refuerzo en Vigas - A_s (cm^2).

Figura 79

A_s vigas (cm^2). Dimensiones 25 x 25 cm. N+2.52.



En la figura 78 se observan elementos en color rojo que indican un diagnóstico de falla por corte. Sin embargo, se realizó la evaluación correspondiente mediante fórmulas, y el resultado fue favorable. A continuación, se presenta la evidencia del análisis mencionado, para la viga con la carga más crítica.

Figura 80

Diagrama de corte por carga envolvente. Eje 3 entre C y D (t).

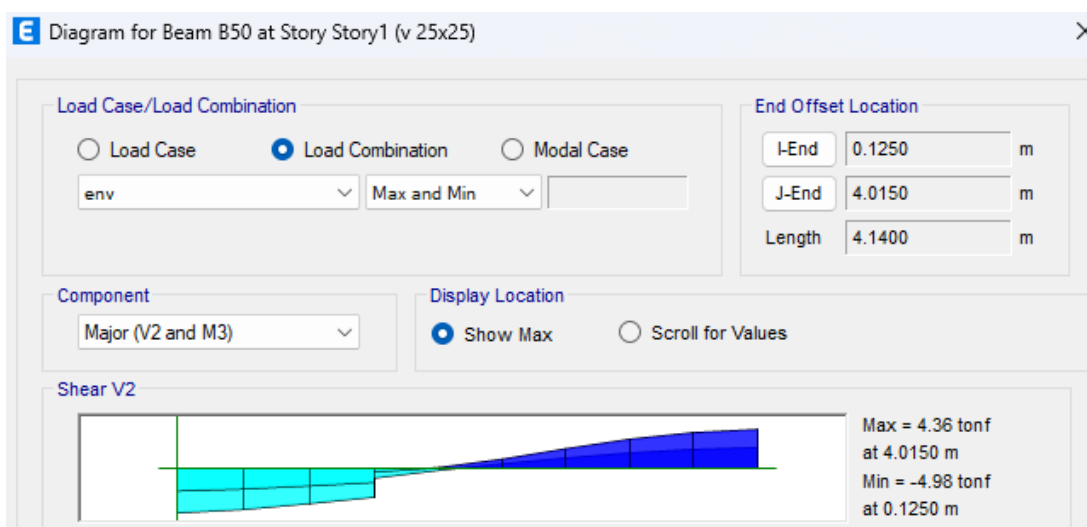


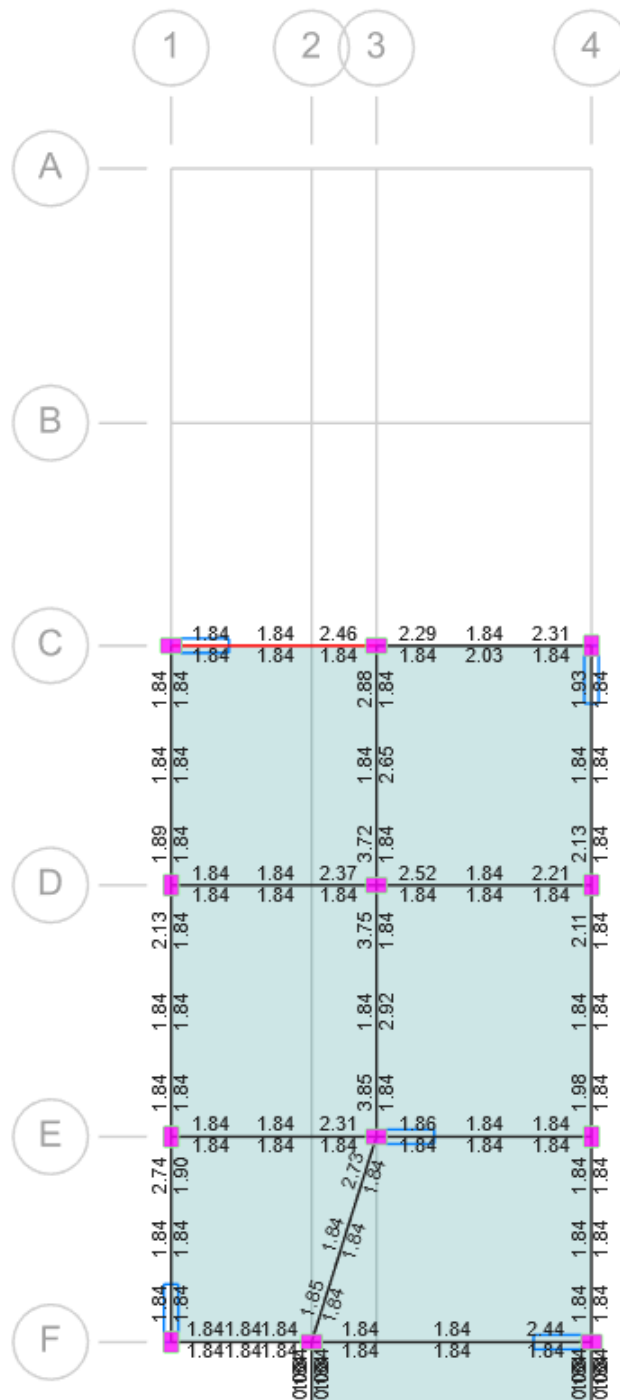
Tabla 19

Diseño a corte, viga de hormigón.

Propiedades		Diseño por corte	
f _c	210 kg/cm ²	Vu (dato)	4.98 t
f _y	4200 kg/cm ²		
		V _n	0.0026*Ø*b*d*√f _c
b	25 cm	V_n	15.54 ton
h	25 cm		
rec.	3 cm	Vu < V_n	ok
d	22 cm		
Ø	0.75		

Figura 81

As vigas (cm^2). Dimensiones 25 x 25 cm. N+5.04.



Acero de Refuerzo en Vigas - As (%).

Figura 82

As vigas (%). Dimensiones 25 x 25 cm. N+2.52.

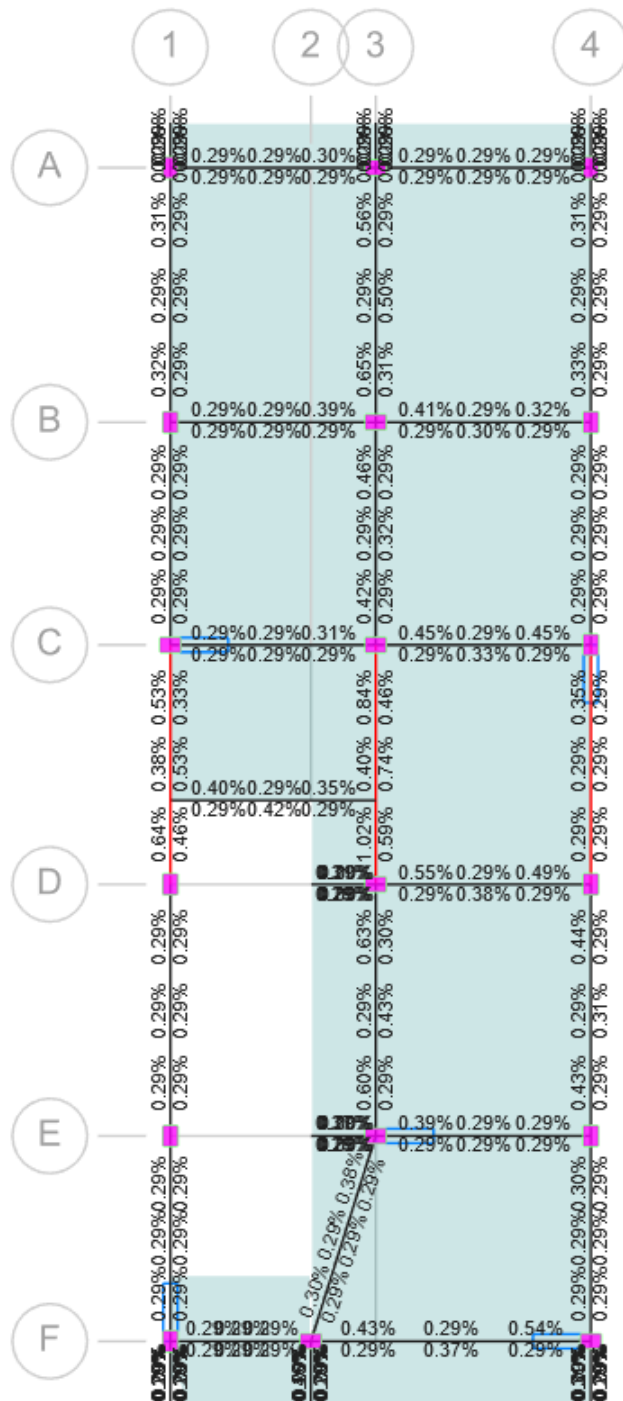
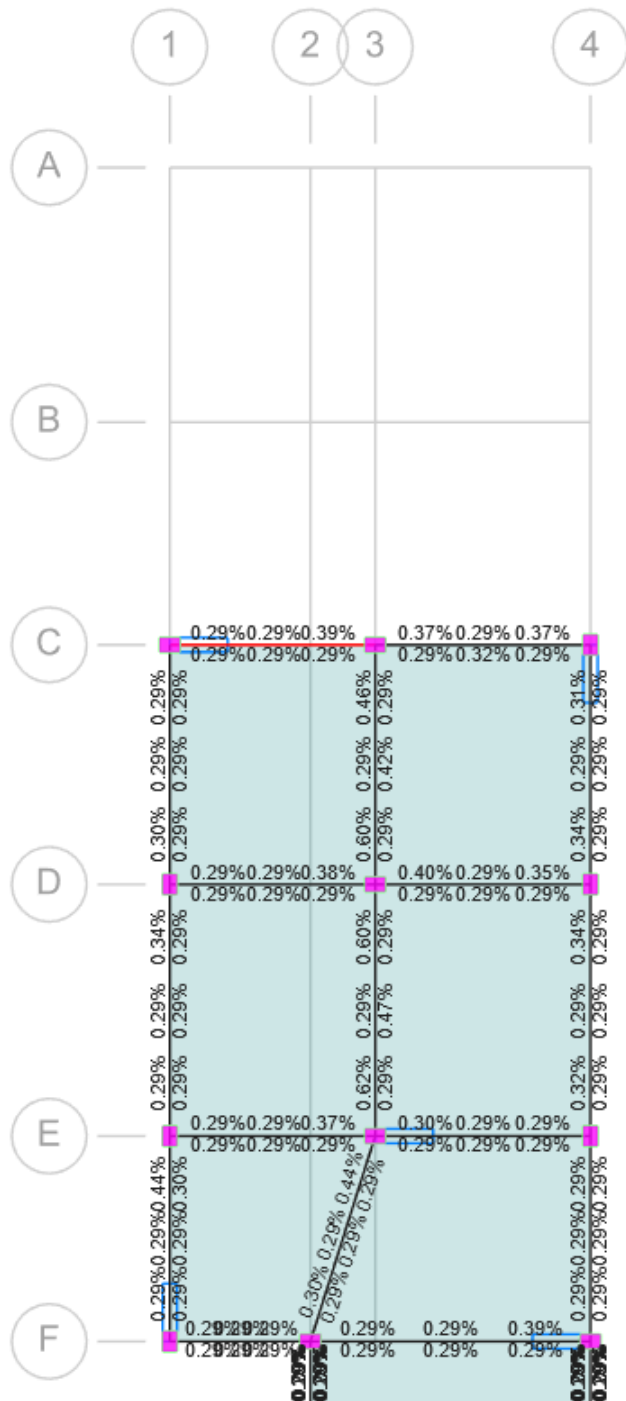


Figura 83

As vigas (%). Dimensiones 25 x 25 cm. N+5.04.

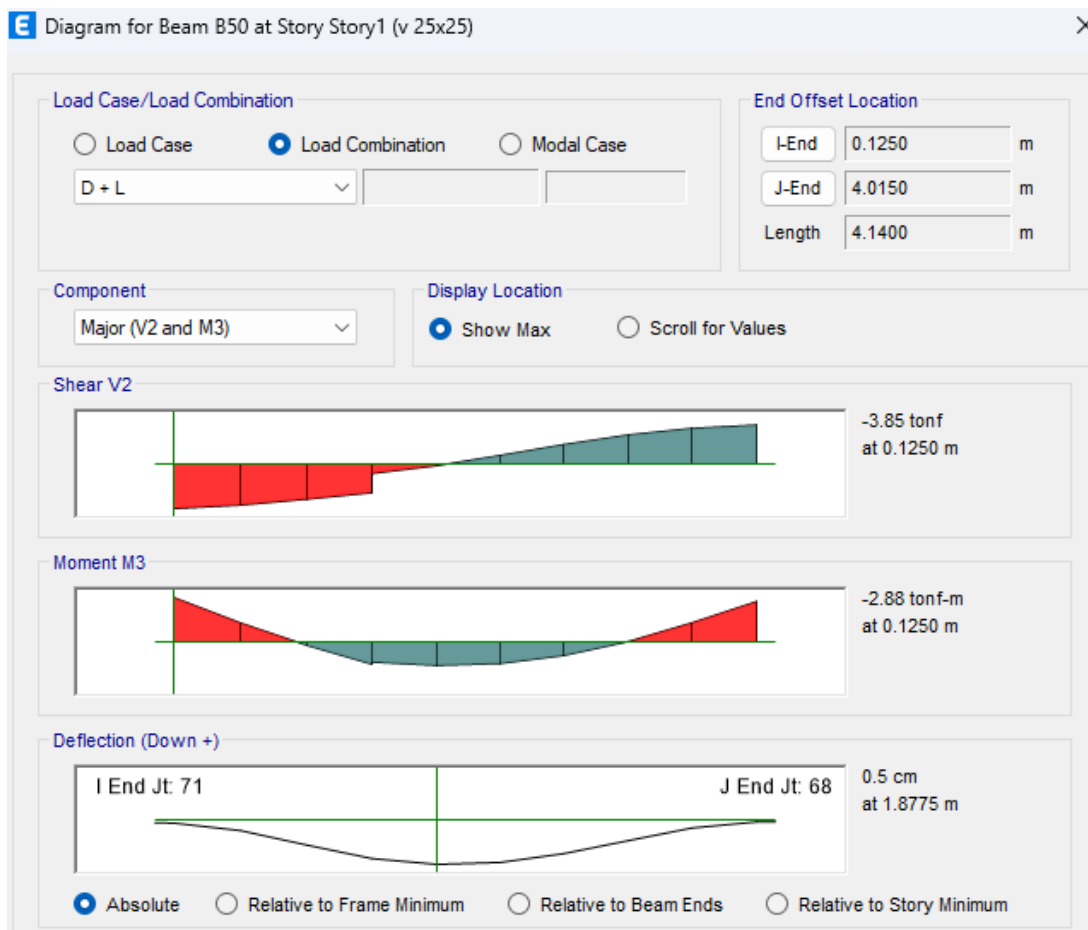


Deflexiones en Vigas.

Se analizó la deflexión de la viga en el eje 3, entre los ejes C y D, en el nivel +2.52. Con una longitud de 4.14 m, fue evaluada bajo la combinación de cargas muerta y viva, conforme a la normativa vigente.

Figura 84

Diagrama de deflexiones.



- Deflexión Etabs = 0.5 cm.
- L/360 para vigas sin acabados frágiles. NEC-SE-HM, sección 4.2.1

Deflexión máxima permisible = $414 \text{ cm} / 360 = 1.15 \text{ cm}$.

$\Delta \text{ Etabs} < \Delta \text{ admisible}$

$0.50 \text{ cm} < 1.15 \text{ cm}$: Ok.

Capítulo 2: Adaptabilidad de los Modelos Estructurales en la Arquitectura

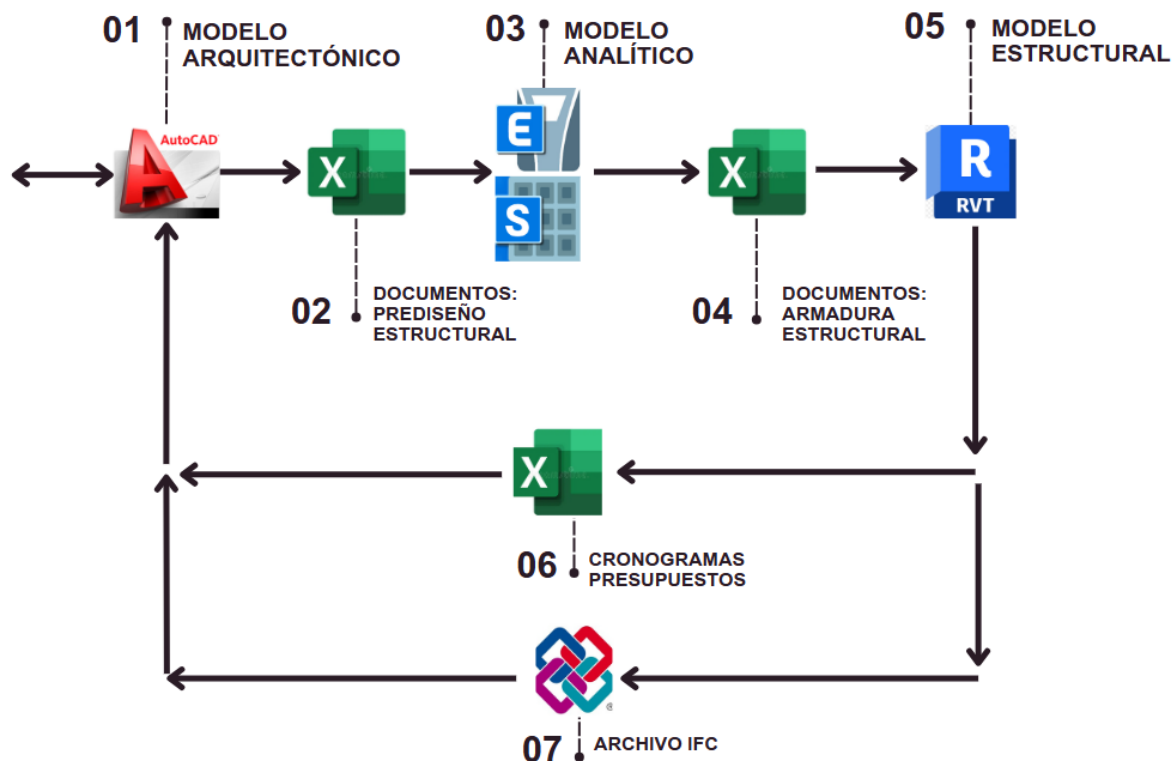
Este capítulo tiene como objetivo desarrollar los modelos estructurales aportado y dual mediante la labor del Modelador BIM, con el fin de evaluar su adaptabilidad al modelo arquitectónico. Para ello, se empleará BIM como metodología de coordinación e integración.

Flujo de Trabajo para el Desarrollo del Modelo Estructural

Una vez que los modelos analíticos cumplen con los requerimientos normativos para el análisis estático, el Ingeniero BIM elabora los documentos técnicos de armado estructural, definiendo varillas según longitudes y diámetros comerciales para optimizar el uso del acero. Con esta información, el Modelador BIM desarrolla los modelos estructurales en Revit, integrando los datos en un entorno tridimensional que facilita la coordinación interdisciplinaria y la generación de documentación constructiva precisa.

Figura 85

Flujo de trabajo.



Las plataformas Autodesk Revit y CSI Etabs, no cuentan con una integración directa. Aunque Etabs permite exportar modelos en formato IFC (Figura 85), para luego ser importados en Revit y generar una maqueta digital tridimensional, presentaron las siguientes desventajas:

- Los elementos estructurales exportados desde Etabs presentan una geometría básica correspondiente a un LOD 300, como se muestra en las figuras 86 y 87. Carecen de detalles como ejes, materiales y armaduras, los cuales deben ser desarrollados manualmente en Revit, lo que implica un tiempo adicional de modelado.
- Al importar el archivo IFC en Revit, se detecta un desfase en la ubicación de columnas y filos de losas respecto al modelo arquitectónico (Figura 86), lo que compromete la precisión del modelo y requiere ajustes manuales para lograr una correcta coordinación estructural.
- Durante la exportación en formato IFC, elementos estructurales como los nudos no se transfieren correctamente, afectando la continuidad del modelo. Además, se observan desfases en las losas (Figura 88), lo que requiere ajustes manuales posteriores en Revit para garantizar la precisión estructural.

Figura 86

Exportación de archivo IFC, desde Etabs.

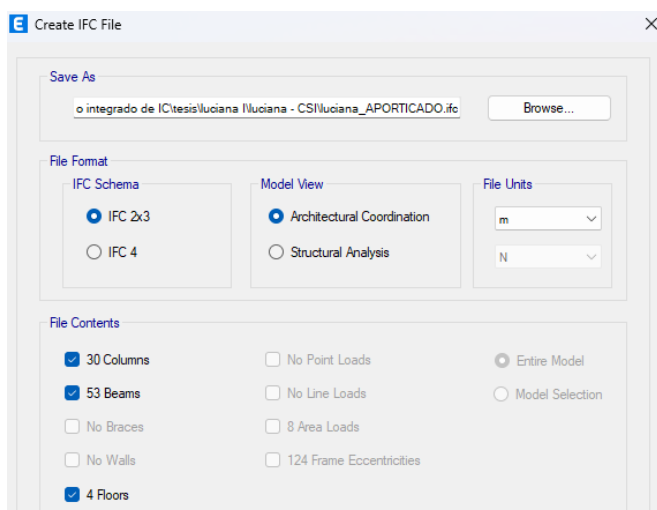
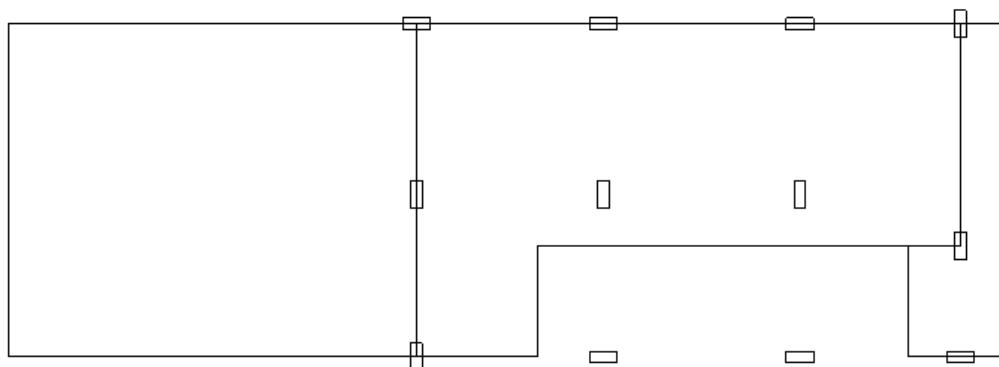
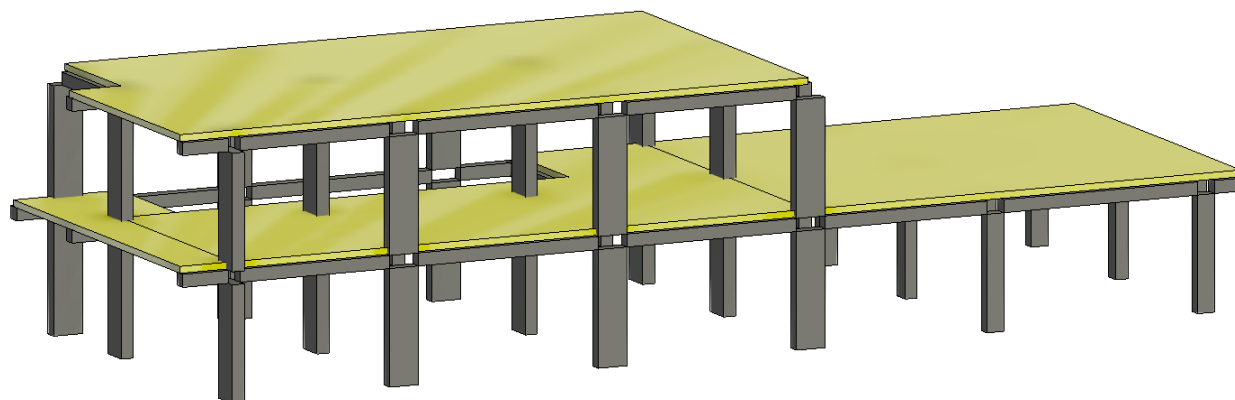


Figura 87

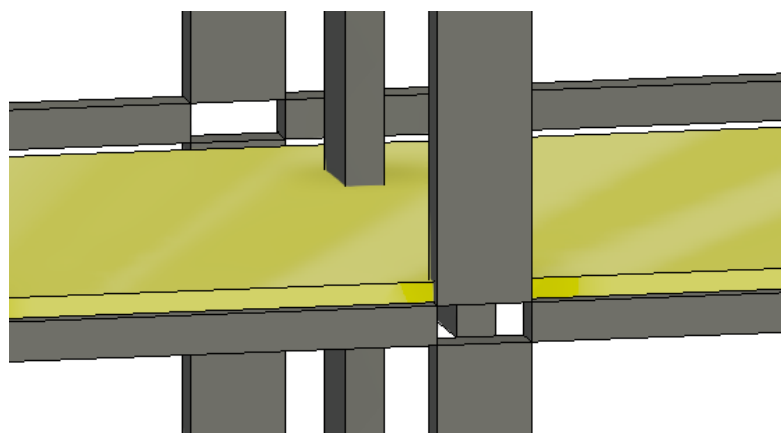
Planta N+2.52 en Revit a partir de la importación desde Etabs. LOD 300.

**Figura 88**

Vista 3D en Revit a partir de la importación desde Etabs. LOD 300.

**Figura 89**

Vista de nudos del eje E, en Revit a partir de la importación desde Etabs. LOD 300.



Debido a las limitaciones de interoperabilidad entre Etabs y Revit mediante el formato IFC, se optó por desarrollar el modelo estructural directamente en Revit. Esta plataforma ofrece una interfaz intuitiva que permite representar con precisión y dinamismo los elementos estructurales, optimizando la coordinación con el modelo arquitectónico.

La metodología BIM tiene varios niveles LOD (Level of Development), sin embargo, para dar cumplimiento a los objetivos propuestos se desarrollará un modelo estructural con LOD 350 para elementos de hormigón y LOD 400 para armaduras, lo que proporciona los siguientes beneficios:

- Precisión constructiva. El modelo estructural desarrollado con un Nivel de Desarrollo LOD 350 proporciona una representación precisa de las dimensiones, geometrías y ubicaciones de los elementos de hormigón, alineándose con las condiciones reales de construcción. Este nivel de detalle permite una detección temprana y eficaz de interferencias, lo que facilita una coordinación técnica fluida con disciplinas como arquitectura y MEP. Gracias a esta integración, se optimiza la planificación, se minimizan los conflictos en obra.
- Cumplimiento normativo. Las armaduras se modelan con LOD 400 conforme a la NEC-15, considerando recubrimientos, doblajes, traslapes, ubicación de estribos y disposición adecuada de varillas, asegurando calidad y seguridad estructural.
- Cantidades confiables. El nivel de detalle LOD 400 permite obtener planillas de acero precisas, mientras que el LOD 350 asegura el cálculo exacto de volúmenes de hormigón, optimizando la planificación de materiales.
- Coordinación efectiva. La integración con el modelo arquitectónico facilita la detección de interferencias entre los elementos estructurales y sus respectivas armaduras, con el fin de evitar conflictos durante la etapa constructiva.

- Planificación y costos. La información del modelo permite desarrollar cronogramas y presupuestos en dimensión 5D, optimizando la gestión y toma de decisiones del proyecto.

Una vez finalizado, el Ingeniero BIM entrega el modelo estructural al BIM Coordinador, quien verificara el cumplimiento de los criterios establecidos en el BEP (Plan de Ejecución BIM). Tras su validación, el modelo estructural es remitido al BIM Project Manager, quien continúa con la gestión integral del proyecto.

Adaptabilidad del Modelo Estructural Aporticado en Arquitectura

Figura 90

Adaptabilidad de modelo estructural aporticado, entre ejes A y C, N±0.00

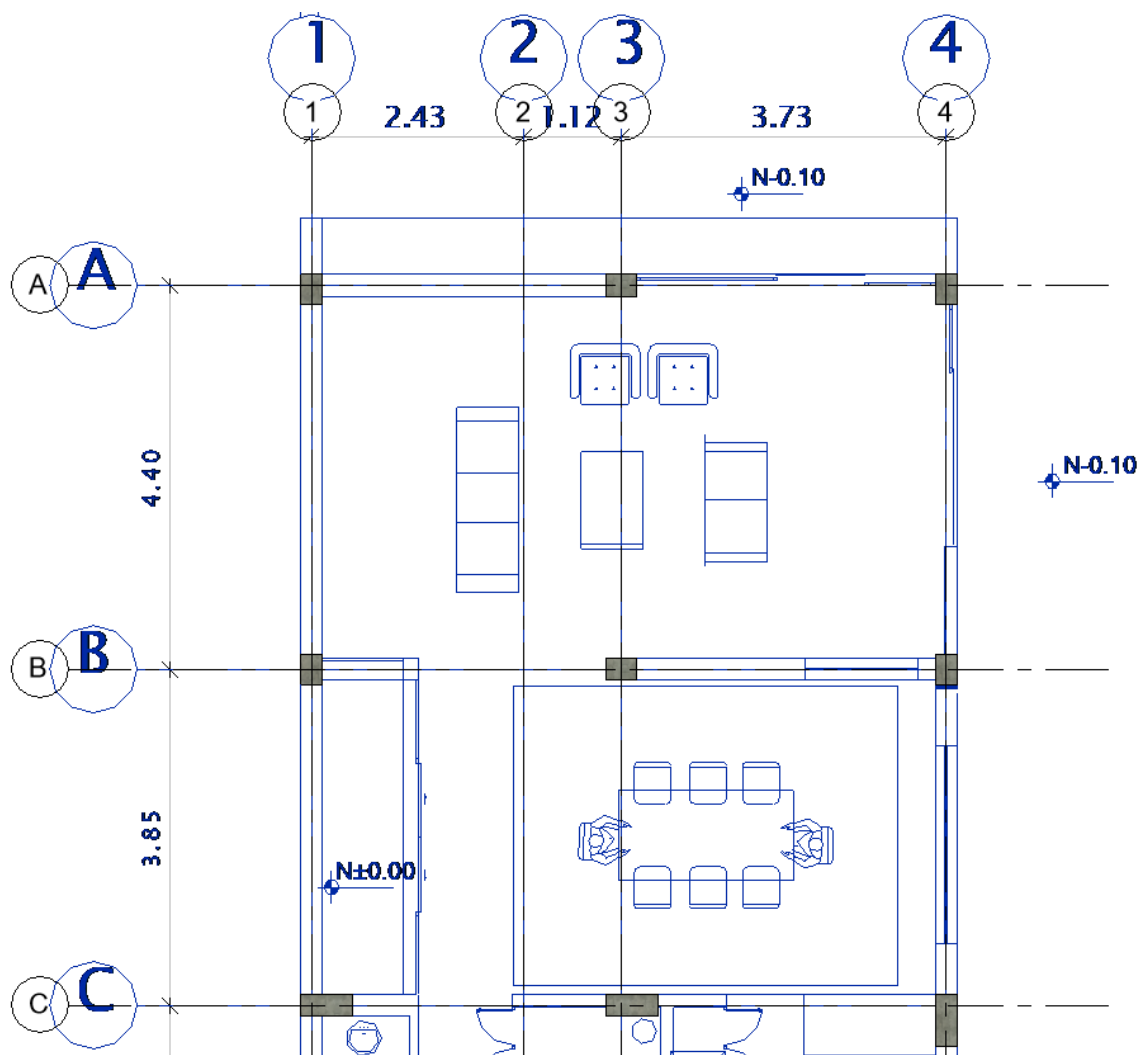


Figura 91

Adaptabilidad de modelo estructural aporticado, entre ejes C y F, $N\pm 0.00$.

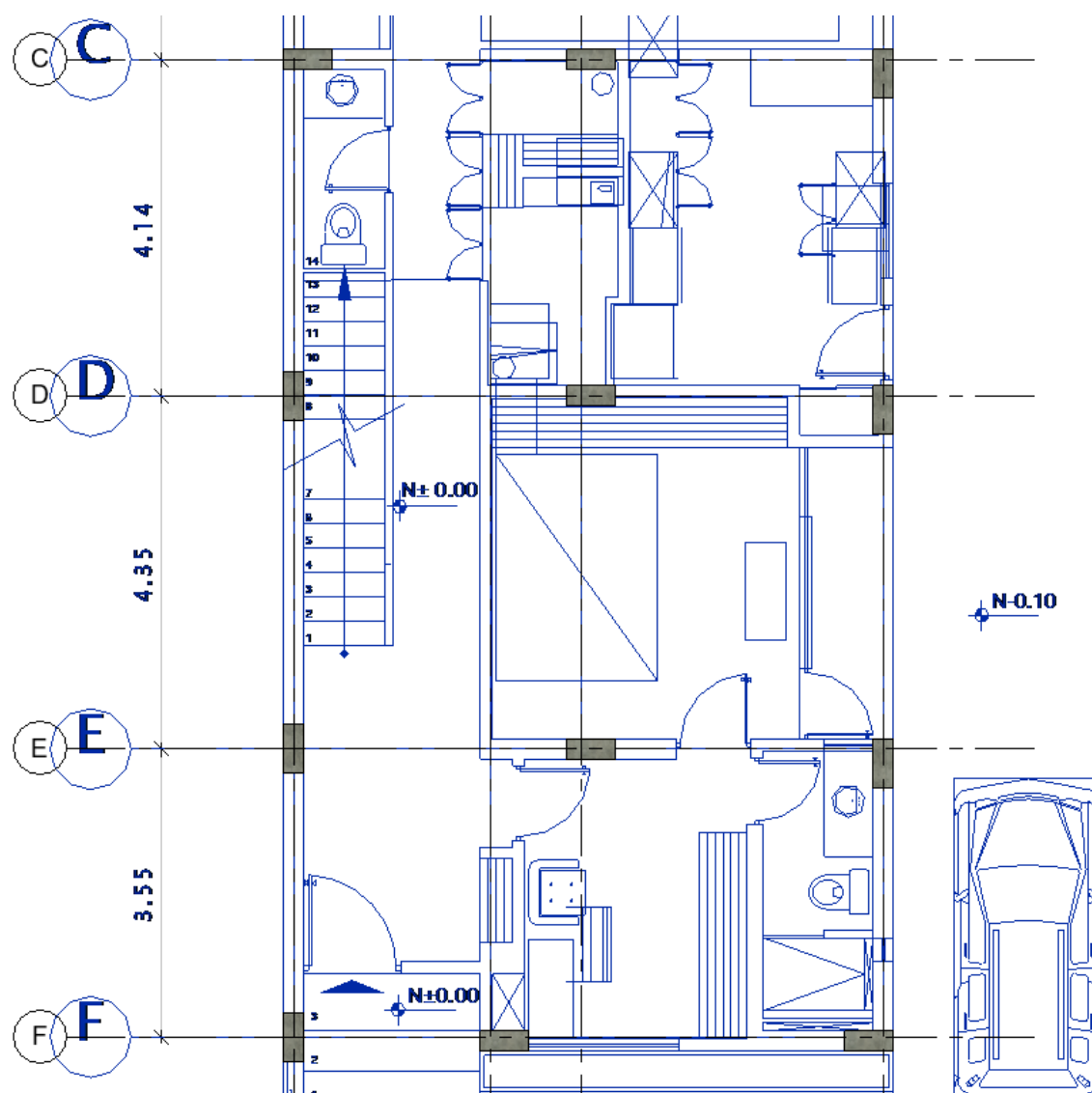
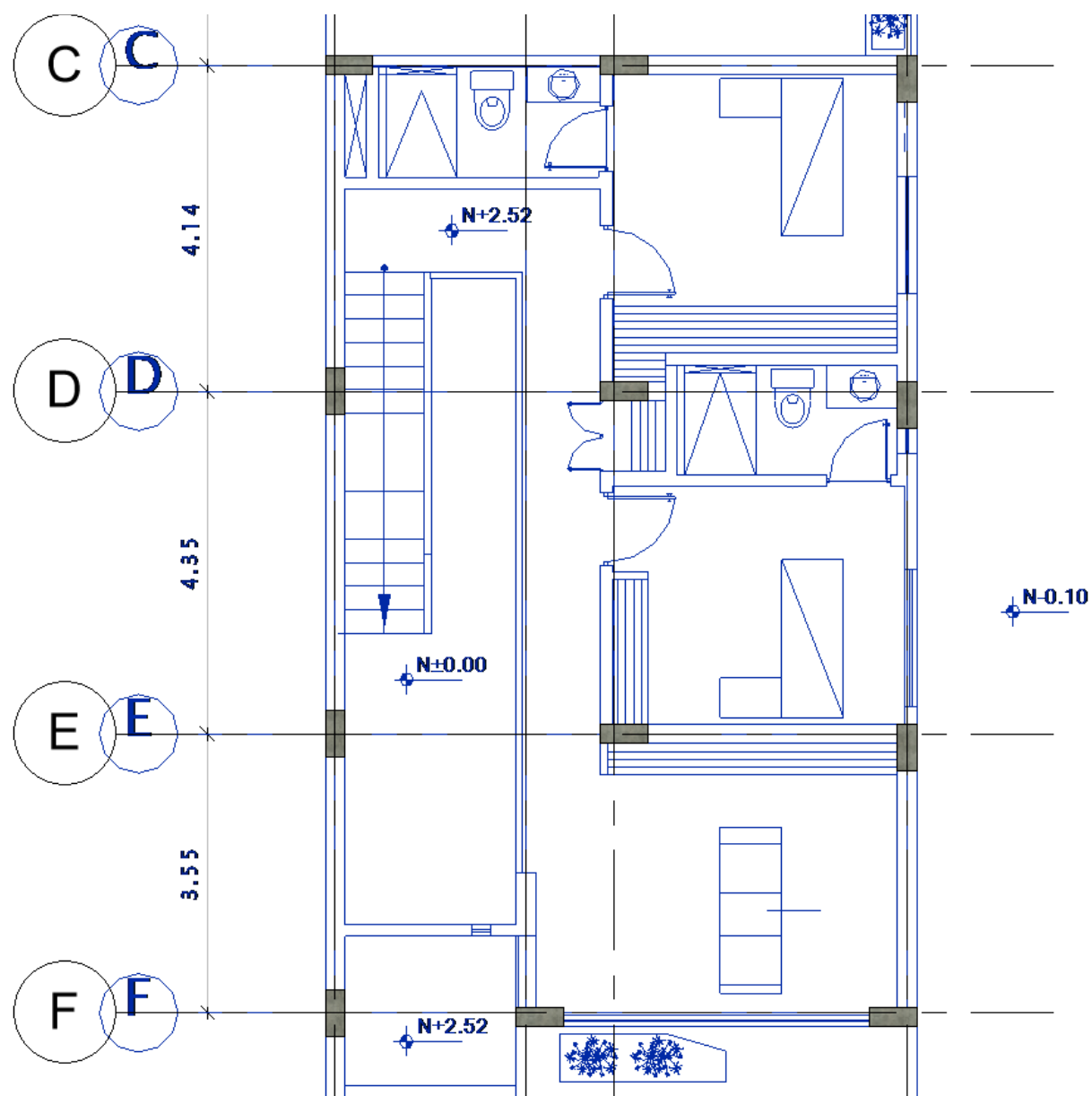


Figura 92

Adaptabilidad de modelo estructural aporticado, entre ejes C y F, N+2.52.



Adaptabilidad del Modelo Estructural Dual en Arquitectura

Figura 93

Adaptabilidad de modelo estructural dual, entre ejes A y C, $N\pm 0.00$.

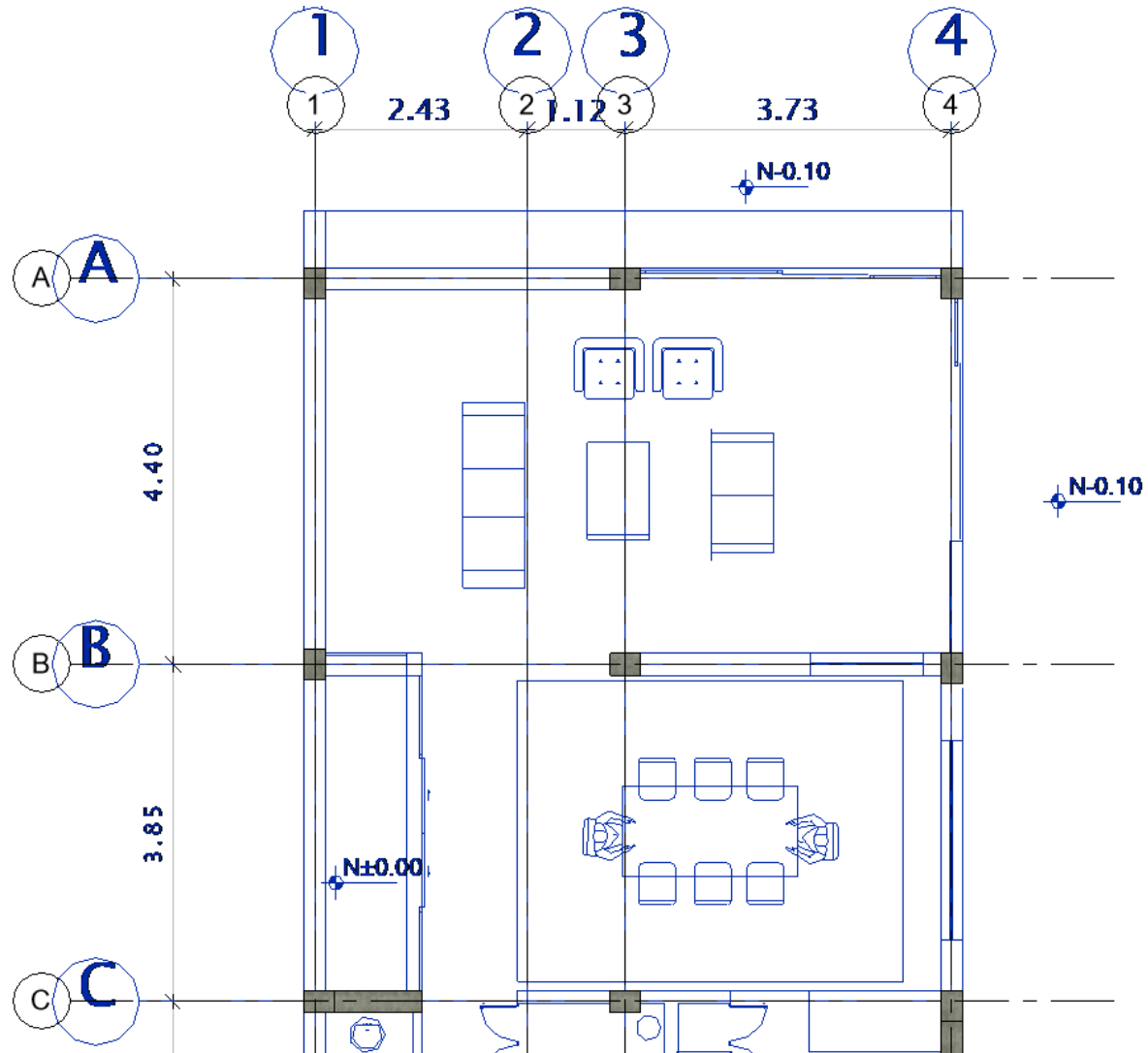


Figura 94

Adaptabilidad de modelo estructural dual, entre ejes C y F, $N\pm 0.00$.

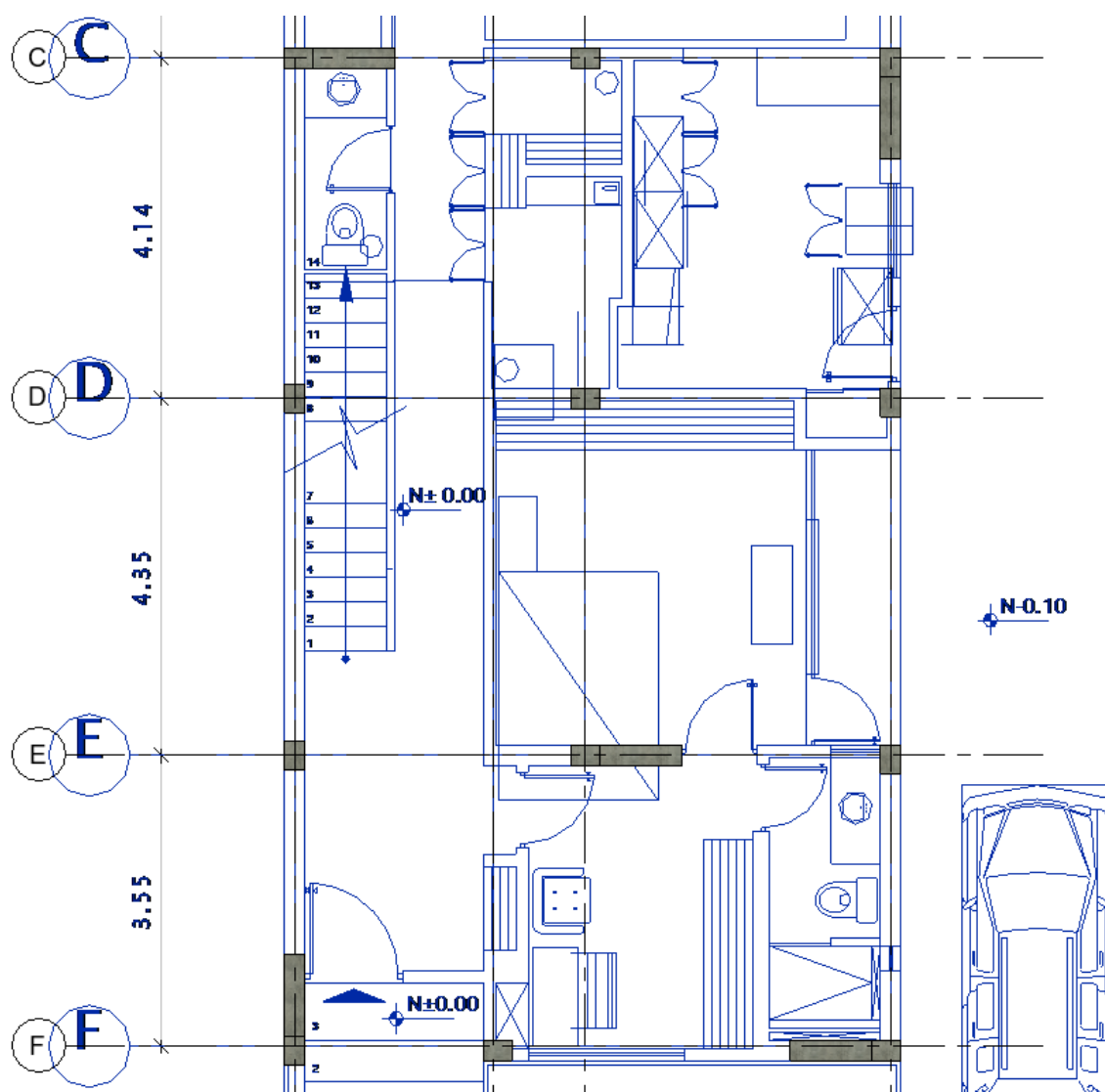
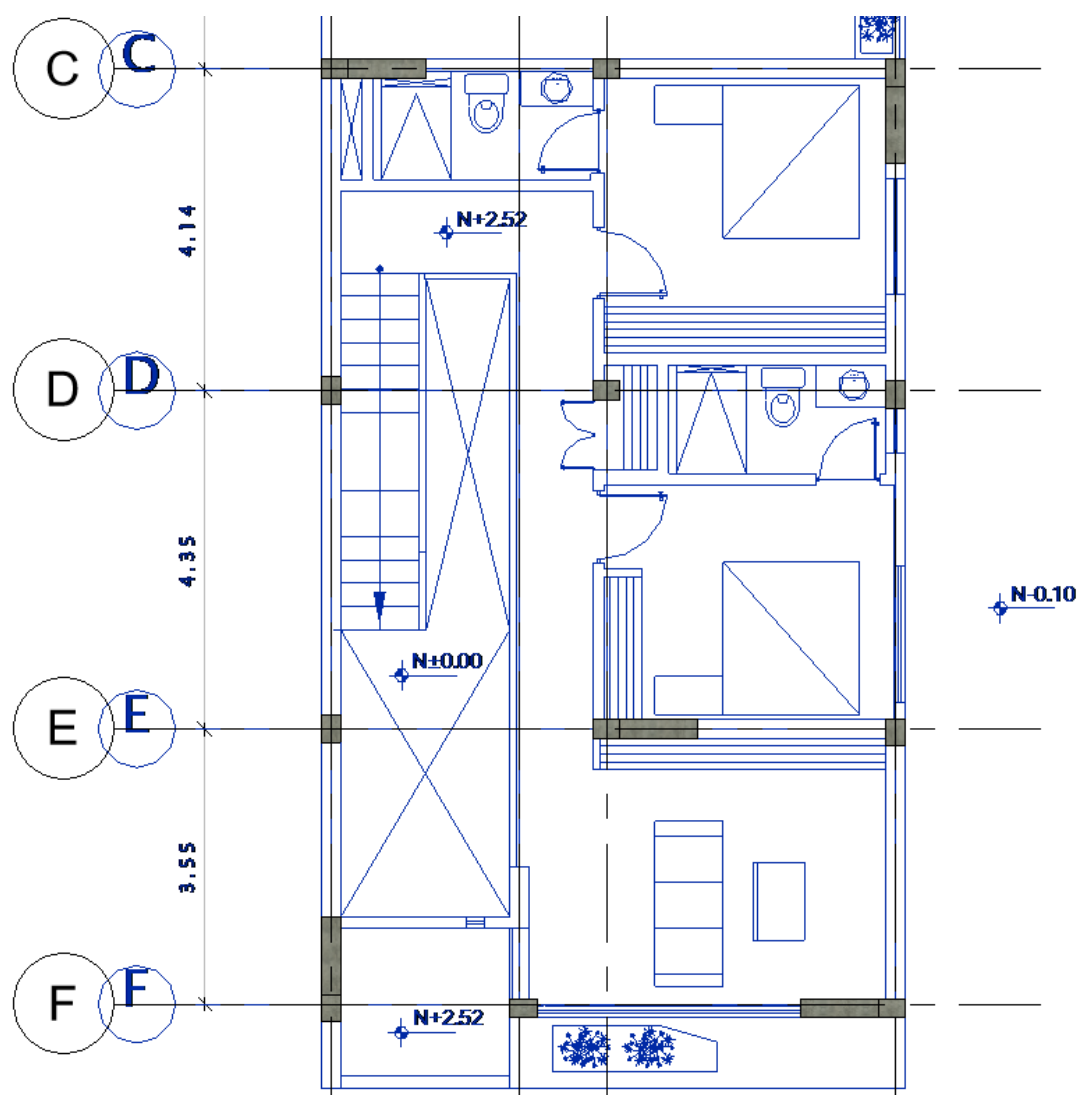


Figura 95

Adaptabilidad de modelo estructural dual, entre ejes C y F, N+2.52.



Verificación de Interferencias en el Modelo Estructural Aporticado

La verificación de interferencias entre elementos estructurales y sus armaduras permite detectar y corregir conflictos en el diseño antes de la construcción, optimizando el proceso constructivo mediante la metodología BIM.

Figura 96

Comprobación de interferencias en el modelo estructural aporticado.

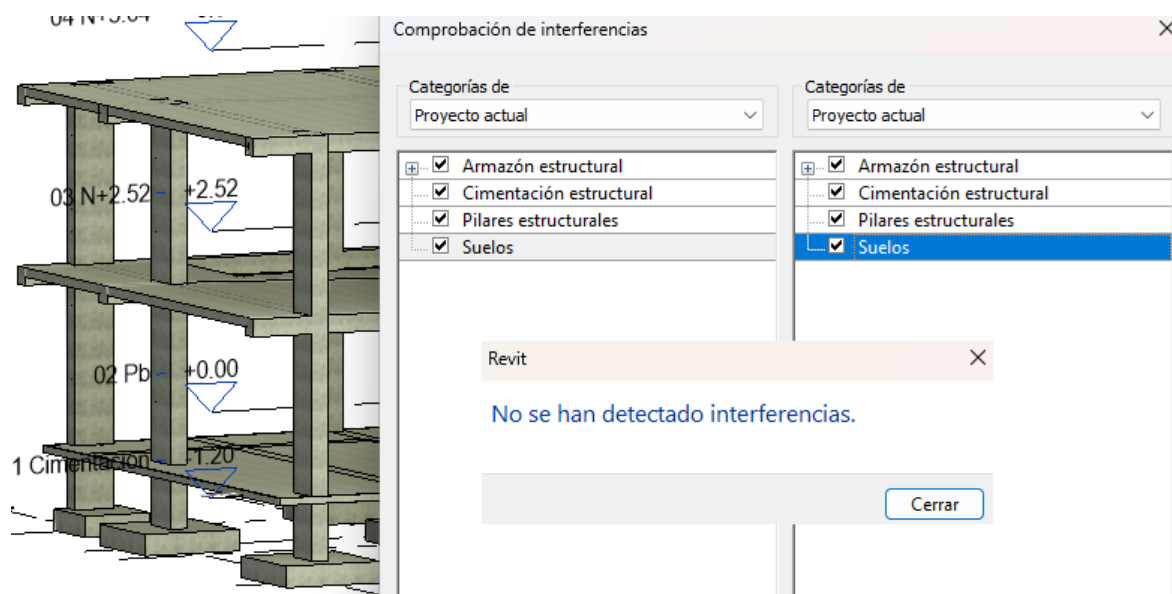
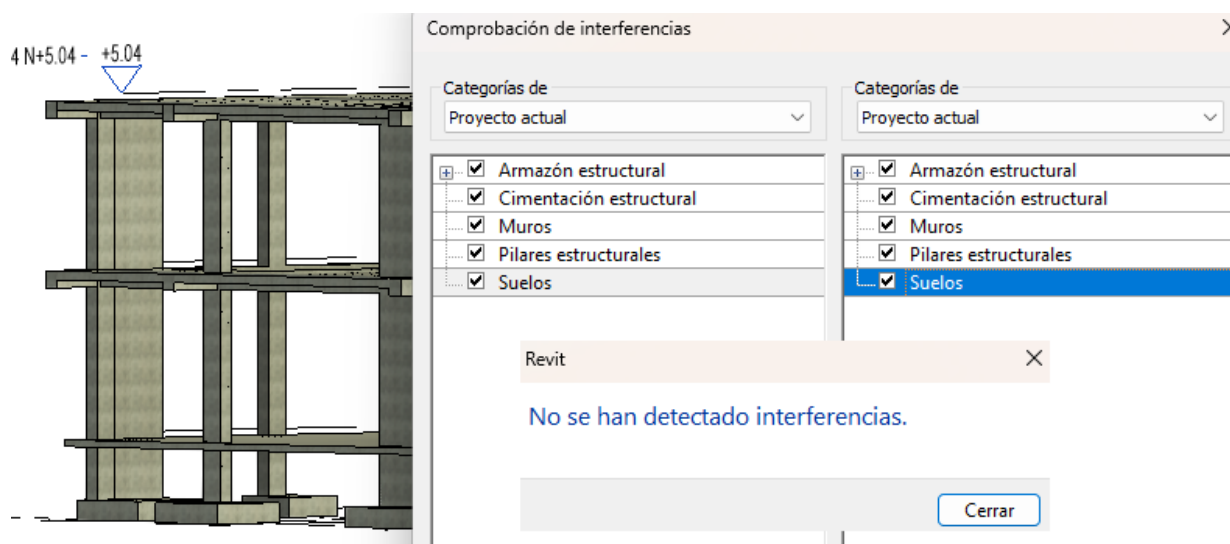


Figura 97

Comprobación de interferencias en el modelo estructural dual.



Modelo Estructural Aporticado en Revit

Figura 98

Modelo estructural aporticado, LOD 350

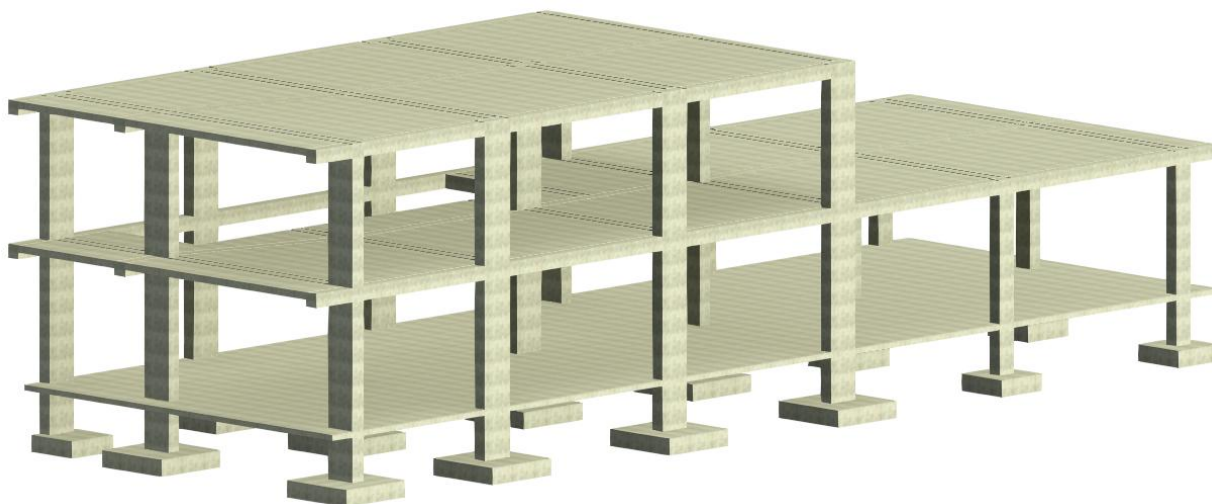


Figura 99

Armadura estructural LOD 400. Acople plinto-columna, N-1.20.

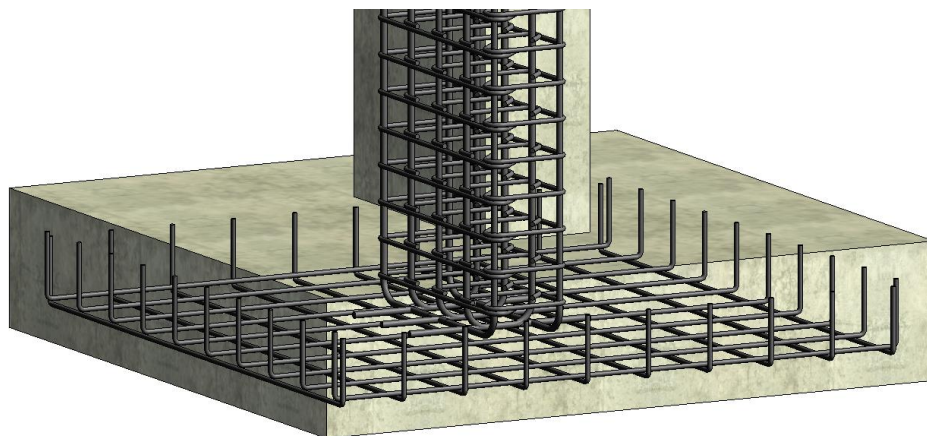
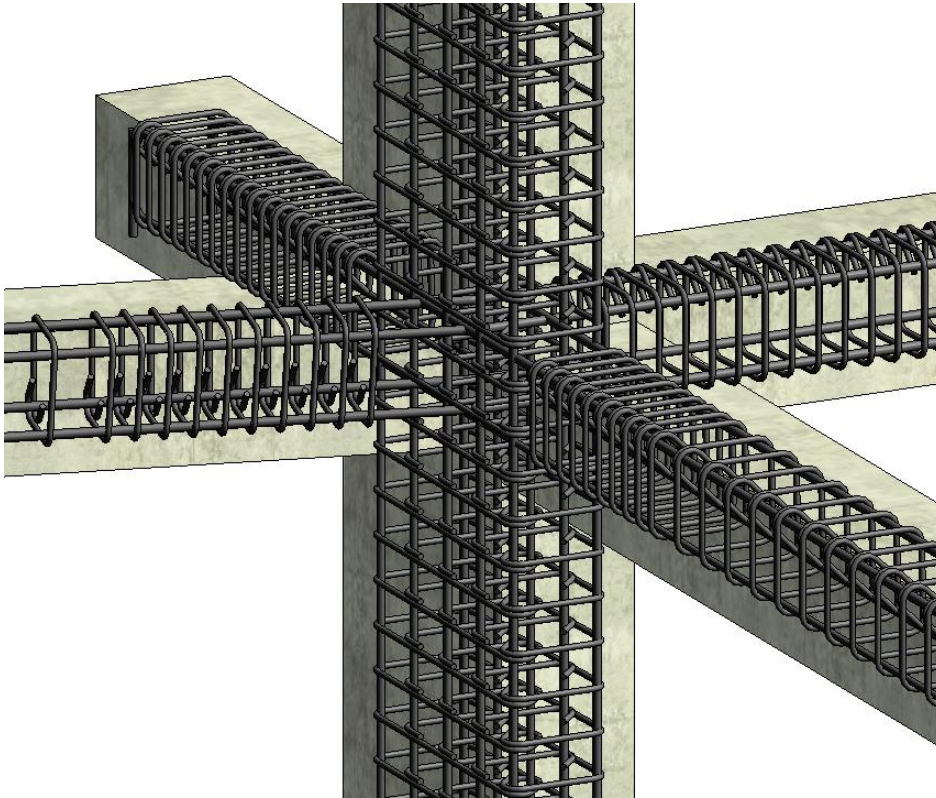


Figura 100

Armadura estructural LOD 400: Nudo columna-viga, N+2.52

**Figura 101**

Armadura estructural LOD 400: Nudo columna-viga perimetrales, N+2.52

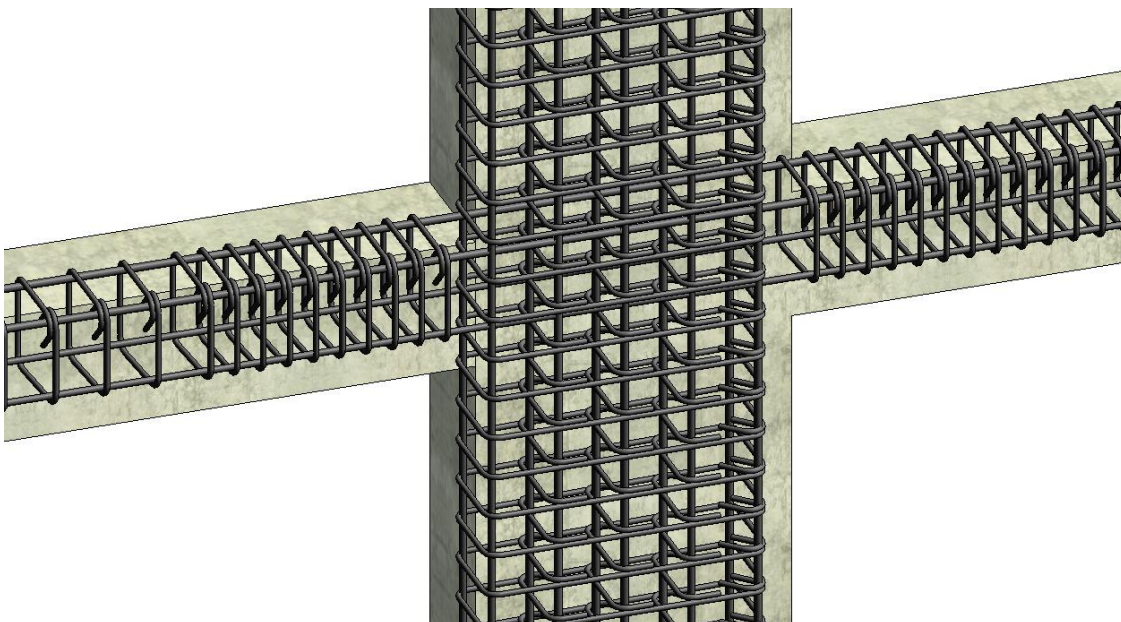
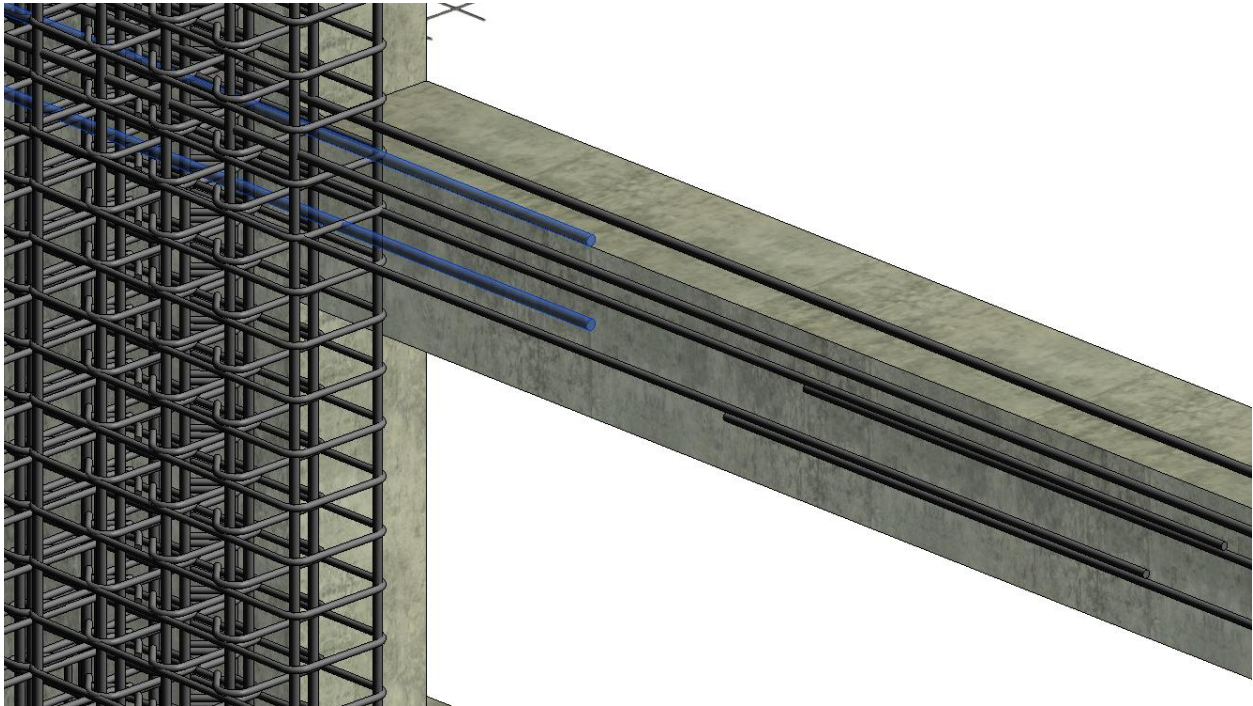


Figura 102

Armadura estructural LOD 400, Varilla de refuerzo y traslapes en viga, N+2.52



Nota. Se han ocultado los estribos con el fin de mejorar la visualización de los refuerzos y traslapes.

Modelo Estructural Dual en Revit

Figura 103

Modelo Estructural Dual, LOD 350

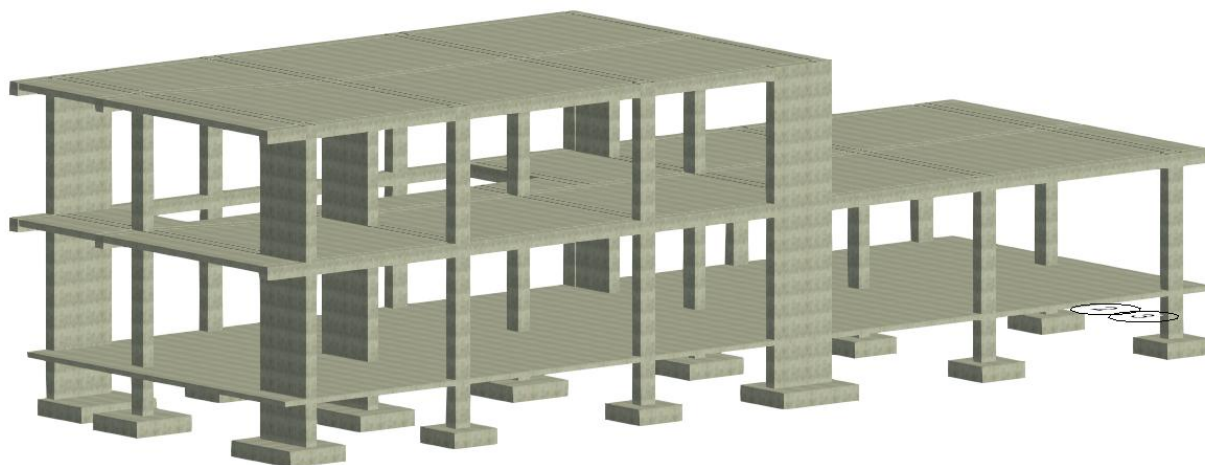


Figura 104

Armadura estructural LOD 400. Acople plinto–muro, N-1.20.

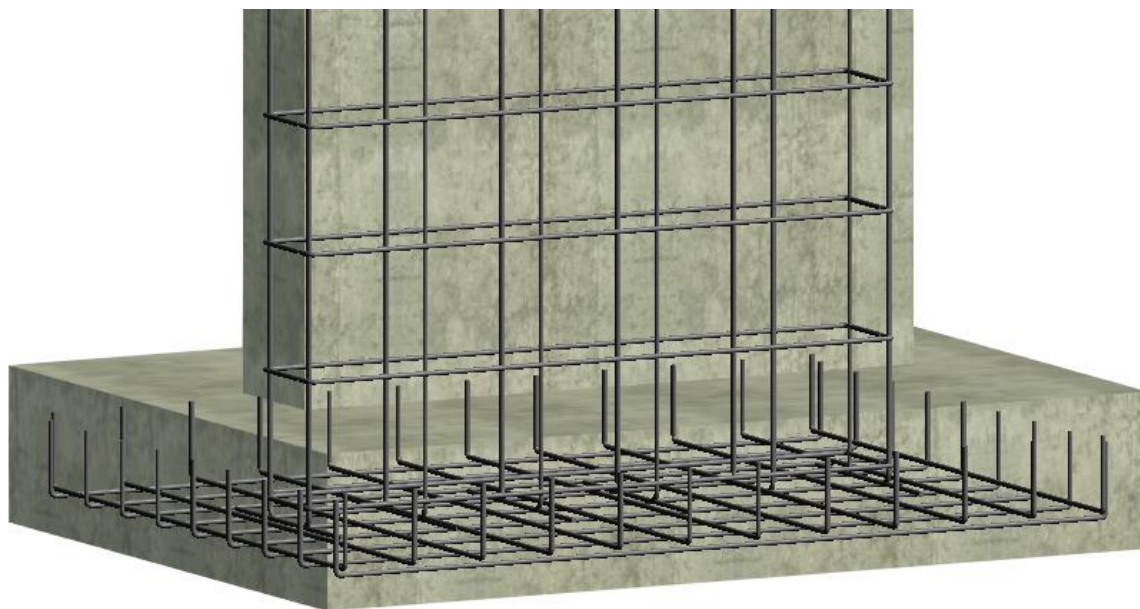
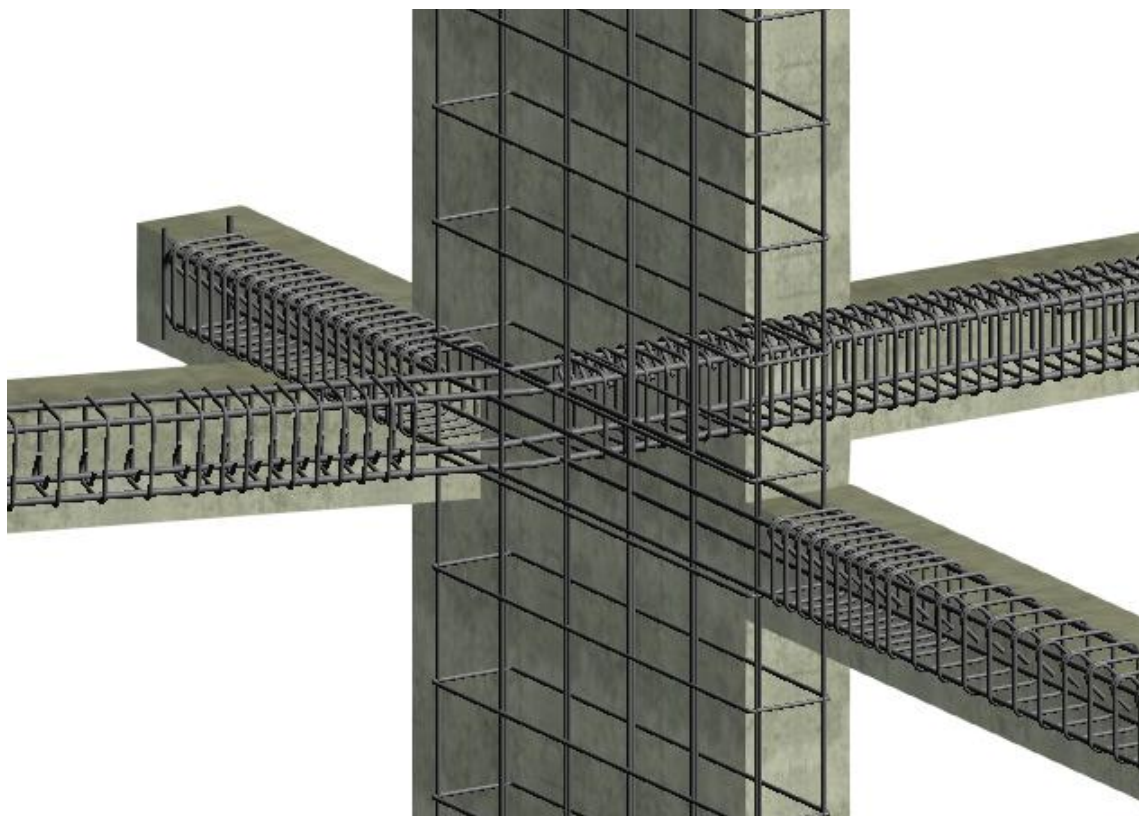


Figura 105

Armadura estructural LOD 400: Acople muro-viga, N+2.52

**Figura 106**

Armadura estructural LOD 400: Acople muro-viga perimetrales, N+2.52

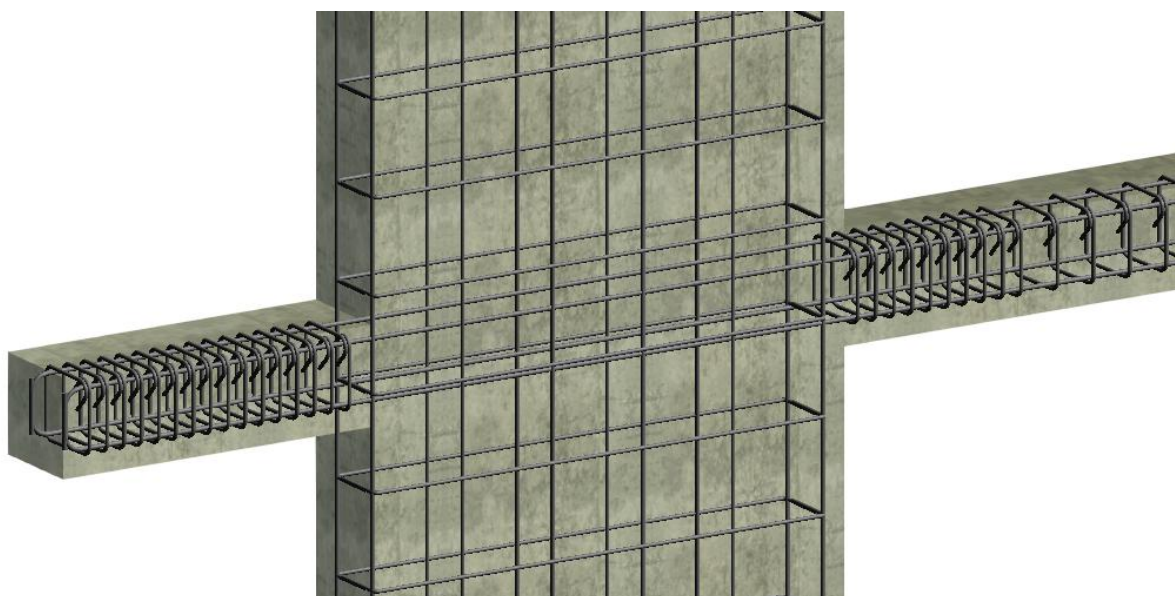
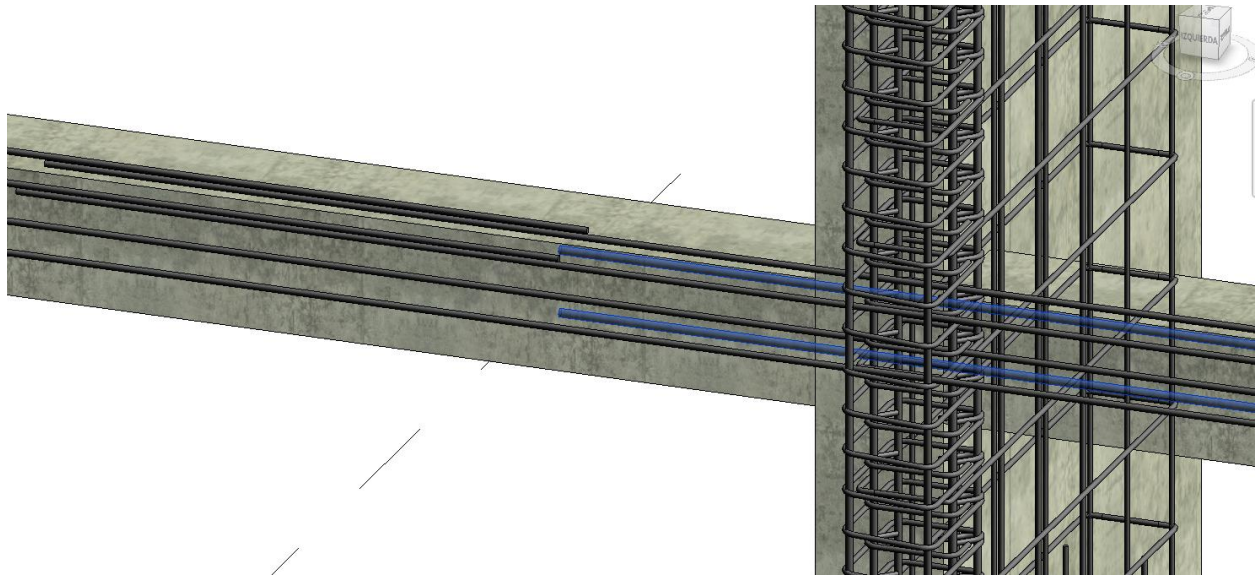


Figura 107

Armadura estructural LOD 400, Varilla de refuerzo y traslapes en viga, N+2.52



Nota. Se han ocultado los estribos con el fin de mejorar la visualización de los refuerzos y traslapes.

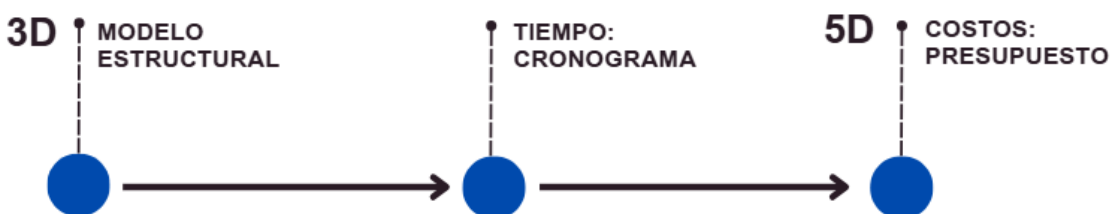
Capítulo 3: Costos de Construcción de los Sistemas Aporticado y Dual

Este capítulo analiza el rol del Estimador de Costes BIM en el estudio comparativo de los sistemas estructurales aporticado y dual, mediante la elaboración de cronogramas y presupuestos, siendo este último desarrollado en entorno BIM 5D. El objetivo principal es identificar y contrastar los tiempos de ejecución y las diferencias económicas entre ambas alternativas.

Gracias al nivel de detalle alcanzado en los modelos estructurales, con LOD 350 para elementos de hormigón y LOD 400 para armaduras, fue posible generar planillas precisas de cantidades, optimizando la planificación de recursos mediante la metodología BIM. Las planillas correspondientes se incluyen en el apartado de anexos de esta tesis.

Figura 108

Dimensiones BIM



Nota. En este estudio no se aplicará la dimensión 4D de planificación virtual, ya que dicha etapa excede el alcance definido para esta tesis.

Metodología BIM para la planificación y presupuestación

- A partir de los modelos estructurales con Nivel de Desarrollo LOD 350 para elementos de hormigón y LOD 400 para armaduras, se obtuvieron planillas detalladas de acero y hormigón. Estas fueron exportadas a formato Excel mediante archivos CSV.
- Con las cantidades organizadas en Excel, se procedió a clasificar la información por rubros, tomando como referencia los rendimientos proporcionados por la Cámara de la Industria de la Construcción de Quito (CAMICON, 2025). Esta estructuración permitió la

elaboración de cronogramas de obra para la construcción de los dos sistemas estructurales.

- Con la información de cantidades en formato Excel, se procedió a la generación de presupuestos para los dos sistemas estructurales en entorno BIM 5D. Para ello, el presupuesto fue alimentado con los precios unitarios proporcionados por la Cámara de la Industria de la Construcción de Quito (CAMICON, 2025). Los resultados obtenidos se presentan en las tablas que se muestran a continuación.

Sistema Aporticado

Cantidades de Materiales del Sistema Aporticado

Tabla 20

Resumen de cantidades de acero y hormigón del sistema aporticado.

Descripción	Acero	Hormigón
Cimentación	269.48 kg	8.32 m³
Columnas	2785.55 kg	12.26 m³
Losa N+2.52	1141.90 kg	15.86 m³
Vigas N+2.52	1425.17 kg	6.05 m³
Losa N+5.04	775.87 kg	10.78 m³
Vigas N+5.04	818.94 kg	3.73 m³
Total	7216.91 kg	57.00 m³

Costos Directos del Sistema Aporticado

Tabla 21

Tabla de costos directos del sistema aporticado.

Descripción	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Cimentación			\$ 1 681.70

Hormigón Simple Plintos, $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	8.32 m ³	\$ 115.00	\$ 956.80
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	269.48 kg	\$ 2.69	\$ 724.90
Columnas			\$ 8 903.03
Hormigón Simple Columnas, $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	12.26 m ³	\$ 115.00	\$ 1 409.90
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	2785.55 kg	\$ 2.69	\$ 7 493.13
Losa N+2.52			\$ 4 895.61
Hormigón Simple Losa +2.52, $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	15.86 m ³	\$ 115.00	\$ 1 823.90
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	1141.90 kg	\$ 2.69	\$ 3 071.71
Vigas N+2.52			\$ 4 529.46
Hormigón Simple Vigas +2.52, $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	6.05 m ³	\$ 115.00	\$ 695.75
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	1425.17 kg	\$ 2.69	\$ 3 833.71
Losa N+5.04			\$ 3 326.79
Hormigón Simple Losa +5.04, $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	10.78 m ³	\$ 115.00	\$ 1 239.70
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	775.87 kg	\$ 2.69	\$ 2 087.09
Vigas N+5.04			\$ 2 631.90
Hormigón Simple Vigas +5.04, $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	3.73 m ³	\$ 115.00	\$ 428.95
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	818.94 kg	\$ 2.69	\$ 2 202.95
Total			\$ 25 968.49

Sistema Dual

Cantidades de Materiales del Sistema Dual

Tabla 22

Resumen de cantidades de acero y hormigón del sistema dual.

Descripción	Acero	Hormigón
Cimentación	269.48 kg	8.32 m ³
Columnas	1192.09 kg	5.32 m ³
Muros	555.24 kg	9.49 m ³
Losa N+2.52	1141.90 kg	15.86 m ³
Vigas N+2.52	1416.05 kg	5.95 m ³
Losa N+5.04	775.87 kg	10.78 m ³
Vigas N+5.04	708.28 kg	3.63 m ³
Total	6058.91 kg	59.35 m³

Costos Directos del Sistema Dual

Tabla 23

Tabla de costos directos del sistema dual.

Descripción	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Cimentación			\$ 1 681.70
Hormigón Simple Plintos, f'c= 210 kg/cm ² (No Inc. Encofrado)	8.32 m ³	\$ 115.00	\$ 956.80
Acero de Refuerzo Figurado fy= 4200 Kg/m ² , con Alambre Galvanizado. N°18	269.48 kg	\$ 2.69	\$ 724.90
Columnas			\$ 3 818.52
Hormigón Simple Columnas, f'c= 210 kg/cm ² (No Inc. Encofrado)	5.32 m ³	\$ 115.00	\$ 611.80

Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	1192.09 kg	\$ 2.69	\$ 3 206.72
Muros			\$ 2 584.95
Hormigón Simple Muros, $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	9.49 m ³	\$ 115.00	\$ 1 091.35
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	555.24 kg	\$ 2.69	\$ 1 493.60
Losa N+2.52			\$ 4 895.61
Hormigón Simple Losa +2.52, $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	15.86 m ³	\$ 115.00	\$ 1 823.90
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	1141.90 kg	\$ 2.69	\$ 3 071.71
Vigas N+2.52			\$ 4 493.42
Hormigón Simple Vigas +2.52, $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	5.95 m ³	\$ 115.00	\$ 684.25
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	1416.05 kg	\$ 2.69	\$ 3 809.17
Losa N+5.04			\$ 3 326.79
Hormigón Simple Losa +5.04, $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	10.78 m ³	\$ 115.00	\$ 1 239.70
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	775.87 kg	\$ 2.69	\$ 2 087.09
Vigas N+5.04			\$ 2 322.72
Hormigón Simple Vigas +5.04, $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (No Inc. Encofrado)	3.63 m ³	\$ 115.00	\$ 417.45
Acero de Refuerzo Figurado $f_y = 4200 \text{ Kg/m}^2$, con Alambre Galvanizado. N°18	708.28 kg	\$ 2.69	\$ 1 905.27
Total			\$ 23 123.72

Capítulo 4: Análisis Comparativo de los Sistemas Aporticado y Dual

En este capítulo se presenta un análisis comparativo entre los sistemas estructurales aporticado y dual, enfocado en dos aspectos fundamentales, la seguridad estructural y los costos directos de construcción. El objetivo es determinar cuál de los dos sistemas ofrece una mayor eficiencia.

Seguridad Estructural

El análisis de seguridad estructural se realizará considerando dos parámetros fundamentales, los modos de vibración y el control de derivas.

Los modos de vibración permiten detectar posibles torsiones en la estructura, mientras que el control de derivas verifica que las deformaciones laterales se mantengan dentro de los límites normativos, garantizando así un comportamiento sismorresistente.

Tabla 24

Cuadro de control: Periodos de vibración de los dos sistemas.

	Sistema Aporticado	Sistema Dual
Te	0.293 s	0.191 s
T NEC	0.307 s	0.241 s

Figura 111

Histograma de los períodos de vibración entre los dos sistemas



Tabla 25

Cuadro de control: Torsión en modos de vibración de los dos sistemas.

	Sistema Aporticado	Sistema Dual
Modo 1	8.90 %	0.10 %
Modo 2	0.30 %	0.20 %

Figura 112

Histograma de torsión en modos de vibración entre los dos sistemas.

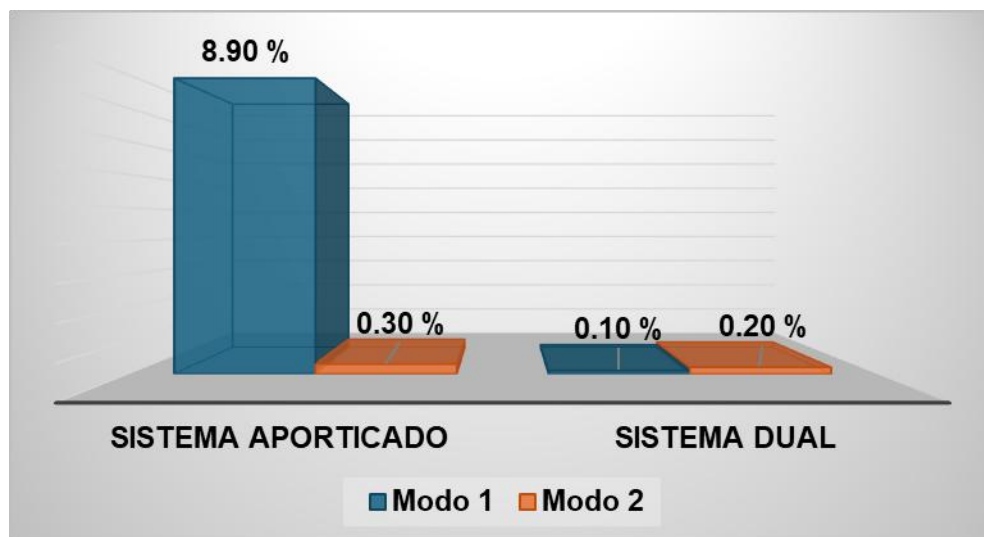


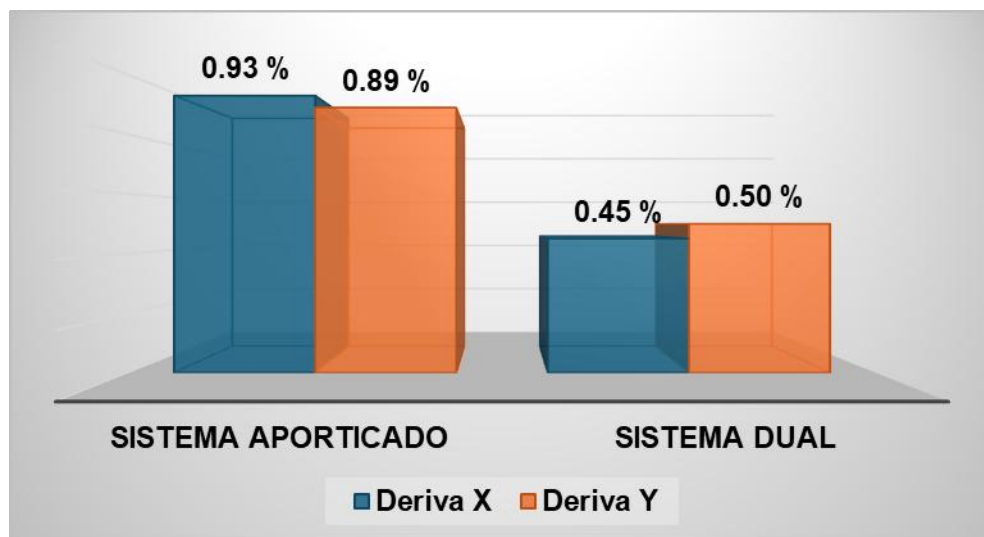
Tabla 26

Cuadro de control: Derivas inelásticas máximas de los dos sistemas.

	Sistema Aporticado	Sistema Dual
Deriva X	0.93 %	0.45 %
Deriva Y	0.89 %	0.50 %

Figura 113

Histograma de derivas inelásticas máximas entre los dos sistemas.



Costos de Construcción

Se presenta un análisis comparativo entre los sistemas estructurales aporticado y dual, enfocado en las diferencias económicas asociadas a sus costos indirectos.

Cantidad de Acero del Sistema Dual y Aporticado

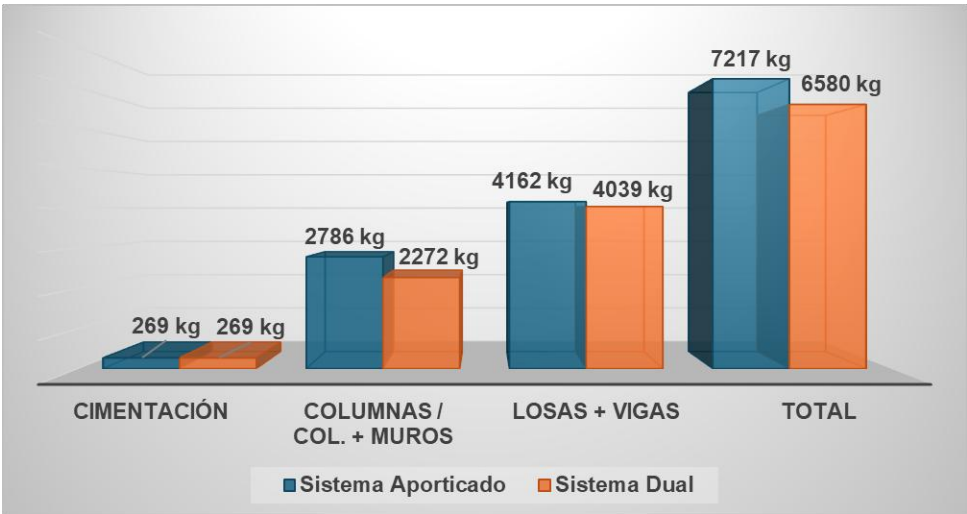
Tabla 27

Resumen de cantidades de acero de los dos sistemas.

	Sistema Aporticado	Sistema Dual
Cimentación	269.48 kg	269.48 kg
Columnas	2 785.55 kg	1 192.09 kg
Muros		555.24 kg
Losa N+2.52	1 141.90 kg	1 141.90 kg
Vigas N+2.52	1 425.17 kg	1 416.05 kg
Losa N+5.04	775.87 kg	775.87 kg
Vigas N+5.04	818.94 kg	708.28 kg
Total	7 216.91 kg	6 058.91 kg

Figura 114

Histograma comparativo de la cantidad de acero entre los dos sistemas.



Costos Directos de Hormigón y Acero del Sistema Dual y Aporticado

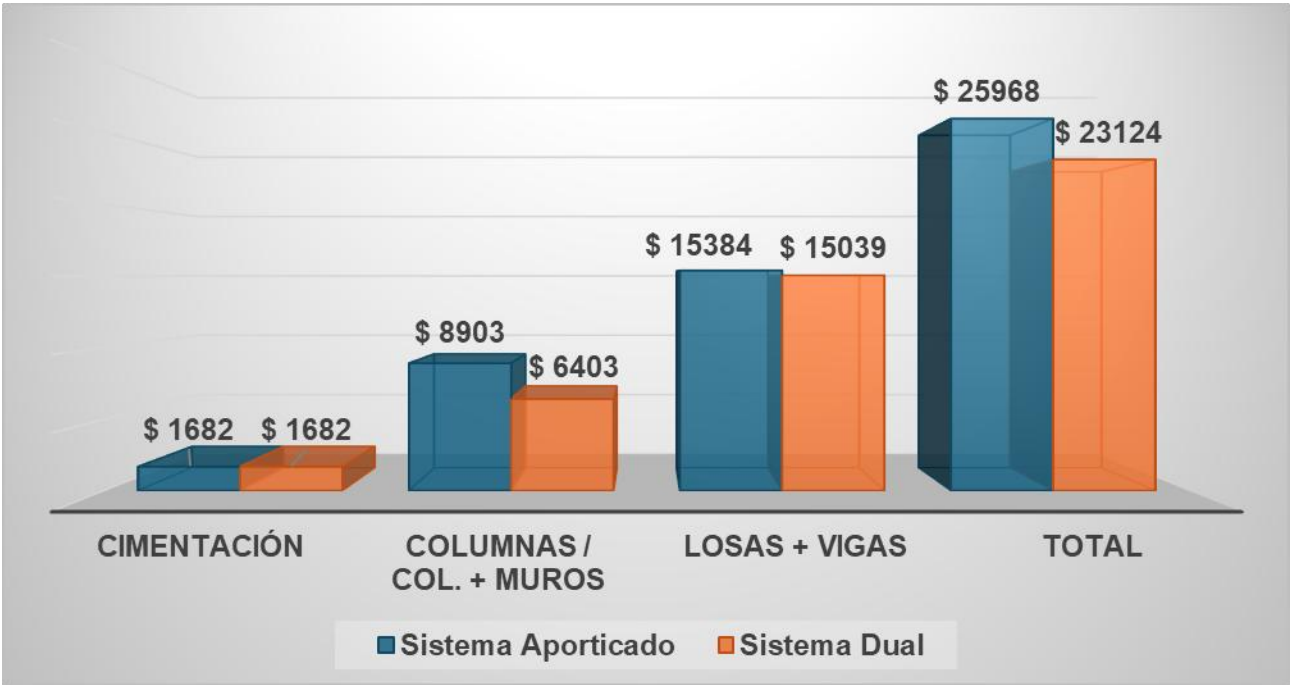
Figura 115

Resumen de costos directos de los dos sistemas.

	Sistema Aporticado	Sistema Dual
Cimentación	\$ 1 682	\$ 1 682
Columnas	\$ 8 903	
Columnas + Muros		\$ 6 403
Losas + Vigas	\$ 15 384	\$ 15 039
Total	\$ 25 968	\$ 23 124

Figura 116

Histograma comparativo de costos entre los dos sistemas.



Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

El sistema dual presentó un mejor desempeño sísmico, con derivas de 0.45% en dirección X y 0.50% en Y, frente a 0.93% y 0.89% del sistema aporticado, respectivamente. Además, la torsión en el primer modo de vibración es casi nula, lo que refuerza su estabilidad y lo convierte en una opción más segura para zonas de alta sismicidad como Quito.

La coordinación BIM entre el modelo arquitectónico bidimensional y el modelo estructural fue ágil gracias a la interfaz intuitiva de Revit, lo que demostró que no es indispensable disponer del modelo arquitectónico completo para generar resultados estructurales precisos y coherentes.

La metodología BIM fortaleció la coordinación interdisciplinaria. Aunque no existió interoperabilidad directa entre los modelos analítico y estructural, la estandarización de la documentación técnica permitió una integración operativa eficaz.

Al alcanzar un nivel de desarrollo LOD 400 permitió un control preciso del modelo estructural, asegurando el cumplimiento de la NEC-15 en el modelado de armaduras. Además, facilitó la detección de interferencias y optimizó la planificación de recursos, reduciendo errores durante la ejecución de obra.

El nivel de desarrollo LOD 350 para elementos de hormigón y LOD 400 para armaduras en los modelos estructurales, facilitó el cálculo preciso de las cantidades de acero y hormigón, permitiendo una toma de decisiones más eficiente entre los dos sistemas estructurales considerados.

El sistema dual presentó un costo directo inferior al del sistema aporticado, con un ahorro aproximado de \$2 800, principalmente debido a la reducción en el uso de acero en columnas. Esta optimización no compromete la seguridad estructural, lo que lo convierte en una alternativa más eficiente desde el punto de vista económico y técnico.

El análisis comparativo evidenció que el sistema dual ofrece un equilibrio superior entre seguridad estructural y economía constructiva, consolidándose como la alternativa más eficiente para viviendas dúplex en zonas de alta sismicidad.

Recomendaciones

Se recomienda priorizar el uso del sistema dual en proyectos residenciales dúplex ubicados en zonas de alta sismicidad, como Quito, debido a su superior desempeño estructural frente a eventos sísmicos. Este sistema reduce significativamente las derivas y elimina la torsión, lo que lo convierte en una opción más segura.

Es recomendable la implementación de la metodología BIM desde las etapas iniciales del diseño, ya que permite validar la compatibilidad entre la arquitectura y la estructura, optimizar la ubicación de elementos como columnas y muros, y reducir interferencias durante la ejecución. Esta metodología ha demostrado ser altamente eficaz y es recomendable tanto para proyectos de gran escala como para aquellos de menor tamaño, como se evidenció en este caso.

En cuanto a costos de construcción, se recomienda el uso del sistema dual para viviendas dúplex, ya que esta tesis demostró que es más económico en comparación con el sistema aporticado. Esta ventaja se acentúa aún más en proyectos multifamiliares, donde la reducción de costos incrementa significativamente la rentabilidad del proyecto.

Aunque el sistema aporticado es ampliamente utilizado en el sector constructivo, los resultados de esta tesis respaldan la recomendación del sistema dual, al demostrar una superioridad tanto en seguridad estructural como en economía constructiva. Esta eficiencia representa un beneficio directo para quienes construyen, al reducir costos, y para los usuarios finales, al garantizar mayor seguridad frente a eventos sísmicos.

Referencias Bibliográficas

- ASCE / SCI 7-22. (2022). *Minimum Design Loads and*. THE AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. <https://doi.org/https://www.asce.org/publications-and-news/codes-and-standards/asce-sei-7-22>
- CAMICON. (2025). *Camara de la Industria a de la Construcción* . Rubros referenciales – Abril a Junio 2025: <https://camicon.ec/web/>
- Censo Ecuador. (2022). *Vivienda*. Censo Ecuador: <https://www.censoecuador.gob.ec/resultados-censo/#resultados>
- Instituto Geofísico - EPN. (2020). *Cuatro años después del Terremoto de Pedernales: Un testimonio sobre el peligro sísmico en el Ecuador*. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional: <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1810-cuatro-anos-despues-del-terremoto-de-pedernales-un-testimonio-sobre-el-peligro-sismico-en-el-ecuador>
- Instituto Geofísico - EPN. (2024). *El gran terremoto del 31 de Enero de 1906*. Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional: <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/2101-el-gran-terremoto-del-31-de-enero-de-1906>
- NEC - SE - DS. (2015). *PELIGRO SÍSMICO - DISEÑO SISMO RESISTENTE*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. <https://doi.org/https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- NEC. (2015). *Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción)*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- NEC-SE-CG. (2015). *CARGAS NO SISMICAS*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI. <https://doi.org/https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf>

Scielo. (agosto de 2022). *Estado del Arte de Estudios de Vulnerabilidad Sísmica en Ecuador*.

Scielo: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-

01292022000300055

Anexos**Figura 117***Informe de mecánica de suelos, parte 1.*

INFORME TECNICO DE	
MECANICA DE SUELOS	
PROYECTO:	RESIDENCIA "LUCIANA I"
UBICACIÓN:	CALLE S/N, BARRIO COLLASQUI, PARROQUIA TUMBACO. CANTON QUITO – PROVINCIA DE PICHINCHA
PARA:	ARQ. MICAELA MUÑOZ HIDALGO
FECHA:	08-07-2024

Figura 118

Informe de mecánica de suelos, parte 2.

1. ANTECEDENTES

La Arquitecta Micaela Muñoz Hidalgo, solicitó al Ingeniero Edison Paredes Armijos, hacer ensayos de mecánica de suelos en un terreno, de propiedad, del Señor Cristóbal Albán, lugar donde se tiene planificado realizar la construcción de la nueva residencia "Luciana I". El sitio se encuentra localizado, en la calle s/n, sector del barrio Collasqui, parroquia Tumbaco, perteneciente al cantón Quito, en la provincia de Pichincha.

2. DESCRIPCION DEL PROYECTO

En el sitio sujeto al estudio se prevé construir, una estructura en hormigón armado, con mampostería de relleno de dos pisos de altura, sin subsuelos, su uso estará destinado para vivienda.

3. TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

El trabajo realizado en el campo consistió en tres perforaciones S.P.T., ubicadas conforme se indica en el anexo 1.

En las perforaciones se hizo un ensayo de penetración estándar cada 0.5 m y se recuperó muestras alteradas con la misma frecuencia.

Los trabajos de Laboratorio consistieron en humedad natural y clasificación manual - visual de todas las muestras recuperadas; límites de Atterberg y granulometrías en las muestras que se consideraron representativas de cada estrato.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados del estudio se consignan en los anexos adjuntos que contienen: la descripción estratigráfica del subsuelo, las curvas de resistencia a la penetración, la humedad natural de las capas atravesadas y los ensayos adicionales de límites de Atterberg y granulometría.

Figura 119

Informe de mecánica de suelos, parte 3.

En general los suelos detectados corresponden a limos arenosos, en la parte superficial se tiene material sedimentario menos compacto.

A continuación, se describe los estratos encontrados en la presente investigación.

4.1 POZO N° 01**4.1.1 ESTRATO N° 1**

El primer y único estrato llega hasta 6.00 m de profundidad, es un limo arenoso, inorgánico de baja compresibilidad, color café a café gris, plasticidad baja a media, consistencia baja a media y humedad media. El número de golpes en el ensayo de penetración estándar, NSPT varía entre 5 y 48, la humedad entre 25 y 32 %. Clasificación ML, no se detecta agua de escurrimiento, durante las operaciones de sondaje.

4.2 POZO N° 02**4.2.1 ESTRATO N° 1**

El primer y único estrato llega hasta 6.00 m de profundidad, es un limo arenoso, inorgánico de baja compresibilidad, color café a café gris, plasticidad baja a media, consistencia baja a media y humedad media. El número de golpes en el ensayo de penetración estándar, NSPT varía entre 8 y 40, la humedad entre 27 y 32 %. Clasificación ML, no se detecta agua de escurrimiento, durante las operaciones de sondaje.

4.3 POZO N° 03**4.3.1 ESTRATO N° 1**

El primer y único estrato llega hasta 6.00 m de profundidad, es un limo arenoso, inorgánico de baja compresibilidad, color café a café gris, plasticidad baja a media, consistencia baja a media y humedad media. El número de golpes en el ensayo de penetración estándar, NSPT varía entre 8 y 45, la humedad entre 26 y 32 %.

Figura 120

Informe de mecánica de suelos, parte 4.

Clasificación ML, no se detecta agua de escurrimiento, durante las operaciones de sondaje.

5. RECOMENDACIONES

5.1 RESIDENCIA "LUCIANA I"

5.1.1 Tipo de cimentación

Plintos aislados debidamente arriostrados con cadenas (25 cm * 35 cm) de cimentación en los dos sentidos de la estructura y/o vigas de cimentación.

5.1.2 Capacidad portante admisible

Tiene un valor de 1.50 kg/cm² y deberá ser mayor o cuando más igual al esfuerzo de trabajo determinado según lo sugerido en el numeral 6.

5.1.3 Coeficiente de Balasto

$$K_s = FS \cdot 12 \cdot q_a$$

$$K_s = 1180.59 \text{ T/m}^3$$

5.1.4 Coeficientes Sísmicos

Zona sísmica= V

Factor Z= 0.40 Perfil

de Suelo= D

Coeficiente Fa= 1.20

Coeficiente Fd= 1.19

Coeficiente Fs= 1.28

5.1.5 Cota de cimentación

Los cimientos de la estructura se desplantarán al nivel -1.20 m, medido con respecto al nivel ± 0.00 m, de la superficie del terreno, (ver anexo ubicación de los sondeos).

Figura 121

Informe de mecánica de suelos, parte 5.

Previo al desplante del cimiento, se tiene que hacer un recambio de suelo, es decir se deberá excavar hasta el nivel -1.80 m, medido con respecto al nivel ± 0.00 m, de la superficie del terreno. La altura del suelo de mejoramiento será de 0.60 m, el mismo que consistirá en material granular bien graduado (tipo subbase clase III) y cuyo diámetro de partícula mayor no exceda las 3 pulgadas, el material de mejoramiento se colocará en capas de 20 cm y cada capa, se deberá compactar con equipo mecánico (plancha vibro compactadora, sapo, rodillo, etc.) con una energía de compactación equivalente al Proctor modificado y cuyo porcentaje de compactación mínimo a alcanzar será el 100

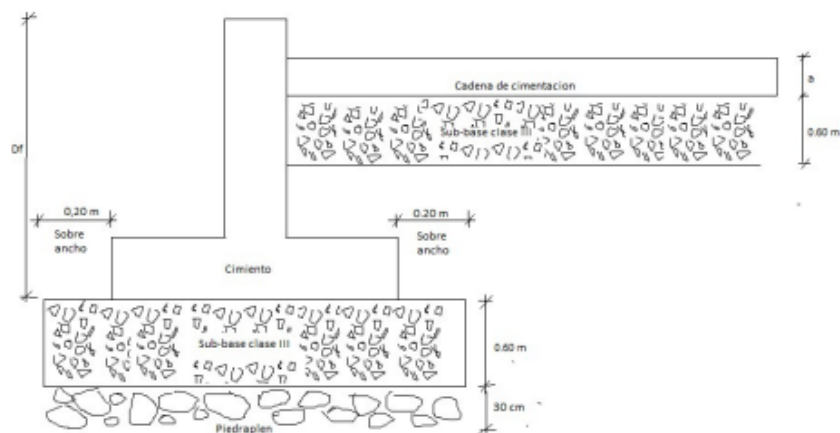
%, el material de mejoramiento se colocará también desde las caras laterales del cimiento, una distancia mínima de 0.20 m. (Obligatoriamente realizar pruebas de densidad en sitio). El propósito de colocar material de mejoramiento bajo el cimiento es para impedir la ascensión capilar de agua y mejorar la compacidad del suelo de sostenimiento.

Antes de la colocación del suelo de mejoramiento (subbase clase III), el fondo de la excavación se deberá estabilizar con material pétreo constituido por piedras o pedazos de roca, de un tamaño de 10 a 30 cm.

Se colocará material de mejoramiento (ítem 5.1.6) bajo las cadenas (25 cm * 35 cm) de cimentación con un espesor mínimo de 0.60 m, y se deberá compactarse con equipo mecánico (plancha vibro compactadora, sapo, rodillo, etc.) con una energía de compactación equivalente al Proctor modificado y cuyo porcentaje de compactación mínimo a alcanzar será el 100 %, el material de mejoramiento se colocará también desde las caras laterales del cimiento, una distancia mínima de 0.20 m. (Realizar pruebas de densidad en sitio). El propósito de colocar material de mejoramiento bajo las cadenas es para impedir la ascensión capilar de agua y mejorar la compacidad del suelo de sostenimiento.

Figura 122

Informe de mecánica de suelos, parte 6.



5.1.6 Material de mejoramiento bajo el contrapiso

Se colocará material granular mal graduado (partícula del mismo diámetro), cuyo diámetro de partícula sea mayor o igual a 1 pulgada, la altura del material granular será de mínimo 0.30 m, y deberá compactarse con equipo mecánico (plancha vibro compactadora, sapa, rodillo, etc.) con una energía de compactación equivalente al Proctor modificado (Realizar pruebas de densidad en sitio). El propósito de colocar grava bajo el contrapiso es para impedir la ascensión capilar de agua.

5.1.7 Mampostería Armada

Se recomienda fabricar la mampostería con refuerzo (acero), y se colocará cada cuatro hiladas de mampuesto, en sentido horizontal y sujetadas y/o amarradas en el refuerzo de columnas, el refuerzo será mínimo dos barras de 8 mm de diámetro y adicional a ello, reforzadas con bichas de acero de 8 mm de diámetro cada 20 cm.

6.- CARGAS DE DISEÑO Y CAPACIDAD PORTANTE ADMISIBLE

La carga de diseño total (CT) se estimará en la siguiente forma:

$CT = CM + CV$, en donde:

CM = Carga muerta permanente de la estructura y de la cimentación.

Figura 123

Informe de mecánica de suelos, parte 7.

No se debe incluir el peso del suelo colocado nuevamente sobre el cimiento y hasta el nivel original del terreno.

Si por encima de este nivel se coloca relleno, el peso de este sí debe ser incluido en la evaluación de CM.

CV = Carga viva

De acuerdo con los factores que se consideren para la evaluación de CV se tendrá dos valores de CT.

- En el primer caso se incluirá en CV las cargas vivas máximas normales que se presenten en la estructura, como resultado de la función a la que se dedique la estructura.

Los cimientos se diseñarán con el valor de capacidad portante admisible recomendado. (Residencia= 1.50 kg/cm²).

- En el segundo caso se superpondrán las cargas de sismo a las descritas en el primer caso. En éste la capacidad portante admisible recomendada, se podrá incrementar en el 33%, y con este nuevo valor se diseñará los cimientos.
- El diseño final se hará con las dimensiones mayores.
- Si la cimentación transmite cargas excéntricas, el esfuerzo máximo que actúe sobre el suelo en el lado de la excentricidad no deberá exceder al valor de capacidad portante admisible recomendado.

7.- ASENTAMIENTOS

Se estima que los asentamientos totales, no excederán los 2.5 cm y los diferenciales no serán mayores a 1.5 cm.

8. - COMPROBACION DE LAS CONDICIONES EN LA CONSTRUCCION

Las recomendaciones expuestas en este informe se basan en los estudios de campo, laboratorio y gabinete realizados con muestras que se ordenaron tomar.

Sin embargo, dada la naturaleza limitada de toda investigación de suelos y las

Figura 124

Informe de mecánica de suelos, parte 8.

posibilidades de cambio en las condiciones del subsuelo, la presente investigación deberá ser comprobada, obligatoriamente, cuando se haga las excavaciones para la cimentación de las estructuras.

Por los motivos anotados antes de fundir las cimentaciones se deberá comparar las condiciones encontradas, con las conclusiones de esta investigación y los diseños deberán ser confirmados.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Edison Paredes Armijos', with stylized, overlapping letters.

Ing. Edison Paredes Armijos.

CONESUP: 1005-06-671501

Figura 125

Informe de mecánica de suelos, parte 9.

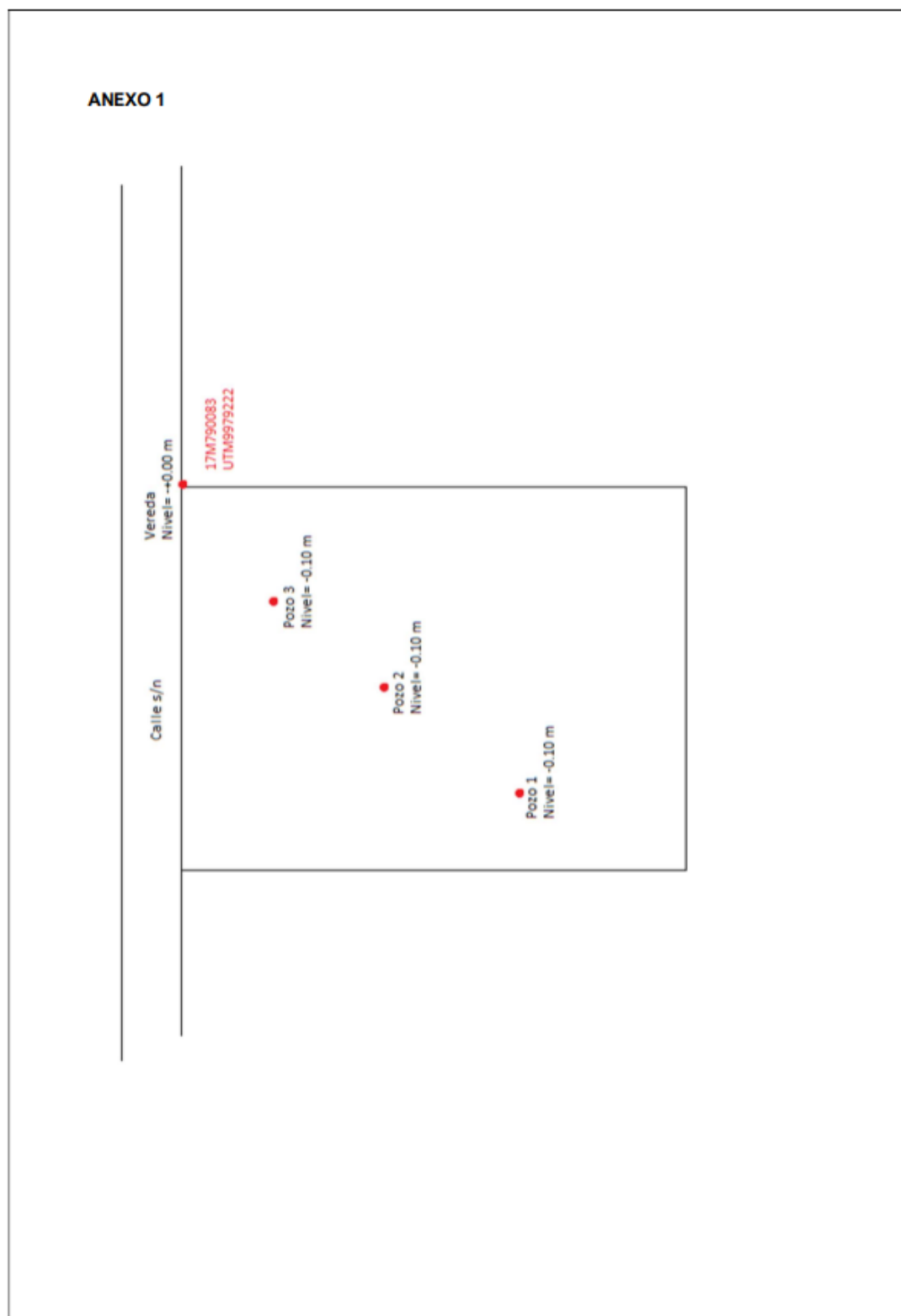


Figura 126

Planilla de acero del sistema aporticado.

6. Planilla de Acero											
Elemento	Marca	Ø	Cant.	Forma	A	B	C	Longitud Parcial	Longitud Total	Peso Nominal	Peso
Cimentación	101	10 mm	132	C	0.15	0.90	0.00	1.17	154.63 m	0.617 kg/m	95.40 kg
Cimentación	102	10 mm	174	C	0.15	1.35	0.00	1.62	282.13 m	0.617 kg/m	174.07 kg
Columnas	201	10 mm	270	O	0.08	0.19	0.29	1.05	282.91 m	0.617 kg/m	174.55 kg
Columnas	202	14 mm	32	C1	0.30	3.62	0.17	4.05	129.70 m	1.208 kg/m	156.67 kg
Columnas	203	14 mm	2	C1	0.30	3.62	0.17	4.05	8.11 m	1.208 kg/m	9.79 kg
Columnas	204	10 mm	3042	G	0.08	0.19	0.00	0.32	971.22 m	0.617 kg/m	599.24 kg
Columnas	205	14 mm	2	C1	0.30	3.62	0.17	4.05	8.10 m	1.208 kg/m	9.78 kg
Columnas	206	10 mm	924	O	0.08	0.54	0.19	1.55	1430.18 m	0.617 kg/m	882.42 kg
Columnas	207	14 mm	94	C1	0.30	6.14	0.17	6.57	617.86 m	1.208 kg/m	746.37 kg
Columnas	208	14 mm	15	C1	0.30	6.14	0.17	6.57	98.53 m	1.208 kg/m	119.02 kg
Columnas	209	14 mm	9	C1	0.30	6.14	0.17	6.57	59.16 m	1.208 kg/m	71.46 kg
Columnas	210	14 mm	2	C1	0.45	6.14	0.17	6.72	13.44 m	1.208 kg/m	16.23 kg
Losa N + 2.52	301	8 mm	24	L	0.00	11.90	0.08	11.96	286.96 m	0.395 kg/m	113.35 kg
Losa N + 2.52	302	8 mm	24	L	0.00	0.08	10.90	10.96	262.96 m	0.395 kg/m	103.87 kg
Losa N + 2.52	303	8 mm	22	C	0.08	11.60	0.00	11.71	257.69 m	0.395 kg/m	101.79 kg
Losa N + 2.52	304	8 mm	22	C	0.08	2.15	0.00	2.26	49.79 m	0.395 kg/m	19.67 kg
Losa N + 2.52	305	8 mm	4	C	0.08	4.80	0.00	4.91	19.65 m	0.395 kg/m	7.76 kg
Losa N + 2.52	306	8 mm	24	L	0.00	9.40	0.08	9.46	226.96 m	0.395 kg/m	89.65 kg
Losa N + 2.52	307	8 mm	24	L	0.00	0.08	5.90	5.96	142.96 m	0.395 kg/m	56.47 kg
Losa N + 2.52	308	8 mm	132	C	0.08	7.45	0.00	7.56	998.37 m	0.395 kg/m	394.36 kg
Losa N + 2.52	309	8 mm	84	C	0.08	5.00	0.00	5.11	429.53 m	0.395 kg/m	169.66 kg
Losa N + 2.52	310	8 mm	24	I	0.00	9.00	0.00	9.00	216.00 m	0.395 kg/m	85.32 kg
Losa N + 5.04	351	8 mm	17	L	0.00	0.08	4.90	4.96	84.26 m	0.395 kg/m	33.28 kg
Losa N + 5.04	352	8 mm	35	L	0.00	6.90	0.08	6.96	243.48 m	0.395 kg/m	96.18 kg
Losa N + 5.04	353	8 mm	35	L	0.00	0.08	6.90	6.96	243.62 m	0.395 kg/m	96.23 kg
Losa N + 5.04	354	8 mm	17	L	0.00	9.40	0.08	9.46	160.76 m	0.395 kg/m	63.50 kg
Losa N + 5.04	356	8 mm	126	C	0.08	7.45	0.00	7.56	952.99 m	0.395 kg/m	376.43 kg
Losa N + 5.04	357	8 mm	18	L	0.00	4.90	0.08	4.96	89.22 m	0.395 kg/m	35.24 kg
Losa N + 5.04	358	8 mm	18	L	0.00	0.08	9.40	9.46	170.22 m	0.395 kg/m	67.24 kg
Losa N + 5.04	359	8 mm	4	C	0.08	4.80	0.00	4.91	19.65 m	0.395 kg/m	7.76 kg
Vigas N + 2.52	401	10 mm	1465	O	0.08	0.19	0.19	0.85	1242.04 m	0.617 kg/m	766.34 kg
Vigas N + 2.52	402	14 mm	4	L	0.00	6.80	0.20	6.96	27.86 m	1.208 kg/m	33.65 kg
Vigas N + 2.52	403	14 mm	4	L	0.00	0.20	8.30	8.46	33.86 m	1.208 kg/m	40.90 kg
Vigas N + 2.52	404	14 mm	4	I	0.00	9.00	0.00	9.00	36.00 m	1.208 kg/m	43.49 kg
Vigas N + 2.52	405	12 mm	4	L	0.00	7.85	0.15	7.97	31.88 m	0.888 kg/m	28.31 kg
Vigas N + 2.52	406	12 mm	4	L	0.00	0.15	6.85	6.97	27.88 m	0.888 kg/m	24.76 kg
Vigas N + 2.52	407	12 mm	4	I	0.00	9.00	0.00	9.00	36.00 m	0.888 kg/m	31.97 kg
Vigas N + 2.52	408	14 mm	4	C	0.20	7.45	0.00	7.78	31.12 m	1.208 kg/m	37.59 kg
Vigas N + 2.52	409	12 mm	6	C	0.15	7.45	0.00	7.69	46.14 m	0.888 kg/m	40.97 kg
Vigas N + 2.52	410	10 mm	48	O	0.08	0.19	0.19	0.85	40.70 m	0.617 kg/m	25.11 kg
Vigas N + 2.52	411	16 mm	7	C	0.20	7.45	0.00	7.77	54.39 m	1.578 kg/m	85.83 kg
Vigas N + 2.52	412	16 mm	4	C	0.20	3.70	0.00	4.02	16.08 m	1.578 kg/m	25.37 kg
Vigas N + 2.52	413	16 mm	4	C	0.20	5.00	0.00	5.32	21.28 m	1.578 kg/m	33.58 kg
Vigas N + 2.52	414	12 mm	4	C	0.15	5.00	0.00	5.24	20.96 m	0.888 kg/m	18.61 kg
Vigas N + 2.52	415	16 mm	4	I	0.00	5.50	0.00	5.50	22.00 m	1.578 kg/m	34.72 kg
Vigas N + 2.52	416	16 mm	1	L1	0.97	3.71	2.11	6.94	6.94 m	1.578 kg/m	10.95 kg
Vigas N + 2.52	417	16 mm	1	L1	0.97	3.71	3.11	7.93	7.93 m	1.578 kg/m	12.51 kg
Vigas N + 2.52	418	16 mm	1	L1	1.02	3.71	2.06	6.94	6.94 m	1.578 kg/m	10.95 kg
Vigas N + 2.52	419	16 mm	1	L1	1.02	3.71	3.05	7.93	7.93 m	1.578 kg/m	12.51 kg
Vigas N + 2.52	420	16 mm	2	L	0.00	0.20	8.30	8.46	16.92 m	1.578 kg/m	26.70 kg
Vigas N + 2.52	421	16 mm	4	I	0.00	9.00	0.00	9.00	36.00 m	1.578 kg/m	56.81 kg
Vigas N + 2.52	422	16 mm	2	L	0.00	0.20	7.30	7.46	14.92 m	1.578 kg/m	23.54 kg
Vigas N + 5.04	451	10 mm	909	O	0.08	0.19	0.19	0.85	770.66 m	0.617 kg/m	475.50 kg
Vigas N + 5.04	452	14 mm	6	C	0.20	7.45	0.00	7.78	46.68 m	1.208 kg/m	56.39 kg
Vigas N + 5.04	453	12 mm	8	C	0.15	7.45	0.00	7.69	61.52 m	0.888 kg/m	54.63 kg
Vigas N + 5.04	454	16 mm	2	C	0.20	7.45	0.00	7.77	15.54 m	1.578 kg/m	24.52 kg
Vigas N + 5.04	455	10 mm	10	O	0.08	0.19	0.19	0.85	8.48 m	0.617 kg/m	5.23 kg
Vigas N + 5.04	456	14 mm	4	L	0.00	0.20	6.80	6.96	27.86 m	1.208 kg/m	33.65 kg
Vigas N + 5.04	457	12 mm	4	L	0.00	0.15	2.25	2.37	9.48 m	0.888 kg/m	8.42 kg
Vigas N + 5.04	458	14 mm	4	L	0.00	7.30	0.20	7.46	29.86 m	1.208 kg/m	36.07 kg
Vigas N + 5.04	459	12 mm	4	L	0.00	11.85	0.15	11.97	47.88 m	0.888 kg/m	42.52 kg
Vigas N + 5.04	460	16 mm	1	L1	0.97	3.71	2.05	6.87	6.87 m	1.578 kg/m	10.85 kg
Vigas N + 5.04	461	14 mm	1	L1	0.96	3.71	3.30	8.11	8.11 m	1.208 kg/m	9.79 kg
Vigas N + 5.04	462	16 mm	1	L1	1.02	3.72	1.98	6.87	6.87 m	1.578 kg/m	10.85 kg
Vigas N + 5.04	463	14 mm	1	L1	1.02	3.72	3.23	8.10	8.10 m	1.208 kg/m	9.79 kg
Vigas N + 5.04	464	16 mm	2	L	0.00	0.20	7.80	7.96	15.92 m	1.578 kg/m	25.12 kg
Vigas N + 5.04	465	14 mm	2	L	0.00	0.20	6.30	6.46	12.93 m	1.208 kg/m	15.62 kg
Total general			7893						11773.56 m		7216.91 kg

Figura 127*Resumen de acero del sistema aporticado.*

7. Resumen de Acero				
Partición	Diámetro de barra	Longitud total de barra	Peso Nominal	Masa
Cimentación	10 mm	437 m	0.617 kg/m	269 kg
Columnas	10 mm	2684 m	0.617 kg/m	1656 kg
Columnas	14 mm	935 m	1.208 kg/m	1129 kg
Losa N+2.52	8 mm	2891 m	0.395 kg/m	1142 kg
Losa N+5.04	8 mm	1964 m	0.395 kg/m	776 kg
Vigas N+2.52	10 mm	1283 m	0.617 kg/m	791 kg
Vigas N+2.52	12 mm	163 m	0.888 kg/m	145 kg
Vigas N+2.52	14 mm	129 m	1.208 kg/m	156 kg
Vigas N+2.52	16 mm	211 m	1.578 kg/m	333 kg
Vigas N+5.04	10 mm	779 m	0.617 kg/m	481 kg
Vigas N+5.04	12 mm	119 m	0.888 kg/m	106 kg
Vigas N+5.04	14 mm	134 m	1.208 kg/m	161 kg
Vigas N+5.04	16 mm	45 m	1.578 kg/m	71 kg
Total general		11774 m		7217 kg

Figura 128

Planilla de acero del sistema dual.

7. Planilla de Acero											
Elemento	Marca	Ø	Cant.	Forma	A	B	C	Longitud Parcial	Longitud Total	Peso Nominal	Peso
Cimentación	101	10 mm	126	C	0.15	0.90	0.00	1.17	147.60 m	0.617 kg/m	91.07 kg
Cimentación	103	10 mm	36	C	0.15	1.65	0.00	1.92	69.17 m	0.617 kg/m	42.66 kg
Cimentación	104	10 mm	135	C	0.15	1.20	0.00	1.47	198.64 m	0.617 kg/m	122.56 kg
Cimentación	105	10 mm	9	C	0.15	2.10	0.00	2.37	21.34 m	0.617 kg/m	13.17 kg
Columnas	201	10 mm	809	O	0.08	0.19	0.29	1.05	847.68 m	0.617 kg/m	523.02 kg
Columnas	202	14 mm	32	CI	0.30	3.62	0.17	4.05	129.70 m	1.208 kg/m	156.67 kg
Columnas	203	14 mm	2	CI	0.30	3.62	0.17	4.05	8.11 m	1.208 kg/m	9.79 kg
Columnas	204	10 mm	809	G	0.08	0.19	0.00	0.32	258.29 m	0.617 kg/m	159.36 kg
Columnas	205	14 mm	2	CI	0.30	3.62	0.17	4.05	8.10 m	1.208 kg/m	9.78 kg
Columnas	206	14 mm	36	CI	0.30	6.14	0.17	6.57	236.63 m	1.208 kg/m	285.85 kg
Columnas	207	14 mm	4	CI	0.30	6.14	0.17	6.57	26.27 m	1.208 kg/m	31.74 kg
Columnas	208	14 mm	2	CI	0.30	6.14	0.17	6.57	13.15 m	1.208 kg/m	15.88 kg
Losa N+2.52	301	8 mm	24	L	0.00	11.90	0.08	11.96	286.96 m	0.395 kg/m	113.35 kg
Losa N+2.52	302	8 mm	24	L	0.00	0.08	10.90	10.96	262.96 m	0.395 kg/m	103.87 kg
Losa N+2.52	303	8 mm	22	C	0.08	11.60	0.00	11.71	257.69 m	0.395 kg/m	101.79 kg
Losa N+2.52	304	8 mm	22	C	0.08	2.15	0.00	2.26	49.79 m	0.395 kg/m	19.67 kg
Losa N+2.52	305	8 mm	4	C	0.08	4.80	0.00	4.91	19.65 m	0.395 kg/m	7.76 kg
Losa N+2.52	306	8 mm	24	L	0.00	9.40	0.08	9.46	226.96 m	0.395 kg/m	89.65 kg
Losa N+2.52	307	8 mm	24	L	0.00	0.08	5.90	5.96	142.96 m	0.395 kg/m	56.47 kg
Losa N+2.52	308	8 mm	132	C	0.08	7.45	0.00	7.56	998.37 m	0.395 kg/m	394.36 kg
Losa N+2.52	309	8 mm	84	C	0.08	5.00	0.00	5.11	429.53 m	0.395 kg/m	169.66 kg
Losa N+2.52	310	8 mm	24	I	0.00	9.00	0.00	9.00	216.00 m	0.395 kg/m	85.32 kg
Losa N+5.04	351	8 mm	17	L	0.00	0.08	4.90	4.96	84.26 m	0.395 kg/m	33.28 kg
Losa N+5.04	352	8 mm	35	L	0.00	6.90	0.08	6.96	243.48 m	0.395 kg/m	96.16 kg
Losa N+5.04	353	8 mm	35	L	0.00	0.08	6.90	6.96	243.62 m	0.395 kg/m	96.23 kg
Losa N+5.04	354	8 mm	17	L	0.00	9.40	0.08	9.46	160.76 m	0.395 kg/m	63.50 kg
Losa N+5.04	355	8 mm	4	C	0.08	4.80	0.00	4.91	19.65 m	0.395 kg/m	7.76 kg
Losa N+5.04	356	8 mm	126	C	0.08	7.45	0.00	7.56	952.99 m	0.395 kg/m	376.43 kg
Losa N+5.04	357	8 mm	18	L	0.00	4.90	0.08	4.96	89.22 m	0.395 kg/m	35.24 kg
Losa N+5.04	358	8 mm	18	L	0.00	0.08	9.40	9.46	170.22 m	0.395 kg/m	67.24 kg
Vigas N+2.52	401	10 mm	1463	O	0.08	0.19	0.19	0.85	1240.35 m	0.617 kg/m	765.29 kg
Vigas N+2.52	402	12 mm	4	L	0.00	6.85	0.15	6.97	27.88 m	0.888 kg/m	24.76 kg
Vigas N+2.52	403	12 mm	2	L	0.00	0.15	8.35	8.47	16.94 m	0.888 kg/m	15.04 kg
Vigas N+2.52	404	12 mm	8	I	0.00	9.00	0.00	9.00	72.00 m	0.888 kg/m	63.94 kg
Vigas N+2.52	405	12 mm	4	L	0.00	7.85	0.15	7.97	31.88 m	0.888 kg/m	28.31 kg
Vigas N+2.52	406	12 mm	4	L	0.00	0.15	6.85	6.97	27.88 m	0.888 kg/m	24.76 kg
Vigas N+2.52	407	12 mm	2	L	0.00	0.15	8.34	8.46	16.91 m	0.888 kg/m	15.02 kg
Vigas N+2.52	408	12 mm	6	C	0.15	7.45	0.00	7.69	46.14 m	0.888 kg/m	40.97 kg
Vigas N+2.52	409	14 mm	8	C	0.20	7.45	0.00	7.78	62.24 m	1.208 kg/m	75.19 kg
Vigas N+2.52	410	10 mm	41	O	0.08	0.19	0.19	0.85	34.77 m	0.617 kg/m	21.45 kg
Vigas N+2.52	411	16 mm	4	C	0.20	3.70	0.00	4.02	16.08 m	1.578 kg/m	25.37 kg
Vigas N+2.52	412	16 mm	2	C	0.20	5.00	0.00	5.32	10.64 m	1.578 kg/m	16.79 kg
Vigas N+2.52	413	14 mm	4	C	0.20	5.00	0.00	5.33	21.32 m	1.208 kg/m	25.75 kg
Vigas N+2.52	415	12 mm	2	C	0.20	5.00	0.00	5.34	10.68 m	0.888 kg/m	9.48 kg
Vigas N+2.52	416	16 mm	4	I	0.00	5.50	0.00	5.50	22.00 m	1.578 kg/m	34.72 kg
Vigas N+2.52	417	16 mm	2	L	0.00	0.20	8.30	8.46	16.92 m	1.578 kg/m	26.70 kg
Vigas N+2.52	418	16 mm	4	I	0.00	9.00	0.00	9.00	36.00 m	1.578 kg/m	56.81 kg
Vigas N+2.52	419	16 mm	2	L	0.00	0.20	6.80	6.96	13.92 m	1.578 kg/m	21.97 kg
Vigas N+2.52	420	12 mm	1	I	0.00	5.50	0.00	5.50	5.50 m	0.888 kg/m	4.88 kg
Vigas N+2.52	421	16 mm	1	LI	1.00	3.76	2.35	7.27	7.27 m	1.578 kg/m	11.47 kg
Vigas N+2.52	422	16 mm	1	LI	1.01	3.77	2.35	7.27	7.27 m	1.578 kg/m	11.47 kg
Vigas N+2.52	423	16 mm	1	LI	1.00	3.76	3.60	8.51	8.51 m	1.578 kg/m	13.43 kg
Vigas N+2.52	424	16 mm	1	LI	1.01	3.77	3.60	8.52	8.52 m	1.578 kg/m	13.45 kg
Vigas N+2.52	426	12 mm	10	C	0.19	7.45	0.00	7.77	77.74 m	0.888 kg/m	69.03 kg
Vigas N+5.04	451	10 mm	836	O	0.08	0.19	0.19	0.85	708.77 m	0.617 kg/m	437.31 kg
Vigas N+5.04	452	12 mm	6	C	0.15	7.45	0.00	7.69	46.14 m	0.888 kg/m	40.97 kg
Vigas N+5.04	453	10 mm	10	O	0.08	0.19	0.19	0.85	8.46 m	0.617 kg/m	5.23 kg
Vigas N+5.04	454	12 mm	2	L	0.00	0.15	6.85	6.97	13.93 m	0.888 kg/m	12.37 kg
Vigas N+5.04	455	12 mm	2	L	0.00	0.15	2.25	2.37	4.74 m	0.888 kg/m	4.21 kg
Vigas N+5.04	456	12 mm	4	L	0.00	7.35	0.15	7.47	29.88 m	0.888 kg/m	26.51 kg
Vigas N+5.04	457	12 mm	2	L	0.00	11.85	0.15	11.97	23.94 m	0.888 kg/m	21.26 kg
Vigas N+5.04	458	12 mm	2	L	0.00	0.15	6.85	6.97	13.94 m	0.888 kg/m	12.38 kg
Vigas N+5.04	459	12 mm	2	L	0.00	0.15	3.35	3.47	6.94 m	0.888 kg/m	6.16 kg
Vigas N+5.04	460	12 mm	2	L	0.00	10.85	0.15	10.97	21.94 m	0.888 kg/m	19.46 kg
Vigas N+5.04	461	14 mm	2	C	0.20	7.45	0.00	7.78	15.56 m	1.208 kg/m	18.80 kg
Vigas N+5.04	462	12 mm	1	I	0.00	2.00	0.00	2.00	2.00 m	0.888 kg/m	1.78 kg
Vigas N+5.04	463	12 mm	2	L	0.00	5.85	0.15	5.97	11.94 m	0.888 kg/m	10.60 kg
Vigas N+5.04	464	16 mm	2	L	0.00	7.30	0.20	7.46	14.92 m	1.578 kg/m	23.54 kg
Vigas N+5.04	465	16 mm	1	LI	1.00	3.76	2.37	7.27	7.27 m	1.578 kg/m	11.47 kg
Vigas N+5.04	466	16 mm	1	LI	1.01	3.77	2.35	7.27	7.27 m	1.578 kg/m	11.46 kg
Vigas N+5.04	467	12 mm	1	LI	0.99	3.77	3.60	8.47	8.47 m	0.888 kg/m	7.52 kg
Vigas N+5.04	468	12 mm	1	LI	1.00	3.78	3.60	8.49	8.49 m	0.888 kg/m	7.54 kg
Vigas N+5.04	469	10 mm	56	O	0.08	0.19	0.20	0.86	48.04 m	0.617 kg/m	29.64 kg
Muros	504	12 mm	10	L	0.00	2.70	0.30	2.97	29.66 m	0.888 kg/m	26.34 kg
Muros	506	10 mm	10	L	0.00	2.70	0.30	2.99	29.86 m	0.617 kg/m	18.42 kg
Muros	507	12 mm	5	L	0.00	0.30	2.70	2.97	14.86 m	0.888 kg/m	13.20 kg
Muros	510	10 mm	60	G	0.10	6.16	0.00	6.53	392.06 m	0.617 kg/m	241.90 kg
Muros	511	10 mm	258	C	0.15	1.25	0.00	1.52	392.53 m	0.617 kg/m	242.19 kg
Muros	512	12 mm	5	L	0.00	2.70	0.30	2.97	14.86 m	0.888 kg/m	13.20 kg
Total general			5520						10535.59 m		6058.90 kg

Figura 129*Resumen de acero del sistema dual.*

8. Resumen de Acero				
Partición	Diámetro de barra	Longitud total de barra	Peso Nominal	Masa
Cimentación	10 mm	437 m	0.617 kg/m	269 kg
Columnas	10 mm	1106 m	0.617 kg/m	682 kg
Columnas	14 mm	422 m	1.208 kg/m	510 kg
Losa N+2.52	8 mm	2891 m	0.395 kg/m	1142 kg
Losa N+5.04	8 mm	1964 m	0.395 kg/m	776 kg
Muros	10 mm	814 m	0.617 kg/m	503 kg
Muros	12 mm	59 m	0.888 kg/m	53 kg
Vigas N+2.52	10 mm	1275 m	0.617 kg/m	787 kg
Vigas N+2.52	12 mm	334 m	0.888 kg/m	296 kg
Vigas N+2.52	14 mm	84 m	1.208 kg/m	101 kg
Vigas N+2.52	16 mm	147 m	1.578 kg/m	232 kg
Vigas N+5.04	10 mm	765 m	0.617 kg/m	472 kg
Vigas N+5.04	12 mm	192 m	0.888 kg/m	171 kg
Vigas N+5.04	14 mm	16 m	1.208 kg/m	19 kg
Vigas N+5.04	16 mm	29 m	1.578 kg/m	46 kg
Total general		10536 m		6059 kg

Figura 130

Planilla de hormigón del sistema aporticado.

1. Cimentación Estructural.								
Tipo de plinto	Total l	Longitud	Anchura	Espesor	Elevación en parte inferior	Volumen	Material estructural	Comentarios
P1 1.00x1.00x.30	8	1.00 m	1.00 m	0.30 m	-1.20 m	2.40	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
P2 1.45x1.45x.30	8	1.45 m	1.45 m	0.30 m	-1.20 m	5.05	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
P3 1.45x1.00x.30	2	1.00 m	1.45 m	0.30 m	-1.20 m	0.87	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
Total general: 18						8.32		
2. Columnas de Hormigón								
Tipo	Comentar			Recuento	Longitud	Volumen	Material estructural	
c1 25x35				6	3.42 m	1.74 m³	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
c2 25x60				12	5.94 m	10.51 m³	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
Total general				18		12.26 m³		
3. Hormigón en Losas								
Nivel	Material estructural		Grosor de núcleo	Tipo	Área	Volumen	Descripción	
02 Pb	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2		0.10 m	Contrapiso 10	164 m²	16.36 m³		
03 N+2.52	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2		0.13 m	Losa 13	122 m²	15.86 m³		
04 N+5.04	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2		0.13 m	Losa 13	83 m²	10.78 m³		
Total general					369 m²	43.01 m³		
4. Vigas de Hormigón N+2.52								
Elevación de nivel de referencia	Tipo		Recuento	Longitud	Longitud de corte		Volumen	
2.52 m	vl 25x25		1	0.78 m	0.65 m		0.04 m³	
2.52 m	vl 25x25		2	0.80 m	1.30 m		0.08 m³	
2.52 m	vl 25x25		1	1.02 m	0.90 m		0.06 m³	
2.52 m	vl 25x25		2	1.10 m	1.67 m		0.10 m³	
2.52 m	vl 25x25		1	1.24 m	1.07 m		0.07 m³	
2.52 m	vl 25x25		1	1.56 m	1.07 m		0.07 m³	
2.52 m	vl 25x25		1	2.43 m	2.18 m		0.14 m³	
2.52 m	vl 25x25		5	3.55 m	15.75 m		0.98 m³	
2.52 m	vl 25x25		1	3.72 m	3.53 m		0.22 m³	
2.52 m	vl 25x25		5	3.73 m	16.38 m		1.02 m³	
2.52 m	vl 25x25		3	3.85 m	10.70 m		0.67 m³	
2.52 m	vl 25x25		1	3.87 m	2.90 m		0.18 m³	
2.52 m	vl 25x25		3	4.14 m	11.16 m		0.70 m³	
2.52 m	vl 25x25		3	4.35 m	11.62 m		0.73 m³	
2.52 m	vl 25x25		3	4.40 m	12.15 m		0.76 m³	
2.52 m	vl 25x25		1	4.73 m	3.89 m		0.24 m³	
Total general			34		96.91 m		6.05 m³	
5. Vigas de Hormigón N+5.04								
Elevación de nivel de referencia	Tipo		Recuento	Longitud	Longitud de corte		Volumen	
5.04 m	vl 25x25		1	1.02 m	0.90 m		0.06 m³	
5.04 m	vl 25x25		2	1.10 m	1.68 m		0.10 m³	
5.04 m	vl 25x25		1	2.43 m	2.18 m		0.14 m³	
5.04 m	vl 25x25		3	3.55 m	9.20 m		0.57 m³	
5.04 m	vl 25x25		1	3.72 m	3.53 m		0.22 m³	
5.04 m	vl 25x25		3	3.73 m	9.53 m		0.60 m³	
5.04 m	vl 25x25		2	3.87 m	6.15 m		0.38 m³	
5.04 m	vl 25x25		3	4.14 m	11.16 m		0.70 m³	
5.04 m	vl 25x25		3	4.35 m	11.62 m		0.73 m³	
5.04 m	vl 25x25		1	4.85 m	3.89 m		0.24 m³	
Total general			20		59.82 m		3.73 m³	

Figura 131*Planilla de hormigón del sistema dual, parte 1.*

1. Cimentación Estructural.								
Tipo de plinto	Total 1	Longitud	Anchura	Espesor	Elevación en parte inferior	Volumen	Material estructural	Comentarios
P1 1.00x1.00x.30	9	1.00 m	1.00 m	0.30 m	-1.20 m	2.70	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
P2 1.30x1.30x.30	4	1.30 m	1.30 m	0.30 m	-1.20 m	2.03	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
P3 1.30x1.75x.30	4	1.75 m	1.30 m	0.30 m	-1.20 m	2.73	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
P4 1.30x2.20x.30	1	2.20 m	1.30 m	0.30 m	-1.20 m	0.86	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
Total general: 18						8.32		
2. Columnas de Hormigón								
Tipo	Comentar			Recuento	Longitud	Volumen	Material estructural	
c1 25x35				6	3.42 m	1.74 m³	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
c1 25x35				7	5.94 m	3.58 m³	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	
Total general				13	5.32 m³			
3. Muros								
Nombre	Material Estructural		Numero	Longitud	Anchura	Volumen	Área	
Muro 25	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2		5	1.30 m	0.25 m	9.49 m³	8 m²	
Total general: 5			5	9.49 m³				
4. Hormigón en Losas								
Nivel	Material estructural	Grosor de núcleo	Tipo	Área	Volumen	Descripción		
02 Pb	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	0.10 m	Contrapiso 10	164 m²	16.36 m³			
03 N+2.52	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	0.13 m	Losa 13	122 m²	15.86 m³			
04 N+5.04	Hormigón, f'c = 210 kg/cm2	0.13 m	Losa 13	83 m²	10.78 m³			
Total general				369 m²	43.01 m³			

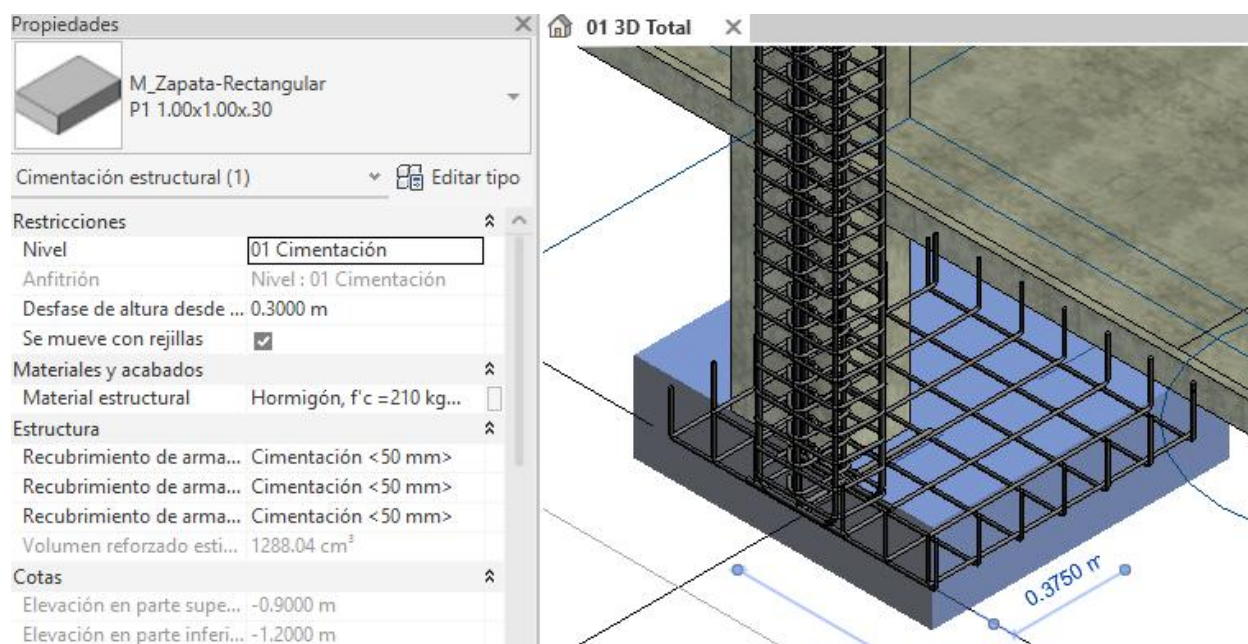
Figura 132*Planilla de hormigón del sistema dual, parte 2.*

5. Vigas de Hormigón N+2.52					
Elevación de nivel de referencia	Tipo	Recuento	Longitud	Longitud de corte	Volumen
2.52 m	v1 25x25	1	0.78 m	0.65 m	0.04 m ³
2.52 m	v1 25x25	2	0.80 m	1.30 m	0.08 m ³
2.52 m	v1 25x25	3	1.02 m	2.65 m	0.17 m ³
2.52 m	v1 25x25	2	1.24 m	2.14 m	0.13 m ³
2.52 m	v1 25x25	1	2.43 m	2.18 m	0.14 m ³
2.52 m	v1 25x25	4	3.55 m	11.99 m	0.75 m ³
2.52 m	v1 25x25	2	3.61 m	5.55 m	0.35 m ³
2.52 m	v1 25x25	1	3.72 m	3.43 m	0.21 m ³
2.52 m	v1 25x25	4	3.73 m	12.75 m	0.80 m ³
2.52 m	v1 25x25	1	3.76 m	3.57 m	0.22 m ³
2.52 m	v1 25x25	3	3.85 m	10.65 m	0.67 m ³
2.52 m	v1 25x25	3	4.14 m	10.59 m	0.66 m ³
2.52 m	v1 25x25	2	4.35 m	8.01 m	0.50 m ³
2.52 m	v1 25x25	1	4.36 m	4.11 m	0.26 m ³
2.52 m	v1 25x25	3	4.40 m	12.20 m	0.76 m ³
2.52 m	v1 25x25	1	4.79 m	3.44 m	0.22 m ³
Total general		34		95.20 m	5.95 m ³

6. Vigas de Hormigón N+5.04					
Elevación de nivel de referencia	Tipo	Recuento	Longitud	Longitud de corte	Volumen
5.04 m	v1 25x25	2	1.02 m	1.75 m	0.11 m ³
5.04 m	v1 25x25	1	1.03 m	0.90 m	0.06 m ³
5.04 m	v1 25x25	1	2.43 m	2.18 m	0.14 m ³
5.04 m	v1 25x25	3	3.55 m	8.70 m	0.54 m ³
5.04 m	v1 25x25	2	3.60 m	5.55 m	0.35 m ³
5.04 m	v1 25x25	1	3.72 m	3.43 m	0.21 m ³
5.04 m	v1 25x25	2	3.73 m	5.90 m	0.37 m ³
5.04 m	v1 25x25	1	3.76 m	3.57 m	0.22 m ³
5.04 m	v1 25x25	2	4.15 m	7.74 m	0.48 m ³
5.04 m	v1 25x25	1	4.20 m	2.85 m	0.18 m ³
5.04 m	v1 25x25	3	4.36 m	12.12 m	0.76 m ³
5.04 m	v1 25x25	1	4.79 m	3.44 m	0.22 m ³
Total general		20		58.11 m	3.63 m ³

Figura 133

Especificaciones técnicas del hormigón en plintos.

**Figura 134**

Especificaciones técnicas del acero en plintos.

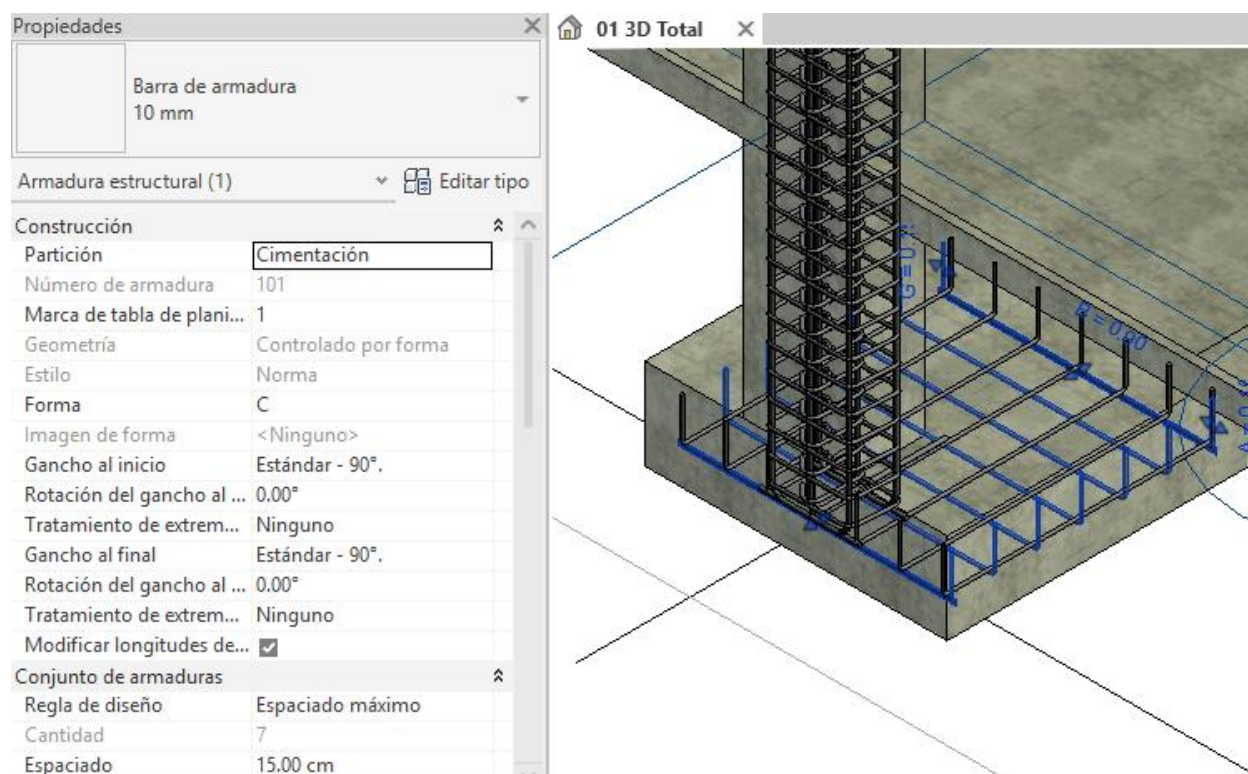
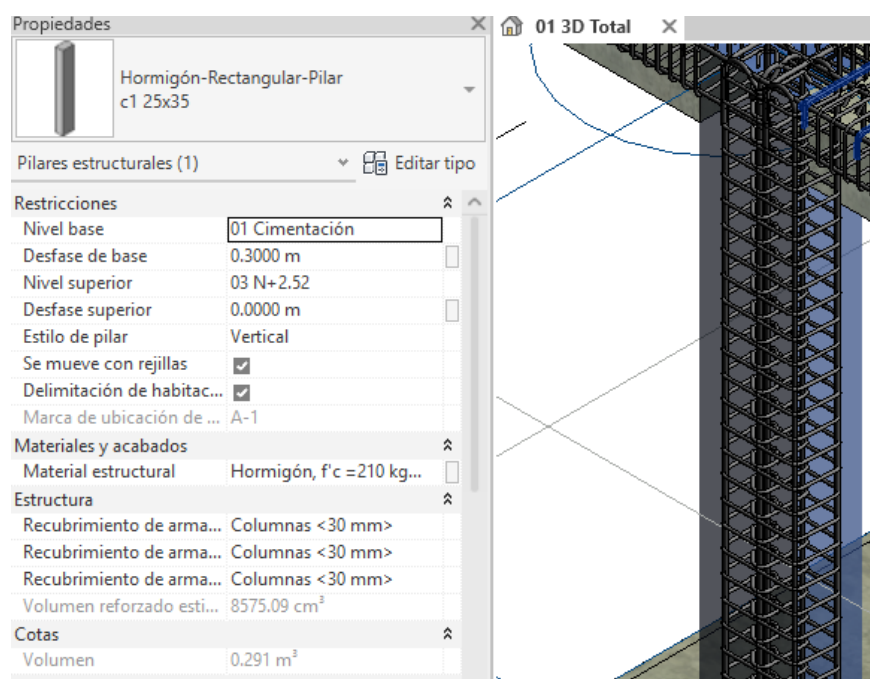


Figura 135

Especificaciones técnicas del hormigón en columnas.

**Figura 136**

Especificaciones técnicas del acero en columnas.

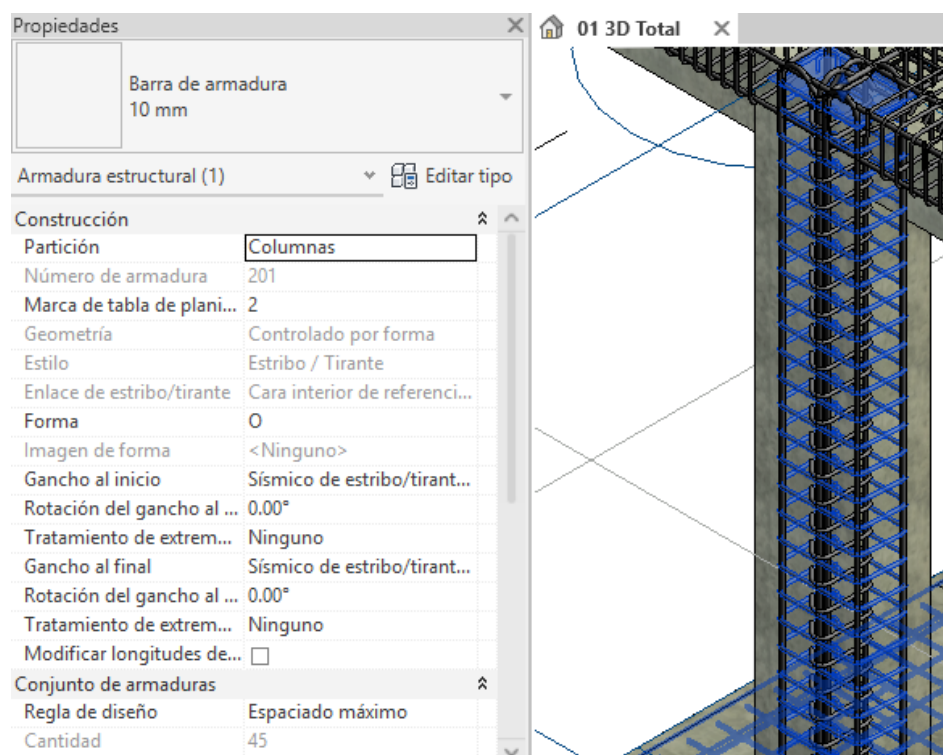
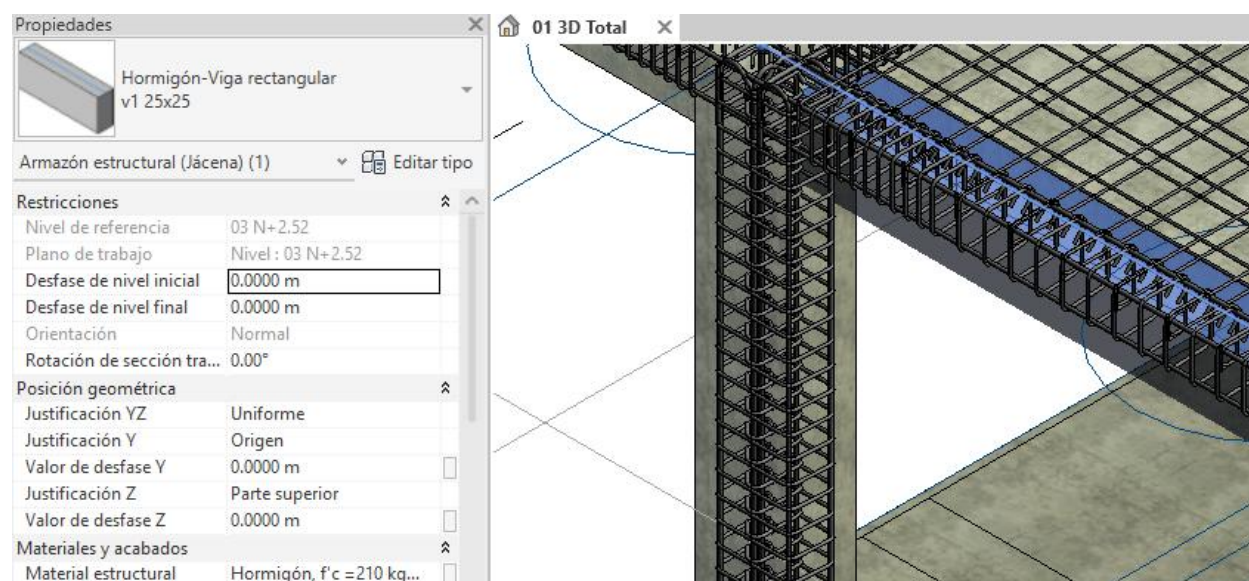


Figura 137

Especificaciones técnicas del hormigón en vigas.

**Figura 138**

Especificaciones técnicas del acero en vigas.

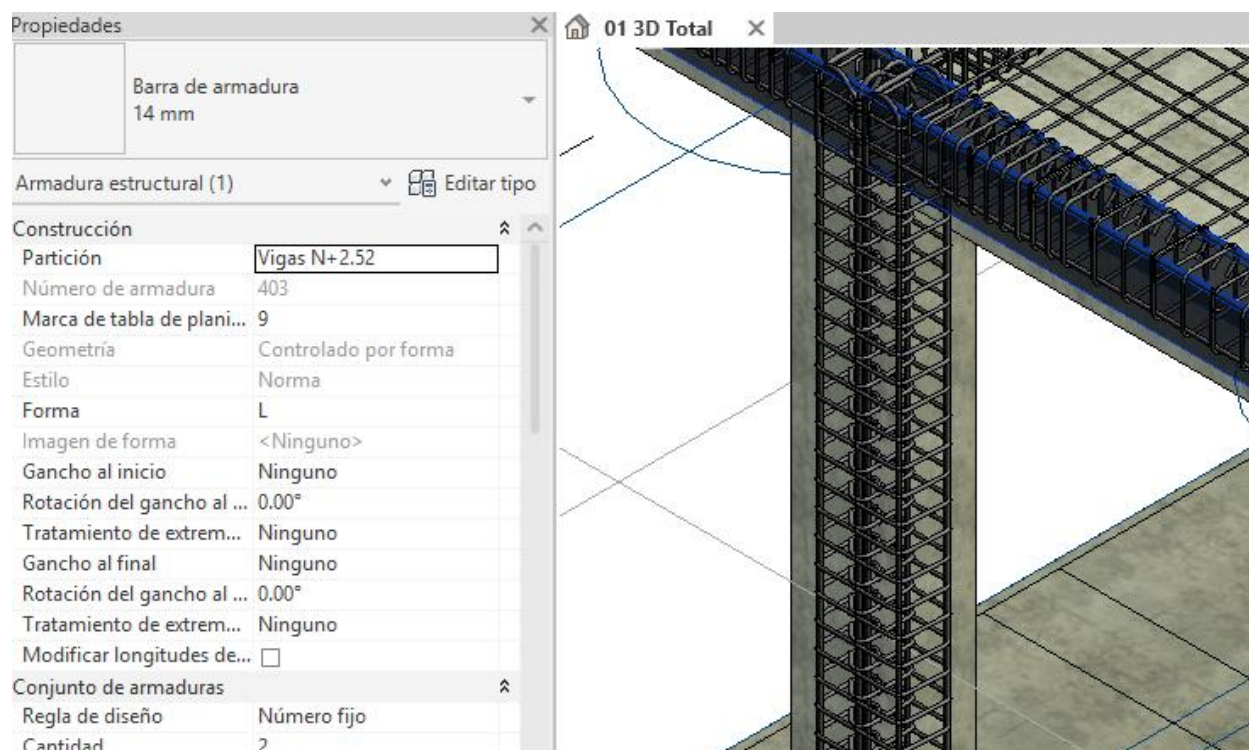
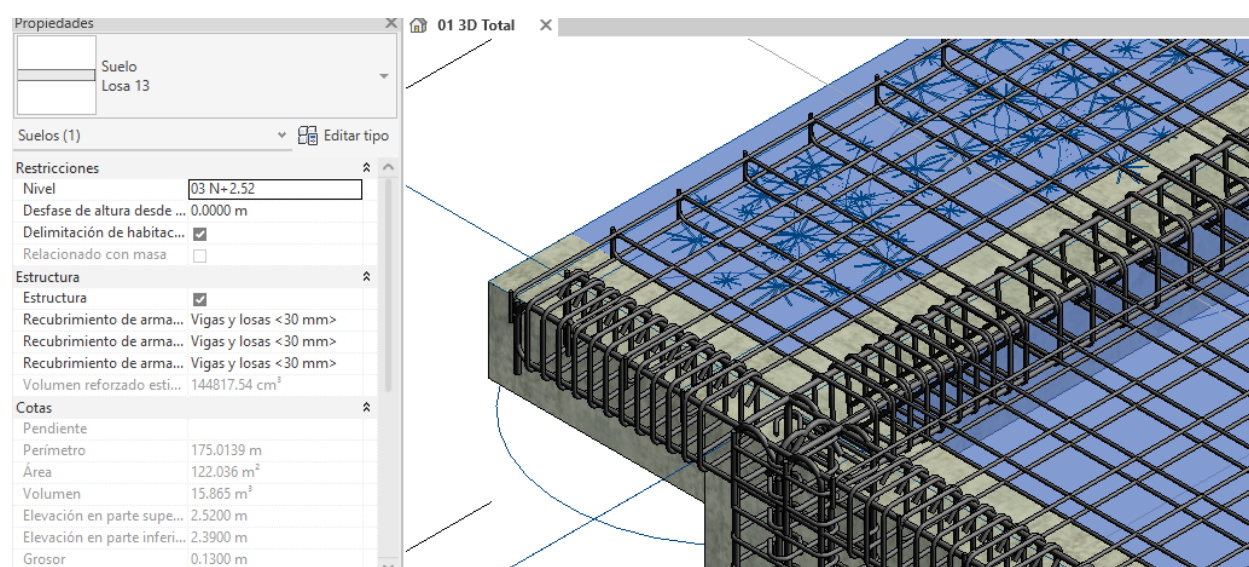


Figura 139*Especificaciones técnicas del hormigón en losas.***Figura 140***Especificaciones técnicas del acero en losas.*