UNIVERSIDAD CENTRAL

VICERRECTORÍA ACADÉMICA

Carrera de Ingeniería Civil

Comparación de resultados de diseño para edificaciones de concreto reforzado entre el método de diseño simplificado mediante Norma ACI-314RS-11 y el método del análisis de elementos finitos mediante programa de diseño estructural SAP2000.

Autor: Mario Eduardo Mora García

TESIS

Tutora: Ing. Andrea Calderón Cerdas

Sede Central

Costa Rica, agosto, 2025

Índice

Resumen **29**

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **30**

1.1 Planteamiento del Problema 31

1.2 Hipótesis 31

1.3 Objetivos 32

1.3.1 Objetivo General 32

1.3.2 Objetivos Específicos 32

1.4 Justificación 33

1.5 Antecedentes 33

1.5.1 Antecedentes Internacionales 34

1.5.2 Antecedentes Nacionales 37

1.6 Proyecciones 39

1.6.1 Alcances 41

1.6.2 Limitaciones 42

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO **43**

2.1 Propiedades Mecánicas del Concreto Reforzado 44

2.1.1 Resistencia a la Compresión, Módulo de Elasticidad y Comportamiento Ante Cargas 44

2.1.2 Interacción Acero-Concreto y Adherencia Entre Materiales 46

2.2 Fundamentos del Diseño Estructural 48

2.2.1 Esfuerzos Internos de Momento Flector en Vigas $[M(x)]$ 49

2.2.2 Esfuerzos Internos de Cortante en Vigas $[V(x)]$ 50

2.2.3 Esfuerzos Internos de Torsión en Vigas $[T(x)]$ 53

2.2.4 Deformación (Deflexión) en Vigas [Δ] 54
2.2.5 Flexo Compresión en Columnas 56
2.2.6 Cortante en Columnas 58
2.2.7 Pandeo en Columnas 58
2.2.8 Torsión en Columnas 60
2.2.9 Diseño de Losas a Momento Flector 62
2.2.10 Diseño de Losas a Cortante 63
2.3 Criterios de Dimensionamiento de Vigas, Columnas y Losas . . . 63
2.3.1 Altura Mínima de Vigas (h) 64
2.3.2 El Ancho de la Viga (b) se Define en Función de la Altura (h) 64
2.3.3 Dimensionado de Columnas 64
2.3.4 Espesor Mínimo de Losas (h) 65
2.4 Estimación del Refuerzo de Acero en Función de los Esfuerzos Internos 66
2.4.1 Diseño de Refuerzo Longitudinal a Flexión en Vigas 66
2.4.2 Refuerzo a Cortante en Vigas 71
2.4.3 Refuerzo Mínimo y Máximo a Flexocompresión en Columnas 71
2.4.4 Refuerzo a Cortante en Columnas 72
2.5 Influencia de los Métodos de Diseño en la Eficiencia Estructural . 72
2.5.1 Método de Diseño Simplificado Mediante ACI 314RS-11 73
2.5.2 Método de Diseño Mediante Análisis de Elementos Finitos 74
2.6 Diseño Estructural Mediante el Método de los Elementos Finitos y su Implementación en SAP2000 77
2.6.1 El Fundamento Teórico del MEF 77
2.6.2 Implementación Práctica del MEF en SAP2000 y el Procedimiento de Análisis 78

2.7 Comprobación del Diseño Estructural Mediante la Teoría de las Derivas . . . 79
2.7.1 Fundamento Teórico de la Deriva Estructural . . . 79
2.7.2 Consideraciones y Límites de Desplazamientos y Deformaciones . . . 80
2.8 Cuantificación de Materiales de Construcción y Presupuesto de Obra . . . 81
2.8.1 Cómputo Métrico: Fundamentos y Aplicaciones . . . 81
2.8.2 Cómputo Métrico y Materiales Estructurales . . . 81
2.9 Evaluación Financiera del Diseño Estructural Mediante Indicadores Económicos . . . 84
2.9.1 Valor Actual Neto (VAN) . . . 84
2.9.2 Tasa Interna de Retorno (TIR) . . . 85
2.9.3 Retorno Sobre la Inversión (ROI) . . . 86
2.9.4 Aplicación de los Indicadores Financieros en el Diseño Estructural . . . 86

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO 88

3.1 Clasificación del Tipo de Investigación . . . 89
3.2 Diseño Metodológico . . . 89
3.3 Procedimientos Metodológicos por Objetivo . . . 90
3.4 Recolección de Información Preliminar . . . 91
3.4.1 Parámetros Normativos de Diseño Estructural . . . 95
3.4.2 Diseño y Modelado Arquitectónico Base . . . 100
3.4.3 Definición del Modelo Estructural . . . 104
3.5 Diseño Estructural Mediante Criterios de Predimensionado Según ACI 314RS-11 . . . 106
3.5.1 Dimensionado de Vigas . . . 106
3.5.2 Dimensionado de Losas de Entrepiso . . . 108

3.5.3 Dimensionado de Columnas 112
3.5.4 Dimensionado de Muros 114
3.5.5 Dimensionado de Escaleras 117
3.6 Estimación de Cargas Estáticas, Amplificación y Combinaciones de Carga y Cargas Dinámicas 120
3.6.1 Cargas Permanentes (Carga Muerta) 120
3.6.2 Cargas Temporales (Carga Viva) 132
3.6.3 Amplificación y Combinaciones de Carga 134
3.7 Método de Cálculo por Áreas Tributarias y Bajada de Cargas . . 136
3.7.1 Nivel 0+19,25 m Azotea Superior: Cálculo de Áreas Tributarias, Cargas Axiales y Peso Sísmico 137
3.7.2 Nivel 0+15,40 m Azotea Inferior: Cálculo de Áreas Tributarias, Cargas Axiales y Peso Sísmico 149
3.7.3 Nivel 0+11,55 m Tercer Nivel Apt 05 y 06: Cálculo de Áreas Tributarias, Cargas Axiales y Peso Sísmico 165
3.7.4 Nivel 0+7,70 m Segundo Nivel Apt 03 y 04: Cálculo de Áreas Tributarias, Cargas Axiales y Peso Sísmico 181
3.7.5 Nivel 0+3,85 m Primer Nivel Apt 01 y 02: Cálculo de Áreas Tributarias, Cargas Axiales y Peso Sísmico. 197
3.8 Cálculo de Centros de Masa por Nivel 214
3.8.1 Cálculo de Centros de Masa, Nivel 0+19,25m. 214
3.8.2 Cálculo de Centros de Masa, Nivel 0+15,40 m 217
3.8.3 Cálculo de Centros de Masa, Nivel 0+11,55 m y Niveles Inferiores . . . 221
3.9 Cálculo de Centros de Rigidez 224
3.9.1 Cálculo de Centros de Rigidez, Nivel 0+15,40 m y Niveles Inferiores . . 224
3.10 Cálculo de Acciones Horizontales: Carga Sísmica, Carga de Viento y Momento de Vuelco 227

3.10.1 Cálculo de Carga Sísmica 227
3.10.2 Cálculo de Carga por Viento. 229
3.10.3 Cálculo de Momento de Vuelco 237
3.11 Cálculo y Diseño de Cimentaciones 240
3.11.1 Capacidad Portante Admisible del Suelo 242
3.11.2 Definición de la Carga y el Área de Cimentación 242
3.12 Análisis del Comportamiento Estructural Mediante Marcos Rígidos Para la Metodología de Diseño Simplificado Utilizando el Principio de Trabajo Virtual 252
3.12.1 Análisis de Fuerzas Reales (N) 253
3.12.2 Análisis de Fuerzas Virtuales (n) 254
3.12.3 Resultado de la Deformación Mediante Análisis de Nodos y Trabajo Virtual 254
3.13 Conclusión de la Metodología de Diseño Simplificado Mediante uso de la Norma ACI314 RS-11 256
3.14 Inicio de la Metodología de Análisis de Elementos Finitos Mediante el Programa SAP2000 257
3.14.1 Definición de Ejes Estructurales 259
3.14.2 Definición de Materiales 260
3.14.3 Definición de Secciones Transversales 261
3.14.4 Modelado Estructural 262
3.14.4.1 Asignación de Características de Diafragma 263
3.14.4.2 Alineamiento y Conectividad Entre Nudos 264
3.14.4.3 Asignación de Brazos Rígidos 265
3.14.4.4 Definición de Restricciones de Borde 265
3.14.4.5 Discretización y Mallado de Superficies 266
3.14.4.6 Rigidez en las Vigas que Confinan Muros de Carga 266

3.14.5 Condiciones de Soporte 268
3.14.6 Definición de los Patrones de Carga 268
3.14.7 Asignación de Cargas a la Estructura 269
3.14.7.1 Definición de Cargas de Viento 270
3.14.7.2 Definición de Fuente de Masa 271
3.14.7.3 Definición de Combinaciones de Carga 272
3.14.8 Comportamiento Estructural por Elementos Finitos 273
3.14.8.1 Respuesta Modal de Desplazamiento en eje X 273
3.14.8.2 Respuesta Modal de Desplazamiento en eje Y 274
3.15 Conclusión de la Metodología de Diseño Mediante Elementos Finitos en SAP2000 274

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 276

4.1 Evaluación Comparativa de Resultados Analizando las Metodologías de Diseño 277
4.1.1 Comprobación con Parámetros de Control de Respuesta Lateral para el Diseño Mediante Método Simplificado 277
4.1.2 Comparación del Acero de Refuerzo Para Cada Elemento Estructural de Acuerdo con Cada Metodología de Diseño 280
4.1.2.1 Cálculo de Acero de Refuerzo Longitudinal y Transversal Mediante Diseño Simplificado 280
4.1.3 Comprobación del Acero de Refuerzo Longitudinal Resultante del Método de Elementos Finitos 284
4.1.4 Comprobación del Acero de Refuerzo Transversal Resultante del Método de Elementos Finitos 288
4.1.4.1 Detallado del Acero de Refuerzo Transversal Para Viga, Resultante del Método de Elementos Finitos (Viga en Eje B Entre Ejes 2 y 3) . . . 290

4.1.5 Comprobación de la Deflexión Resultante en Vigas con el Método de Elementos Finitos (Viga en Eje B Entre Ejes 3 y 4) 293
4.1.6 Comprobación de la Fuerza Axial con Momento de Vuelco y Dimensiones de Fundaciones en Columnas con el Método de Elementos Finitos . . 295
4.1.7 Comprobación de la Flexo-compresión en Columnas Para sus Dimensiones de Sección con el Método de Elementos Finitos 298
4.2 Transición Hacia el Análisis Económico de Secciones Estructurales 302
4.2.1 Análisis de Costos por Material en Elementos Representativos 304
4.2.2 Desarrollo de los Planos Constructivos Para el Análisis de Costos por Material 304
4.2.2.1 Detalle Típico de Viga de Entrepiso 305
4.2.2.2 Cálculo Presupuestario de Materiales Para Viga de Entrepiso 307
4.2.2.3 Detalle Típico de Columna 310
4.3 Síntesis del Análisis de la Información 314

CAPÍTULO 5

PROPUESTA 315

5.1 Desarrollo de la Propuesta 316
5.2 Criterio de Optimización Estructural Adoptado 316
5.2.1 Criterio de Optimización Para Vigas de Entrepiso 317
5.2.2 Criterio de Optimización Para Columnas 319
5.3 Definición Constructiva de Secciones Optimizadas 320
5.3.1 Análisis Constructivo para Vigas 320
5.3.2 Detalle Constructivo de Vigas Optimizadas 324
5.3.2.1 Cálculo Presupuestario de Materiales Para Vigas de Entrepiso Optimizadas 327
5.3.3 Análisis Constructivo Para Columnas 330
5.3.3.1 Criterio de Asignación de Secciones Optimizadas de Columnas 331

5.3.3.2 Detalle Constructivo de Columnas Optimizadas 333
5.3.3.3 Criterios Para Acero de Confinamiento en Columnas 333
5.3.3.4 Cálculo Presupuestario de Materiales Para Columnas Optimizadas . . 336
5.4 Propuesta de Variables Financieras Entre Métodos 339
5.4.1 Variables Técnicas y de Costo a Evaluar 339
5.4.2 Obtención de Valores en Costo por Variables 340
5.5 Aplicación de Indicadores Financieros en la Optimización del Diseño Estructural 344
5.5.1 Retorno Sobre la Inversión (ROI) 344
5.5.2 Valor Actual Neto (VAN) 344
5.5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR) 345
5.6 Balance Técnico y Económico de la Propuesta 345

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 348

Conclusiones Sobre la Metodología de Diseño Simplificado (ACI 314 RS-11) . . . 349
Conclusiones Sobre la Metodología de Diseño por Elementos Finitos (SAP2000) . 350
Conclusiones Financieras 351
Recomendaciones 352

Referencias 354

APÉNDICE 357

Apéndice A. Glosario 358

Índice de figuras

1 Caso de carga para viga simplemente apoyada y carga uniformemente distribuida 52

2 Diagrama de interacción para diseño a flexo compresión en columnas 57

3 Dimensiones mínimas de la sección transversal para columnas rectangulares . 65

4 Dimensión mínima de la sección transversal para columnas circulares 65

5 Sección de viga rectangular 68

6 Sección con refuerzo a tracción y a compresión 70

7 Transformación de diseño de elementos monolíticos a elementos finitos 75

8 Transformación de cada elemento de una estructura a matriz de rigidez global 76

9 Diagrama de derivas de entrepiso 79

10 Plano de catastro del sitio a desarrollar el diseño 92

11 Perfil de terreno 92

12 Zonificación sísmica 96

13 Planta de distribución de conjunto, nivel planta baja 102

14 Planta de distribución arquitectónica, niveles del 1 al 4 103

15 Modelado estructural propuesto 105

16 Vistas de sección de los elementos estructurales propuestos 105

17 Planta de distribución estructural de vigas 106

18 Detalle de dimensiones (h) y (b) de viga tipo 108

19 Detalle de entrepiso con viguetas tipo P-20 109

20 Espesor de losa maciza unidireccional para cuarto de máquinas (elevador) y tanques de almacenamiento 110

21 Vista del sistema de entrepisos 111

22 Planta de distribución de viguetas 111

23 Diagrama de alturas definidas entre niveles terminados 112

24 Restricción lateral de columnas 113

25 Altura libre de columnas 113

26 Dimension de sección de columnas 114
27 Sistema estructural de resistencia ante fuerzas laterales 115
28 Dimensiones mínimas de la sección transversal en muros rectangulares de concreto reforzado 116
29 Longitud (l_w)de muros de carga 116
30 Espesor (b_w)de muros de carga 117
31 Dimensión máxima de contrahuella y mínima de huella y contrahuella en escaleras 118
32 Dimensiones de escaleras en ducto 119
33 Vista de conjunto y edificación con dimensiones terminadas de elementos estructurales de acuerdo a norma ACI 314RS-11 120
34 Dimensiones de los tanques de captación a calcular 124
35 Dimensiones de los tanques de almacenamiento para suministro de cascada artificial en fachada 125
36 Detalle de ducto y elevadores vista en planta 127
37 Características de los paneles solares a calcular 127
38 Distribución de condensadores para sistema A/C 129
39 Sistema de cubierta verde tipo Laminar. 130
40 Propuesta de cubierta verde sobre losa de azotea 130
41 Resumen de componentes a ubicar en losas de azotea con carga muerta . . . 132
42 Vista sección lateral con alturas de nivel definidas 136
43 Orientación del modelo para la realización del análisis estructural 137
44 Áreas tributarias Nivel 0+19,25 m azotea superior 137
45 Resumen de cargas sin mayorar, Eje C, Nivel 0+19,25m azotea superior . . . 139
46 Esquema resumen de bajada de cargas muertas y vivas sin mayorar, nivel 0+19,25 m 142
47 Esquema de elementos estructurales, nivel 0+19,25 m 142

48 Resumen de cargas axiales sobre eje C, nivel 0+19,25 m 143
49 Peso sísmico total, nivel 0+19,25 m 148
50 Perspectiva de elementos estructurales y no estructurales, nivel 0+15,40 m . 149
51 Resumen de cargas axiales en eje C, nivel 0+15,40 m 149
52 Áreas tributarias y nudos sobre el eje C, nivel 0+15,40 m 154
53 Resumen de cargas axiales en eje B, nivel 0+15,40 m 154
54 Resumen de cargas axiales en eje A, nivel 0+15,40 m 159
55 Peso sísmico total, Nivel 0+15,40 m 164
56 Resumen de cargas axiales en eje C, nivel 0+11,55 m 165
57 Resumen de cargas axiales en eje B, nivel 0+11,55 m 170
58 Resumen de cargas axiales en eje A, nivel 0+11,55 m 175
59 Peso sísmico total, Nivel 0+11,55 m 180
60 Resumen de cargas axiales en eje C, nivel 0+7,70 m 181
61 Resumen de cargas axiales en eje B, nivel 0+7,70 m 186
62 Resumen de cargas axiales en eje A, nivel 0+7,70 m 191
63 Peso sísmico total, nivel 0+7,70 m 196
64 Resumen de cargas axiales en eje C, nivel 0+3,85 m 197
65 Resumen de cargas axiales en eje B, nivel 0+3,85 m 202
66 Resumen de cargas axiales en eje B, nivel 0+3,85 m 207
67 Peso sísmico total, nivel 0+3,85 m 212
68 Resumen global de pesos sísmicos 213
69 Distribución de áreas para cálculo de centros de masa, nivel 0+19,25 m . . . 214
70 Centro de masa, nivel 0+19,25 m 216
71 Distribución de áreas para cálculo de centros de masa, nivel 0+15,40 m . . . 217
72 Centro de masa, nivel 0+15,40 m 220
73 Distribución de áreas para cálculo de centros de masa, nivel 0+11,55 m y niveles inferiores 221

74 Centro de masa, nivel 0+11,55 m y niveles inferiores 223
75 Distribución de muros estructurales en planta, nivel 0+15,40 m y niveles inferiores 224
76 Centro de rigidez y masa, nivel 0+15,40 m y niveles inferiores 226
77 Resumen de fuerzas sísmicas horizontales 228
78 Zonificación eólica de Costa Rica 229
79 Gráfica de coeficiente de exposición 230
80 Gráfica de coeficiente de recurrencia 231
81 Fuerzas laterales de viento aplicadas a la estructura 233
82 Dirección de los vientos a barlovento y sotavento 235
83 Diagrama de momentos de vuelco y fuerzas 239
84 Resumen de resultados de ensayo de penetración 241
85 Fuerzas que actúan sobre la placa 242
86 Distancia de columnas al centro de masa respecto al eje 243
87 Esquema de valores para desarrollo de cimentación 246
88 Detalle de dimensión de cimentaciones por eje 249
89 Planta de distribución estructural de cimentaciones 251
90 Esquema de marco rígido escogido para análisis de desplazamientos 252
91 Esquema de cargas reales y carga unitaria en nodo de desplazamiento 253
92 Esquema de desplazamiento en nodo 10 255
93 Vista en pespectiva del desarrollo completo de los elementos estructurales mediante el método simplificado 257
94 Diagrama de flujo general para el análisis y diseño estructural en SAP2000 . 259
95 Definición de los ejes estructurales en SAP2000 260
96 Configuración de parámetros iniciales de los materiales en SAP2000 261
97 Configuración de secciones estructurales en SAP2000 262
98 Asignación de diafragma rígido a nodos en SAP2000 263

99 Alineamiento y conectividad entre elementos estructurales en SAP2000 . . . 264
100 Asignación de brazo rígido al 50 % en nudos entre elementos estructurales en SAP2000 . . . 265
101 Aplicación de restricciones de borde para losas y muros en SAP2000 . . . 265
102 Discretización y mallado de superficies para muros en SAP2000 . . . 266
103 Definición de rigidez en vigas confinando muros de carga en SAP2000 . . . 267
104 Condiciones de soporte para columnas y placas en SAP2000 . . . 268
105 Definición de los patrones de carga en SAP2000 . . . 269
106 Asignación de las diferentes cargas a la estructura de las losas en SAP2000 . 269
107 Aplicación de cargas por viento sobre los marcos estructurales en dirección Y positiva (Barlovento) en SAP2000 . . . 270
108 Definición de factores para fuente de masa en SAP2000 . . . 271
109 Definición de combinaciones de carga en SAP2000 . . . 272
110 Resultado del desplazamiento modal en el eje X en SAP2000 . . . 273
111 Resultado del desplazamiento modal en el eje Y en SAP2000 . . . 274
112 Desarrollo de modelo completo en SAP2000 con desplazamiento en eje X amplificado a 500x . . . 275
113 Desplazamiento lateral en eje X en nivel 0+19,25 m . . . 277
114 Detalle de viga de entrepiso, refuerzo mínimo longitudinal y transversal . . . 282
115 Detalle de columna, refuerzo mínimo longitudinal y transversal . . . 283
116 Comprobación del acero longitudinal para elementos en eje X del método de elementos finitos . . . 284
117 Comprobación del acero longitudinal para elementos en eje Y del método de elementos finitos . . . 285
118 Resumen de datos de columna al 60.8 % de su capacidad . . . 287
119 Comprobación del acero transversal para elementos en eje X del método de elementos finitos . . . 288

120 Comprobación del acero transversal para elementos en eje Y del método de elementos finitos 289
121 Viga para diseño de estribos mediante resultados de SAP2000 291
122 Viga para comprobación de deflexión de los resultados de SAP2000 294
123 Obtención de la deflexión máxima en viga con los resultados de SAP2000 . . 295
124 Obtención de las cargas axiales para comprobación de cimentaciones en SAP2000 296
125 Obtención de las Cargas Axiales y de Momento Para Comprobación de Flexocompresión en SAP2000 298
126 Comprobación de solicitaciones de diseño entre fronteras con diagrama de interacción SAP2000 301
127 Ubicación de las solicitaciones dentro de la línea de frontera en diagrama de integración 301
128 Cuadrícula y marcos estructurales conformados por columnas y vigas 303
129 Separación libre mínima entre barras de refuerzo en una capa y distancia libre entre capas de refuerzo 306
130 Detalle de vigas en cruz de menor espesor que la columna 306
131 Detalle de acero de refuerzo en viga de entrepiso 307
132 Referencia de precio del concreto premezclado 307
133 Referencia de precio del acero diámetros n.° 7 y n.° 9 308
134 Separación vertical de estribos en columnas 310
135 Detalle típico de acero de refuerzo en columna 311
136 Referencia de precio del acero diámetros n.° 3 y n.° 6 312
137 Vista del rediseño de secciones para la propuesta optimizada 317
138 Vista del control de deformaciones en los elementos estructurales, unidad de deformación en milímetros 318
139 Vista de los elementos estructurales con sus dimensiones optimizadas 319

140 Cálculo de acero longitudinal para viga de 0,30 m x 0,15 m, nivel 0+15,40 m eje C 321
141 Cálculo de acero longitudinal para viga de 0,40 m x 0,25 m, 0,40 m x 0,20 m y 0,35 m x 0,20 m, nivel 0+15,40 m, eje B 321
142 Cálculo de cortante para vigas en análisis 322
143 Detalle de vigas 0,30 m x 0,15 m y 0,40 m x 0,25 m 325
144 Detalle de vigas 0,40 m x 0,20 m y 0,35 m x 0,20 m 326
145 Resultados de comprobación de la estructura 331
146 Secciones optimizadas de columnas con SAP2000 332
147 Detalle de columnas 0,30 m x 0,30 m y 0,35 m x 0,35 m 334
148 Detalle de vigas 0,40 m x 0,40 m y 0,50 m x 0,35 m 335
149 Precio de la norma ACI314 RS-11 341
150 Precio de la certificación SAP2000 342
151 Precio de la licencia SAP2000 342
152 Precio de la hora profesional 343
153 Resultado del análisis estructural mediante diseño simplificado ACI 314 RS-11 346
154 Resultado del análisis estructural mediante diseño con análisis de elementos finitos 347

Índice de tablas

1 Deflexión máxima admisible calculada. 56

2 Espesor mínimo, h, para vigas, vigas maestras y viguetas en una dirección que soportan elementos no estructurales susceptibles de daño debido a deflexiones grandes 64

3 Espesor mínimo, h, para losas en una dirección que soportan elementos no estructurales susceptibles de daño por deflexiones grandes 66

4 Número máximo de barras longitudinales en una capa para vigas 67

5 Cuantía mínima de refuerzo a flexión para vigas 68

6 Cuantía máxima de refuerzo a flexión (ρ_{max})en vigas 69

7 Valores mínimos de d/d' para que el refuerzo a compresión sea efectivo . . . 70

8 Límite superior de la razón de deriva inelástica, Δ_i/H_i según categoría de edificación y sistema estructural 80

9 Perfil geotécnico del terreno estudiado 94

10 Capacidad de carga admisible (ton/m^2) FS=3 94

11 Zonas sísmicas según provincias, cantones y distritos 95

12 Tipos de sitio y sus parámetros geotécnicos. Propiedades promedio de los 30 m superficiales 96

13 Aceleración pico efectiva de diseño, a_{ef}, para un período de retorno de 475 años y para diferentes zonas sísmicas y tipos de sitio 97

14 Clasificación de edificaciones según importancia 98

15 Ductilidad global asignada, según sistema estructural, regularidad de la estructura y ductilidad local 99

16 Factor espectral dinámico, FED, para sitios de suelo. S3-Zona III 99

17 Espesor mínimo, h, para vigas, vigas maestras y viguetas en una dirección que soportan elementos no estructurales susceptibles de daño debido a deflexiones grandes 107

18 Espesor mínimo, h, para losas en una dirección 109
19 Espesor mínimo, (h), para losas en una dirección que soportan elementos no estructurales susceptibles de daño por deflexiones grandes 110
20 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales: cielo raso 122
21 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales: pisos . . 122
22 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales: muros . . 123
23 Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales: ventanas . 123
24 Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas 133
25 Cargas temporales unitarias mínimas 134
26 Diagrama resumen de bajada de cargas muertas sin mayorar en C7 y muro eje 7141
27 Resumen global – columnas C2 y D2 – nivel 0+19,25 m 144
28 Resumen global – columnas C3 y D3 – nivel 0+19,25 m 145
29 Resumen global – columnas C6 y D6 – nivel 0+19,25 m 146
30 Resumen global – columnas C7 y D7 – nivel 0+19,25 m 147
31 Resumen de cargas para peso sísmico – nivel 0+19,25m 148
32 Resumen global – columnas C2 y D2 – nivel 0+15,40 m 150
33 Resumen global – columnas C3 y D3 – nivel 0+15,40 m 151
34 Resumen global – columnas C6 y D6 – nivel 0+15.40 m 152
35 Resumen global – columnas C7 y D7 – nivel 0+15,40 m 153
36 Resumen global – columnas B2 y E2 – nivel 0+15,40 m 155
37 Resumen global – columnas B3 y E3 – nivel 0+15,40 m 156
38 Resumen global – columnas B6 y E6 – nivel 0+15,40 m 157
39 Resumen global – columnas B7 y E7 – nivel 0+15,40 m 158
40 Resumen global – columnas A2 y F2 – nivel 0+15,40 m 160
41 Resumen global – columnas A3 y F3 – nivel 0+15,40 m 161
42 Resumen global – columnas A6 y F6 – nivel 0+15,40 m 162
43 Resumen global – columnas A7 y F7 – nivel 0+15,40 m 163

44 Resumen de cargas para peso sísmico – nivel 0+15,40 m 164
45 Resumen global – columnas C2 y D2 – nivel 0+11,50 m 166
46 Resumen global – columnas C3 y D3 – nivel 0+11,55 m 167
47 Resumen global – columnas C6 y D6 – nivel 0+11,55 m 168
48 Resumen global – columnas C7 y D7 – nivel 0+11,55 m 169
49 Resumen global – columnas B2 y E2 – nivel 0+11,55 m 171
50 Resumen global – columnas B3 y E3 – nivel 0+11,55 m 172
51 Resumen global – columnas B6 y E6 – nivel 0+11,55 m 173
52 Resumen global – columnas B7 y E7 – nivel 0+11,55 m 174
53 Resumen global – columnas A2 y F2 – nivel 0+11,55 m 176
54 Resumen global – columnas A3 y F3 – nivel 0+11,55 m 177
55 Resumen global – columnas A6 y F6 – nivel 0+11,55 m 178
56 Resumen global – columnas A7 y F7 – nivel 0+11,55 m 179
57 Resumen de cargas para peso sísmico – nivel 0+11,55 m 180
58 Resumen global – columnas C2 y D2 – nivel 0+7,70 m 182
59 Resumen global – columnas C3 y D3 – nivel 0+7,70 m 183
60 Resumen global – columnas C6 y D6 – nivel 0+7,70 m 184
61 Resumen global – columnas C7 y D7 – nivel 0+7,70 m 185
62 Resumen global – columnas B2 y E2 – nivel 0+7,70 m 187
63 Resumen global – columnas B3 y E3 – nivel 0+7,70 m 188
64 Resumen global – columnas B6 y E6 – nivel 0+7,70 m 189
65 Resumen global – columnas B7 y E7 – nivel 0+7,70 m 190
66 Resumen global – columnas A2 y F2 – nivel 0+7,70 m 192
67 Resumen global – columnas A3 y F3 – nivel 0+7,70 m 193
68 Resumen global – columnas A6 y F6 – nivel 0+7,70 m 194
69 Resumen global – columnas A7 y F7 – nivel 0+7,70 m 195
70 Resumen de cargas para peso sísmico – nivel 0+7,70 m 196

71 Resumen global – columnas C2 y D2 – nivel 0+3,85 m 198
72 Resumen global – columnas C3 y D3 – nivel 0+3,85 m 199
73 Resumen global – columnas C6 y D6 – nivel 0+3,85 m 200
74 Resumen global – columnas C7 y D7 – nivel 0+3,85 m 201
75 Resumen global – columnas B2 y E2 – nivel 0+3,85 m 203
76 Resumen global – columnas B3 y E3 – nivel 0+3,85 m 204
77 Resumen global – columnas B6 y E6 – nivel 0+3,85 m 205
78 Resumen global – columnas B7 y E7 – nivel 0+3,85 m 206
79 Resumen global – columnas A2 y F2 – nivel 0+3,85 m 208
80 Resumen global – columnas A3 y F3 – nivel 0+3,85 m 209
81 Resumen global – columnas A6 y F6 – nivel 0+3,85 m 210
82 Resumen global – columnas A7 y F7 – nivel 0+3,85 m 211
83 Resumen de cargas para peso sísmico – nivel 0+3,85 m 212
84 Tabla de cálculo para centros de masa por áreas, Nivel 0+19,25 m y niveles inferiores 215
85 Tabla de cálculo para centros de masa por áreas, nivel 0+15,40 m y niveles inferiores 218
86 Continuación de tabla de cálculo para centros de masa por áreas, nivel 0+15,40 m y niveles inferiores 219
87 Tabla de cálculo para centros de masa por áreas, nivel 0+11,55 m y niveles inferiores 222
88 Tabla de fuerzas horizontales sísmicas por nivel 228
89 Tabla de coeficientes topográficos 231
90 Tabla de coeficientes de direccionalidad 232
91 Coeficientes de presión para la estructura como una unidad 236
92 Tabla de datos para cálculo de M_0 237
93 Tabla de datos para cálculo de resistencia a momento de los muros 238

94 Tabla de datos para cálculo de resistencia a momento de los pórticos 239
95 Tabla de momento resistente total del sistema 239
96 Distancia de columnas y muros de carga al centro de masa respecto al eje para cálculo de suma de cuadrados y carga vertical no mayorada máxima incluyendo efectos de vuelco por carga lateral 244
97 Tabla de valores mediante el método de análisis de nodos 254
98 Límite superior de la razón de deriva inelástica 278
99 Tabla de valores de desplazamiento para control de derivas 279
100 Características nominales para barras de refuerzo 280
101 Tabla de resultados de fuerzas axiales y momento de vuelco comparativas entre metodologías 297
102 Tabla de datos de diseño a flexo-compresión 300
103 Número máximo de barras longitudinales en una capa para vigas maestras y vigas 305
104 Desglose de datos de elemento estructural 309
105 Desglose de costos total de vigas de entrepiso 309
106 Número máximo de barras longitudinales por cara en una columna rectangular 310
107 Desglose de datos de elemento estructural columna 313
108 Desglose de costos total de columnas 313
109 Desglose de datos viga 0,30 m x 0,15 m 327
110 Desglose de costos viga 0,30 m x 0,15 m 327
111 Desglose de datos viga 0,40 m x 0,25 m 327
112 Desglose de costos viga 0,40 m x 0,25 m 328
113 Desglose de datos viga 0,40 m x 0,20 m 328
114 Desglose de costos viga 0,40 m x 0,20 m 328
115 Desglose de datos viga 0,35 m x 0,20 m 329
116 Desglose de costos viga 0,35 m x 0,20 m 329

117 Desglose de datos columna 0,30 m x 0,30 m 336
118 Desglose de costos columna 0,30 m x 0,30 m 336
119 Desglose de datos columna 0,35 m x 0,35 m 336
120 Desglose de costos columna 0,35 m x 0,35 m 337
121 Desglose de datos columna 0,40 m x 0,40 m 337
122 Desglose de costos columna 0,40 m x 0,40 m 337
123 Desglose de datos columna 0,50 m x 0,35 m 338
124 Desglose de costos columna 0,50 m x 0,35 m 338
125 Tabla de costos directos por materiales 340
126 Costos técnicos del método de diseño simplificado 343
127 Costos técnicos del método de diseño por elementos finitos 343

Dedicatoria

A mi familia, con quien aprendí que la verdadera fortaleza nace del amor y del apoyo incondicional. Gracias por acompañarme en cada paso de este largo camino, por sostenerme en los momentos de cansancio, por celebrar conmigo cada avance, por comprender mis ausencias y por enseñarme con su ejemplo el valor del sacrificio y la perseverancia. Esta meta no habría sido posible sin el cariño que me impulsó a no rendirme nunca.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartí largas noches de estudio, incontables conversaciones sobre sueños y metas, y la satisfacción de ver cómo poco a poco el esfuerzo colectivo se transformaba en aprendizaje. Su compañía hizo de esta experiencia algo más humano y más significativo, porque más allá de los libros y los cálculos, fueron las personas quienes marcaron la diferencia.

A mis profesores, quienes dedicaron su tiempo y su pasión a moldear no solo futuros ingenieros, sino profesionales conscientes del impacto que nuestro trabajo tiene en la sociedad. Gracias por su paciencia, su compromiso y por transmitirme con entusiasmo la grandeza y la responsabilidad de la ingeniería civil.

A todos ustedes, les dedico este logro que no es solo mío, sino el reflejo de cada palabra de aliento, cada consejo y cada gesto de apoyo recibido a lo largo de este recorrido académico.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, han sido fundamentales en la culminación de este arduo, pero gratificante proceso.

En primer lugar, a quienes fueron mis profesoras y profesores de la Escuela de Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Electromecánica y Escuela de Arquitectura, por compartir su conocimiento y por cada clase en la que no solo aprendí teoría, sino también la importancia de la perseverancia y la disciplina en esta profesión. Sus enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi formación.

A la ingeniera Andrea Calderón, mi tutora de tesis y profesora de Introducción a la Ingeniería Civil, por las giras de proyecto, por su valiosa guía, dedicación y apoyo durante el desarrollo de esta tesis, contribuyendo de manera significativa a mi formación profesional como ingeniero civil.

Al arquitecto Adrián Solórzano, mi profesor de Taller Intensivo de Investigación, por su orientación, compromiso y enseñanza, cuyo acompañamiento fue fundamental para la culminación de este trabajo de licenciatura en ingeniería civil.

Al ingeniero Carlos Lizano, mi lector de tesis, por su tiempo, disposición y valiosas observaciones como lector de tesis, las cuales contribuyeron al enriquecimiento y calidad de este trabajo.

Al ingeniero Angelo Murcia, mi director de carrera, por su liderazgo inspirador, su apoyo incondicional y su constante disposición para fomentar el crecimiento académico y profesional de los estudiantes. Su confianza y motivación han sido un impulso importante para mis logros académicos.

A la arquitecta Sharon Araya, directora de arquitectura y mi profesora de Administración de la Construcción, por su apoyo, apertura y colaboración interdepartamental. Su disposición para impulsar el aprendizaje integral ha sido un valioso aporte en mi formación profesional.

A la filóloga Ana Victoria Herrera, quien con un compromiso admirable y una dedicación incansable ha revisado minuciosamente este documento. Su labor, realizada incluso durante largas jornadas y hasta altas horas de la madrugada, ha sido fundamental para alcanzar el nivel de calidad que este trabajo requiere. Su esfuerzo y profesionalismo representan un aporte invaluable, y me siento profundamente agradecido por su entrega y acompañamiento en esta etapa tan importante de mi formación académica.

Finalmente, a mi familia por ser mi pilar incondicional, por su apoyo en los momentos de estrés y por recordarme siempre que todo esfuerzo tiene su recompensa.

A mis amigos y compañeros más cercanos de carrera, por las incontables horas de estudio compartidas, por el compañerismo y por hacer que este camino fuera mucho más llevadero.

A todos ustedes, gracias.

Este logro también es suyo.

Epígrafe

″Cada proyecto es una oportunidad para crear algo único y especial.″

Santiago Calatrava

Resumen

Este trabajo compara los resultados de diseño estructural y costos de construcción de los elementos estructurales para una edificación de concreto reforzado de cuatro niveles, utilizando dos metodologías: el método simplificado de la Norma ACI 314R-11 y el análisis de elementos finitos en SAP2000.

El objetivo principal es evaluar las diferencias en el dimensionamiento de elementos estructurales, esfuerzos internos y consumo de materiales entre ambos enfoques. Para ello, se plantea el objetivo de realizar el análisis estructural de la edificación con ambas metodologías y comparar los resultados obtenidos, para luego cuantificar el impacto económico de las discrepancias en el consumo de materiales, mediante un presupuesto detallado, y evaluar la diferencia de costos utilizando criterios financieros como la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Valor Actual Neto (VAN) y el Retorno de la Inversión (ROI).

Los resultados incluyen planos estructurales, tablas comparativas, diagramas de cortante, momento y deformaciones, así como recomendaciones sobre la eficiencia de cada método en términos de diseño y costos. La investigación busca contribuir al entendimiento de las implicaciones técnicas y económicas del uso de metodologías avanzadas en el diseño estructural de edificaciones.

Palabras clave: Diseño estructural, concreto reforzado, Instituto Americano del Concreto ACI 314R-11, Análisis de elementos finitos (FEM, por sus siglas en inglés), Programa de Análisis Estructural (SAP2000), optimización de costo.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

En el diseño estructural de edificaciones de concreto reforzado, la elección del método de diseño y análisis estructural influye directamente en la seguridad, eficiencia y costos de construcción. Existen distintos enfoques para desarrollar este proceso, desde métodos simplificados basados en normativas hasta análisis computacionales avanzados.

En particular, el método de diseño simplificado establecido en la Norma ACI 314RS-11 y el análisis de elementos finitos mediante software especializado, como SAP2000, son dos alternativas utilizadas en la ingeniería civil. Si bien ambos métodos permiten dimensionar los elementos estructurales, no siempre es evidente la diferencia en los resultados de diseño obtenidos con cada uno.

Por su parte, la estimación de materiales, la optimización de secciones y el costo total del proyecto pueden variar en función del método empleado. Un diseño más detallado podría generar ahorros en materiales mediante una distribución más precisa de esfuerzos, mientras que un método simplificado podría resultar en un proceso más rápido, pero con márgenes de seguridad que incrementen el consumo de recursos.

Dado que los costos de construcción son un factor clave en la viabilidad de un proyecto, es necesario analizar comparativamente los resultados de diseño obtenidos con ambos métodos. Determinar cómo influyen estas diferencias en la cantidad de materiales utilizados y en la eficiencia económica permitirá tomar decisiones más informadas al seleccionar un método de diseño.

1.2 Hipótesis

En el diseño estructural de edificaciones de concreto reforzado, la elección del método de análisis puede influir en los resultados obtenidos, particularmente, en términos de dimensiones de los elementos estructurales, cantidad de materiales empleados y costos de construcción. En este contexto, la presente investigación busca determinar si existen diferencias significativas entre los resultados de diseño obtenidos mediante el método simplificado de la Norma ACI 314RS-11 y aquellos obtenidos a través del análisis de elementos finitos en

SAP2000.

Con base en lo anterior, se establece la siguiente hipótesis:

- ¿De qué manera varían los resultados de diseño estructural y los costos de construcción de edificaciones de concreto reforzado al utilizar el método simplificado de la Norma ACI 314RS-11 en comparación con el análisis de elementos finitos en SAP2000, considerando las diferencias en las dimensiones de los elementos, los esfuerzos internos y el consumo de materiales, y cómo influyen en estas variaciones las metodologías y criterios de diseño propios de cada enfoque?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Comparar los resultados de diseño estructural y los costos de construcción de edificaciones de concreto reforzado obtenidos mediante el método simplificado de la Norma ACI 314RS-11 y el análisis de elementos finitos en SAP2000, con el fin de evaluar las diferencias entre ambos enfoques y su impacto en la eficiencia estructural y económica en el sector de la construcción, el cual es el sector secundario de la economía de Costa Rica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el análisis estructural de una edificación de concreto reforzado de 5 niveles y 370 m^2 por nivel para el uso de unidades habitacionales, diseñado con un sistema estructural de concreto armado aporticado utilizando el método simplificado de la Norma ACI 314RS-11 y el análisis de elementos finitos en SAP2000, con el fin de obtener y comparar los resultados de diseño.

- Cuantificar el impacto económico, mediante presupuesto detallado, de las discrepancias en el consumo de materiales (concreto y acero) entre el diseño normativo del ACI 314RS-11 y los análisis avanzados de SAP2000.

- Generar una evaluación de diferencia de costos utilizando conceptos financieros de Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Actual Neto (VAN) y Retorno de la Inversión (ROI).

1.4 Justificación

Esta investigación busca aportar información relevante sobre las diferencias entre el método simplificado de la Norma ACI 314RS-11 y el análisis de elementos finitos en SAP2000, con el objetivo de evaluar su impacto en el diseño estructural y la viabilidad económica de los proyectos.

Desde el punto de vista del diseño estructural, permitirá analizar la precisión y aplicabilidad de ambos métodos, identificando en qué casos pueden presentar discrepancias significativas en los resultados de diseño. Esto contribuirá a una mejor toma de decisiones en la práctica profesional, al ofrecer criterios para seleccionar el método más adecuado.

En términos económicos, la optimización del diseño estructural puede generar ahorros en la cantidad de materiales empleados, lo que se traduce en una reducción de costos de construcción. Comparar ambos enfoques permitirá determinar si uno de los métodos conduce a un diseño más eficiente en términos de costos sin comprometer la seguridad estructural.

La comparación es relevante para el proceso de diseño estructural, ya que proporciona información útil sobre las ventajas y limitaciones de cada método en la práctica. Asimismo, puede servir como referencia para futuros proyectos que busquen mejorar los procesos de diseño estructural en edificaciones de concreto reforzado.

Este estudio amplía la comprensión de las diferencias mediante la comparación, contribuyendo así al desarrollo de criterios más eficientes en la selección del método de diseño y su impacto en la economía de los proyectos de construcción.

1.5 Antecedentes

Investigaciones previas han evidenciado discrepancias entre los diseños normativos y los resultados obtenidos por medio de simulaciones computacionales, especialmente en la distribución de esfuerzos, desplazamientos y factores de seguridad. Mientras que la metodo-

logía del ACI 314RS-11 adopta suposiciones conservadoras, el análisis avanzado en SAP2000 permite una evaluación más precisa de las cargas y deformaciones en los elementos estructurales. Este estudio busca comprender estas diferencias, identificando sus implicaciones en el diseño estructural y su impacto en la seguridad y optimización de materiales.

1.5.1 Antecedentes Internacionales

A nivel internacional, diversos estudios han analizado las diferencias entre los diseños estructurales basados en normativas y los resultados obtenidos mediante modelos de elementos finitos en software avanzado, como SAP2000. Estas diferencias son especialmente relevantes en estructuras sometidas a cargas sísmicas o diseños de alta complejidad, lo que resalta la importancia de evaluar la precisión y limitaciones del diseño simplificado en comparación con herramientas de modelado más avanzadas.

A continuación, se enumeran los hallazgos más relevantes para esta investigación:

1. Cañas Castañeda (2021) realiza un análisis comparativo entre la Norma Sismo-Resistente Colombiana NSR-10 y el reglamento ACI 318R-18 para el diseño de estructuras de concreto reforzado. La investigación consistió en el diseño de una edificación bajo ambos reglamentos, evaluando diferencias en los criterios de resistencia, capacidad estructural y seguridad sísmica. Los resultados mostraron que el ACI 318R-18 introduce requisitos más estrictos en términos de detallado y refuerzo estructural, lo que conlleva un aumento en la demanda de materiales, pero a su vez mejora el desempeño sísmico de la edificación. Por otro lado, la NSR-10, al estar adaptada a condiciones específicas del contexto colombiano, permite optimizar algunos aspectos del diseño sin comprometer la seguridad estructural.

   Este estudio es relevante para la presente investigación, ya que demuestra cómo diferentes normativas pueden generar variaciones significativas en el diseño estructural y en la interpretación de los resultados obtenidos mediante herramientas de modelado estructural. A diferencia del estudio de Cañas Castañeda (2021), esta tesis se enfocará

en la comparación entre el diseño normativo del ACI 314RS-11 y los análisis avanzados realizados en SAP2000, con el fin de evaluar posibles discrepancias en la modelación y desempeño estructural de elementos sometidos a cargas sísmicas.

2. Cubillos Rojas (2021) efectúa un análisis comparativo entre la Norma Sismo-Resistente Colombiana NSR-10 y el reglamento estadounidense ACI 318S-19 para el diseño estructural de un edificio de concreto reforzado. La investigación tuvo como objetivo identificar las diferencias en los criterios de dimensionamiento, resistencia y seguridad estructural al aplicar ambas normativas. Para ello, se diseñó una edificación bajo los lineamientos de cada reglamento y se compararon los resultados obtenidos en términos de carga admisible, cuantía de refuerzo y desempeño sísmico. Los hallazgos evidenciaron que el ACI 318S-19 presenta requisitos más estrictos en el detallado del refuerzo, lo que conlleva una mayor demanda de materiales, pero también una mejora en la seguridad estructural y el comportamiento ante cargas dinámicas.

3. Amariles López (2022) elabora una investigación en la que compara los criterios de diseño estructural establecidos en el reglamento estadounidense ACI 318-19 y la Norma Sismo-Resistente Colombiana NSR-10 para pórticos de concreto reforzado en zonas de alta amenaza sísmica. La investigación analizó una edificación diseñada bajo ambos reglamentos, evaluando diferencias en resistencia, ductilidad, detallado del refuerzo y desempeño sísmico, mediante modelado computacional. Los resultados indicaron que el ACI 318-19 exige mayores niveles de confinamiento y cuantías de refuerzo en elementos estructurales, lo que mejora la capacidad de disipación de energía en eventos sísmicos severos. En contraste, la NSR-10, aunque adaptada a la sismicidad local, permite optimizar ciertos aspectos del diseño sin comprometer la seguridad estructural.

4. Brichetto Robayo (2020) creó un análisis comparativo entre las combinaciones de carga y los factores de reducción de resistencia establecidos en diferentes versiones del reglamento ACI 318, específicamente las ediciones 71-99 y 02-11. La investigación consistió

en el diseño de una estructura de concreto reforzado bajo ambos criterios normativos, evaluando las diferencias en la capacidad resistente, los márgenes de seguridad y la optimización del material. Los resultados mostraron que las versiones más recientes del ACI 318 (02-11) introducen modificaciones en los coeficientes de carga y resistencia, lo que permite un diseño más eficiente sin comprometer la seguridad estructural. En contraste, las versiones anteriores, aunque más conservadoras, tienden a sobre dimensionar algunos elementos estructurales, incrementando el consumo de materiales y los costos de construcción.

Este estudio es relevante para la presente investigación, ya que permite comprender la evolución de los criterios normativos y su impacto en el diseño estructural. A diferencia del trabajo de Brichetto Robayo (2020), esta tesis se enfocará en la comparación entre el diseño simplificado del ACI 314RS-11 y los resultados obtenidos gracias al análisis de elementos finitos en SAP2000, con el fin de evaluar posibles discrepancias en la resistencia estructural y en la aplicación de factores de seguridad.

5. Mejía Orozco (2018) investigó la optimización en el diseño estructural de pórticos de concreto armado mediante el uso del software SAP2000. La investigación, publicada en la Revista Colombiana de Investigación en Ingeniería, tuvo como objetivo mejorar la eficiencia del diseño estructural, utilizando la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de SAP2000 para automatizar procesos de análisis y optimización de secciones. A través de simulaciones numéricas y estudios comparativos, los resultados evidenciaron que la implementación de herramientas computacionales avanzadas permite reducir significativamente el consumo de material sin comprometer la seguridad estructural, en comparación con metodologías tradicionales basadas en normativas como el ACI 318.

1.5.2 Antecedentes Nacionales

En Costa Rica, el diseño estructural se rige por normativas como el Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR) y el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR), mientras que herramientas avanzadas como SAP2000 permiten modelar con mayor precisión el comportamiento de las estructuras. Investigaciones locales han explorado el uso de SAP2000 en el diseño y optimización de estructuras, pero aún es necesario profundizar en las diferencias específicas entre estos enfoques para mejorar la precisión y seguridad en el diseño estructural costarricense. Se revisaron documentos, investigaciones, propuestas a nivel nacional. A continuación, se enumeran los hallazgos más relevantes para la investigación:

1. Miranda Moya (2019) realizó el estudio "Efectos del incremento de la resistencia especificada a compresión en el diseño de edificaciones aporticadas" en donde analiza el impacto del aumento de la resistencia del concreto en la configuración estructural de edificaciones aporticadas. La investigación, realizada en Costa Rica, se basa en normativas como el ACI 318S-14 y el CSCR, utilizando herramientas computacionales avanzadas para evaluar el desempeño estructural de los elementos diseñados. Este antecedente es importante para la presente investigación, ya que destaca la importancia de evaluar el impacto de las propiedades del material en el diseño estructural y su comparación con enfoques normativos simplificados. En este sentido, la presente tesis busca ampliar esta línea de investigación mediante un análisis comparativo entre el diseño estructural basado en el ACI 314RS-11 y los resultados obtenidos mediante SAP2000, con el fin de comprender mejor las discrepancias en la estimación de esfuerzos y deformaciones en estructuras aporticadas de concreto reforzado.

2. Garita Naranjo (2022) desarrolla la investigación "Comparación del análisis y diseño estructural de edificios utilizando la inercia equivalente del CSCR10-14 versus la del ACI-318-19"; y allí evalúa las diferencias en la determinación de la inercia equivalente de elementos estructurales en edificaciones diseñadas bajo el CSCR10-14 y la norma-

tiva ACI 318-19. Mediante el uso de herramientas de análisis estructural avanzadas como SAP2000, la investigación analiza el impacto de las discrepancias normativas en la rigidez de los elementos y en la respuesta global de la estructura ante cargas gravitacionales y sísmicas.

3. Abarca Duarte (2020) confecciona la investigación "Optimización estructural de un edificio con marcos de concreto reforzado" en donde utiliza el método de capacidad espectral, comparando los resultados de la modelación con plasticidad concentrada y distribuida, analiza el desempeño estructural de edificaciones de concreto reforzado, mediante la aplicación del método de capacidad espectral. La investigación compara los resultados obtenidos al modelar el comportamiento no lineal de los elementos estructurales, implementando enfoques de plasticidad concentrada y plasticidad distribuida, evaluando su impacto en la precisión del análisis estructural.

   Mediante el uso de herramientas avanzadas de simulación como SAP2000, el estudio examina cómo cada metodología influye en la predicción de desplazamientos, fuerzas internas y mecanismos de falla de la estructura bajo cargas sísmicas. Los resultados evidencian que la modelación con plasticidad distribuida proporciona una representación más detallada del comportamiento real de la estructura, mientras que el enfoque de plasticidad concentrada tiende a subestimar la disipación de energía y la redistribución de esfuerzos.

4. En su estudio, Cuevillas Mora (2020) modela edificios equivalentes de muros con losas planas y edificios con muros y vigas, los cuales fueron analizados mediante el método de capacidad espectral para comparar diferentes factores como los períodos, derivas, ductilidades en el punto de desempeño, cortantes basales y sobrerresistencias.

   Los resultados indicaron diferencias significativas en el comportamiento sísmico entre ambos sistemas estructurales, destacando la importancia de seleccionar el sistema adecuado, según las demandas específicas de diseño y las características sísmicas en Costa

Rica.

5. González Hernández (2015) realiza una comparación detallada entre el CSCR-10 y la norma estadounidense ASCE 7-10 en cuanto al análisis, diseño y requisitos estructurales para sistemas sismo-resistentes tipo marco de concreto reforzado. La investigación se enfoca en contrastar aspectos como los espectros de diseño, análisis de cortantes basales, deformaciones, derivas y requisitos de detallado estructural. Para ello, se emplea el software ETABS para modelar y analizar estructuras representativas bajo ambas normativas. Los resultados indican que las normativas estadounidenses presentan parámetros de respuesta sísmica más exigentes, lo que se traduce en diferencias significativas en el diseño y comportamiento de las estructuras analizadas. Además, se concluye que valores altos de ductilidad son poco prácticos en diseños gobernados por desplazamientos y deformaciones internas.

   Este antecedente es fundamental para la presente investigación, pues proporciona una base comparativa entre normativas sísmicas de diferentes regiones y sus implicaciones en el diseño estructural.

1.6 Proyecciones

La presente investigación busca generar un análisis comparativo entre el método de diseño simplificado de la Norma ACI 314RS-11 y el análisis de elementos finitos en SAP2000, con el objetivo de evaluar sus diferencias en términos estructurales y económicos.

Se proyectan los siguientes beneficios y aplicaciones:

1. Aplicabilidad en la etapa de diseño estructural:

   Los hallazgos podrán ser utilizados para seleccionar el método más adecuado, según las características y requerimientos específicos de cada edificación, optimizando tanto el proceso de diseño como los costos de construcción.

   La comparación de ambos enfoques permitirá definir condiciones bajo las cuales uno

u otro método puede ser más conveniente, estableciendo lineamientos que faciliten la toma de decisiones.

2. Desarrollo de estrategias para la implementación de herramientas computacionales en el diseño estructural:

   Fomentar la enseñanza y el uso de software de análisis estructural avanzado en la práctica profesional, proporcionando lineamientos para integrar estos métodos en el diseño habitual sin afectar el cumplimiento normativo ni los estándares de seguridad.

3. Optimización de materiales y costos:

   Dependiendo de los resultados obtenidos, se podrán proponer estrategias para mejorar la eficiencia en el uso de materiales en edificaciones de concreto reforzado, contribuyendo a la sostenibilidad y reducción de costos en el sector de la construcción.

1.6.1 Alcances

1. El trabajo se centrará en una edificación de concreto reforzado de 5 niveles y 370 m^2 por nivel para el uso de unidades habitacionales, diseñado con un sistema estructural de concreto armado aporticado determinada según criterios de uso común en la construcción.

2. Métodos de análisis considerados: Se emplearán el método de diseño simplificado de la Norma ACI 314RS-11 y el diseño mediante análisis de elementos finitos en SAP2000.

3. Parámetros de comparación: La investigación se enfocará en la comparación de resultados de diseño estructural, considerando dimensiones de los elementos, cantidad de materiales empleados y costos de construcción estimados.

4. Se incluirán los planos de distribución de áreas y elementos estructurales detallados de la edificación analizada, los cuales servirán como base para la aplicación de ambos métodos de diseño.

5. Se presentarán tablas de cálculo estructural que mostrarán los resultados obtenidos para cada método, permitiendo una comparación cuantitativa y cualitativa.

6. Se incorporarán los diagramas generados a partir de los análisis estructurales como los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector en los elementos estructurales, los diagramas de deformaciones y desplazamientos, mostrando la respuesta de la estructura ante cargas aplicadas y los diagramas de derivas y distorsiones, fundamentales para evaluar el comportamiento de la edificación frente a cargas laterales.

7. Se incluirán sugerencias basadas en los resultados obtenidos, las cuales servirán para orientar la selección del método de diseño más adecuado en función de los criterios estructurales y económicos.

1.6.2 Limitaciones

1. La Norma ACI 314RS-11 utiliza simplificaciones en los cálculos, lo que podría generar diferencias en comparación con el análisis detallado mediante SAP2000, especialmente, en la distribución de cargas y esfuerzos en los elementos del pórtico.

   Debido a esto, se podrán identificar qué aspectos del análisis de elementos finitos son relevantes para el diseño normativo y cómo pueden integrarse criterios de ajuste para mejorar la aproximación del método simplificado.

2. El método simplificado ACI 314R-11 se basa en coeficientes globales y no en un análisis dinámico detallado, lo que podría generar discrepancias en los resultados frente al análisis modal espectral en SAP2000.

   Es por esto que se puede explorar la implementación de análisis sísmicos más avanzados en SAP2000 para evaluar hasta qué punto estas diferencias afectan el diseño.

3. Este estudio se fundamenta en modelos computacionales sin la realización de pruebas físicas o ensayos a escala real, lo que limita la verificación de los resultados obtenidos.

4. El análisis financiero se realiza utilizando todos los valores en moneda local de Costa Rica (colones), debido a que los precios de los materiales se encuentran en esa moneda. Para efectos de cambio de moneda a dólares americanos ($US\$$) se sugiere un tipo de cambio de 502.23 colones por cada dólar al día 8 de julio de 2025.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Propiedades Mecánicas del Concreto Reforzado

2.1.1 Resistencia a la Compresión, Módulo de Elasticidad y Comportamiento Ante Cargas

El concreto es un material compuesto, cuyas propiedades mecánicas dependen de factores como la relación agua/cemento, el tipo de agregado y las condiciones de curado. Según Mehta (1998), entre las propiedades más relevantes para el diseño estructural se encuentran la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y el comportamiento ante cargas.

Por su parte, la resistencia a la compresión es la propiedad mecánica más importante del concreto y se define como la capacidad del material para soportar cargas de compresión sin fallar. Generalmente, se mide en cilindros estándar de 150 mm por 300 mm bajo ensayo, según normas como la ASTM C39.

La resistencia final del concreto depende de factores como:

- Relación agua/cemento: Una menor relación agua/cemento aumenta la resistencia.
- Tipo de cemento y aditivos: Materiales puzolánicos mejoran la durabilidad y resistencia.
- Proporción y granulometría del agregado: Un buen empacamiento de agregados mejora la resistencia mecánica.
- Condiciones de curado: Un curado adecuado mantiene la hidratación del cemento, maximizando la resistencia final.

Mehta (1998) sugiere que la resistencia a la compresión del concreto puede oscilar entre 20 MPa y más de 100 MPa, dependiendo del diseño de la mezcla y de las condiciones de curado.

El módulo de elasticidad del concreto representa su capacidad de deformarse de manera elástica bajo cargas aplicadas y está relacionado con su rigidez. Su valor depende directamente de la resistencia a la compresión y la rigidez de los agregados utilizados.

En términos generales, el módulo de elasticidad (Ec) se estima mediante la ecuación empírica:

$$E_c = 4700\sqrt{f'c} \tag{1}$$

Donde:

$f'c$: Resistencia a la compresión. (MPa)

Mehta (1998) alude que el concreto de resistencia normal tiene un módulo de elasticidad en el rango de 20 GPa a 40 GPa, mientras que los concretos de alta resistencia pueden superar los 50 GPa.

El **comportamiento del concreto ante carga** es influenciado por sus propiedades mecánicas y su interacción con el refuerzo.

Mehta (1998) describe que:

- En el rango plástico, aparecen micro fisuras en la matriz cementicia, especialmente en la zona de transición entre la pasta de cemento y los agregados.
- En el rango elástico, el concreto responde de manera proporcional a la carga aplicada, sin presentar fisuras significativas.
- En el fallo estructural, la fisura se propaga rápidamente y la capacidad de carga disminuye hasta la ruptura del material.

La presencia de acero de refuerzo en estructuras de concreto armado mejora la capacidad de resistir esfuerzos de tracción y ductilidad, evitando fallas frágiles y proporcionando advertencias antes del colapso.

2.1.2 Interacción Acero-Concreto y Adherencia Entre Materiales

Park (1980) señala que en las estructuras de concreto reforzado, la interacción entre el acero y el concreto es un aspecto fundamental que garantiza el correcto funcionamiento del sistema estructural. La adherencia entre estos materiales permite que trabajen de manera conjunta, transfiriendo esfuerzos y evitando fallas prematuras. Esta adherencia es el resultado de una combinación de mecanismos físicos y químicos que actúan en la interfaz acero-concreto.

La adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo se debe a varios factores, entre ellos se encuentran:

- Adherencia química: Ocurre debido a la hidratación del cemento y la formación de compuestos que generan una unión inicial entre el concreto y el acero. Sin embargo, esta adherencia es relativamente débil en comparación con otros mecanismos.
- Adherencia mecánica: Es el resultado del anclaje del concreto en las deformaciones superficiales de las barras de refuerzo, especialmente, en barras corrugadas. La interacción mecánica mejora la transferencia de esfuerzos y aumenta la resistencia a la tracción.
- Fricción y efecto de confinamiento: Se genera por la contracción del concreto alrededor del acero, lo que incrementa la resistencia al deslizamiento del refuerzo dentro del concreto.

Estos mecanismos combinados permiten que el concreto transmita esfuerzos de tracción al acero, logrando que el material compuesto funcione como una unidad estructural.

La adherencia entre el acero y el concreto depende de diversos factores, tales como:

- Tipo y geometría de la barra de refuerzo: Las barras corrugadas presentan mayor adherencia en comparación con las lisas, debido a su textura superficial que mejora la interconexión mecánica.

- Calidad del concreto: Un concreto de mayor resistencia y menor relación agua/cemento mejora la adherencia.
- Longitud de anclaje: Para garantizar una transmisión eficiente de esfuerzos es necesario que las barras tengan una longitud mínima de anclaje adecuada, calculada con base en la resistencia del concreto y el diámetro de la barra.
- Confinamiento del concreto: La presencia de estribos o refuerzo transversal contribuye a mejorar la adherencia y reducir la posibilidad de deslizamiento del acero dentro del concreto.

La adherencia entre el acero y el concreto se define mediante el esfuerzo de adherencia τ que se obtiene como:

$$\tau = \frac{T}{\pi dl} \tag{2}$$

Donde:

τ: Esfuerzo de adherencia. (MPa)

T: Fuerza de tracción en la barra de refuerzo. (N)

d: Diámetro de la barra de refuerzo. (mm)

l: Longitud de anclaje. (mm)

Esta ecuación expresa la relación entre la fuerza transmitida por la barra y el área de contacto con el concreto.

Para garantizar una adecuada transferencia de esfuerzos, la longitud de desarrollo de una barra de acero en el concreto se calcula con:

$$L_d = \frac{\phi f y}{4\tau_b} \tag{3}$$

Donde:

L_d: Longitud de desarrollo. (mm)

ϕ: Coeficiente de reducción por adherencia.

fy: Esfuerzo de fluencia del acero. (MPa)

τ_b: Esfuerzo de adherencia máximo permisible. (MPa)

Según el ACI-318 (2019), el esfuerzo de adherencia de diseño τ_b en barras corrugadas se puede estimar como:

$$\tau_b = 0{,}083\sqrt{f'c} \tag{4}$$

Donde:

$f'c$: Resistencia a la compresión. (MPa)

Esta ecuación ayuda a determinar si el concreto tiene la capacidad de transmitir los esfuerzos requeridos al acero sin fallar por deslizamiento.

Para garantizar el correcto desempeño de una estructura de concreto reforzado es fundamental diseñar una adecuada adherencia entre el acero y el concreto. Esto implica considerar las normas de diseño que establezcan longitudes mínimas de anclaje, recubrimientos adecuados y disposiciones de refuerzo transversal para mejorar la interacción entre ambos materiales.

Park (1980) manifiesta que una adherencia deficiente puede comprometer el comportamiento estructural, especialmente, en eventos extremos como sismos o sobrecargas, donde la transferencia efectiva de esfuerzos es esencial para evitar colapsos.

2.2 Fundamentos del Diseño Estructural

Cálculo de esfuerzos internos en vigas, columnas y losas como elementos estructurales: momento flector, esfuerzo cortante, torsión, carga axial y flexo compresión.

2.2.1 Esfuerzos Internos de Momento Flector en Vigas $[M(x)]$

El cálculo del momento flector positivo y negativo en una viga de hormigón armado depende de las condiciones de apoyo y del tipo de carga aplicada.

Para una viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida, la ecuación del momento flector máximo en el centro de la viga es:

$$M_{max} = \frac{qL^2}{8} \tag{5}$$

Donde:

M_{max}: Momento flector máximo. $(kN \cdot m)$

q: Carga uniformemente distribuida. (kN/m)

L: Luz de la viga. (m)

Para una viga simplemente apoyada con carga puntual en una posición arbitraria, la ecuación a utilizar es:

$$M_{max} = P\frac{ab}{L} \tag{6}$$

Donde:

P: Carga puntual. (kN)

a, b: Distancias desde los apoyos al punto de aplicación de la carga. (m)

L: Luz total de la viga. (m)

Para una viga empotrada en ambos extremos con carga uniformemente distribuida, las ecuaciones del momento flector máximo y mínimo son:

$$M_{neg} = -\frac{qL^2}{12} \tag{7}$$

$$M_{pos} = \frac{qL^2}{24} \tag{8}$$

Para una viga empotrada en ambos extremos con carga puntual en una posición arbitraria y si P se encuentra a una distancia a del extremo izquierdo y b del extremo derecho, las ecuaciones del momento flector máximo y mínimo son:

$$M_A = -P\frac{b^2\,(3a+b)}{L^3} \tag{9}$$

$$M_B = P\frac{a^2\,(3b+a)}{L^3} \tag{10}$$

Para una viga con múltiples apoyos y carga uniformemente distribuida, las ecuaciones del momento flector máximo y mínimo son:

$$M_{neg} = -\frac{qL^2}{10} \tag{11}$$

$$M_{pos} = \frac{qL^2}{14} \tag{12}$$

Según Hibbeler (2012), para una viga en un extremo empotrado y otro libre (voladizo) con carga uniformemente distribuida, la ecuación del momento flector máximo es:

$$M_{max} = -\frac{qL^2}{2} \tag{13}$$

2.2.2 Esfuerzos Internos de Cortante en Vigas $[V\,(x)]$

El cortante en una sección de la viga representa la fuerza interna que tiende a deslizar una parte de la sección transversal respecto a la otra. Se expresa como:

$$V\left(x\right) = \frac{dM}{dx} \tag{14}$$

Donde:

$V\left(x\right)$: Esfuerzo cortante en la sección x. (kN)

$M\left(x\right)$: Momento flector en la sección x. $(kN \cdot m)$

x: Distancia a lo largo de la viga. (m)

Para una viga con carga uniformemente distribuida y simplemente apoyada o empotrada en ambos extremos, el valor de cortante se obtiene:

$$V\left(x\right) = R_A - qx \tag{15}$$

$$V_{max} = \frac{qL}{2} \tag{16}$$

Según Beer (2020), el cortante es máximo en los apoyos y disminuye linealmente hacia el centro, donde se anula.

Para una viga simplemente apoyada y con una carga puntual en una posición arbitraria, el valor de cortante se obtiene:

Si la carga puntual P está a una distancia a del apoyo izquierdo y b del apoyo derecho $(a + b = L)$:

$$V\left(x\right) = \begin{pmatrix} \frac{Pb}{L}, 0 \leq x < a \\ \frac{Pb}{L} - P, x \geq a \end{pmatrix} \tag{17}$$

En una viga con un extremo empotrado y el otro libre (voladizo) y con una carga uniformemente distribuida:

$$V_{max} = qL \tag{18}$$

El cortante es máximo en el empotramiento y disminuye hasta cero en el extremo libre.

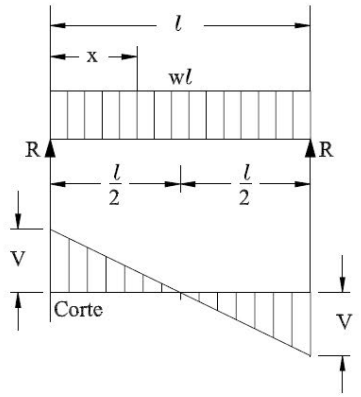
En una viga con un extremo empotrado y el otro libre (voladizo) y con una carga puntual en el extremo:

$$V\left(x\right) = -P \tag{19}$$

Hibbeler (2012) alude que el cortante es constante y negativo a lo largo de toda la viga.

Figura 1

Caso de carga para viga simplemente apoyada y carga uniformemente distribuida



Carga uniforme total equivalente	=	wl
R = V	=	$\frac{wl}{2}$
V_x	=	$w\left(\frac{l^2}{2} - x\right)$
M_{max} (al centro)	=	$\frac{wl^2}{8}$
M_x	=	$\frac{wx}{2}(l - x)$

Nota: Tabla 5-17, AISC 2025.

2.2.3 Esfuerzos Internos de Torsión en Vigas $[T\,(x)]$

La ecuación de diseño por resistencia a torsión en vigas de hormigón armado está regulada por normativas como ACI-318 (2019), las cuales determinan que la resistencia nominal a torsión de una viga de hormigón armado se expresa como:

$$T_n = T_c + T_s \tag{20}$$

Donde:

T_n: Resistencia nominal a torsión. $(kN \cdot m)$

T_c: Resistencia a torsión del hormigón. $(kN \cdot m)$

T_s: Resistencia a torsión del acero de refuerzo. $(kN \cdot m)$

El hormigón no reforzado tiene baja resistencia a torsión y se considera:

$$T_c = 0{,}33\sqrt{f'_c}A_o^2/P \tag{21}$$

Donde:

f'_c: Resistencia a compresión del hormigón. (MPa)

A_o: Área del núcleo de la sección, excluyendo recubrimientos. (m^2)

P: Perímetro del área encerrada por el centroide de los estribos. (m)

Cuando T_u>T_c se requiere estribado cerrado para resistir la torsión:

$$T_s = \frac{A_t f_y d_t s}{s_t} \tag{22}$$

Donde:

A_t: Área total de acero de estribos en cada rama.(cm^2)

f_y: Esfuerzo de fluencia del acero.(MPa)

d_t: Brazo interno de palanca.(m)

s: Espaciamiento entre ramas del estribo.(m)

s_t: Espaciamiento entre estribos.(m)

Las dimensiones de la sección transversal de una viga deben ser tales que se cumpla con:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1{,}7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0{,}66\sqrt{f'_c}\right) \tag{23}$$

Donde:

V_u: Fuerza cortante mayorada en la sección. (N)

b_w: Ancho de la sección. (mm)

d: Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción. (mm)

T_u: Torsión mayorada en la sección. $(N \cdot mm)$

P_h: Perímetro de la línea central del refuerzo transversal para torsión localizado más cerca del exterior de la sección. (mm)

A_{oh}: Área encerrada por el eje del refuerzo transversal cerrado más externo dispuesto para resistir la torsión. (mm^2)

Para la ecuación anterior, los dos términos en el lado izquierdo corresponden a los esfuerzos cortantes debidos a cortante y a torsión. La suma de estos dos esfuerzos no puede ser mayor que el esfuerzo que produce la fisuración por cortante.

2.2.4 Deformación (Deflexión) en Vigas [Δ]

La deformación (deflexión) de una viga de hormigón armado se refiere al desplazamiento vertical de la viga bajo cargas.

Para calcular la deflexión instantánea, ACI 318-19 recomienda la ecuación de la línea

elástica basada en la ecuación de la curva elástica de vigas:

Para vigas simplemente apoyadas y con carga puntual al centro:

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \tag{24}$$

Para vigas simplemente apoyadas y con carga distribuida:

$$\Delta = \frac{5qL^4}{384EI} \tag{25}$$

Donde:

Δ: Deflexión máxima. (m)

P: Carga puntual aplicada. (kN)

q: Carga distribuida. (kN/m)

L: Luz de la viga. (m)

E: Módulo de elasticidad del hormigón. (MPa)

I: Momento de inercia de la sección. (m^4)

Para vigas empotradas en ambos extremos con carga puntual en el centro:

$$\Delta = \frac{PL^3}{192EI} \tag{26}$$

Para vigas empotradas en ambos extremos con carga distribuida:

$$\Delta = \frac{5qL^4}{384EI} \tag{27}$$

La deflexión a largo plazo por fluencia y retracción se incluye en la deflexión total:

$$\Delta_{total} = \Delta_{instantanea}\,(1 + \lambda) \tag{28}$$

Donde:

λ: Factor de fluencia y retracción, depende del tiempo y la humedad relativa.

Valores típicos:

$\lambda = 2{,}0$ para cargas sostenidas por más de 5 años.

$\lambda = 1{,}4$ para cargas sostenidas entre 1 y 5 años.

ACI establece límites de deflexión permisibles en función del uso de la estructura:

Para elementos no sensibles:

$$\frac{L}{240} \tag{29}$$

Para elementos con acabados sensibles (techos, cielorrasos):

$$\frac{L}{360} \tag{30}$$

Tabla 1

Deflexión máxima admisible calculada.

Miembro	**Condición**		**Deflexión considerada**	**Límite de deflexión**
Cubiertas planas	Que no soporten ni estén ligados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido adeflexiones grandes		Deflexión inmediata debida a $L\{r\}$, S y R	L/180
Entrepisos			Deflexión inmediata debida a L	L/360
Cubiertas o entrepisos	Soporten o están ligados a elementos no estructurales	Susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes.	La parte de la deflexión total que ocurre después de la unión de los elementos no estructurales (la suma de la deflexión a largo plazo debida a todas las cargas permanentes, y la deflexión inmediata debida a cualquier carga viva adicional)	L/480
		No susceptibles de sufrir daños debido a deflexiones grandes		L/240

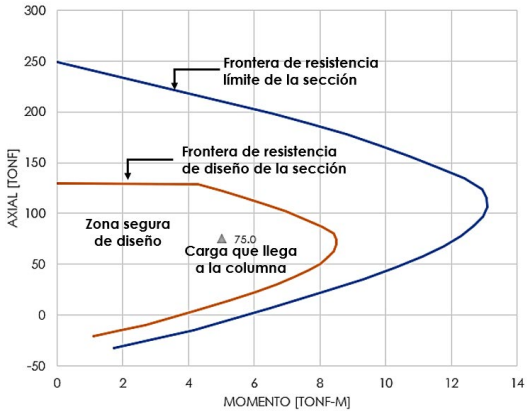
Nota. Tabla 24.2.2., ACI 314RS-11, 2025.

2.2.5 Flexo Compresión en Columnas

De acuerdo con la norma ACI 318S-19, el diseño de columnas sometidas a flexo compresión debe garantizar que la capacidad resistente del elemento supere la demanda de carga de diseño, considerando tanto el esfuerzo axial como los momentos en ambas direcciones. El análisis de interacción axial-flexión se realiza típicamente mediante la generación de un diagrama de interacción.

Figura 2

Diagrama de interacción para diseño a flexo compresión en columnas



La combinación de P_n y M_n (carga y momento de diseño) debe ubicarse dentro del diagrama de interacción resistente y se calcula de la siguiente manera:

$$\phi P_n = 0{,}65\,(\gamma \cdot f'c \cdot a \cdot b + f's \cdot A's - As \cdot fs) \tag{31}$$

$$\phi M_n = 0{,}65\left[\gamma \cdot f'c \cdot a \cdot b\left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + f's \cdot A's\left(\frac{h}{2} - d'\right) + As \cdot fs\left(d - \frac{h}{2}\right)\right] \tag{32}$$

Donde:

ϕ: Factor de reducción de resistencia.

γ: Esfuerzo máximo de compresión del concreto = 0,85

a: Altura de bloque de compresión.

b: Ancho de columna.

h: Largo de la columna.

d: Distancia desde la fibra más comprimida hasta el eje de aceros a tracción.

d': Distancia desde la fibra más comprimida hasta el eje de aceros a compresión.

2.2.6 Cortante en Columnas

En las columnas de concreto reforzado la resistencia al cortante es fundamental para garantizar el comportamiento estructural adecuado frente a fuerzas horizontales y verticales.

La resistencia nominal al cortante de una sección de columna V_n se calcula como:

$$V_n = V_c + V_s \tag{33}$$

Donde:

V_c: Resistencia al cortante provista por el concreto.

V_s: Resistencia al cortante proporcionada por el refuerzo transversal.

Resistencia del concreto al cortante (V_c):

$$V_c = 0{,}17\lambda\sqrt{f'c} \cdot bd \tag{34}$$

Resistencia del acero al cortante (V_s):

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \tag{35}$$

Donde:

A_v: Área total de refuerzo transversal por espaciamiento.

f_y: Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

d: Altura efectiva.

s: Espaciamiento entre los estribos.

2.2.7 Pandeo en Columnas

De acuerdo con el ACI 318S-19, el pandeo es la pérdida de estabilidad lateral de una columna bajo cargas de compresión, que puede provocar fallas antes de alcanzar su capacidad

última de carga.

La norma ACI establece que se debe evaluar el efecto de la esbeltez utilizando la relación de esbeltez efectiva:

$$\frac{k \cdot l}{r} \tag{36}$$

Donde:

k: Factor de longitud efectiva.

l: Longitud no soportada de la columna.

r: Radio de giro de la sección transversal.

El radio de giro (r) se calcula como:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_g}} \tag{37}$$

Cuando la relación de esbeltez es significativa:

$$\frac{k \cdot l}{r} > 22 \tag{38}$$

La resistencia a la carga axial debe reducirse utilizando un factor de reducción que considera los efectos de segundo orden (amplificación de momentos).

El momento amplificado (M_u) puede ser calculado por:

$$M_u = \delta_s \cdot M_{ns} \tag{39}$$

Donde:

M_u: Momento último de diseño.

δ_s: Factor de amplificación por efectos de segundo orden.

M_{ns}: Momento de primer orden, debido a cargas nominales.

El factor de amplificación (δ_s) se estima como:

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{P_{cr}}} \tag{40}$$

Donde:

P_u: Carga axial de diseño.

P_{cr}: Carga crítica de pandeo elástico de Euler.

La carga crítica de pandeo elástico de Euler se calcula como:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_c \cdot I}{(k \cdot l)^2} \tag{41}$$

Donde:

E_u: Módulo de elasticidad del concreto.

2.2.8 Torsión en Columnas

La torsión en columnas de concreto reforzado se refiere a la solicitación rotacional alrededor del eje longitudinal del elemento, causada por cargas excéntricas o fuerzas laterales aplicadas en el edificio. Se debe evaluar la necesidad de diseñar para torsión basándose en el análisis estructural. Si la torsión puede ser redistribuida o no es significativa, puede omitirse en el diseño, si no debe ser incluida explícitamente.

El ACI exige proporcionar refuerzo longitudinal y transversal cerrado (estribos o espirales) para resistir el esfuerzo cortante, debido a la torsión.

La fórmula para el diseño a torsión se calcula:

$$T_n = T_s + T_c \tag{42}$$

Donde:

T_n: Torsión nominal resistente.

T_s: Resistencia a torsión del refuerzo transversal.

T_c: Resistencia a torsión del concreto.

La torsión de diseño T_u debe cumplir:

$$\phi T_n \geq T_u \tag{43}$$

Donde:

ϕ: Factor de resistencia (normalmente 0,75 para torsión).

T_u: Torsión última requerida por el análisis.

El área de acero de refuerzo transversal para torsión se determina como:

$$A_{t,min} = \frac{T_u}{2A_0 \cdot f_{yt}} \tag{44}$$

Donde:

$A_{t,min}$: Área mínima de refuerzo transversal por espaciamiento.

A_0: Área encerrada por el centroide de los estribos cerrados.

f_{yt}: Resistencia especificada a la fluencia del acero transversal.

2.2.9 Diseño de Losas a Momento Flector

Las losas de concreto reforzado son elementos estructurales que resisten principalmente cargas gravitacionales, mediante la flexión.

El momento flector en las losas se produce, debido a cargas distribuidas o concentradas aplicadas sobre su superficie y el diseño debe asegurar que la resistencia última de la losa sea mayor o igual que el momento máximo que puede desarrollarse bajo las cargas factorizadas de diseño.

Condición de equilibrio:

$$\phi M_n \geq M_u \tag{45}$$

Donde:

ϕ: Factor de reducción de resistencia (0,9 para flexión pura).

M_n: Momento nominal resistente de la sección.

M_u: Momento último solicitado por el análisis estructural.

Cálculo del momento nominal (M_n):

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \tag{46}$$

Donde:

A_s: Área de acero de refuerzo en tensión.

f_y: Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

d: Altura efectiva de la sección.

a: Profundidad del bloque de compresión equivalente.

2.2.10 Diseño de Losas a Cortante

En losas apoyadas en dos bordes (como losas entre vigas o simplemente apoyadas), el cortante unidireccional actúa de forma similar al comportamiento de una viga. El diseño a cortante debe garantizar que la sección transversal pueda resistir la fuerza cortante sin requerir refuerzo adicional, en la mayoría de los casos.

Para miembros sin refuerzo a cortante, la resistencia a cortante se calcula como:

$$V_c = 0{,}17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d \tag{47}$$

Donde:

V_c: Resistencia nominal a cortante del concreto.

λ: Factor de modificación por tipo de agregado (1,0 para agregados normales).

b_w: Ancho efectivo de la losa o viga.

d: Profundidad efectiva.

2.3 Criterios de Dimensionamiento de Vigas, Columnas y Losas

El predimensionado de los elementos estructurales de concreto reforzado permite definir sus dimensiones iniciales antes de realizar análisis detallados. La norma ACI-314RS-11 (2013) establece criterios simplificados para asegurar resistencia, rigidez y servicio adecuado en edificaciones de concreto reforzado.

Las vigas son elementos horizontales diseñados para soportar momentos flectores y esfuerzos cortantes. Para garantizar estabilidad y evitar deformaciones excesivas, la norma ACI 314R-11 establece relaciones empíricas entre la luz de la viga y sus dimensiones.

2.3.1 Altura Mínima de Vigas (h)

Tabla 2

Espesor mínimo, h, para vigas, vigas maestras y viguetas en una dirección que soportan elementos no estructurales susceptibles de daño debido a deflexiones grandes

Continuidad en los apoyos	**Espesor mínimo h**
Simplemente apoyados	$\frac{l_s}{11}$
Un apoyo continuo	$\frac{l_s}{12}$
Ambos apoyos continuos	$\frac{l_s}{14}$
Voladizos	$\frac{l_s}{5}$

Nota. Tabla 6.5.3.2., ACI 314RS-11, 2025.

Donde:

h: Altura total de la viga. (m)

l_s: Luz libre de la viga entre apoyos. (m)

2.3.2 El Ancho de la Viga (b) *se Define en Función de la Altura* (h)

$$b = (0{,}3 \sim 0{,}5)\, h \tag{48}$$

Se recomienda un ancho mínimo de 200 mm para permitir una adecuada colocación del acero de refuerzo.

2.3.3 Dimensionado de Columnas

Las columnas son elementos verticales que resisten cargas axiales y momentos flectores. En edificaciones de hasta 5 niveles, la norma ACI-314RS-11 (2013) proporciona criterios simplificados para su dimensionamiento.

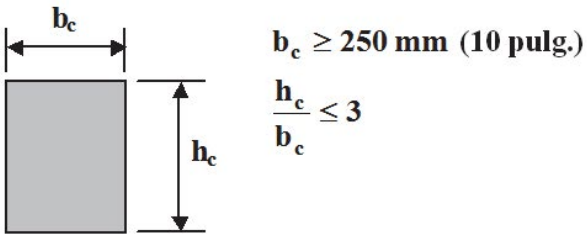
- Para garantizar estabilidad estructural y facilitar la construcción, la norma recomienda

que las dimensiones de la sección de columnas rectangulares deben cumplir con:

1. La menor dimensión de la sección transversal no debe ser inferior a 250 mm.
2. La relación entre la mayor dimensión de la sección y la menor no debe exceder 3, excepto en sistemas losa columna, donde no debe exceder 2.

Figura 3

Dimensiones mínimas de la sección transversal para columnas rectangulares



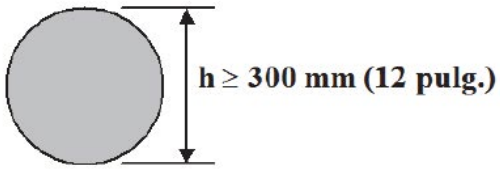
Nota. Figura 10.2.2.1., ACI 314 RS-11, 2025.

- Las columnas de sección circular son utilizadas en estructuras donde se requiere una mayor eficiencia en la distribución de esfuerzos o por razones arquitectónicas.

Las columnas con sección transversal circular, deben tener un diámetro mínimo de 300 mm.

Figura 4

Dimensión mínima de la sección transversal para columnas circulares



Nota. Figura 10.3.2.2., ACI 314 RS-11, 2025.

2.3.4 Espesor Mínimo de Losas (h)

Las losas son elementos estructurales horizontales encargados de transmitir cargas a vigas y columnas. En ACI 314R-11, se establecen requisitos de espesor mínimo en función

del tipo de losa y su apoyo.

Tabla 3

Espesor mínimo, h, para losas en una dirección que soportan elementos no estructurales susceptibles de daño por deflexiones grandes

Continuidad en los apoyos	**Espesor mínimo h**
Simplemente apoyados	$\frac{l_s}{14}$
Un apoyo continuo	$\frac{l_s}{16}$
Ambos apoyos continuos	$\frac{l_s}{19}$
Voladizos	$\frac{l_s}{7}$

Nota. Tabla 6.5.2.3., ACI 314RS-11, 2025.

El ACI 314RS-11 proporciona criterios simplificados para el dimensionamiento de vigas, columnas y losas en edificaciones de hasta 5 niveles. Estos criterios aseguran que los elementos estructurales tengan una rigidez y resistencia adecuadas, reduciendo la necesidad de análisis detallados en estructuras convencionales.

2.4 Estimación del Refuerzo de Acero en Función de los Esfuerzos Internos

El dimensionamiento del refuerzo de acero en elementos estructurales de concreto armado está determinado por los esfuerzos internos que actúan sobre ellos, principalmente, momento flector (M_u), cortante (V_u), torsión (T_u) y carga axial (P_u). La norma ACI 314RS-11 establece los criterios y fórmulas de diseño que garantizan la seguridad y funcionalidad de los elementos estructurales.

2.4.1 Diseño de Refuerzo Longitudinal a Flexión en Vigas

Para vigas cuyo ancho (b_w) sea mayor o igual a 300 mm, se puede determinar el número máximo de barras en una capa empleando la ecuación de número máximo de barras en una capa:

$$\#barras \leq \frac{b_w}{50} - 3 \tag{49}$$

Para vigas con ancho (b_w) menor a 300 mm, se utiliza la siguiente tabla:

Tabla 4

Número máximo de barras longitudinales en una capa para vigas

Ancho del alma de vigas bw , mm	**Número máximo de barras longitudinales**
$b_w < 200$ mm	Sección no permitida
200 mm $\leq b_w <$ 250 mm	Dos barras
250 mm $\leq b_w <$ 300 mm	Tres barras

Nota. Tabla 8.4.3.2., ACI 314RS-11, 2025.

Para el número mínimo de barras longitudinales por capas en vigas expuestas al suelo o a la intemperie, se debe usar el valor dado por la ecuación:

$$\#barras \leq \frac{b_w}{100} \tag{50}$$

El número mínimo de barras longitudinales en una capa para vigas no expuestas al suelo o a la intemperie debe ser el valor dado por la ecuación:

$$\#barras \leq \frac{b_w}{200} \tag{51}$$

El área mínima de refuerzo a tracción por flexión ($A_{s,min}$) para secciones rectangulares debe calcularse:

$$A_{s,min} = \rho_{min} d b_w \tag{52}$$

Donde la cuantía mínima (ρ_{min}) se define por los valores de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 5

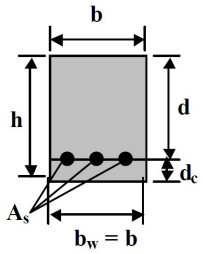
Cuantía mínima de refuerzo a flexión para vigas

Cuantía mínima	(f_y) **MPa**	
	280	420
(ρ_{min})	0,0050	0,0033
Se puede interpolar para valores diferentes de (f_y)		

Nota. Tabla 8.4.5., ACI 314RS-11, 2025.

Figura 5

Sección de viga rectangular



Nota: Figura 8.4.5a, ACI 314 RS-11 2025.

Cuantías máximas de refuerzo a flexión: la cuantía de refuerzo longitudinal, únicamente a tracción (ρ), sin exceder los valores de cuantía máxima (ρ_{max}) se calcula:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \leq \rho_{max} \tag{53}$$

Donde la cuantía máxima de refuerzo a flexión (ρ_{max}) se define por los valores de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 6

Cuantía máxima de refuerzo a flexión (ρ_{max})en vigas

		(f_y) **MPa**	
		280	**420**
(f'_c)	21	0,0280	0,0160
	24	0,0325	0,0190
	28	0,0370	0,0210
	31	0,0400	0,0230
	35	0,0435	0,0250

Nota. Tabla 8.4.6., ACI 314RS-11, 2025.

La resistencia de diseño a flexión de la sección de la viga debe ser mayor o igual que la resistencia requerida a flexión:

$$\phi M_n \geq M_u \tag{54}$$

Para obtener la resistencia de diseño a flexión para secciones rectangulares con acero solamente a tracción se utiliza la siguiente ecuación:

$$\phi M_n = \phi 0{,}85 A_s f_y d \tag{55}$$

Para la obtención del área de refuerzo a tracción, se calcula:

$$A_s \geq \frac{M_u}{\phi 0{,}85 f_y d} \tag{56}$$

Se debe obtener la cuantía de refuerzo a flexión:

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \tag{57}$$

Si (ρ) resulta menor que el mínimo admisible (ρ_{min}) de la Tabla 5 se debe incrementar (A_s) hasta cumplir con el mínimo.

Si (ρ) resulta mayor que el máximo admisible (ρ_{max}) de la Tabla 6, se deben modificar

las dimensiones de la sección o emplear refuerzo a compresión.

Refuerzo a compresión:

El uso de refuerzo a compresión en vigas no es necesario si la relación (d/d') es menor a los valores mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 7

Valores mínimos de d/d' para que el refuerzo a compresión sea efectivo

f_y, MPa	280	420
$d/d' \geq$	4	7

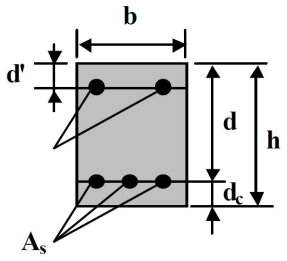
Nota. Tabla 8.4.9.2., ACI 314RS-11, 2025.

La cuantía de refuerzo longitudinal a tracción y compresión en vigas se debe calcular:

$$\rho - \rho' = \frac{A_s - A'_s}{bd} \leq \rho_{max} \tag{58}$$

Figura 6

Sección con refuerzo a tracción y a compresión



Nota: Figura 8.4.6, ACI 314 RS-11 2025.

Para cálculos de resistencia a flexión con refuerzo a compresión, se debe usar la ecuación:

$$\phi M_n = \phi \left[0{,}85 \left(A_s - A'_s\right) f_y d + A'_s f_y \left(d - d'\right)\right] \tag{59}$$

2.4.2 Refuerzo a Cortante en Vigas

La norma ACI 318S-19 establece que el área mínima de refuerzo a cortante A_v por unidad de longitud debe cumplir con:

$$\frac{A_v}{s} \geq \frac{0{,}062\sqrt{f'c}}{f_y} \cdot b_w \tag{60}$$

Donde:

$\frac{A_v}{s}$: Cantidad de refuerzo a cortante por unidad de longitud.

f_y: Resistencia a fluencia del acero del estribo.

b_w: Ancho de alma de la viga.

s: Separación entre estribos.

Este valor garantiza un nivel mínimo de resistencia al cortante, incluso cuando la demanda de diseño sea baja, y busca prevenir posibles fisuras inclinadas no controladas o no detectadas en la etapa de análisis.

2.4.3 Refuerzo Mínimo y Máximo a Flexocompresión en Columnas

Según ACI 318S-19, el área de refuerzo longitudinal A_{st} no debe ser menor que:

$$A_{st,min} = 0{,}01 \cdot A_g \tag{61}$$

Donde:

$A_{st,min}$: Área mínima de refuerzo longitudinal.

A_g: Área bruta de la sección transversal de la columna.

Esto significa que el refuerzo longitudinal debe representar al menos 1 % del área bruta de la sección.

También se limita el refuerzo longitudinal para evitar la congestión del acero y ase-

gurar un correcto vaciado del concreto.

$$A_{st,max} = 0{,}08 \cdot A_g \tag{62}$$

El área total de acero longitudinal no debe exceder el 8 % del área bruta de la columna.

2.4.4 Refuerzo a Cortante en Columnas

Las columnas de concreto armado sometidas a esfuerzos de cortante deben contar con refuerzo transversal (generalmente, en forma de estribos o espirales) para resistir el cortante generado por cargas gravitacionales y laterales. Este refuerzo tiene una función crítica en el confinamiento del concreto, la resistencia al corte y la ductilidad del elemento, especialmente, bajo cargas sísmicas.

Para asegurar un mínimo de resistencia a cortante:

$$A_v \geq \frac{3\sqrt{f'c \cdot b \cdot s}}{f_y} \tag{63}$$

Donde:

A_v: Área total del refuerzo transversal dentro de una separación (s).

b: Ancho efectivo de la sección.

s: Separación entre estribos.

2.5 Influencia de los Métodos de Diseño en la Eficiencia Estructural

La eficiencia estructural en edificaciones de concreto reforzado depende significativamente del método de diseño adoptado. La Norma ACI 314 RS-11 establece los requisitos para el diseño y construcción de estructuras de concreto, basándose en principios de seguridad, durabilidad y economía. La selección del método de diseño tiene un impacto directo en la cantidad de materiales utilizados, los costos de construcción y el desempeño estructural bajo diversas condiciones de carga.

El método de diseño simplificado del ACI 314RS-11 y el análisis de elementos finitos (FEM) en SAP2000 ofrecen enfoques distintos para optimizar el diseño estructural.

Ambos enfoques se fundamentan en principios establecidos en la normativa vigente, como los relacionados con resistencia a flexión, cortante, adherencia y deformaciones, y empleando las ecuaciones fundamentales establecidas en la ACI 318S-19 para el diseño de elementos de concreto reforzado.

2.5.1 Método de Diseño Simplificado Mediante ACI 314RS-11

Los métodos simplificados emplean coeficientes y parámetros normativos para garantizar el cumplimiento de los criterios de resistencia y servicio sin necesidad de cálculos computacionales extensivos.

El objetivo principal de este método es ofrecer procedimientos simplificados que permiten diseñar estructuras seguras, sin necesidad de realizar análisis estructurales complejos.

El método de diseño simplificado propuesto en el ACI 314R-11 está justificado principalmente en la necesidad de contar con una herramienta de diseño eficiente, segura y accesible para edificaciones de concreto reforzado de baja altura y uso convencional. Su empleo está respaldado por varios fundamentos técnicos y prácticos que aseguran su pertinencia en el ámbito de la ingeniería estructural.

No obstante, durante el uso de este método, no se contempla el desarrollo completo del diseño del refuerzo de acero, es decir, la cuantificación y distribución detallada de las armaduras longitudinales y transversales en los diferentes elementos. Esta omisión responde a que el objetivo principal de este trabajo no es la elaboración de planos constructivos o la definición de detalles, sino la aplicación metodológica de criterios normativos para el dimensionamiento estructural, y la posterior comparación del comportamiento estructural obtenido de este método simplificado.

A pesar de ello, se hace referencia a las cuantías mínimas de acero recomendadas por la norma ACI 318, tal y como se recogen en el documento ACI 314RS-11, como parámetros técnicos mínimos que deben respetarse para garantizar la integridad estructural. Estas

cuantías constituyen una guía normativa útil para evaluar la factibilidad de las secciones dimensionadas.

2.5.2 Método de Diseño Mediante Análisis de Elementos Finitos

Los métodos de análisis avanzado, como los que emplea el método de elementos finitos, permiten evaluar con mayor precisión la distribución de esfuerzos y deformaciones en la estructura.

Este método es, en esencia, un método numérico para la solución de ecuaciones diferenciales. Estas ecuaciones rigen el comportamiento de un gran número de fenómenos estudiados, por ejemplo:

- El comportamiento de flexión de una viga.

$$\frac{d^2u}{dx^2}\left(EI\frac{d^2u}{dx^2}\right) = -q\,(x) \tag{64}$$

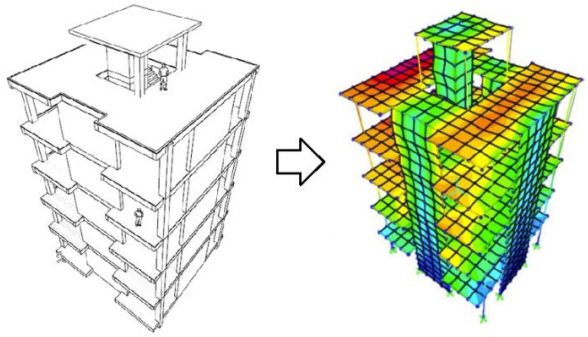
- El comportamiento de tensión - deformación.

$$\frac{\sigma}{\sigma x}\left(kx\frac{\sigma\phi}{\sigma x}\right) + \frac{\sigma}{\sigma y}\left(ky\frac{\sigma\phi}{\sigma y}\right) + Q = 0 \tag{65}$$

Todas estas ecuaciones tienen una forma particular de discretizarse, dividiendo o transformando el elemento de estudio conformado por una estructura monolítica a un número finito de partes. Es por esto que se le conoce con este nombre al método.

Figura 7

Transformación de diseño de elementos monolíticos a elementos finitos



El método de elementos finitos divide el dominio en elementos más pequeños y entre más elementos se utilizan para dividir la estructura, más cercana será esta respuesta a la solución exacta.

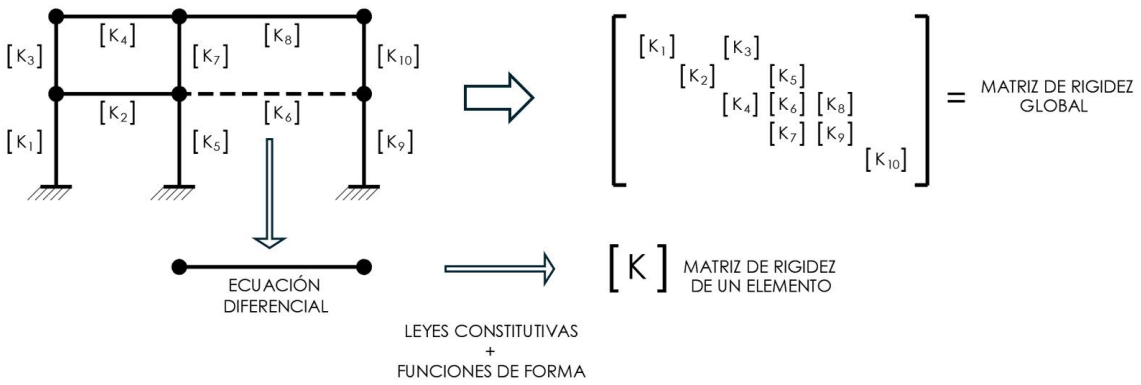
Dependiendo del propósito del análisis, una estructura se podrá modelar con base en líneas, simulando vigas y columnas, o como placas, simulando losas, o como elementos volumétricos que arrojen resultados de esfuerzos internos.

En el análisis estructural, una vez dividido el dominio o la estructura, cada elemento tendrá propiedades geométricas y físico-mecánicas propias. Estas propiedades pueden condensarse en matrices de rigidez elementales que se obtienen a través de aproximaciones de la ecuación diferencial junto con funciones de forma y las leyes constitutivas del material.

Cada una de estas matrices contiene todas las propiedades físico-mecánicas y geométricas de un elemento. Estas propiedades actúan entre sí, por medio de los nodos y de esta manera, todos los elementos de la estructura van conectándose unos con otros para formar la estructura completa a ser analizada. De la misma manera en que se conectan los elementos entre sí, matemáticamente pasa lo mismo con las matrices de rigidez individuales de cada elemento, conectándose una con otra para formar la matriz de rigidez global.

Figura 8

Transformación de cada elemento de una estructura a matriz de rigidez global



En el caso estático lineal, la matriz de rigidez global está multiplicada por los desplazamientos de los nodos, que son la incógnita de la estructura, y todo esto es igualado a las fuerzas externas aplicadas.

Todo este proceso genera un sistema lineal de ecuaciones, por lo general, muy extenso para ser resuelto de forma manual. Es por eso que este método se popularizó con la llegada de los computadores y no es de sorprenderse que para una estructura convencional se generen sistemas extensos de ecuaciones con extensas incógnitas también, casi imposibles de resolver de forma manual sin lugar a equivocaciones, mientras que un computador lo resolverá en segundos sin problema.

Una vez resuelto el sistema de ecuaciones se obtienen los desplazamientos de todos los nodos de la estructura y, mediante ecuaciones de compatibilidad, que son las ecuaciones que relacionan desplazamientos de los nodos con deformaciones en los elementos, se pueden obtener las deformaciones internas en cada uno de los elementos. Finalmente, mediante relaciones de mecánica del medio continuo, pueden obtenerse, con base en las deformaciones, los esfuerzos de la estructura y con esto, quedar resuelto el problema. Cabe mencionar que generalmente, en el análisis estructural lo que se busca son los esfuerzos internos de la estructura.

2.6 Diseño Estructural Mediante el Método de los Elementos Finitos y su Implementación en SAP2000

El Método de los Elementos Finitos (MEF) es una técnica numérica ampliamente utilizada en ingeniería estructural para simular el comportamiento mecánico de estructuras bajo diversas condiciones de carga. El MEF se basa en subdividir una estructura compleja en subestructuras simples llamadas elementos finitos, los cuales se interconectan en nodos. A partir de estos elementos se ensamblan ecuaciones algebraicas que representan el comportamiento estructural global.

2.6.1 El Fundamento Teórico del MEF

Este fundamento parte de las leyes de equilibrio (estáticas), las relaciones de compatibilidad (deformaciones) y las relaciones constitutivas (comportamiento del material).

Estas relaciones se integran en una formulación matemática que rige el análisis:

$$K \cdot u = f \tag{66}$$

Donde:

K: Matriz de rigidez global del sistema.

u: Vector de desplazamientos nodales.

f: Vector de fuerzas nodales aplicadas.

Para cada elemento estructural, la matriz de rigidez local se forma en función de sus propiedades geométricas y mecánicas.

Para un elemento barra axial:

$$K_e = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \tag{67}$$

Para elementos viga-columna sujetos a flexión:

$$K_{flexion} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} \tag{68}$$

2.6.2 Implementación Práctica del MEF en SAP2000 y el Procedimiento de Análisis

SAP2000 es un software especializado en análisis y diseño estructural que implementa el MEF para modelar y evaluar una amplia gama de estructuras, desde marcos de concreto hasta sistemas tridimensionales complejos.

Procedimiento de análisis en SAP2000:

1. Modelado geométrico: El usuario define nodos, elementos estructurales (vigas, columnas, losas), secciones transversales y condiciones de apoyo.

2. Asignación de propiedades mecánicas: Módulo de elasticidad E, coeficientes de Poisson, área A, momento de inercia I

3. Definición de cargas: Se incluyen cargas muertas, vivas, sísmicas o de viento, según la normativa ACI 318S-14.

4. Ensamblaje de matrices: SAP2000 construye la matriz global de rigidez. K

5. Resolución del sistema: Mediante técnicas numéricas.

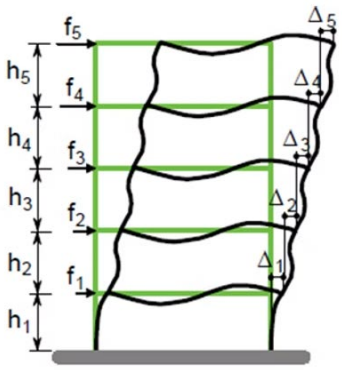
6. Post-procesamiento: Se obtienen desplazamientos, esfuerzos internos (momento M, cortante V, torsión T, axial N) y deformaciones.

2.7 Comprobación del Diseño Estructural Mediante la Teoría de las Derivas

En el contexto del diseño sísmico de edificaciones, la comprobación mediante la teoría de las derivas es un procedimiento obligatorio que permite evaluar si las deformaciones laterales inducidas por la acción sísmica se mantienen dentro de los límites admisibles establecidos por la normativa nacional. Esta verificación garantiza la seguridad estructural, la funcionalidad pos-sismo del edificio y la protección de los elementos no estructurales.

Figura 9

Diagrama de derivas de entrepiso



Nota. NSR-10, 2025.

El CSCR (2010) define los criterios para controlar estas deformaciones a través del cálculo de derivas relativas de entrepiso, estableciendo límites específicos que no deben ser superados, independientemente del método de análisis estructural utilizado (estático equivalente, espectral modal o dinámico no lineal).

2.7.1 Fundamento Teórico de la Deriva Estructural

La deriva relativa de entrepiso es la diferencia de desplazamiento horizontal entre dos pisos consecutivos, dividida entre la altura del entrepiso correspondiente:

$$\Delta_{rel,i} = \frac{\delta_i - \delta_{i-1}}{h_i} \tag{69}$$

Donde:

δ_i: Desplazamiento absoluto del nivel i.

δ_{i-1}: Desplazamiento absoluto del nivel inferior.

h_i: Altura del entrepiso.

$\Delta_{rel,i}$: Deriva relativa del entrepiso.

2.7.2 Consideraciones y Límites de Desplazamientos y Deformaciones

Según CFIA (2014) se define como razón de deriva inelástica Δ_i/H_i la razón del desplazamiento inelástico relativo de cualquier nivel con respecto al nivel adyacente inferior dividido por la altura entre estos niveles. La razón de deriva inelástica no debe exceder los valores de la siguiente tabla :

Tabla 8

Límite superior de la razón de deriva inelástica, Δ_i/H_i según categoría de edificación y sistema estructural

Sistema estructural	**Edificaciones A y C**	**Edificaciones B, D y E**
Marco	0,0125	0,020
Dual	0,0125	0,018
Muro	0,0100	0,010
Voladizo	0,0125	0,020
Otros	0,0065	0,010

Nota. Tabla 7.2., CSCR, 2025.

Altura entre el nivel del piso i y el nivel adyacente inferior:

$$H_i = h_i - h_{i-1} \tag{70}$$

2.8 Cuantificación de Materiales de Construcción y Presupuesto de Obra

La cuantificación de materiales y la elaboración de presupuestos de obra son actividades clave dentro de la gestión de proyectos de construcción. A través de estas, se busca estimar de forma precisa el consumo de recursos, lo que permite controlar costos, tiempos y requerimientos logísticos, asegurando la viabilidad técnica y financiera de una edificación. En el caso de estructuras de concreto reforzado, los materiales de mayor impacto económico y estructural son el concreto y el acero de refuerzo.

2.8.1 Cómputo Métrico: Fundamentos y Aplicaciones

Tecnomundo editores ltda (1999) refiere a que la cuantificación de materiales constituye uno de los pilares fundamentales del proceso de planificación constructiva, ya que permite calcular con precisión los recursos requeridos para la ejecución de una obra, tanto en términos de volúmenes físicos como de costos asociados.

Un presupuesto de obra es la expresión económica de un proyecto de construcción, el cual se elabora a partir del despiece técnico del diseño arquitectónico y estructural. Este presupuesto contempla:

- Cómputo métrico de cada partida.
- Costos unitarios de materiales, mano de obra y equipos.
- Aplicación de coeficientes de pérdida, rendimiento y transporte.
- Análisis de precios unitarios y cronograma valorado.

Una correcta estimación presupuestaria permite tomar decisiones estratégicas, realizar licitaciones justas y garantizar la viabilidad financiera del proyecto.

2.8.2 Cómputo Métrico y Materiales Estructurales

Concreto:

Para el cálculo del volumen de concreto, el procedimiento parte de las dimensiones estructurales de elementos como vigas, columnas, losas y zapatas. La fórmula general utilizada es:

$$V = L \cdot B \cdot H \tag{71}$$

Donde:

V: Volumen de concreto.

L: Longitud del elemento.

B: Ancho del elemento.

H: Altura o peralte del elemento.

Además, se deben incluir los factores de pérdida (3 % a 5 %) y se recomienda realizar redondeos técnicos por módulo de construcción.

Acero de refuerzo:

El cálculo del acero se basa en la longitud de cada barra, su diámetro y el número total de piezas. El peso total de acero se obtiene mediante:

$$W = \sum (n_i \cdot L_i \cdot w_{ui}) \tag{72}$$

Donde:

n_i: Número de barras.

L_i: Longitud de cada barra.

w_{ui}: Peso por metro lineal, según el diámetro.

En elementos como columnas y vigas, también se considera el acero transversal (estribos), cuya cuantificación incluye separación, longitud de desarrollo y anclajes.

Desde un punto de vista técnico, el cómputo métrico implica descomponer el proyecto en partidas específicas (cimientos, columnas, vigas, losas, muros, acabados, etc.) y aplicar criterios geométricos básicos para obtener volúmenes, áreas o longitudes, según corresponda. Este proceso debe regirse por unidades estandarizadas y buenas prácticas para garantizar precisión y coherencia.

Los principios que rigen el cómputo métrico son:

1. Precisión geométrica: Cada partida debe ser calculada con base en dimensiones reales extraídas de planos, sin aproximaciones arbitrarias.
2. Coherencia en unidades: Las unidades deben ser homogéneas y adecuadas a la naturaleza del trabajo.
3. Desglose por niveles y partidas: La obra debe dividirse por niveles constructivos y por componentes estructurales para facilitar la cuantificación y control.

El cómputo métrico tiene múltiples aplicaciones:

- Presupuestación de obra: Sirve como base para la elaboración de presupuestos detallados.
- Planificación y control: Permite medir avance físico, controlar insumos y planificar adquisiciones.
- Comparación técnica-económica: Facilita la evaluación de alternativas de diseño, por ejemplo, al comparar métodos estructurales diferentes.

En proyectos comparativos, el cómputo métrico permite traducir las diferencias estructurales obtenidas por distintos métodos de análisis (simplificado vs. elementos finitos) en diferencias económicas cuantificables. De esta forma, es posible evaluar con mayor objetividad la eficiencia material y financiera de cada método, aspecto fundamental cuando

se incorporan indicadores como el VAN, TIR o ROI en el análisis de viabilidad técnica y económica.

2.9 Evaluación Financiera del Diseño Estructural Mediante Indicadores Económicos

En el contexto del análisis y diseño de estructuras de concreto reforzado, existen diversas metodologías que pueden derivar en distintos consumos de materiales, mano de obra y recursos tecnológicos. Por ello, resulta fundamental complementar la evaluación técnica con un análisis financiero, utilizando indicadores económicos que permitan medir la rentabilidad, eficiencia y conveniencia de cada alternativa de diseño.

La comparación entre el método simplificado basado en la norma ACI 314RS-11 y el análisis por elementos finitos implementado en SAP2000, permite explorar no solo diferencias estructurales, sino también económicas. A medida que se desarrollan modelos con un mayor nivel de precisión, se optimizan secciones y se reducen sobredimensiones típicas del diseño conservador, lo cual tiene una repercusión directa en los costos de construcción. Urbina (2006) indica que para valorar estas diferencias de manera objetiva, se emplean tres herramientas clave en la evaluación financiera de proyectos de ingeniería: el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno sobre la Inversión (ROI).

2.9.1 Valor Actual Neto (VAN)

El VAN permite determinar el valor presente de los beneficios netos de un proyecto, descontando los flujos de caja futuros a una tasa de interés determinada (costo de capital o tasa de descuento). Se define con la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=0}^{n} \frac{F_t}{(1+i)^t} - I_0 \tag{73}$$

Donde:

F_t: Flujo de caja neto en el año t.

t: Tasa de descuento.

n: Número de períodos (vida útil del proyecto).

I_o: Inversión inicial.

Interpretación del valor VAN:

- Si $VAN > 0$: la inversión es rentable.
- Si $VAN < 0$: la inversión no es rentable.
- Si $VAN = 0$: la inversión recupera exactamente su costo.

Al comparar los costos derivados del consumo de materiales entre ambos métodos de diseño, se puede evaluar si la inversión en un software especializado (licencia de SAP2000, tiempo técnico, modelado) se justifica económicamente frente al ahorro en materiales y eficiencia estructural.

En el contexto del diseño estructural, estos flujos de caja pueden estar representados por ahorros en consumo de acero y concreto, o por el coste adicional en tiempo y software especializado al utilizar herramientas como SAP2000.

2.9.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es la tasa de interés que iguala el valor presente de los flujos de caja netos con la inversión inicial. Matemáticamente se define como:

$$0 = \sum_{t=0}^{n} \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I_o \tag{74}$$

Interpretación del valor TIR:

- Si $TIR > i$: el proyecto es rentable.
- Si $TIR < i$: el proyecto no es rentable.

Evaluar qué tan rentable es invertir en un método computacional más complejo en función de los beneficios obtenidos (ahorro en materiales, optimización de secciones, reducción de volumen de concreto y acero)

2.9.3 Retorno Sobre la Inversión (ROI)

El ROI permite evaluar el porcentaje de ganancia obtenida respecto a la inversión realizada. Se expresa como:

$$ROI = \frac{ganancia_{neta}}{inversion_{total}} \cdot 100 \tag{75}$$

Interpretación del valor ROI:

- Si $ROI > 0$: La inversión es rentable. Se ha generado una ganancia en relación con lo invertido.
- Si $ROI = 0$: La inversión se recupera exactamente, sin pérdida ni ganancia.
- Si $ROI < 0$: La inversión no es rentable. Los costos superan a los beneficios.

Donde la ganancia neta puede estimarse como el ahorro en materiales y tiempo producto de una mejor optimización estructural. El ROI es especialmente útil cuando se desea realizar una evaluación rápida de la eficiencia de cada metodología de diseño desde un punto de vista económico.

2.9.4 Aplicación de los Indicadores Financieros en el Diseño Estructural

La incorporación de herramientas financieras en el análisis comparativo de métodos de diseño estructural permite evaluar no solo la factibilidad técnica de una solución, sino también su viabilidad económica. En este sentido, indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno sobre la Inversión (ROI) se convierten

en instrumentos clave para valorar las diferencias en consumo de materiales, tiempos de ejecución y costos asociados a cada metodología.

Urbina (2006) alude que al aplicar estos indicadores al diseño estructural, ya sea mediante el método simplificado de la norma ACI 314RS-11 o por medio del análisis de elementos finitos con SAP2000, se obtiene una visión más completa de la eficiencia de cada alternativa, considerando tanto el desempeño estructural como el impacto económico.

Este enfoque permite que las decisiones de diseño estén fundamentadas no solo en parámetros normativos o estructurales, sino también en criterios de optimización de recursos. Así, la selección de una u otra metodología no se basa únicamente en preferencias técnicas, sino en el equilibrio entre seguridad estructural, eficiencia material y beneficio económico.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Clasificación del Tipo de Investigación

Este marco metodológico define el conjunto de las etapas y actividades que describen los procedimientos, así como las técnicas a utilizar y sus herramientas para desarrollar la investigación, estableciendo la estrategia para comparar los resultados de diseño estructural entre el método simplificado de la Norma ACI 314RS-11 y el análisis de elementos finitos en SAP2000. Además, incluye una evaluación económica de los resultados a través de indicadores financieros como Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Actual Neto (VAN) y Retorno de la Inversión (ROI), con el fin de cuantificar el impacto de las discrepancias en el consumo de materiales y costos asociados.

Con respecto a este trabajo, dado que se analizarán dos metodologías de diseño estructural, midiendo su impacto en términos de seguridad estructural y eficiencia económica, el tipo de investigación llevada a cabo se clasifica como un estudio **comparativo y cuantitativo.**

Sumado a esto, el estudio es de tipo aplicado, ya que sus resultados podrán ser implementados en proyectos reales y en su diseño estructural.

3.2 Diseño Metodológico

El diseño metodológico adoptado en esta investigación es de tipo no experimental, transversal y comparativo, ya que no se manipulan las variables de forma directa, sino que se observan y analizan los resultados que emergen de la aplicación de dos metodologías de diseño estructural distintas sobre un mismo modelo de edificación. El enfoque transversal se debe a que la recolección y el análisis de datos se realiza en un momento determinado en el tiempo, sin seguimiento longitudinal. Asimismo, el diseño es comparativo porque se busca establecer diferencias significativas en términos técnicos y económicos entre el método simplificado normativo (ACI 314RS-11) y el método analítico basado en elementos finitos (SAP2000).

Este enfoque metodológico permite evaluar cómo varían las exigencias de diseño es-

tructural, el consumo de materiales y los costos asociados, al aplicar un modelo prescriptivo frente a uno basado en simulación numérica avanzada. El método ACI 314RS-11 representa una estrategia simplificada y conservadora que se basa en experiencias empíricas, coeficientes normativos y reglas de predimensionado. En cambio, el modelado mediante el software SAP2000 permite simular el comportamiento real del sistema estructural mediante el método de elementos finitos (MEF), considerando las propiedades mecánicas de los materiales, la geometría del sistema, las cargas aplicadas y las condiciones de borde.

En esta comparación, la edificación a analizar será la misma para ambas metodologías, manteniendo constantes las condiciones geométricas, de carga y de uso, de forma que cualquier diferencia en los resultados sea atribuible exclusivamente al enfoque de diseño empleado. Las secciones de elementos como vigas, columnas y losas serán dimensionadas inicialmente bajo los criterios de la norma ACI 314RS-11 y luego serán validadas y optimizadas bajo el análisis detallado en SAP2000.

El diseño metodológico incluye además una fase de cuantificación de materiales basada en cómputo métrico, que permite transformar los resultados estructurales en cantidades físicas de concreto y acero. Finalmente, mediante la aplicación de indicadores financieros (TIR, VAN y ROI), se analiza el impacto económico de ambas metodologías de diseño desde la perspectiva de inversión en construcción. Este enfoque integral permite establecer recomendaciones no solo técnicas, sino también económicas, para la toma de decisiones en proyectos de edificación de concreto reforzado.

3.3 Procedimientos Metodológicos por Objetivo

Realizar el análisis estructural de una edificación de concreto reforzado utilizando el método simplificado de la Norma ACI 314RS-11 y el análisis de elementos finitos en SAP2000, con el fin de obtener y comparar los resultados de diseño.

El diseño estructural debe considerar no solo los requerimientos funcionales y arquitectónicos, sino también las condiciones particulares del terreno, el entorno sísmico y las

normativas. Se realiza una caracterización completa del sitio y se define el modelo estructural de referencia, el cual se mantendrá constante en ambos métodos de diseño para asegurar una comparación objetiva.

El procedimiento metodológico a desarrollar en esta etapa contempla las siguientes actividades:

1. Recolección de información preliminar.
2. Parámetros normativos de diseño estructural.
3. Modelado arquitectónico base.
4. Definición del modelo estructural.
5. Diseño estructural mediante criterios de predimensionado según ACI 314RS-11.
6. Definición de cargas estáticas, dinámicas y sus combinaciones.
7. Modelado y diseño estructural completo en SAP2000, con análisis dinámico y estático.
8. Recolección de resultados de esfuerzos internos, deformaciones, secciones y cuantías de refuerzo.
9. Criterios de validación y comparación entre métodos.

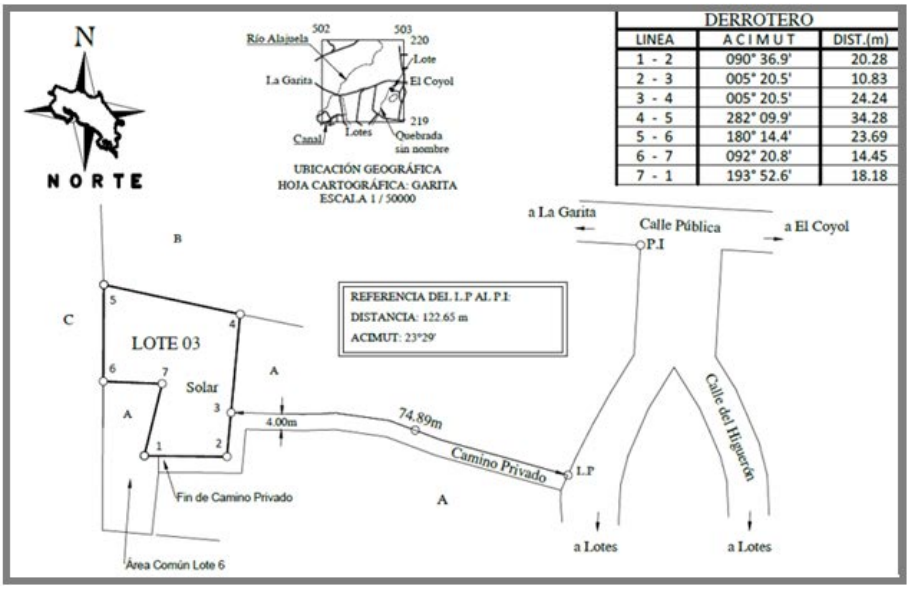
3.4 Recolección de Información Preliminar

- Plano de catastro y topografía.

Se parte de un plano catastrado y topográfico del terreno, donde se identifican las dimensiones del lote, ubicación geográfica, pendiente del terreno, orientación y accesos. Este plano servirá de base para el diseño arquitectónico y estructural inicial.

Figura 10

Plano de catastro del sitio a desarrollar el diseño



El emplazamiento para el proyecto se encuentra en la provincia de Alajuela, en el cantón de Alajuela y en el distrito de La Garita. El terreno propuesto modifica al plano de catastro A-280962-1977 y posee un área de 1013 m².

Figura 11

Perfil de terreno

Nota. Google Earth, 2025.

La topografía del terreno se caracteriza por una superficie regular.

$$Pend. = \frac{1{,}00m}{30{,}80m} \cdot 100 = 3{,}2\,\% \tag{76}$$

La pendiente que se presenta paralela a la mayor distancia libre del terreno (30,80 m), tiene un valor de 3,2 % ya que la altura entre sus puntos es de 1,00 m y se considera despreciable al momento de analizar posibles cortes de terreno para el desarrollo del proyecto.

- Estudio de suelos

Se utiliza un estudio geotécnico del sitio que proporciona información relevante como la capacidad portante del suelo, el tipo de estrato predominante y el nivel freático. Parámetros esenciales para definir las condiciones de cimentación y rigidez del sistema.

Perfil estratigráfico

El perfil estratigráfico y geotécnico del terreno estudiado se define a partir de las observaciones de los materiales recuperados en el proceso de perforación, cantidad de golpes necesarios para el avance del barreno en cada tramo, observación de afloramientos en los alrededores del terreno estudiado y consulta bibliográfica. En términos generales se define que el perfil estratigráfico de sitio está compuesto por 2 capas, siendo la capa A la más somera, compuesta por limos arcillosos (ML) color café, con características de resistencia regulares. Bajo la capa anterior se ubica la capa B, la cual presenta excelentes características de resistencia al corte, adecuada para la cimentación de edificaciones de 2 o más pisos. A continuación, presenta el perfil geotécnico del terreno estudiado y específicamente en el recuadro 2 se presentan las características mecánicas promedio de cada capa.

Tabla 9

Perfil geotécnico del terreno estudiado

PERFIL GEOTECNICO DEL TERRENO ESTUDIADO		
PROF. (m)	P-1	P-2
0,00-0,45	A	A
0,45-0,90		
0,90-1,35		
1,35-1,80	B	B
1,80-2,25		
FIN		

Nota. Informe LABCORE-65-09-2021, 2021.

Capacidad de soporte del suelo

Tal y como se mencionó anteriormente, el método aplicado para determinar la capacidad de soporte en el terreno es el SPT, el cual, por medio del parámetro Nspt, es mundialmente utilizado para la realización de correlaciones en suelos cohesivos como el terreno que será estudiado en esta investigación. Para suelos cohesivos se valora la capacidad de soporte por el método de Skempton, por medio del valor promedio estimado de cohesión de la correlación con el valor de Nspt, mientras que para suelos granulares se utiliza un método basado en un factor de carga dependiente del ángulo de fricción; por lo que se muestra las capacidades de soporte admisibles recomendadas para distintos tramos de profundidad en las perforaciones realizadas utilizando un factor de seguridad de 3.

Tabla 10

Capacidad de carga admisible (ton/m²) FS=3

CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE (ton/m2) FS=3		
PROF. (m)	P-1	P-2
0,00-0,45	6	6
0,45-0,90		
0,90-1,35		
1,35-1,80	30	30
1,80-2,25		
FIN		

Nota. Informe LABCORE-65-09-2021, 2021.

Nivel freático

Según Laboratorio de materiales (2021) al momento de la realización de las perforaciones no se detecta la presencia de nivel freático en el terreno estudiado y hasta la profundidad explorada.

3.4.1 Parámetros Normativos de Diseño Estructural

Conforme al CSCR (2010), se identifica la zona sísmica donde se ubica el terreno, así como el tipo de suelo según la clasificación geotécnica. Esto permite definir los coeficientes sísmicos y espectros de diseño necesarios.

- Zonificación sísmica

El CFIA (2014) divide al país en tres zonas sísmicas de sismicidad ascendente denominadas zonas II, III y IV, las cuales se muestran a continuación. Siguiendo la división política y administrativa vigente, la tabla presenta la zona sísmica asignada a cada cantón o, cuando es necesario, a cada distrito del país.

Tabla 11

Zonas sísmicas según provincias, cantones y distritos

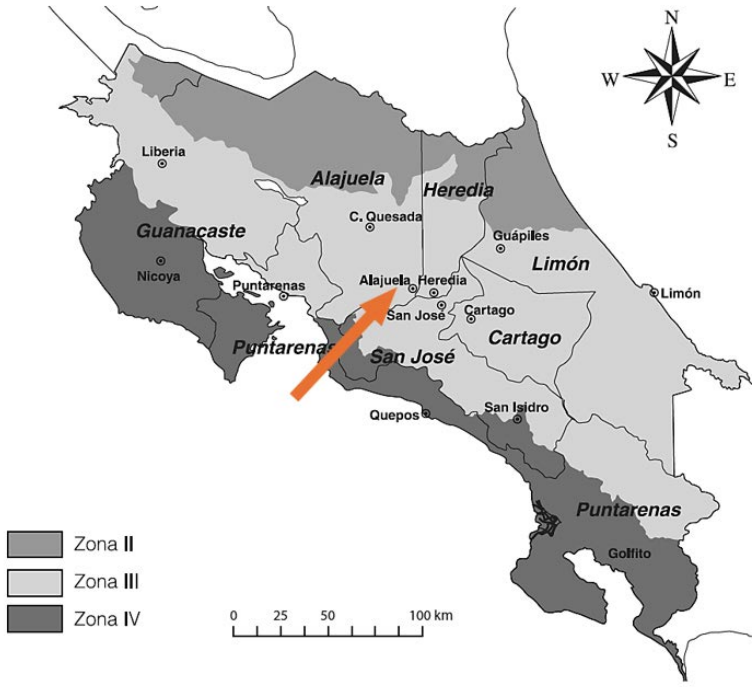
Provincia	Cantón	Distrito	Zona
2. Alajuela	1. Alajuela	Todos	III
	2. San Ramón	Todos	III
	3. Grecia	Todos	III
	4. San Mateo	Todos	III
	5. Atenas	Todos	III
	6. Naranjo	Todos	III
	7. Palmares	Todos	III
	8. Poás	Todos	III
	9. Orotina	Todos	III

Nota. Tabla 2.1., CSCR, 2014.

El terreno, al encontrarse en la provincia de Alajuela, posee una zona sísmica asignada de III, para efectos de obtener más adelante el valor de aceleración pico efectiva de diseño.

Figura 12

Zonificación sísmica



Nota. Figura 2.1., CSCR, 2014.

- Sitios de cimentación:

El sitio de cimentación es el lugar de emplazamiento de una edificación para efectos de considerar las condiciones dinámicas del sitio en la demanda sísmica.

Tabla 12

Tipos de sitio y sus parámetros geotécnicos. Propiedades promedio de los 30 m superficiales

Tipo de sitio	N	V_s (m/s)	C_u (kg/cm^2)
S_1	≥ 50	≥ 760	≥ 1.00
S_2	35 – 50	350 – 760	0.75 – 1.00
S_3	15 – 35	180 – 350	0.50 – 0.75
S_4	≤ 15	≤ 180	≤ 0.50

Nota. Tabla 2.2., CSCR, 2014.

Donde:

N: Número de golpes del ensayo de penetración estándar.

C_u: Resistencia al corte no drenada.

V_s: Velocidad de onda cortante.

Sitio tipo S_3

Un perfil de suelo con 6 m a 12 m de arcilla de consistencia suave a medianamente rígida o con más de 6 m de suelos no cohesivos de poca o media densidad.

- Aceleración pico efectiva de diseño:

Con base en la zonificación sísmica y el sitio de cimentación se establecen los siguientes valores de aceleración pico efectiva de diseño, a_{ef} como parámetro indicador de la sacudida sísmica correspondiente a un período de retorno de 475 años.

Tabla 13

Aceleración pico efectiva de diseño, a_{ef}, para un período de retorno de 475 años y para diferentes zonas sísmicas y tipos de sitio

Tipo de sitio	Zona II	Zona III	Zona IV
S_1	0.20	0.30	0.40
S_2	0.24	0.33	0.40
S_3	0.28	0.36	0.44
S_4	0.34	0.36	0.36

Nota. Tabla 2.3., CSCR, 2014.

- Clasificación de la edificación según su importancia.

Toda edificación debe ser clasificada de acuerdo con la importancia de su ocupación o función, conforme a la siguiente tabla CFIA (2014) indica que a cada grupo le corresponde un factor de importancia, I, el cual define la sacudida sísmica para la cual se debe diseñar.

Tabla 14

Clasificación de edificaciones según importancia

Grupo	Descripción	Ocupación o función de la edificación	Factor I	Factor I_p
A	Edificaciones e instalaciones esenciales	Hospitales e instalaciones que poseen áreas de cirugía o atención de emergencias. Estaciones de policía y bomberos. Garajes y refugios para vehículos o aviones utilizados para emergencias. Instalaciones y refugios en centros de preparación para emergencias. Terminales aeroportuarias y torres de control aéreo. Edificaciones y equipo en centros de telecomunicaciones y otras instalaciones requeridas para responder a una	1.25	1.50
C	de ocupación especial	una ocupación mayor que 5000 personas no incluidas en los grupos A o B. Edificaciones y equipo en estaciones de generación de energía y otras instalaciones públicas no incluidas en el grupo A y requeridas para mantener operación continua.	1.00	1.25
D	Edificaciones de ocupación normal	Todas las obras de habitación, oficinas, comercio o industria y cualquier otra edificación no especificada en los grupos A, B, C o E.	1.00	1.25
E	Edificaciones misceláneas	Construcción agrícola y edificios de baja ocupación. Galpones y naves de almacenamiento de materiales no tóxicos y de baja ocupación. Tapias y *muros* de colindancia (ver nota). Obras e instalaciones provisionales para la construcción.	0.75	1.00

Nota. Tabla 4.1., CSCR, 2014.

- Clasificación del sistema estructural

Tipo marco

CFIA (2014) alude que se incluyen dentro de este tipo aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismorresistentes constituidos por marcos de concreto reforzado, acero o madera, vinculados o no, por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero u otros, en cada nivel. No forman parte de este tipo los sistemas estructurales constituidos exclusivamente por columnas y losas planas, los cuales se prohíben expresamente como sistemas sismorresistentes.

- Ductilidad global asignada

Tabla 15

Ductilidad global asignada, según sistema estructural, regularidad de la estructura y ductilidad local

Sistema estructural tipo marco					
Tipo	Regular	Irregular moderado	Ductilidad local óptima	Ductilidad local moderada	Ductilidad global asignada
marco a	X		X		6.0
marco b	X			X	3.0
marco c		X	X		3.0
marco d		X		X	2.0

Nota. Tabla 4.3., CSCR, 2014.

- Estimación del período del primer modo de vibración.

  $T = 0{,}10N$ para edificios tipo marco formados exclusivamente por marcos de concreto.

  Donde:

  T: Período fundamental (en segundos).

  N: Número total de pisos.

$$T = 0{,}10 \cdot (5) = 0{,}5 \tag{77}$$

- Factor Espectral Dinámico (FED)

Tabla 16

Factor espectral dinámico, FED, para sitios de suelo. S3-Zona III

T (s)	Elástico μ =1	Inelástico μ =1.5	Inelástico μ =2	Inelástico μ =3	Inelástico μ =4	Inelástico μ =6
0.010	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.020	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.030	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.450	2.500	1.768	1.443	1.117	0.884	0.646
0.495	2.500	1.768	1.443	1.014	0.803	0.587
0.500	2.500	1.768	1.430	1.005	0.796	0.582
0.534	2.500	1.768	1.339	0.941	0.745	0.545

Nota. Tabla E.7., CSCR, 2014.

- Factor de sobrerresistencia (SR)

Cuando se utilizan los métodos de análisis estático o dinámico, la sobrerresistencia es igual a 2,0 para estructuras tipo marco, dual y muro, e igual a 1,2 para estructuras tipo voladizo y otras.

- Coeficiente sísmico (C)

Para cada uno de los componentes ortogonales de la solicitación horizontal del sismo, el coeficiente sísmico, C, se obtiene de la siguiente fórmula:

$$C = \frac{a_{ef} \cdot I \cdot FED}{SR} \tag{78}$$

Donde:

a_{ef}: Aceleración pico efectiva de diseño en la base de la estructura, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

I: Factor de importancia de la edificación.

FED: Factor espectral dinámico: factor que modifica la aceleración de un sistema de un grado de libertad con respecto a la aceleración pico efectiva de diseño.

SR: Factor de sobrerresistencia.

$$C = \frac{0{,}36 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}582}{2{,}0} = 0{,}105 \tag{79}$$

3.4.2 Diseño y Modelado Arquitectónico Base

La idea de diseño del modelo a desarrollar para el análisis consiste en una edificación de uso habitacional multifamiliar destinada a apartamentos tipo dúplex, organizada en seis niveles: una planta baja destinada a parqueos y lobby de acceso, y cinco niveles superiores donde se distribuyen dos unidades habitacionales por planta.

El objetivo de esta fase es desarrollar una propuesta arquitectónica que defina con claridad:

- La geometría general del edificio.
- La distribución de los espacios en planta y elevación.
- La ubicación preliminar de los elementos estructurales.
- Las restricciones dimensionales y arquitectónicas que influyen en el modelo estructural.

El diseño estará regido y a su vez limitado por el uso del concreto reforzado como material principal de construcción. Esto implica que todos los elementos estructurales como vigas, columnas, losas y fundaciones estarán conformados por concreto armado, lo cual condiciona aspectos como las dimensiones mínimas admisibles, la continuidad estructural, el tipo de conexiones, los recubrimientos y la resistencia frente a cargas sísmicas. Asimismo, el sistema estructural adoptado será un sistema aporticado (tipo marco), en el cual la resistencia y estabilidad frente a cargas gravitacionales y laterales (sísmicas o por viento) se logra mediante la interacción entre columnas y vigas, dispuestas ortogonalmente a lo largo de los ejes estructurales del edificio.

Procedimiento metodológico

El modelo arquitectónico servirá como base para la implementación de ambos enfoques de diseño estructural: el método simplificado (ACI 314RS-11) y el modelado por elementos finitos en SAP2000.

El procedimiento para el desarrollo del modelo arquitectónico base consiste en lo siguiente:

- Análisis del programa arquitectónico

Planta baja

Área de parqueo vehicular (cumpliendo con normativa de accesibilidad y dimensiones mínimas por vehículo).

Lobby de acceso con control, escalera, ducto del elevador y ducto de servicios.

Niveles típicos (1 al 4)

Dos unidades habitacionales dúplex por nivel.

Cada unidad se distribuye en un nivel interno, conectado mediante escaleras privadas.

Las unidades disponen de sala-comedor, cocina, baños, dormitorios, lavandería y terraza.

Con base en los requerimientos funcionales del proyecto y las condiciones del sitio, se ha definido la propuesta arquitectónica definitiva de la edificación. Este diseño establece la distribución formal de espacios y niveles, y servirá como referencia principal para el desarrollo estructural mediante ambos métodos de análisis.

Figura 13

Planta de distribución de conjunto, nivel planta baja

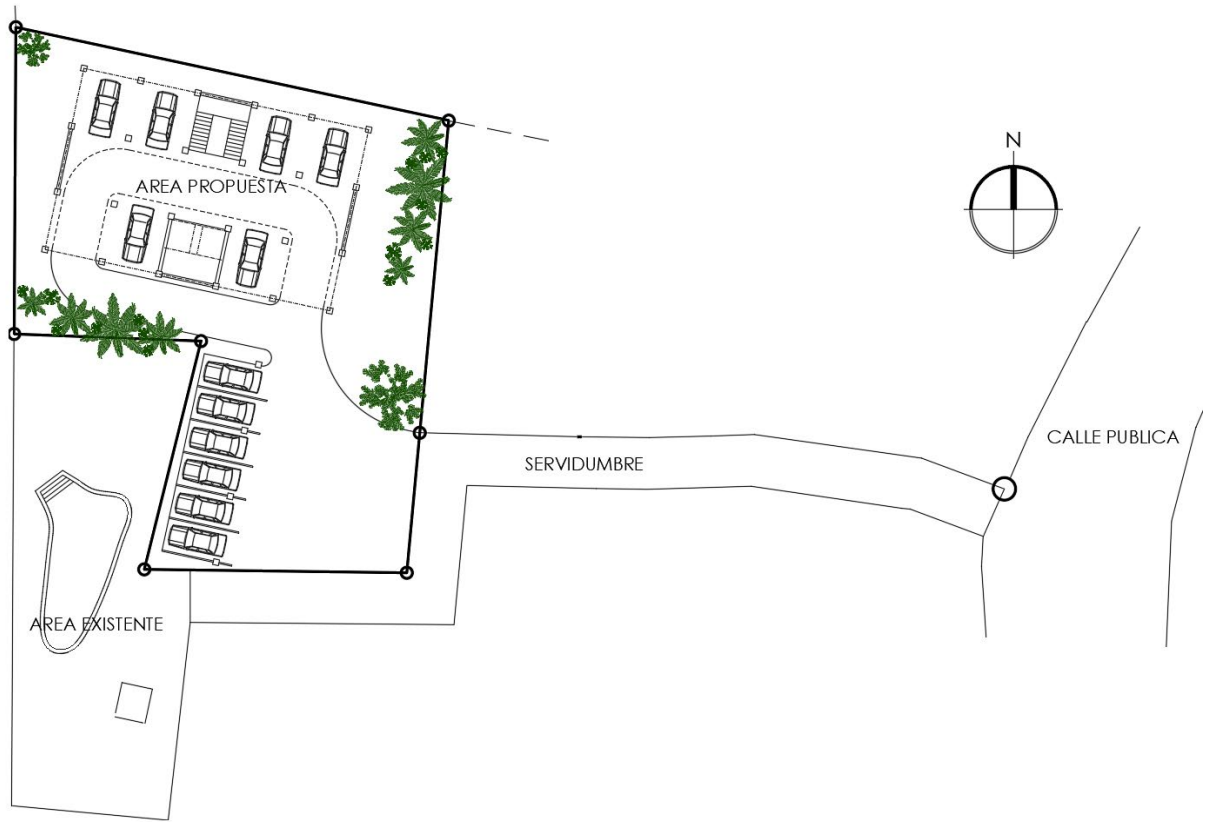
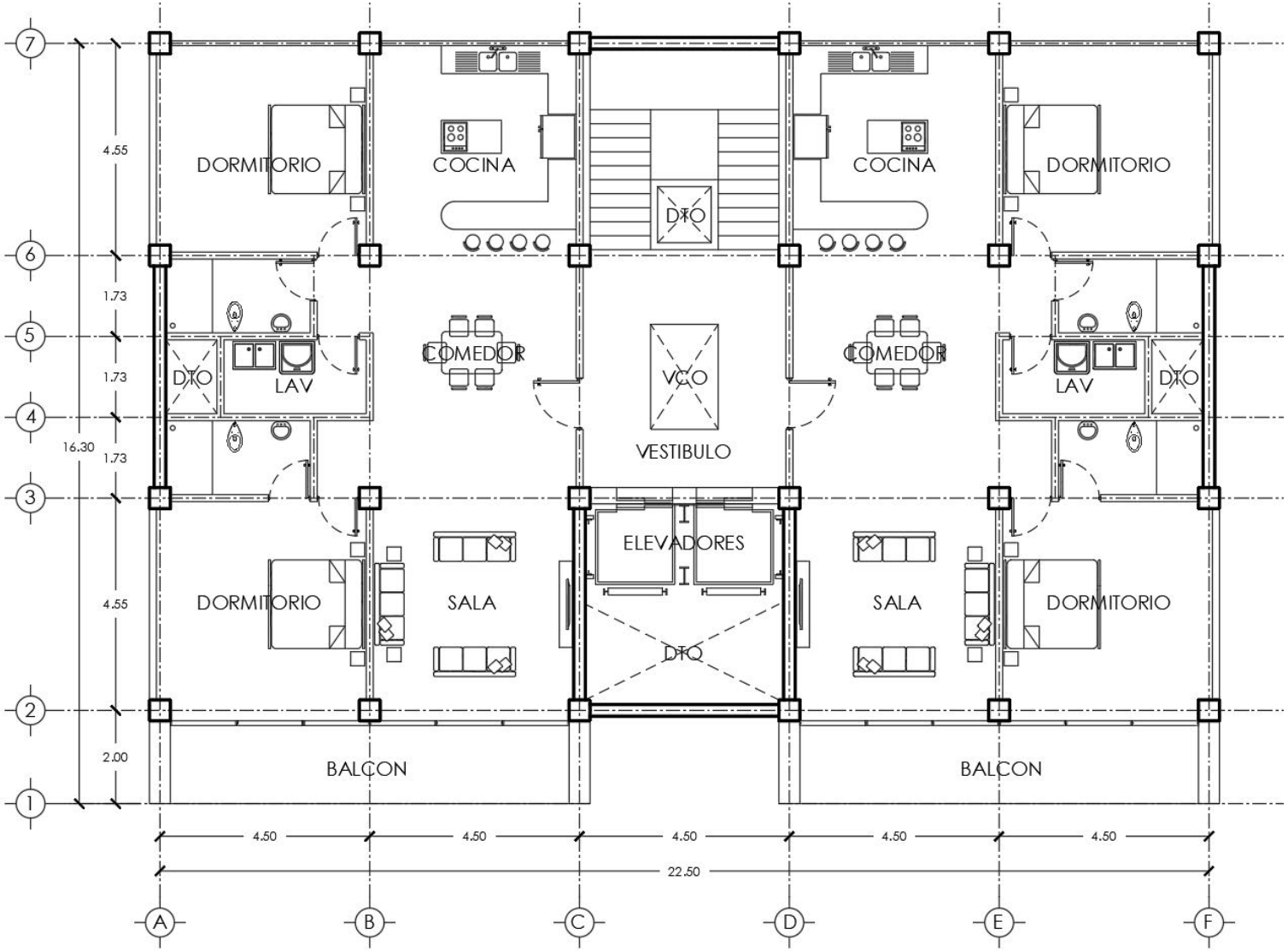


Figura 14

Planta de distribución arquitectónica, niveles del 1 al 4



- Condicionantes dimensionales y geométricos

Se establecen las dimensiones generales en planta, en función del terreno disponible (según plano catastro) y las restricciones normativas (retiros, alturas permitidas, etc.). Estas dimensiones condicionan la modulación estructural, la longitud de luces de losas y vigas, y la disposición de columnas.

Criterios:

- Módulos estructurales de 4,50 m a 4,55 m en ambas direcciones.
- Altura libre por nivel de 3,85 m.
- Altura total del edificio: 19,25 m aproximadamente, lo que influye en las cargas sísmicas y derivas.

3.4.3 Definición del Modelo Estructural

Se realiza una pre-localización de elementos estructurales clave, considerando:

- Ejes estructurales para columnas y muros portantes.
- Ubicación de ductos verticales para elevadores y núcleos de escaleras como posibles zonas de rigidez.
- Interferencia con vanos libres, ventanales o zonas abiertas que afecten la continuidad estructural.
- Restricciones del sistema aporticado, que exige alineación vertical de columnas y continuidad de vigas.

Figura 15

Modelado estructural propuesto

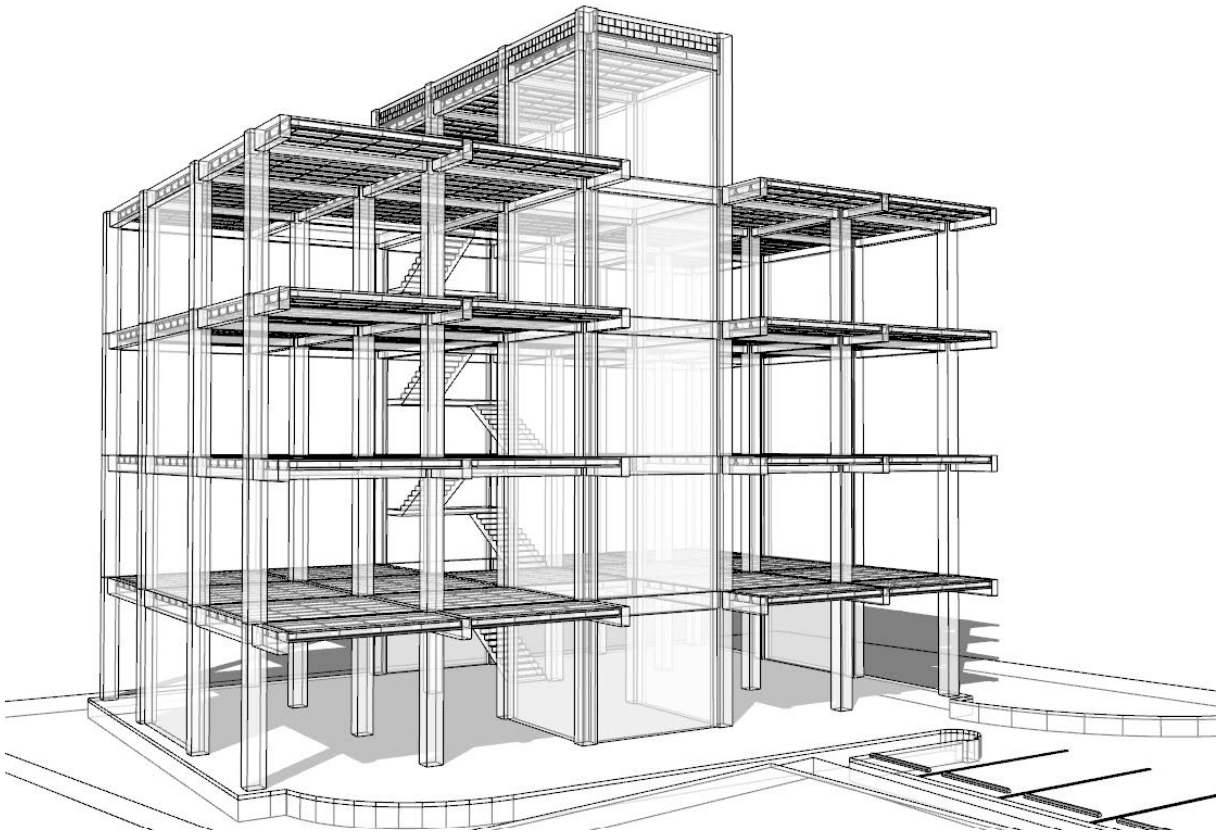
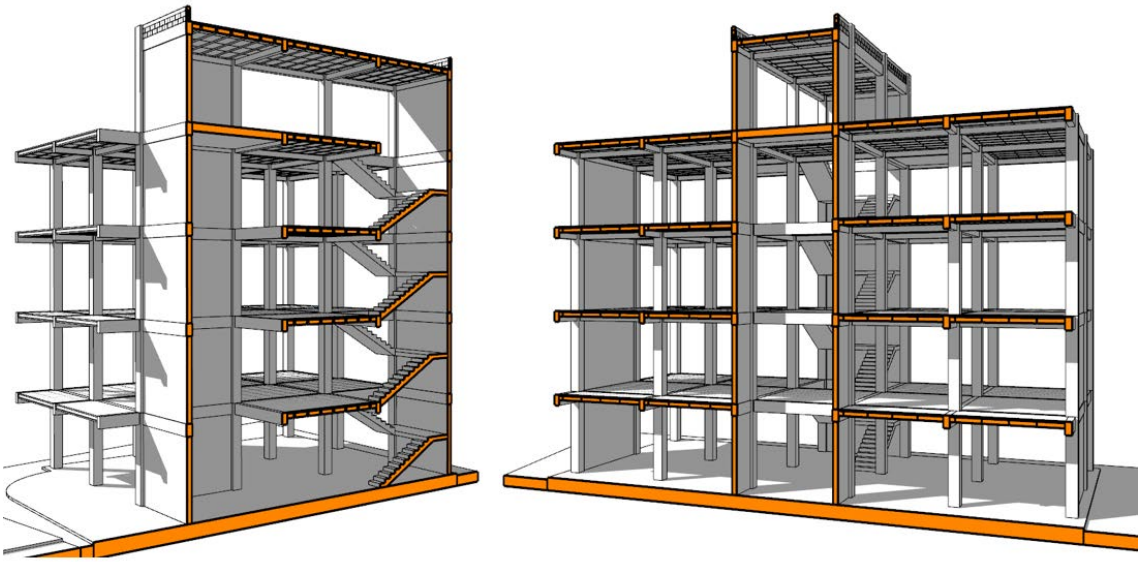


Figura 16

Vistas de sección de los elementos estructurales propuestos



En la definición estructural del modelo, se identifican los sistemas de rigidez lateral y vertical, así como la regularidad geométrica en planta y elevación.

3.5 Diseño Estructural Mediante Criterios de Predimensionado Según ACI 314RS-11

En esta etapa se realiza el diseño estructural preliminar de los elementos principales de la edificación utilizando los criterios de predimensionado establecidos en la norma ACI 314RS-11. Este enfoque permite establecer dimensiones para vigas, columnas, losas y muros de carga.

3.5.1 Dimensionado de Vigas

- Peralte de viga (h)

Para el cálculo del peralte mínimo (h) de la viga, se puede estimar en función de la luz libre (l_s) del elemento y el tipo de apoyo. Esto, con el fin de controlar la deflexión y asegurar una rigidez adecuada.

Figura 17
Planta de distribución estructural de vigas

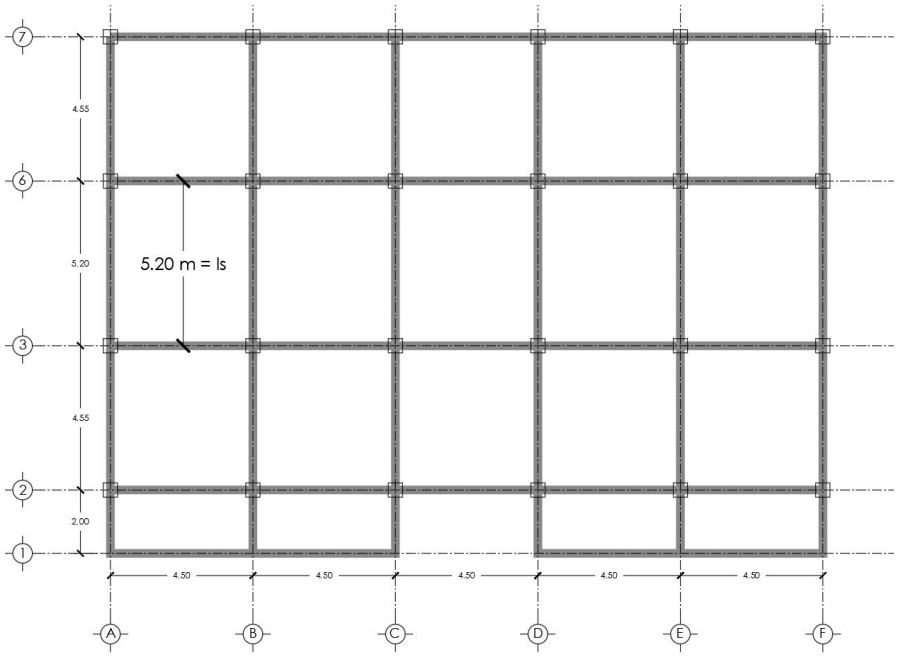


Tabla 17

Espesor mínimo, h, para vigas, vigas maestras y viguetas en una dirección que soportan elementos no estructurales susceptibles de daño debido a deflexiones grandes

Continuidad en los apoyos	***Espesor mínimo*** h
Simplemente apoyados	$\frac{\ell_s}{11}$
Un apoyo continuo	$\frac{\ell_s}{12}$
Ambos apoyos continuos	$\frac{\ell_s}{14}$
Voladizos	$\frac{\ell_s}{5}$

Nota. Tabla 6.5.3.2., ACI 314RS-11, 2025.

$$Peralte_{viga}(h) = \frac{5{,}20m}{11} = 0{,}4727m \approx 0{,}50m \tag{80}$$

- Ancho de viga (b)

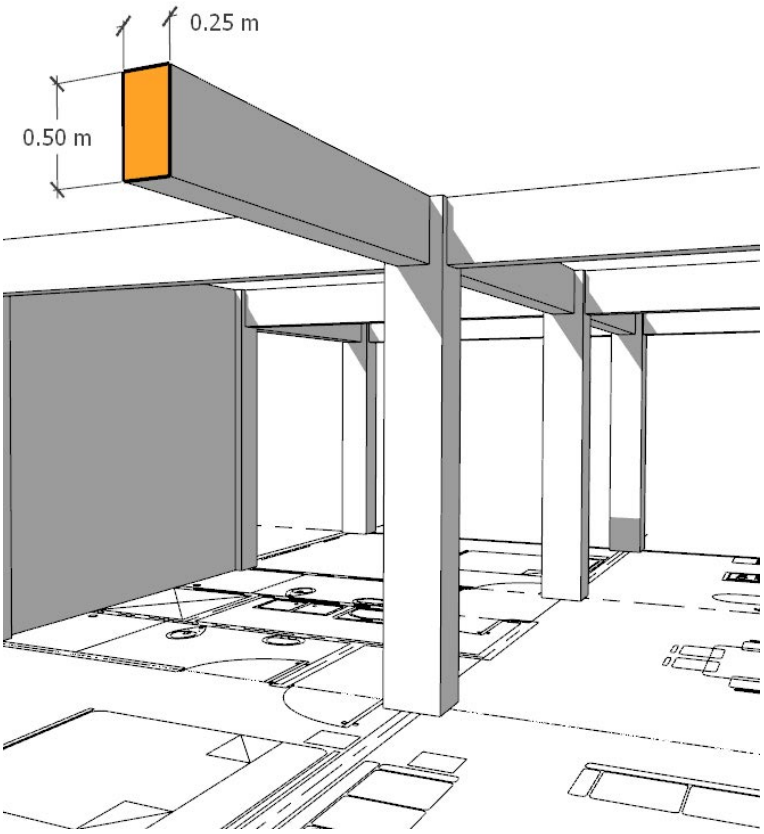
La relación del ancho de la viga (b) como un porcentaje del peralte (h) es una recomendación práctica ampliamente aceptada en la ingeniería estructural y proviene de la experiencia y de manuales de diseño.

$$Ancho_{viga}(b) = (0{,}3 \sim 0{,}5)h \tag{81}$$

$$Ancho_{viga}(b) = 0{,}5 \cdot 0{,}50m = 0{,}25m \tag{82}$$

Figura 18

Detalle de dimensiones (h) y (b) de viga tipo



3.5.2 Dimensionado de Losas de Entrepiso

- Espesor de entrepiso (h)

La norma ACI 314RS-11 proporciona criterios prácticos para estimar el espesor mínimo de una losa unidireccional, basándose principalmente en la relación de claro y las condiciones de apoyo. Estas recomendaciones se alinean para asegurar el cumplimiento de los requisitos de servicio, como el control de deflexiones en edificaciones.

Tabla 18

Espesor mínimo, h, para losas en una dirección

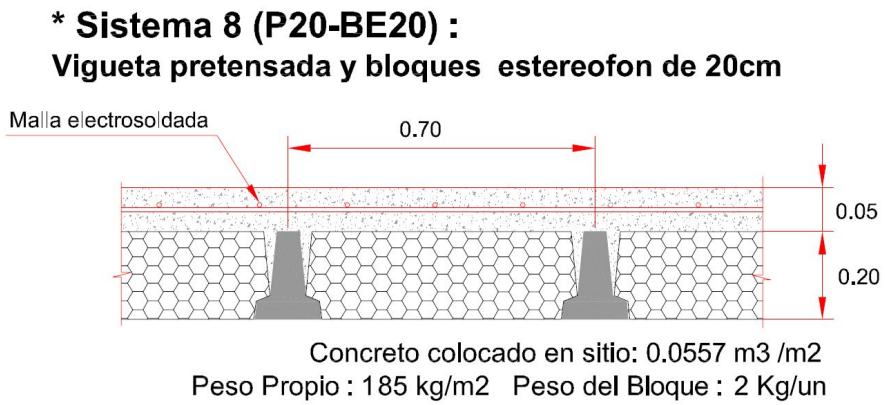
Continuidad en los apoyos	*Espesor mínimo* h
Simplemente apoyados	$\frac{\ell_s}{20}$
Un apoyo continuo	$\frac{\ell_s}{24}$
Ambos apoyos continuos	$\frac{\ell_s}{28}$
Voladizos	$\frac{\ell_s}{10}$

Nota. Tabla 6.5.2.2., ACI 314RS-11, 2025.

$$Espesor_{losa}(h) = \frac{5{,}20m}{20} = 0{,}26m \tag{83}$$

Figura 19

Detalle de entrepiso con viguetas tipo P-20



Nota. Catálogo Eurobau productos, 2025.

- Espesor de losa maciza unidireccional para cuarto de máquinas y tanques de almacenamiento de agua potable.

Sistema de losa maciza sobre vigas maestras: este sistema consiste en una cuadrícula de vigas maestras en las dos direcciones principales en planta con una losa maciza salvando el

espacio entre ellas. Las vigas maestras se localizan en las líneas o ejes de columnas, salvando la distancia entre ellas.

Tabla 19

Espesor mínimo, (h), para losas en una dirección que soportan elementos no estructurales susceptibles de daño por deflexiones grandes

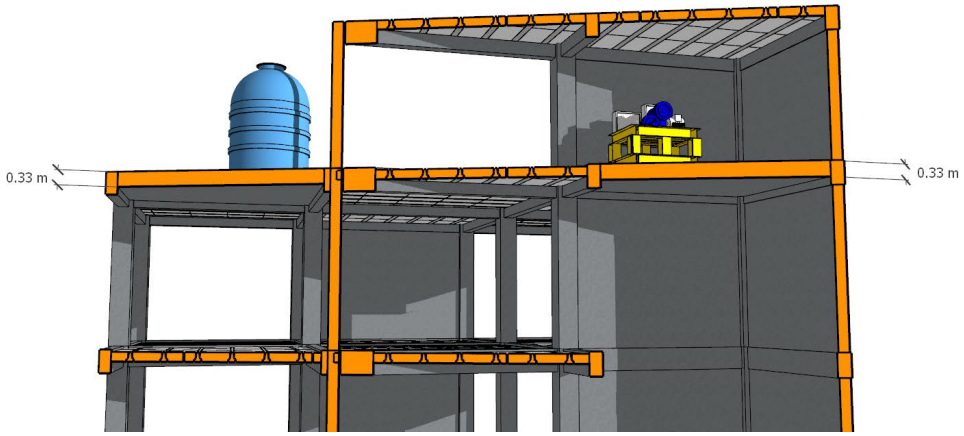
Continuidad en los apoyos	***Espesor mínimo*** h
Simplemente apoyados	$\frac{\ell_s}{14}$
Un apoyo continuo	$\frac{\ell_s}{16}$
Ambos apoyos continuos	$\frac{\ell_s}{19}$
Voladizos	$\frac{\ell_s}{7}$

Nota. Tabla 6.5.2.3., ACI 314RS-11, 2025.

$$Espesor_{losa}(h) = \frac{4{,}55m}{14} = 0{,}33m \tag{84}$$

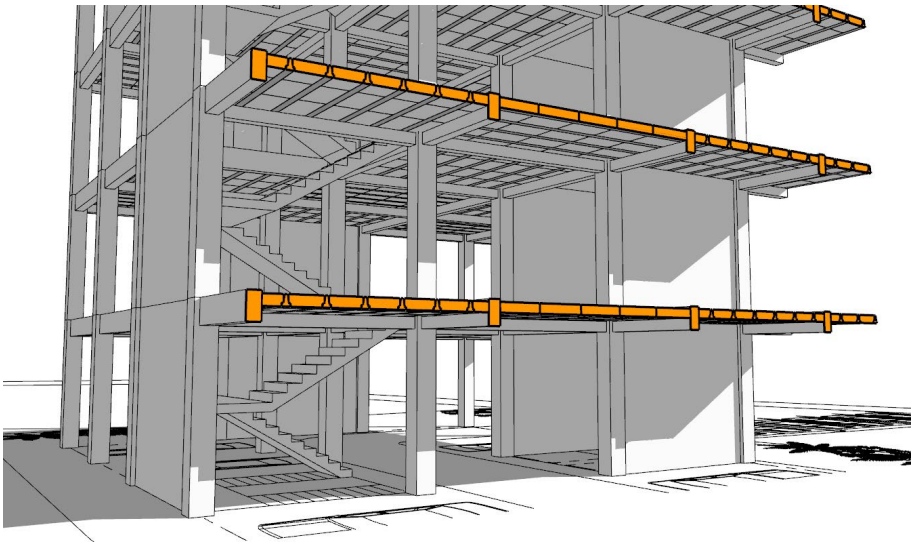
Figura 20

Espesor de losa maciza unidireccional para cuarto de máquinas (elevador) y tanques de almacenamiento



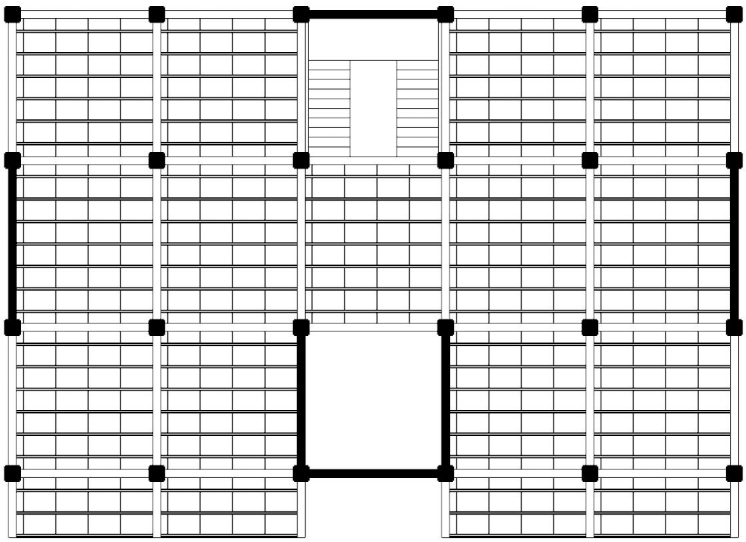
El sistema de viguetas consiste en una serie de nervaduras paralelas, apoyadas sobre vigas maestras. Las vigas maestras se localizan en los ejes de columnas, salvando la distancia entre ellas.

Figura 21
Vista del sistema de entrepisos



El espesor de losa influye directamente en la altura útil de vigas cuando éstas son monolíticas; por lo tanto, debe armonizarse con el sistema estructural general.

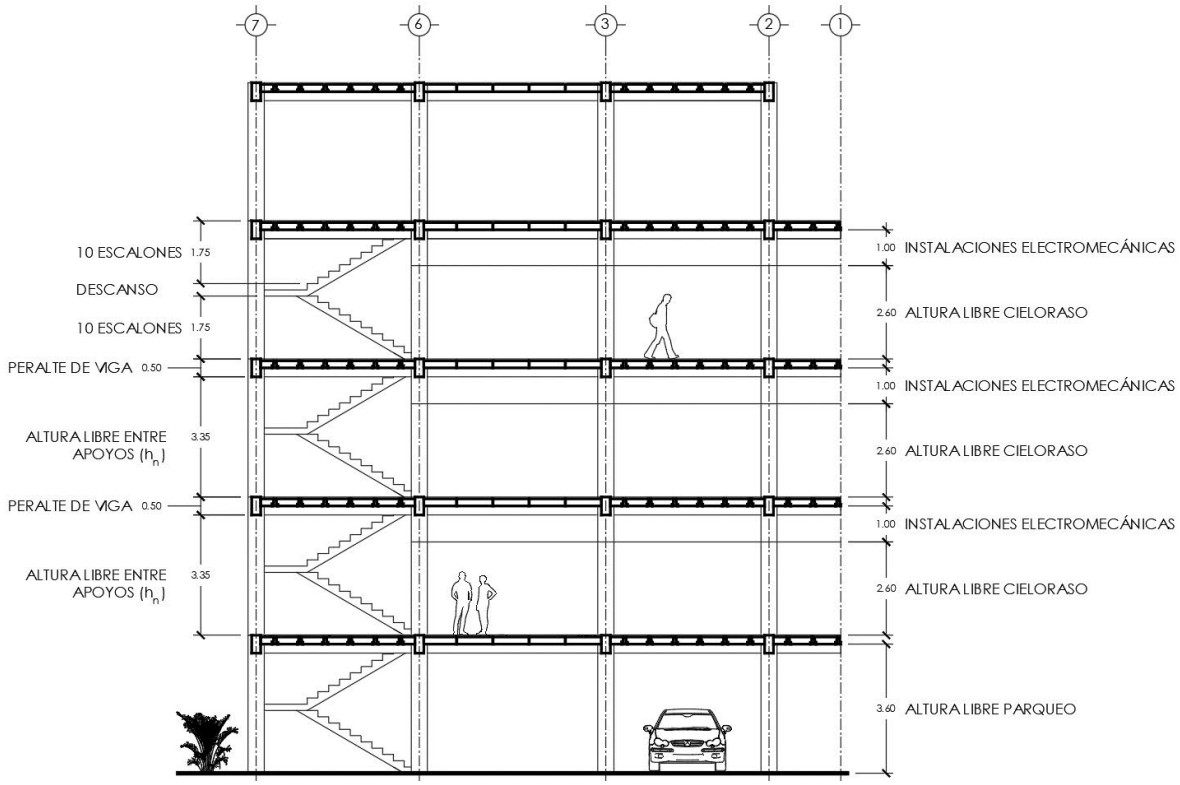
Figura 22
Planta de distribución de viguetas



Con la obtención de las dimensiones de vigas y losa de entrepiso, se pueden definir las alturas libres de un nivel de piso terminado al siguiente, esto con el fin de continuar con el dimensionamiento para las columnas.

Figura 23

Diagrama de alturas definidas entre niveles terminados



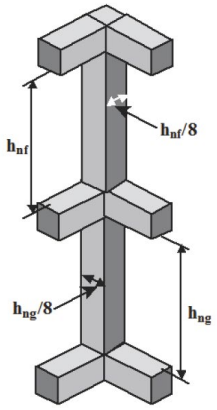
De esta manera se cumple con la norma ACI 314RS-11: 1.3.4 Altura máxima de entrepiso. La altura de entrepiso, medida entre niveles consecutivos de piso acabado, no debe exceder 4 m.

3.5.3 Dimensionado de Columnas

El dimensionado de columnas debe revisarse en conjunto con las vigas, para garantizar una jerarquía de resistencia adecuada o capacidad mayor en columnas que en vigas como parte de los criterios de diseño sismorresistente, conocidos como çolumna fuerte y viga débil".

Figura 24

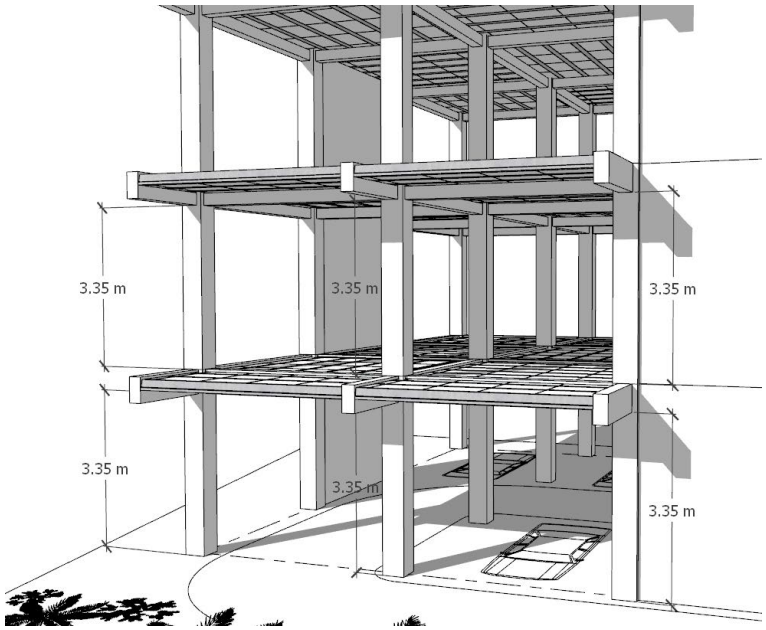
Restricción lateral de columnas



Nota. 10.3.3.1., ACI 314RS-11, 2025.

Figura 25

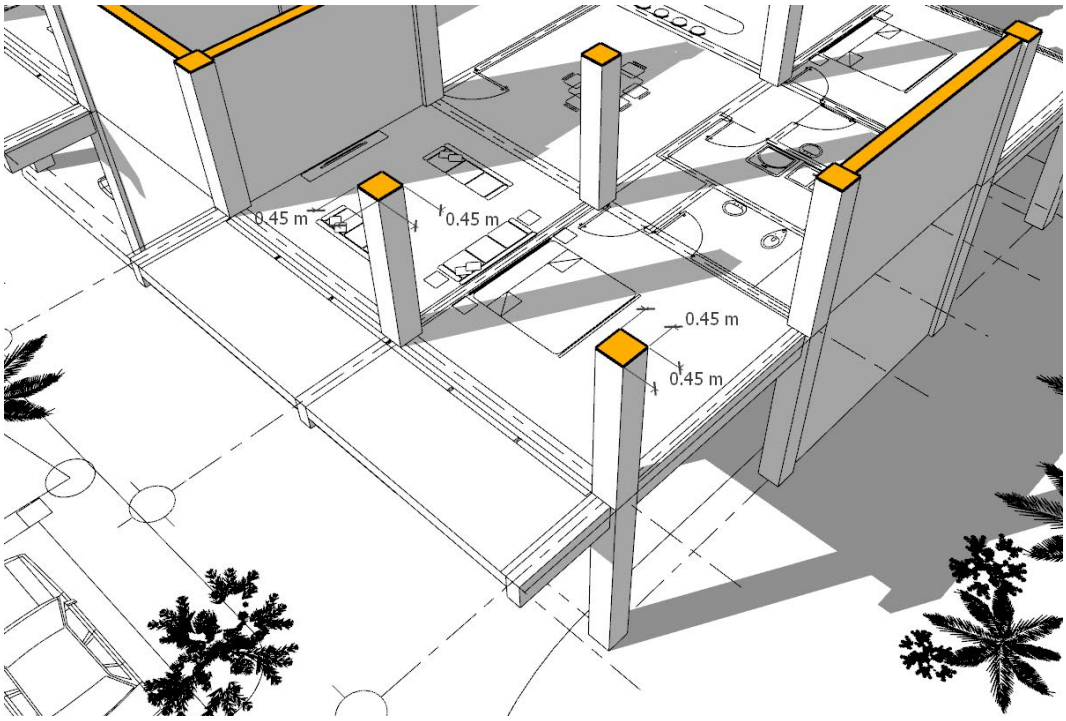
Altura libre de columnas



$$Columna_{lado} = \frac{3{,}35m}{8} = 0{,}42 \approx 0{,}45m \tag{85}$$

Figura 26

Dimension de sección de columnas



3.5.4 Dimensionado de Muros

Los muros estructurales de concreto reforzado, también denominados muros de corte, cumplen una función fundamental en la resistencia y disipación de energía ante cargas laterales como las producidas por sismos o viento, además de contribuir al soporte de cargas gravitacionales. Su correcta configuración y dimensionamiento inicial son vitales para el desempeño global del edificio.

Dentro del apartado ACI 314RS-11, 4.14, Sistema estructural de resistencia ante fuerzas laterales, se indica lo siguiente: ACI-314RS-11 (2013)

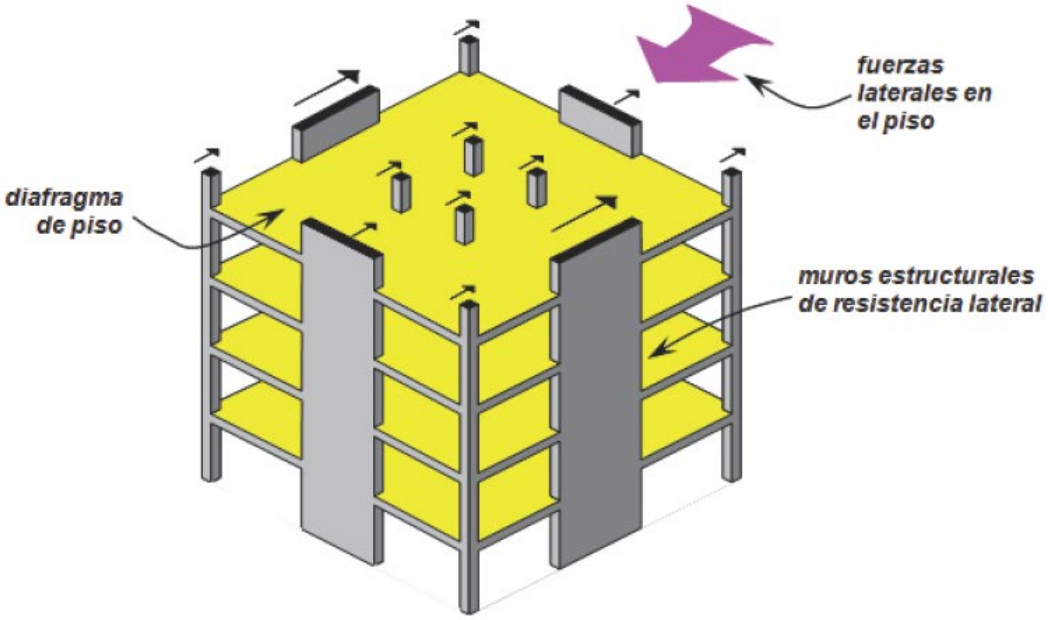
- Zonas de amenaza sísmica moderada a alta — La resistencia ante fuerzas laterales se debe proveer mediante el uso de muros de concreto reforzado continuos desde la cimentación hasta el techo, en las dos direcciones principales.

- Los muros estructurales deben tener secciones transversales rectangulares.

- Los muros estructurales deben ser continuos verticalmente desde la cimentación hasta el techo.
- Los muros estructurales no deben tener aberturas para ventanas o puertas
- En las dos direcciones principales en planta, debe haber por lo menos dos muros paralelos en planos diferentes y los planos deben estar tan separados como sea posible. Los muros se deben ubicar tan cerca como sea posible a la periferia de la edificación.

Figura 27

Sistema estructural de resistencia ante fuerzas laterales



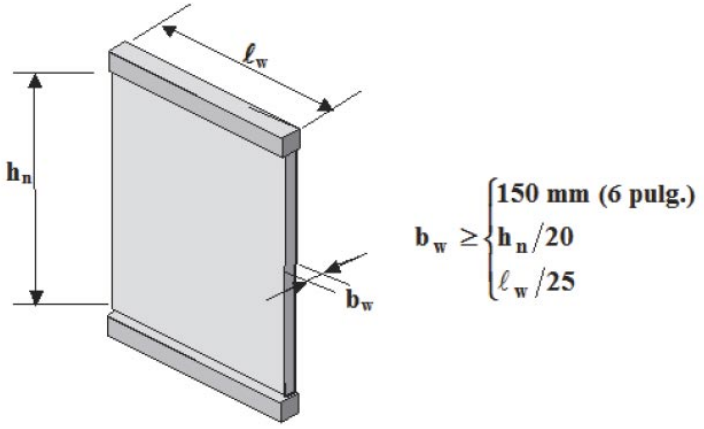
Nota. 4.14.1., ACI 314RS-11, 2025.

- Requisitos de las dimensiones

Espesor mínimo: el espesor mínimo de los muros debe ser el mayor valor entre 150 mm, o 1/25 de la longitud del muro (l_w)

Figura 28

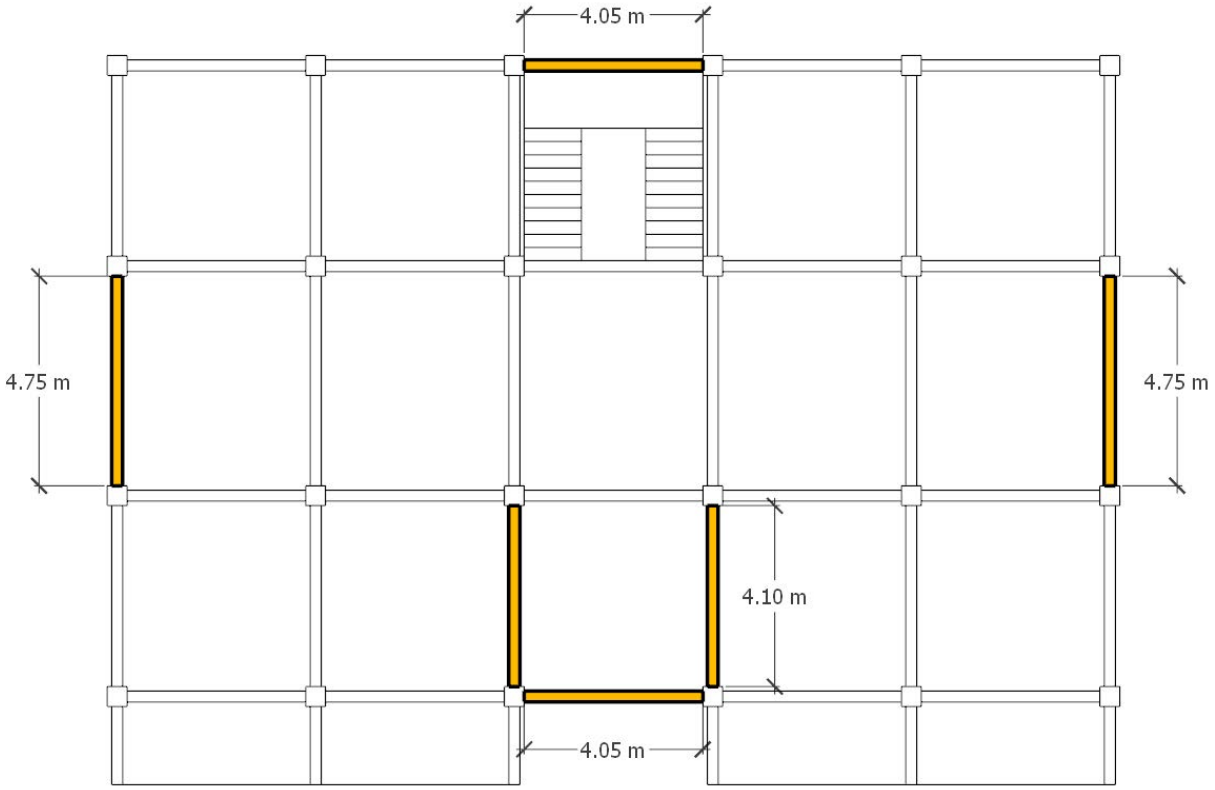
Dimensiones mínimas de la sección transversal en muros rectangulares de concreto reforzado



Nota. Figura 12.3.2.1., ACI 314RS-11, 2025.

Figura 29

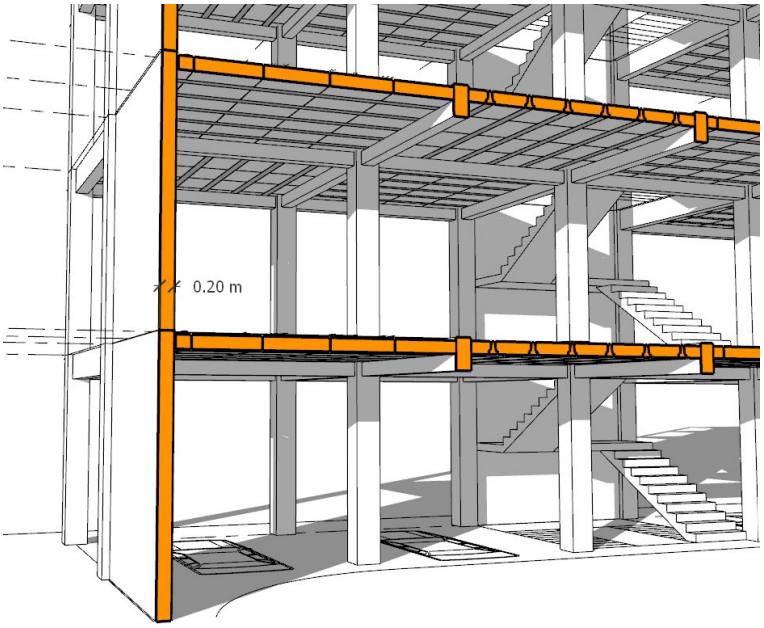
Longitud (l_w)de muros de carga



$$Espesor_{muro}(b_w) = \frac{4{,}75m}{25} = 0{,}19 \approx 0{,}20m \tag{86}$$

Figura 30

Espesor (b_w) *de muros de carga*

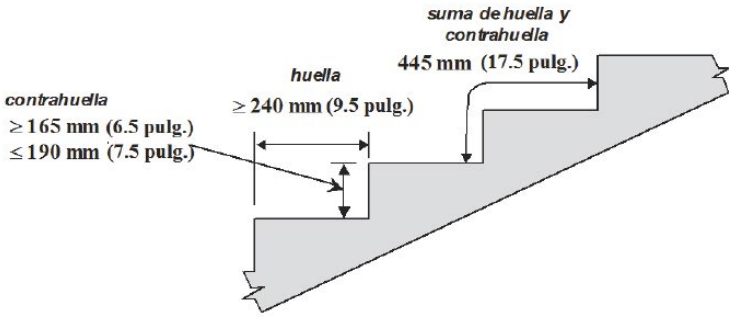


3.5.5 Dimensionado de Escaleras

De acuerdo al apartado ACI 314RS-11, 13.1.3.2 Ancho mínimo de escaleras — El ancho mínimo de la escalera y la dimensión mínima del descanso deben ser 1.20 m. ACI-314RS-11 (2013)

Figura 31

Dimensión máxima de contrahuella y mínima de huella y contrahuella en escaleras



Nota. Figura 13.1.3.3., ACI 314RS-11, 2025.

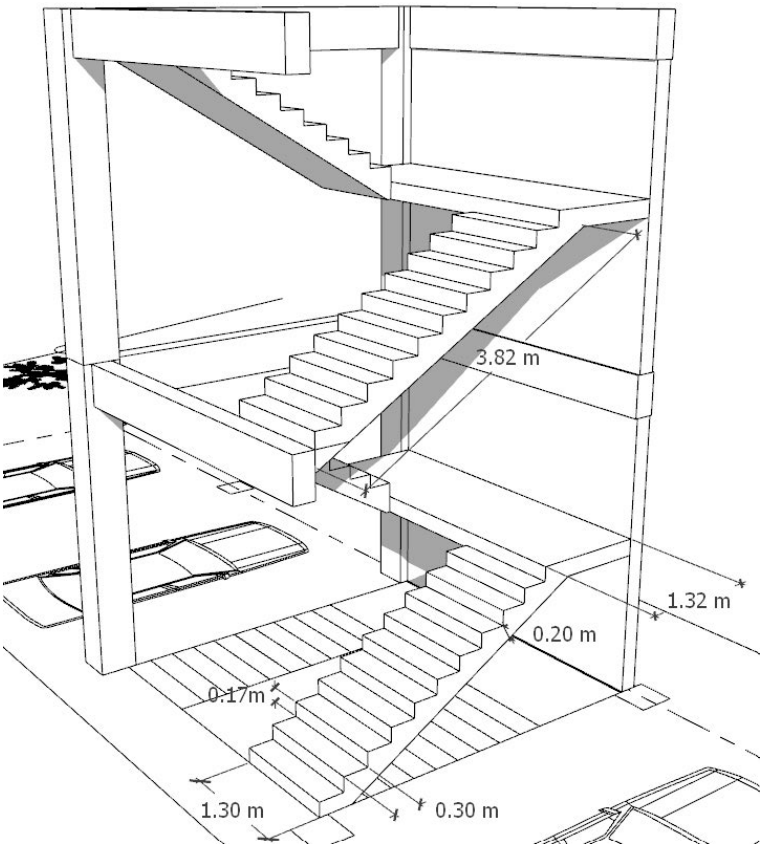
De acuerdo con ACI 314RS-11 para el predimensionado de losas inclinadas (tipo escalera apoyada en bordes), el espesor mínimo puede estimarse como:

$$Espesor_{losa}(h) = \frac{l}{20} \sim \frac{l}{25} \tag{87}$$

$$Espesor_{losa}(h) = \frac{3{,}82m}{20} = 0{,}191 \approx 0{,}20m \tag{88}$$

Figura 32

Dimensiones de escaleras en ducto



Con la conclusión del dimensionado estructural, basado en la norma ACI 314RS-11, se permite establecer dimensiones coherentes para vigas, losas, columnas, muros y escaleras, facilitando el desarrollo de un modelo estructural funcional desde las etapas preliminares del proyecto. Proporciona una guía eficiente para garantizar estabilidad, rigidez y compatibilidad entre elementos, optimizando así el proceso de diseño estructural.

De todos los elementos estructurales calculados, falta por desarrollar el dimensionado de cimentaciones, sin embargo, será efectuado una vez se conozcan todas las cargas últimas de diseño.

Figura 33

Vista de conjunto y edificación con dimensiones terminadas de elementos estructurales de acuerdo a norma ACI 314RS-11

3.6 Estimación de Cargas Estáticas, Amplificación y Combinaciones de Carga y Cargas Dinámicas

3.6.1 Cargas Permanentes (Carga Muerta)

De acuerdo al apartado ACI 314RS-11, 4.5.1 Definición de cargas muertas — Las cargas muertas corresponden al peso de los materiales de construcción empleados en la edificación, incluyendo pero sin limitarse a: estructura, muros, pisos, techos, cielo raso, escaleras, rampas, acabados, revestimientos, otros sistemas arquitectónicos y estructurales y equipos de instalaciones interiores de servicio fijos. Al determinar las cargas muertas para efectos de diseño, se deben usar los pesos reales de los materiales y construcciones. Para efectos de

diseño, el peso de los equipos de instalaciones de servicios interiores fijos, tales como tuberías hidráulicas y sanitarias, subestaciones eléctricas y sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado, se deben incluir en las cargas muertas.ACI-314RS-11 (2013)

El peso propio del concreto: el peso unitario del concreto reforzado se debe tomar como 2400 kg/m^3 x g = 23.5 kN/m^3

Cargas muertas de elementos no estructurales: las cargas muertas producidas por elementos no estructurales se deben dividir en elementos no estructurales horizontales y verticales.

Elementos no estructurales horizontales: estos deben incluir materiales de construcción con una dimensión vertical sustancialmente menor que sus dimensiones horizontales, y están aplicados, soportados, añadidos, fijados o suspendidos de las losas o del techo de la edificación.ACI-314RS-11 (2013)

Elementos no estructurales verticales: los elementos no estructurales verticales deben incluir los materiales de construcción cuya dimensión vertical es substancialmente mayor que su mínima dimensión horizontal y pueden ser autoportantes verticalmente, soportados por los elementos estructurales verticales o anclados a ellos, o están apoyados solamente en las losas de entrepiso. ACI-314RS-11 (2013)

Tabla 20

Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales: cielo raso

Componente: Cielo raso	Carga (kN/m^2) por m^2 de área en planta	Carga ($lb./pie^2$) por pie^2 de área en planta
Canales suspendidas de acero	0.10	2
Ductos mecánicos	0.20	4
Entramado metálico suspendido afinado en cemento	0.70	15
Entramado metálico suspendido afinado en yeso	0.50	10
Fibras acústicas	0.05	1
Pañete sobre losa o concreto	0.25	5
Pañete en entramado de madera	0.40	8
Tableros de yeso	0.0080 (por mm de espesor)	0.55 (por 1/8 pulg. de espesor)
Sistema de eléctrico y de iluminación	0.05	1
Sistema de rociadores	0.30	6
Sistema de suspensión de madera.	0.15	2.5

Nota. Tabla 4.5.3.1a., ACI 314RS-11, 2025.

Tabla 21

Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales: pisos

Componente: Pisos y acabados	Carga (kN/m^2) por m^2 de área en planta	Carga ($lb./pie^2$) por pie^2 de área en planta
Acabado de piso en concreto	0.020 (por mm de espesor)	12 (por pulg. de espesor)
Afinado de 25 mm (1 pulg.) sobre concreto de agregado pétreo	1.50	32
Baldosa cerámica de 20 mm (3/4 pulg.) sobre 12 mm (1/2 pulg.) de mortero.	0.80	16
Baldosa cerámica 20 mm (3/4 de pulg.) sobre 25 mm (1 pulg.) de mortero.	1.10	23
Baldosa plana maciza sobre 25 mm (1 pulg.) de mortero	1.10	23
Bloque de asfalto de 50 mm (2 pulg.), sobre 12 mm (1/2 pulg.) de mortero	1.50	30
Bloque de madera de 75 mm (3 pulg.) sobre mástico sin relleno	0.50	10
Bloque de madera de 75 mm (3 pulg.) sobre 12 mm (1/2 pulg.) de mortero	0.80	16
Durmientes de madera, 20 mm (3/4 pulg.)	0.15	3
Madera densa, 25 mm (1 pulg.)	0.20	4
Mármol y mortero sobre concreto de agregado pétreo	1.60	33
Piso asfáltico o linóleo, 6 mm (1/4 pulg.)	0.05	1
Pizarra	0.030 (por mm de espesor)	15 (por pulg. de espesor)
Terrazzo de 25 mm (1 pulg.), concreto 50 mm (2 pulg.)	1.50	32
Terrazzo de 40 mm (1-1/2 pulg.) directamente sobre la losa	0.90	19
Terrazzo de 25 mm (1 pulg.) sobre afinado en concreto	1.50	32

Nota. Tabla 4.5.3.1c., ACI 314RS-11, 2025.

Tabla 22

Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales: muros

Componente: Muros	Carga (kN/m²) por m² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)					Carga (lb./pie²) por pie² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en lb./pie)				
Exteriores de paneles (postes de acero o madera):										
Panel de yeso de 15 mm (5/8 de pulg.), aislado, panel interior de 10 mm (3/8 de pulg.) , postes de 50 x 100 mm (2 x 4 pulg.) cada 400 mm (16 pulg.)	0.55					11				
Panel de yeso de 15 mm (5/8 de pulg.), aislado, panel interior de 10 mm (3/8 de pulg.) , postes de 50 x 150 mm (2 x 6 pulg.) cada 400 mm (16 pulg.)	0.60					12				
Exteriores con enchape en ladrillo	2.30					48				
Mampostería maciza de arcilla:	Espesor del muro (en mm)					Espesor del muro (en pulg.)				
	100	150	200	250	300	4	8	12	16	
Sin pañetar	1.90	2.90	3.80	4.70	5.50	39	79	115	155	
Mampostería de bloque de arcilla:	Espesor del muro (en mm)					Espesor del muro (en pulg.)				
	100	150	200	250	300	4	6	8	25	12
Pañetado en ambas caras	1.80	2.50	3.10	3.80	4.40	37	52	64	79	91
Sin pañetar	1.30	2.00	2.60	3.30	3.90	27	41	54	68	81
Mampostería de bloque de concreto:	Espesor del muro (en mm)					Espesor del muro (en pulg.)				
	100	150	200	250	300	4	6	8	10	12
Sin relleno	1.40	1.45	1.90	2.25	2.60	29	30	39	47	54
Relleno cada 1.2 m (48 pulg.)		1.70	2.25	2.70	3.15		36	47	57	66
Relleno cada 1.0 m (40 pulg.)		1.80	2.30	2.80	3.30		37	48	59	69
Relleno cada 0.8 m (32 pulg.)		1.80	2.40	3.00	3.45		38	50	62	72
Relleno cada 0.6 m (24 pulg.)		2.00	2.60	3.20	3.75		41	54	67	78
Relleno cada 0.4 m (16 pulg.)		2.20	2.90	3.60	4.30		46	61	76	90
Todas las celdas llenas		3.00	4.00	5.00	6.10		62	83	105	127
Mampostería maciza de concreto:	Espesor del muro (en mm)					Espesor del muro (en pulg.)				
	100	150	200	250	300	4	6	8	10	12
Sin pañetar	2.00	3.10	4.20	5.30	6.40	41	64	87	110	133

Nota. Tabla 4.5.3.2d., ACI 314RS-11, 2025.

Tabla 23

Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales: ventanas

Componente: Ventanas	Carga (kN/m²) por m² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)	Carga (lb./pie²) por pie² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en lb./pie)
Fachadas de vidrio, entramado y marco	0.50	10
Ventanas, vidrio, entramado y marco	0.40	8

Nota. Tabla 4.5.3.2e., ACI 314RS-11, 2025.

De acuerdo al apartado ACI 314RS-11, 13.2 — Tanques pequeños de agua (para almacenamiento de agua potable).

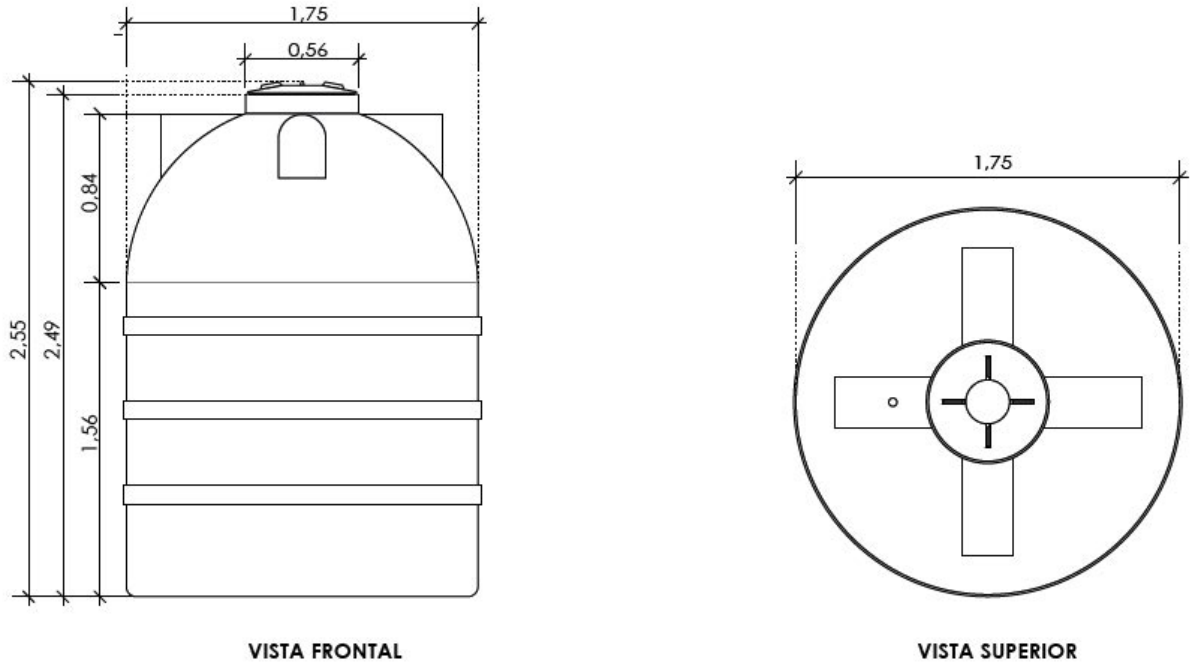
Cargas a incluir: las cargas para tanques se deben establecer a partir del peso propio y fuerzas sísmicas de tanques soportados por la estructura, como aquellos localizados en el techo o en cualquier otro piso de la edificación. Nótese que un tanque de agua cuando está lleno puede contener una gran masa de agua, y puede por lo tanto inducir una fuerza sísmica significativa.

Cargas mayoradas: las cargas mayoradas resultantes se deben aumentar en un 30 %.

Para el diseño se establece una distribución de 2 tanques externos de captacion de agua, tricapa de 5000 litros cada uno, de la marca Ecotank 01-005001. Para un total de 10000 litros de agua almacenada.

Figura 34

Dimensiones de los tanques de captación a calcular



Nota. La casa del tanque, catálogo de productos, 2025.

Cálculo de carga muerta generada por los tanques de almacenamiento:

Peso del tanque vacío: 90 kg

Volumen: 5000 L

Peso total: 5090 kg

Área de apoyo (base): 10.24 m²

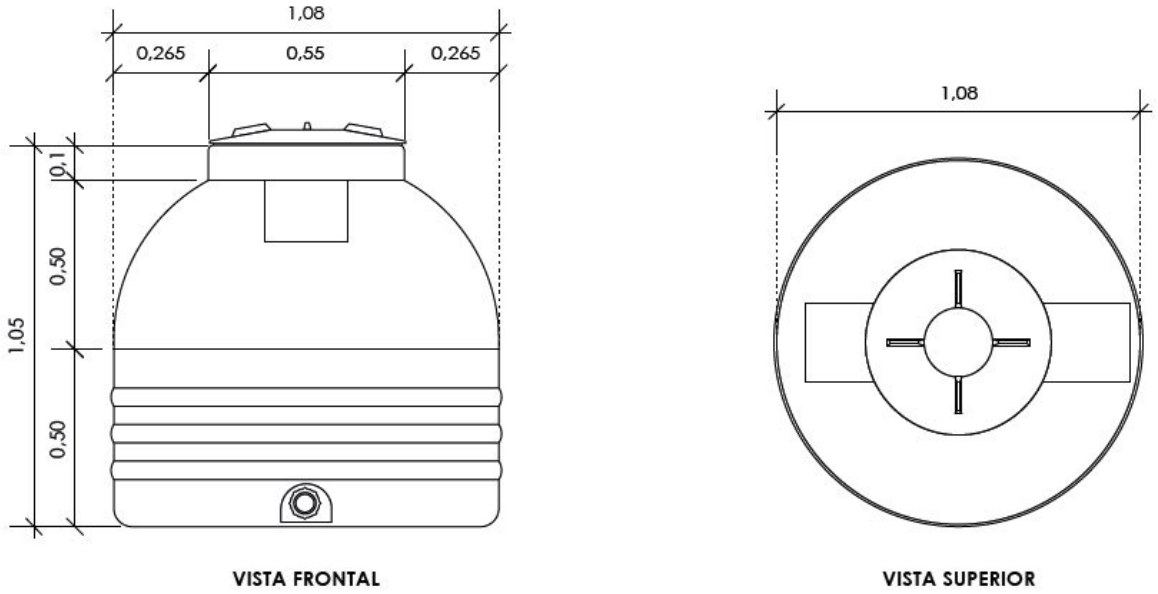
$$Carga_{tanque} = \frac{5090kg \cdot (\frac{9{,}81m/s^2}{1000})}{10,24m^2} = 4,88kN/m^2 \tag{89}$$

La carga distribuida sobre el área de la base del tanque es de 497,62 kg/m² por cada tanque de almacenamiento + 30 % = 646,906 kg/m².

Para el sistema propuesto de cascada artificial en fachada, se contemplan 2 tanques de almacenamiento de 750 litros cada uno.

Figura 35

Dimensiones de los tanques de almacenamiento para suministro de cascada artificial en fachada



Nota. La casa del tanque, catálogo de productos, 2025.

Cálculo de carga muerta generada por los tanques de almacenamiento para el sistema de cascada artificial:

Peso del tanque vacío: 13 kg

Volumen: 750 L

Peso total: 763 kg

Área de apoyo (base): 10.24 m²

$$Carga_{tanque} = \frac{763kg \cdot (\frac{9{,}81m/s^2}{1000})}{10{,}24m^2} = 0{,}73kN/m^2 \tag{90}$$

La carga distribuida sobre el área de la base del tanque es de 74.43 kg/m² por cada tanque de almacenamiento + 30 % = 96,76 kg/m².

El apartado ACI 314RS-11, 4.5.4 Equipos fijos — La carga muerta debida a equipos fijos debe ser la suministrada por el fabricante del equipo.

- Equipo de ascensores:

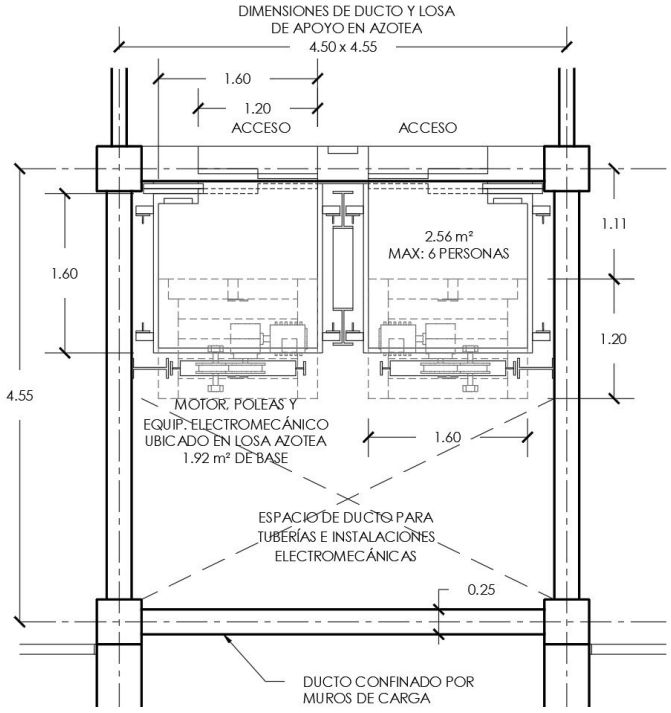
Se escoge el elevador modelo Schindler 3000 Plus, de la marca Schindler con las siguientes características: Schindler (2025)

Peso total: 1350 kg

Superficie de apoyo en cuarto de máquinas: 1,92 m²

Figura 36

Detalle de ducto y elevadores vista en planta

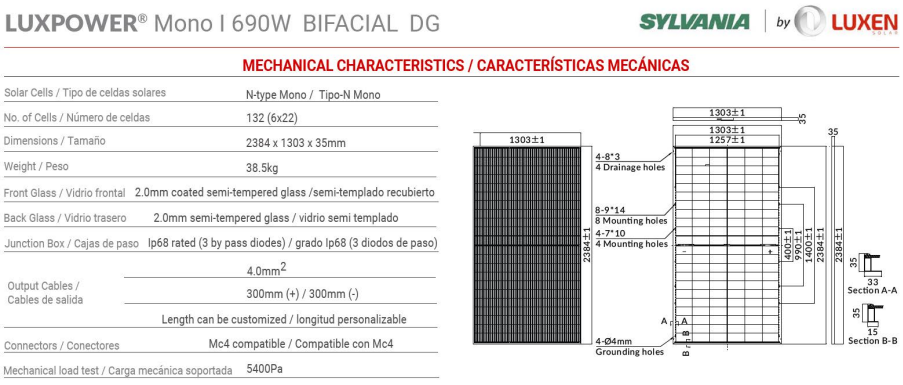


$$Carga_{elevadores} = \frac{Peso_{total}}{Área_{apoyo}} = \frac{2700kg}{3{,}84m^2} = 703{,}1kg/m^2 \tag{91}$$

- Equipo de paneles solares

Figura 37

Características de los paneles solares a calcular



LUXPOWER® Mono I 690W BIFACIAL DG

SYLVANIA | by LUXEN

MECHANICAL CHARACTERISTICS / CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Solar Cells / Tipo de celdas solares	N-type Mono / Tipo-N Mono
No. of Cells / Número de celdas	132 (6x22)
Dimensions / Tamaño	2384 x 1303 x 35mm
Weight / Peso	38.5kg
Front Glass / Vidrio frontal	2.0mm coated semi-tempered glass /semi-templado recubierto
Back Glass / Vidrio trasero	2.0mm semi-tempered glass / vidrio semi templado
Junction Box / Cajas de paso	Ip68 rated (3 by pass diodes) / grado Ip68 (3 diodos de paso)
Output Cables / Cables de salida	4.0mm²
	300mm (+) / 300mm (-)
	Length can be customized / longitud personalizable
Connectors / Conectores	Mc4 compatible / Compatible con Mc4
Mechanical load test / Carga mecánica soportada	5400Pa

Nota. Sylvania, catálogo de productos, 2025.

Se propone instalar un equipo de paneles solares compuesto por 8 unidades de las características mostradas, ubicados en el nivel 0+15.40m sobre la losa de entrepiso de la azotea inferior.

Cada uno de estos paneles tiene un peso total de 38,5 kg. El área que abarca cada equipo es de 3,09 m².

$$Carga_{paneles} = \frac{Peso_{total}}{\text{Á}rea_{apoyo}} = \frac{308kg}{3{,}09m^2} = 99{,}68kg/m^2 \tag{92}$$

Los paneles solares son elementos permanentes, por tanto, forman parte de la carga muerta que se debe considerar en el diseño estructural de la losa.

Esta carga muerta será contemplada en el cálculo de áreas tributarias del análisis del nivel 0+15.40m.

- Equipos de aire acondicionado:

Se escoge el equipo para aire acondicionado modelo VM122C9, de la marca LG con las siguientes características: Signature (2025)

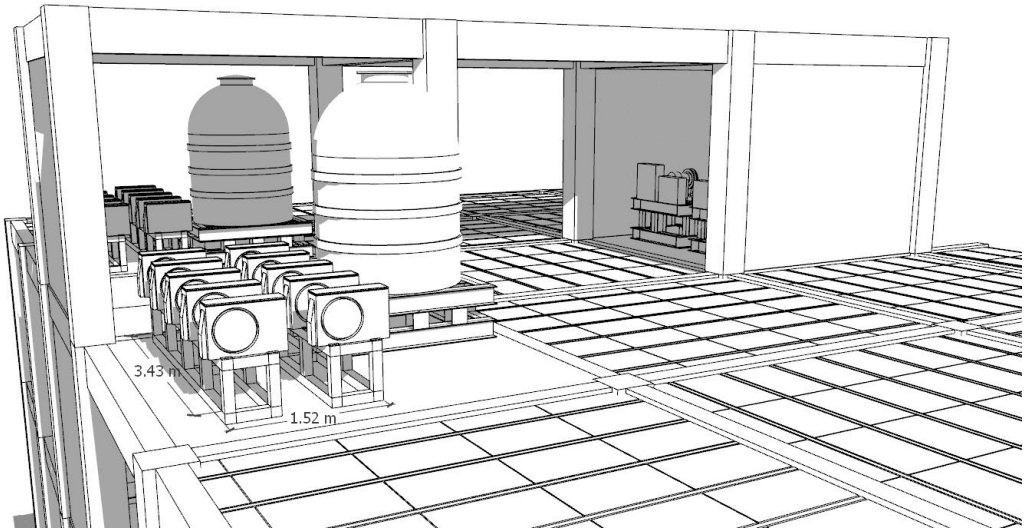
Peso Condensador (unidad exterior): 23.3 kg

Dimensión Condensador: 717 x 495 x 230 mm

Área de apoyo (10 unidades por losa): 1.65 m²

Figura 38

Distribución de condensadores para sistema A/C



$$Carga_{aires} = \frac{233kg}{5{,}37m^2_{franja}} = 43{,}4kg/m^2 \tag{93}$$

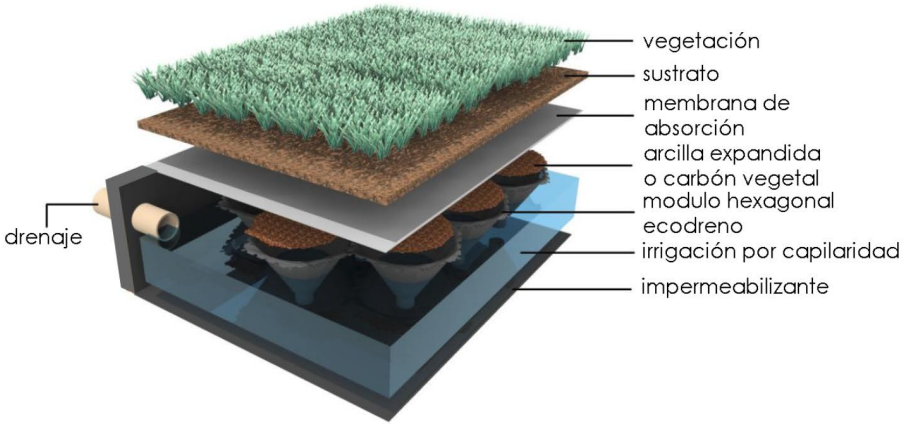
En la franja donde están los equipos, la losa recibe una carga muerta localizada de 43.4 kg/m².

- Cubierta verde:

Se selecciona el tipo de cubierta en sistema laminar de la marca Helecho a proyectar en la losa del nivel de azotea.

Figura 39

Sistema de cubierta verde tipo Laminar.



Nota. Helecho, catálogo de productos, 2025.

Para este tipo de cubierta se cuenta con las siguientes características:

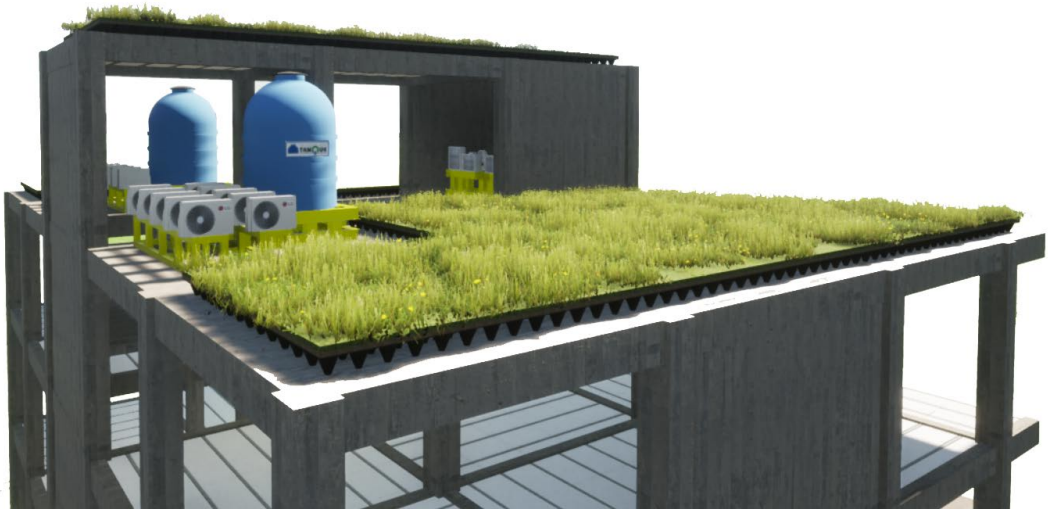
Espesor del sistema: 0,30 m

Capacidad de retención: 200 l/m²

Peso del sistema: 250 kg/m² Cubiertas (2025)

Figura 40

Propuesta de cubierta verde sobre losa de azotea



Para el cálculo de la carga total transmitida:

$$Carga_{transmitida} = \text{Área}_{losa} \cdot Carga_{cubierta} \tag{94}$$

$$Losa_{oeste} = 111{,}97m^2 \cdot 250kg/m^2 = 27992{,}5kg \tag{95}$$

$$Losa_{central} = 56{,}07m^2 \cdot 250kg/m^2 = 14017{,}5kg \tag{96}$$

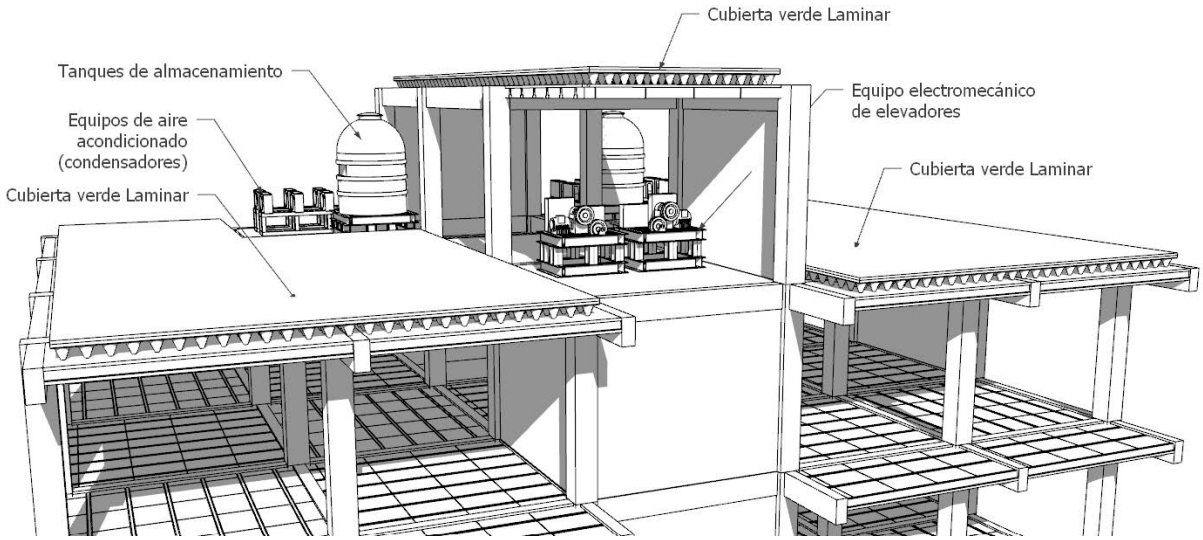
$$Losa_{este} = 111{,}97m^2 \cdot 250kg/m^2 = 27992{,}5kg \tag{97}$$

De esta manera, teniendo en cuenta la capacidad de carga que resiste el sistema prefabricado de viguetas de entrepiso, la carga impuesta por la cubierta verde de 27,993 kg, representa aproximadamente el 35.7 % de la capacidad total de carga de la losa, que es de 700 kg/m².

Eso deja un margen considerable, alrededor del 64 % para otras cargas muertas como peso propio de losa, impermeabilización, instalaciones y cargas vivas, ya que se permite el acceso a personas o mantenimiento.

Figura 41

Resumen de componentes a ubicar en losas de azotea con carga muerta



3.6.2 Cargas Temporales (Carga Viva)

Las cargas vivas son aquellas producidas por el uso y ocupación de la edificación y no incluyen cargas de construcción o ambientales como las producidas por viento, lluvia, sismo o cargas muertas. Las cargas vivas deben ser las máximas esperadas por el uso u ocupación proyectados pero en ningún caso deben ser menores que las cargas mínimas uniformemente distribuidas mostradas a continuación: ACI-314RS-11 (2013)

Tabla 24

Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m^2) por m^2 de área en planta	Carga uniforme (lb./pie^2) por pie^2 de área en planta
Grupo A – Reunión	Balcones	6.0	125
	Corredores y escaleras	6.0	125
	Gimnasios	6.0	125
	Vestíbulos	6.0	125
	Silletería móvil	6.0	125
	Áreas recreativas	5.0	100
	Plataformas	6.0	125
Grupo B – Negocios	Corredores y escaleras	5.5	115
	Oficinas	2.5	50
	Restaurantes	5.5	115
Grupo E – Educativos	Salones de clase	3.0	65
	Corredores y escaleras	6.0	125
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	3.5	75
	Estanterías	8.0	170
Grupo F – Fábricas	Industrias livianas	7.0	150
Grupo I – Institucional	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	85
	Pabellones y cuartos privados	2.5	50
	Corredores y escaleras	5.5	115
Grupo M – Comercio	Minorista	5.5	115
	Mayorista	7.0	150
Grupo R – Residencial	Balcones	5.5	115
	Cuartos privados y sus corredores	2.2	50
	Cuartos públicos y sus corredores	5.5	115
	Escaleras	6.0	125
Grupo S – Almacenamiento	Liviano	6.5	140
Grupo U –Servicios y Misceláneos	Garajes sólo para automóviles de pasajeros	2.8	60

Nota. Tabla 4.6., ACI 314RS-11, 2025.

Cargas Vivas en Techos

La carga viva del techo no debería ser menor que el máximo valor de las cargas vivas usadas en el resto de la edificación, y cuando ésta tenga uso mixto, tal carga debería ser la mayor de las cargas vivas correspondientes a los diferentes usos. ACI-314RS-11 (2013)

Así como el ACI 314R-11, CSCR incluye una tabla con valores mínimos de carga viva recomendados, que dependen del uso u ocupación de cada espacio dentro de un edificio.

Tabla 25

Cargas temporales unitarias mínimas

Destino del piso	Carga temporal (kg/m²)
Habitación (casas de habitación, apartamentos, viviendas, dormitorios, cuartos de hotel, edificios para internados en escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).	200
Oficinas, despachos, laboratorios, salones de lectura, aulas, salas de juego y similares.	250
Escaleras, rampas, vestíbulos y pasajes de libre acceso al público.	400
Lugares de reunión desprovistos de asientos fijos, estadios, salones de baile, etc.	500
Bibliotecas y salones de archivo.	500
Lugares de reunión con asientos fijos, templos, cines, teatros, gimnasios, etc.	400
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía ligera.	500
Comercios, bodegas y fábricas de mercancías con *peso* intermedio.	650
Comercios, bodegas y fábricas de mercancía pesada.	800
Techos de fibrocemento, láminas de acero galvanizado y otros.	40
Azoteas con pendiente superior al 5 por ciento.	100
Azoteas con pendiente inferior o igual al 5 por ciento.	200
Voladizos en vía pública (marquesinas, balcones y similares).	300
Garajes y aparcamientos (para automóviles exclusivamente).	300

Nota. Tabla 6.1., CSCR, 2025.

Para el análisis estructural de este proyecto se usa la tabla mostrada por el CSCR ya que es una norma obligatoria y oficial para diseño estructural en el país y tiene jerarquía legal debido a que todos los proyectos de construcción deben cumplirla.

Una vez que se ha identificado y cuantificado la totalidad de cargas verticales que actúan sobre los elementos estructurales (losa, vigas, muros, columnas), tanto permanentes (carga muerta) como la carga temporal (carga viva), se puede proceder con la metodología de cálculo mediante áreas tributarias para determinar cuánta carga se transmite de las losas a las vigas.

3.6.3 Amplificación y Combinaciones de Carga

Antes de continuar con el cálculo de las cargas sobre la estructura, se definirá la amplificación de las cargas y sus combinaciones para así contar con los factores de seguridad y distintos tipos de carga que podrían actuar simultáneamente, de acuerdo al código ACI

314RS-11 así como al CSCR2010.

- Mayoración de Cargas

En el apartado ACI 314RS-11, 4.2.1 Carga muerta y viva — La resistencia requerida mayorada U , para resistir las cargas muertas D y vivas L debe ser:

$$U = 1{,}2D + 1{,}6L \tag{98}$$

Este método de multiplicar cada carga por un factor de seguridad (mayorador) se aplica con el fin de considerar incertidumbres en la magnitud real de las cargas, las condiciones de los materiales y los fallos imprevistos.

- Combinaciones de carga:

Para el CSCR2010, la sección 6.2.1 Combinaciones para obtener la carga última de diseño - Cada elemento, componente o unión de la estructura, y esta como unidad, debe tener capacidad para resistir las siguientes combinaciones de carga:

$$CU = 1{,}4 \cdot CP \tag{99}$$

$$CU = (1{,}2 \cdot CP) + (1{,}6 \cdot CT) \tag{100}$$

$$CU = (1{,}05 \cdot CP) + CT \pm CS \tag{101}$$

$$CU = (0{,}95 \cdot CP) \pm CS \tag{102}$$

El objetivo de estas combinaciones será el de simular condiciones reales extremas y así evaluar escenarios probables y críticos.

3.7 Método de Cálculo por Áreas Tributarias y Bajada de Cargas

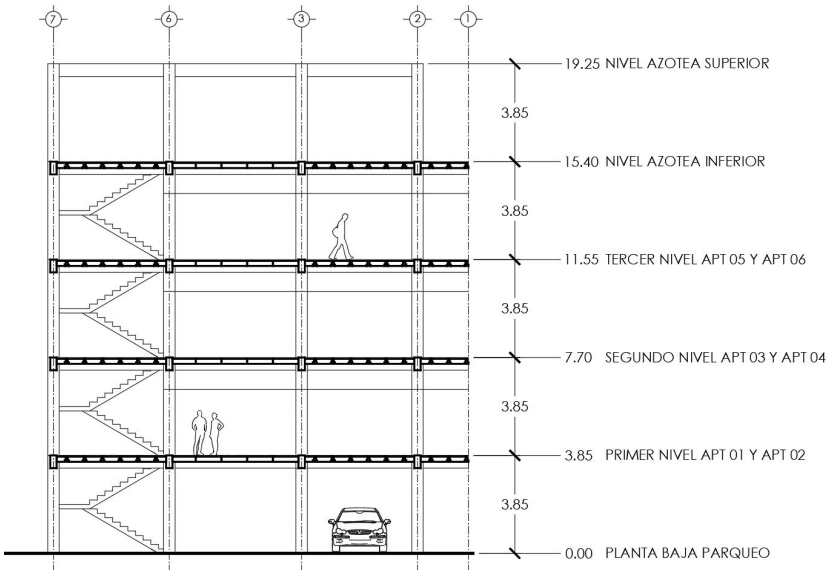
Para la estimación de las cargas estáticas en el modelo estructural, se empleará el método de áreas tributarias, una metodología empleada en el diseño estructural para asignar correctamente las cargas gravitacionales a los diferentes elementos portantes del sistema, como vigas, columnas, losas y muros.

El método de áreas tributarias consiste en determinar el área de losa que transfiere carga hacia un elemento estructural específico. Cada viga o columna se considera como receptora de una porción del área de losa adyacente, y la carga aplicada sobre esa superficie se calcula multiplicando el área tributaria por la carga superficial correspondiente.

De esta forma, se procede con el cálculo para cada nivel, comenzando desde el nivel superior y descendiendo en sumatoria hasta el nivel inferior de la edificación.

Figura 42

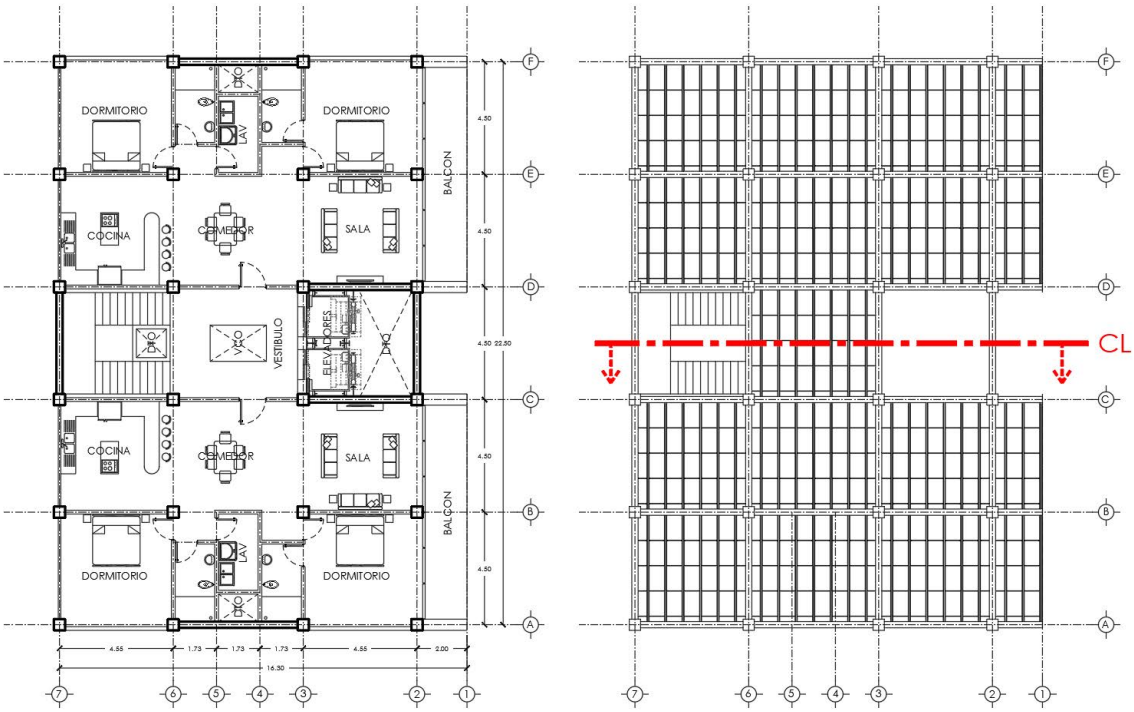
Vista sección lateral con alturas de nivel definidas



Para la realización del análisis por áreas tributarias, se decide girar el modelo de manera que se aproveche la simetría que lo caracteriza, así como el aprovechamiento de la posición horizontal para ayuda visual de los planos y diagramas durante el análisis estructural.

Figura 43

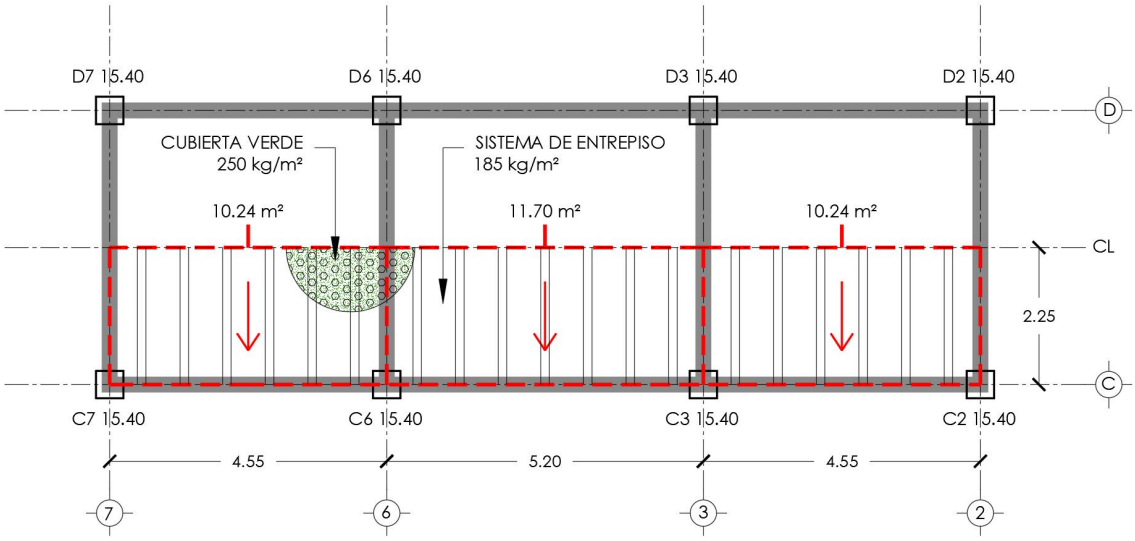
Orientación del modelo para la realización del análisis estructural



3.7.1 Nivel 0+19,25 m Azotea Superior: Cálculo de Áreas Tributarias, Cargas Axiales y Peso Sísmico

Figura 44

Áreas tributarias Nivel 0+19,25 m azotea superior



Peso propio de la viga banquina en eje C:

$$P.P._{v.ba.(C)} = b \cdot h \cdot \gamma_{ho} = 0{,}15m \cdot 0{,}15m \cdot 2400kg/m^3 = 54kg/m \tag{103}$$

Carga muerta no estructural vertical en eje C (Mampostería de bloque de concreto de 150 mm, todas las celdas rellenas ACI 314RS-11 Tabla 4.5.3.2d):

$$Carga_{pared} = 305{,}91kg/m^2_{Tabla4,5,3,2d} \cdot h_{pared} = 305{,}91kg/m^2 \cdot 0{,}40m = 122{,}36kg/m \tag{104}$$

Peso propio de la viga de entrepiso en eje C:

$$P.P._{v.c.(C)} = b \cdot h \cdot \gamma_{ho} = 0{,}25m \cdot 0{,}50m \cdot 2400kg/m^3 = 300kg/m \tag{105}$$

Carga en viga (C) por peso de cubierta verde:

$$Carga_{verde} = [(4{,}55 + 5{,}20 + 4{,}55)\, 2{,}25] \cdot 250kg/m^2 = 8212{,}5kg \tag{106}$$

Carga en viga (C) por peso de entrepiso:

$$Carga_{entrepiso} = [(4{,}55 + 5{,}20 + 4{,}55)\, 2{,}25] \cdot 185kg/m^2 = 5952{,}38kg \tag{107}$$

Carga en viga (C) por peso de canales suspendidos, ductos, entramado metálico suspendido, sistema electromecánico y rociadores:

$$Carga_{cielos} = [(4{,}55 + 5{,}20 + 4{,}55)\, 2{,}25] \cdot 117{,}27kg/m^2 = 3773{,}16kg \tag{108}$$

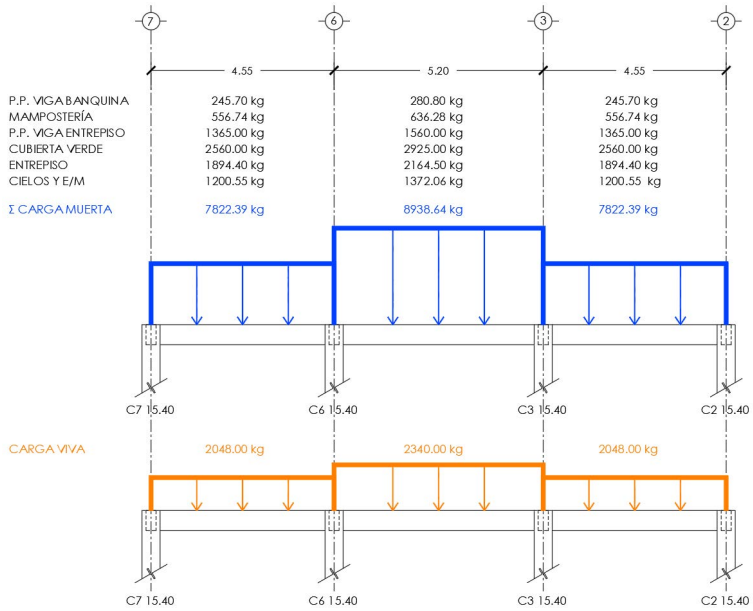
Carga en viga (C) por peso de carga viva Tabla 6.1 CSCR:

$$Carga_{viva} = [(4{,}55 + 5{,}20 + 4{,}55)\, 2{,}25] \cdot 200kg/m^2 = 6435{,}0kg \tag{109}$$

- Resumen de cargas (eje C nivel 0+19,25):

Figura 45

Resumen de cargas sin mayorar, Eje C, Nivel 0+19,25m azotea superior



- Bajada de cargas sin factor de amplificación (eje C nivel 0+19,25m hasta 0+15,40m):

En el método de bajada de cargas, se debe considerar en el análisis estructural, el comportamiento de la distribución y direccionalidad de las cargas verticales al existir muros portantes dentro del conjunto de elementos estructurales.

Con estos muros de carga, al estar confinados verticalmente por columnas, estas comparten la carga y esta carga se va a distribuir de acuerdo con la proporción de la rigidez axial de cada uno de los elementos (metodología de proporcionalidad por rigidez axial).

La rigidez axial se calcula con:

$$K = \frac{A}{L} \tag{110}$$

Donde:

A: Área de la sección transversal del elemento.

L: Altura libre del elemento.

La distribución de la carga por rigidez se obtiene:

$$P_i = \frac{K_i}{\sum_K} \cdot P_{total} \tag{111}$$

Donde:

P_i: Carga asignada al elemento.

K_i: Rigidez axial del elemento.

$\sum_K$: Suma de todas las rigideces de los elementos que comparten carga.

P_{total}: Carga total que se distribuye.

- Distribución total de carga entre 1/2 muro eje 7 nivel 0+19,25 m a 15,40 m y columna C7 nivel 0+19,25m a 15,40 m.

Para este cálculo, lo que se demostrará es que a mayor sección del elemento (área), este recibirá más carga axial.

La carga no se distribuye equitativamente, sino según la capacidad de cada elemento para resistir deformación axial.

Mediante esta metodología de proporcionalidad por rigidez axial se calcularán todas las cargas axiales que llegan a las columnas y los muros portantes que conforman esta configuración.

Cálculo de rigidez de la columna C7:

$$K_c = \frac{0{,}2025m^2}{3{,}35m} \simeq 0{,}0604 \tag{112}$$

Cálculo de rigidez del muro portante Eje 7:

$$A_m = 0{,}20 \cdot 2{,}025 = 0{,}405m^2 \tag{113}$$

$$Altura_{libre} = 3{,}35m \tag{114}$$

$$K_c = \frac{0{,}405m^2}{3{,}35m} \simeq 0{,}1209 \tag{115}$$

Cálculo de rigideces totales:

$$K_{total} = K_c + K_m = 0{,}0604 + 0{,}1209 = 0{,}1813 \tag{116}$$

Cálculo de carga parcial en columna C7:

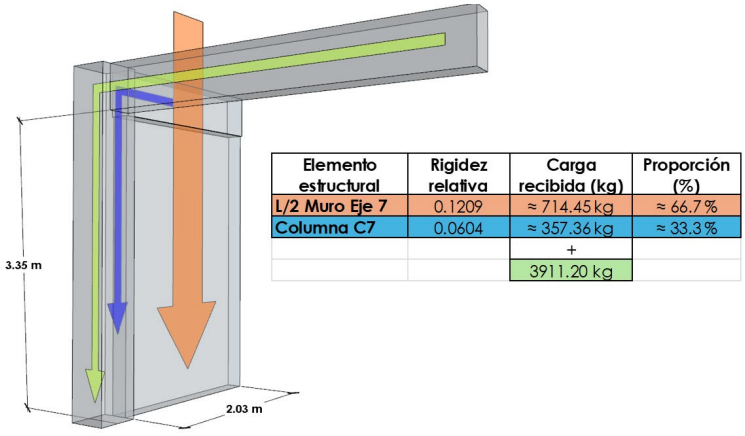
$$P_{columna} = \frac{0{,}0604}{0{,}1813} \cdot 1071{,}81 \simeq 357{,}36kg \tag{117}$$

Cálculo de carga parcial en L/2 muro Eje 7:

$$P_{columna} = \frac{0{,}1209}{0{,}1813} \cdot 1071{,}81 \simeq 714{,}45kg \tag{118}$$

Tabla 26

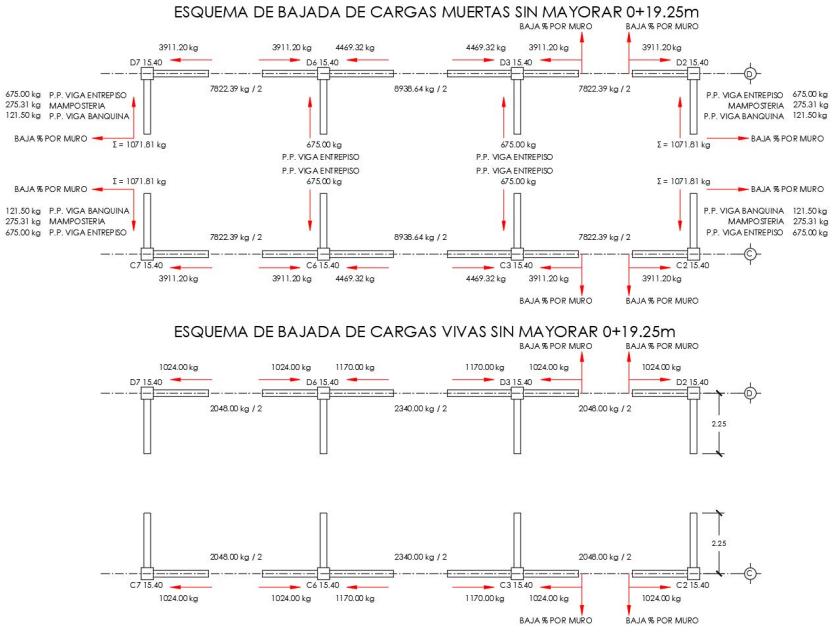
Diagrama resumen de bajada de cargas muertas sin mayorar en C7 y muro eje 7



Elemento estructural	Rigidez relativa	Carga recibida (kg)	Proporción (%)
L/2 Muro Eje 7	0.1209	≈ 714.45 kg	≈ 66.7 %
Columna C7	0.0604	≈ 357.36 kg	≈ 33.3 %
		+	
		3911.20 kg	

Figura 46

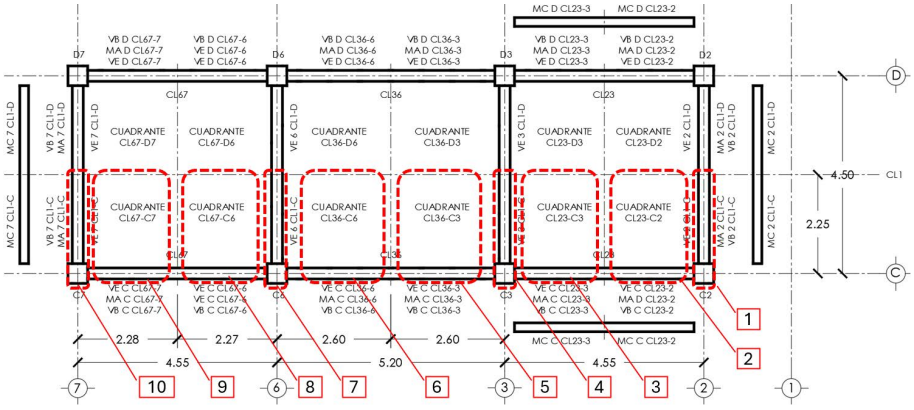
Esquema resumen de bajada de cargas muertas y vivas sin mayorar, nivel 0+19,25 m



Para la identificación de cada elemento estructural, como lo son las vigas, muros o columnas, así como los elementos no estructurales, como mampostería o recubrimientos, se propone un esquema de elementos para identificar sus características y la comprensión de la transferencia de la carga desde cada cuadrante a manera de área tributaria y a través de cada elemento sobre el cual se realiza la transferencia de las cargas.

Figura 47

Esquema de elementos estructurales, nivel 0+19,25 m



Las siguientes tablas representan la metodología para obtener las cargas axiales me-

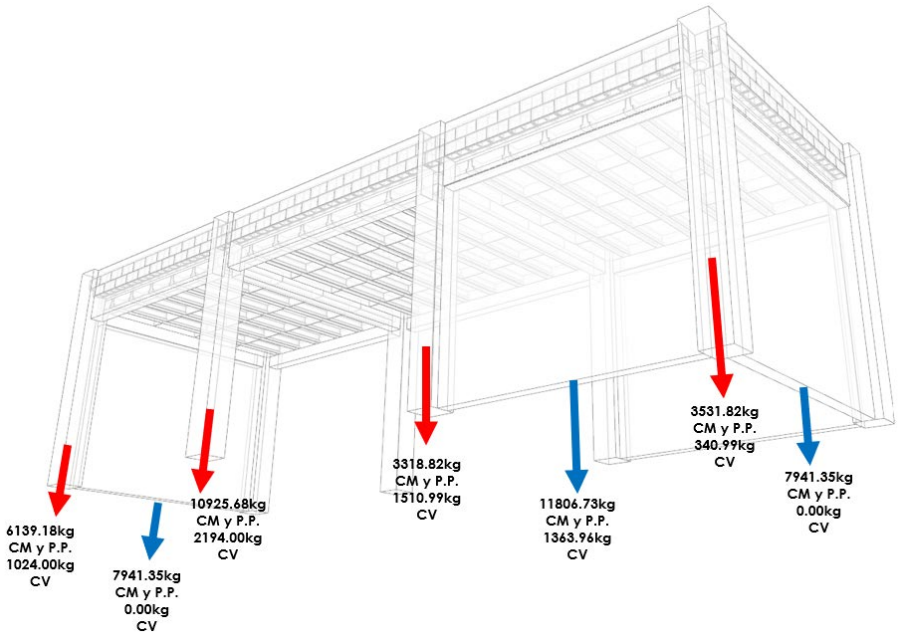
diante los elementos estructurales y no estructurales que se relacionan con cada una de las columnas y muros de carga.

Se identifican los elementos que conectan a las diferentes caras de la columna y los pesos propios y cargas que se transmiten directa o proporcionalmente por rigidez, dependiendo del elemento vertical que reciba estas cargas.

- Cálculo de cargas axiales en ejes C y D, nivel 0+19,25 m

Figura 48

Resumen de cargas axiales sobre eje C, nivel 0+19,25 m



Cada uno de los valores mostrados en este esquema, representa la carga transmitida desde las losas de entrepiso y los elementos que se encuentren sobre estas, así como las cargas por norma, hasta pasar a las vigas de entrepiso y estas vigas transmitiendo la carga hacia las columnas y muros donde sea el caso, aplicando el método de proporción por rigidez.

Estas cargas han sido calculadas y todos los valores relacionados para obtener el total de cada carga axial se encuentra en el cálculo y operaciones mostradas en cada una de las tablas a continuación.

Tabla 27

Resumen global – columnas C2 y D2 – nivel 0+19,25 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C2 y D2 – Nivel 0+19.25m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**Elemento / Detalle**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	224.98	449.96	0.00	0.00	0.00
	Murete Block	2.25	0.40	0.00	0.90	0.00	305.91	275.32	91.76	183.53	0.00	0.00	0.00
	Viga Banquina	2.25	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	121.50	40.50	80.99	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**1071.82**	**357.24**	**714.47**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Murete Block	2.28	0.40	0.00	0.91	0.00	305.91	278.38	92.78	185.57	0.00	0.00	0.00
	Viga Banquina	2.28	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	122.85	40.95	81.89	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	426.62	853.25	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**3910.84**	**1303.48**	**2606.96**	**1024.00**	**340.99**	**681.98**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 357.24
1303.48
\+ 1871.10
3531.82

C.V. Axial Total= 0.00
\+ 340.99
340.99

P.P. Muro = (0.20x4.10x3.35x2400)
P.P. Muro Norte = 6512.40 kg

C.M. Axial Total = 714.47
x 2.00
\+ 6512.40
7941.35

C.V. Axial Total= 0.00
x 2.00
0.00

P.P. Muro = (0.20x4.05x3.35x2400)
P.P. Muro Oeste = 6592.80 kg

C.M. Axial Parcial = 2606.96
\+ 6592.80
9199.76

C.V. Axial Parcial= 681.98

Tabla 28

Resumen global – columnas C3 y D3 – nivel 0+19,25 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C3 y D3 – Nivel 0+19.25m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**Elemento / Detalle**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Murete Block	2.28	0.40	0.00	0.91	0.00	305.91	278.38	92.78	185.57	0.00	0.00	0.00
	Viga Banquina	2.28	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	122.85	40.95	81.89	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	426.62	853.25	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**3910.84**	**1303.48**	**2606.96**	**1024.00**	**340.99**	**681.98**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.60	0.40	0.00	1.04	0.00	305.91	318.15	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.60	0.15	0.15	0.02	0.06	2400.00	140.40	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	250.00	1462.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4468.74**	**4468.74**	**0.00**	**1170.00**	**1170.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 675.00
1303.48
4468.74
\+ 1871.10
8318.32

C.V. Axial Total= 340.99
\+ 1170.00
1510.99

P.P. Muro = (0.20x4.10x3.35x2400)
P.P. Muro Este = 6592.80 kg
Parcial anterior = 9199.76

C.M. Axial Total = 2606.96
\+ 9199.76
11806.72

C.V. Axial Total = 681.98
Parcial anterior= 681.98
1363.96

Tabla 29

Resumen global – columnas C6 y D6 – nivel 0+19,25 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C6 y D6 – Nivel 0+19.25m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**Elemento / Detalle**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.60	0.40	0.00	1.04	0.00	305.91	318.15	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.60	0.15	0.15	0.02	0.06	2400.00	140.40	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	250.00	1462.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4468.74**	**4468.74**	**0.00**	**1170.00**	**1170.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.28	0.40	0.00	0.91	0.00	305.91	278.38	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.28	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	122.85	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**3910.84**	**3910.84**	**0.00**	**1024.00**	**1024.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 675.00 + 4468.74 + 3910.84 + 1871.10 = 10925.68

C.V. Axial Total= 1170.00 + 1024.00 = 2194.00

Tabla 30

Resumen global – columnas C7 y D7 – nivel 0+19,25 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C7 y D7 – Nivel 0+19.25m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**Elemento / Detalle**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	224.98	449.96	0.00	0.00	0.00
	Murete Block	2.25	0.40	0.00	0.90	0.00	305.91	275.32	91.76	183.53	0.00	0.00	0.00
	Viga Banquina	2.25	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	121.50	40.50	80.99	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**1071.82**	**357.24**	**714.47**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.28	0.40	0.00	0.91	0.00	305.91	278.38	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.28	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	122.85	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**3910.84**	**3910.84**	**0.00**	**1024.00**	**1024.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 357.24
3910.84
\+ 1871.10
6139.18

C.V. Axial Total= 0.00
\+ 1024.00
1024.00

P.P. Muro = (0.20x4.05x3.35x2400)
P.P. Muro Norte = 6512.40 kg

C.M. Axial Total = 714.47
x 2.00
\+ 6512.40
7941.35

C.V. Axial Total= 0.00
x 2.00
0.00

Sumado a esto, se obtienen los valores de peso propio de los elementos estructurales por los que se transfieren las cargas verticales. Estos elementos son las columnas y los muros, que aportarán un incremento de valor al peso total del nivel de análisis.

Con la obtención de todas las cargas axiales, tanto cargas muertas como cargas vivas, se procede a separar las cargas para así implementar en las cargas vivas, la fracción del 15 % de carga viva que se utiliza en el cálculo del peso sísmico de una edificación con base en criterios normativos para representar de manera realista la porción de carga viva que se espera esté presente durante un evento sísmico.

Tabla 31

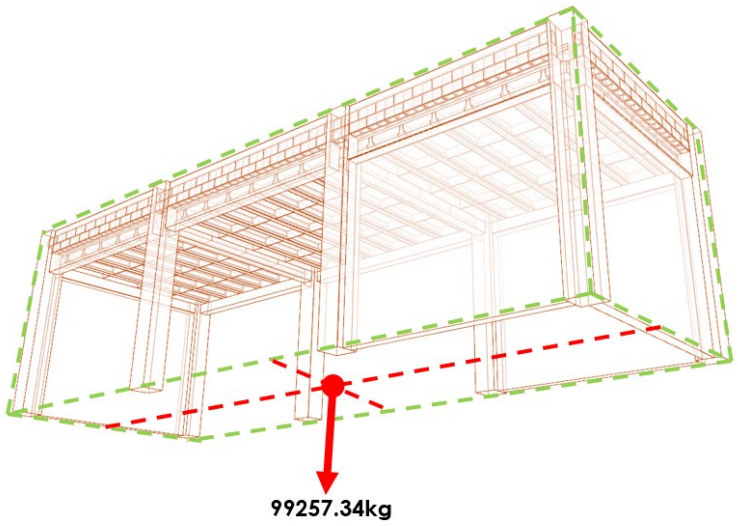
Resumen de cargas para peso sísmico – nivel 0+19,25m

Listado de cargas Nivel 0+19.25m												
Cargas vivas netas	340.99	340.99	1363.96	1363.96	1510.99	1510.99	2194.00	2194.00	1024.00	1024.00	-	-
Factor de C.V. (CSCR)	51.15	51.15	204.59	204.59	226.65	226.65	329.10	329.10	153.60	153.60	-	-
Cargas muertas y P.P.	7941.35	7941.35	3531.82	3531.82	11806.73	11806.73	8318.82	8318.82	10925.68	10925.68	6139.18	6139.18
Peso Sísmico Total	**99257.34**											

Se obtiene el peso total por nivel, para posteriormente realizar el cálculo de cortante basal sísmico. El peso total de cada nivel se multiplicará por el coeficiente sísmico, que será la base para determinar las fuerzas laterales horizontales.

Figura 49

Peso sísmico total, nivel 0+19,25 m



3.7.2 Nivel 0+15,40 m Azotea Inferior: Cálculo de Áreas Tributarias, Cargas Axiales y Peso Sísmico

Figura 50

Perspectiva de elementos estructurales y no estructurales, nivel 0+15,40 m

- Cálculo de cargas axiales en ejes C y D, nivel 0+15,40 m

Figura 51

Resumen de cargas axiales en eje C, nivel 0+15,40 m

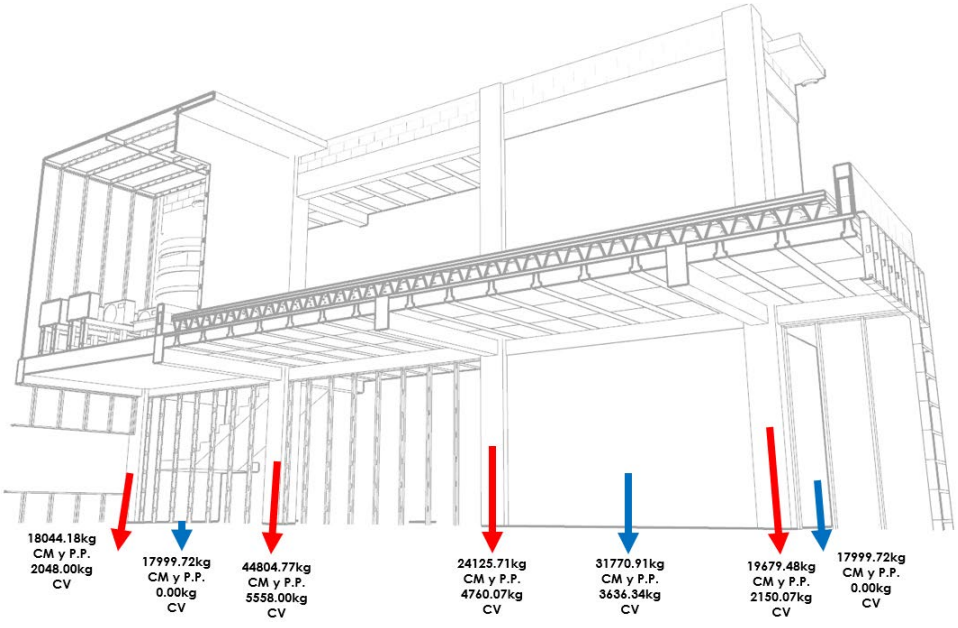


Tabla 32

Resumen global – columnas C2 y D2 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C2 y D2 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**Elemento / Detalle**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3531.82	**3531.82**	N/A	N/A	**340.99**	N/A	N/A
	Muro sobre viga (C.Axl Sup)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7941.35	7941.35	2646.85	5293.70	0.00	0.00	0.00
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	224.98	449.96	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**12148.17**	**2871.83**	**5743.66**	**340.99**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	4.25	0.40	0.00	1.70	0.00	305.91	520.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	4.25	0.15	0.15	0.02	0.10	2400.00	229.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	4.25	0.90	0.00	3.83	0.00	51.00	195.08	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	250.00	1125.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4029.39**	**0.00**	**0.00**	**900.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5903.37	5903.37	1967.59	3935.19	681.98	227.10	454.20
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa maciza	0.00	0.33	0.00	5.12	1.69	2400.00	4055.04	1351.54	2703.09	0.00	0.00	0.00
	Tanque agua cascada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	1079.05	5524.74	1841.39	3682.79	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	426.62	853.25	0.00	0.00	0.00
	Carga de Panel Solar	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	99.68	510.36	170.10	340.21	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**20103.03**	**6700.34**	**13400.68**	**2729.98**	**909.08**	**1818.17**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	3531.82
	2871.83
	4029.39
	675.00
	6700.34
+	1871.10
	19679.48

C.V. Axial Total=

	340.99
	900.00
+	909.08
	2150.07

P.P. Muro = (0.20x4.05x3.35x2400)
P.P. Muro Norte = 6512.40 kg

C.M. Axial Total =

	5743.66
x	2.00
+	6512.40
	17999.72

C.V. Axial Total=

	0.00
x	2.00
	0.00

P.P. Muro = (0.20x4.10x3.35x2400)
P.P. Muro Oeste = 6592.80 kg

C.M. Axial Parcial =

	13400.68
+	6592.80
	19993.48

C.V. Axial Parcial= 1818.17

Tabla 33

Resumen global – columnas C3 y D3 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C3 y D3 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**Elemento / Detalle**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.3 %**	**MURO 66.6 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8318.32	**8318.32**	N/A	N/A	**1510.99**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**9454.46**	**0.00**	**0.00**	**1510.99**	**0.00**	**0.00**
Este	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5903.37	5903.37	1967.59	3935.19	681.98	227.10	454.20
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa maciza	0.00	0.33	0.00	5.12	1.69	2400.00	4055.04	1351.54	2703.09	0.00	0.00	0.00
	Carga Elevador	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	703.12	3599.97	1199.87	2399.74	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	426.62	853.25	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**17667.91**	**5888.71**	**11777.43**	**2729.98**	**909.08**	**1818.17**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.60	0.40	0.00	1.04	0.00	305.91	318.15	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.60	0.15	0.15	0.02	0.06	2400.00	140.40	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	250.00	1462.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**6236.44**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 9454.46
5888.71
675.00
6236.44
+ 1871.10
24125.71

C.V. Axial Total= 1510.99
909.08
+ 2340.00
4760.07

P.P. Muro = (0.20x4.10x3.35x2400)
P.P. Muro Este = 6592.80 kg
Parcial anterior = 19993.48

C.M. Axial Total = 11777.43
+ 19993.48
31770.91

C.V. Axial Total = 1818.17
Parcial anterior= 1818.17
3636.34

Tabla 34

Resumen global – columnas C6 y D6 – nivel 0+15.40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C6 y D6 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10925.68	**10925.68**	N/A	N/A	**2194.00**	N/A	N/A
	Carga tramo de escalera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	2400.00	2136.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga viva escaleras	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	500.00	1400.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**15136.68**	**0.00**	**0.00**	**2194.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.60	0.40	0.00	1.04	0.00	305.91	318.15	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.60	0.15	0.15	0.02	0.06	2400.00	140.40	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	250.00	1462.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**6236.44**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.25	0.40	0.00	0.90	0.00	305.91	275.32	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.25	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	121.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1532.96**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa Maciza	0.00	0.33	0.00	5.12	1.69	2400.00	4055.04	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Suminist Agua Tanque	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	2778.10	14223.87	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**20027.59**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =
15136.68
6236.44
1532.96
20027.59
+ 1871.10
44804.77

C.V. Axial Total=
2194.00
2340.00
+ 1024.00
5558.00

Tabla 35

Resumen global – columnas C7 y D7 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C7 y D7 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6139.18	**6139.18**	N/A	N/A	**1024**	N/A	N/A
	Muro sobre viga (C.Axl Sup)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7941.35	7941.35	2646.85	5293.70	0.00	0.00	0.00
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	224.98	449.96	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**14755.53**	**2871.83**	**5743.66**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa Maciza	0.00	0.33	0.00	5.12	1.69	2400.00	4055.04	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Equipos A/C	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	43.40	222.21	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**6025.93**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	6139.18
	2871.83
	6025.93
	1136.14
+	1871.10
	18044.18

C.V. Axial Total=

	1024.00
+	1024.00
	2048.00

P.P. Muro = (0.20x4.05x3.35x2400)
P.P. Muro Norte = 6512.40 kg

C.M. Axial Total =

	5743.66
x	2.00
+	6512.40
	17999.72

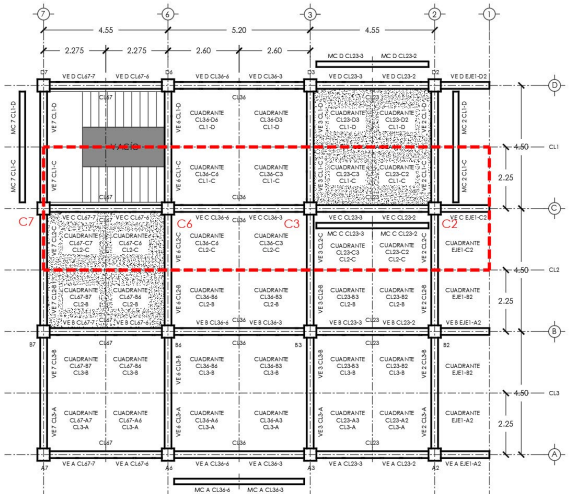
C.V. Axial Total=

	0.00
x	2.00
	0.00

De esta manera se completa el cálculo de todas las áreas tributarias y cargas axiales relacionadas con los nudos distribuidos sobre el eje C del nivel 0+15.40 m.

Figura 52

Áreas tributarias y nudos sobre el eje C, nivel 0+15,40 m



Con los valores completos de las cargas axiales de todos los elementos relacionados al eje C del nivel 0+15.40m, se procede a continuar con el cálculo en el mismo nivel, pero esta vez de todas las cargas resultantes del eje B empleando la misma metodología.

- Cálculo de cargas axiales en ejes B y E, Nivel 0+15,40 m

Figura 53

Resumen de cargas axiales en eje B, nivel 0+15,40 m

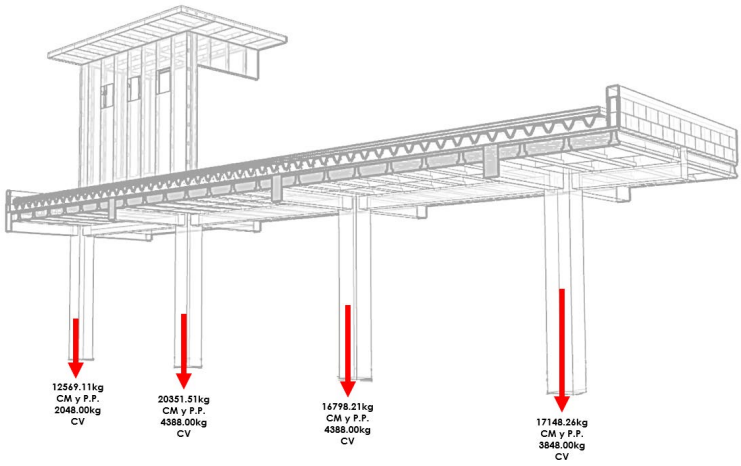


Tabla 36

Resumen global – columnas B2 y E2 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B2 y E2 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.25	0.40	0.00	0.90	0.00	305.91	275.32	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.25	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	121.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	250.00	1125.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.25	0.40	0.00	0.90	0.00	305.91	275.32	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.25	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	121.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	250.00	1125.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**6569.72**	**0.00**	**0.00**	**1800.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Panel Solar	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	99.68	510.36	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Panel Solar	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	99.68	510.36	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**7357.44**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	675.00
	6569.72
	675.00
	7357.44
+	1871.10
	17148.26

C.V. Axial Total=

	1800.00
	0.00
+	2048.00
	3848.00

Tabla 37

Resumen global – columnas B3 y E3 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B3 y E3 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**6336.72**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	250.00	1462.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	250.00	1462.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**7240.39**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	675.00
	6336.72
	675.00
	7240.39
+	1871.10
	16798.21

C.V. Axial Total=

	0.00
	2048.00
+	2340.00
	4388.00

Tabla 38

Resumen global – columnas B6 y E6 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B6 y E6 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.25	0.40	0.00	0.90	0.00	305.91	275.32	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.25	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	121.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1532.96**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	250.00	1462.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	250.00	1462.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**7240.39**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.28	0.40	0.00	0.91	0.00	305.91	278.38	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.28	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	122.85	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa Maciza	0.00	0.33	0.00	5.12	1.69	2400.00	4055.04	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**9032.06**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	1532.96
	7240.39
	675.00
	9032.06
+	1871.10
	20351.51

C.V. Axial Total=

	2340.00
	0.00
+	2048.00
	4388.00

Tabla 39

Resumen global – columnas B7 y E7 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B7 y E7 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa Maciza	0.00	0.33	0.00	5.12	1.69	2400.00	4055.04	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Equipos A/C	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	43.40	222.21	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**8386.77**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.25	0.40	0.00	0.90	0.00	305.91	275.32	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.25	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	121.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1175.09**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 1136.14 + 8386.77 + 1175.09 + 1871.10 = 12569.11

C.V. Axial Total= 0.00 + 2048.00 + 0.00 = 2048.00

Finalizada la metodología de cálculo para obtener todas las cargas axiales en el eje B, se continúa con la obtención de todos los valores totales relacionados al eje A el cual representa el último de los ejes por calcular en el nivel 0+15.40m.

La obtención de todos los valores resultantes de fuerza axial para cada columna y muro sobre este eje A, se hace a través de la misma metodología de áreas tributarias y elementos relacionados al nudo que se está analizando.

Todos los valores se muestran en las siguientes tablas de cálculo para los elementos del eje A.

- Cálculo de cargas axiales en ejes A y F, Nivel 0+15,40 m

Figura 54

Resumen de cargas axiales en eje A, nivel 0+15,40 m

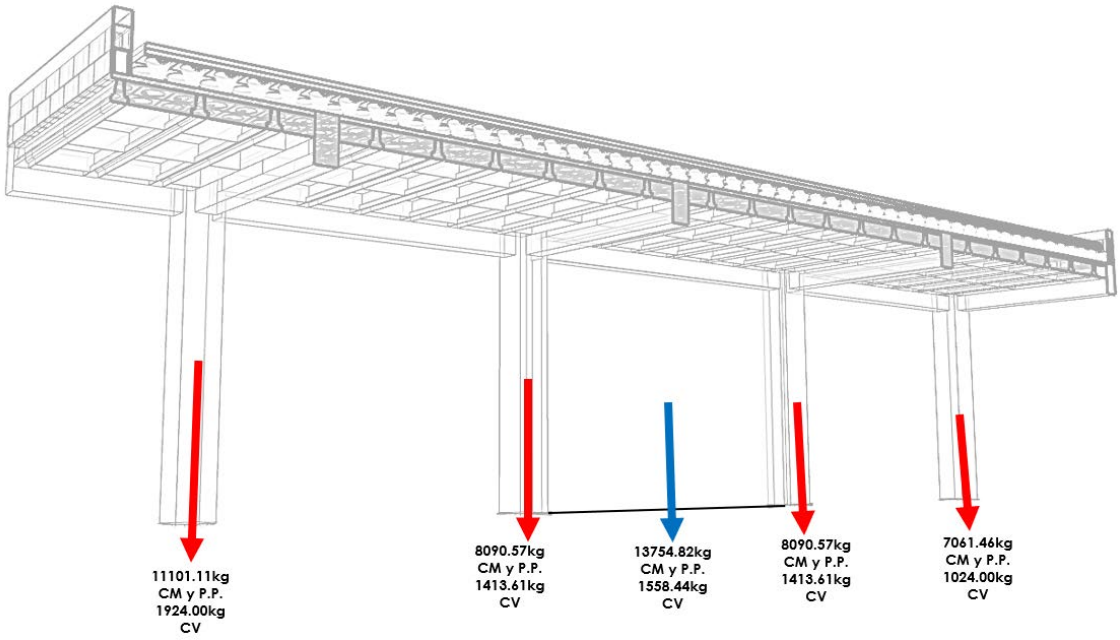


Tabla 40

Resumen global – columnas A2 y F2 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A2 y F2 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	4.25	0.40	0.00	1.70	0.00	305.91	520.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	4.25	0.15	0.15	0.02	0.10	2400.00	229.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	4.25	0.90	0.00	3.83	0.00	51.00	195.08	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	250.00	1125.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4029.39**	**0.00**	**0.00**	**900.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.28	0.40	0.00	0.91	0.00	305.91	278.38	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.28	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	122.85	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.28	0.90	0.00	2.05	0.00	51.00	104.42	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Panel Solar	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	99.68	510.36	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4525.62**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	675.00
	4029.39
	4525.62
+	1871.10
	11101.11

C.V. Axial Total=

	0.00
	900.00
+	1024.00
	1924.00

Tabla 41

Resumen global – columnas A3 y F3 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A3 y F3 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	259.97	519.95	0.00	0.00	0.00
	Murete Block	2.60	0.40	0.00	1.04	0.00	305.91	318.15	106.04	212.08	0.00	0.00	0.00
	Viga Banquina	2.60	0.15	0.15	0.02	0.06	2400.00	140.40	46.80	93.59	0.00	0.00	0.00
	Cerramiento Vidrio	2.60	0.90	0.00	2.34	0.00	51.00	119.34	39.78	79.55	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	360.71	721.43	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	228.46	456.92	0.00	0.00	0.00
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	250.00	1462.50	487.45	974.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	389.61	779.22
							TOTAL	**4588.08**	**1529.21**	**3058.41**	**1170.00**	**389.61**	**779.22**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.28	0.40	0.00	0.91	0.00	305.91	278.38	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.28	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	122.85	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.28	0.90	0.00	2.05	0.00	51.00	104.42	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4015.26**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 675.00
1529.21
4015.26
\+ 1871.10
8090.57

C.V. Axial Total= 0.00
389.61
\+ 1024.00
1413.61

P.P. Muro = (0.20x4.75x3.35x2400)
P.P. Muro Oeste = 7638.00 kg

C.M. Axial Parcial= 3058.41
\+ 7638.00
10696.41

C.V. Axial Parcial= 0.00
\+ 779.22
779.22

Tabla 42

Resumen global – columnas A6 y F6 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A6 y F6 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	259.97	519.95	0.00	0.00	0.00
	Murete Block	2.60	0.40	0.00	1.04	0.00	305.91	318.15	106.04	212.08	0.00	0.00	0.00
	Viga Banquina	2.60	0.15	0.15	0.02	0.06	2400.00	140.40	46.80	93.59	0.00	0.00	0.00
	Cerramiento Vidrio	2.60	0.90	0.00	2.34	0.00	51.00	119.34	39.78	79.55	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	360.71	721.43	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	228.46	456.92	0.00	0.00	0.00
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	250.00	1462.50	487.45	974.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	389.61	779.22
							TOTAL	**4588.08**	**1529.21**	**3058.41**	**1170.00**	**389.61**	**779.22**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.28	0.40	0.00	0.91	0.00	305.91	278.38	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.28	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	122.85	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.28	0.90	0.00	2.05	0.00	51.00	104.42	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4015.26**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 675.00 + 1529.21 + 4015.26 + 1871.10 = 8090.57

C.V. Axial Total= 0.00 + 389.61 + 1024.00 = 1413.61

P.P. Muro = (0.20x4.75x3.35x2400)
P.P. Muro Este = 7638.00 kg

C.M. Axial Total = 10696.41 + 3058.41 + 0.00 = 13754.82

C.V. Axial Total= 779.22 + 779.22 = 1558.44

Tabla 43

Resumen global – columnas A7 y F7 – nivel 0+15,40 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A7 y F7 – Nivel 0+15.40m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
	Murete Block	2.25	0.40	0.00	0.90	0.00	305.91	275.319	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.25	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	121.5	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.275	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
Norte	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1175.09**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	2.28	0.40	0.00	0.91	0.00	305.91	278.38	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	2.28	0.15	0.15	0.02	0.05	2400.00	122.85	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.28	0.90	0.00	2.05	0.00	51.00	104.42	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga de Cubierta Verde	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	250.00	1280.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4015.26**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 1175.09
4015.26
+ 1871.10
7061.46

C.V. Axial Total= 0.00
+ 1024.00
1024.00

Tabla 44

Resumen de cargas para peso sísmico – nivel 0+15,40 m

Listado de cargas Nivel 0+15.40m Ejes C y D												
Cargas vivas netas	2150.07	2150.07	3636.34	3636.34	4760.07	4760.07	5558.00	5558.00	2048.00	2048.00	0.00	0.00
Factor de C.V. CSCR	322.51	322.51	545.45	545.45	714.01	714.01	833.70	833.70	307.20	307.20	0.00	0.00
Cargas muertas y P.P.	17999.72	19679.48	19679.48	31770.91	31770.91	24125.71	24125.71	44804.77	44804.77	18044.18	18044.18	17999.72
Peso Sísmico Parcial	**318295.28**											

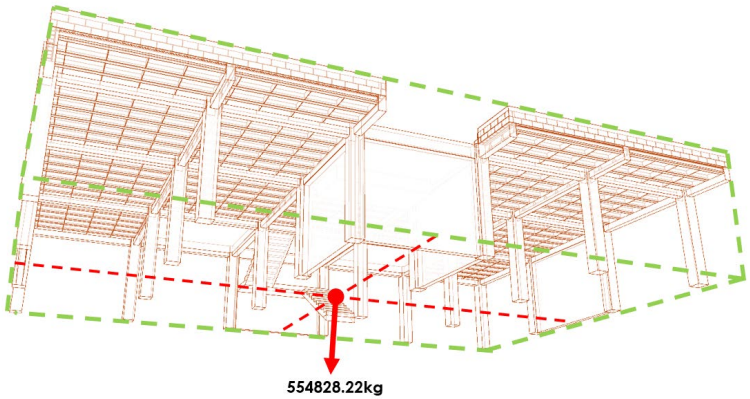
Listado de cargas Nivel 0+15.40m Ejes B y E												
Cargas vivas netas	3848.00	3848.00	4388.00	4388.00	4388.00	4388.00	2048.00	2048.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Factor de C.V. CSCR	577.20	577.20	658.20	658.20	658.20	658.20	307.20	307.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargas muertas y P.P.	17148.26	17148.26	16798.21	16798.21	20351.51	20351.51	12569.11	12569.11	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso Sísmico Parcial	**138135.78**											

Listado de cargas Nivel 0+15.40m Ejes A y F												
Cargas vivas netas	1924.00	1924.00	1413.61	1413.61	1558.44	1558.44	1413.61	1413.61	1024.00	1024.00	0.00	0.00
Factor de C.V. CSCR	288.60	288.60	212.04	212.04	233.77	233.77	212.04	212.04	153.60	153.60	0.00	0.00
Cargas muertas y P.P.	11101.11	11101.11	8090.57	8090.57	13754.82	13754.82	8090.57	8090.57	7061.46	7061.46	0.00	0.00
Peso Sísmico Parcial	**98397.16**											

Peso Sísmico Total	**554828.22**

Figura 55

Peso sísmico total, Nivel 0+15,40 m



3.7.3 Nivel 0+11,55 m Tercer Nivel Apt 05 y 06: Cálculo de Áreas Tributarias, Cargas Axiales y Peso Sísmico

- Cálculo de cargas axiales en ejes C y D, nivel 0+11,55 m

Figura 56

Resumen de cargas axiales en eje C, nivel 0+11,55 m

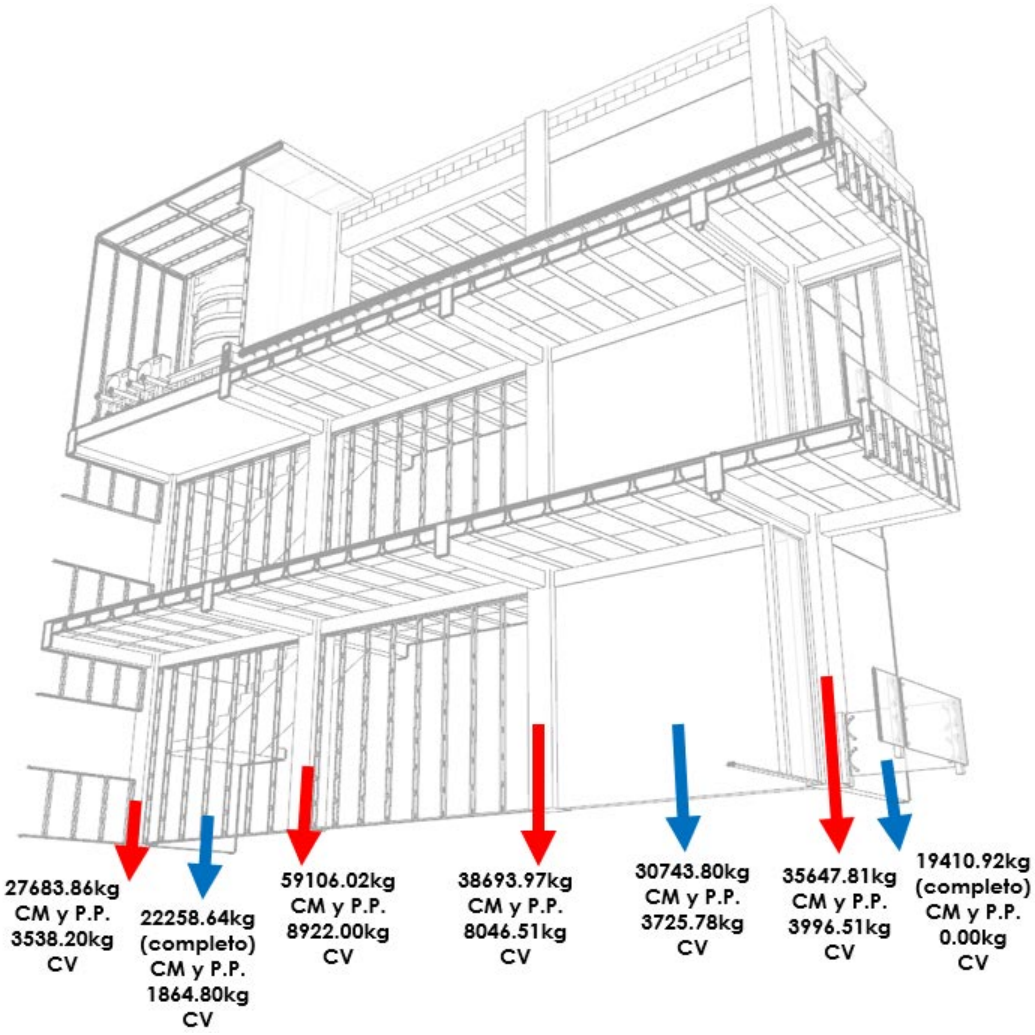


Tabla 45

Resumen global – columnas C2 y D2 – nivel 0+11,50 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C2 y D2 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19679.48	**19679.48**	N/A	N/A	**2150.07**	N/A	N/A
	Muro sobre viga (C.Axl Sup)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8999.86	8999.86	2999.65	5999.31	0.00	0.00	0.00
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	224.98	449.96	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**29354.34**	**3224.63**	**6449.26**	**2150.07**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	4.25	0.40	0.00	1.70	0.00	305.91	520.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	4.25	0.15	0.15	0.02	0.10	2400.00	229.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	4.25	0.90	0.00	3.83	0.00	51.00	195.08	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	4.25	3.35	0.00	14.24	0.00	61.18	871.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**3775.44**	**0.00**	**0.00**	**900.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	51.00	384.41	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1059.41**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15885.45	15885.45	5294.62	10589.24	1818.17	605.45	1210.90
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**18115.06**	**6037.75**	**12075.50**	**2842.17**	**946.44**	**1892.89**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	19679.48
	3224.63
	3775.44
	1059.41
	6037.75
+	1871.10
	35647.81

C.V. Axial Total=

	2150.07
	900.00
+	946.44
	3996.51

P.P. Muro = (0.20x4.05x3.35x2400)
P.P. Muro Norte = 6512.40 kg

C.M. Axial Total =

	6449.26
x	2.00
+	6512.40
	19410.92

C.V. Axial Total=

	0.00
x	2.00
	0.00

P.P. Muro = (0.20x4.10x3.35x2400)
P.P. Muro Oeste = 6592.80 kg

C.M. Axial Parcial =

	12075.50
+	6592.80
	18668.30

C.V. Axial Parcial= 1892.89

Tabla 46

Resumen global – columnas C3 y D3 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C3 y D3 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24125.71	**24125.71**	N/A	N/A	**4760.07**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**25261.85**	**0.00**	**0.00**	**4760.07**	**0.00**	**0.00**
Este	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15885.45	15885.45	5294.62	10589.24	1818.17	605.45	1210.90
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**18115.06**	**6037.75**	**12075.50**	**2842.17**	**946.44**	**1892.89**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 25261.85
6037.75
675.00
4848.27
\+ 1871.10
38693.97

C.V. Axial Total= 4760.07
946.44
\+ 2340.00
8046.51

P.P. Muro = (0.20x4.10x3.35x2400)
P.P. Muro Este = 6592.80 kg

C.M. Axial Total = 18668.30
\+ 12075.50
30743.80

C.V. Axial Total= 1832.89
\+ 1892.89
3725.78

Tabla 47

Resumen global – columnas C6 y D6 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C6 y D6 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	44804.77	**44804.77**	N/A	N/A	**5558.00**	N/A	N/A
	Carga tramo de escalera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	2400.00	2136.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga viva escaleras	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	500.00	1400.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**49015.77**	**0.00**	**0.00**	**5558.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromecánicas	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 49015.77
4848.27
675.00
2695.88
\+ 1871.10
59106.02

C.V. Axial Total= 5558.00
2340.00
\+ 1024.00
8922.00

Tabla 48

Resumen global – columnas C7 y D7 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C7 y D7 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18044.18	**18044.18**	N/A	N/A	**2048.00**	N/A	N/A
	Muro sobre viga (C.Axl Sup)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8999.86	8999.86	2999.65	5999.31	0.00	0.00	0.00
	Carga tramo de escalera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	2400.00	2136.00	711.93	1423.86	0.00	0.00	0.00
	Carga viva escaleras	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	500.00	0.00	N/A	N/A	1400.00	466.20	932.40
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	224.98	449.96	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**29855.04**	**3936.56**	**7873.12**	**3448.00**	**466.20**	**932.40**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromecánicas	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	18044.18
	3936.56
	2695.88
	1136.14
+	1871.10
	27683.86

C.V. Axial Total=

	2048.00
	466.20
+	1024.00
	3538.20

P.P. Muro = (0.20x4.05x3.35x2400)
P.P. Muro Norte = 6512.40 kg

C.M. Axial Total =

	7873.12
x	2.00
+	6512.40
	22258.64

C.V. Axial Total=

	932.40
x	2.00
	1864.80

- Cálculo de cargas axiales en ejes B y E, nivel 0+11,55 m

Figura 57

Resumen de cargas axiales en eje B, nivel 0+11,55 m

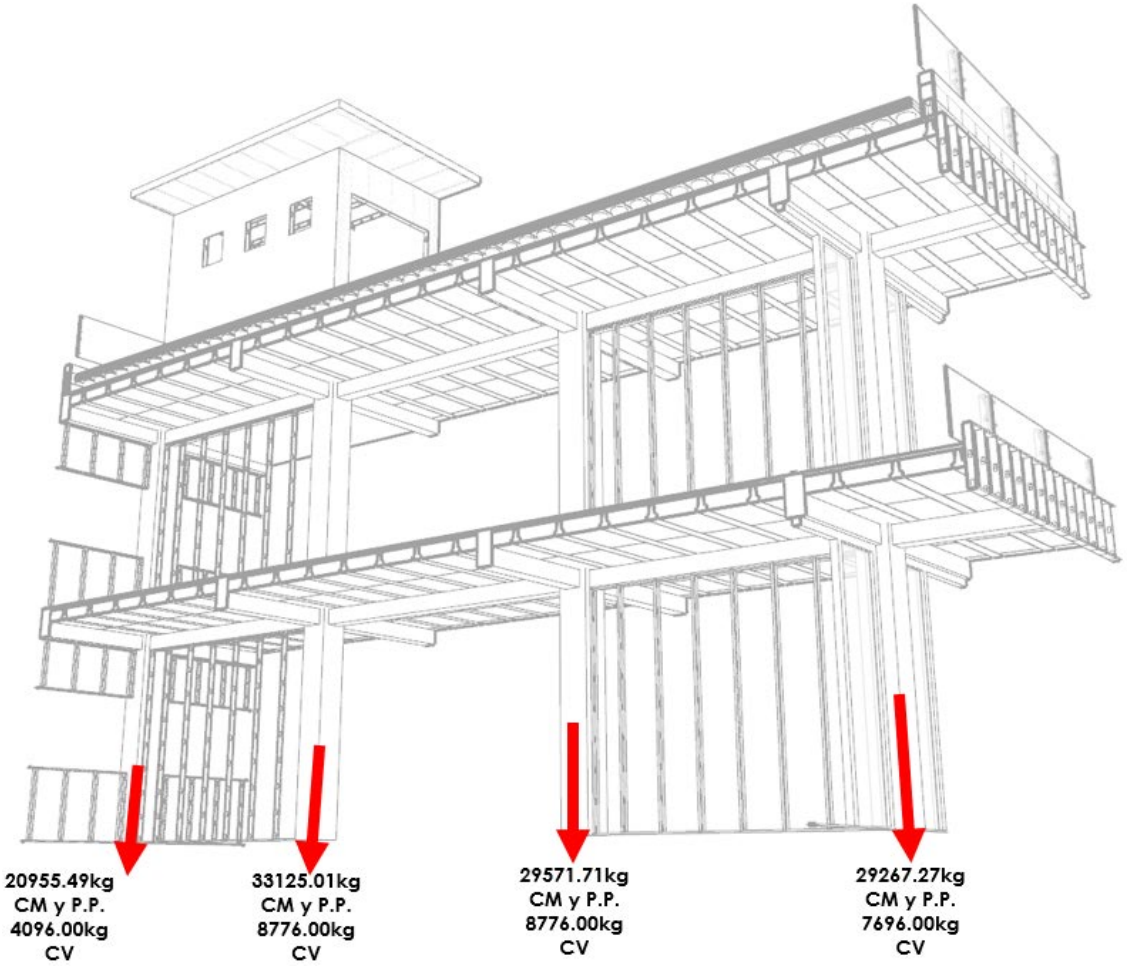


Tabla 49

Resumen global – columnas B2 y E2 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B2 y E2 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	ELEMENTO / DETALLE	L	h	b	Área	Vol	P.P.	Nominal	COLUMNA 33.30 %	MURO 66.60 %	Nominal	COLUMNA 33.30 %	MURO 66.60 %
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17148.26	**17148.26**	N/A	N/A	**3848**	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**17926.54**	**0.00**	**0.00**	**3848.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4448.37**	**0.00**	**0.00**	**1800.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**778.28**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	17926.54
	4448.37
	778.28
	4242.99
+	1871.10
	29267.27

C.V. Axial Total=

	3848.00
	1800.00
+	2048.00
	7696.00

Tabla 50

Resumen global – columnas B3 y E3 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B3 y E3 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16798.21	**16798.21**	N/A	N/A	**4388**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**17473.21**	**0.00**	**0.00**	**4388.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Cerramiento DryWall**	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	17473.21
	4242.99
	1136.14
	4848.27
+	1871.10
	29571.71

C.V. Axial Total=

	4388.00
	2048.00
+	2340.00
	8776.00

Tabla 51

Resumen global – columnas B6 y E6 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B6 y E6 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20351.51	**20351.51**	N/A	N/A	**4388**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**21026.51**	**0.00**	**0.00**	**4388.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Cerramiento DryWall**	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	21026.51
	4848.27
	1136.14
	4242.99
+	1871.10
	33125.01

C.V. Axial Total=

	4388.00
	2340.00
+	2048.00
	8776.00

Tabla 52

Resumen global – columnas B7 y E7 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B7 y E7 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12569.11	**12569.11**	N/A	N/A	**2048.00**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**13705.25**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	13705.25
	4242.99
	1136.14
+	1871.10
	20955.49

C.V. Axial Total=

	2048.00
	2048.00
+	0.00
	4096.00

- Cálculo de cargas axiales en ejes A y F, nivel 0+11,55 m

Figura 58

Resumen de cargas axiales en eje A, nivel 0+11,55 m

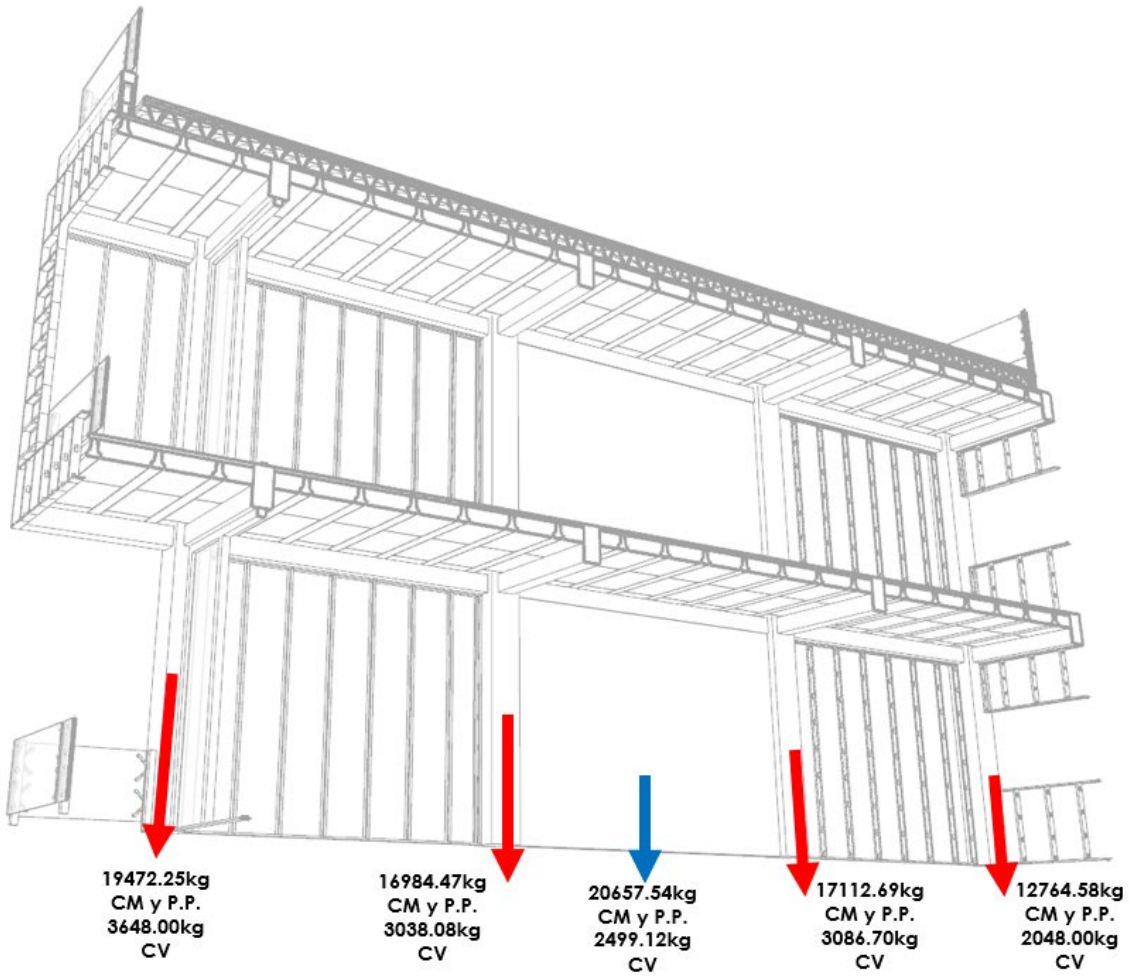


Tabla 53

Resumen global – columnas A2 y F2 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A2 y F2 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11101.11	**11101.11**	N/A	N/A	**1924.00**	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**11879.39**	**0.00**	**0.00**	**1924.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	4.25	0.90	0.00	3.83	0.00	51.00	195.08	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	4.25	3.35	0.00	14.24	0.00	61.18	871.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**3025.89**	**0.00**	**0.00**	**900.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	11879.39
	3025.89
	2695.88
+	1871.10
	19472.25

C.V. Axial Total=

	1924.00
	900.00
+	1024.00
	3848.00

Tabla 54

Resumen global – columnas A3 y F3 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A3 y F3 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8090.57	**8090.57**	N/A	N/A	**1413.61**	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**9226.71**	**0.00**	**0.00**	**1413.61**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6877.41	6877.41	2292.24	4584.48	779.22	259.48	518.96
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	155.41	310.81	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**9573.29**	**3190.78**	**6381.55**	**1803.22**	**600.47**	**1200.94**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	9226.71
	2695.88
	3190.78
+	1871.10
	16984.47

C.V. Axial Total=

	1413.61
	1024.00
+	600.47
	3038.08

P.P. Muro = (0.20x4.75x3.35x2400)
P.P. Muro Oeste = 7638.00 kg

C.M. Axial Parcial =

	6381.55
+	7638.00
	14019.55

C.V. Axial Parcial= 1200.94

Tabla 55

Resumen global – columnas A6 y F6 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A6 y F6 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30%**	**MURO 66.60%**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30%**	**MURO 66.60%**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8090.57	**8090.57**	N/A	N/A	**1413.61**	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**9226.71**	**0.00**	**0.00**	**1413.61**	**0.00**	**0.00**
Este	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6877.41	6877.41	2292.24	4584.48	779.22	259.48	518.96
	Viga de Entrepiso	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	259.97	519.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	360.71	721.43	0.00	0.00	0.00
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	177.61	355.22	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	228.46	456.92	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	389.61	779.22
							TOTAL	**9957.98**	**3319.00**	**6637.99**	**1949.22**	**649.09**	**1298.18**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 9226.71
3319.00
2695.88
\+ 1871.10
17112.69

C.V. Axial Total= 1413.61
649.09
\+ 1024.00
3086.70

P.P. Muro = (0.20x4.75x3.35x2400)
P.P. Muro Este = 7638.00 kg

C.M. Axial Total= 14019.55
\+ 6637.99
20657.54

C.V. Axial Total= 1294.00
\+ 1298.18
2592.18

Tabla 56

Resumen global – columnas A7 y F7 – nivel 0+11,55 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A7 y F7 – Nivel 0+11.55m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7061.46	**7061.46**	N/A	N/A	**1024.00**	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**8197.60**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 8197.60
2695.88
\+ 1871.10
12764.58

C.V. Axial Total= 1024.00
\+ 1024.00
2048.00

Tabla 57

Resumen de cargas para peso sísmico – nivel 0+11,55 m

Listado de cargas Nivel 0+11.55m Ejes C y D												
Cargas vivas netas	3996.51	3996.51	3725.78	3725.78	8046.51	8046.51	8922.00	8922.00	1864.80	3538.20	3538.20	0.00
Factor de C.V. CSCR	599.48	599.48	558.87	558.87	1206.98	1206.98	1338.30	1338.30	279.72	530.73	530.73	0.00
Cargas muertas y P.P.	19410.92	35647.81	35647.81	30743.80	30743.80	38693.97	38693.97	59106.02	59106.02	27683.86	27683.86	0.00
Peso Sísmico Parcial	**411910.26**											

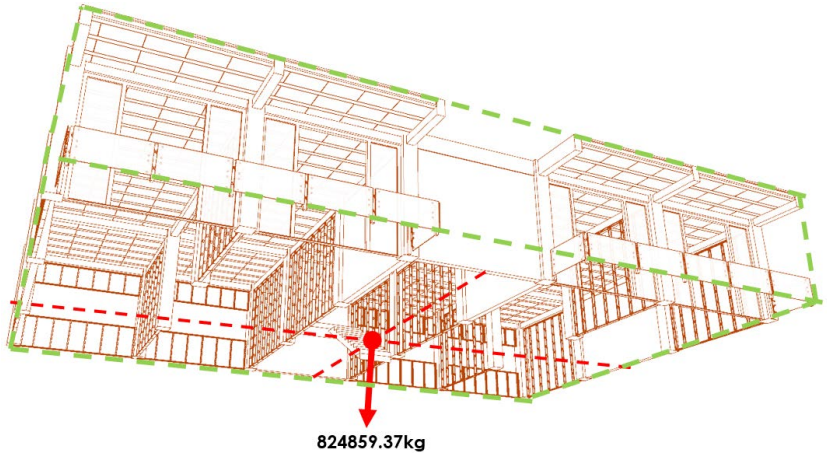
Listado de cargas Nivel 0+11.55m Ejes B y E												
Cargas vivas netas	7696.00	7696.00	8776.00	8776.00	8776.00	8776.00	4096.00	4096.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Factor de C.V. CSCR	1154.40	1154.40	1316.40	1316.40	1316.40	1316.40	614.40	614.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargas muertas y P.P.	29267.27	29267.27	29571.71	29571.71	33125.01	33125.01	20955.49	20955.49	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso Sísmico Parcial	**234642.16**											

Listado de cargas Nivel 0+11.55m Ejes A y F												
Cargas vivas netas	3648.00	3648.00	3038.08	3038.08	2592.18	2592.18	3086.70	3086.70	2048.00	2048.00	0.00	0.00
Factor de C.V. CSCR	547.20	547.20	455.71	455.71	388.83	388.83	463.01	463.01	307.20	307.20	0.00	0.00
Cargas muertas y P.P.	19472.25	19472.25	16984.47	16984.47	20657.54	20657.54	17112.69	17112.69	12764.58	12764.58	0.00	0.00
Peso Sísmico Parcial	**178306.95**											

Peso Sísmico Total	**824859.37**

Figura 59

Peso sísmico total, Nivel 0+11,55 m



3.7.4 Nivel 0+7,70 m Segundo Nivel Apt 03 y 04: Cálculo de Áreas Tributarias, Cargas Axiales y Peso Sísmico

- Cálculo de cargas axiales en ejes C y D, nivel 0+7,70 m

Figura 60

Resumen de cargas axiales en eje C, nivel 0+7,70 m

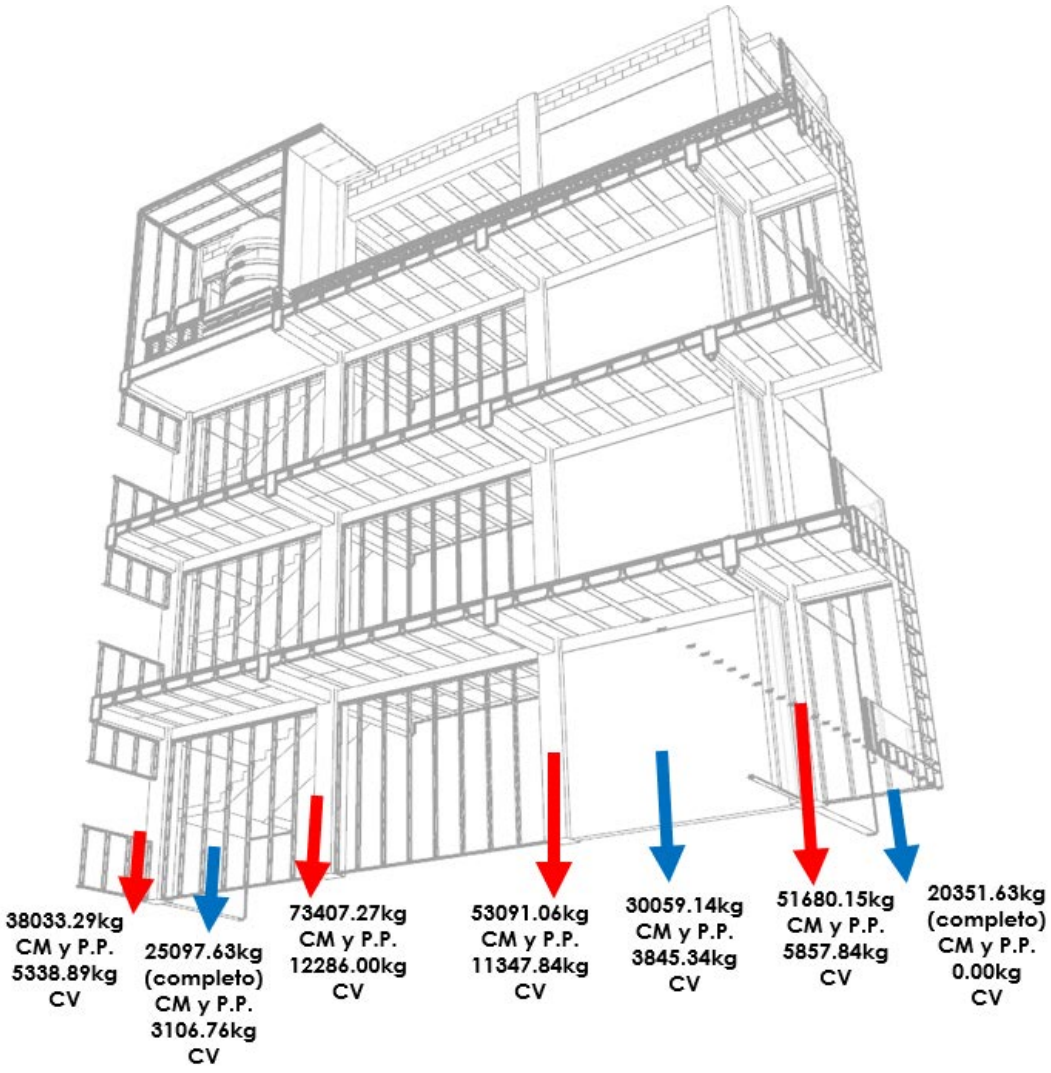


Tabla 58

Resumen global – columnas C2 y D2 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C2 y D2 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35647.81	**35647.81**	N/A	N/A	**3996.51**	N/A	N/A
	Muro sobre viga (C.Axl Sup)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9705.46	9705.46	3234.83	6469.66	0.00	0.00	0.00
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	224.98	449.96	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**46028.27**	**3459.81**	**6919.61**	**3996.51**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	4.25	0.40	0.00	1.70	0.00	305.91	520.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	4.25	0.15	0.15	0.02	0.10	2400.00	229.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	4.25	0.90	0.00	3.83	0.00	51.00	195.08	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	4.25	3.35	0.00	14.24	0.00	61.18	871.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**3775.44**	**0.00**	**0.00**	**900.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	51.00	384.41	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1059.41**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15371.9	15371.9	5123.45	10246.91	1862.89	620.34	1240.68
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**17601.51**	**5866.58**	**11733.17**	**2886.89**	**961.33**	**1922.67**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 35647.81
3459.81
3775.44
1059.41
5866.58
\+ 1871.10
51680.15

C.V. Axial Total= 3996.51
900.00
\+ 961.33
5857.84

P.P. Muro = (0.20x4.05x3.35x2400)
P.P. Muro Norte = 6512.40 kg

C.M. Axial Total = 6919.61
x 2.00
\+ 6512.40
20351.63

C.V. Axial Total= 0.00
x 2.00
0.00

P.P. Muro = (0.20x4.10x3.35x2400)
P.P. Muro Oeste = 6592.80 kg

C.M. Axial Parcial = 11733.17
\+ 6592.80
18325.97

C.V. Axial Parcial= 1922.67

Tabla 59

Resumen global – columnas C3 y D3 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C3 y D3 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	ELEMENTO / DETALLE	L	h	b	Área	Vol	P.P.	Nominal	COLUMNA 33.30 %	MURO 66.60 %	Nominal	COLUMNA 33.30 %	MURO 66.60 %
Norte	Columna (C.Axl Sup)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38693.97	**38693.97**	N/A	N/A	**8046.51**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**39830.11**	**0.00**	**0.00**	**8046.51**	**0.00**	**0.00**
Este	Muro sobre viga (C.Axl sup)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15371.9	15371.9	5123.45	10246.91	1862.89	620.34	1240.68
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**17601.51**	**5866.58**	**11733.17**	**2886.89**	**961.33**	**1922.67**
Sur	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	Viga de Entrepiso	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	39830.11
	5866.58
	675.00
	4848.27
+	1871.10
	53091.06

C.V. Axial Total=

	8046.51
	961.33
+	2340.00
	11347.84

P.P. Muro = (0.20x4.10x3.35x2400)
P.P. Muro Este = 6592.80 kg

C.M. Axial Total=

	18325.97
+	11733.17
	30059.14

C.V. Axial Parcial=

	1922.67
+	1922.67
	3845.34

Tabla 60

Resumen global – columnas C6 y D6 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C6 y D6 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59106.02	**59106.02**	N/A	N/A	**8922.00**	N/A	N/A
	Carga tramo de escalera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	2400.00	2136.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga viva escaleras	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	500.00	1400.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**63317.02**	**0.00**	**0.00**	**8922.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromecánicas	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 63317.02
4848.27
675.00
2695.88
\+ 1871.10
73407.27

C.V. Axial Total= 8922.00
2340.00
\+ 1024.00
12286.00

Tabla 61

Resumen global – columnas C7 y D7 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C7 y D7 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27683.86	**27683.86**	N/A	N/A	**3538.20**	N/A	N/A
	Muro sobre viga (C.Axl Sup)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11129.32	11129.32	3709.40	7418.80	932.40	310.49	620.98
	Carga tramo de escalera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	2400.00	2136.00	711.93	1423.86	0.00	0.00	0.00
	Carga viva escaleras	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	500.00	0.00	N/A	N/A	1400.00	466.20	932.40
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	224.98	449.96	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**41624.18**	**4646.31**	**9292.62**	**5870.60**	**776.69**	**1553.38**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromecánicas	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	27683.86
	4646.31
	2695.88
	1136.14
+	1871.10
	38033.29

C.V. Axial Total=

	3538.20
	776.69
+	1024.00
	5338.89

P.P. Muro = (0.20x4.05x3.35x2400)
P.P. Muro Norte = 6512.40 kg

C.M. Axial Total =

	9292.62
x	2.00
+	6512.40
	25097.63

C.V. Axial Total=

	1553.38
x	2.00
	3106.76

- Cálculo de cargas axiales en ejes B y E, nivel 0+7,70 m

Figura 61

Resumen de cargas axiales en eje B, nivel 0+7,70 m

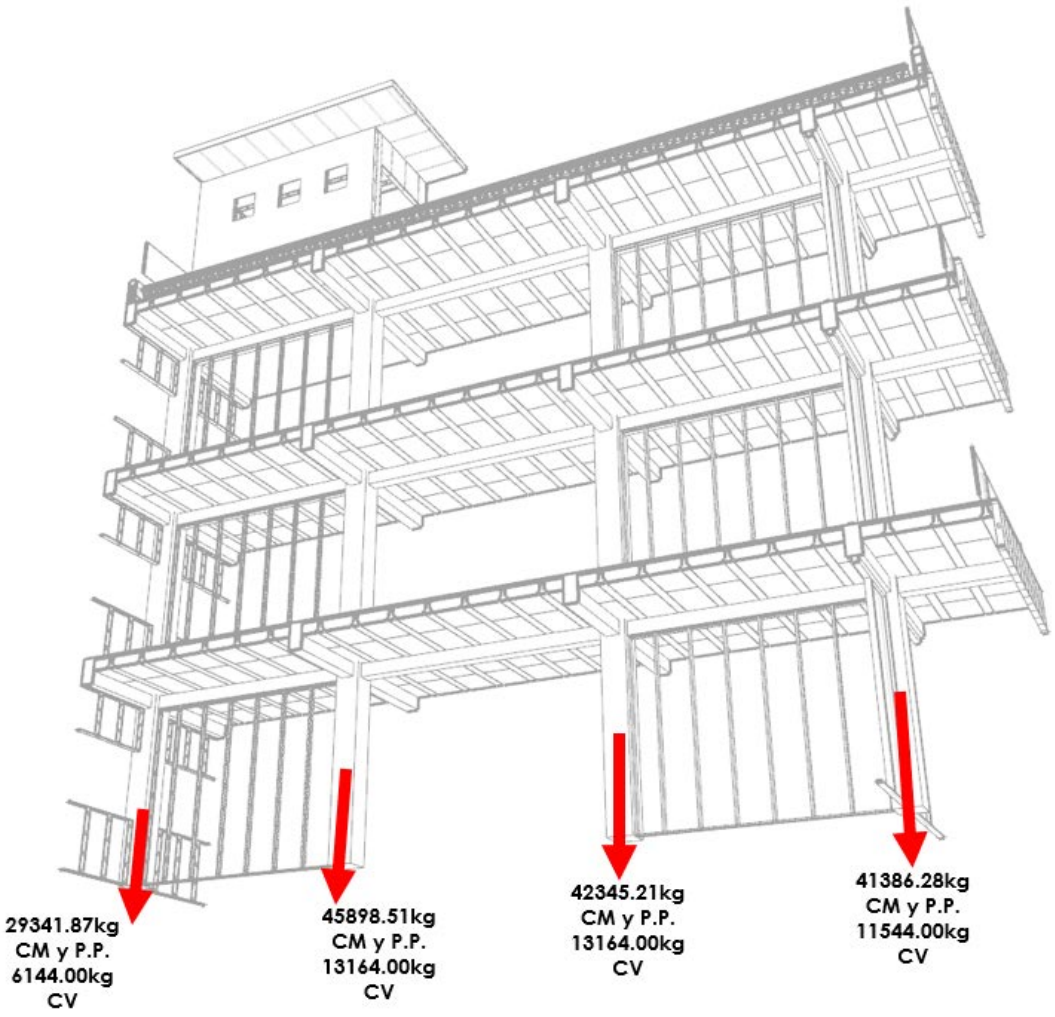


Tabla 62

Resumen global – columnas B2 y E2 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B2 y E2 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29267.27	**29267.27**	N/A	N/A	**7696.00**	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**30045.55**	**0.00**	**0.00**	**7696.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4448.37**	**0.00**	**0.00**	**1800.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**778.28**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	30045.55
	4448.37
	778.28
	4242.99
+	1871.10
	41386.28

C.V. Axial Total=

	7696.00
	1800.00
+	2048.00
	11544.00

Tabla 63

Resumen global – columnas B3 y E3 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B3 y E3 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29571.71	**29571.71**	N/A	N/A	**8776.00**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**30246.71**	**0.00**	**0.00**	**8776.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Cerramiento DryWall**	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 30246.71 + 4242.99 + 1136.14 + 4848.27 + 1871.10 = 42345.21

C.V. Axial Total= 8776.00 + 2048.00 + 2340.00 = 13164.00

Tabla 64

Resumen global – columnas B6 y E6 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B6 y E6 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	33125.01	**33125.01**	N/A	N/A	**8776.00**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**33800.01**	**0.00**	**0.00**	**8776.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Cerramiento DryWall**	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 33800.01 + 4848.27 + 1136.14 + 4242.99 + 1871.10 = 45898.51

C.V. Axial Total= 8776.00 + 2340.00 + 2048.00 = 13164.00

Tabla 65

Resumen global – columnas B7 y E7 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B7 y E7 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20955.49	**20955.49**	N/A	N/A	**4096.00**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**22091.63**	**0.00**	**0.00**	**4096.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	22091.63
	4242.99
	1136.14
+	1871.10
	29341.87

C.V. Axial Total=

	4096.00
	2048.00
+	0.00
	6144.00

- Cálculo de cargas axiales en ejes A y F, nivel 0+7.70 m

Figura 62

Resumen de cargas axiales en eje A, nivel 0+7,70 m

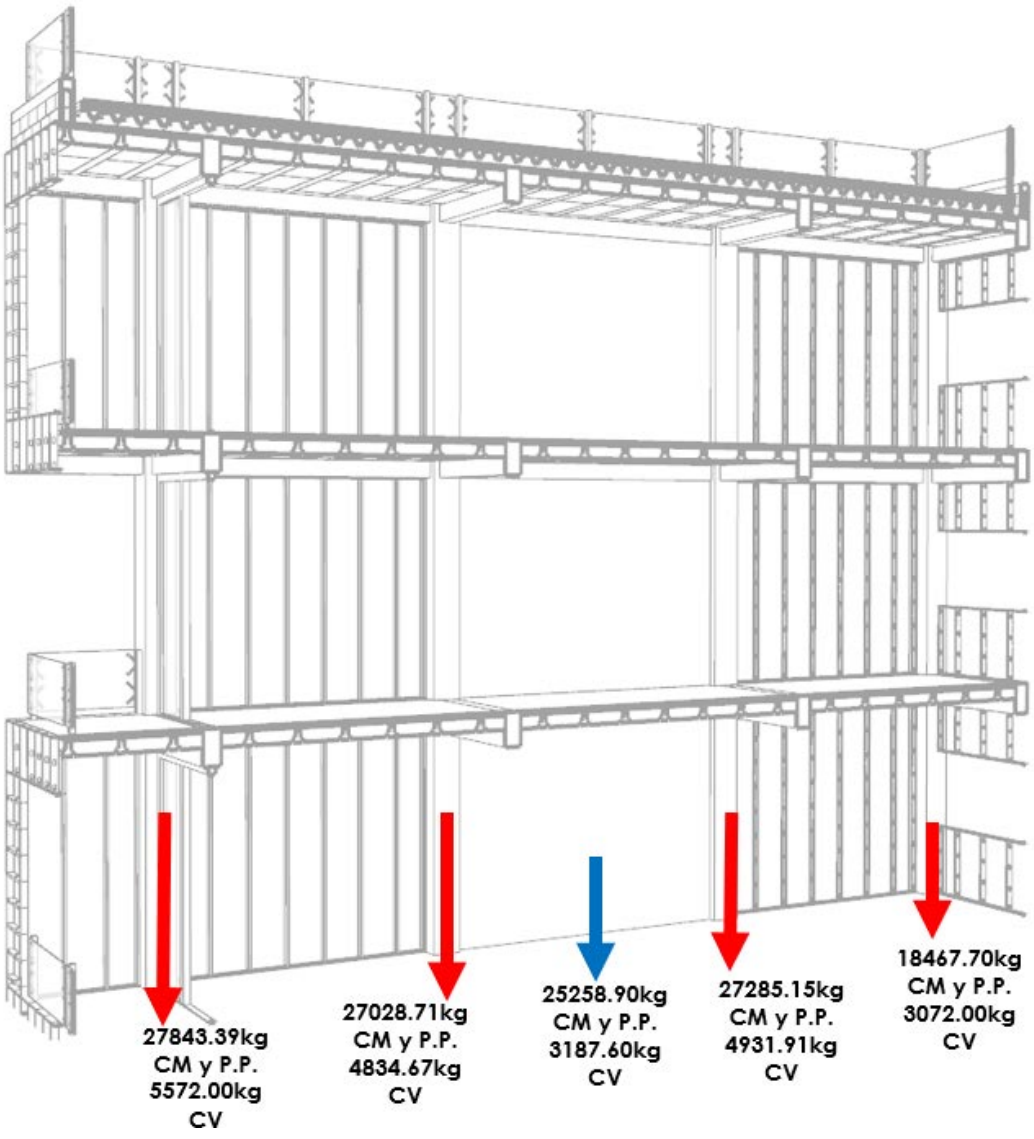


Tabla 66

Resumen global – columnas A2 y F2 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A2 y F2 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19472.25	**19472.25**	N/A	N/A	**3648.00**	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**20250.53**	**0.00**	**0.00**	**3648.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	4.25	0.90	0.00	3.83	0.00	51.00	195.08	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	4.25	3.35	0.00	14.24	0.00	61.18	871.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**3025.89**	**0.00**	**0.00**	**900.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	20250.53
	3025.89
	2695.88
+	1871.10
	27843.39

C.V. Axial Total=

	3648.00
	900.00
+	1024.00
	5572.00

Tabla 67

Resumen global – columnas A3 y F3 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A3 y F3 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16984.47	**16984.47**	N/A	N/A	**3038.08**	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**18120.61**	**0.00**	**0.00**	**3038.08**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10328.77	10328.77	3442.58	6885.16	1296.09	431.60	863.20
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	155.41	310.81	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**13024.65**	**4341.12**	**8682.23**	**2320.09**	**772.59**	**1545.18**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 18120.61
2695.88
4341.12
\+ 1871.10
27028.71

C.V. Axial Total= 3038.08
1024.00
\+ 772.59
4834.67

P.P. Muro = (0.20x4.75x3.35x2400)
P.P. Muro Oeste = 7638.00 kg

C.M. Axial Parcial = 8682.23
\+ 7638.00
16320.23

C.V. Axial Parcial= 1545.18

Tabla 68

Resumen global – columnas A6 y F6 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A6 y F6 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17112.69	**17112.69**	N/A	N/A	**3086.70**	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**18248.83**	**0.00**	**0.00**	**3086.70**	**0.00**	**0.00**
Este	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10328.77	10328.77	3442.58	6885.16	1296.09	431.60	863.20
	Viga de Entrepiso	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	259.97	519.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	360.71	721.43	0.00	0.00	0.00
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	177.61	355.22	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	228.46	456.92	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	389.61	779.22
							TOTAL	**13409.34**	**4469.33**	**8938.67**	**2466.09**	**821.21**	**1642.42**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 18248.83
4469.33
2695.88
\+ 1871.10
27285.15

C.V. Axial Total= 3086.70
821.21
\+ 1024.00
4931.91

P.P. Muro = (0.20x4.75x3.35x2400)
P.P. Muro Este = 7638.00 kg

C.M. Axial Total= 8938.67
\+ 16320.23
25258.90

C.V. Axial Total= 1545.18
\+ 1642.42
3187.60

Tabla 69

Resumen global – columnas A7 y F7 – nivel 0+7,70 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A7 y F7 – Nivel 0+7.70m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12764.58	**12764.58**	N/A	N/A	**2048.00**	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**13900.72**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 13900.72
2695.88
\+ 1871.10
18467.70

C.V. Axial Total= 2048.00
\+ 1024.00
3072.00

Tabla 70

Resumen de cargas para peso sísmico – nivel 0+7,70 m

Listado de cargas Nivel 0+7.70m Ejes C y D												
Cargas vivas netas	5857.84	5857.84	3845.34	3845.34	11347.84	11347.84	12286.00	12286.00	3106.76	5338.89	5338.89	0.00
Factor de C.V. CSCR	878.68	878.68	576.80	576.80	1702.18	1702.18	1842.90	1842.90	466.01	800.83	800.83	0.00
Cargas muertas y P.P.	20351.63	51680.15	51680.15	30059.14	30059.14	53091.06	53091.06	73407.27	73407.27	25097.63	38033.29	38033.29
Peso Sísmico Parcial	**550059.87**											

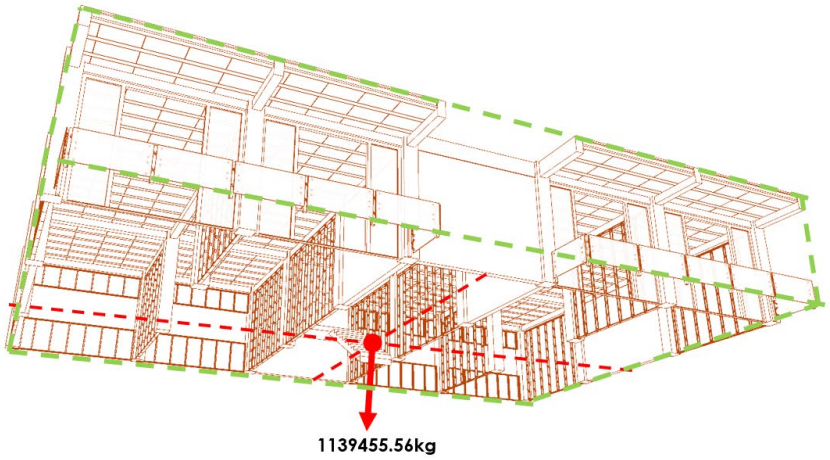
Listado de cargas Nivel 0+7.70m Ejes B y E												
Cargas vivas netas	11544.00	11544.00	13164.00	13164.00	13164.00	13164.00	6144.00	6144.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Factor de C.V. CSCR	1731.60	1731.60	1974.60	1974.60	1974.60	1974.60	921.60	921.60	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargas muertas y P.P.	41386.28	41386.28	42345.21	42345.21	45898.51	45898.51	29341.87	29341.87	0.00	0.00	0.00	0.00
Peso Sísmico Parcial	**331148.54**											

Listado de cargas Nivel 0+7.70m Ejes A y F												
Cargas vivas netas	5572.00	5572.00	4834.67	4834.67	3187.60	3187.60	4931.91	4931.91	3072.00	3072.00	0.00	0.00
Factor de C.V. CSCR	835.80	835.80	725.20	725.20	478.14	478.14	739.79	739.79	460.80	460.80	0.00	0.00
Cargas muertas y P.P.	27843.39	27843.39	27028.71	27028.71	25258.90	25258.90	27285.15	27285.15	18467.70	18467.70	0.00	0.00
Peso Sísmico Parcial	**258247.15**											

Peso Sísmico Total	**1139455.56**

Figura 63

Peso sísmico total, nivel 0+7,70 m



3.7.5 Nivel 0+3,85 m Primer Nivel Apt 01 y 02: Cálculo de Áreas Tributarias, Cargas Axiales y Peso Sísmico.

- Cálculo de cargas axiales en ejes C y D, nivel 0+3,85 m

Figura 64

Resumen de cargas axiales en eje C, nivel 0+3,85 m

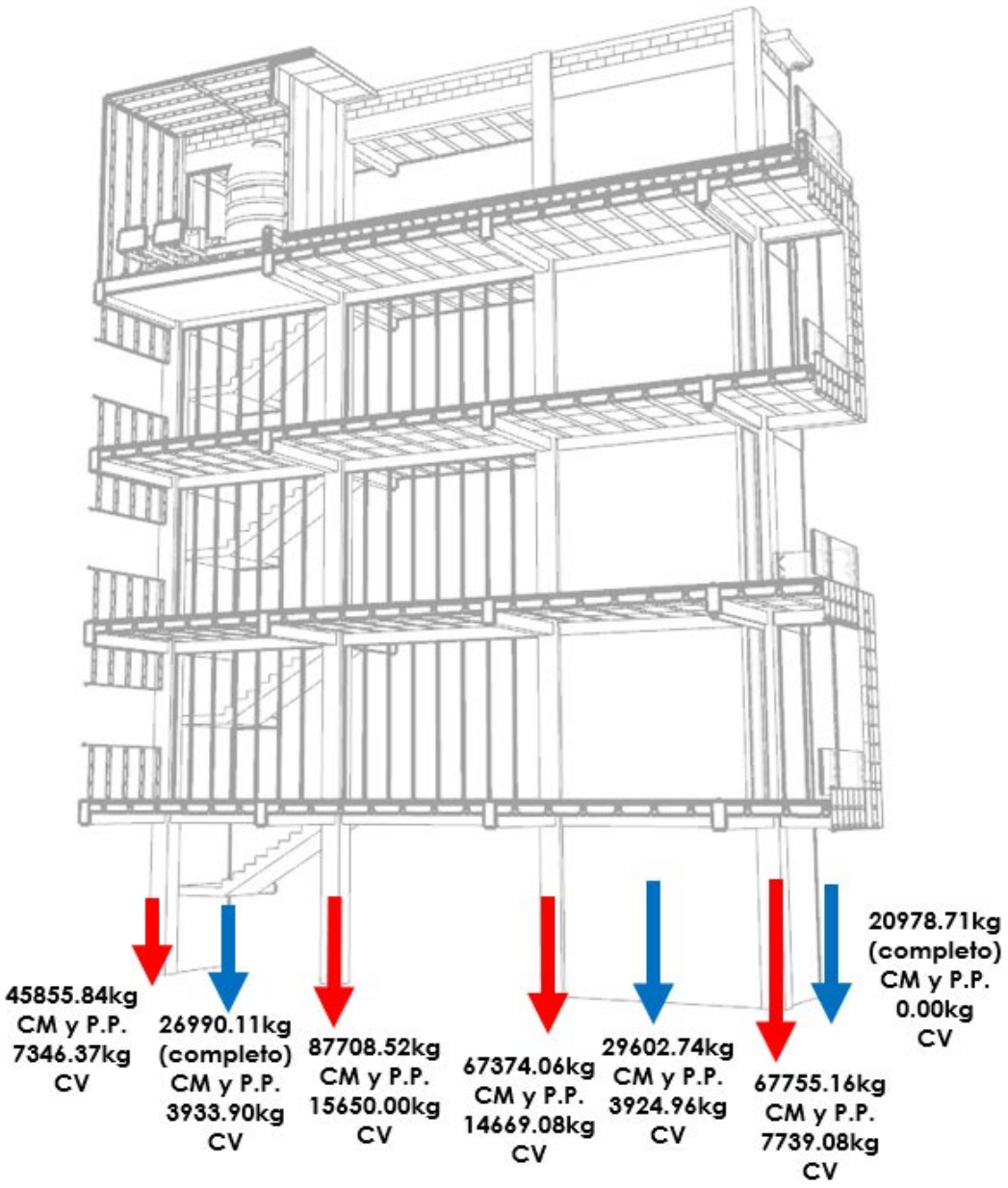


Tabla 71

Resumen global – columnas C2 y D2 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C2 y D2 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	ELEMENTO / DETALLE	L	h	b	Área	Vol	P.P.	Nominal	COLUMNA 33.30 %	MURO 66.60 %	Nominal	COLUMNA 33.30 %	MURO 66.60 %
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51680.15	**51680.15**	N/A	N/A	**5857.84**	N/A	N/A
	Muro sobre viga (C.Axl Sup)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10175.82	10175.82	3391.60	6783.20	0.00	0.00	0.00
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	224.98	449.96	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**62530.97**	**3616.58**	**7233.16**	**5857.84**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Murete Block	4.25	0.40	0.00	1.70	0.00	305.91	520.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga Banquina	4.25	0.15	0.15	0.02	0.10	2400.00	229.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	4.25	0.90	0.00	3.83	0.00	51.00	195.08	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	4.25	3.35	0.00	14.24	0.00	61.18	871.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**3775.44**	**0.00**	**0.00**	**900.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	51.00	384.41	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1059.41**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15029.57	15029.57	5009.36	10018.71	1922.67	640.25	1280.50
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**17259.18**	**5752.48**	**11504.97**	**2946.67**	**981.24**	**1962.48**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	51680.15
	3616.58
	3775.44
	1059.41
	5752.48
+	1871.10
	67755.16

C.V. Axial Total=

	5857.84
	900.00
+	981.24
	7739.08

P.P. Muro = (0.20x4.05x3.35x2400)
P.P. Muro Norte = 6512.40 kg

C.M. Axial Total =

	7233.16
x	2.00
+	6512.40
	20978.71

C.V. Axial Total=

	0.00
x	2.00
	0.00

P.P. Muro = (0.20x4.10x3.35x2400)
P.P. Muro Oeste = 6592.80 kg

C.M. Axial Parcial =

	11504.97
+	6592.80
	18097.77

C.V. Axial Parcial= 1962.48

Tabla 72

Resumen global – columnas C3 y D3 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C3 y D3 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53091.06	**53091.06**	N/A	N/A	**11347.84**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**54227.20**	**0.00**	**0.00**	**11347.84**	**0.00**	**0.00**
Este	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15029.57	15029.57	5009.36	10018.71	1922.67	640.25	1280.50
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**17259.18**	**5752.48**	**11504.97**	**2946.67**	**981.24**	**1962.48**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 54227.20
5752.48
675.00
4848.27
\+ 1871.10
67374.06

C.V. Axial Total= 11347.84
981.24
\+ 2340.00
14669.08

P.P. Muro = (0.20x4.10x3.35x2400)
P.P. Muro Este = 6592.80 kg

C.M. Axial Total= 18097.77
\+ 11504.97
29602.74

C.V. Axial Total= 1962.48
\+ 1962.48
3924.96

Tabla 73

Resumen global – columnas C6 y D6 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C6 y D6 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73407.27	**73407.27**	N/A	N/A	**12286.00**	N/A	N/A
	Carga tramo de escalera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	2400.00	2136.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga viva escaleras	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	500.00	1400.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**77618.27**	**0.00**	**0.00**	**12286.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**675.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromecánicas	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	77618.27
	4848.27
	675.00
	2695.88
+	1871.10
	87708.52

C.V. Axial Total=

	12286.00
	2340.00
+	1024.00
	15650.00

Tabla 74

Resumen global – columnas C7 y D7 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA C7 y D7 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38033.29	**38033.29**	N/A	N/A	**5338.89**	N/A	N/A
	Muro sobre viga (C.Axl Sup)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12548.82	12548.82	4182.52	8365.04	1553.38	517.28	1034.55
	Carga tramo de escalera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.89	2400.00	2136.00	711.93	1423.86	0.00	0.00	0.00
	Carga viva escaleras	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	500.00	0.00	N/A	N/A	1400.00	466.20	932.40
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	224.98	449.96	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**53393.11**	**5119.43**	**10238.86**	**8292.27**	**983.48**	**1966.95**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromecánicas	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	38033.29
	5119.43
	2695.88
	1136.14
+	1871.10
	48855.84

C.V. Axial Total=

	5338.89
	983.48
+	1024.00
	7346.37

P.P. Muro = (0.20x4.05x3.35x2400)
P.P. Muro Norte = 6512.40 kg

C.M. Axial Total =

	10238.86
x	2.00
+	6512.40
	26990.11

C.V. Axial Total=

	1966.95
x	2.00
	3933.90

- Cálculo de cargas axiales en ejes B y E, nivel 0+3.85 m

Figura 65

Resumen de cargas axiales en eje B, nivel 0+3,85 m

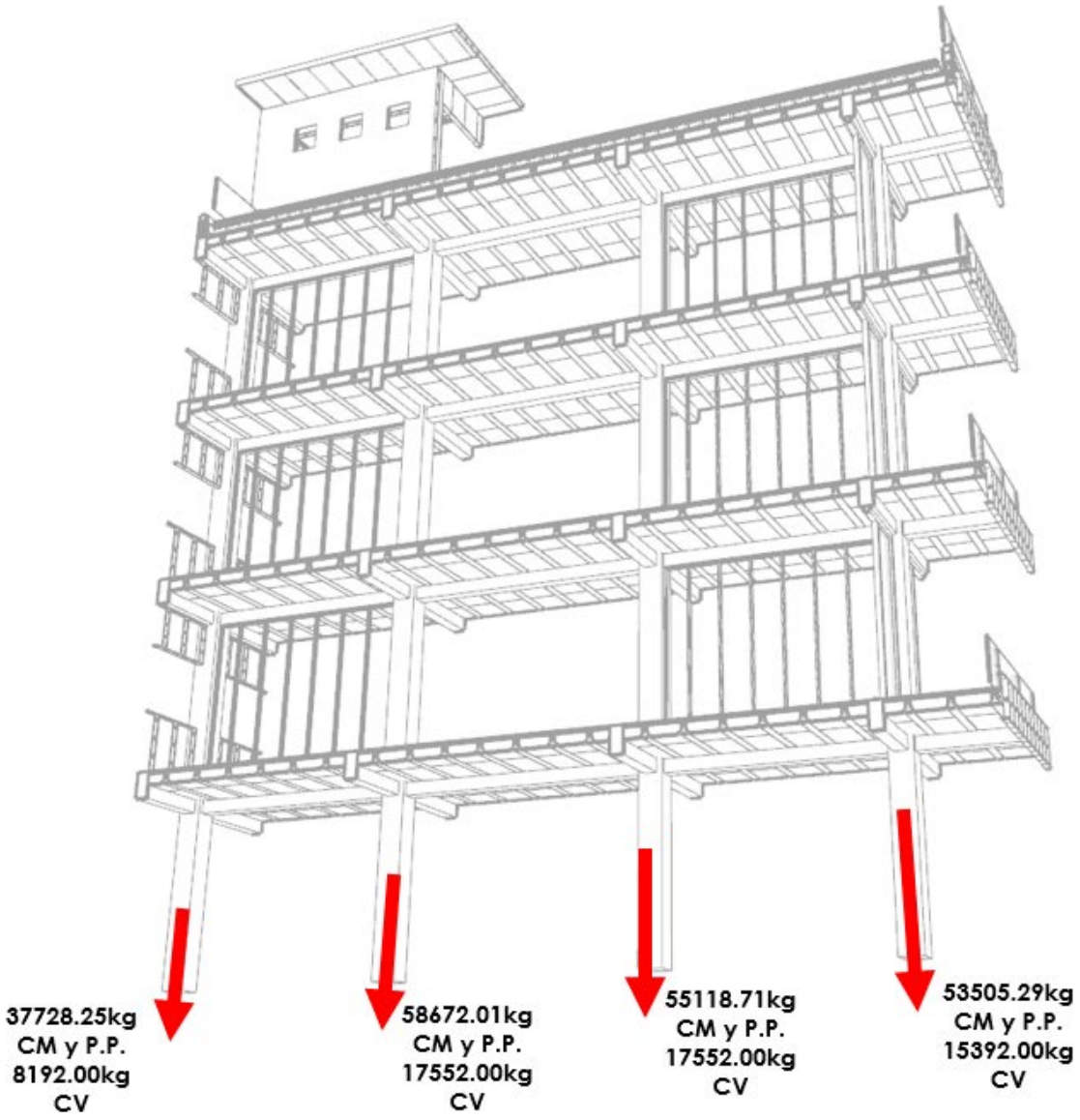


Tabla 75

Resumen global – columnas B2 y E2 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B2 y E2 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41386.28	**41386.28**	N/A	N/A	**11544.00**	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**42164.56**	**0.00**	**0.00**	**11544.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4448.37**	**0.00**	**0.00**	**1800.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**778.28**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 42164.56 + 4448.37 + 778.28 + 4242.99 + 1871.10 = 53505.29

C.V. Axial Total= 11544.00 + 1800.00 + 2048.00 = 15392.00

Tabla 76

Resumen global – columnas B3 y E3 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B3 y E3 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42345.21	**42345.21**	N/A	N/A	**13164.00**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**43020.21**	**0.00**	**0.00**	**13164.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Cerramiento DryWall**	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 43020.21 + 4242.99 + 1136.14 + 4848.27 + 1871.10 = 55118.71

C.V. Axial Total= 13164.00 + 2048.00 + 2340.00 = 17552.00

Tabla 77

Resumen global – columnas B6 y E6 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B6 y E6 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45898.51	**45898.51**	N/A	N/A	**13164.00**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**46573.51**	**0.00**	**0.00**	**13164.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1170.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4848.27**	**0.00**	**0.00**	**2340.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Cerramiento DryWall**	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 46573.51 + 4848.27 + 1136.14 + 4242.99 + 1871.10 = 58672.01

C.V. Axial Total= 13164.00 + 2340.00 + 2048.00 = 17552.00

Tabla 78

Resumen global – columnas B7 y E7 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA B7 y E7 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29341.87	**29341.87**	N/A	N/A	**6144.00**	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**30478.01**	**0.00**	**0.00**	**6144.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**4242.99**	**0.00**	**0.00**	**2048.00**	**0.00**	**0.00**
Sur	**Viga de Entrepiso**	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**1136.14**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total =

	30478.01
	4242.99
	1136.14
+	1871.10
	37728.25

C.V. Axial Total=

	6144.00
	2048.00
+	0.00
	8192.00

- Cálculo de cargas axiales en ejes A y F, nivel 0+3,85 m

Figura 66

Resumen de cargas axiales en eje B, nivel 0+3,85 m

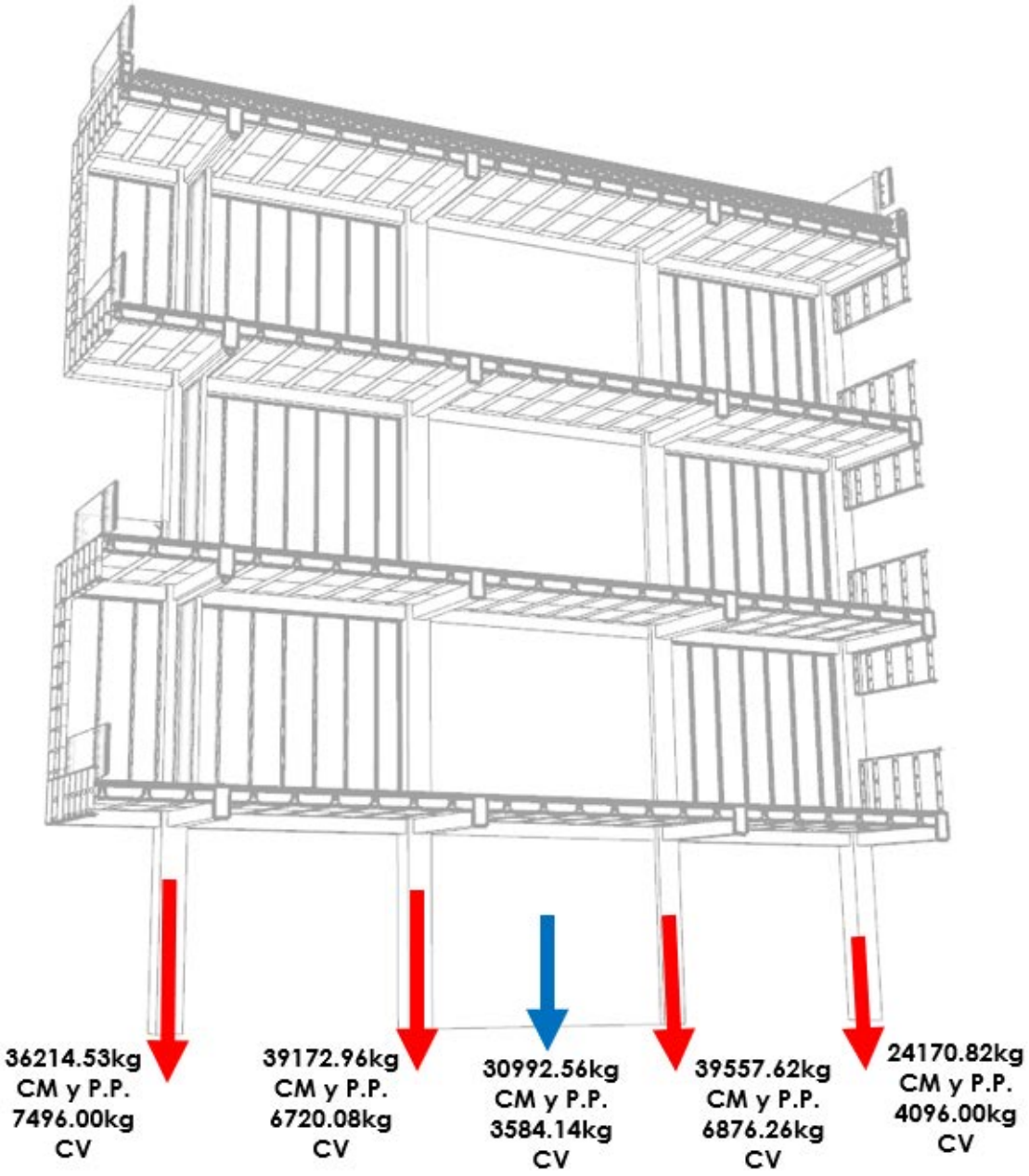


Tabla 79

Resumen global – columnas A2 y F2 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A2 y F2 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27843.39	**27843.39**	N/A	N/A	**5572.00**	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	2.25	0.90	0.00	2.03	0.00	51.00	103.28	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	0.00	0.00
							TOTAL	**28621.67**	**0.00**	**0.00**	**5572.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.00	0.50	0.25	0.13	0.25	2400.00	600.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	185.00	832.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento Vidrio	4.25	0.90	0.00	3.83	0.00	51.00	195.08	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	4.25	3.35	0.00	14.24	0.00	61.18	871.05	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	117.17	527.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	900.00	N/A	N/A
							TOTAL	**3025.89**	**0.00**	**0.00**	**900.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 28621.67
3025.89
2695.88
\+ 1871.10
36214.53

C.V. Axial Total= 5572.00
900.00
\+ 1024.00
7496.00

Tabla 80

Resumen global – columnas A3 y F3 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A3 y F3 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27028.71	**27028.71**	N/A	N/A	**4834.67**	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**28164.85**	**0.00**	**0.00**	**4834.67**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**
Oeste	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12629.45	12629.45	4209.40	8418.79	1593.80	530.74	1061.47
	Viga de Entrepiso	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	227.48	454.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	315.70	631.40	0.00	0.00	0.00
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	155.41	310.81	0.00	0.00	0.00
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	199.95	399.90	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1024.00	340.99	681.98
							TOTAL	**15325.33**	**5107.93**	**10215.86**	**2617.80**	**871.73**	**1743.45**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 28164.85
2695.88
5107.93
\+ 1871.10
37839.76

C.V. Axial Total= 4834.67
1024.00
\+ 871.73
6730.40

P.P. Muro = (0.20x4.75x3.35x2400)
P.P. Muro Oeste = 7638.00 kg

C.M. Axial Parcial = 10215.86
\+ 7638.00
17853.86

C.V. Axial Parcial= 1743.45

Tabla 81

Resumen global – columnas A6 y F6 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A6 y F6 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	ELEMENTO / DETALLE	L	h	b	Área	Vol	P.P.	Nominal	COLUMNA 33.30 %	MURO 66.60 %	Nominal	COLUMNA 33.30 %	MURO 66.60 %
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27285.15	**27285.15**	N/A	N/A	**4931.91**	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**28421.29**	**0.00**	**0.00**	**4931.91**	**0.00**	**0.00**
Este	**Muro sobre viga (C.Axl sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16629.45	16629.45	5542.60	11085.19	1593.80	530.74	1061.47
	Viga de Entrepiso	2.60	0.50	0.25	0.13	0.33	2400.00	780.00	259.97	519.95	0.00	0.00	0.00
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	185.00	1082.25	360.71	721.43	0.00	0.00	0.00
	Cerramiento DryWall	2.60	3.35	0.00	8.71	0.00	61.18	532.88	177.61	355.22	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	117.17	685.44	228.46	456.92	0.00	0.00	0.00
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.85	0.00	200.00	0.00	0.00	0.00	1170.00	389.61	779.22
							TOTAL	**19710.02**	**6569.35**	**13138.70**	**2763.80**	**920.35**	**1840.69**
Oeste	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 28421.29
6569.35
2695.88
\+ 1871.10
39557.62

C.V. Axial Total= 4931.91
920.35
\+ 1024.00
6876.26

P.P. Muro = (0.20x4.75x3.35x2400)
P.P. Muro Este = 7638.00 kg

C.M. Axial Total= 17853.86
\+ 13138.70
30992.56

C.V. Axial Total= 1743.45
\+ 1840.69
3584.14

Tabla 82

Resumen global – columnas A7 y F7 – nivel 0+3,85 m

RESUMEN GLOBAL – COLUMNA A7 y F7 – Nivel 0+3.85m								Carga Muerta			Carga Viva		
Cara	**ELEMENTO / DETALLE**	**L**	**h**	**b**	**Área**	**Vol**	**P.P.**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**	**Nominal**	**COLUMNA 33.30 %**	**MURO 66.60 %**
Norte	**Columna (C.Axl Sup)**	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18467.7	**18467.7**	N/A	N/A	**3072.00**	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.25	3.35	0.00	7.54	0.00	61.18	461.14	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Viga de Entrepiso	2.25	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	675.00	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
							TOTAL	**19603.84**	**0.00**	**0.00**	**3072.00**	**0.00**	**0.00**
Este	**Viga de Entrepiso**	2.28	0.50	0.25	0.13	0.28	2400.00	682.50	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Cerramiento DryWall	2.28	3.35	0.00	7.62	0.00	61.18	466.27	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Losa aligerada	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	185.00	947.20	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Instalac Electromec	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	117.17	599.91	N/A	N/A	0.00	N/A	N/A
	Carga Viva	0.00	0.00	0.00	5.12	0.00	200.00	0.00	N/A	N/A	1024.00	N/A	N/A
							TOTAL	**2695.88**	**0.00**	**0.00**	**1024.00**	**0.00**	**0.00**

P.P. Columna = (0.45x0.45x3.85x2400)
P.P. Columna = 1871.10 kg

C.M. Axial Total = 19603.84
+ 2695.88
+ 1871.10
24170.82

C.V. Axial Total= 3072.00
+ 1024.00
4096.00

Tabla 83

Resumen de cargas para peso sísmico – nivel 0+3,85 m

Listado de cargas Nivel 0+3.85m Ejes C y D												
Cargas vivas netas	7739.08	7739.08	3924.96	3924.96	14669.08	14669.08	15650.00	15650.00	7346.37	7346.37	3933.9	0
Factor de C.V. CSCR	1160.86	1160.86	588.74	588.74	2200.36	2200.36	2347.50	2347.50	1101.96	1101.96	590.09	0.00
Cargas muertas y P.P.	20978.71	67755.16	67755.16	29602.74	29602.74	67374.06	67374.06	87708.52	87708.52	45855.84	45855.84	26911.11
Peso Sísmico Parcial	**659871.39**											

Listado de cargas Nivel 0+3.85m Ejes B y E												
Cargas vivas netas	15392.00	15392.00	17552.00	17552.00	17552.00	17552.00	8192.00	8192.00	0	0	0	0.00
Factor de C.V. CSCR	2308.80	2308.80	2632.80	2632.80	2632.80	2632.80	1228.80	1228.80	0.00	0.00	0.00	0.00
Cargas muertas y P.P.	53505.29	53505.29	55118.71	55118.71	58672.01	58672.01	37728.25	37728.25	0	0	0	0.00
Peso Sísmico Parcial	**427654.92**											

Listado de cargas Nivel 0+3.85m Ejes A y F												
Cargas vivas netas	7496.00	7496.00	6720.08	6720.08	3584.14	3584.14	6876.26	6876.26	4096.00	4096.00	0	0.00
Factor de C.V. CSCR	1124.40	1124.40	1008.01	1008.01	537.62	537.62	1031.44	1031.44	614.40	614.40	0.00	0.00
Cargas muertas y P.P.	36214.53	36214.53	39172.96	39172.96	30992.56	30992.56	39557.62	39557.62	24170.82	24170.82	0.00	0.00
Peso Sísmico Parcial	**348848.72**											

Peso Sísmico Total	**1436375.04**

Figura 67

Peso sísmico total, nivel 0+3,85 m

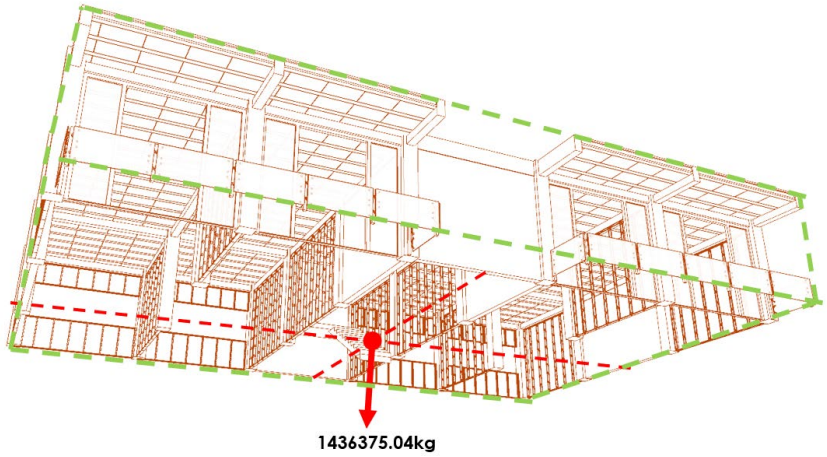
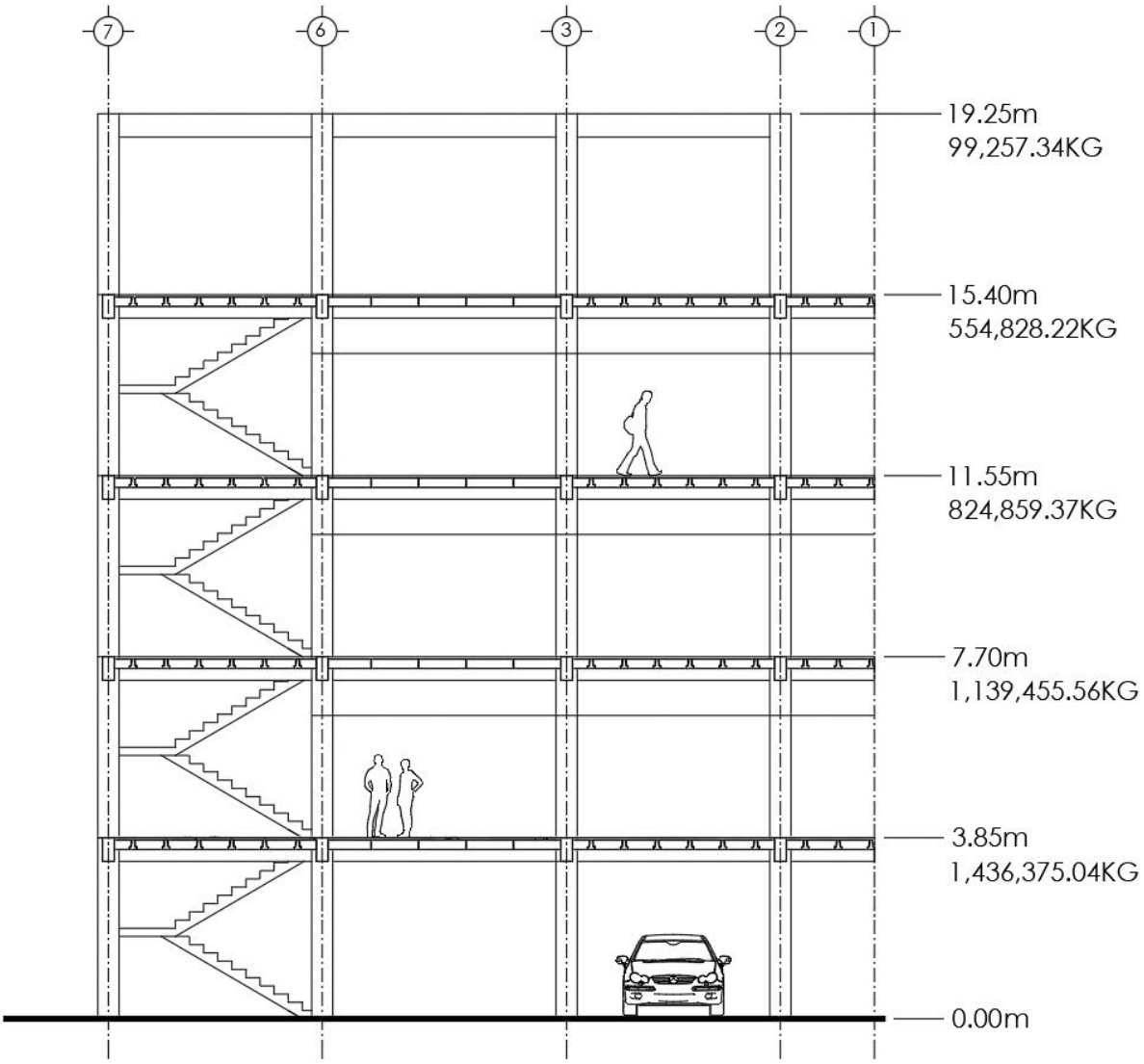


Figura 68

Resumen global de pesos sísmicos



Concluido el proceso de bajada de cargas, se ha logrado determinar con precisión la distribución de las fuerzas axiales en cada columna del edificio, así como el peso total por nivel. Esta información constituye la base para el cálculo de las acciones horizontales, permitiendo obtener los pesos sísmicos requeridos para el análisis estructural. Estos resultados son fundamentales para evaluar el comportamiento de la estructura ante cargas laterales, y servirán como insumo directo para el dimensionamiento sísmico, análisis de estabilidad y diseño de las cimentaciones.

3.8 Cálculo de Centros de Masa por Nivel

Una vez determinada la distribución de cargas verticales y los pesos sísmicos por nivel, el siguiente paso fundamental en el análisis estructural es la evaluación del comportamiento dinámico lateral de la edificación. Para ello, es necesario calcular los centros de masa y centros de rigidez en cada nivel, ya que estos permiten identificar la existencia de excentricidades entre las masas y las rigideces, lo cual puede generar torsiones adicionales durante un evento sísmico. Estos cálculos son esenciales para el adecuado planteamiento del análisis sísmico y para la selección de marcos estructurales representativos en cada dirección.

3.8.1 Cálculo de Centros de Masa, Nivel 0+19,25m.

Figura 69

Distribución de áreas para cálculo de centros de masa, nivel 0+19,25 m

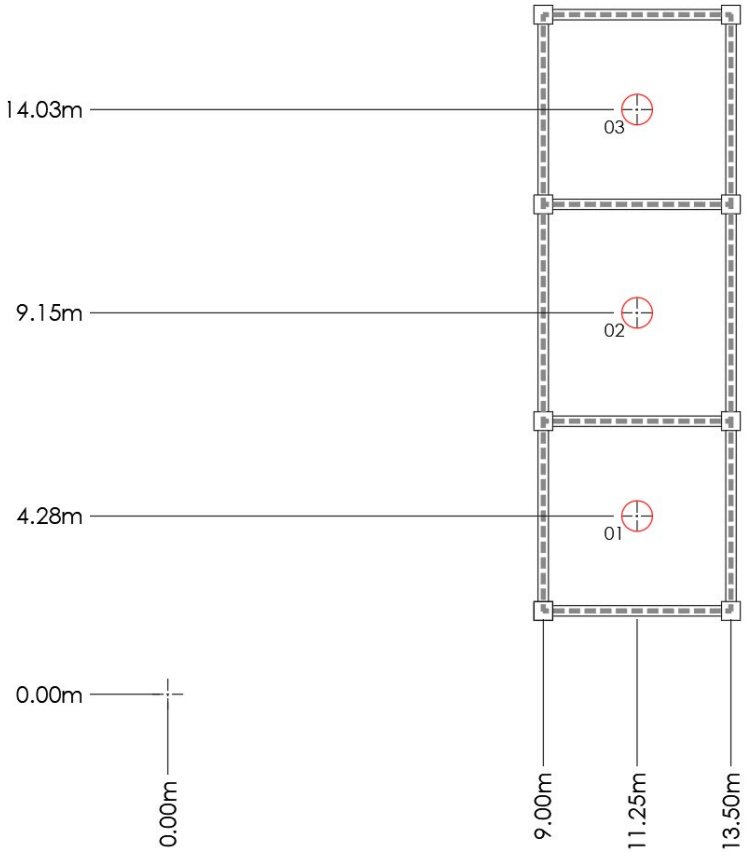


Tabla 84

Tabla de cálculo para centros de masa por áreas, Nivel 0+19,25 m y niveles inferiores

Centro de Masa Nivel 0+19.25m										
Zona	**Área (m²)**	**Posición centro**		**Componentes**	**P.P. (kg)**	**Cant**	**Sub Total (kg)**	**Masa (mi) Total**	**Xi CM**	**Yi CM**
		X(m)	**Y(m)**							
01	20.48	11.25	4.28	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	2	2700.00	24834.33	11.25	4.28
				Viga entrepiso 4.55m	1365.00	2	2730.00			
				Columnas 0.45x0.45m	1871.10	4	7484.40			
				Losa Aligerada	3787.88	1	3787.88			
				Cubierta verde	5118.75	1	5118.75			
				Innstalac eletromec	2399.06	1	2399.06			
				Carga viva 15 %	614.25	1	614.25			
02	23.40	11.25	9.15	Viga entrepiso 5.20m	1560.00	2	3120.00	16742.78	11.25	9.15
				Losa Aligerada	4329.00	1	4329.00			
				Cubierta verde	5850.00	1	5850.00			
				Innstalac eletromec	2741.78	1	2741.78			
				Carga viva 15 %	702.00	1	702.00			
03	20.48	11.25	14.03	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	2	2700.00	24834.33	11.25	14.03
				Viga entrepiso 4.55m	1365.00	2	2730.00			
				Columnas 0.45x0.45m	1871.10	4	7484.40			
				Losa Aligerada	3787.88	1	3787.88			
				Cubierta verde	5118.75	1	5118.75			
				Innstalac eletromec	2399.06	1	2399.06			
				Carga viva 15 %	614.25	1	614.25			
							$\sum mi =$	66411.44		

$$X_{CM} = \frac{\sum (x_i \cdot m_i)}{\sum m_i} \tag{119}$$

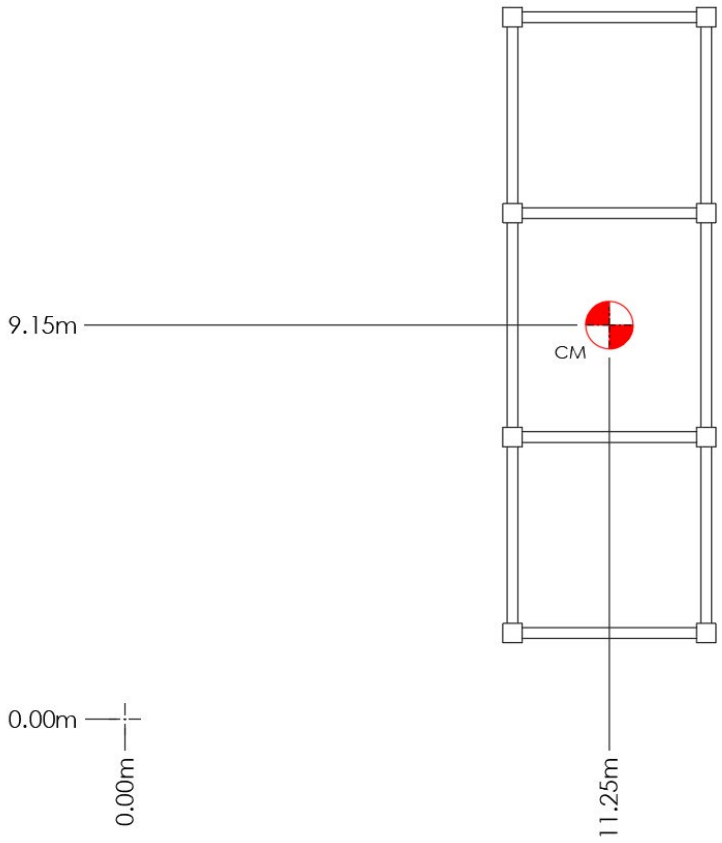
$$X_{CM} = \frac{(11{,}25 \cdot 24834{,}33) + (11{,}25 \cdot 16742{,}78) + (11{,}25 \cdot 24834{,}33)}{66411{,}44} = 11{,}25m \tag{120}$$

$$Y_{CM} = \frac{\sum (y_i \cdot m_i)}{\sum m_i} \tag{121}$$

$$Y_{CM} = \frac{(4{,}28 \cdot 24834{,}33) + (9{,}15 \cdot 16742{,}78) + (14{,}03 \cdot 24834{,}33)}{66411{,}44} = 9{,}15m \tag{122}$$

Figura 70

Centro de masa, nivel 0+19,25 m



Una vez calculados los centros de masa correspondientes a cada una de las áreas y elementos que conforman el nivel, se procede a determinar el centro de masa total del nivel mediante el empleo de la fórmula del centroide ponderado. Este procedimiento permite ubicar el punto donde se concentra idealmente la masa total del piso, con base en la distribución geométrica y las masas individuales.

La fuerza sísmica horizontal ingresa al edificio a través del centro de masa de cada nivel, ya que es en ese punto donde se concentra idealmente la masa del piso. Al actuar ahí, genera desplazamientos laterales y posibles efectos de torsión si no coincide con el centro de rigidez.

3.8.2 Cálculo de Centros de Masa, Nivel 0+15,40 m

Figura 71

Distribución de áreas para cálculo de centros de masa, nivel 0+15,40 m

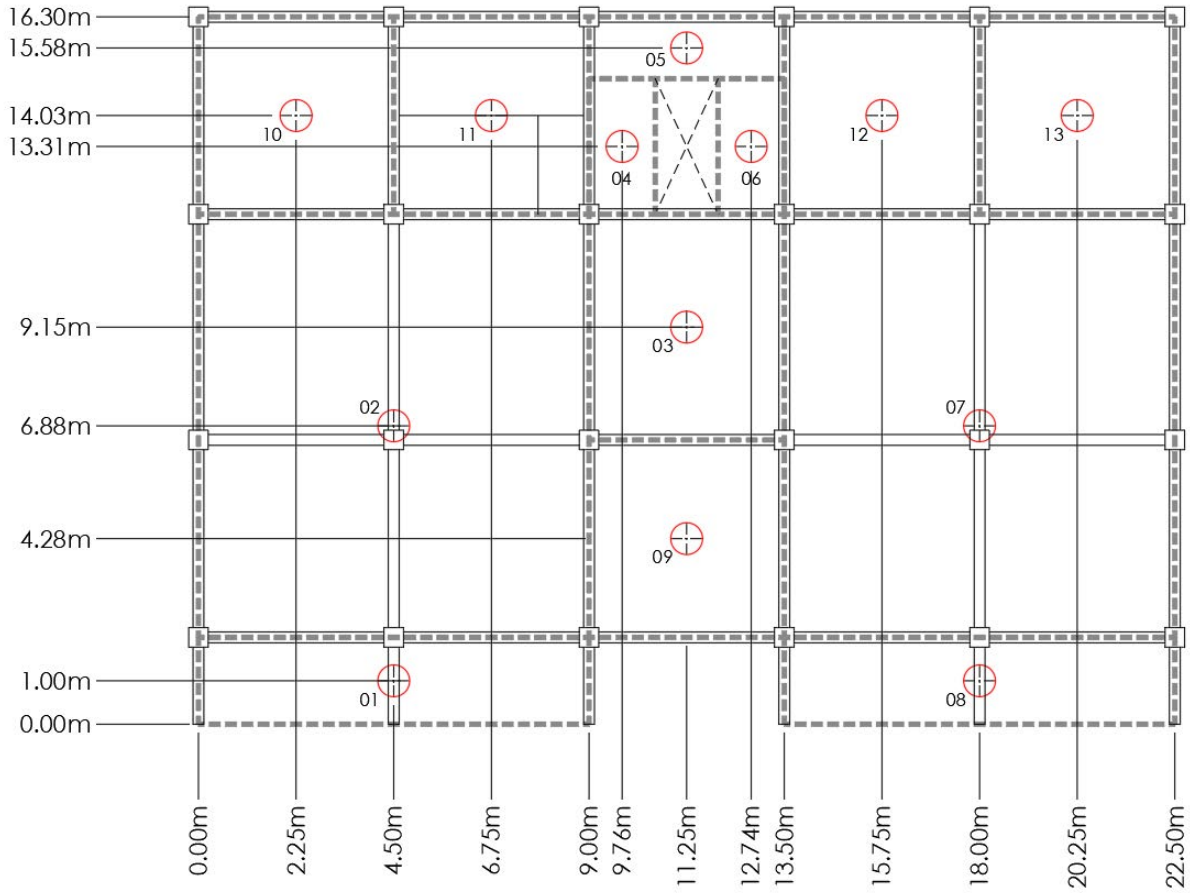


Tabla 85

Tabla de cálculo para centros de masa por áreas, nivel 0+15,40 m y niveles inferiores

Centro de Masa Nivel 0+15.40m										
Zona	**Área (m²)**	**Posición centro**		**Componentes**	**P.P. (kg)**	**Cant**	**Sub Total (kg)**	**Masa (mi) Total**	**Xi CM**	**Yi CM**
		X(m)	**Y(m)**							
01	18.00	4.50	1.00	Viga entrepiso 2m	600.00	3	1800.00	12279.06	4.50	1.00
				Losa Aligerada	3330.00	1	3330.00			
				Cubierta verde	4500.00	1	4500.00			
				Innstalac eletromec	2109.06	1	2109.06			
				Carga viva 15 %	540.00	1	540.00			
02	128.70	0.00	9.15	Muro de carga 4.75m	7638.00	1	7638.00	122870.98	4.46	6.88
		9.00	4.28	Muro de carga 4.10m	6592.80	1	6592.80			
		4.50	6.88	Viga entrepiso 4.55m	1365.00	3	4095.00			
				Viga entrepiso 5.20m	1560.00	3	4680.00			
				Viga entrepiso 4.50m	1350.00	6	8100.00			
				Columnas 0.45x0.45	1871.10	9	16839.90			
				Losa Aligerada	23809.50	1	23809.50			
				Cubierta verde	32175.00	1	32175.00			
				Innstalac eletromec	15079.78	1	15079.78			
				Carga viva 15 %	3861.00	1	3861.00			
03	23.40	11.25	9.15	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	2	2700.00	10472.78	11.25	9.15
				Losa Aligerada	4329.00	1	4329.00			
				Innstalac eletromec	2741.78	1	2741.78			
				Carga viva 15 %	702.00	1	702.00			
04	4.78	9.76	13.31	Escaleras superior	2976.00	1	2976.00	3894.57	9.76	13.31
				Innstalac eletromec	560.07	1	560.07			
				Carga viva escalera 15 %	358.50	1	358.50			
05	6.41	11.25	15.59	Escaleras descanso	2568.00	1	2568.00	11662.21	11.25	16.07
				Innstalac eletromec	751.06	1	751.06			
				Carga viva escalera 15 %	480.75	1	480.75			
		11.25	16.30	Muro de carga 4.05m	6512.40	1	6512.40			
		11.25	16.30	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	1	1350.00			
06	4.78	12.74	13.31	Escaleras inferior	2976.00	1	2976.00	3894.57	12.74	13.31
				Innstalac eletromec	560.07	1	560.07			
				Carga viva escalera 15 %	358.50	1	358.50			
07	128.70	22.50	9.15	Muro de carga 4.75m	7638.00	1	7638.00	122870.98	18.04	6.88
		13.50	4.28	Muro de carga 4.10m	6592.80	1	6592.80			
		18.00	6.88	Viga entrepiso 4.55m	1365.00	3	4095.00			
				Viga entrepiso 5.20m	1560.00	3	4680.00			
				Viga entrepiso 4.50m	1350.00	6	8100.00			
				Columnas 0.45x0.45	1871.10	9	16839.90			
				Losa Aligerada	23809.50	1	23809.50			
				Cubierta verde	32175.00	1	32175.00			
				Innstalac eletromec	15079.78	1	15079.78			
				Carga viva 15 %	3861.00	1	3861.00			

Tabla 86

Continuación de tabla de cálculo para centros de masa por áreas, nivel 0+15,40 m y niveles inferiores

08	18.00	18.00	1.00	Viga entrepiso 2m	600.00	3	1800.00	12279.06	18.00	1.00
				Losa Aligerada	3330.00	1	3330.00			
				Cubierta verde	4500.00	1	4500.00			
				Innstalac eletromec	2109.06	1	2109.06			
				Carga viva 15 %	540.00	1	540.00			
09	20.48	11.25	2.00	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	1	1350.00	97058.46	11.25	4.10
			2.00	Muro de carga 4.05m	6512.40	1	6512.40			
			4.28	Losa Maciza	16216.20	1	16216.20			
				Tanque agua cascada	22093.55	2	44187.10			
				Elevadores	14396.38	2	28792.76			
10.00	20.48	2.25	16.30	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	1	1350.00	15141.03	1.97	14.51
		0.00	16.30	Columnas 0.45x0.45	1871.10	1	1871.10			
		2.25	14.03	Losa Aligerada	3787.88	1	3787.88			
		2.25		Cubierta verde	5118.75	1	5118.75			
		2.25		Innstalac eletromec	2399.06	1	2399.06			
		2.25		Carga viva 15 %	614.25	1	614.25			
11.00	20.48	6.75	16.30	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	1	1350.00	63992.93	6.75	14.21
		6.75	16.30	Columnas 0.45x0.45	1871.10	2	3742.20			
		6.75	14.03	Losa maciza	16216.20	1	16216.20			
		6.75		Tanque agua captación	39449.02	1	39449.02			
		6.75		Equipos A/C	222.21	1	222.21			
		6.75		Innstalac eletromec	2399.06	1	2399.06			
		6.75		Carga viva 15 %	614.25	1	614.25			
12.00	20.48	15.75	16.30	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	1	1350.00	63992.93	15.75	14.21
			16.30	Columnas 0.45x0.45	1871.10	2	3742.20			
			14.03	Losa maciza	16216.20	1	16216.20			
				Tanque agua captación	39449.02	1	39449.02			
				Equipos A/C	222.21	1	222.21			
				Innstalac eletromec	2399.06	1	2399.06			
				Carga viva 15 %	614.25	1	614.25			
10.00	20.48	20.25	16.30	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	1	1350.00	15141.03	20.53	14.51
		22.50	16.30	Columnas 0.45x0.45	1871.10	1	1871.10			
		20.25	14.03	Losa Aligerada	3787.88	1	3787.88			
		20.25		Cubierta verde	5118.75	1	5118.75			
		20.25		Innstalac eletromec	2399.06	1	2399.06			
		20.25		Carga viva 15 %	614.25	1	614.25			

$\sum mi =$	555550.60

Figura 72

Centro de masa, nivel 0+15,40 m

$$X_{CM} = \frac{(4{,}50 \cdot 12279{,}06) + (...) + (20{,}53 \cdot 15141{,}03)}{555550{,}60} = 11{,}25m \tag{123}$$

$$Y_{CM} = \frac{(1{,}00 \cdot 12279{,}06) + (...) + (14{,}51 \cdot 15141{,}03)}{555550{,}60} = 8{,}56m \tag{124}$$

3.8.3 Cálculo de Centros de Masa, Nivel 0+11,55 m y Niveles Inferiores

Figura 73

Distribución de áreas para cálculo de centros de masa, nivel 0+11,55 m y niveles inferiores

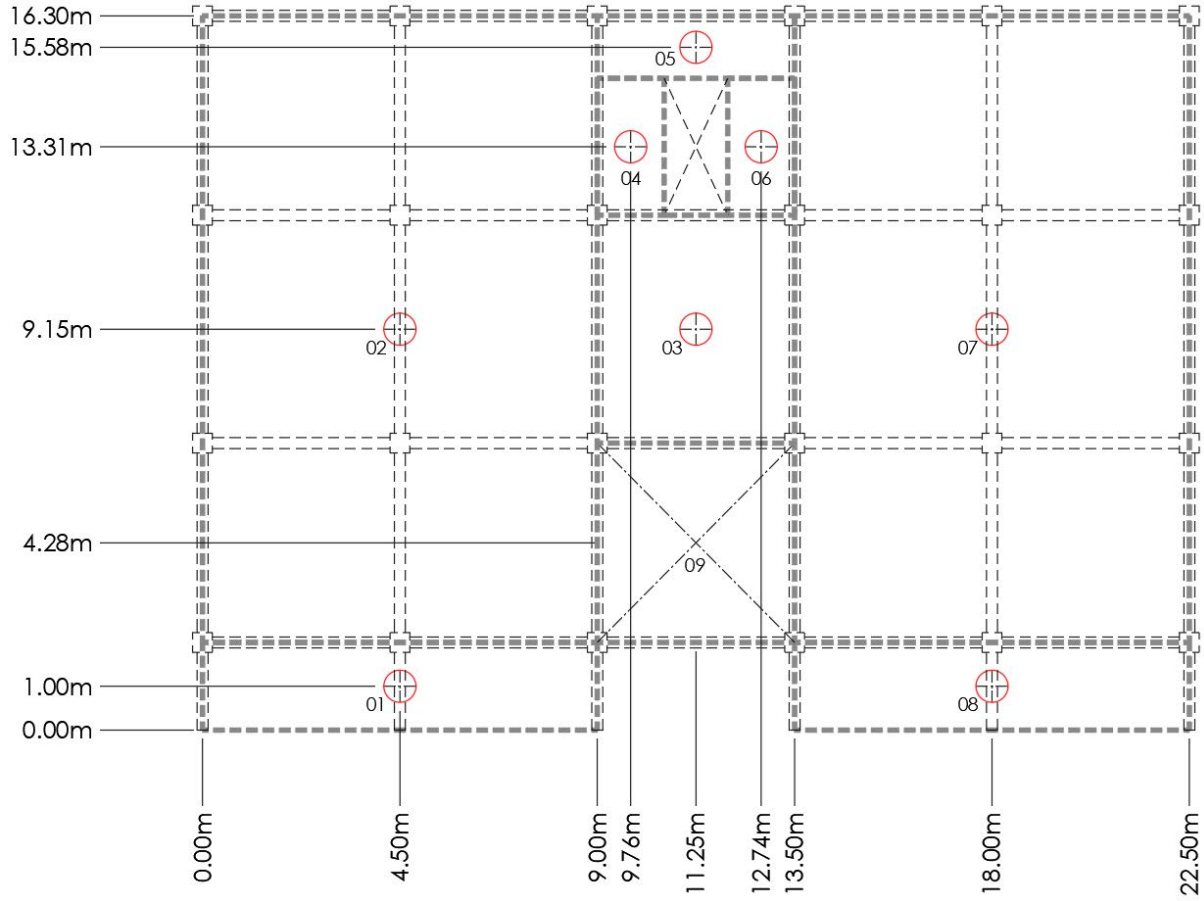


Tabla 87

Tabla de cálculo para centros de masa por áreas, nivel 0+11,55 m y niveles inferiores

Centro de Masa Nivel 0+11.55m y niveles inferiores										
Zona	**Área (m²)**	**Posición centro**		**Componentes**	**P.P. (kg)**	**Cant**	**Sub Total (kg)**	**Masa (mi) Total**	**Xi CM**	**Yi CM**
		X(m)	**Y(m)**							
01	18.00	4.50	1.00	Viga entrepiso 2m	600.00	3	1800.00	7779.06	4.50	1.00
				Losa Aligerada	3330.00	1	3330.00			
				Innstalac eletromec	2109.06	1	2109.06			
				Carga viva 15 %	540.00	1	540.00			
02	128.70	0.00	9.15	Muro de carga 4.75m	7638.00	1	7638.00	103104.28	4.45	8.84
		9.00	4.28	Muro de carga 4.10m	6592.80	1	6592.80			
		4.50	9.15	Viga entrepiso 4.55m	1365.00	6	8190.00			
				Viga entrepiso 5.20m	1560.00	3	4680.00			
				Viga entrepiso 4.50m	1350.00	8	10800.00			
				Columnas 0.45x0.45	1871.10	12	22453.20			
				Losa Aligerada	23809.50	1	23809.50			
				Innstalac eletromec	15079.78	1	15079.78			
				Carga viva 15 %	3861.00	1	3861.00			
03	23.40	11.25	9.15	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	2	2700.00	10472.78	11.25	9.15
				Losa Aligerada	4329.00	1	4329.00			
				Innstalac eletromec	2741.78	1	2741.78			
				Carga viva 15 %	702.00	1	702.00			
04	4.78	9.76	13.31	Escaleras tramo sup	2976.00	1	2976.00	3894.57	9.76	13.31
				Innstalac eletromec	560.07	1	560.07			
				C.V. escalera 15 %	358.50	1	358.50			
05	6.41	11.25	15.59	Escaleras tramo desc	2568.00	1	2568.00	11662.21	11.25	16.07
				Innstalac eletromec	751.06	1	751.06			
				C.V. escalera 15 %	480.75	1	480.75			
		11.25	16.30	Muro de carga 4.05m	6512.40	1	6512.40			
		11.25	16.30	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	1	1350.00			
06	4.78	12.74	13.31	Escaleras tramo sup	2976.00	1	2976.00	3894.57	12.74	13.31
				Innstalac eletromec	560.07	1	560.07			
				C.V. escalera 15 %	358.50	1	358.50			
07	128.70	22.50	9.15	Muro de carga 4.75m	7638.00	1	7638.00	103104.28	18.05	8.84
		13.50	4.28	Muro de carga 4.10m	6592.80	1	6592.80			
		18.00	9.15	Viga entrepiso 4.55m	1365.00	6	8190.00			
				Viga entrepiso 5.20m	1560.00	3	4680.00			
				Viga entrepiso 4.50m	1350.00	8	10800.00			
				Columnas 0.45x0.45	1871.10	12	22453.20			
				Losa Aligerada	23809.50	1	23809.50			
				Innstalac eletromec	15079.78	1	15079.78			
				Carga viva 15 %	3861.00	1	3861.00			
08	18.00	18.00	1.00	Viga entrepiso 2m	600.00	3	1800.00	7779.06	18.00	1.00
				Losa Aligerada	3330.00	1	3330.00			
				Innstalac eletromec	2109.06	1	2109.06			
				Carga viva 15 %	540.00	1	540.00			
09	0.00	11.25	2.00	Viga entrepiso 4.50m	1350.00	1	1350.00	7862.40	11.25	2.00
				Muro de carga 4.05m	6512.40	1	6512.40			
							$\sum mi =$	259553.21		

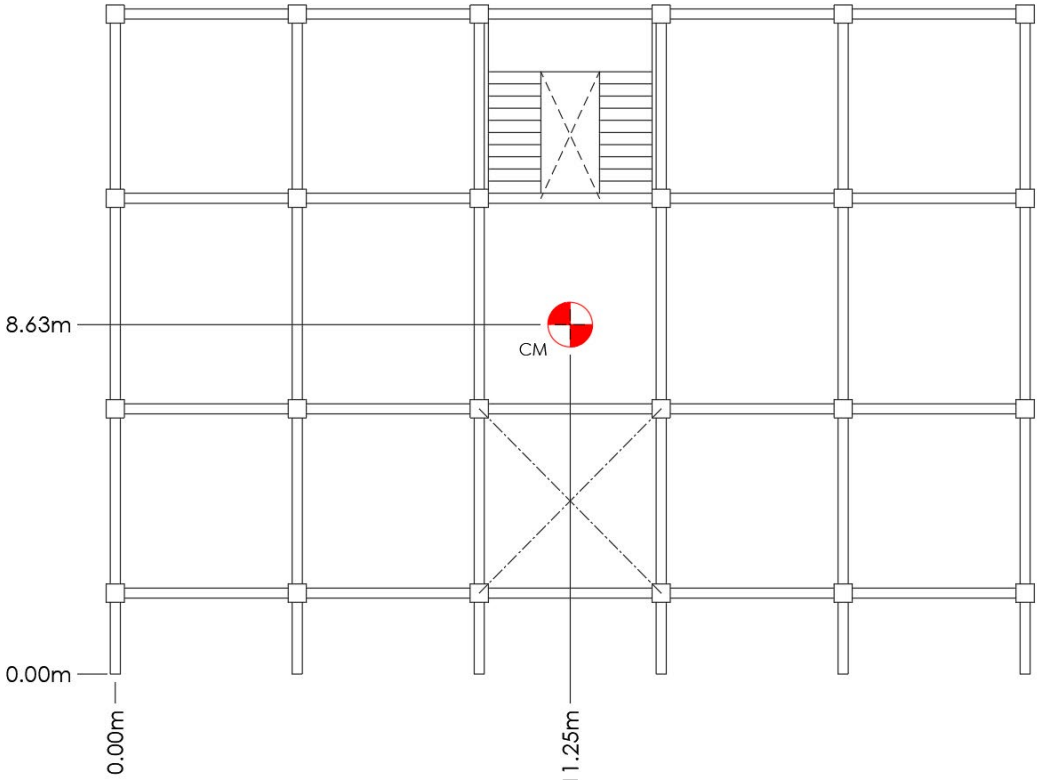
$$X_{CM} = \frac{\sum (x_i \cdot m_i)}{\sum m_i} \tag{125}$$

$$Y_{CM} = \frac{\sum (y_i \cdot m_i)}{\sum m_i} \tag{126}$$

$$X_{CM} = (11{,}25m), Y_{CM} = (8{,}63m) \tag{127}$$

Figura 74

Centro de masa, nivel 0+11,55 m y niveles inferiores



Una vez determinado el centro de masa de cada nivel, se procede al cálculo del centro de rigidez, con el fin de evaluar la relación entre ambos y analizar los posibles efectos torsionales en la estructura.

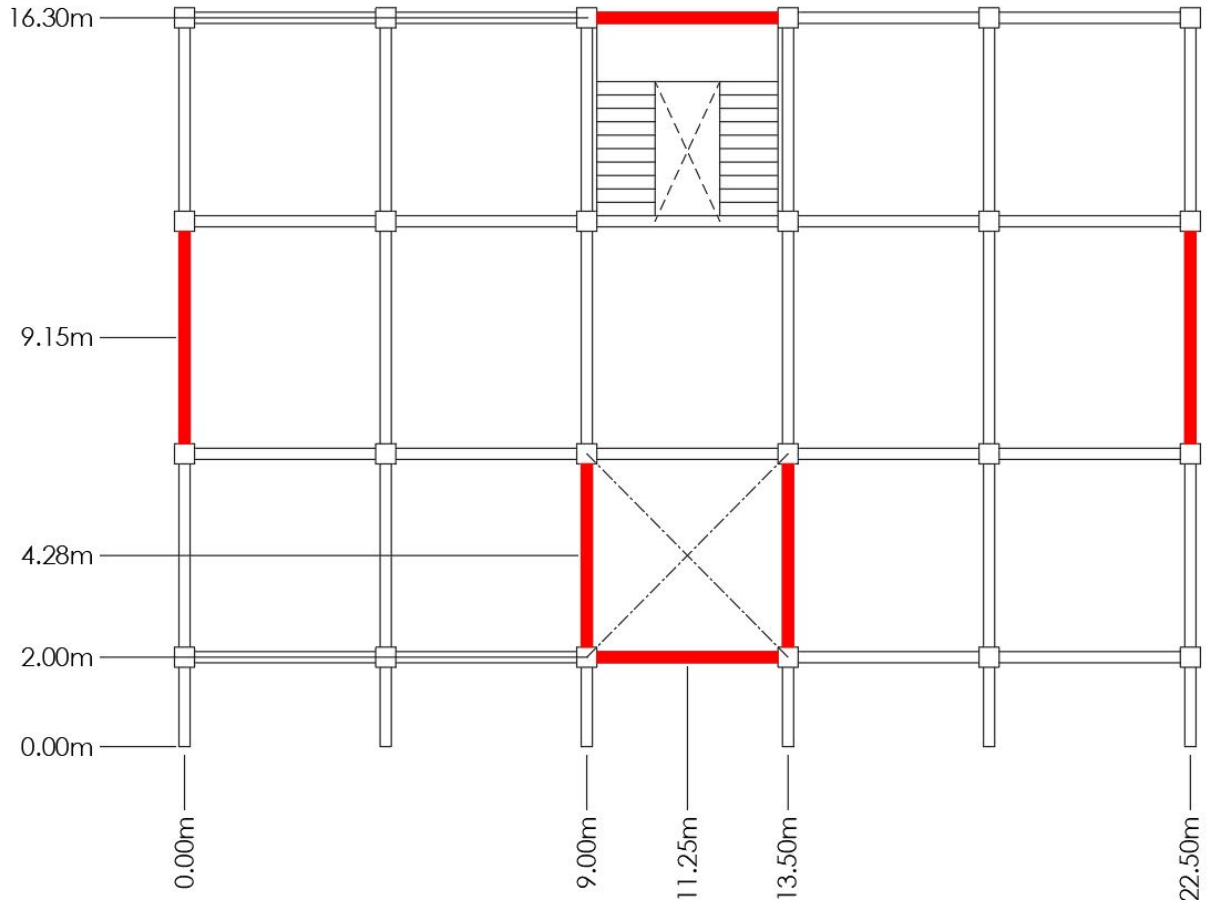
3.9 Cálculo de Centros de Rigidez

Para la determinación del centro de rigidez lateral en planta, la metodología se ajusta a lo establecido por la norma ACI 314 RS-11, la cual indica que dicho cálculo debe considerar únicamente la rigidez lateral de los muros estructurales. En este sentido, se excluye la contribución de las columnas, dado que su participación en la rigidez global frente a acciones laterales es significativamente menor en comparación con los muros.

3.9.1 Cálculo de Centros de Rigidez, Nivel 0+15,40 m y Niveles Inferiores

Figura 75

Distribución de muros estructurales en planta, nivel 0+15,40 m y niveles inferiores



Se debe calcular la rigidez lateral, kx y ky , de todos los muros estructurales usando las ecuaciones, para las dos direcciones principales x y y.

Para muros estructurales con longitudes paralelas al eje x:

$$k_x = \frac{b_w^3 l_w}{h_{pi}}, k_y = \frac{l_w^3 b_w}{h_{pi}} \tag{128}$$

Para muros estructurales con longitudes paralelas al eje y:

$$k_x = \frac{l_w^3 b_w}{h_{pi}}, k_y = \frac{b_w^3 l_w}{h_{pi}} \tag{129}$$

Donde:

b_w= 0,20m espesor del muro (en la dirección de análisis).

l_w= 4,05m longitud del muro (paralela a la dirección de análisis).

h_{pi}= 3,85m altura del piso (nivel considerado, de entrepiso a entrepiso).

Por lo tanto:

Para muros estructurales con longitudes paralelas al eje x:

$$k_x = \frac{0{,}20^3 \cdot 4{,}05}{3{,}85} = 0{,}00846m, k_y = \frac{4{,}05^3 \cdot 0{,}20}{3{,}85} = 3{,}45m \tag{130}$$

Para muros estructurales con longitudes paralelas al eje y:

$$k_x = \frac{4{,}05^3 \cdot 0{,}20}{3{,}85} = 3{,}45m, k_y = \frac{0{,}20^3 \cdot 4{,}05}{3{,}85} = 0{,}00846m \tag{131}$$

Las coordenadas x y y, del centro de rigidez lateral con respecto al origen 0, deben ser:

$$\bar{x} = \frac{\sum(k_y x_i)}{\sum k_y}, \bar{y} = \frac{\sum(k_x y_i)}{\sum k_x} \tag{132}$$

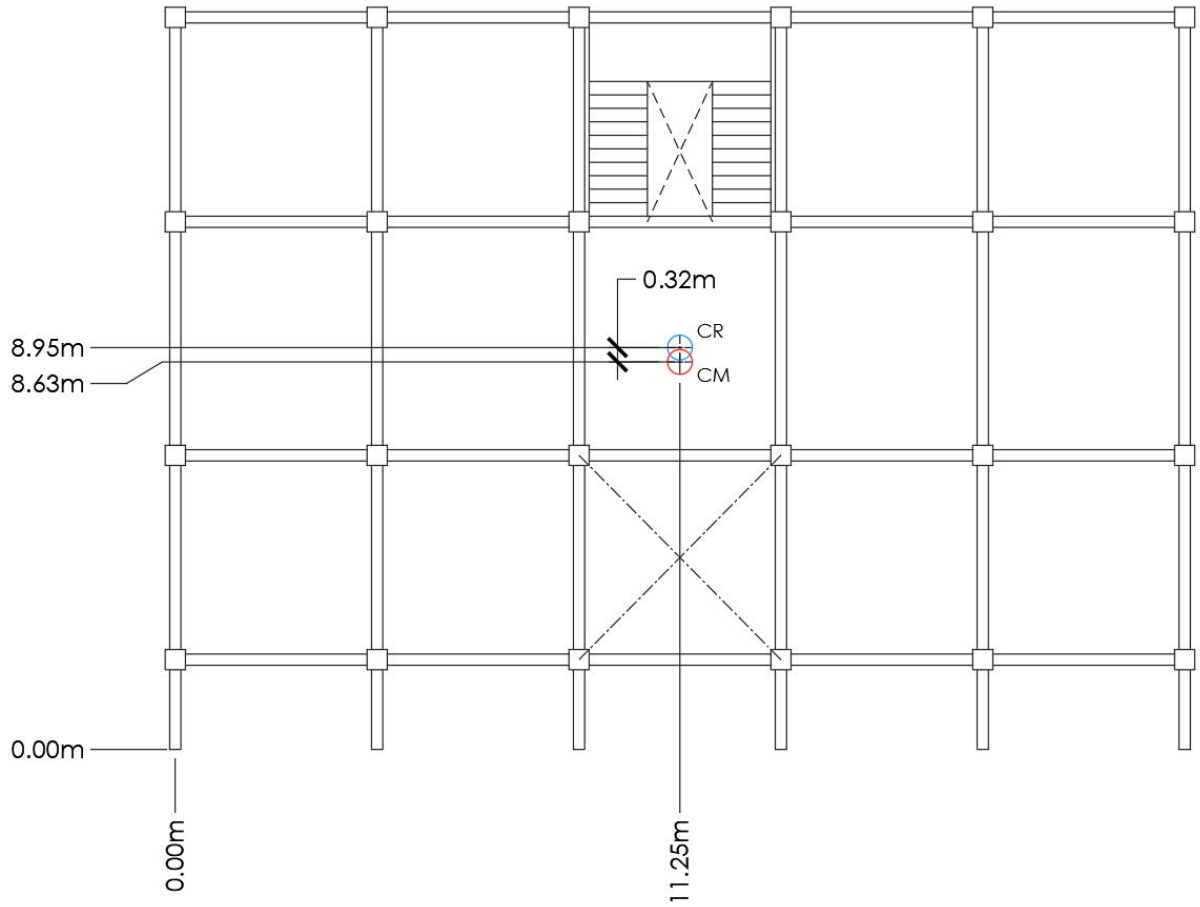
Donde xi es la distancia desde el origen 0 hasta el centroide de la sección transversal del muro medida en la dirección paralela a x , y yi es la distancia desde el origen 0 hasta el

centroide de la sección transversal del muro medida en la dirección paralela a y.

$$\bar{x} = 11{,}25m, \bar{y} = 8{,}95m \tag{133}$$

Figura 76

Centro de rigidez y masa, nivel 0+15,40 m y niveles inferiores



Una vez obtenidas las ubicaciones del centro de masa y del centro de rigidez lateral para cada nivel, el siguiente paso consiste en calcular las fuerzas horizontales que actuarán sobre la estructura, ya sean de origen sísmico o por viento. Estas fuerzas se aplicarán posteriormente en el análisis estructural, considerando las posibles excentricidades entre los centros calculados, con el fin de evaluar efectos torsionales y verificar el cumplimiento de los criterios normativos de estabilidad y seguridad.

3.10 Cálculo de Acciones Horizontales: Carga Sísmica, Carga de Viento y Momento de Vuelco

En esta sección se presenta la metodología empleada para la estimación de las acciones horizontales más relevantes: la carga sísmica, la carga de viento y el momento de vuelco, con el fin de incorporarlas adecuadamente en el análisis y diseño estructural, especialmente en el dimensionamiento para el diseño de las cimentaciones.

Las metodologías empleadas en esta fase responderán a criterios normativos, asegurando que la estructura cumpla con los requisitos de seguridad, estabilidad y funcionalidad frente a acciones dinámicas y de carga lateral.

3.10.1 Cálculo de Carga Sísmica

En esta etapa se determina la carga sísmica que debe resistir la edificación, de acuerdo con las exigencias de la norma ACI314 RS-11 y del CSCR. Este cálculo se realiza manualmente utilizando el método estático equivalente, el cual consiste en estimar el cortante sísmico basal a partir del peso sísmico total de la estructura, considerando la zonificación sísmica, el tipo de suelo, el uso de la edificación y su regularidad estructural. Posteriormente, este cortante basal se distribuye por niveles en función de la masa y altura relativa, asignando la carga horizontal correspondiente a cada entrepiso. Esta información es fundamental para la evaluación del comportamiento estructural y servirá como base para el análisis de derivas.

- Cálculo de cortante sísmico basal (V):

$$V = C_s \cdot Wi \tag{134}$$

- Cálculo fuerza sísmica horizontal (Fi):

$$F_i = V \cdot \frac{W_{i \cdot h_i}}{\sum W_{i \cdot h_i}} \tag{135}$$

Tabla 88

Tabla de fuerzas horizontales sísmicas por nivel

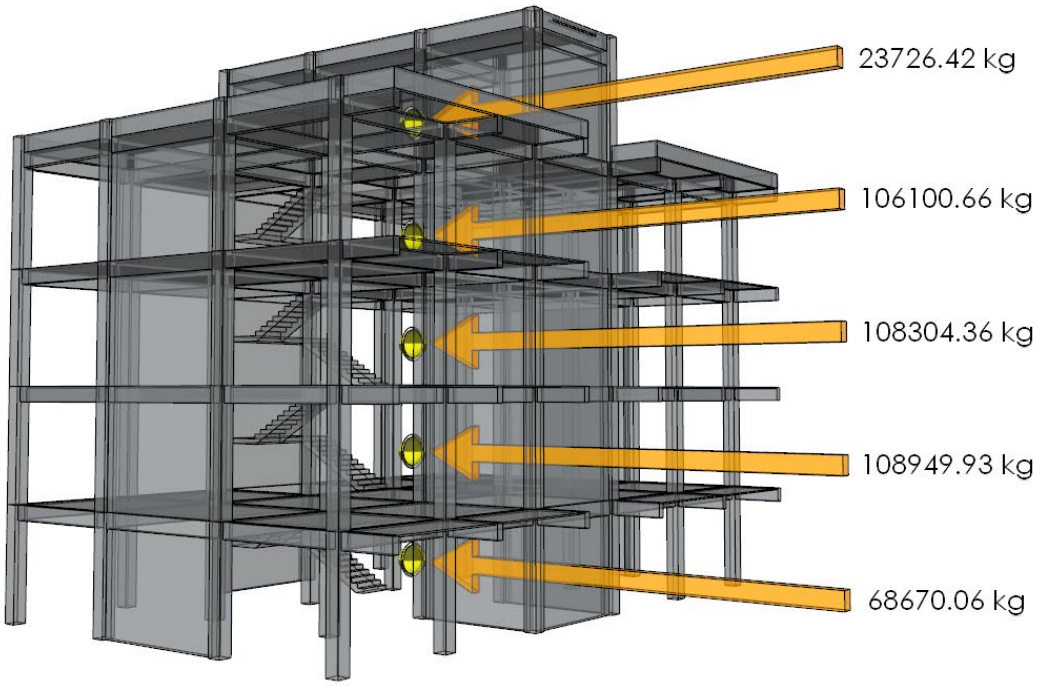
Distibución sísmica por nivel						
Nivel	**Peso de nivel [Wi] (kg)**	**Coeficiente sísmico [Cs]**	**Cortantev[V] basal (kg)**	**Altura [hi] de nivel (m)**	**Momento sísmico [Wi x hi]**	**Fuerza sísmica [Fi] (kg)**
Nivel 0+3.85m	1436375.04	0.105	425751.43	3.85	5530043.90	68670.06
Nivel 0+7.70m	1139455.56			7.70	8773807.81	108949.93
Nivel 0+11.55m	824859.37			11.55	9527125.72	118304.36
Nivel 0+15.40m	554828.22			15.40	8544354.59	106100.66
Nivel 0+19.25m	99257.34			19.25	1910703.80	23726.42
	$\sum Wi =$ 4054775.53				$\sum Wh =$ 34286035.82	

Con la obtención de las fuerzas sísmicas por nivel, distribuidas según los pesos sísmicos y alturas relativas de cada piso, se concluye esta primera parte del cálculo de acciones horizontales. Esta información representa una base esencial dentro del análisis estructural, ya que permite dimensionar y verificar el desempeño del sistema ante solicitaciones sísmicas.

No obstante, el análisis de cargas horizontales continúa con la evaluación de otras acciones relevantes como las cargas de viento, así como el cálculo del momento de vuelco total. Ambos parámetros son necesarios para definir el comportamiento completo de la estructura y serán abordados en las secciones siguientes.

Figura 77

Resumen de fuerzas sísmicas horizontales



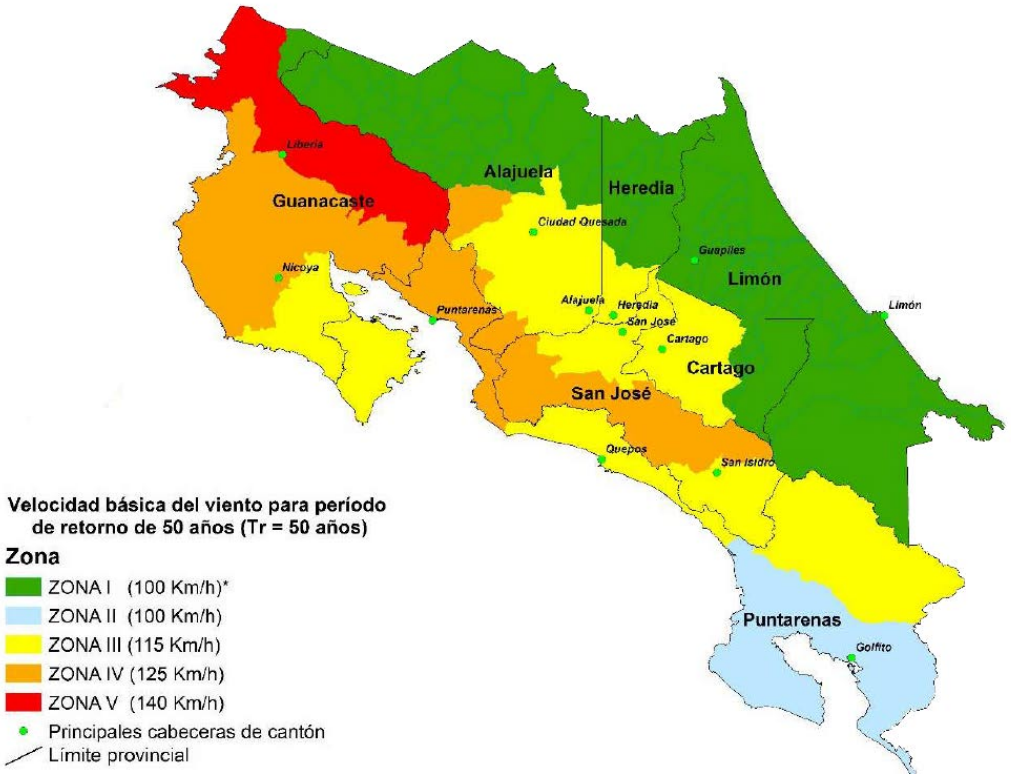
3.10.2 Cálculo de Carga por Viento.

En esta sección se desarrolla el procedimiento para la determinación de las cargas horizontales generadas por la acción del viento, de acuerdo con los Lineamientos para el diseño por viento de edificaciones en Costa Rica (CFIA, 2010). Esta normativa establece los criterios técnicos necesarios para estimar la presión dinámica ejercida por el viento sobre las superficies estructurales, tomando en cuenta variables como la altura de la edificación, la topografía del terreno, la categoría de exposición y la zona geográfica.

- Cálculo de la velocidad básica del viento (V_b)

Figura 78

Zonificación eólica de Costa Rica



Nota: CFIA, 2025.

$$V_b = 115 km/h \tag{136}$$

- Cálculo de la presión básica del viento (q_b):

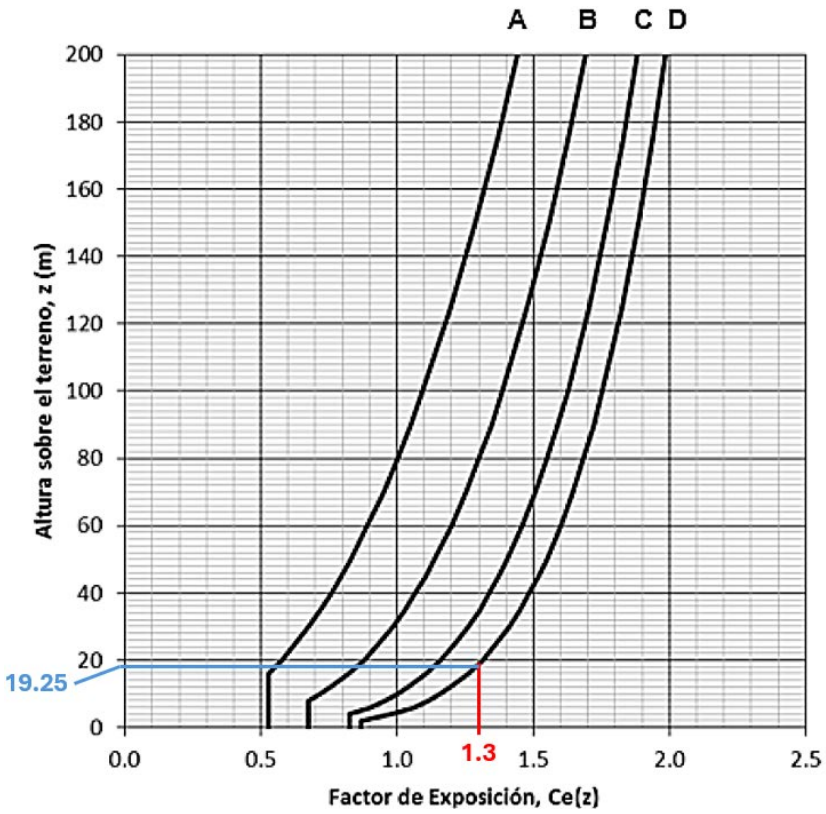
$$q_b = 0{,}005 \cdot V_b^2 [kg/m^2] \tag{137}$$

$$q_b = (0{,}005 \cdot 115^2) = 66{,}13 kg/m^2 \tag{138}$$

- Cálculo de coeficiente de exposición del sitio ($C_e(z)$):

Figura 79

Gráfica de coeficiente de exposición



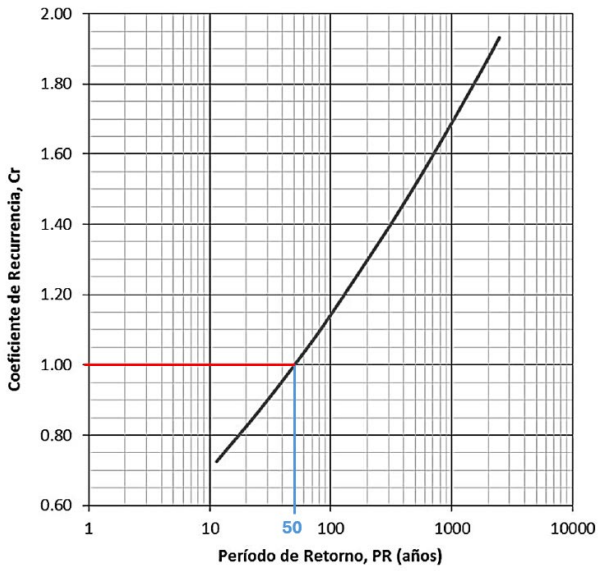
Nota: CFIA, 2025.

$$C_e(z) = 1{,}3 \tag{139}$$

- Cálculo de coeficiente de recurrencia (C_r):

Figura 80

Gráfica de coeficiente de recurrencia



Nota: CFIA, 2025.

$$C_r = 1{,}00 \tag{140}$$

- Cálculo de coeficiente topográfico (C_t):

Tabla 89

Tabla de coeficientes topográficos

Topografía	C1 / (H/Lh) Exposición			γ	μ	
	B	C	D		Barlovento	*Sotavento*
Sierra (2-D)	1.30	1.45	1.55	3	1.5	1.5
Escarpe (2-D)	0.75	0.85	0.95	2.5	1.5	4
Cerro (3-D)	0.95	1.05	1.15	4	1.5	1.5

Nota: CFIA, 2025.

Si las condiciones de la ubicación de la edificación no se ajustan a lo descrito en la tabla, al ser el proyecto ubicado en una topografía considerada como planicie, entonces $C_t = 1{,}0$.

- Cálculo de coeficiente de direccionalidad (C_d):

Tabla 90
Tabla de coeficientes de direccionalidad

Tipo de edificación	**Factor de direccionalidad, C_d**
Edificaciones	
Sistema Principal Resistente a Fuerza de Viento	0.85
Componentes y *Revestimiento*	0.85

Nota: CFIA, 2025.

- Presión de viento total

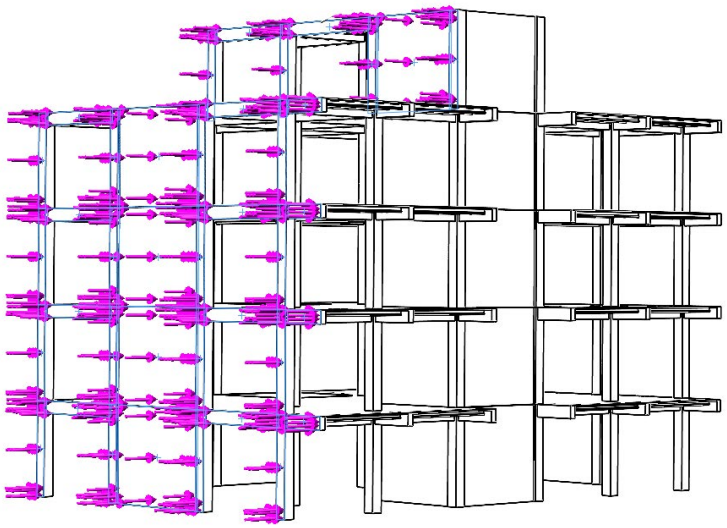
La presión de viento evaluada a la altura 0+19.25m sobre el terreno, será calculada con la siguiente expresión:

$$q(z) = q_b \cdot C_e(z) \cdot C_r \cdot C_t \cdot C_d \tag{141}$$

$$q_{19{,}25m} = (66{,}13 \cdot 1{,}3 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}85) = 73{,}08 kg/m^2 \tag{142}$$

Figura 81

Fuerzas laterales de viento aplicadas a la estructura



Con el objetivo de complementar el análisis de cargas horizontales actuantes sobre la edificación, y en concordancia con el cumplimiento de la norma ACI314 RS-11 aplicable al diseño estructural, a continuación se desarrollará el procedimiento para la estimación de la carga de viento según lo establecido en esta norma. Esta normativa ofrece un enfoque simplificado para la determinación de presiones de viento sobre edificaciones de baja a mediana altura, que permite una evaluación preliminar de los efectos del viento en el comportamiento estructural, especialmente útil durante las etapas de diseño.

La aplicación de este método no busca reemplazar procedimientos más detallados como los establecidos en Lineamientos para el diseño por viento de edificaciones en Costa Rica (CFIA, 2010), sino más bien actuar como un complemento técnico para comparar resultados, verificar coherencia entre criterios normativos y validar el dimensionamiento estructural bajo diferentes enfoques aceptados internacionalmente.

El desarrollo del cálculo se presentará conforme a los lineamientos y expresiones matemáticas recomendadas por la ACI314 RS-11.

- Cálculo de la presión del viento q_h. (ACI314 RS-11)

$$q_h = \frac{1}{1630} V^2 (\frac{h_r}{10})^{\frac{2}{7}} \tag{143}$$

Donde:

V= velocidad básica del viento (m/s) 115km/h = 31.95m/s.

h_r= altura desde el terreno = 19.25m.

$$q_h = [\frac{1}{1630} 31{,}95^2 (\frac{19{,}25}{10})^{\frac{2}{7}}] = 77{,}50 kg/m^2 \tag{144}$$

Utilizando la metodología de la norma ACI314 RS-11 se obtiene una presión de viento total mayor por 4.42kg/m² comparada a la metodología indicada por el CFIA.

- Cálculo total de las fuerzas por viento en la estructura F_{su}.

La fuerza estática equivalente a nivel de resistencia del viento que actúa en la dirección normal a la superficie expuesta al viento se debe calcular usando:

$$F_{su} = q_h \cdot A_{su} \cdot C_{su} \tag{145}$$

Donde:

A_{su} es el área de la superficie expuesta al viento.

C_{su} corresponde al valor dado en 4.10.3.1.

Un valor positivo de F_{su} indica que la fuerza actúa hacia la superficie, mientras que un valor negativo indica que la fuerza se aleja de la superficie (succión).

Figura 82

Dirección de los vientos a barlovento y sotavento

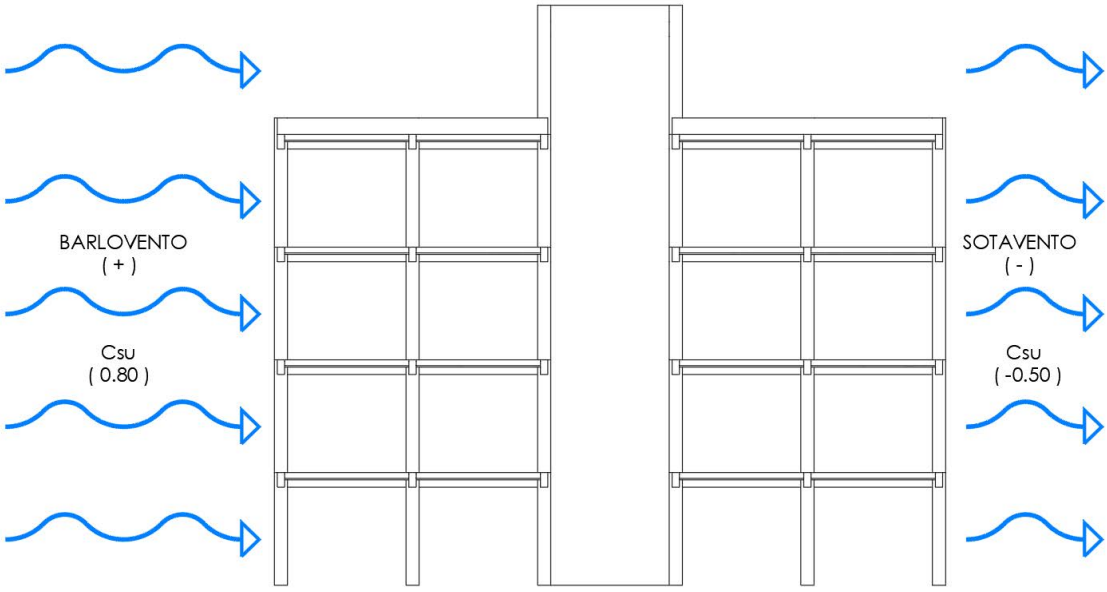


Tabla 91

Coeficientes de presión para la estructura como una unidad

Tipo de superficie	C_{su} Edificación completa	C_{su} Barlovento	C_{su} Sotavento
Superficies verticales			
Edificaciones prismáticas rectangulares	1.30	0.80	-0.50
Superficies parcialmente abiertas (C_{su} aplica sobre el área total)			
10 por ciento a 80 por ciento de aberturas	1.30	0.80	-0.50
>80 por ciento de aberturas	0.35	0.25	-0.10
Superficies horizontales del techo			
Edificaciones cerradas		-1.30	-0.70
Edificaciones con uno o dos lados abiertos		-1.50	-1.25
(C_{su} aplica sobre 1/3 del área del techo para barlovento)			
(C_{su} aplica sobre 2/3 del área del techo para sotavento)			
Superficies inclinadas del techo			
Ángulo del techo medido con respecto a la horizontal			
10		-1.30	-0.70
15		-1.00	-0.60
20		-0.70	-0.60
25		-0.50	-0.60
30		-0.30	-0.60
35		-0.20	-0.60
45		0.30	-0.60
Q>60		0.01Q	-0.60

Nota. Tabla 4.10.3.1., ACI 314RS-11, 2025.

- Cálculo de presión a barlovento:

$$F_{barlovento} = (77{,}50 \cdot 328{,}79 \cdot 0{,}8) = 20384{,}98kg \tag{146}$$

- Cálculo de presión a sotavento:

$$F_{sotavento} = (77{,}50 \cdot 328{,}79 \cdot -0{,}50) = -12740{,}61kg \tag{147}$$

3.10.3 Cálculo de Momento de Vuelco

El momento de vuelco causado por viento y sismo se debe determinar independientemente para las dos direcciones principales en planta.

El momento de vuelco en el nivel x para cada tipo de fuerza lateral corresponde a la suma de los momentos causados por las fuerzas laterales aplicadas a ese nivel, desde el nivel x hasta el nivel superior, según la ecuación:

$$M_x = \sum_{i=x}^{n} \left[F_i \left(h_i - h_x\right)\right] \tag{148}$$

- Cálculo de momento de vuelco total en la base M_0:

Tabla 92
Tabla de datos para cálculo de M_0

Momento de vuelco total en la base			
Nivel	**hi (m)**	**Fi(kg)**	$Fi \cdot hi$ $(kg \cdot m)$
1	3.85	76,314.42	293,410.32
2	7.7	116,594.29	897,778.03
3	11.55	115,948.72	1,340,222.91
4	15.4	113,745.02	1,752,667.31
5	19.25	31,370.78	604,159.52
		$\sum Mi =$	4,888,238.09

- Cálculo de momento resistente aportado por los muros $M1_{resistente}$:

$$M1_{resistente} = R_i \cdot d_i \tag{149}$$

Donde:

R_i capacidad axial (tracción o compresión) del muro i.

d_i distancia entre el centro de masa (CM) y el centro del muro i proyectado sobre el eje de análisis (X o Y).

- Cálculo de fuerza axial V_r:

$$V_r = 0{,}85f^{'}c \cdot A_c + (\rho \cdot A_c \cdot f_y) \tag{150}$$

Donde:

A_c (área de la sección del muro).

- Cálculo de momento resistente M_r:

$$M_r = V_r \cdot d \tag{151}$$

Tabla 93

Tabla de datos para cálculo de resistencia a momento de los muros

Muro	Largo (m)	Espesor (m)	Área Ac (m²)	Resistencia axial Vr (kg)	Brazo de momento di (m)	Momento resistente Mri (kg - m)
M1	4.75	0.2	0.95	409,000	11.25	4,601,250
M2	4.1	0.2	0.82	353,000	2.25	794,250
M5	4.1	0.2	0.82	353,000	2.25	794,250
M6	4.75	0.2	0.95	409,000	11.25	4,601,250
					$\sum Mr$	**10,791,000**

- Cálculo de momento resistente aportado por columnas $M2_{resistente}$:

- Resistencia vertical por columna:

$$V_r = 0{,}85f^{'}c \cdot A_c + (\rho \cdot A_c \cdot f_y) \tag{152}$$

$$V_r = [0{,}85 \cdot 2{,}10 \cdot 2025 + (0{,}01 \cdot 2025 \cdot 4200)] = 446288kg \tag{153}$$

- Cálculo de brazo de momento d:

Se calculan las columnas más extremas (2 por marco, es decir, $2 \cdot 4 = 8$ columnas) como las que más aportan al momento resistente, ya que tienen el mayor brazo de momento.

Distancia desde el centro de masa a la columna extrema:

$$d = 2{,}5 \cdot (4{,}50m) = 11{,}25m \tag{154}$$

Tabla 94

Tabla de datos para cálculo de resistencia a momento de los pórticos

Elemento	Cantidad	Área Ac (m²)	Resistencia axial Vr (kg)	Brazo d (m)	Momento resistente Mri (kg - m)	Total aporte (kg · m)
Columnas extremas	8	0.2025	446,288	11.25	5,020,740	**40,165,920**

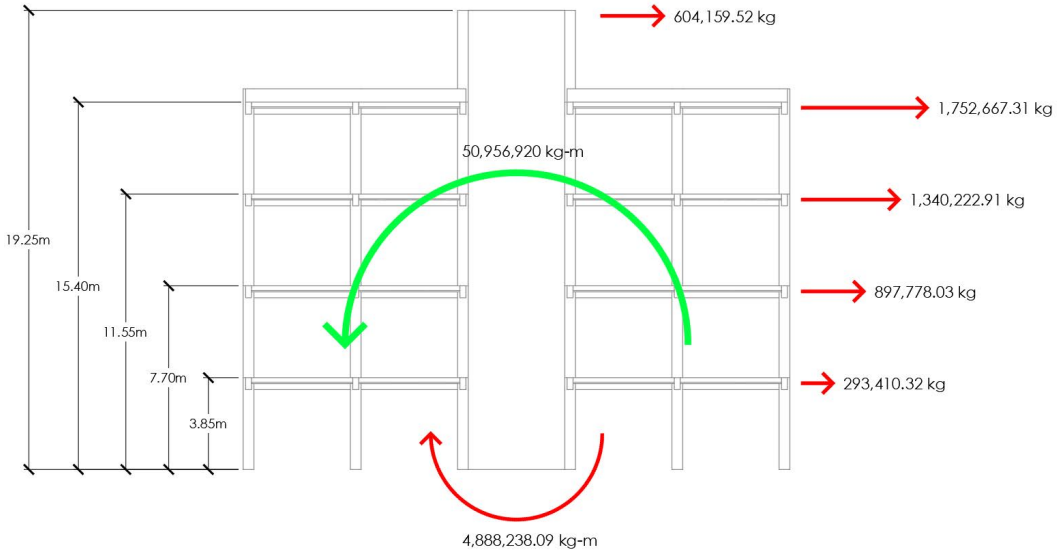
Tabla 95

Tabla de momento resistente total del sistema

Aporte	Momento resistente (kg · m)
Muros estructurales	10,791,000
Columnas (marcos rígidos)	40,165,920
Total sistema	**50,956,920 kg · m**

Figura 83

Diagrama de momentos de vuelco y fuerzas



Una vez completado el análisis y la cuantificación de las acciones horizontales que actúan sobre la estructura, incluyendo las cargas sísmicas, las presiones de viento y los efectos de momento de vuelco, se da por finalizada esta etapa con el objetivo de contar con la información necesaria y completa antes de proceder al diseño de las cimentaciones.

Este orden metodológico es esencial, ya que el diseño de cimentaciones debe contemplar no solo las cargas verticales transmitidas por los elementos estructurales, sino también los efectos de vuelco generados por las fuerzas laterales inducidas por el sismo y el viento.

A continuación, se describe el procedimiento seguido para el cálculo y dimensionamiento de las cimentaciones, basándose en los datos geotécnicos del sitio y en las cargas combinadas por columna calculadas en los apartados anteriores.

3.11 Cálculo y Diseño de Cimentaciones

Una vez completado el análisis estructural vertical y horizontal, incluyendo la determinación de cargas gravitacionales, acciones sísmicas, efectos del viento y cálculo de momentos de vuelco, se da inicio a la etapa de diseño de cimentaciones. Esta etapa es fundamental, ya que constituye el vínculo directo entre la superestructura y las condiciones reales del terreno, sobre el cual descansará toda la edificación.

Para este propósito, se toma como base el estudio de suelos realizado en el sitio del proyecto, específicamente en la zona de La Garita de Alajuela, con ensayos de penetración estándar (SPT) hasta una profundidad de 2.25 metros. Los resultados obtenidos revelan valores progresivos de resistencia a la penetración (Nspt), con incrementos significativos en profundidad, alcanzando valores de 50 y 51 golpes, lo cual indica un estrato denso y competente para soportar cargas estructurales considerables.

El tipo de suelo clasificado en ambos puntos de perforación corresponde a suelos de buena capacidad portante, con un peso unitario promedio de 1.7 t/m^3, y parámetros de capacidad admisible (Q_{ad}), cohesión (C), y ángulo de fricción interna (ϕ) que serán considerados para el dimensionamiento de la cimentación.

El diseño se realizará conforme a los lineamientos establecidos por la norma ACI 314RS-11, considerando las cargas verticales totales, así como los efectos de cargas horizontales (sismo y viento) y el momento de vuelco, con el fin de garantizar la estabilidad global de la edificación de cinco niveles.

Figura 84

Resumen de resultados de ensayo de penetración

Anexo 2. Resultados ensayos de penetración

ENSAYO SPT (P-1)

Estudio de suelos para edificación de 5 niveles

Labcore Laboratorio de materiales

FECHA	04-09-21	*RESPONSABLE*	ANDREY RIVERA
UBICACIÓN	LA GARITA DE ALAJUELA	*PROFUNDIDAD (m)*	2,25m
NIVEL DE PERF.	NIVEL ACTUAL	*SISTEMA DE PERFORACIÓ*	PERCUCIÓN SPT
OBSERVACIONES:	N.F.=45cm	PESO UNITARIO DEL SUELO	1.7 t/m3

INT. (m)		Prof. Prom.	TIPO	Nspt (0 20 40)	Nspt	Qad t/m2	C t/m2	Qu t/m2	Φ	OBSERVACIONES / CLASIFICACIÓN SUCS
0.00	0.45	0.23	SPT		0	AUGGER				
0.45	0.90	0.68	SPT		6	6.0	4.0	18.0	29	
0.90	1.35	1.13	SPT		6	6.0	4.0	18.0	29	
1.35	1.80	1.58	SPT		30	30.0	20.1	90.0	36	
1.80	2.25	2.03	SPT		50	50.0	33.5	150.0	41	
REBOTE					REBOTE					

ENSAYO SPT (P-2)

Estudio de suelos para edificación de 5 niveles

Labcore Laboratorio de materiales

FECHA	04-09-21	*RESPONSABLE*	ANDREY RIVERA
UBICACIÓN	LA GARITA DE ALAJUELA	*PROFUNDIDAD (m)*	2,25m
NIVEL DE PERF.	NIVEL ACTUAL	*SISTEMA DE PERFORACIÓ*	PERCUCIÓN SPT
OBSERVACIONES:	N.F.=45cm	PESO UNITARIO DEL SUELO	1.7 t/m3

INT. (m)		Prof. Prom.	TIPO	Nspt (0 20 40)	Nspt	Qad t/m2	C t/m2	Qu t/m2	Φ	OBSERVACIONES / CLASIFICACIÓN SUCS
0.00	0.45	0.23	SPT		0	AUGGER				
0.45	0.90	0.68	SPT		7	7.0	4.7	21.0	29	
0.90	1.35	1.13	SPT		8	8.0	5.4	24.0	29	
1.35	1.80	1.58	SPT		46	46.0	30.8	138.0	40	
1.80	2.25	2.03	SPT		51	51.0	34.2	153.0	41	
REBOTE					REBOTE					

Nota. LabCore, 2021.

3.11.1 Capacidad Portante Admisible del Suelo

La capacidad portante admisible q_a , en kN/m^2 para suelos granulares, se debe estimar como el producto del número de golpes N , medido por medio del SPT, empleando la relación descrita por la ecuación:

$$q_a = 11N \tag{155}$$

$$q_a = 11N = 561kN/m^2 \tag{156}$$

Este resultado de capacidad portante es aproximado al mostrado por el estudio de suelos realizado.

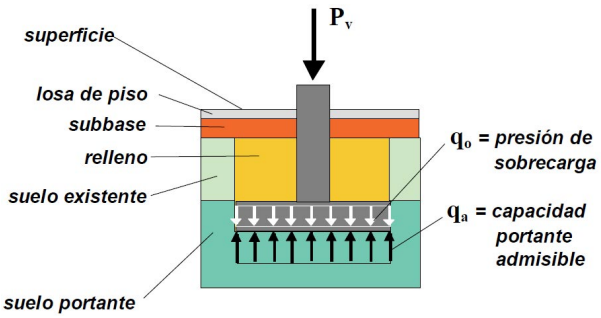
$$561kN/m^2 = 57{,}20ton/m^2 \approx 51{,}00ton/m^2\,(estudio\,de\,suelos) \tag{157}$$

3.11.2 Definición de la Carga y el Área de Cimentación

Para el diseño de placas aisladas se debe incluir la carga del peso del suelo de relleno localizado sobre la placa, y todas las cargas muertas y vivas aplicadas sobre él, más el peso propio de la placa. La suma de los esfuerzos sobre el suelo portante se conoce como presión de sobrecarga (qo).

Figura 85

Fuerzas que actúan sobre la placa



Nota. ACI 314RS-11, 2025.

- Área mínima de la placa aislada:

El área mínima de la placa A_f se debe calcular con la carga vertical no mayorada máxima P_{ov} , que incluya efectos de vuelco por fuerzas laterales (viento y sismo).

La carga axial adicional inducida por el vuelco en una columna es:

$$\Delta N = \frac{M_v}{\sum e^2} \cdot e_i \tag{158}$$

Donde:

ΔN es la carga adicional en esa columna por efecto del momento de vuelco.

M_v momento de vuelco.

e_i es la distancia desde el centro de masa hasta la columna i.

$\sum e^2$ es la suma de los cuadrados de todas las distancias de las columnas que participan en el sistema resistente.

Figura 86

Distancia de columnas al centro de masa respecto al eje

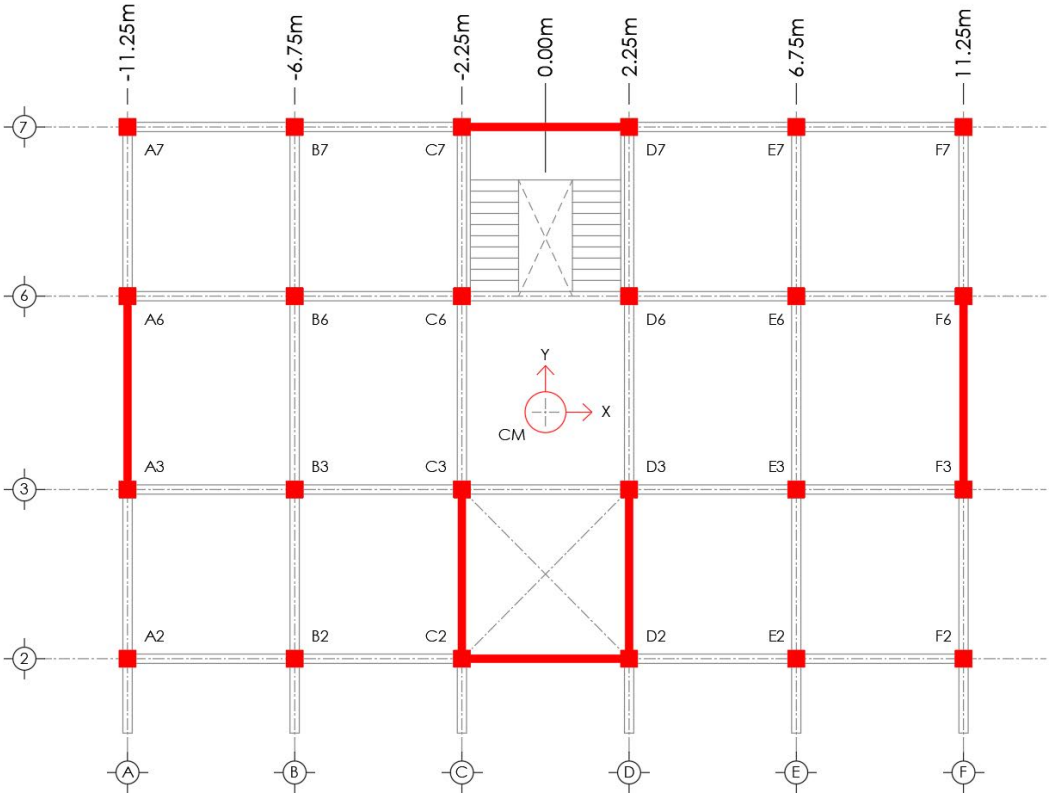


Tabla 96

Distancia de columnas y muros de carga al centro de masa respecto al eje para cálculo de suma de cuadrados y carga vertical no mayorada máxima incluyendo efectos de vuelco por carga lateral

Columna	**ei**	ei^2	ΔN	**Pv (kg)**		**Pv total**	**Pov**
	(m)	(m^2)	**(kg)**	**C.M.**	**C.V.**	$C.M. + C.V.$**(kg)**	$(Pv) + (\Delta N)$
A2	-11.25	126.56	-32719.13	36214.53	7496.00	43710.53	10991.40
A3	-11.25	126.56	-32719.13	39172.96	6720.08	45893.04	13173.91
A6	-11.25	126.56	-32719.13	39557.62	6876.26	46433.88	13714.75
A7	-11.25	126.56	-32719.13	24170.82	4096.00	28266.82	-4452.31
B2	-6.75	45.56	-19631.48	53505.29	15392	68897.29	49265.81
B3	-6.75	45.56	-19631.48	55118.71	17552	72670.71	53039.23
B6	-6.75	45.56	-19631.48	58672.01	17552	76224.01	56592.53
B7	-6.75	45.56	-19631.48	37728.25	8192	45920.25	26288.77
C2	-2.25	5.06	-6543.83	67755.16	7739.08	75494.24	68950.41
C3	-2.25	5.06	-6543.83	67374.06	14669.08	82043.14	75499.31
C6	-2.25	5.06	-6543.83	87708.52	15650	103358.52	96814.69
C7	-2.25	5.06	-6543.83	45855.84	7346.37	53202.21	46658.38
D2	2.25	5.06	6543.83	67755.16	7739.08	75494.24	82038.07
D3	2.25	5.06	6543.83	67374.06	14669.08	82043.14	88586.97
D6	2.25	5.06	6543.83	87708.52	15650	103358.52	109902.35
D7	2.25	5.06	6543.83	45855.84	7346.37	53202.21	59746.04
E2	6.75	45.56	19631.48	53505.29	15392	68897.29	88528.77
E3	6.75	45.56	19631.48	55118.71	17552	72670.71	92302.19
E6	6.75	45.56	19631.48	58672.01	17552	76224.01	95855.49
E7	6.75	45.56	19631.48	37728.25	8192	45920.25	65551.73
F2	11.25	126.56	32719.13	36214.53	7496.00	43710.53	76429.66
F3	11.25	126.56	32719.13	39172.96	6720.08	45893.04	78612.17
F6	11.25	126.56	32719.13	39557.62	6876.26	46433.88	79153.01
F7	11.25	126.56	32719.13	24170.82	4096.00	28266.82	60985.95
M1	-11.25	126.56	-32719.13	30992.56	3584.14	34576.70	1857.57
M2	-2.25	5.06	-6543.83	29602.74	3924.96	33527.70	26983.87
M3	0	0.00	0.00	20978.71	0.00	20978.71	20978.71
M4	0	0.00	0.00	26990.11	3933.90	30924.01	30924.01
M5	2.25	5.06	6543.83	29602.74	3924.96	33527.70	40071.53
M6	11.25	126.56	32719.13	30992.56	3584.14	34576.70	67295.83

$\sum ei^2 =$	1680.75

Luego de determinar el momento de vuelco total (Mv = 4,888,238.09 $kg \cdot m$) generado por las cargas horizontales de viento y sismo, y tras calcular la suma de los cuadrados de las distancias ($\sum ei^2$) de las columnas participantes en el sistema estructural resistente respecto al eje de vuelco, se procede a evaluar el efecto de este momento sobre las cargas axiales verticales.

En esta etapa, se identifican las columnas con mayor carga axial en dirección Y, ya que

estas serán críticas para evaluar la carga vertical máxima no mayorada (Pov) que incorpora los efectos de vuelco.

Con el mayor valor de P_{ov} por eje, se procederá a calcular el área mínima requerida (Af) para la cimentación tipo placa aislada, de acuerdo con las especificaciones de la norma ACI 314R-11, asegurando que la presión transmitida al terreno no exceda la capacidad admisible del suelo determinada previamente en el estudio geotécnico.

- Cálculo de carga adicional en columna D6:

$$\Delta N_{D6} = \frac{4,888,238{,}09kg \cdot m}{1680{,}75m^2} \cdot 2{,}25m = 6543{,}83kg \tag{159}$$

- Cálculo de carga adicional en columna E6:

$$\Delta N_{E6} = \frac{4,888,238{,}09kg \cdot m}{1680{,}75m^2} \cdot 6{,}75m = 19631{,}48kg \tag{160}$$

- Cálculo de carga adicional en columna F6:

$$\Delta N_{F6} = \frac{4,888,238{,}09kg \cdot m}{1680{,}75m^2} \cdot 11{,}25m = 32719{,}13kg \tag{161}$$

Estos valores de cargas adicionales ocasionadas por los efectos de vuelco se suman a la carga axial existente de las columnas, para así obtener el valor de la carga vertical no mayorada máxima (P_{ov}), que incluye efectos de vuelco por fuerzas laterales (viento y sismo).

De esta manera, el área mínima de la placa A_f se obtiene:

$$A_f = \frac{P_{ov}}{(1{,}33 \cdot q_a - q_o)} \tag{162}$$

Donde:

A_f: área de contacto de la zapata con el terreno, en m².

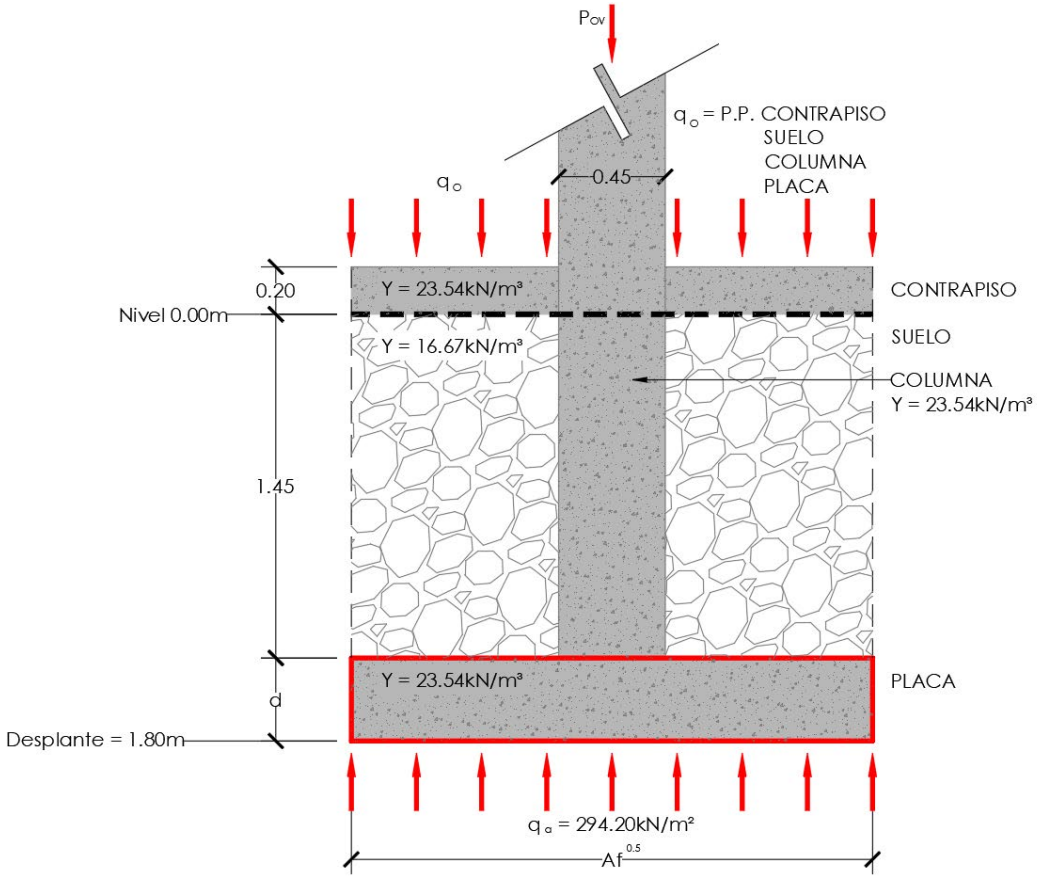
P_{ov}: carga vertical máxima aplicada a la zapata incluyendo los efectos de vuelco por viento y sismo, en kN.

q_a: capacidad portante admisible no mayorada del suelo,en kN/m².

q_o: el peso del suelo de relleno localizado sobre la zapata más el peso propio de la configuración de la zapata, en kN/m².

Figura 87

Esquema de valores para desarrollo de cimentación



- Cálculo de área mínima para placas en columnas de los ejes C y D:

$$A_f\,(ejes\,C\,y\,D) = \frac{6543{,}83kg + 103358{,}52kg}{(1{,}33 \cdot 30000kg/m^2) - 16108{,}14kg/m^2} = 4{,}62m^2 \tag{163}$$

$$\sqrt{4{,}62} = 2{,}15m \approx 2{,}20m\ Lado \tag{164}$$

- Cálculo de área mínima para placas en columnas de los ejes B y E:

$$A_f\,(ejes\,B\,y\,E) = \frac{19631{,}48kg + 76224{,}01kg}{(1{,}33 \cdot 30000kg/m^2) - 11998{,}45kg/m^2} = 3{,}44m^2 \tag{165}$$

$$\sqrt{3{,}44} = 1{,}86m \approx 1{,}90m\ Lado \tag{166}$$

- Cálculo de área mínima para placas en columnas de los ejes A y F:

$$A_f\,(ejes\,A\,y\,F) = \frac{32719{,}13kg + 46433{,}88kg}{(1{,}33 \cdot 30000kg/m^2) - 8980{,}51kg/m^2} = 2{,}55m^2 \tag{167}$$

$$\sqrt{2{,}55} = 1{,}59m \approx 1{,}60m\ Lado \tag{168}$$

Las áreas mínimas requeridas para las zapatas son mayores en las columnas ubicadas en el centro del edificio (C y D) y disminuyen progresivamente hacia los extremos. Este comportamiento es coherente con la distribución estructural de cargas, ya que las columnas centrales tienden a recibir mayores cargas axiales debido a su mayor área tributaria, al estar rodeadas por otros elementos estructurales y ser puntos de confluencia de esfuerzos.

- Cálculo de profundidad mínima de la zapata, requerida para cortante por punzonamiento:

$$d \geq \sqrt{\left(\frac{h_c + b_c}{4}\right)^2 + \frac{P_u}{\phi f'_c}} - \left(\frac{h_c + b_c}{4}\right) \tag{169}$$

Donde:

d: altura efectiva de la sección en cm.

P_u: carga concentrada mayorada aplicada directamente sobre el elemento, en kg/cm².

h_c y b_c: dimensiones de la columna, en cm.

f'_c: resistencia del concreto, en kg/cm².

- Cálculo de profundidad mínima (ejes C y D):

$$\sqrt{\left(\frac{45+45}{4}\right)^2 + \frac{130290{,}224}{0{,}85\sqrt{240}}} - \left(\frac{45+45}{4}\right) = 79{,}48cm \rightarrow d_{C,D} = 0{,}80m \tag{170}$$

- Cálculo de profundidad mínima (ejes B y E):

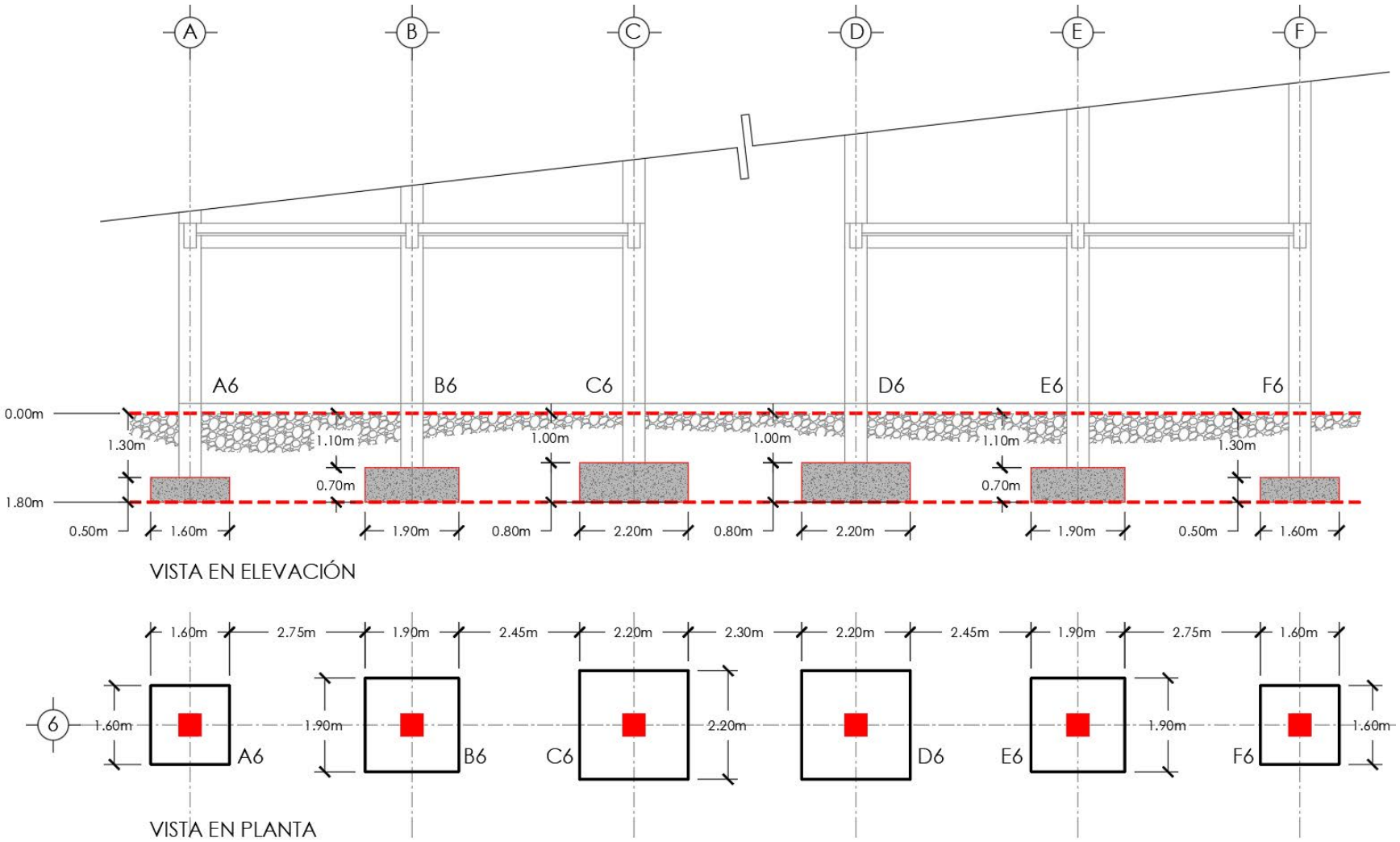
$$\sqrt{\left(\frac{45+45}{4}\right)^2 + \frac{98489{,}612}{0{,}85\sqrt{240}}} - \left(\frac{45+45}{4}\right) = 66{,}86cm \rightarrow d_{B,E} = 0{,}70m \tag{171}$$

- Cálculo de profundidad mínima (ejes A y F):

$$\sqrt{\left(\frac{45+45}{4}\right)^2 + \frac{58471{,}16}{0{,}85\sqrt{240}}} - \left(\frac{45+45}{4}\right) = 47{,}83cm \rightarrow d_{A,F} = 0{,}50m \tag{172}$$

Figura 88

Detalle de dimensión de cimentaciones por eje



- Cálculo de área mínima para muros de carga de los ejes A y F:

$$A_f\,(ejes\ A\ y\ F) = \frac{32719{,}13kg + 34576{,}70kg}{(1{,}33 \cdot 30000kg/m^2) - 20526{,}93kg/m^2} = 7{,}51m^2 \tag{173}$$

$$A_f = 1{,}60m \cdot 4{,}75m = 7{,}60m^2 > 7{,}51m^2 \tag{174}$$

- Cálculo de profundidad mínima en placas de muros (ejes A y F):

$$\sqrt{\left(\frac{20+475}{4}\right)^2 + \frac{75644{,}83}{0{,}85\sqrt{240}}} - \left(\frac{20+475}{4}\right) = 21{,}36cm \rightarrow d_{placa\ muro\ a\ y\ f} = 0{,}30m \tag{175}$$

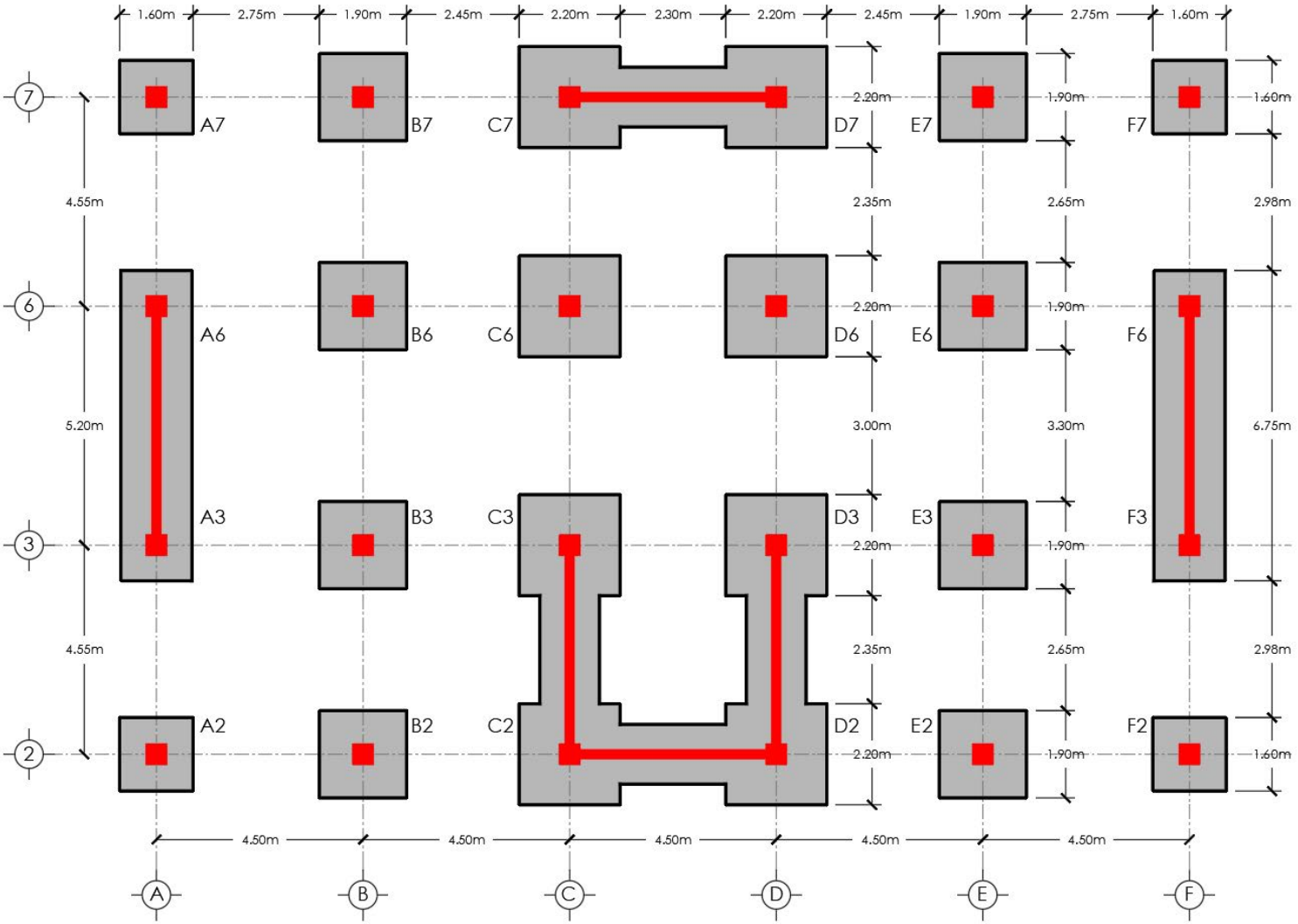
Una vez realizado el cálculo de las dimensiones mínimas requeridas para las placas de cimentación asociadas a los muros de carga ubicados en los ejes A y F, considerados como elementos críticos por soportar los mayores valores de carga axial y momentos de vuelco en la estructura, se procedió a dimensionar dichas placas con base en la fórmula del área mínima requerida (Af) y en la determinación del peralte mediante la consideración de cargas mayoradas (muerta y viva), conforme a los lineamientos del ACI 314R-11.

Dado que las placas diseñadas para estos muros cubren las exigencias de carga más severas, y con el objetivo de optimizar el proceso constructivo y garantizar una solución estructural uniforme, se adopta el criterio técnico de repetir estas dimensiones para el resto de los muros de carga de la edificación, ubicados en los ejes C, D, 2 y 7, los cuales presentan menores demandas de carga axial y momento de vuelco.

Este procedimiento permite estandarizar la ejecución de las fundaciones sin comprometer la seguridad estructural ni la capacidad portante del terreno, ya que las dimensiones adoptadas han sido previamente validadas para condiciones más exigentes.

Figura 89

Planta de distribución estructural de cimentaciones



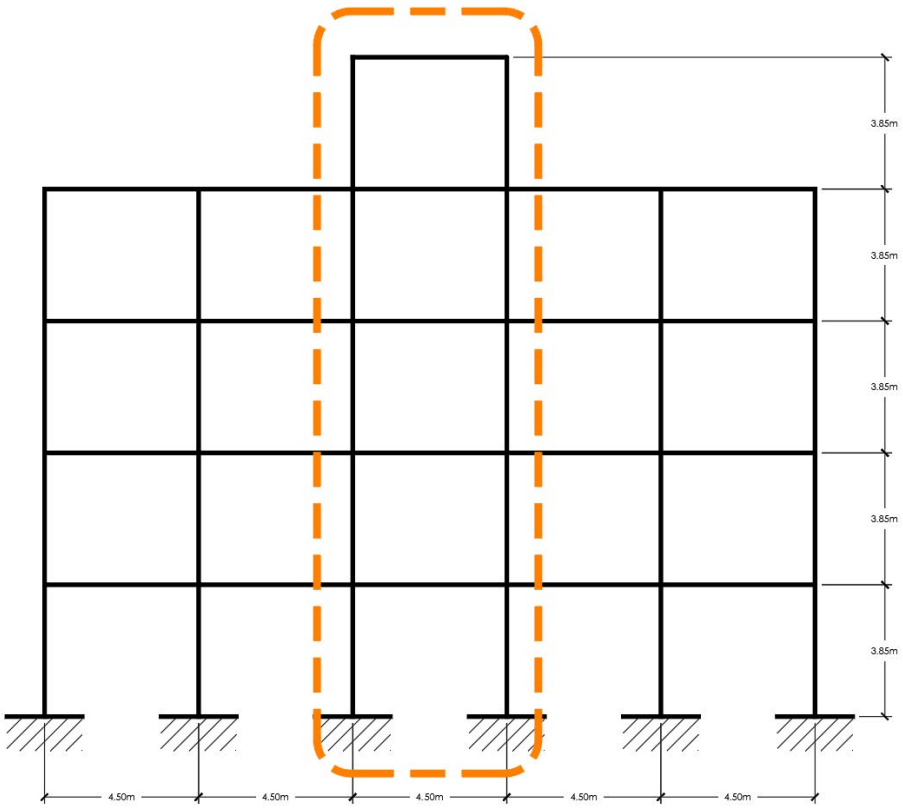
3.12 Análisis del Comportamiento Estructural Mediante Marcos Rígidos Para la Metodología de Diseño Simplificado Utilizando el Principio de Trabajo Virtual

Con el objetivo de evaluar las deformaciones laterales y el desplazamiento horizontal de los pórticos resistentes frente a cargas laterales, se realiza un análisis manual empleando el método de cargas virtuales, fundamentado en el principio del trabajo virtual.

El análisis se lleva a cabo sobre un solo marco representativo en la dirección del eje , considerando que la estructura cuenta con una disposición simétrica y repetitiva de marcos en dirección perpendicular (eje Y). Por tanto, las cargas laterales fueron distribuidas entre los marcos según su cantidad total, y repartidas por niveles, con el fin de reflejar adecuadamente su efecto sobre un solo pórtico.

Figura 90

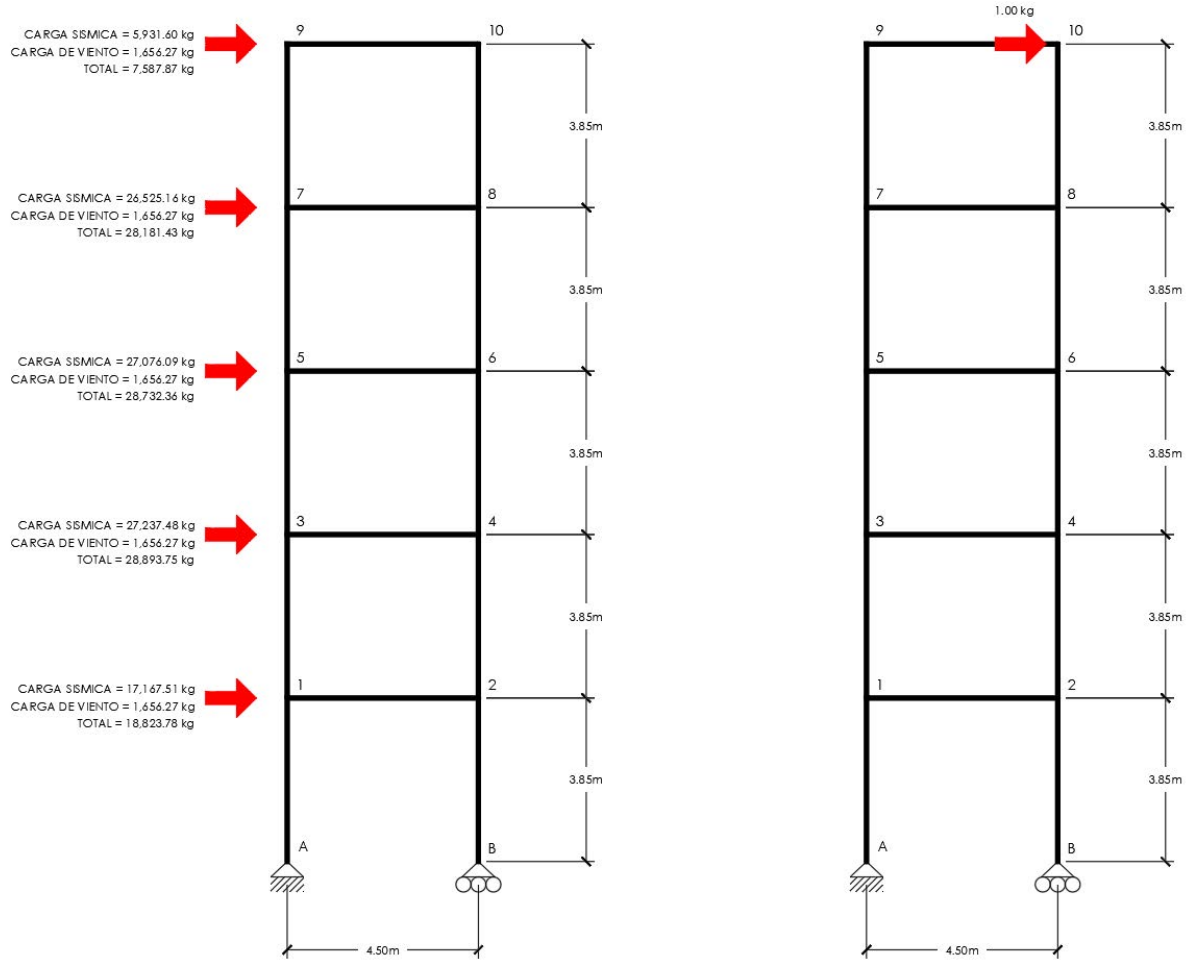
Esquema de marco rígido escogido para análisis de desplazamientos



Para determinar el desplazamiento en el nodo a seleccionar, se desarrollará el análisis con cargas reales, así como con solamente una carga unitaria en el nodo de análisis.

Figura 91

Esquema de cargas reales y carga unitaria en nodo de desplazamiento



3.12.1 Análisis de Fuerzas Reales (N)

- Cálculo de reacciones:

$$\sum M_A = 0 \ \rightarrow (-B_y \cdot 4{,}50) + (18,823{,}78 \cdot 3{,}85) + (28,893{,}75 \cdot 7{,}70) + (28,732{,}36 \cdot 11{,}55) + (28,181{,}43 \cdot 15{,}40) + (7,587{,}87 \cdot 19{,}25) = 0 \tag{176}$$

$$A_y = -268193{,}93kg \ , B_y = 268193{,}93kg \ , A_x = 112,219{,}19kg \tag{177}$$

3.12.2 Análisis de Fuerzas Virtuales (n)

- Cálculo de reacciones:

$$\sum M_A = 0 \ \rightarrow (-B_y \cdot 4{,}50) + (1 \cdot 19{,}25) = 0 \tag{178}$$

$$A_y = -4{,}28kg \ , B_y = 4{,}28kg \ , A_x = -1{,}00kg \tag{179}$$

3.12.3 Resultado de la Deformación Mediante Análisis de Nodos y Trabajo Virtual

Para calcular el desplazamiento del nodo 10 en la estructura sometida a una carga real, en este caso se está usando una carga virtual unitaria (1) para calcular la deformación real.

Tabla 97

Tabla de valores mediante el método de análisis de nodos

Tabla de valores mediante el método de análisis de nodos					
Tramo	**Elemento**	**N (kg)**	**n (kg)**	**L (m)**	**nNL**
A-1	Columna	-268193.93	-4.28	3.85	4419299.58
1-2	Viga	18823.78	0.00	4.50	0.00
B-2	Columna	268193.93	4.28	3.85	4419299.58
1-3	Columna	268193.93	4.28	3.85	4419299.58
3-4	Viga	28893.75	0.00	4.50	0.00
2-4	Columna	-268193.93	-4.28	3.85	4419299.58
3-5	Columna	-268193.93	-4.28	3.85	4419299.58
5-6	Viga	28732.36	0.00	4.50	0.00
6-4	Columna	268193.93	4.28	3.85	4419299.58
5-7	Columna	268193.93	4.28	3.85	4419299.58
7-8	Viga	28181.43	0.00	4.50	0.00
6-8	Columna	-268193.93	-4.28	3.85	4419299.58
7-9	Columna	-268193.93	-4.28	3.85	4419299.58
9-10	Viga	7587.87	1.00	4.50	34145.42
10-8	Columna	268193.93	4.28	3.85	4419299.58

$$1 \cdot \Delta_{nodo} = \sum \frac{n \cdot N \cdot L}{A \cdot E} \tag{180}$$

Donde:

Δ_{nodo}: desplazamiento real del nodo en la dirección donde se aplica la carga virtual. (m)

n: esfuerzo virtual en el elemento, generado por una carga unitaria (1) aplicada en la dirección del desplazamiento a calcular. (kg)

N: esfuerzo real en el elemento, debido a las cargas reales aplicadas. (kg)

L: Longitud del elemento. (m)

A: área de la sección transversal del elemento. (m^2)

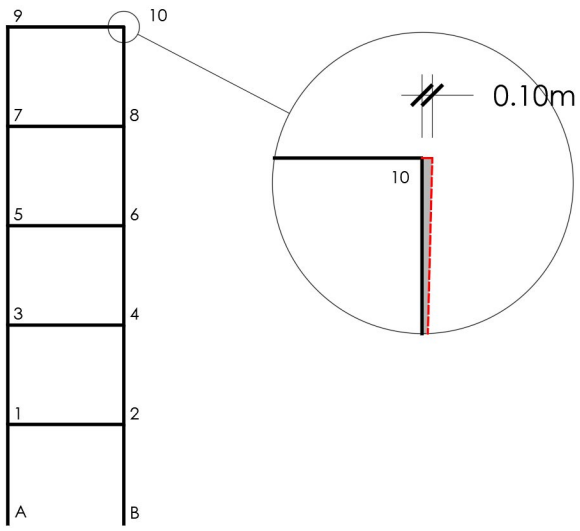
E: módulo de elasticidad del material del elemento. (kg/m^2)

- Resultado del desplazamiento del nodo ante las fuerzas laterales:

$$\Delta_{10} = 0{,}1005m \tag{181}$$

Figura 92

Esquema de desplazamiento en nodo 10



Una vez aplicado el método del trabajo virtual al pórtico analizado, se obtuvo un desplazamiento horizontal en el nodo superior correspondiente al nivel más alto del marco, con un valor de 10 cm. Este resultado representa la respuesta del sistema estructural ante las cargas horizontales combinadas de viento y sismo, considerando el comportamiento lineal elástico de los elementos y su rigidez axial. Cabe destacar que este valor será contrastado más adelante con los límites establecidos por la normativa mediante el análisis de derivas, con el objetivo de verificar la aceptabilidad del desplazamiento en términos de servicio y seguridad estructural.

3.13 Conclusión de la Metodología de Diseño Simplificado Mediante uso de la Norma ACI314 RS-11

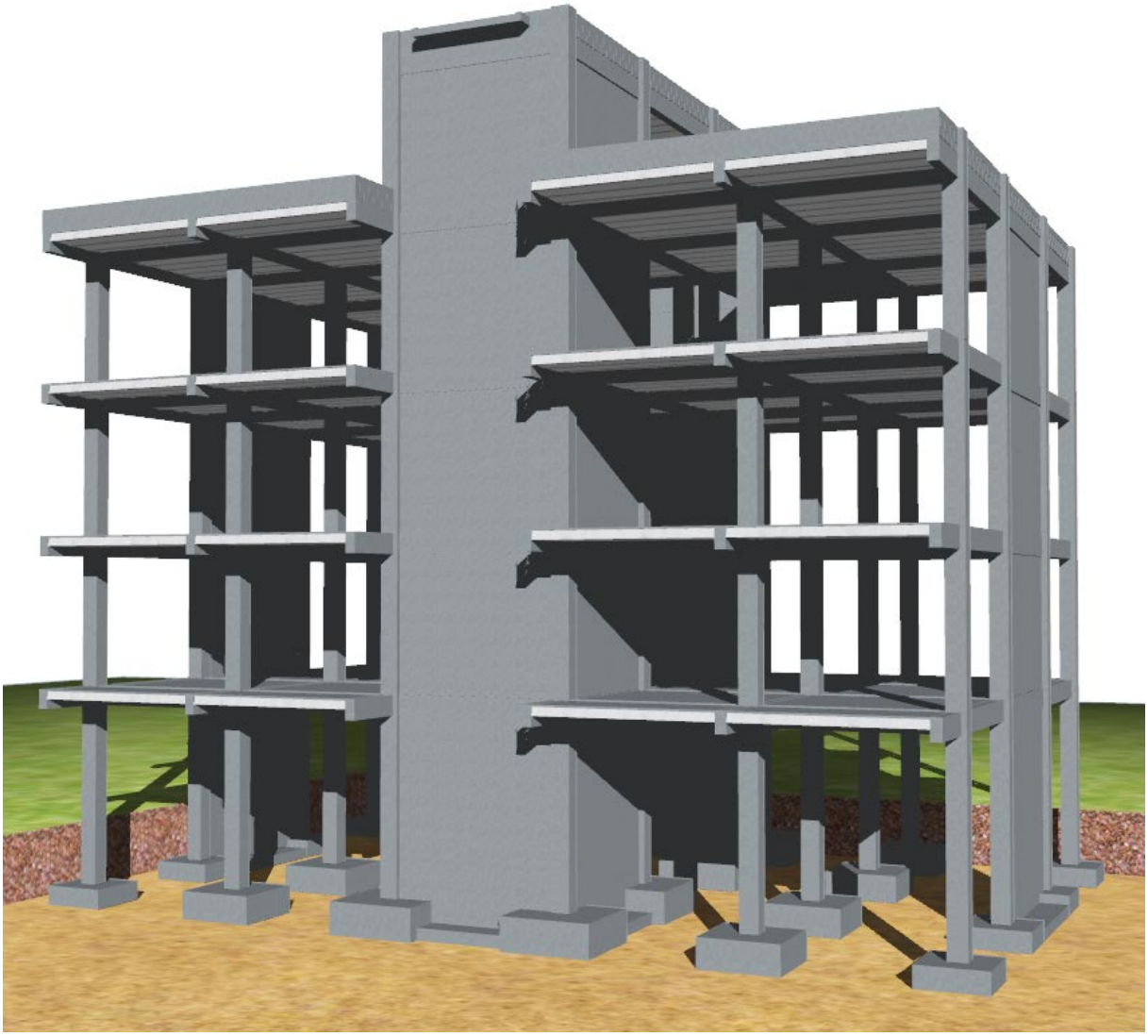
La totalidad del proceso de diseño estructural de la edificación fue desarrollado conforme a los lineamientos establecidos por la norma ACI 314R-11, la cual proporciona una metodología sistemática y práctica para el dimensionamiento y cálculo de elementos en edificaciones.

Desde la etapa inicial y hasta el diseño final de las cimentaciones, se siguió rigurosamente el diagrama de flujo propuesto por la norma, incorporando de manera secuencial el análisis de cargas gravitacionales (muertas y vivas), acciones horizontales (sismo y viento), así como el efecto del momento de vuelco, garantizando así una solución estructural coherente y segura.

Cada uno de los elementos estructurales como vigas, losas, columnas, muros y placas de cimentación fueron diseñados considerando los criterios que establece la norma, asegurando que la edificación cumpla con los requisitos mínimos de seguridad estructural. Esta metodología permitió realizar un diseño integral y coherente, en el cual todas las variables estructurales fueron contempladas de forma ordenada, desde el análisis preliminar hasta la solución final de fundaciones.

Figura 93

Vista en pespectiva del desarrollo completo de los elementos estructurales mediante el método simplificado



3.14 Inicio de la Metodología de Análisis de Elementos Finitos Mediante el Programa SAP2000

A continuación, se procede al modelado estructural completo de la edificación mediante el software SAP2000, empleando el método de elementos finitos. El objetivo principal es replicar digitalmente el sistema resistente conformado por pórticos de concreto reforzado, tal como fue definido en el diseño previo, e incorporar todas las acciones gravitacionales y

horizontales (peso propio, cargas muertas, vivas, sísmicas y de viento).

El procedimiento inicia con la definición del sistema de coordenadas, unidades de trabajo y el ingreso de la geometría estructural conforme a los ejes y niveles definidos en los planos arquitectónicos. Se definen las secciones transversales de los elementos (vigas, columnas, losas y muros) y las propiedades del material.

Posteriormente, se realiza la asignación de cargas por nivel mediante áreas tributarias, incluyendo combinaciones de carga establecidas por normativa. Las cargas sísmicas se ingresan a través del generador dinámico del programa o como fuerzas estáticas equivalentes, conforme a los resultados del análisis manual. Para las cargas de viento, se ingresan presiones por paños de fachada según la categoría de exposición del sitio.

Una vez completado el modelo, se ejecuta el análisis estático lineal, obteniendo los resultados de reacciones, diagramas de momento y corte, fuerzas axiales, desplazamientos por nivel y distorsión de entrepiso. Esta información será comparada y validada con los resultados obtenidos en el diseño manual.

Para el desarrollo del análisis estructural mediante el método de los elementos finitos con el programa SAP2000, reconocido internacionalmente como una herramienta avanzada para el modelado y diseño estructural, cabe destacar que el autor cuenta con la certificación como usuario del software SAP2000, lo que garantiza un manejo técnico adecuado de la herramienta y la correcta interpretación de sus resultados. Esta acreditación respalda la validez del modelo estructural desarrollado y asegura que se aplicaron de forma apropiada los criterios normativos, las cargas gravitacionales y laterales, las condiciones de apoyo y los parámetros de rigidez empleados en el análisis. La modelación en SAP2000 se ha integrado como una segunda fase metodológica para comparar resultados con el enfoque simplificado previamente aplicado, reforzando así el rigor técnico y la confiabilidad del diseño estructural.

Figura 94

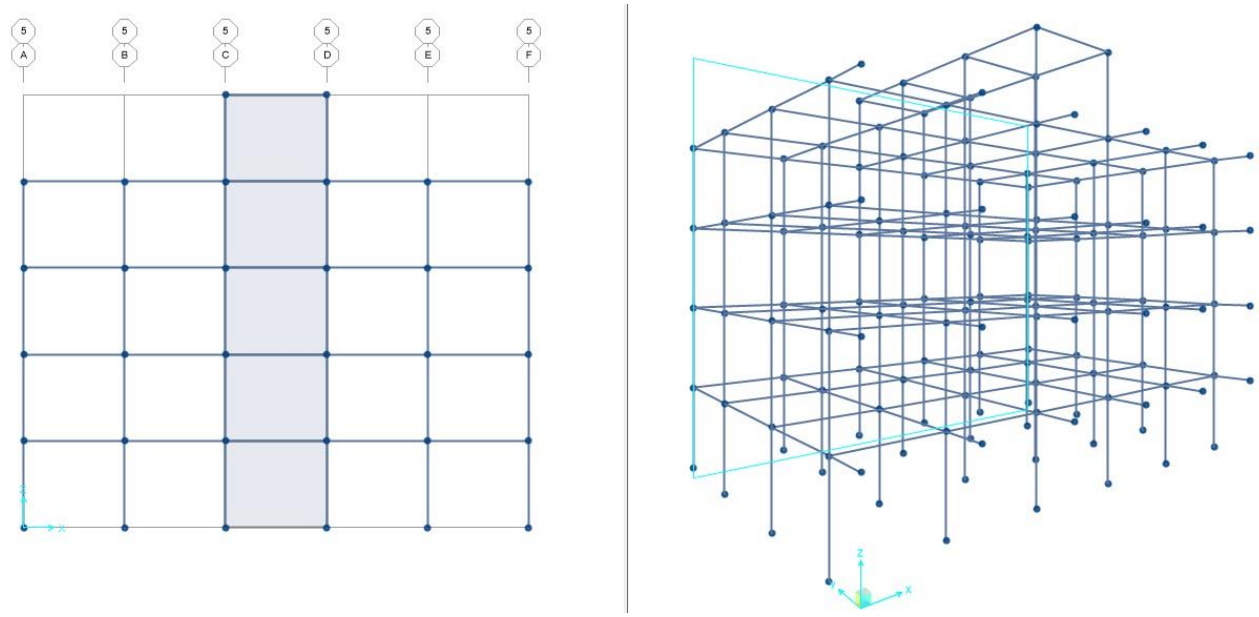
Diagrama de flujo general para el análisis y diseño estructural en SAP2000

3.14.1 Definición de Ejes Estructurales

Como primer paso se procede a la definición de la retícula estructural mediante la introducción de ejes en las direcciones X e Y que organizan la geometría del modelo. Esta malla de referencia facilita la ubicación precisa de los elementos estructurales y corresponde a la distribución planteada en los planos arquitectónicos y estructurales de planta.

Figura 95

Definición de los ejes estructurales en SAP2000

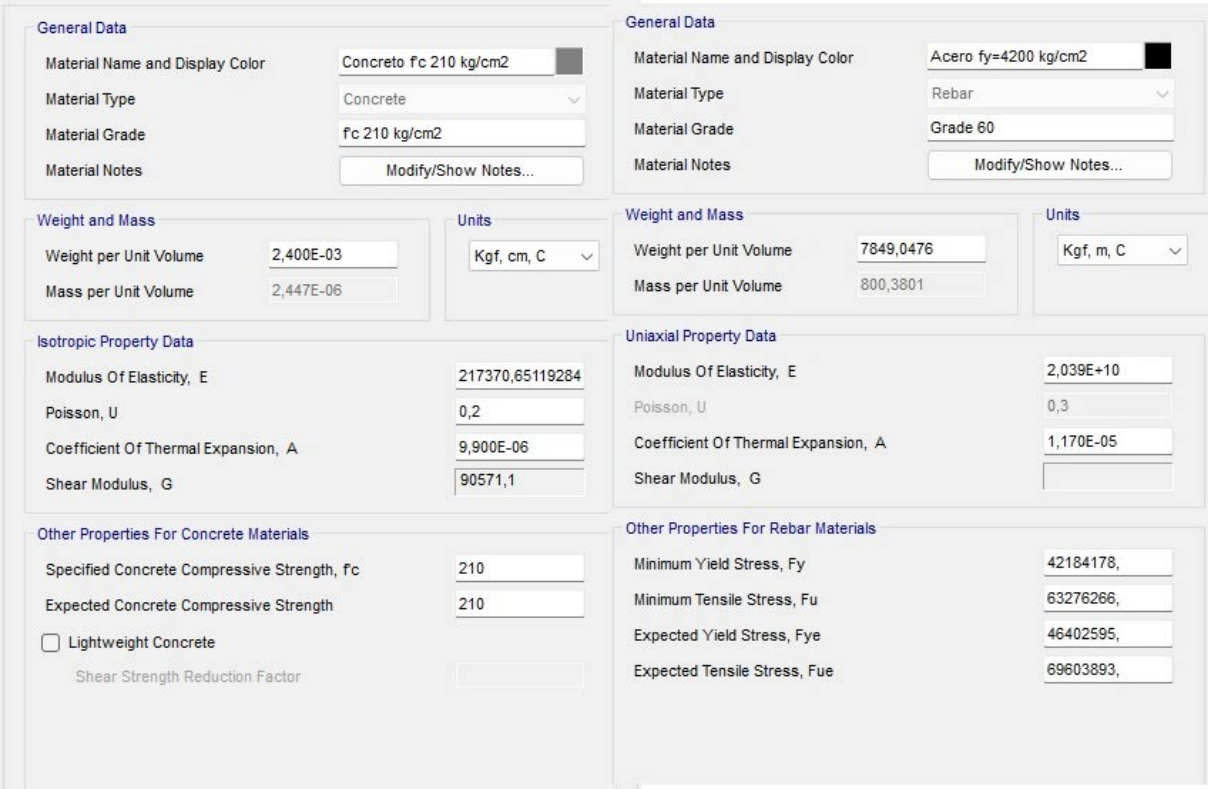


3.14.2 Definición de Materiales

A continuación, se definen los materiales estructurales a emplear en el modelo. En este caso, se incluye concreto reforzado con una resistencia especificada de $f'c$=210 kg/cm² y acero de refuerzo con una fluencia de fy=4200 kg/cm². Además de la resistencia, se introducen propiedades como el módulo de elasticidad, peso específico, coeficiente de Poisson y coeficiente de dilatación térmica, de acuerdo con los valores establecidos por la norma ACI 318 y las recomendaciones del ACI 314 RS-11.

Figura 96

Configuración de parámetros iniciales de los materiales en SAP2000

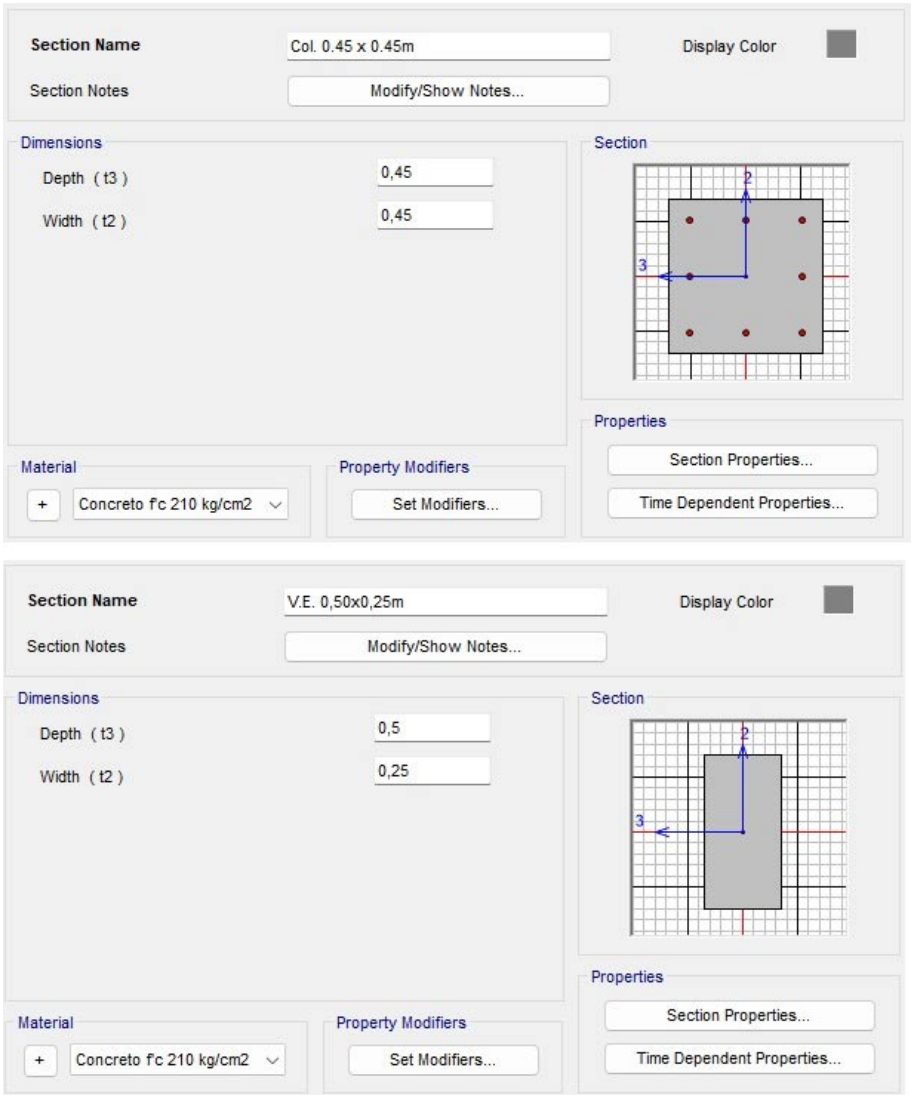


3.14.3 Definición de Secciones Transversales

En este paso se asignan las secciones geométricas para cada tipo de elemento estructural. Se definen secciones rectangulares para vigas y columnas de acuerdo con los resultados obtenidos en la metodología simplificada. También se asignan espesores a los muros estructurales y a las losas macizas, asegurando coherencia con los criterios de diseño y la distribución de cargas.

Figura 97

Configuración de secciones estructurales en SAP2000



3.14.4 Modelado Estructural

En esta etapa se procede a la construcción digital del sistema estructural completo dentro del entorno de SAP2000, utilizando los parámetros previamente definidos. Se introducen los elementos estructurales como vigas, columnas, muros y losas, asignándoles sus respectivas secciones y materiales, según lo establecido en la fase de configuración inicial. El modelado se realiza respetando la geometría arquitectónica y estructural del edificio, garantizando la correcta conectividad entre nodos y elementos. Además, se asegura la re-

presentación tridimensional del sistema, incluyendo la elevación de niveles y la definición de entrepisos, lo cual permitirá simular de forma precisa el comportamiento del conjunto ante cargas gravitacionales y laterales.

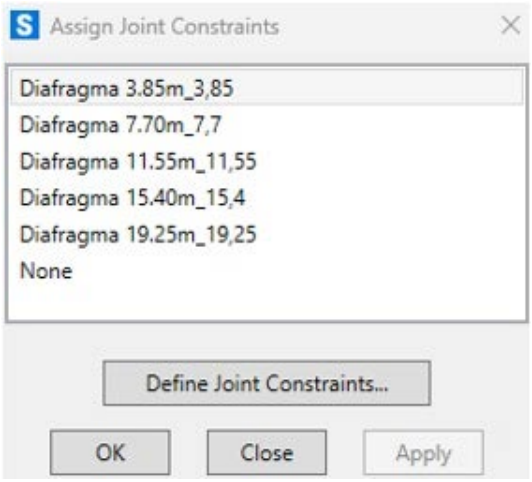
- Consideraciones teóricas del modelado estructural.

Durante el proceso de modelado estructural en SAP2000, existen conceptos teóricos fundamentales que deben ser correctamente aplicados para garantizar resultados fiables en el análisis estructural. La omisión o uso incorrecto de estos conceptos puede llevar a inconsistencias en los desplazamientos, esfuerzos o deformaciones, comprometiendo así la calidad del diseño estructural. A continuación, se describen los principales aspectos que deben ser considerados dentro de esta etapa:

3.14.4.1 Asignación de Características de Diafragma

Es indispensable definir el diafragma rígido en cada nivel que cuente con un entrepiso, ya que esto permite una correcta distribución de las cargas laterales (viento y sismo) entre los elementos verticales del sistema resistente. Se asume generalmente un comportamiento de diafragma rígido, lo cual implica que todos los nudos del nivel se mueven solidariamente en el plano, evitando deformaciones diferenciales entre puntos.

Figura 98
Asignación de diafragma rígido a nodos en SAP2000

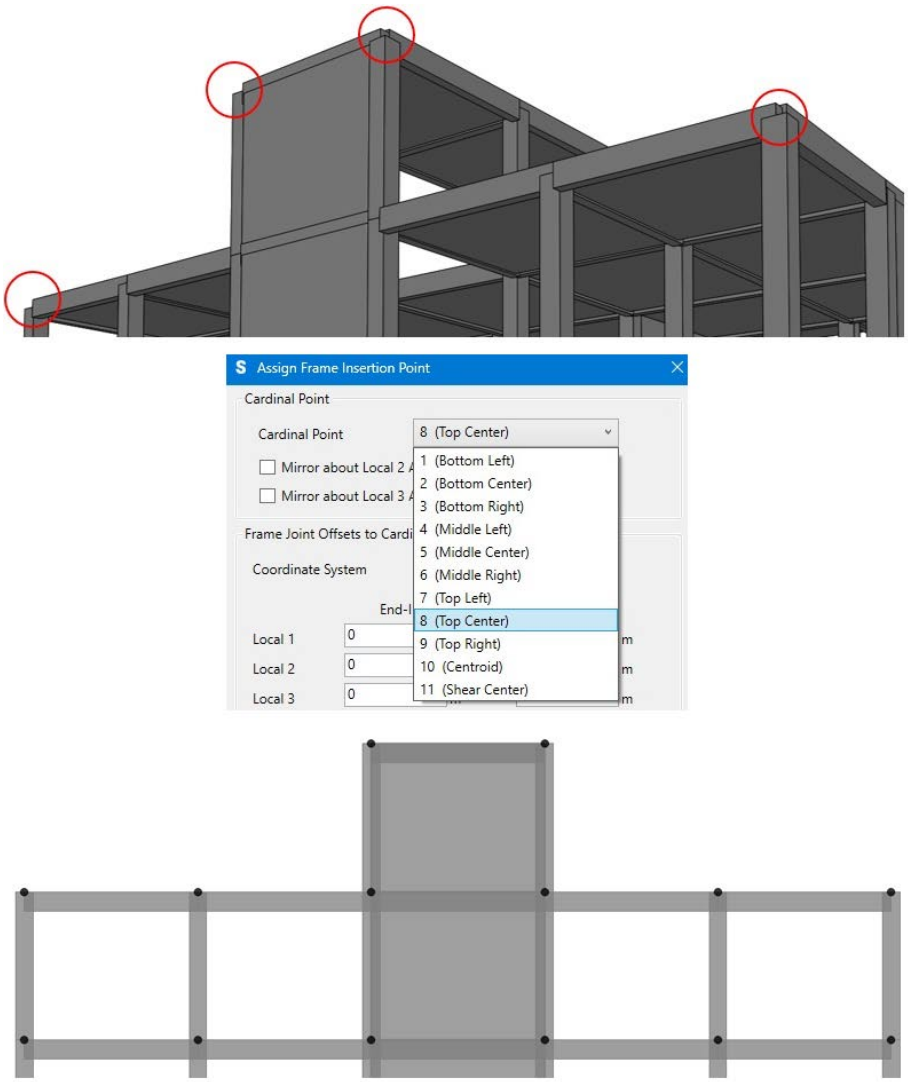


3.14.4.2 Alineamiento y Conectividad Entre Nudos

La correcta conexión entre vigas, columnas, muros y losas depende del alineamiento geométrico de los nudos en el modelo. Cualquier desfase entre ejes locales o puntos de conexión puede generar discontinuidades estructurales, afectando la transferencia de esfuerzos y la estabilidad global del sistema. SAP2000 requiere que las conexiones entre elementos estructurales sean topológicamente coherentes para que la matriz global del sistema se construya correctamente.

Figura 99

Alineamiento y conectividad entre elementos estructurales en SAP2000

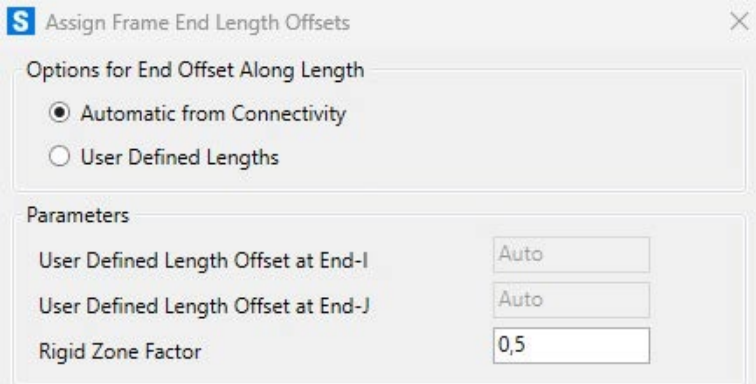


3.14.4.3 Asignación de Brazos Rígidos

En SAP2000, los elementos tipo frame (vigas y columnas) deben representar fielmente su longitud estructural efectiva. Cualquier error en esta asignación puede alterar los valores de rigidez (EI/L), afectando el reparto de momentos, cortantes y desplazamientos.

Figura 100

Asignación de brazo rígido al 50 % en nudos entre elementos estructurales en SAP2000

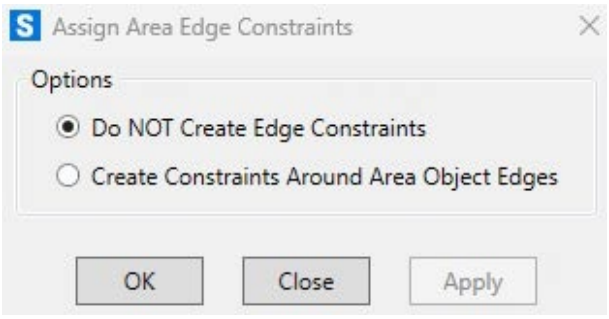


3.14.4.4 Definición de Restricciones de Borde

Los elementos estructurales deben tener correctamente asignadas sus condiciones de frontera. Las restricciones (apoyos simples, empotramientos, deslizamientos) influyen directamente en la respuesta estructural ante cargas verticales y laterales. En el caso de losas y muros, estas restricciones determinan la forma de trabajo (membranal o flexional) y la posibilidad de traslación o rotación en sus bordes.

Figura 101

Aplicación de restricciones de borde para losas y muros en SAP2000

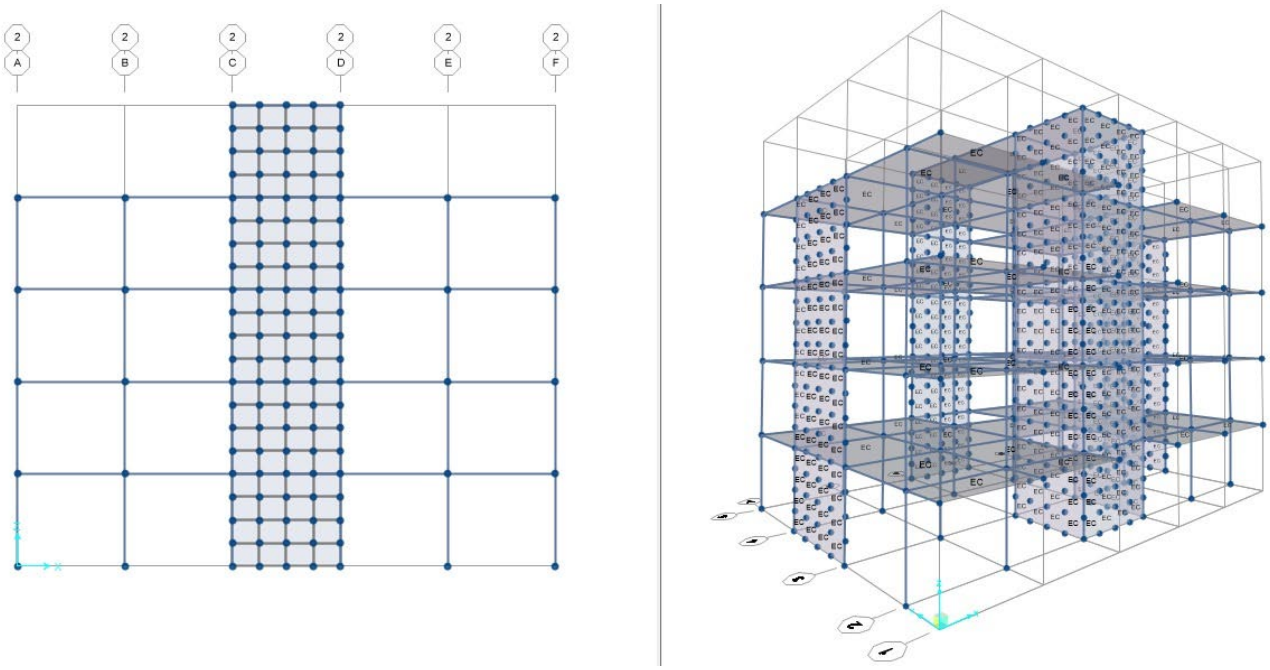


3.14.4.5 Discretización y Mallado de Superficies

Elementos como losas y muros deben ser divididos en una malla de elementos finitos para poder capturar adecuadamente su comportamiento estructural. El tamaño y tipo de elemento utilizado afecta directamente la precisión del análisis. Una discretización deficiente puede generar concentraciones artificiales de esfuerzos o ignorar modos de deformación importantes.

Figura 102

Discretización y mallado de superficies para muros en SAP2000

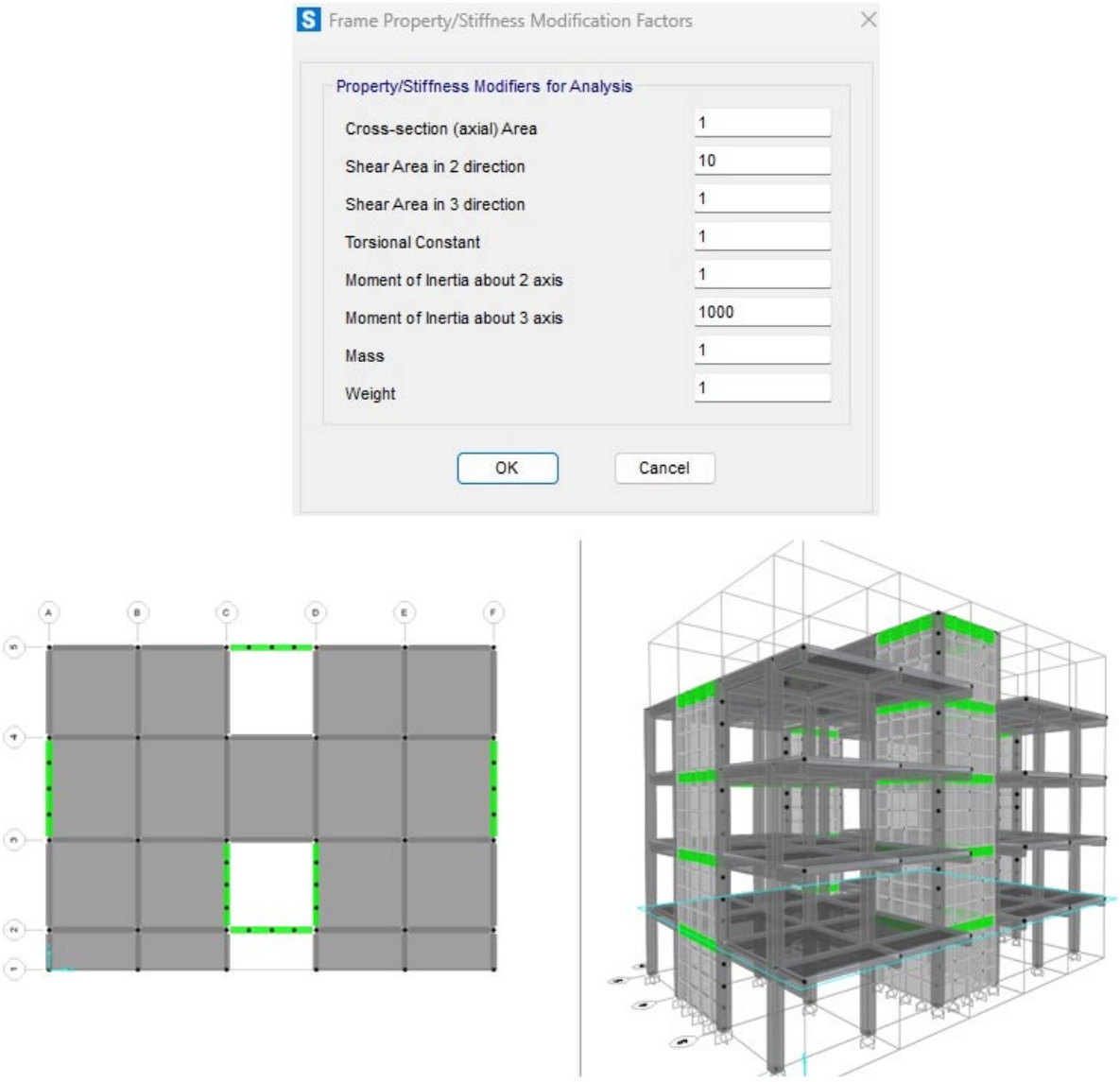


3.14.4.6 Rigidez en las Vigas que Confinan Muros de Carga

Desde el punto de vista de la rigidez, estas vigas deben modelarse con propiedades compatibles con su función en la interacción muro-viga. Este tratamiento es especialmente relevante en edificaciones sismo-resistentes, donde la respuesta conjunta entre vigas y muros determina en gran parte la rigidez lateral y la disipación de energía del sistema estructural.

Figura 103

Definición de rigidez en vigas confinando muros de carga en SAP2000



La correcta aplicación de estos conceptos requiere no solo el conocimiento técnico del software, sino también una comprensión profunda del comportamiento estructural. Por esta razón, el modelado estructural en SAP2000 debe abordarse con criterios técnicos rigurosos y metodologías coherentes que garanticen una representación fiel del sistema real.

3.14.5 Condiciones de Soporte

La definición de las condiciones de soporte es una etapa crítica en el modelado estructural, ya que determina el grado de restricción que presenta la estructura frente a desplazamientos y rotaciones en sus puntos de apoyo.

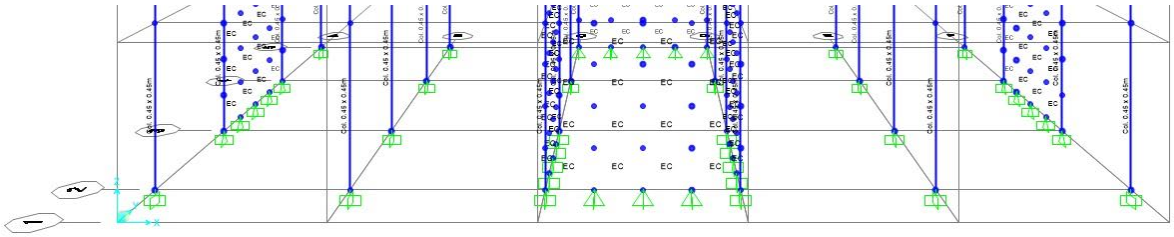
Las columnas que se extienden por varios niveles hasta la cimentación se modelan con empotramiento en la base, ya que:

- Transmiten momentos flectores.
- Resisten esfuerzos axiales y cortantes.
- En el modelo se desea capturar su capacidad de restricción rotacional.

Placas o muros de carga, con apoyo articulado longitudinalmente (en su eje mayor) y empotramiento transversal (en su eje menor),

Figura 104

Condiciones de soporte para columnas y placas en SAP2000

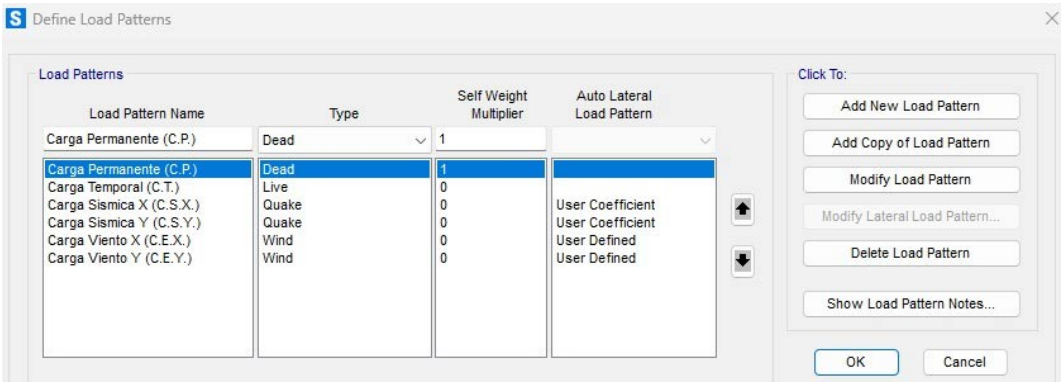


3.14.6 Definición de los Patrones de Carga

La correcta definición de estos patrones garantiza que las combinaciones de carga posteriores reflejen fielmente los estados límite de servicio y de falla, permitiendo un análisis estructural confiable y coherente con la realidad constructiva del proyecto.

Figura 105

Definición de los patrones de carga en SAP2000

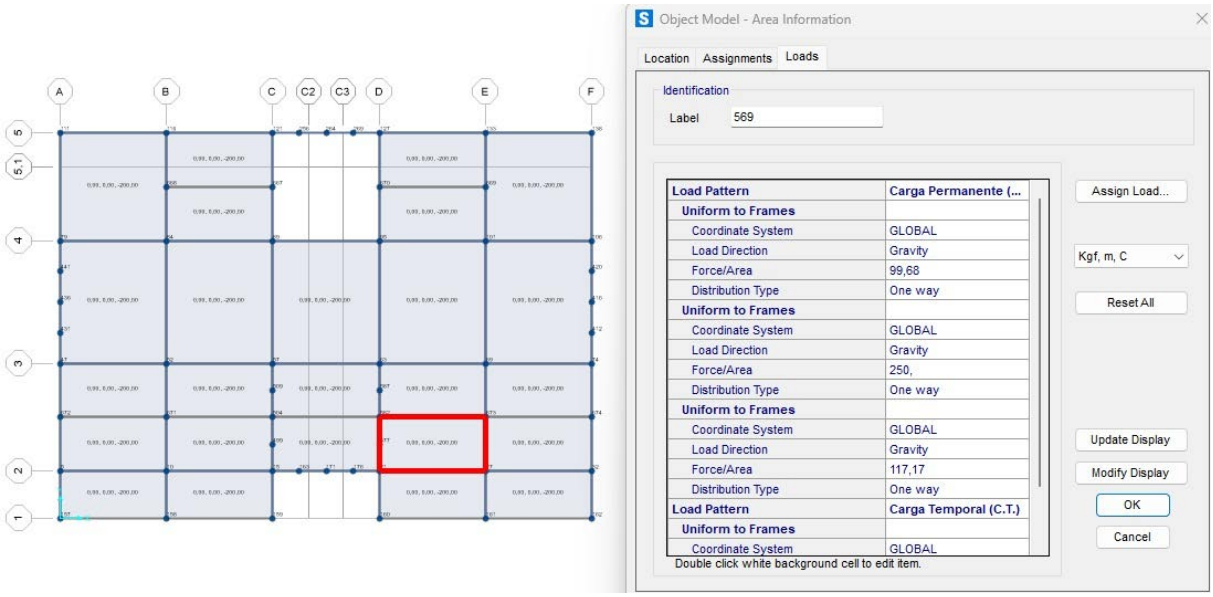


3.14.7 Asignación de Cargas a la Estructura

La asignación de cargas es la fase en la que se distribuyen los patrones de carga previamente definidos sobre los distintos elementos estructurales del modelo, conforme a su función estructural y ubicación en el sistema. Este proceso debe realizarse con especial atención a las trayectorias de carga, asegurando que cada elemento reciba las acciones que le corresponden según su participación en la resistencia y estabilidad global de la estructura.

Figura 106

Asignación de las diferentes cargas a la estructura de las losas en SAP2000

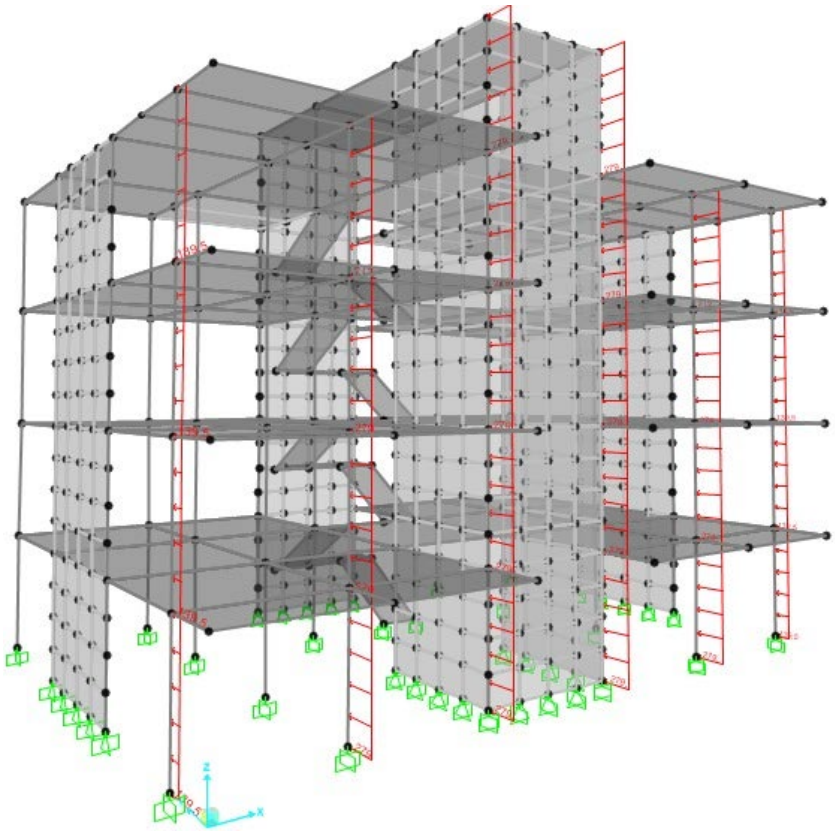


3.14.7.1 Definición de Cargas de Viento

En cuanto a las cargas por viento, su aplicación en SAP2000 se realiza siguiendo los parámetros definidos por la normativa sísmica y eólica correspondiente, considerando la altura total de la edificación, su categoría de exposición y zona geográfica. Estas cargas se asignan como presiones laterales distribuidas en los niveles mediante patrones de carga definidos específicamente para barlovento y sotavento. Posteriormente, dichas presiones son transformadas en cargas nodales aplicadas sobre los marcos resistentes del sistema estructural, tomando en cuenta la participación de cada uno en la resistencia lateral. En caso de estructuras repetitivas, las cargas se distribuyen proporcionalmente entre los marcos existentes en la dirección del viento, permitiendo un análisis más representativo del comportamiento real de la edificación frente a acciones eólicas.

Figura 107

Aplicación de cargas por viento sobre los marcos estructurales en dirección Y positiva (Barlovento) en SAP2000

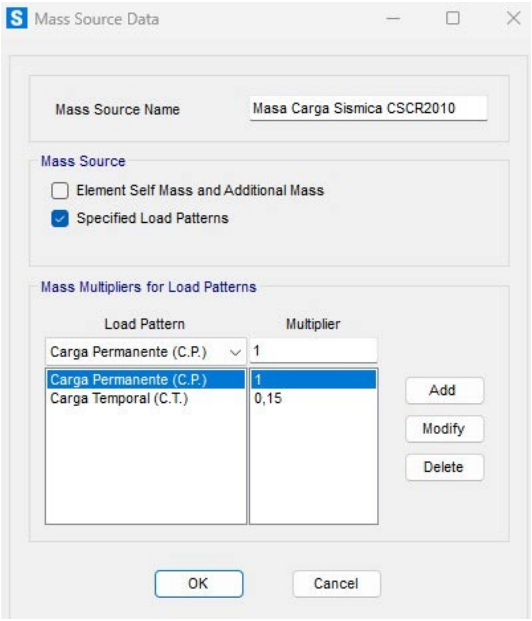


3.14.7.2 Definición de Fuente de Masa

La fuente de masa es un componente crítico para la correcta ejecución del análisis dinámico (modal y sísmico). Esta definición establece qué cargas actuarán como masa estructural y cómo se distribuirán en el modelo. Generalmente se incluyen las cargas permanentes (peso propio, muros, acabados) y un porcentaje de las cargas variables (el 15 % de la carga viva), tal como lo establece la normativa sísmica. Una fuente de masa mal definida puede alterar significativamente los resultados del análisis modal, afectando las formas modales, los periodos naturales de vibración y la distribución de fuerzas sísmicas.

Figura 108

Definición de factores para fuente de masa en SAP2000



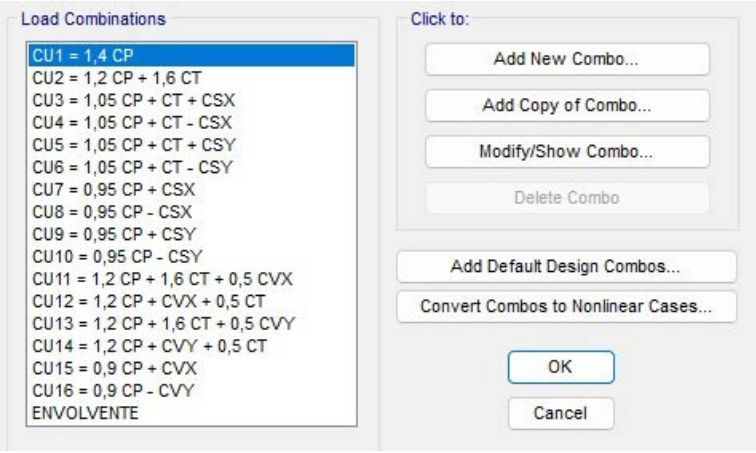
Con la correcta asignación de las cargas gravitacionales y laterales sobre los elementos estructurales, se finaliza esta etapa asegurando que el modelo represente con fidelidad las condiciones de servicio y solicitaciones que enfrentará la estructura en su vida útil. La coherencia entre las cargas aplicadas, los patrones definidos y el comportamiento esperado del sistema estructural garantiza una base sólida para continuar con el análisis estructural y obtener resultados representativos y confiables.

3.14.7.3 Definición de Combinaciones de Carga

En esta etapa se definieron las combinaciones de carga requeridas para el análisis estructural del modelo, siguiendo los lineamientos establecidos tanto en el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR-2010) como en el documento Lineamientos para el diseño por viento de edificaciones en Costa Rica del CFIA. Estas combinaciones consideran los efectos simultáneos de cargas muertas, vivas, sismo y viento, aplicando los factores de carga correspondientes para estados límite últimos y de servicio. La correcta implementación de estas combinaciones en SAP2000 permite evaluar de forma precisa el comportamiento estructural ante las condiciones de carga más críticas según la normativa nacional.

Figura 109

Definición de combinaciones de carga en SAP2000



El programa permite definir combinaciones lineales o no lineales, dependiendo del tipo de análisis y facilita la verificación simultánea de distintos criterios de diseño. Una vez definidas, estas combinaciones se utilizan en el cálculo de envolventes de esfuerzos internos (momento, cortante, axial) y desplazamientos, que a su vez sirven de base para el dimensionamiento de los elementos estructurales.

Las combinaciones de carga son esenciales para garantizar un diseño seguro, funcional y eficiente, ya que influye directamente en la determinación de la demanda estructural y, por lo tanto, en el diseño del refuerzo longitudinal y transversal de los elementos.

3.14.8 Comportamiento Estructural por Elementos Finitos

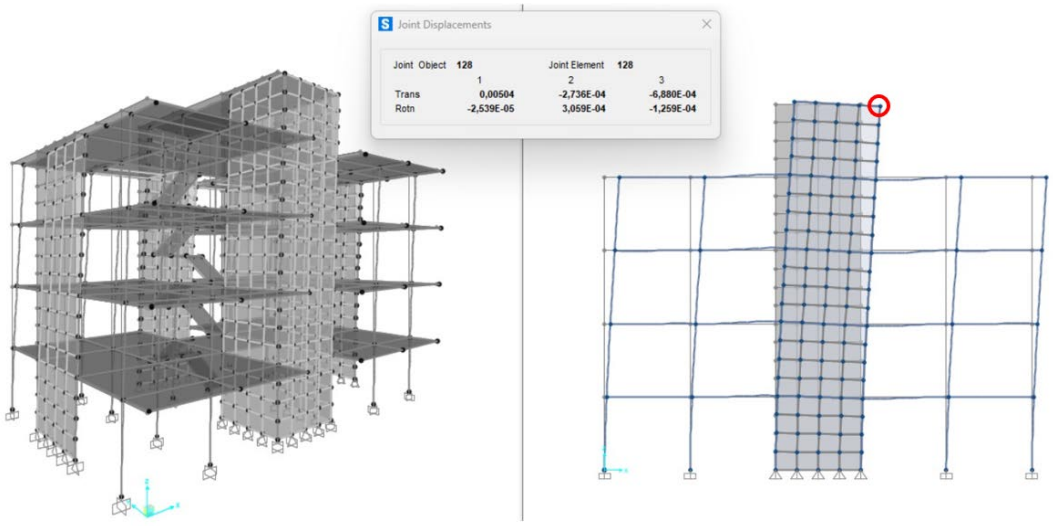
Una vez completado el proceso de modelado estructural y asignación de cargas, se procede a la etapa de análisis estructural del sistema, utilizando la metodología de elementos finitos implementada en el software SAP2000. En esta fase, se busca estudiar el comportamiento dinámico de la edificación a través del análisis modal, el cual permite identificar los modos de vibración naturales de la estructura, sus desplazamientos predominantes en las direcciones principales (X y Y), los períodos asociados a cada modo y, por ende, su grado de rigidez.

3.14.8.1 Respuesta Modal de Desplazamiento en eje X

Para la determinación del desplazamiento modal en la dirección del eje "X", se desarrolló un análisis dinámico modal mediante el método de los elementos finitos en el software SAP2000. Esta metodología implica la generación automática de los modos de vibración de la estructura a partir de la matriz de rigidez y la matriz de masas previamente definidas en el modelo estructural. El análisis considera la configuración geométrica completa, las condiciones de soporte, los diafragmas rígidos por nivel y las propiedades inerciales de los materiales y secciones asignadas.

Figura 110

Resultado del desplazamiento modal en el eje X en SAP2000

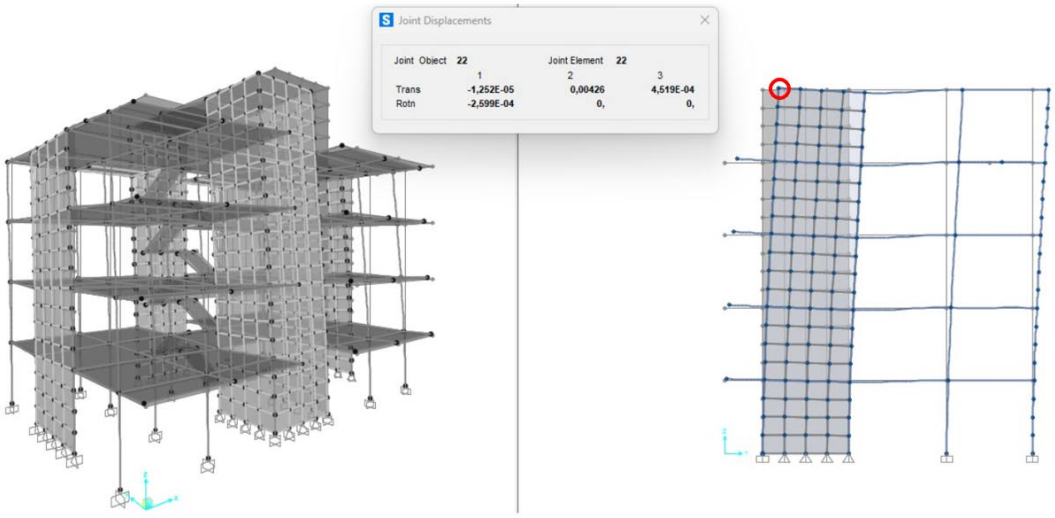


3.14.8.2 Respuesta Modal de Desplazamiento en eje Y

La extracción modal permitió identificar el modo de vibración principal correspondiente a la dirección "Y", del cual se derivó el valor del desplazamiento modal asociado. Este valor representa la respuesta libre de la estructura frente a cargas dinámicas y es fundamental para evaluar su comportamiento global ante acciones sísmicas, además de constituir una referencia para futuras comparaciones con los desplazamientos máximos admisibles por normativa.

Figura 111

Resultado del desplazamiento modal en el eje Y en SAP2000



3.15 Conclusión de la Metodología de Diseño Mediante Elementos Finitos en SAP2000

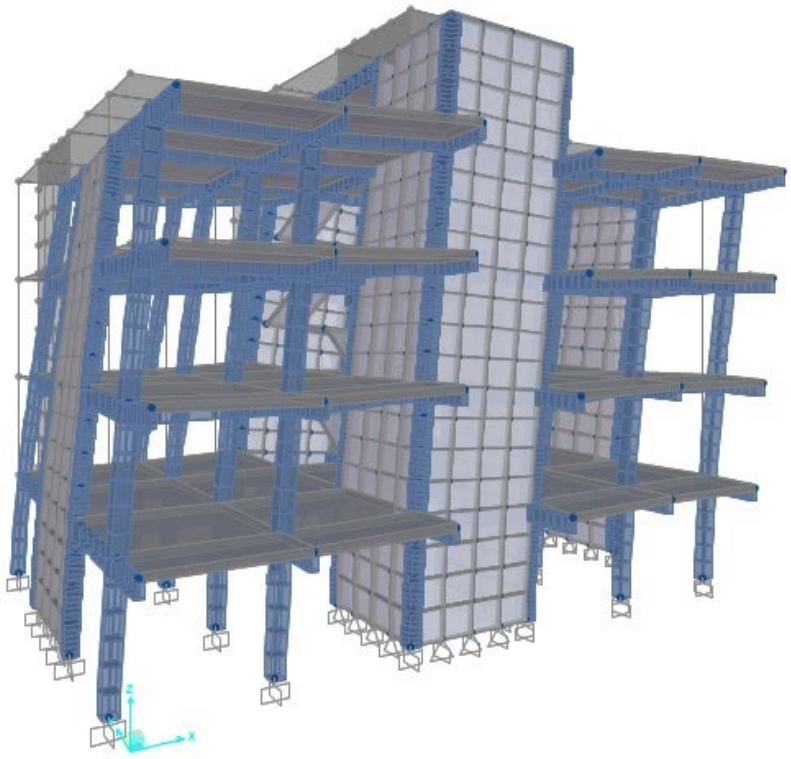
La aplicación del método de los elementos finitos a través del software SAP2000 permitió desarrollar un modelo estructural tridimensional detallado y eficiente para la evaluación del comportamiento de la edificación propuesta. A lo largo de esta etapa, se definieron cuidadosamente los parámetros iniciales del sistema estructural, incluyendo materiales, secciones transversales, condiciones de soporte, diafragmas, patrones de carga y fuente de masa, garantizando así un entorno de simulación coherente con la realidad física de la estructura.

El modelado se realizó con una rigurosa atención a los principios estructurales fundamentales, tales como la interacción nodal, la definición de rigideces, la representación adecuada de muros, losas, vigas y columnas, así como la asignación precisa de cargas gravitacionales y laterales. Posteriormente, se ejecutó un análisis dinámico modal, cuyo propósito fue determinar los modos de vibración, desplazamientos y períodos fundamentales de la estructura, proporcionando así información crítica para la evaluación sísmica del sistema.

Esta metodología demostró ser una herramienta integral que, más allá de la verificación de resistencia, permite observar el comportamiento global de la edificación ante distintas solicitaciones, lo cual resulta especialmente relevante para diseños sísmicamente seguros. En conjunto, la etapa desarrollada no solo valida la capacidad de SAP2000 como plataforma de análisis estructural, sino que también sienta las bases para la comparación cuantitativa y cualitativa de los resultados frente al método simplificado tratado previamente.

Figura 112

Desarrollo de modelo completo en SAP2000 con desplazamiento en eje X amplificado a 500x



CAPÍTULO 4

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

4.1 Evaluación Comparativa de Resultados Analizando las Metodologías de Diseño

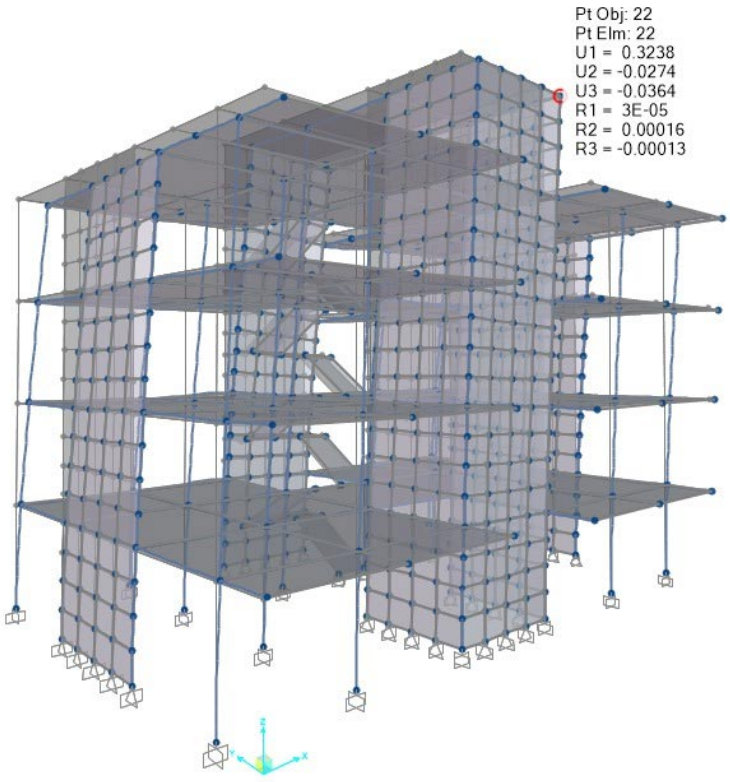
En este capítulo se realiza un análisis de la información para desarrollar un comparativo entre los resultados obtenidos mediante el método de diseño simplificado propuesto por la norma ACI 314R-11 y aquellos derivados del modelo estructural desarrollado en el software SAP2000, utilizando el método de los elementos finitos. Esta comparación busca establecer criterios técnicos, identificando niveles de aproximación que cada una ofrece frente al comportamiento real de la estructura.

El enfoque está orientado a contrastar aspectos fundamentales como los desplazamientos laterales (derivas), la respuesta sísmica y el comportamiento ante cargas gravitacionales.

4.1.1 Comprobación con Parámetros de Control de Respuesta Lateral para el Diseño Mediante Método Simplificado

Figura 113

Desplazamiento lateral en eje X en nivel 0+19,25 m



Antes de iniciar con la comparación directa entre los resultados obtenidos mediante el método simplificado y los derivados del análisis por elementos finitos en SAP2000, es fundamental verificar si las secciones estructurales definidas durante la metodología simplificada poseen la rigidez suficiente para satisfacer los límites establecidos por la normativa vigente en cuanto a derivas laterales. Esta comprobación se realiza con el fin de garantizar que, aun sin haber considerado un modelado computacional detallado, la estructura diseñada preliminarmente mediante criterios normativos simplificados ofrece un comportamiento aceptable frente a desplazamientos laterales inducidos por cargas sísmicas o de viento. El cumplimiento de los límites de deriva no solo está asociado a la seguridad estructural, sino también al confort de los ocupantes y a la integridad no estructural del edificio. Esta evaluación servirá como punto de partida para juzgar la validez del enfoque simplificado en términos de rigidez global.

Tabla 98

Límite superior de la razón de deriva inelástica

Sistema estructural (según artículo 4.2)	Edificaciones A y C (Limitación especial según artículo 4.1)	Edificaciones B, D y E (Limitación normal según artículo 4.1)
tipo marco	0.0125	0.020
tipo dual	0.0125	0.018
tipo muro	0.0100	0.010
tipo voladizo	0.0125	0.020
tipo otros	0.0065	0.010

Nota. Tabla 7.2., CSCR 2010, 2025.

Para comprobar que el diseño mediante el método simplificado de la norma ACI314 RS-11 cumple con los parámetros de control de respuesta lateral o la distorsión de entrepiso debido a cargas, se debe cumplir que la deformación última sea:

$$\frac{\Delta_i}{H_i} \leq 0{,}020 \tag{182}$$

Donde:

H_i: altura entre niveles. (cm)

Para esto, se obtienen los valores de la deformación de análisis:

$$\Delta_i = \mu \cdot SR \cdot \Delta_i^e \tag{183}$$

Donde:

Δ_i: deformación de análisis. (cm)

μ: ductilidad global asignada utilizada en el cálculo de las fuerzas. (CSCR tabla 4.3)

SR: factor de sobre-rresistencia. (2.0 para estructuras tipo marco. CSCR.)

Δ_i^e: deriva elástica entre el nivel i y el nivel inferior, respectivamente

Tabla 99

Tabla de valores de desplazamiento para control de derivas

Tabla de desplazamientos y control de derivas.						
Nivel (m)	**Desplazamiento (cm) eje X**	**Desplazamiento (cm) eje Y**	Δ_i^e	Δ_i	Δ_i/H_i	**Estado**
0.00	0.00	0.00	N/A	N/A	N/A	N/A
3.85	0.0413	0.0420	0.0431	0.5168	0.0013	Cumple
7.70	0.1078	0.1211	0.1225	1.4696	0.0038	Cumple
11.55	0.1848	0.2199	0.2332	2.7979	0.0073	Cumple
15.40	0.2605	0.3231	0.3649	4.3787	0.0114	Cumple
19.25	0.3238	0.4264	0.5056	6.0674	0.0158	Cumple

SR=	2.00
$\mu =$	6.00
$Hi=$	385cm

Los resultados obtenidos del análisis de derivas muestran que todos los niveles del edificio cumplen con el límite máximo permitido por la normativa nacional, establecido en $\Delta_i/H_i \leq 0{,}020$ según la tabla 7.2 del CSCR-10. Esto indica que el comportamiento lateral de la estructura ante cargas sísmicas se encuentra dentro de los márgenes aceptables de desplazamiento relativo entre pisos. No obstante, considerando que algunos valores se encuentran significativamente por debajo del límite normativo, se propone en el capítulo de Propuesta un rediseño estructural orientado a optimizar el desempeño sísmico del edificio, acercando los valores de deriva a un uso más eficiente del límite permitido.

4.1.2 Comparación del Acero de Refuerzo Para Cada Elemento Estructural de Acuerdo con Cada Metodología de Diseño

Se realiza una comparación del acero de refuerzo requerido en elementos estructurales clave (vigas y columnas) utilizando dos metodologías de diseño: el método simplificado y el análisis de elementos finitos. Esta evaluación permite identificar diferencias en la demanda de refuerzo y valorar posibles optimizaciones estructurales y económicas con apoyo de herramientas como SAP2000.

4.1.2.1 Cálculo de Acero de Refuerzo Longitudinal y Transversal Mediante Diseño Simplificado

Como parte complementaria del proceso de diseño estructural bajo la metodología simplificada según los lineamientos de la norma ACI 314RS-11, se incluye el cálculo del acero de refuerzo para los principales elementos estructurales del edificio: losas, vigas, columnas y muros.

Tabla 100

Características nominales para barras de refuerzo

Denominación de la barra*	Dimensiones nominales		
	Diámetro, mm (pulg.)	Área, mm² (pulg.²)	Masa, kg/m (lb/pie)
Nº 6 (2)†	6.4 (0.250)	32 (0.05)	0.250 (0.170)
Nº 10 (3)	9.5 (0.375)	71 (0.11)	0.560 (0.376)
Nº 13 (4)	12.7 (0.500)	129 (0.20)	0.994 (0.668)
Nº 16 (5)	15.9 (0.625)	199 (0.31)	1.552 (1.043)
Nº 19 (6)	19.1 (0.750)	284 (0.44)	2.235 (1.502)
Nº 22 (7)	22.2 (0.875)	387 (0.60)	3.042 (2.044)
Nº 25 (8)	25.4 (1.000)	510 (0.79)	3.973 (2.670)
Nº 29 (9)‡	28.7 (1.125)	645 (1.00)	5.060 (3.400)
Nº 32 (10)‡	32.3 (1.250)	819 (1.27)	6.404 (4.303)
Nº 35 (11)‡	35.8 (1.375)	1006 (1.56)	7.907 (5.313)
Nº 43 (14)‡	43.0 (1.750)	1452 (2.25)	11.380 (7.650)
Nº 57 (18)‡	57.3 (2.250)	2581 (4.00)	20.240 (13.600)

Nota. Tabla 5.2.5.1, ACI314 RS-11, 2025.

Dado que el alcance de esta metodología no contempla un diseño completo de refuerzo en función de los esfuerzos máximos obtenidos, el presente apartado se limita a presentar el

cálculo del acero mínimo exigido por el ACI 318 y ACI 314RS-11, acompañado de esquemas de detalle constructivo ilustrativo para cada tipo de elemento. Esta información proporciona una base para visualizar la configuración general del armado estructural.

- Refuerzo mínimo de acero longitudinal en vigas:

En el diseño de elementos flexionados como las vigas, es fundamental garantizar una cantidad mínima de acero de refuerzo a fin de evitar fallas frágiles y permitir un comportamiento dúctil bajo cargas crecientes.

El área mínima de refuerzo longitudinal en vigas de concreto armado debe cumplir con:

$$A_{s(min)} \geq max\left(\frac{3 \cdot \sqrt{f'c}}{fy} \cdot b \cdot d,\ \frac{200}{fy} \cdot b \cdot d\right) \tag{184}$$

Donde:

$A_{s(min)}$: área mínima de refuerzo longitudinal (cm^2).

$f'c$: resistencia a la compresión del concreto (kg/cm^2).

fy: resistencia de fluencia del acero (kg/cm^2)

b: ancho de la viga (cm)

d: peralte efectivo (cm)

$$A_{s(min)} \geq max\left(\frac{3 \cdot \sqrt{210}}{4200} \cdot 25 \cdot 44,\ \frac{200}{4200} \cdot 25 \cdot 44\right) \tag{185}$$

$$A_{s(min)} \geq 52{,}38 cm^2 \tag{186}$$

- Refuerzo mínimo de acero transversal en vigas:

Esta fórmula se basa en el refuerzo transversal mínimo requerido para garantizar un comportamiento dúctil ante cargas de cortante.

$$A_v \geq \frac{50 \cdot b \cdot s}{fy} \tag{187}$$

Donde:

A_v: área total de acero de refuerzo transversal (estribos) por espaciamiento $s(\text{mm}^2)$

b: ancho de alma de la viga. (mm)

s: espaciamiento entre estribos (mm)

fy: resistencia a la fluencia del acero (MPa)

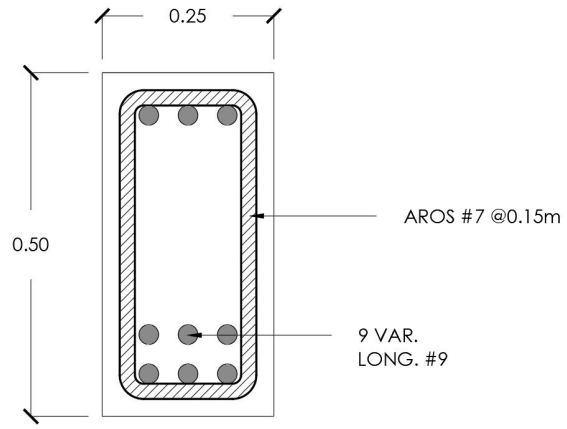
$$A_v \geq \frac{50 \cdot 250 \cdot 150}{420} = 4464{,}29mm^2 \ (por\ metro\ lineal\ de\ viga) \tag{188}$$

Para convertir esto al área por estribo individual:

$$A_v por\ estribo = \frac{4464{,}29}{1000/150} = (669{,}64mm^2/2) = 334{,}8mm^2 = 3{,}34cm^2 \tag{189}$$

Figura 114

Detalle de viga de entrepiso, refuerzo mínimo longitudinal y transversal



- Refuerzo mínimo de acero longitudinal en columnas.

La fórmula de cuantía mínima de acero longitudinal en columnas se expresa como:

$$\rho_{min} = \frac{A_s}{A_g} \geq 0{,}01 \tag{190}$$

$$A_g = 450 \cdot 450 = 202,500mm^2 \tag{191}$$

$$A_s \geq 0{,}01 \cdot 202,500 = 2,025mm^2 = 20{,}25cm^2 \rightarrow 8var\ 6 = 22{,}72cm^2 \tag{192}$$

- Refuerzo mínimo de acero transversal en columnas:

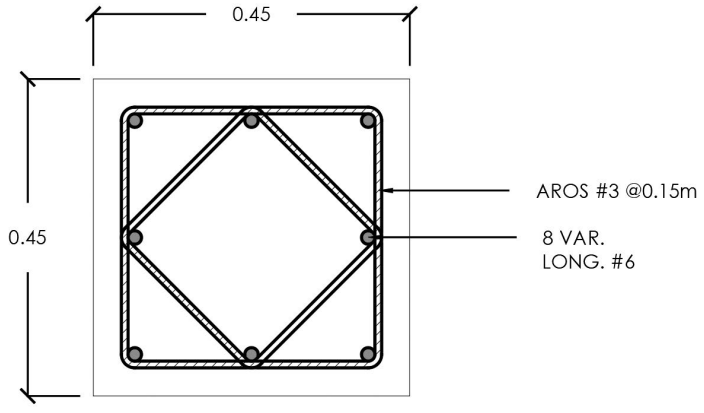
Refuerzo mínimo transversal (estribos) para la columna:

$$A_{sh} =\geq 0{,}12 \cdot \frac{f'c}{fy} \cdot s \cdot d_c \tag{193}$$

$$A_{sh} =\geq 0{,}12 \cdot \frac{210}{4200} \cdot 15 \cdot 40 = 3{,}6cm^2 \tag{194}$$

Figura 115

Detalle de columna, refuerzo mínimo longitudinal y transversal



4.1.3 Comprobación del Acero de Refuerzo Longitudinal Resultante del Método de Elementos Finitos

Figura 116

Comprobación del acero longitudinal para elementos en eje X del método de elementos finitos

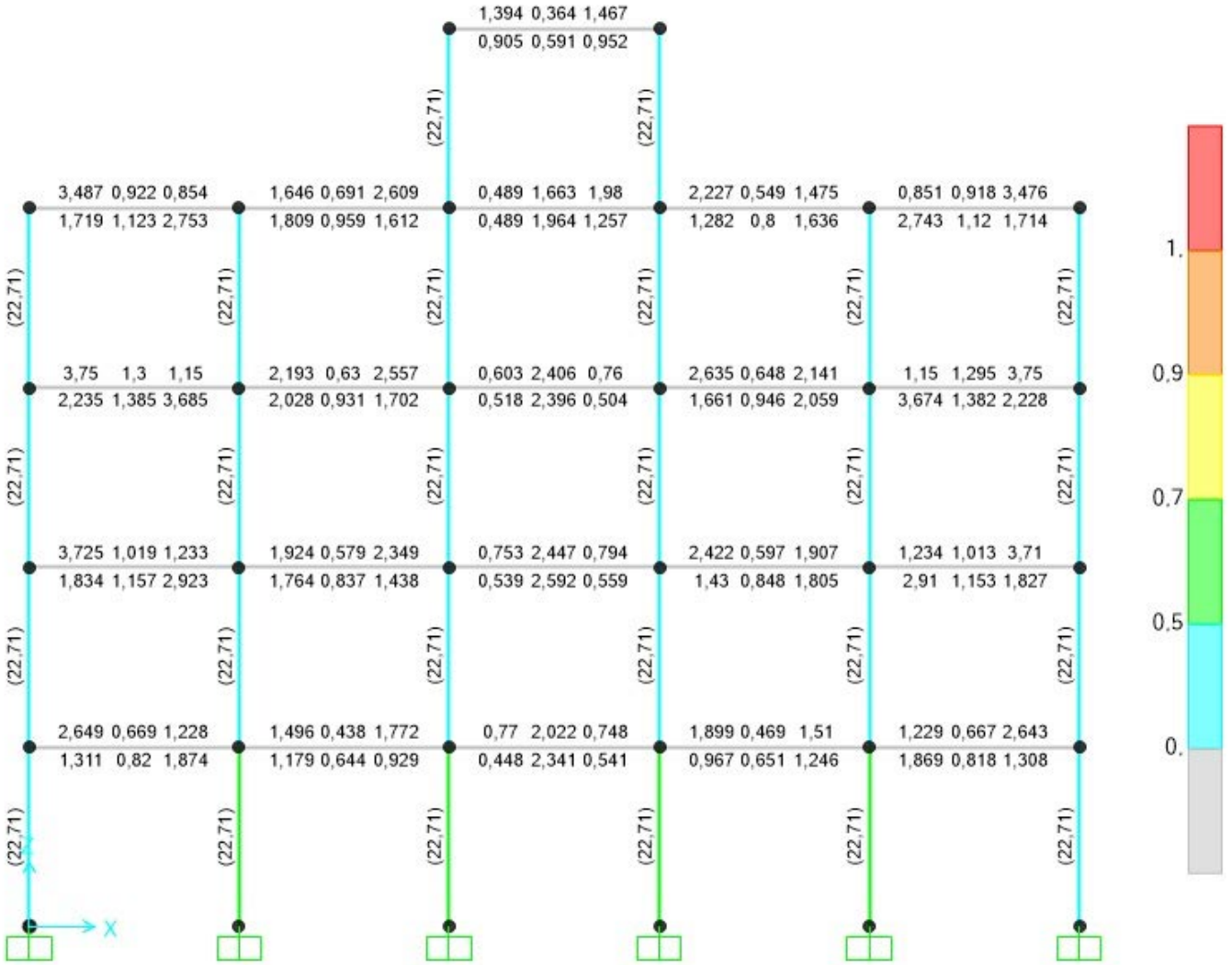
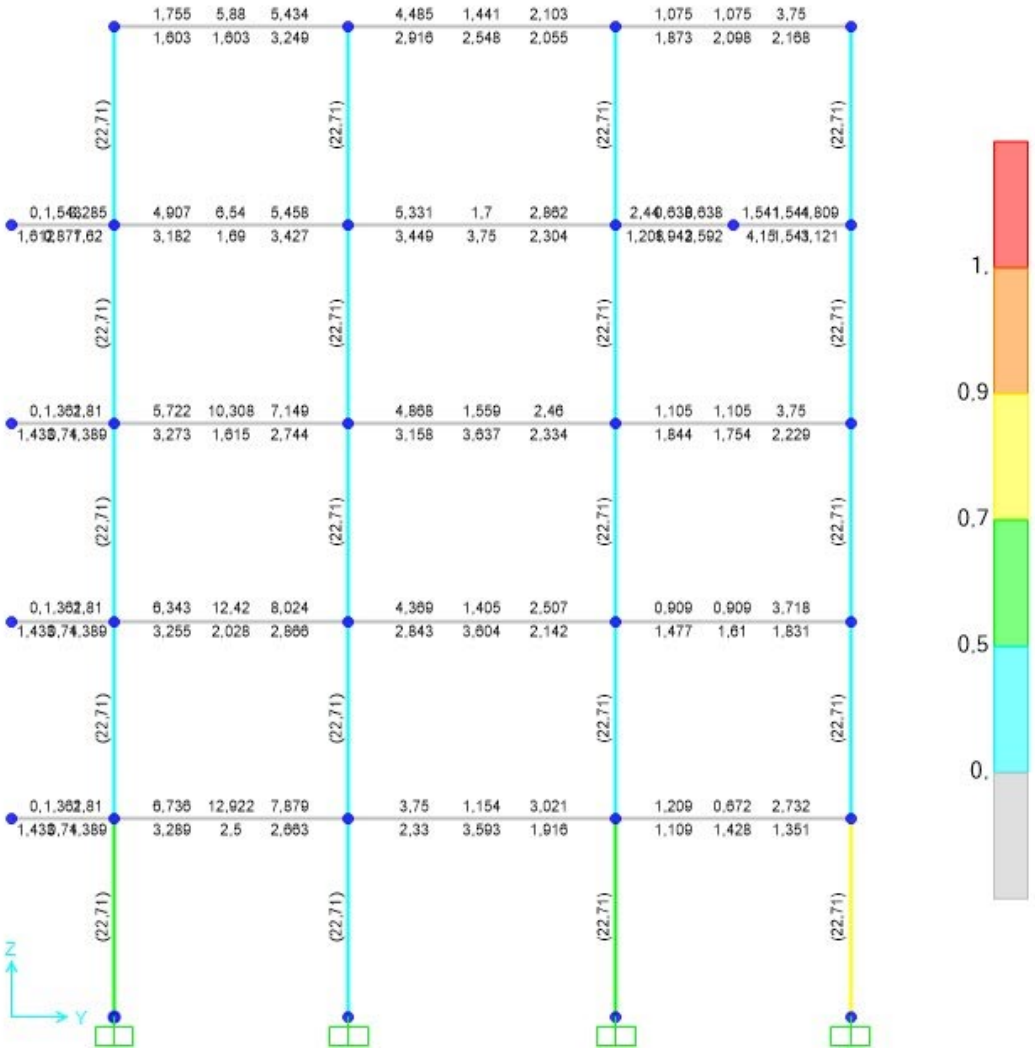


Figura 117

Comprobación del acero longitudinal para elementos en eje Y del método de elementos finitos



- Análisis de los resultados del acero longitudinal para las vigas:

En el caso de las vigas, el procedimiento fue distinto. No se aplicó directamente la cuantía mínima, sino que se utilizó una fórmula alternativa recomendada por la ACI 314 RS-11, considerando el tipo de sección, materiales y solicitaciones estimadas. Este procedimiento arrojó un área de refuerzo de 52.38 cm^2 para una viga tipo. Sin embargo, es importante destacar que, a diferencia de las columnas, SAP2000 no verifica cuantías mínimas en vigas, sino que genera la demanda de refuerzo longitudinal de forma directa, basada en los momentos flectores obtenidos a partir de las combinaciones de carga, considerando la envolvente crítica.

El análisis comparativo entre el refuerzo longitudinal propuesto por el método simplificado y el requerido por SAP2000 en las vigas de entrepiso evidenció una diferencia considerable, mostrando que el enfoque simplificado puede resultar conservador.

Esta diferencia técnica permite reflexionar sobre el nivel de precisión y eficiencia del diseño cuando se adoptan métodos prescriptivos versus enfoques analíticos basados en simulación estructural.

- Análisis de resultados del acero longitudinal para las columnas:

Para las columnas, la norma establece una cuantía mínima de refuerzo longitudinal equivalente al 1 % del área bruta de la sección transversal, lo que, para el caso estudiado, representa un área mínima requerida de 22.71 cm^2. Este valor ha sido verificado con las comprobaciones automáticas de acero longitudinal que SAP2000 efectúa durante el análisis de elementos sometidos a esfuerzos combinados de compresión axial y flexión, y cuya validación permite confirmar si el requerimiento mínimo simplificado resulta suficiente frente a las demandas reales del sistema estructural.

Ninguna de las columnas modeladas supera el 50 % de su capacidad resistente, lo que indica un amplio margen de seguridad frente a las demandas impuestas por las combinaciones de carga definidas en el análisis.

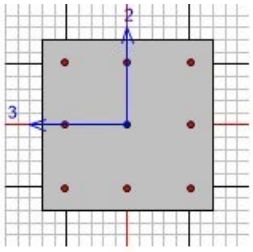
Se demuestra que el diseño propuesto por la metodología simplificada no sólo cumple con los requisitos mínimos normativos de cuantía, sino que proporciona secciones con una capacidad ampliamente suficiente frente a las solicitaciones reales del modelo estructural. Este resultado permite concluir preliminarmente que el enfoque simplificado no compromete la seguridad estructural, aunque resulta conservador.

Este margen de sub-utilización de la capacidad será un punto de partida para optimizar dimensiones de columnas manteniendo la seguridad estructural, pero mejorando la eficiencia material y económica del sistema.

Solamente una columna sobrepasa el 50 % de su capacidad, alcanzando tan solo el 60.8 % debido a una combinación de carga, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 118

Resumen de datos de columna al 60.8 % de su capacidad



Units Kgf, cm, C

ACI 318-14 COLUMN SECTION DESIGN Type: Sway Special Units: Kgf, cm, C (Summary)

Element : 100	B=45,	D=45,	dc=5,905
Section ID : Col. 0.45 x 0.45m	E=217370,651	fc=210,	Lt.Wt. Fac.=1,
Combo ID : CU3 = 1,05 CP + CT +L=385,		Fy=4218,418	fys=4218,418
Station Loc : 180,	RLLF=1,		

Phi(Compression-Spiral): 0,75 Overstrength Factor: 1,25
Phi(Compression-Tied): 0,65
Phi(Tension Controlled): 0,9
Phi(Shear): 0,75
Phi(Seismic Shear): 0,6
Phi(Joint Shear): 0,85

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT CHECK FOR PU, M2, M3

Capacity Ratio	Design Pu	Design M2	Design M3	Minimum M2	Minimum M3
0,608	-44596,329	-146941,169	128169,849	128169,849	128169,849

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT FACTORS

	Cm Factor	Delta_ns Factor	Delta_s Factor	K Factor	L Length
Major Bending(M3)	1,	1,	1,	1,	360,
Minor Bending(M2)	1,	1,	1,	1,	360,

4.1.4 Comprobación del Acero de Refuerzo Transversal Resultante del Método de Elementos Finitos

Figura 119

Comprobación del acero transversal para elementos en eje X del método de elementos finitos

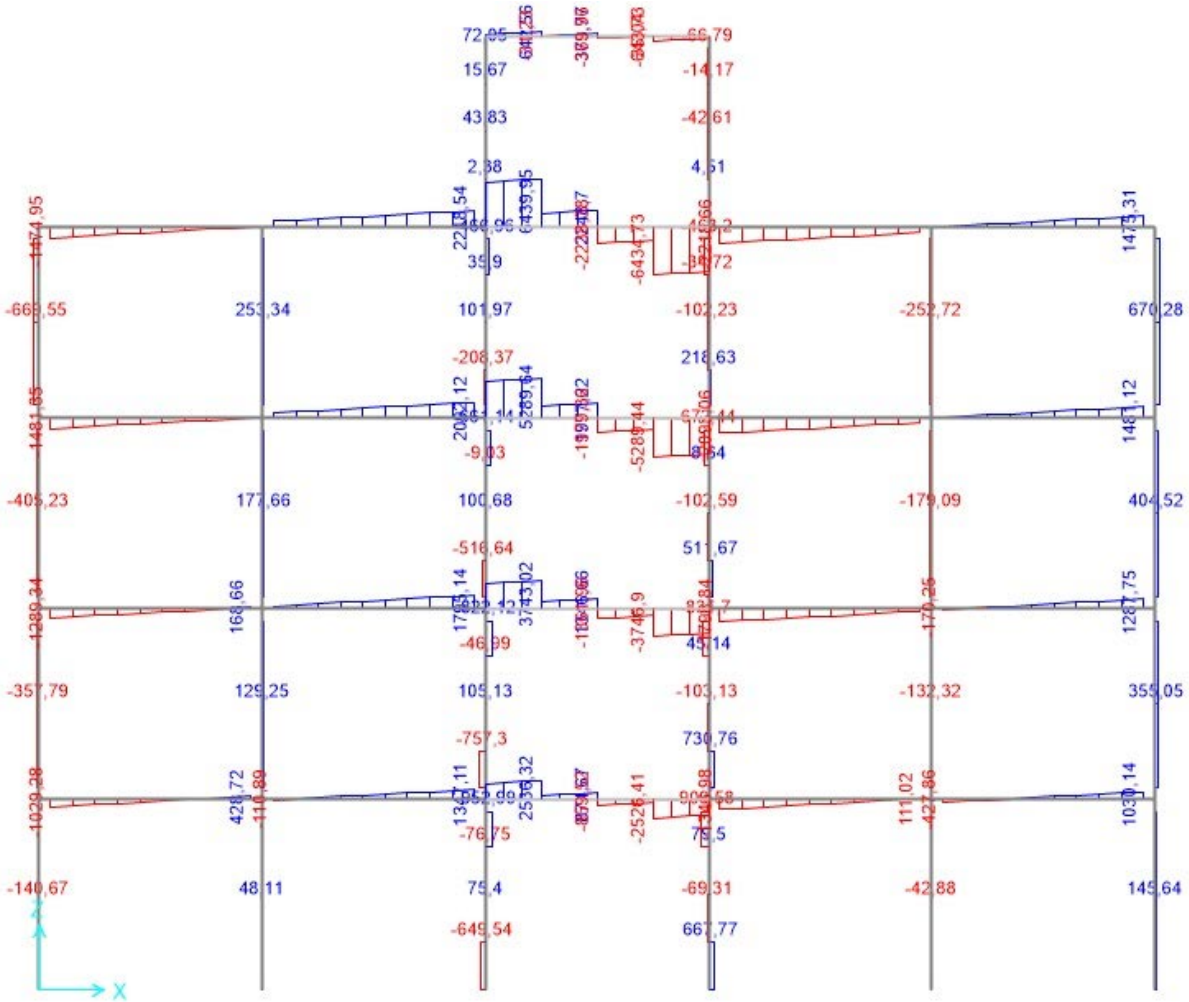
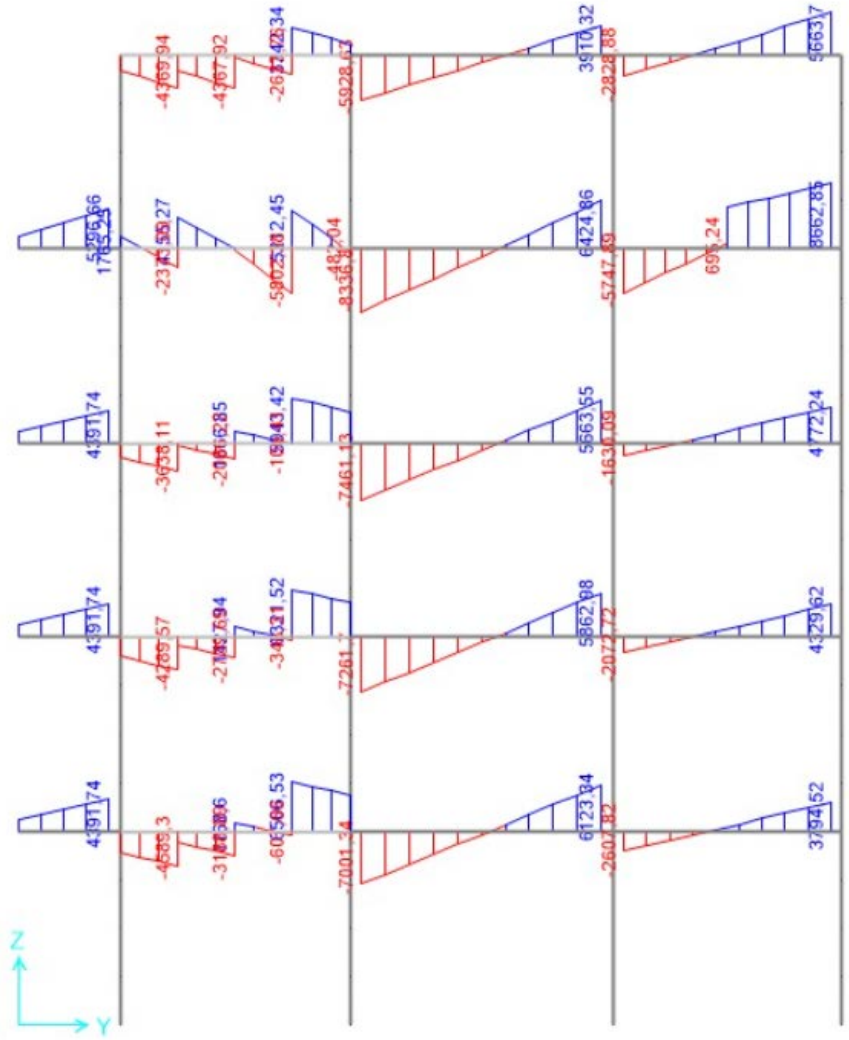


Figura 120

Comprobación del acero transversal para elementos en eje Y del método de elementos finitos



Una de las ventajas más significativas del análisis estructural realizado mediante el software SAP2000 es la posibilidad de obtener con precisión los diagramas de cortante para cada elemento del sistema estructural, permitiendo determinar de forma localizada y exacta la demanda de refuerzo transversal (estribos) en las vigas. A diferencia del método simplificado, que establece una cuantía mínima general o una fórmula estándar para el diseño del refuerzo a cortante sin considerar la distribución real de cargas, el análisis mediante elementos finitos permite identificar los puntos críticos en los que la fuerza cortante alcanza sus valores máximos, así como las regiones en las que esta demanda disminuye progresivamente hacia los vanos.

Con base en los diagramas de cortante generados por SAP2000 y aplicando los procedimientos normativos (por ejemplo, los establecidos en ACI 318), es posible calcular con precisión la cuantía necesaria de estribos y su espaciamiento a lo largo de cada tramo de viga, considerando tanto el esfuerzo cortante aportado por el concreto como el requerido por el refuerzo. Esto permite establecer zonas de refuerzo intensivo cercanas a los apoyos (donde se concentran las mayores fuerzas cortantes) y zonas con menor densidad de estribos hacia la mitad del vano, optimizando el uso de acero y mejorando la eficiencia estructural.

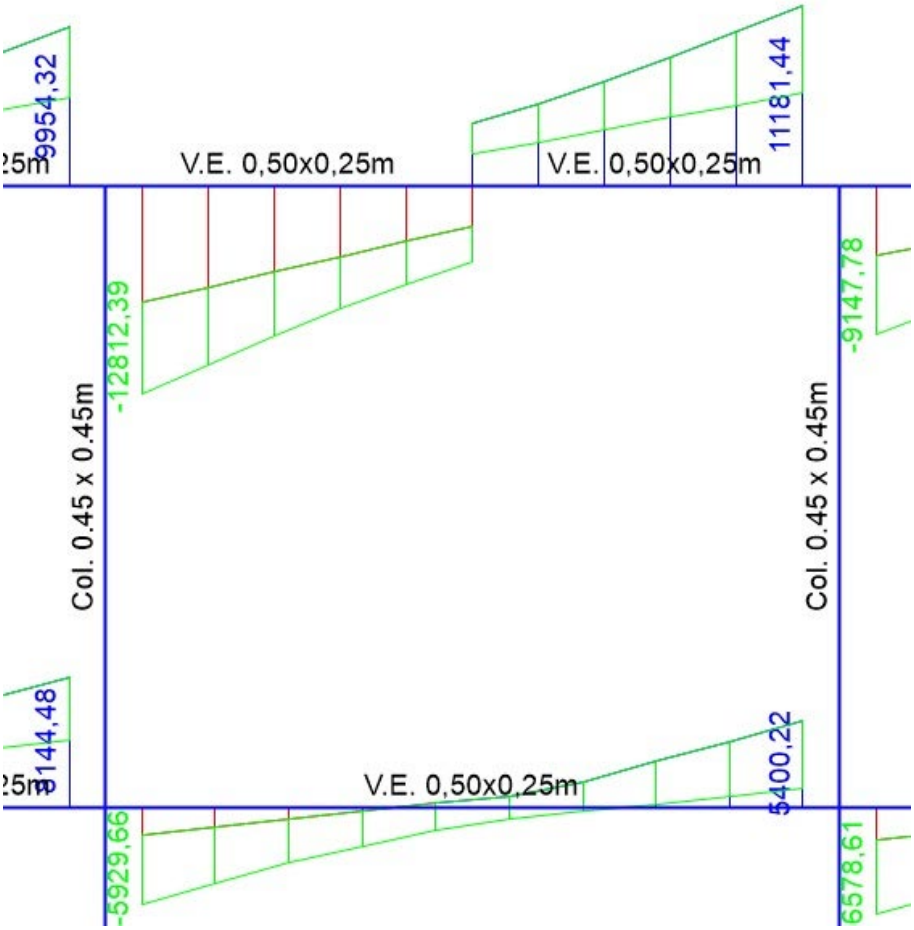
4.1.4.1 Detallado del Acero de Refuerzo Transversal Para Viga, Resultante del Método de Elementos Finitos (Viga en Eje B Entre Ejes 2 y 3)

La ventaja del método por elementos finitos radica en la capacidad de segmentar las vigas y evaluar los máximos esfuerzos en cada tramo, posibilitando así un diseño más eficiente del refuerzo transversal. Se determina, para cada sección crítica, la separación requerida entre estribos y el número de ramas necesarias, en función de la resistencia del concreto, el tipo de acero utilizado y las características geométricas de la sección transversal.

Este procedimiento contrasta con los métodos simplificados que asumen valores globales o aproximados, y en cambio proporciona un diseño más ajustado a la realidad del comportamiento estructural, optimizando el uso de materiales y mejorando la seguridad estructural.

Figura 121

Viga para diseño de estribos mediante resultados de SAP2000



Como valor de cortante de demanda o cortante actuante, se muestran dos valores (11.18 Ton y 12.81 Ton) del cuál para el cortante actuante V_a se elige el de 12.81 Ton.

- Cálculo de cortante por resistencia del concreto (V_c) :

$$V_c = 0{,}53\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \ \rightarrow 0{,}53\sqrt{210} \cdot 25 \cdot 44 = 8448{,}47kg = 8{,}44Ton \qquad (195)$$

- Cálculo de cortante por resistencia del acero (V_s) :

Se escogerá el diámetro de menor valor para comprobación y no el recomendado por la fórmula del método simplificado.

$$V_s = (A_v \cdot fy \cdot d)/s \ \rightarrow (1{,}42 \cdot 4200 \cdot 44)/15 = 17494{,}4kg = 17{,}49Ton \tag{196}$$

De este cálculo se obtendrán los distintos valores de espaciamiento (s) para optimizar el acero de refuerzo transversal a lo largo de la viga, con respecto al gráfico que suministra SAP2000.

- Cálculo de diseño por resistencia a cortante (V_n) :

$$\phi V_n = 0{,}85(V_c + V_s) \ \rightarrow 0{,}85(8{,}44 + 17{,}49) = 22{,}04Ton \tag{197}$$

- Comprobación de resistencia a cortante de demanda:

$$V_a < \phi V_n \ \rightarrow 12{,}81 < 22{,}04 \, cumple \tag{198}$$

Los resultados evidencian una diferencia sustancial entre ambos enfoques. Mientras que el método normativo, al emplear una cuantía conservadora basada en la fuerza cortante máxima estimada con aproximaciones generales, condujo a la especificación de estribos con un diámetro de hasta 2,22 cm (correspondiente a una barra n.° 7), el análisis detallado en SAP2000 determinó que el esfuerzo cortante real en la mayoría de los tramos de viga no requería un refuerzo de tal magnitud, permitiendo utilizar estribos de diámetro significativamente menor, como los de 0,95 cm (barra n.° 3), manteniendo la seguridad estructural.

Esta diferencia no solo tiene implicaciones técnicas en cuanto al ajuste del diseño a las solicitaciones reales de la estructura, sino también en términos de eficiencia económica y

constructiva. El diseño mediante análisis de elementos finitos permite optimizar el consumo de acero, evitando sobre-refuerzos innecesarios y facilitando la ejecución constructiva sin comprometer el comportamiento estructural ante cargas gravitacionales o laterales.

4.1.5 Comprobación de la Deflexión Resultante en Vigas con el Método de Elementos Finitos (Viga en Eje B Entre Ejes 3 y 4)

Para el análisis del comportamiento en servicio de los elementos estructurales horizontales, se ha considerado el control de la deflexión como uno de los factores clave que garantizan el confort y la funcionalidad de la edificación. En este contexto, se ha seleccionado una de las vigas más exigidas del sistema estructural ya que presenta la mayor longitud y soporta la carga más significativa, con el objetivo de evaluar el estado límite de servicio más crítico.

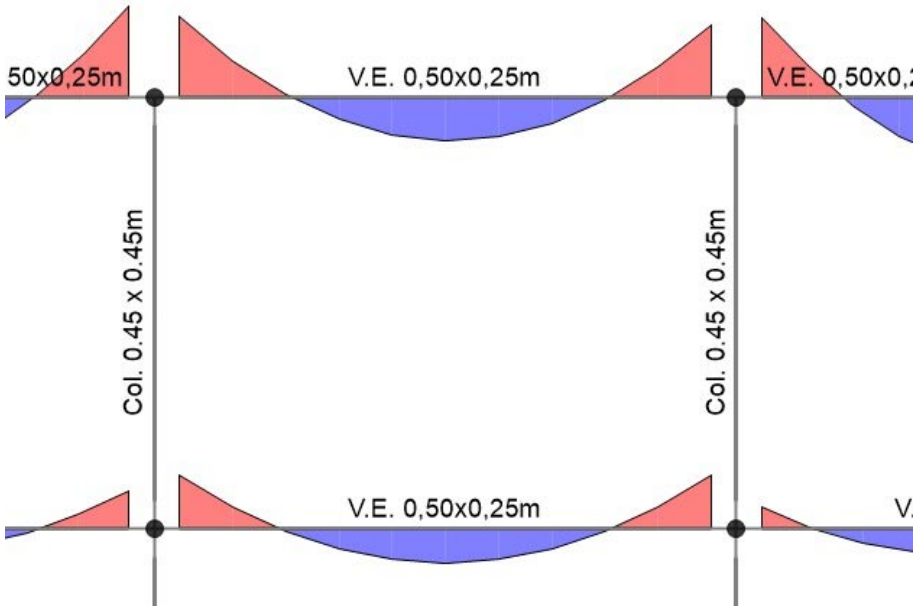
Se adoptó un límite permisible de deflexión de $L/480$, según lo recomendado por la norma ACI 318 (Sección 24.2.2), en virtud de la presencia de acabados frágiles como acabados de cielo y piso o sistemas de paredes livianas que podrían verse afectados por deformaciones excesivas. Esta relación límite garantiza que las deformaciones bajo cargas de servicio se mantengan dentro de valores aceptables, evitando agrietamientos, daños a elementos no estructurales, o percepciones negativas de confort.

Al verificar la deflexión de esta viga representativa utilizando dicho criterio, se puede obtener una conclusión conservadora sobre el desempeño global del sistema estructural, sirviendo como punto de análisis de referencia para el resto de las vigas del proyecto.

Mediante el análisis con SAP2000, se puede obtener con precisión la deformación vertical de las vigas bajo combinaciones de carga de servicio, lo cual permite contrastar estos valores con los límites establecidos.

Figura 122

Viga para comprobación de deflexión de los resultados de SAP2000



- Para la obtención de la deflexión máxima se calcula:

$$\Delta_{max} = \frac{5wL^4}{384EI} \tag{199}$$

Donde:

w: valor de carga distribuida que proviene del cálculo de áreas tributarias = 5552.27kg/m.

L: longitud de la viga = 5.20m

E: módulo de elasticidad del concreto = $15000\sqrt{210}$ pasar el valor de kg/cm^2 a kg/m^2 = 2173706500kg/m^2.

I: momento de inercia de la sección = $\frac{bh^3}{12}$ = 0.002604 m^4

$$\Delta_{max} = 0{,}00967m = 9{,}67mm \tag{200}$$

- Gráfico de la deflexión máxima en SAP2000:

Figura 123

Obtención de la deflexión máxima en viga con los resultados de SAP2000

- Comprobación con el límite de deflexión permitido:

$$\Delta_{max} \leq \frac{L}{480} \rightarrow 1{,}002 \leq \frac{5200mm}{480} \rightarrow 1{,}002 \leq 10{,}83\ cumple \tag{201}$$

Al realizar la verificación del estado límite de servicio por deflexión en una de las vigas principales del modelo, se obtuvo un valor máximo de 1.002 mm, el cual se encuentra muy por debajo del límite permisible de 10.83 mm, determinado según la relación normativa L/480 para elementos estructurales con acabados sensibles.

Este resultado indica que la sección transversal de la viga presenta una rigidez excesiva, en gran medida atribuida a una alta inercia producto de su altura o peralte. Aunque estructuralmente cumple y se comporta de manera eficiente frente a las cargas de servicio, desde el punto de vista del uso racional de materiales, esta sobrerresistencia puede representar un diseño sobredimensionado, lo cual implica un posible aumento innecesario en el consumo de concreto y acero.

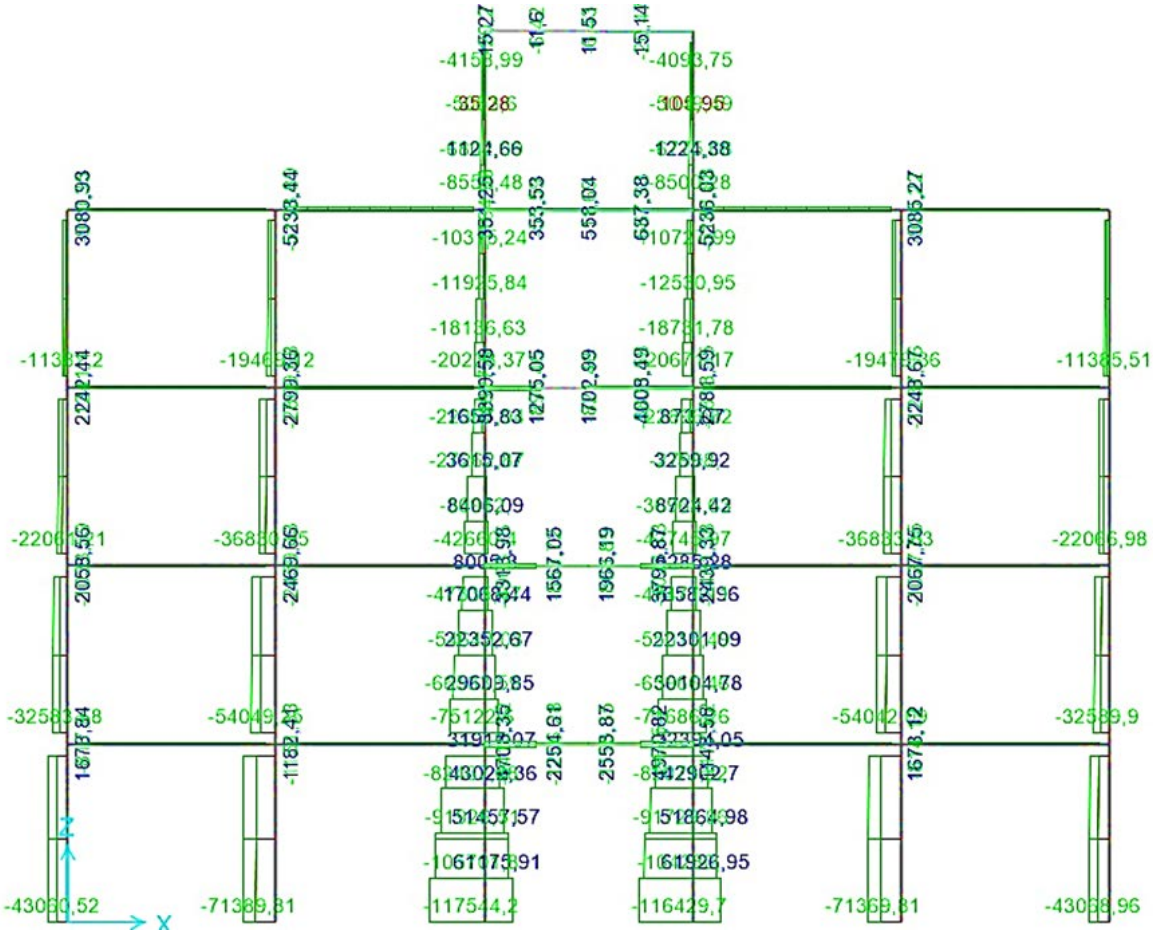
4.1.6 Comprobación de la Fuerza Axial con Momento de Vuelco y Dimensiones de Fundaciones en Columnas con el Método de Elementos Finitos

La determinación de las dimensiones de las fundaciones constituye una fase crítica dentro del proceso de diseño estructural, ya que estas deben estar directamente asociadas

a las cargas transferidas por los elementos verticales de la estructura y a la respuesta del sistema estructural ante las distintas combinaciones de carga. Mediante el análisis realizado en SAP2000 con la metodología de elementos finitos, es posible obtener de forma precisa las reacciones de base en las columnas, considerando tanto los efectos axiales como los momentos producidos por cargas horizontales, como el sismo o el viento.

Figura 124

Obtención de las cargas axiales para comprobación de cimentaciones en SAP2000



La información obtenida revela diferencias significativas entre ambos enfoques. Mientras que el método simplificado asume distribuciones simétricas y cargas relativamente uniformes, el análisis en SAP2000 refleja un comportamiento más realista del sistema, en el cual se evidencian variaciones notables en las cargas debido a la interacción tridimensional, excentricidades de carga, y rigidez relativa de elementos. Por ejemplo, en los ejes A y F se

observan reducciones de carga de hasta un 45 %, mientras que en los ejes C y D los valores son mayores en el modelo de SAP2000, debido posiblemente a la acumulación de carga gravitacional en zonas centrales del sistema estructural.

Tabla 101

Tabla de resultados de fuerzas axiales y momento de vuelco comparativas entre metodologías

Tabla de comparación de fuerzas aplicadas (Pu)						
Método	**Eje A (kg)**	**Eje B (kg)**	**Eje C (kg)**	**Eje D (kg)**	**Eje E (kg)**	**Eje F (kg)**
ACI314 RS-11	79153.01	95855.49	109932.35	109932.35	95855.49	79153.01
SAP2000	43060.52	71389.81	117544.20	116429.70	71369.81	43068.96

- Recálculo de área mínima para placas en columnas de los ejes C y D:

$$A_f\,(ejes\,C\,y\,D) = \frac{117544{,}20kg}{(1{,}33 \cdot 30000kg/m^2) - 16108{,}14kg/m^2} = 4{,}94m^2 \tag{202}$$

$$\sqrt{4{,}94} = 2{,}22m \approx 2{,}25m\ Lado\ \rightarrow 5cm +\ por\ lado \tag{203}$$

- Re cálculo de área mínima para placas en columnas de los ejes B y E:

$$A_f\,(ejes\,B\,y\,E) = \frac{71389{,}81kg}{(1{,}33 \cdot 30000kg/m^2) - 11998{,}45kg/m^2} = 2{,}56m^2 \tag{204}$$

$$\sqrt{2{,}56} = 1{,}60m \approx 1{,}60m\ Lado\ \rightarrow 26cm - por\ lado \tag{205}$$

- Re cálculo de área mínima para placas en columnas de los ejes A y F:

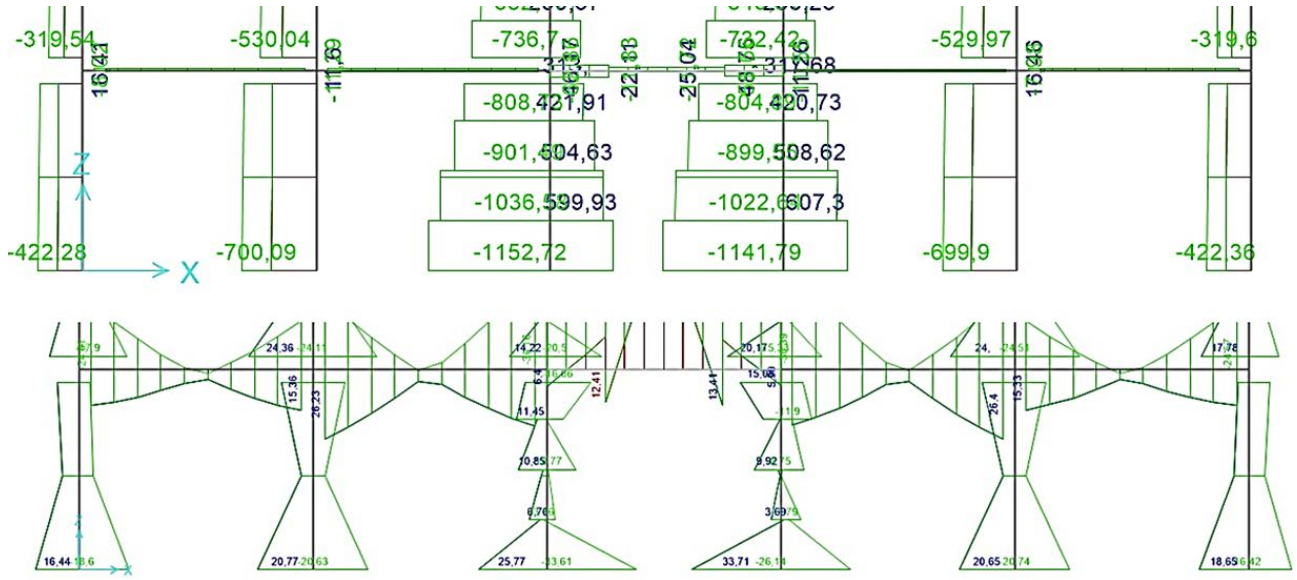
$$A_f\,(ejes\,A\,y\,F) = \frac{43068{,}96kg}{(1{,}33 \cdot 30000kg/m^2) - 8980{,}51kg/m^2} = 1{,}40m^2 \tag{206}$$

$$\sqrt{1{,}40} = 1{,}18m \approx 1{,}20m\ Lado\ \rightarrow 30cm - por\ lado \tag{207}$$

4.1.7 Comprobación de la Flexo-compresión en Columnas Para sus Dimensiones de Sección con el Método de Elementos Finitos

Figura 125

Obtención de las Cargas Axiales y de Momento Para Comprobación de Flexocompresión en SAP2000



- Cálculo para comprobación a flexo-compresión en columnas:

$$\phi P_n = 0{,}65\left(\gamma \cdot f'_c \cdot a \cdot b + f'_s \cdot A'_s - A_s \cdot f_s\right) \tag{208}$$

$$\phi M_n = 0{,}65\left[\gamma \cdot f'_c \cdot a \cdot b\left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + A'_s \cdot f'_s\left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s \cdot f_s\left(d - \frac{h}{2}\right)\right] \tag{209}$$

Donde:

c: Distancia de la cara comprimida del hormigón al eje neutro.

a: Altura del bloque de compresión equivalente del concreto.

b: Ancho de la columna o sección transversal de concreto.

h: Altura total de la columna o sección de análisis.

d: Distancia desde la fibra más comprimida hasta el eje de los aceros a tracción.

d': Distancia desde la fibra más comprimida hasta el eje de los aceros a compresión.

f'_c: Resistencia característica del concreto.

f_y: Resistencia a la fluencia del acero.

f'_s: Esfuerzo en los aceros a compresión.

f_s: Esfuerzo en los aceros a tracción.

A'_s: Área de acero colocada a compresión.

A_s: Área de acero colocada a tracción.

ε_{cu}: Deformación unitaria máxima del hormigón = 0.003.

E_s: Módulo de elasticidad del acero = 200000 MPa = 2000000000 kg/m^2.

ε_t: Deformación unitaria del acero a tracción.

γ: Factor de ajuste para la resistencia del concreto en flexocompresión.

ϕ: Factor de reducción de resistencia = 0.65.

Las expresiones mostradas corresponden a las ecuaciones fundamentales para calcular la resistencia axial y la resistencia a momento de una sección transversal de concreto reforzado, y son utilizadas para trazar el diagrama de interacción.

Estas expresiones consideran la contribución del concreto (a través del bloque rectangular de compresión), del acero a compresión y del acero a tracción, permitiendo obtener puntos clave en el diagrama de interacción. Este diagrama es esencial para evaluar la seguridad de columnas ante combinaciones de carga axial y momento flector.

Tabla 102

Tabla de datos de diseño a flexo-compresión

Tabla de datos con valores de bloque de compresión para creación de gráfica de fronteras e interacción												
c (m)	a (m)	$a \leq h$ (m)	$f's$	$f's < fy$ (MPa)	fs	$fs < fy$ (MPa)	Mn $(kN \cdot m)$	Pn (kN)	ϕ **x**	ϕMn $(kN \cdot m)$	ϕPn (kN)	εt
0.025	0.021	0.021	-600.00	-600.00	9000.00	420.00	9.75	-698.35	0.9	8.78	-628.51	0.045
0.050	0.043	0.043	0.00	0.00	4200.00	420.00	132.18	-16.46	0.9	118.96	-14.81	0.021
0.075	0.064	0.064	200.00	200.00	2600.00	420.00	191.34	324.63	0.9	172.20	292.17	0.013
0.100	0.085	0.085	300.00	300.00	1800.00	420.00	231.96	580.52	0.9	208.76	522.47	0.009
0.125	0.106	0.106	360.00	360.00	1320.00	420.00	262.99	802.33	0.9	236.69	722.10	0.007
0.150	0.128	0.128	400.00	400.00	1000.00	420.00	287.41	1007.10	0.9	258.66	906.39	0.005
0.175	0.149	0.149	428.57	420.00	771.43	420.00	305.22	1194.83	0.8015	244.62	957.63	0.004
0.200	0.170	0.170	450.00	420.00	600.00	420.00	316.42	1365.53	0.7276	230.22	993.54	0.003
0.225	0.191	0.191	466.67	420.00	466.67	420.00	323.99	1536.22	0.6701	217.11	1029.44	0.002
0.250	0.213	0.213	480.00	420.00	360.00	360.00	318.99	1758.03	0.6500	207.35	1142.72	0.002
0.275	0.234	0.234	490.91	420.00	272.73	272.73	306.30	2003.07	0.65	199.10	1302.00	0.001
0.300	0.255	0.255	500.00	420.00	200.00	200.00	292.15	2235.73	0.65	189.90	1453.22	0.001
0.325	0.276	0.276	507.69	420.00	138.46	138.46	276.04	2458.85	0.65	179.43	1598.25	0.001
0.350	0.298	0.298	514.29	420.00	85.71	85.71	257.61	2674.48	0.65	167.45	1738.41	0.000
0.375	0.319	0.319	520.00	420.00	40.00	40.00	236.61	2884.12	0.65	153.80	1874.68	0.000
0.400	0.340	0.340	525.00	420.00	0.00	0.00	212.83	3088.89	0.65	138.34	2007.78	0.000
0.425	0.361	0.361	529.41	420.00	-35.29	-35.29	186.12	3289.65	0.65	120.98	2138.27	0.000
0.450	0.383	0.383	533.33	420.00	-66.67	-66.67	156.38	3487.07	0.65	101.64	2260.62	0.000
0.475	0.404	0.404	536.84	420.00	-94.74	-94.74	123.49	3681.68	0.65	80.27	2260.62	0.000
0.500	0.425	0.425	540.00	420.00	-120.00	-120.00	87.40	3873.89	0.65	56.81	2260.62	-0.001
0.525	0.446	0.446	542.86	420.00	-142.86	-142.86	48.04	4064.06	0.65	31.23	2260.62	-0.001
0.550	0.468	0.450	545.45	420.00	-163.64	-163.64	38.22	4111.88	0.65	24.85	2260.62	-0.001
0.575	0.489	0.450	547.83	420.00	-182.61	-182.61	35.40	4128.05	0.65	23.01	2260.62	-0.001
0.600	0.510	0.450	550.00	420.00	-200.00	-200.00	32.80	4142.87	0.65	21.32	2260.62	-0.001
0.625	0.531	0.450	552.00	420.00	-216.00	-216.00	30.42	4156.50	0.65	19.77	2260.62	-0.001
0.650	0.553	0.450	553.85	420.00	-230.77	-230.77	28.21	4169.08	0.65	18.34	2260.62	-0.001
0.675	0.574	0.450	555.56	420.00	-244.44	-244.44	26.18	4180.73	0.65	17.01	2260.62	-0.001
0.700	0.595	0.450	557.14	420.00	-257.14	-257.14	24.28	4191.55	0.65	15.78	2260.62	-0.001
0.725	0.616	0.450	558.62	420.00	-268.97	-268.97	22.52	4201.62	0.65	14.64	2260.62	-0.001
0.750	0.638	0.450	560.00	420.00	-280.00	-280.00	20.87	4211.03	0.65	13.57	2260.62	-0.001
0.775	0.659	0.450	561.29	420.00	-290.32	-290.32	19.33	4219.82	0.65	12.57	2260.62	-0.001
0.800	0.680	0.450	562.50	420.00	-300.00	-300.00	17.89	4228.07	0.65	11.63	2260.62	-0.002
0.825	0.701	0.450	563.64	420.00	-309.09	-309.09	16.54	4235.81	0.65	10.75	2260.62	-0.002
0.850	0.723	0.450	564.71	420.00	-317.65	-317.65	15.26	4243.10	0.65	9.92	2260.62	-0.002
0.875	0.744	0.450	565.71	420.00	-325.71	-325.71	14.06	4249.97	0.65	9.14	2260.62	-0.002
0.900	0.765	0.450	566.67	420.00	-333.33	-333.33	12.92	4256.47	0.65	8.40	2260.62	-0.002
0.925	0.786	0.450	567.57	420.00	-340.54	-340.54	11.85	4262.61	0.65	7.70	2260.62	-0.002
0.950	0.808	0.450	568.42	420.00	-347.37	-347.37	10.83	4268.42	0.65	7.04	2260.62	-0.002
0.975	0.829	0.450	569.23	420.00	-353.85	-353.85	9.86	4273.94	0.65	6.41	2260.62	-0.002
1.000	0.850	0.450	570.00	420.00	-360.00	-360.00	8.95	4279.19	0.65	5.81	2260.62	-0.002
1.025	0.871	0.450	570.73	420.00	-365.85	-365.85	8.07	4284.17	0.65	5.25	2260.62	-0.002
1.050	0.893	0.450	571.43	420.00	-371.43	-371.43	7.24	4288.92	0.65	4.71	2260.62	-0.002
1.075	0.914	0.450	572.09	420.00	-376.74	-376.74	6.45	4293.45	0.65	4.19	2260.62	-0.002
1.100	0.935	0.450	572.73	420.00	-381.82	-381.82	5.69	4297.77	0.65	3.70	2260.62	-0.002
1.125	0.956	0.450	573.33	420.00	-386.67	-386.67	4.97	4301.91	0.65	3.23	2260.62	-0.002
1.150	0.978	0.450	573.91	420.00	-391.30	-391.30	4.28	4305.86	0.65	2.78	2260.62	-0.002
1.175	0.999	0.450	574.47	420.00	-395.74	-395.74	3.62	4309.64	0.65	2.35	2260.62	-0.002
1.200	1.020	0.450	575.00	420.00	-400.00	-400.00	2.98	4313.27	0.65	1.94	2260.62	-0.002
1.225	1.041	0.450	575.51	420.00	-404.08	-404.08	2.37	4316.74	0.65	1.54	2260.62	-0.002
1.250	1.063	0.450	576.00	420.00	-408.00	-408.00	1.79	4320.08	0.65	1.16	2260.62	-0.002
1.275	1.084	0.450	576.47	420.00	-411.76	-411.76	1.23	4323.29	0.65	0.80	2260.62	-0.002
1.300	1.105	0.450	576.92	420.00	-415.38	-415.38	0.69	4326.37	0.65	0.45	2260.62	-0.002
1.325	1.126	0.450	577.36	420.00	-418.87	-418.87	0.17	4329.34	0.65	0.11	2260.62	-0.002
1.350	1.148	0.450	577.78	420.00	-422.22	-422.22	-0.33	4332.20	0.65	-0.22	2260.62	-0.002
1.375	1.169	0.450	578.18	420.00	-425.45	-425.45	-0.81	4334.95	0.65	-0.53	2260.62	-0.002
1.400	1.190	0.450	578.57	420.00	-428.57	-428.57	-1.28	4337.61	0.65	-0.83	2260.62	-0.002
1.425	1.211	0.450	578.95	420.00	-431.58	-431.58	-1.73	4340.17	0.65	-1.12	2260.62	-0.002
1.450	1.233	0.450	579.31	420.00	-434.48	-434.48	-2.16	4342.64	0.65	-1.40	2260.62	-0.002
1.475	1.254	0.450	579.66	420.00	-437.29	-437.29	-2.58	4345.03	0.65	-1.68	2260.62	-0.002
1.500	1.275	0.450	580.00	420.00	-440.00	-440.00	-2.98	4347.35	0.65	-1.94	2260.62	-0.002

- Comprobación mediante diagrama de interacción

Figura 126

Comprobación de solicitaciones de diseño entre fronteras con diagrama de interacción SAP2000

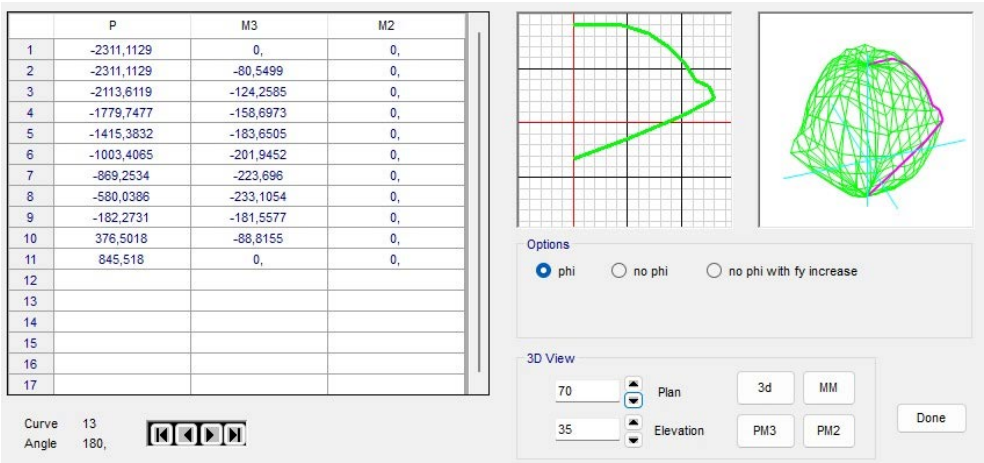
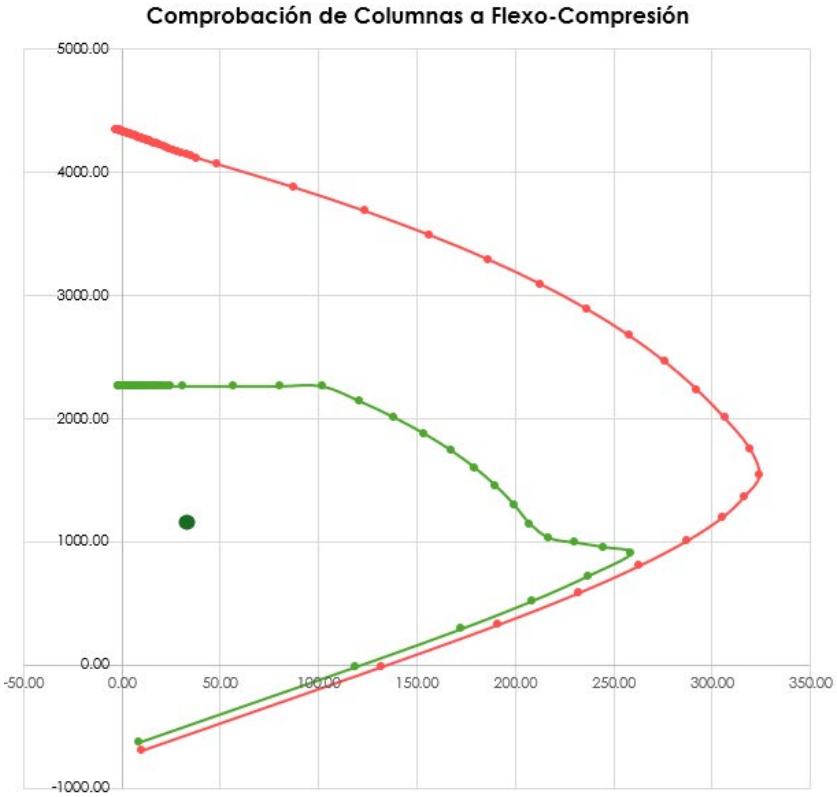


Figura 127

Ubicación de las solicitaciones dentro de la línea de frontera en diagrama de integración



A través del diagrama de interacción axial-momento generado por SAP2000, se puede observar que las solicitaciones aplicadas sobre la columna se encuentran dentro del dominio de resistencia definido por la norma, específicamente por debajo de la curva de capacidad (línea verde). Esto indica que el elemento estructural se encuentra trabajando dentro de su rango elástico y con márgenes amplios de seguridad estructural, sin comprometer su integridad ni su estabilidad bajo la combinación de carga evaluada.

Con base en los resultados, la carga axial máxima aplicada es de 117,544.72 kg, mientras que la capacidad de diseño axial es de 230,519.08 kg, lo que representa un uso de aproximadamente el 51 % de su capacidad axial. En cuanto al momento flector, el elemento está sometido a 3,427.27 $kg \cdot m$, mientras que su capacidad resistente alcanza hasta 10,364.39 $kg \cdot m$, lo cual representa un uso de aproximadamente el 33 % de su capacidad flectora.

Estos valores reflejan que la columna está sobredimensionada respecto a las solicitaciones reales, resultado directo del enfoque conservador del método simplificado de diseño. Esta condición abre la posibilidad de rediseñar la sección estructural optimizando el uso de materiales y ajustando su capacidad de acuerdo con las demandas específicas del análisis. Precisamente, este es uno de los objetivos principales de la presente tesis: demostrar que, mediante herramientas de análisis avanzado como SAP2000, es factible realizar un diseño más ajustado y eficiente sin comprometer la seguridad estructural.

4.2 Transición Hacia el Análisis Económico de Secciones Estructurales

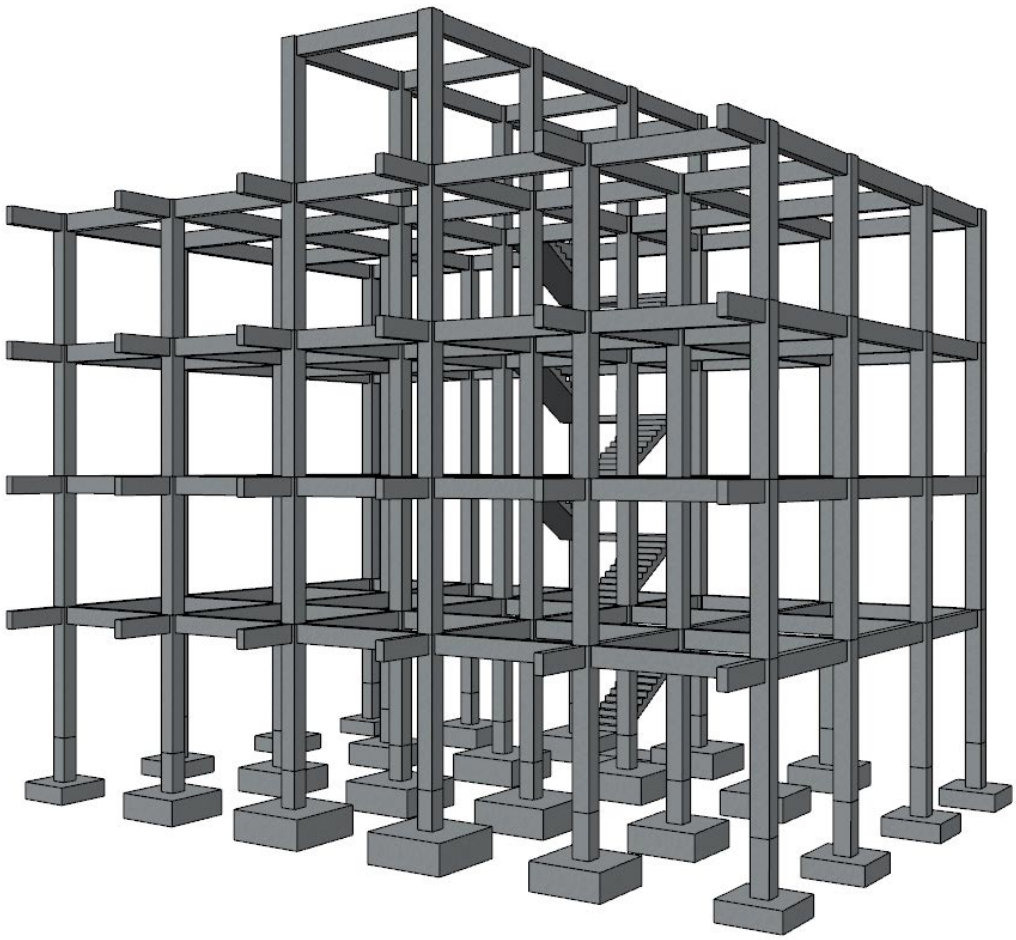
Una vez verificado el comportamiento estructural del modelo mediante análisis comparativos y herramientas numéricas, y comprobado que los elementos diseñados satisfacen los criterios normativos de resistencia, rigidez y estabilidad, resulta pertinente evaluar el impacto económico de estas soluciones estructurales.

Dado que la eficiencia estructural no solo se mide por su comportamiento ante cargas, sino también por su viabilidad constructiva y optimización de recursos, a continuación se

propone el análisis de una sección típica representativa para estimar el consumo de materiales estructurales como el concreto y el acero que intervienen en su ejecución. Este análisis permitirá en la etapa de conclusiones, cuantificar diferencias de consumo entre el diseño obtenido por el método simplificado y el generado por la metodología con elementos finitos, y así determinar el potencial ahorro en materiales y costos.

Figura 128

Cuadrícula y marcos estructurales conformados por columnas y vigas



- Cantidad de columnas: 104 de 0.45x0.45m de sección.
- Cantidad de vigas: 162 de 0.50x0.25m de sección.

4.2.1 Análisis de Costos por Material en Elementos Representativos

Dado que la estructura analizada está compuesta por un total de 104 columnas y 162 vigas, resulta pertinente realizar un análisis individualizado de los costos por materiales involucrados en una columna y una viga tipo. Esta evaluación permitirá establecer comparaciones directas entre el diseño original propuesto mediante el método simplificado y las secciones estructurales optimizadas obtenidas a través del análisis por elementos finitos.

El análisis se centrará exclusivamente en el costo de materiales estructurales: concreto y acero de refuerzo, considerando tanto el acero longitudinal como el transversal (en el caso de vigas). Esta aproximación tiene como objetivo cuantificar, con precisión, el impacto económico asociado al volumen y peso de los materiales empleados en cada sección estructural.

Dada la cantidad total de elementos repetitivos dentro del edificio, incluso pequeñas diferencias de consumo por unidad pueden representar una variación significativa en el costo global de materiales. Por tanto, este análisis cobra relevancia no solo desde la eficiencia estructural, sino también como un insumo clave para decisiones orientadas a la optimización presupuestaria.

Posteriormente, los resultados obtenidos serán utilizados como base para aplicar indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno de Inversión (ROI), con el fin de evaluar la rentabilidad de adoptar soluciones estructurales más eficientes desde el punto de vista técnico y económico.

4.2.2 Desarrollo de los Planos Constructivos Para el Análisis de Costos por Material

Para llevar a cabo un análisis de costos de materiales preciso en los elementos estructurales, es fundamental contar con planos constructivos detallados de cada una de las secciones representativas. Estos planos permiten visualizar de forma clara la geometría, dimensiones, disposición del acero de refuerzo y demás características necesarias que inciden directamente en la cuantificación de materiales.

El desarrollo de estos planos se realizará mediante un software de diseño asistido por computadora (CAD), como AutoCAD, el cual brinda una plataforma adecuada para representar en 2D cada sección con los niveles de detalle requeridos para una correcta interpretación y medición. La representación gráfica de columnas y vigas incluirá aspectos como el espesor de recubrimiento, el número y diámetro de barras de refuerzo, la separación de estribos y las dimensiones totales de la sección.

Esta documentación gráfica actúa como una guía técnica que respalda la estimación de cantidades de concreto y acero, evitando suposiciones o aproximaciones que puedan distorsionar los resultados del análisis de costos. Además, estos planos permitirán comparar visualmente las diferencias entre el diseño original y las secciones optimizadas, lo cual facilita la toma de decisiones fundamentadas al momento de proponer mejoras estructurales con criterios técnicos y económicos.

4.2.2.1 Detalle Típico de Viga de Entrepiso

Para representar adecuadamente la configuración estructural y constructiva de las vigas de entrepiso del proyecto, se ha elaborado un detalle típico con base en los lineamientos establecidos en el Manual para el Detallamiento de Elementos de Hormigón Armado y en conformidad con lo estipulado por la norma ACI 314 RS-11.

Tabla 103

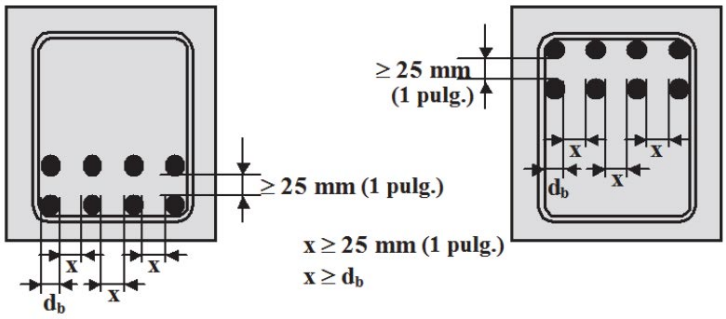
Número máximo de barras longitudinales en una capa para vigas maestras y vigas

Ancho del alma de vigas maestras y vigas b_w, mm (pulg.)	Número máximo de barras longitudinales
$b_w < 200$ mm (8 pulg.)	Sección no permitida
200 mm (8 pulg.) $\leq b_w < 250$ mm (10 pulg.)	Dos barras
250 mm (10 pulg.) $\leq b_w < 300$ mm (12 pulg.)	Tres barras
300 mm (12 pulg.) $\leq b_w$	$\leq b_w/50-3 \quad [\leq b_w/2-3\,(US)]$ barras

Nota. Tabla 8.4.3.2., ACI 314 RS-11, 2025.

Figura 129

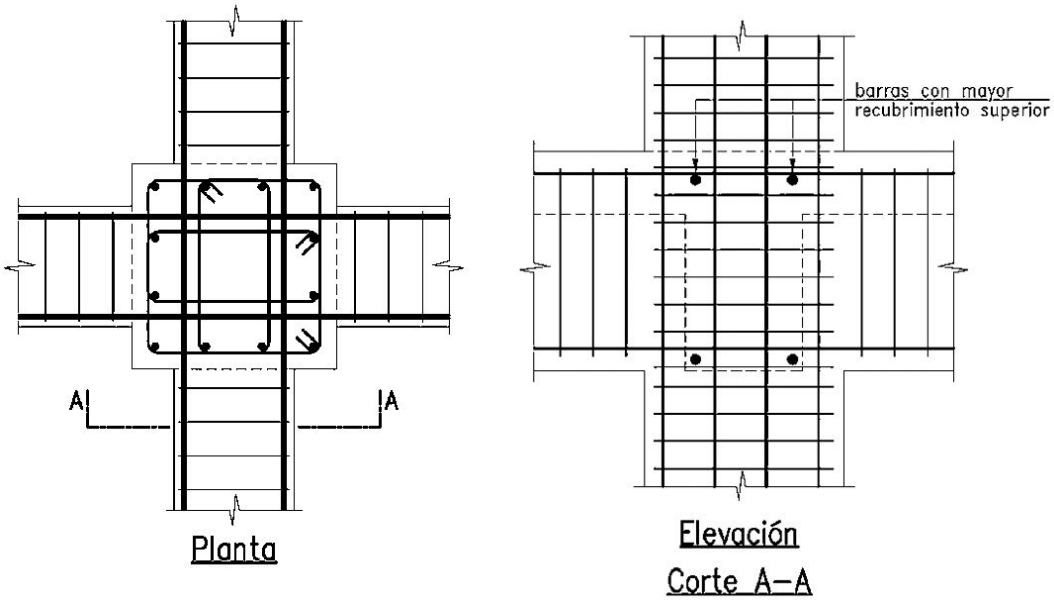
Separación libre mínima entre barras de refuerzo en una capa y distancia libre entre capas de refuerzo



Nota. ACI 314 RS-11, 2025.

Figura 130

Detalle de vigas en cruz de menor espesor que la columna



Nota. Manual para el detallamiento de elementos de hormigón armado, 2025.

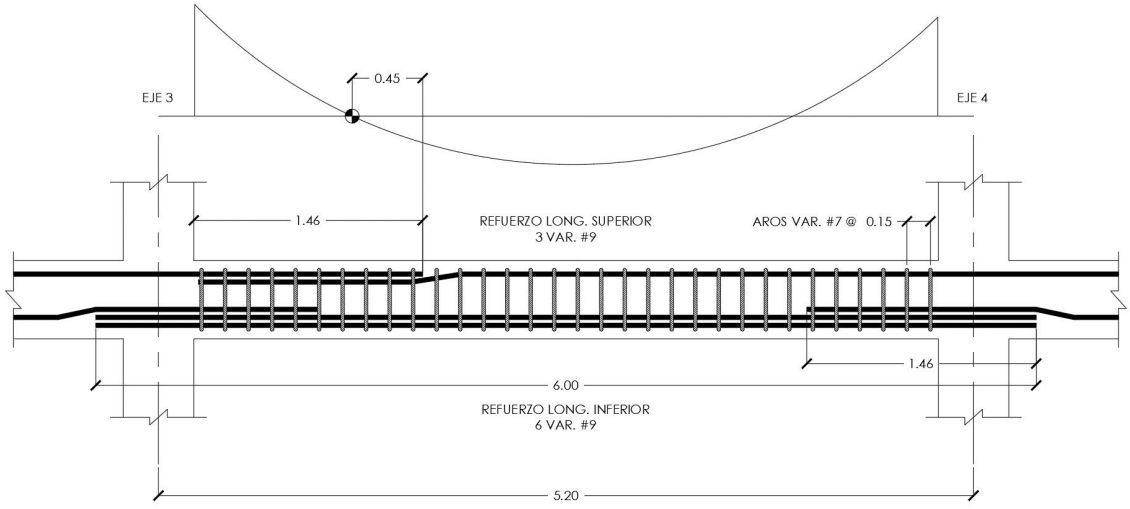
Con base en los lineamientos normativos establecidos y las buenas prácticas de ingeniería estructural, el desarrollo del detalle constructivo se realizará asegurando una distribución precisa y funcional del refuerzo de acero. Este nivel de precisión permite representar de forma clara la disposición del acero longitudinal y transversal, garantizando la capacidad

resistente del elemento y cumpliendo con los criterios de seguridad estructural definidos por manuales y normativas.

- Detalle típico de viga de entrepiso:

Figura 131

Detalle de acero de refuerzo en viga de entrepiso



4.2.2.2 Cálculo Presupuestario de Materiales Para Viga de Entrepiso

- Referencia de precio para el concreto premezclado:

Figura 132

Referencia de precio del concreto premezclado

Ver detalle »

CÓDIGO : 30111505920586580000003

CONCRETO PREMEZCLADO, RESISTENCIA MINIMA 210 kg/cm² (20,69 Mpa), ADITIVO CON ACELERANTE A 10 DIAS ,TAMAÑO MAXIMO 19,05 mm, CALIDAD SEGUN NORMA ASTM C94/C94M-04, ASTM C33, RTCR 383 (m3) Marca HOLCIM (COSTA RICA) S.A. Modelo HOLCIM (COSTA RICA) S.A.	m3	1	85.500	85.500

Reserva presupuestaria | **Centro de costos/ Estructura presupuestaria**

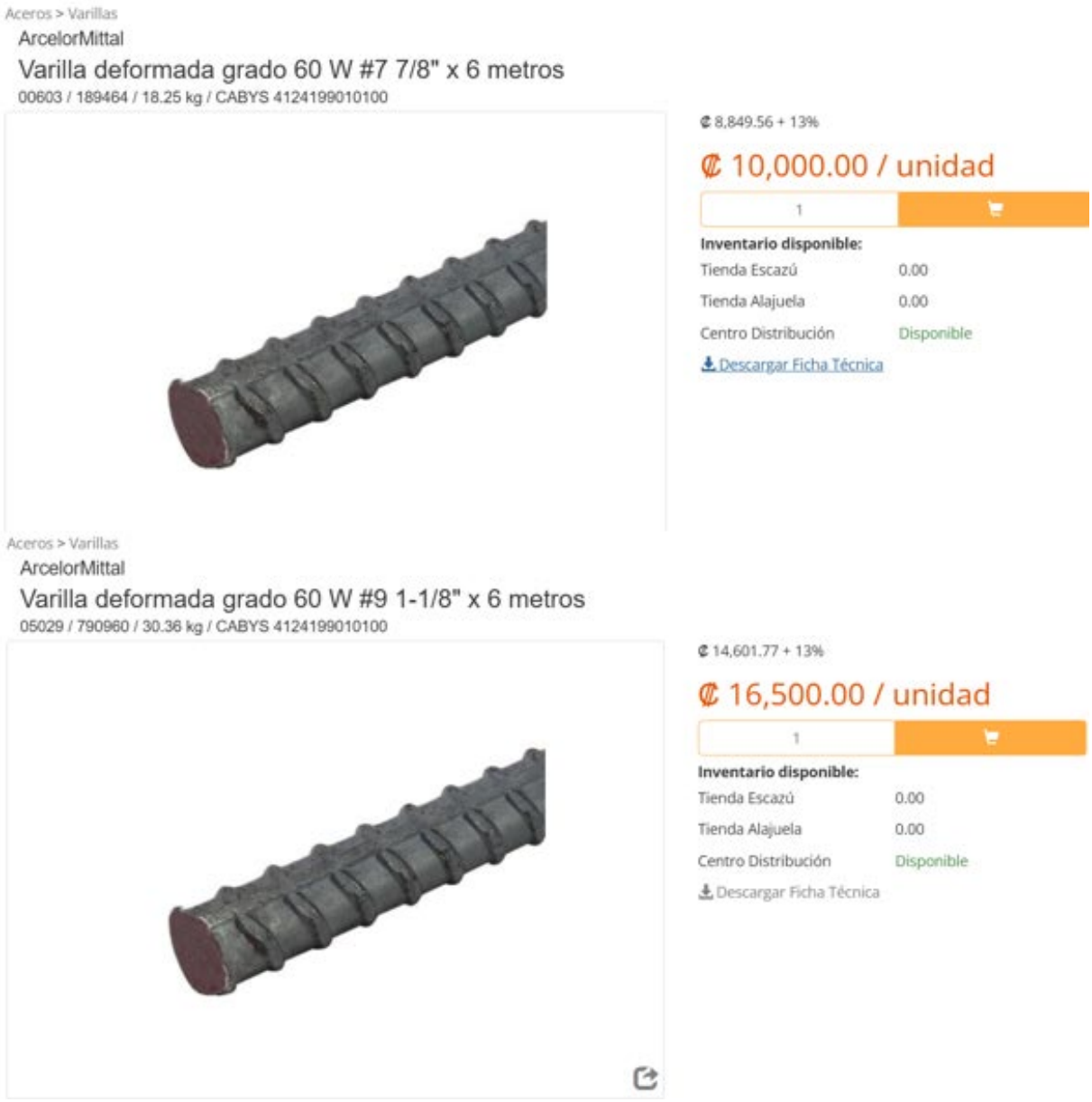
Crédito fiscal ○ Sí ◉ No **Subpartida / Objeto Gasto** 5.02.07

Nota. SICOP, 2025.

- Referencia de precio para el acero n.° 7 y n.° 9:

Figura 133

Referencia de precio del acero diámetros n.° 7 y n.° 9



Nota. Catálogo de productos Construplaza, 2025.

Tabla 104

Desglose de datos de elemento estructural

Desglose de datos de elemento estructural		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Viga de entrepiso 0.50x0.25m		
Longitud	4.25	m
Peralte	0.50	m
Base	0.25	m
Refuerzo longitudinal		
Longitud varilla No 9	6.00	m
Longitud de estribo No 7	1.31	m
Separación de estribos	0.15	m
Cantidad de estribos	28	unid.

Tabla 105

Desglose de costos total de vigas de entrepiso

Desglose de costos total de vigas de entrepiso				
Descripción	**Valor**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Sub total**
Concreto premezclado	0.53	m^3	₡85,500.00	₡45,421.88
Varilla # 9	9	unid.	₡16,500.00	₡148,500.00
Varilla # 7	31	unid.	₡10,000.00	₡310,000.00
Cantidad Total de Vigas de entrepiso	162	unid.	**Costo Total**	**₡81,635,343.75**
				$162,545.73

Finalizado el proceso de cuantificación, se ha obtenido el costo total de materiales requerido para la construcción de una viga de entrepiso representativa del sistema estructural. Este resultado constituye un insumo clave dentro del análisis comparativo de eficiencia estructural, ya que permitirá contrastar los requerimientos económicos del diseño original frente a posibles propuestas optimizadas. El detalle obtenido servirá además como referencia directa para escalonar el costo total del sistema de vigas, permitiendo una visión clara del impacto económico del diseño en su conjunto.

4.2.2.3 Detalle Típico de Columna

Para el desarrollo del detalle constructivo de la columna típica, se han aplicado las recomendaciones establecidas por la norma ACI 314 RS-11, las cuales aseguran una correcta disposición y cuantificación del acero de refuerzo. Entre los aspectos considerados destacan la distribución adecuada de las barras longitudinales, el número máximo de barras por cara en secciones rectangulares, y la separación vertical de los estribos, la cual debe cumplir con los requisitos de confinamiento estructural y resistencia a cargas laterales. Este procedimiento garantiza que el diseño no solo cumpla con los criterios estructurales mínimos, sino que también represente fielmente las condiciones que serán utilizadas en el cálculo de los costos de materiales.

Tabla 106

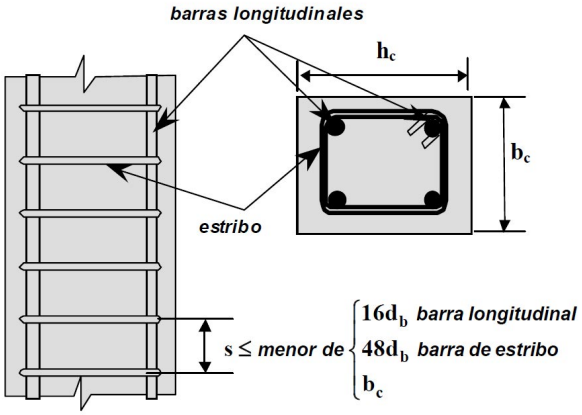
Número máximo de barras longitudinales por cara en una columna rectangular

Dimensión de columna b_c, mm (pulg.)	Número máximo de barras longitudinales
$b_c < 250$ mm (10 pulg.)	Sección no permitida
250 mm (10 pulg.) $\le b_c <$ 300 mm (12 pulg.)	Tres barras
300 mm (12 pulg.) $\le b_c$	$\le b_c/75$ $\left[b_c/3(US)\right]$ barras

Nota. Tabla 10.4.2.11., ACI 314 RS-11, 2025.

Figura 134

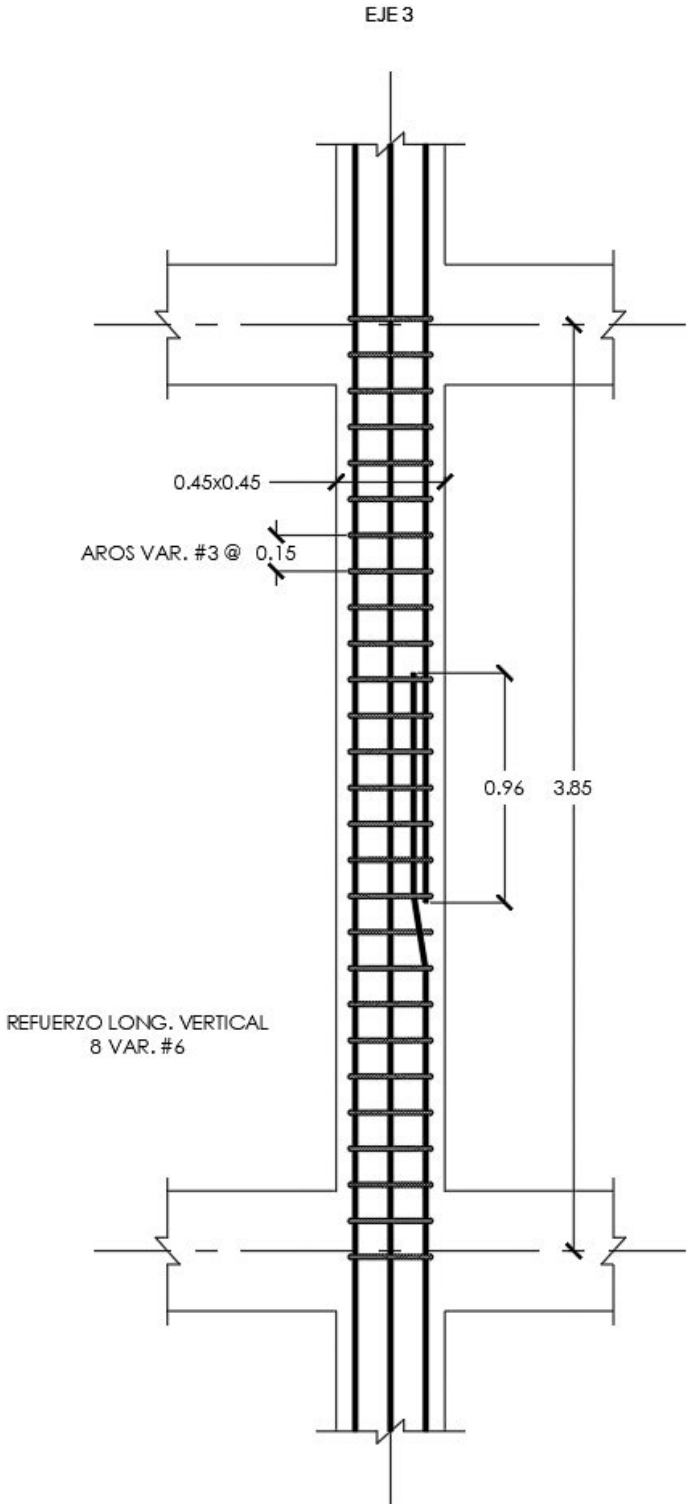
Separación vertical de estribos en columnas



Nota. Fig. 10.4.3.2b., ACI 314 RS-11, 2025.

- Detalle típico de columna:

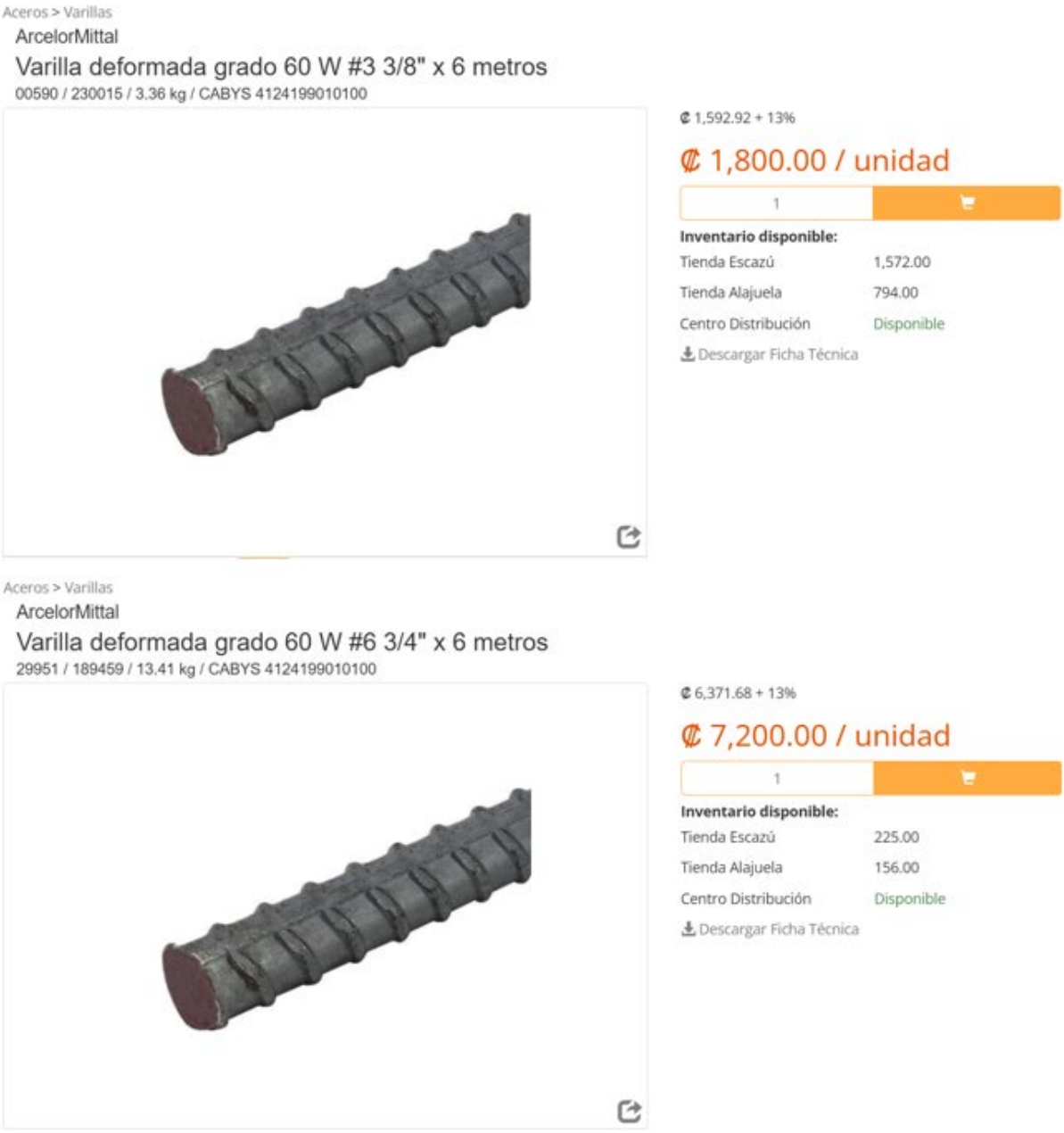
Figura 135
Detalle típico de acero de refuerzo en columna



- Referencia de precio para el acero n.° 3 y n.° 6:

Figura 136

Referencia de precio del acero diámetros n.° 3 y n.° 6



Nota. Catálogo de productos Construplaza, 2025.

Tabla 107

Desglose de datos de elemento estructural columna

Desglose de datos de elemento estructural		
Descripción	Valor	Unidad
Columna		
Longitud	3,85	m
Peralte	0,45	m
Base	0,45	m
Refuerzo longitudinal		
Longitud varilla # 6	6,00	m
Longitud de estribo # 3 Ramal 1	1,60	m
Longitud de estribo # 3 Ramal 2	1,20	m
Separación de estribos	0,15	m
Cantidad de estribos Ramal 1	27	unid.
Cantidad de estribos Ramal 2	27	unid.

Tabla 108

Desglose de costos total de columnas

Descripción	**Valor**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Sub total**
Concreto premezclado	0,78	m^3	₡85,500.00	₡66,657.94
Varilla # 6	8	unid.	₡7,200.00	₡57,600.00
Varilla # 3	13	unid.	₡1,800.00	₡22,680.00
Cantidad Total de columnas	104	unid.	**Costo Total**	**₡15,281,545.50**
				$30,427.38

Finalizado el cálculo del costo total de materiales para una columna diseñada bajo la metodología del diseño simplificado, se ha obtenido una estimación precisa del volumen de concreto requerido, la cantidad de acero longitudinal y transversal, y los demás insumos necesarios para su construcción. Esta información resulta clave, ya que proporciona una base objetiva para realizar una comparación directa con el costo resultante de la columna diseñada mediante la metodología de elementos finitos en SAP2000. Además, al considerar que la estructura total del edificio está conformada por 104 columnas, este análisis adquiere mayor relevancia, dado que pequeñas variaciones en el diseño pueden representar impactos significativos en los costos globales del proyecto.

4.3 Síntesis del Análisis de la Información

A lo largo de este capítulo, se ha realizado una evaluación exhaustiva del comportamiento estructural de los elementos principales del edificio como lo son las vigas y columnas, diseñados bajo la metodología simplificada de la norma ACI 314 RS-11. Mediante el uso del software SAP2000, se comprobaron las solicitaciones reales de carga, cortante, momento y deflexión, lo cual permitió contrastar con precisión la capacidad estructural diseñada inicialmente. Este análisis reveló que, si bien el diseño simplificado garantiza márgenes de seguridad adecuados, también presenta claros indicios de sobredimensionamiento en algunos elementos, particularmente en el refuerzo transversal de vigas y en la carga axial asumida por las columnas.

Asimismo, se procedió a realizar un análisis de costos de materiales para ambos tipos de elementos estructurales (vigas y columnas), con el objetivo de cuantificar económicamente los requerimientos constructivos definidos por el diseño simplificado. Como se muestra en la imagen adjunta, el costo total estimado en materiales para las vigas de entrepiso asciende a ₡81,746,680.10 y para las columnas a ₡15,281,545.50, cifras que permiten establecer una línea base sólida para la comparación con una futura propuesta optimizada.

Los resultados obtenidos hasta aquí sustentan la necesidad de plantear alternativas de rediseño más eficientes, en términos estructurales y económicos, utilizando metodologías avanzadas de análisis, como lo es el modelado por elementos finitos en SAP2000. A partir del siguiente capítulo, se desarrollará la propuesta de rediseño basada en estas herramientas, orientada a lograr una solución más ajustada a las solicitaciones reales y con una posible optimización en el uso de materiales. Este rediseño será posteriormente evaluado desde una perspectiva financiera, utilizando herramientas como el VAN, TIR y ROI, con el fin de determinar la viabilidad y conveniencia económica de adoptar un enfoque basado en ingeniería asistida por software.

CAPÍTULO 5

PROPUESTA

5.1 Desarrollo de la Propuesta

En este capítulo se plantea una propuesta de optimización estructural basada en el análisis detallado con el método de elementos finitos, utilizando el software SAP2000 como herramienta principal de modelado y evaluación. El objetivo central de esta propuesta es rediseñar las secciones de vigas y columnas empleadas previamente en la metodología del diseño simplificado, con el fin de mejorar el desempeño estructural y reducir el consumo de materiales, lo cual tiene implicaciones directas en la eficiencia económica del proyecto.

La nueva propuesta mantiene el mismo modelo estructural y condiciones de carga definidas en la fase anterior, garantizando así una comparación objetiva entre ambos métodos. Sin embargo, al aplicar una metodología más avanzada y precisa como la que ofrece SAP2000 que permite considerar la distribución real de esfuerzos, efectos de segundo orden, combinaciones complejas de carga y comportamiento tridimensional de la estructura, es posible determinar con mayor exactitud la demanda real que enfrentan los elementos estructurales.

Con base en estos resultados más precisos, se redimensionarán las secciones de vigas y columnas, ajustando el refuerzo longitudinal y transversal. Esta optimización busca no solo cumplir con los requisitos de resistencia y servicio, sino también evitar sobredimensionamientos innecesarios que conllevan un uso excesivo de concreto y acero, y por ende, un aumento en los costos de construcción.

5.2 Criterio de Optimización Estructural Adoptado

La propuesta de rediseño estructural mediante la herramienta SAP2000 se desarrolló con el objetivo de optimizar el uso de materiales en elementos estructurales clave: vigas de entrepiso y columnas. A diferencia de un enfoque escalonado o gradual donde las secciones cambian nivel por nivel, en este caso se adoptó una optimización por agrupación de comportamiento estructural, es decir, las secciones se definieron según el comportamiento global de los elementos a lo largo de toda la altura de la estructura o dentro de un mismo sistema funcional.

5.2.1 Criterio de Optimización Para Vigas de Entrepiso

Para las vigas de entrepiso, se definió una sección optimizada uniforme que aplicó por igual en todos los niveles. Esta decisión responde al análisis estructural realizado, el cual demostró que las solicitaciones a las que se ven sometidas estas vigas eran similares en cada nivel debido a una distribución homogénea de cargas gravitacionales y una configuración repetitiva del sistema de piso. Esto permitió adoptar una sección más eficiente que, aunque de menor dimensión que la utilizada en el método simplificado, resultó suficiente para cumplir con las exigencias de resistencia, rigidez y servicio en todos los niveles.

Figura 137

Vista del rediseño de secciones para la propuesta optimizada

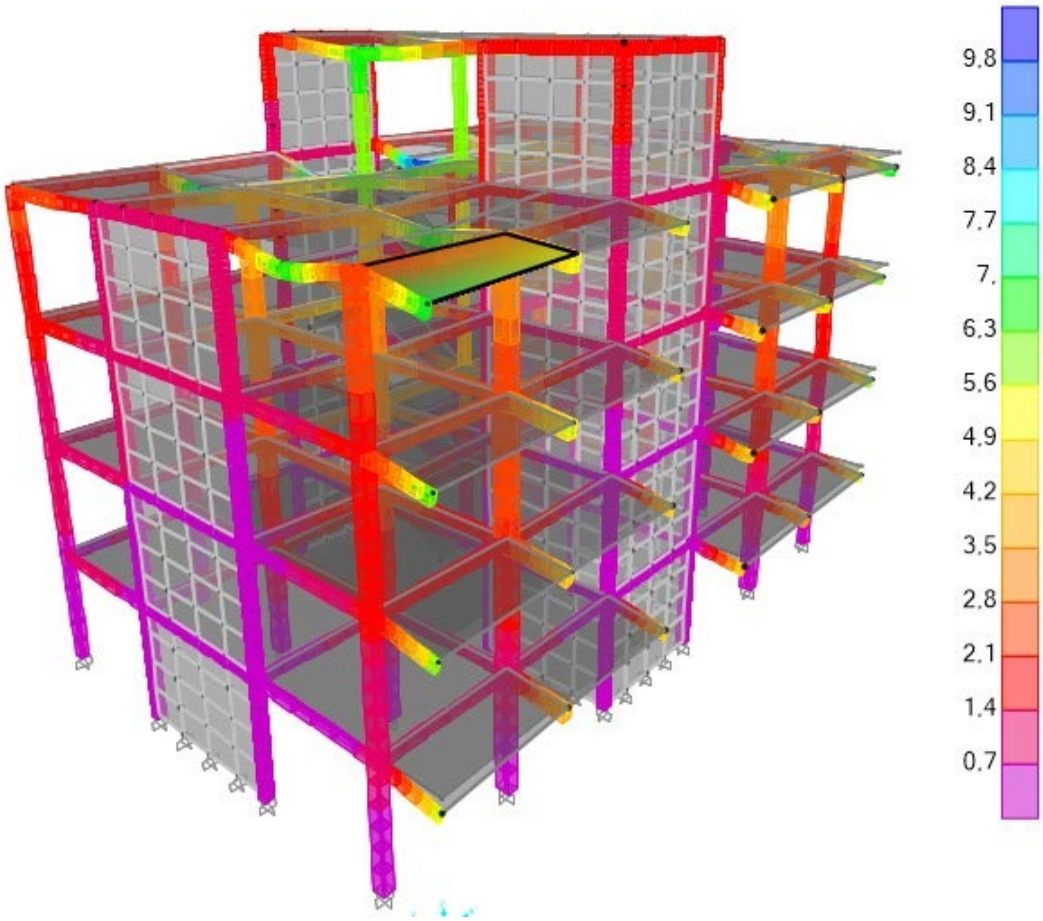
La posibilidad de reducir las secciones de las vigas de entrepiso a dimensiones más eficientes como 30x15 cm, manteniendo el desempeño estructural adecuado, se debe al análisis detallado realizado mediante el método de elementos finitos.

- Análisis de control de deformaciones en vigas.

El criterio crucial en el dimensionamiento de vigas es la verificación de flechas máximas permitidas bajo cargas de servicio. El software permitió comprobar que las deformaciones verticales no superaban los límites establecidos por normativa, asegurando condiciones de servicio aceptables para el funcionamiento del edificio.

Figura 138

Vista del control de deformaciones en los elementos estructurales, unidad de deformación en milímetros



5.2.2 Criterio de Optimización Para Columnas

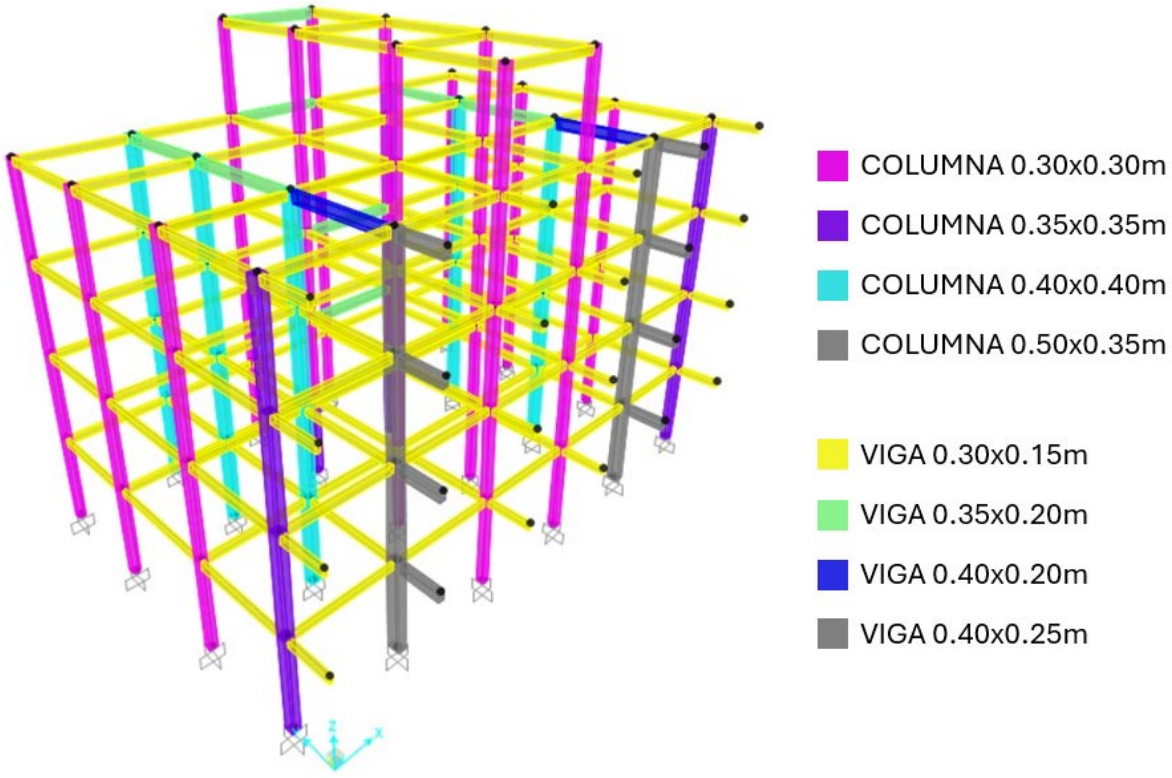
A diferencia del modelo previo basado en el método simplificado, en el cual se utilizaban secciones iguales y conservadoras en todos los elementos verticales, el nuevo modelo permitió una distribución estratégica y diferenciada de las secciones de columnas según las demandas reales de cada eje estructural.

- Reducción constante por eje vertical

Las columnas en la propuesta mantuvieron una sección constante a lo largo de cada eje vertical, sin una reducción escalonada por nivel. Esta estrategia se justificó en la medida en que el análisis de cargas mediante SAP2000 demostró que la magnitud de las solicitaciones axiales y de momento era suficientemente contenida para permitir el uso de una sección reducida constante, sin comprometer los factores de seguridad ni la capacidad de carga en los niveles inferiores.

Figura 139

Vista de los elementos estructurales con sus dimensiones optimizadas



- Asignación diferenciada por eje estructural

No todos los ejes verticales fueron tratados de forma idéntica. SAP2000 permitió identificar los ejes que acumulaban mayores cargas gravitacionales y laterales, producto de su ubicación en planta o interacción con elementos de diafragma. Por lo tanto, secciones de 30 x 30 cm fueron viables para la mayoría de ejes, mientras que algunos casos requerían 35 x 35 cm o incluso 40 x 40 cm, de acuerdo con la magnitud de solicitaciones y las condiciones de confinamiento y esbeltez de cada columna.

5.3 Definición Constructiva de Secciones Optimizadas

Las secciones optimizadas de vigas de entrepiso y columnas serán ahora representadas gráficamente mediante detalles constructivos, respetando los criterios establecidos por la normativa, y aplicando lineamientos de detallado estructural adecuados para garantizar una correcta ejecución en obra y una lectura clara para el cálculo de materiales.

5.3.1 Análisis Constructivo para Vigas

A partir de la comprobación detallada, se seleccionaron las secciones mínimas necesarias que garantizan el cumplimiento normativo y el adecuado desempeño estructural. La elección de estas nuevas dimensiones no responde únicamente a criterios geométricos, sino a una respuesta verificada por modelado computacional, que asegura una capacidad resistente suficiente con menor consumo de materiales, en comparación con las secciones del diseño inicial basado en el método simplificado.

Para el detallado de refuerzo longitudinal para las vigas de entrepiso, se escogerá el valor máximo definido por SAP2000 de acuerdo a los esfuerzos flectores y de deformación para cada uno de los 4 tipos de vigas de entrepiso resultantes.

Figura 140

Cálculo de acero longitudinal para viga de 0,30 m x 0,15 m, nivel 0+15,40 m eje C

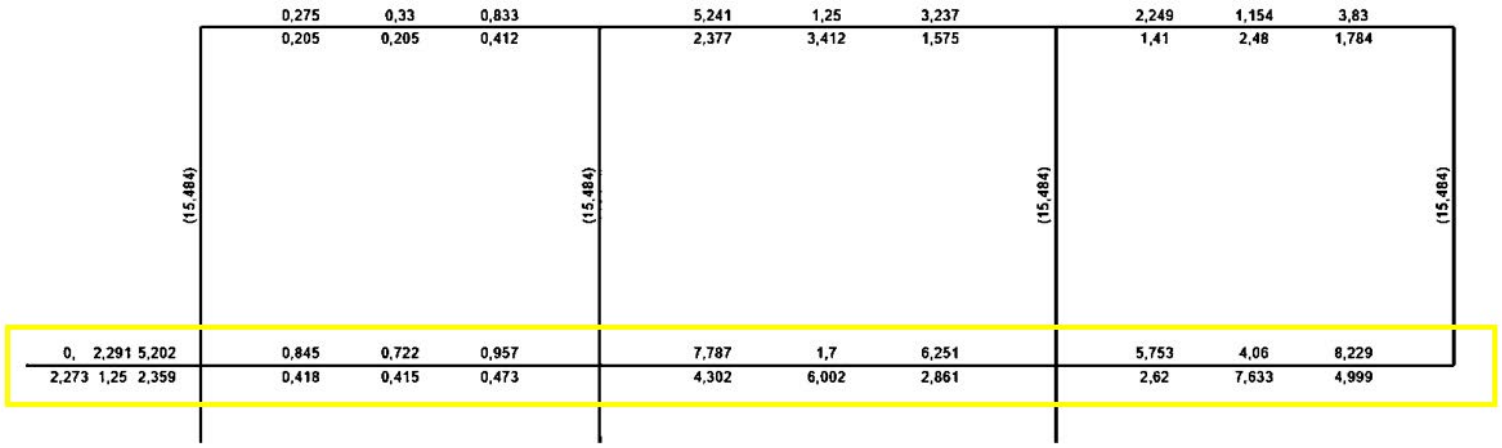


Figura 141

Cálculo de acero longitudinal para viga de 0,40 m x 0,25 m, 0,40 m x 0,20 m y 0,35 m x 0,20 m, nivel 0+15,40 m, eje B

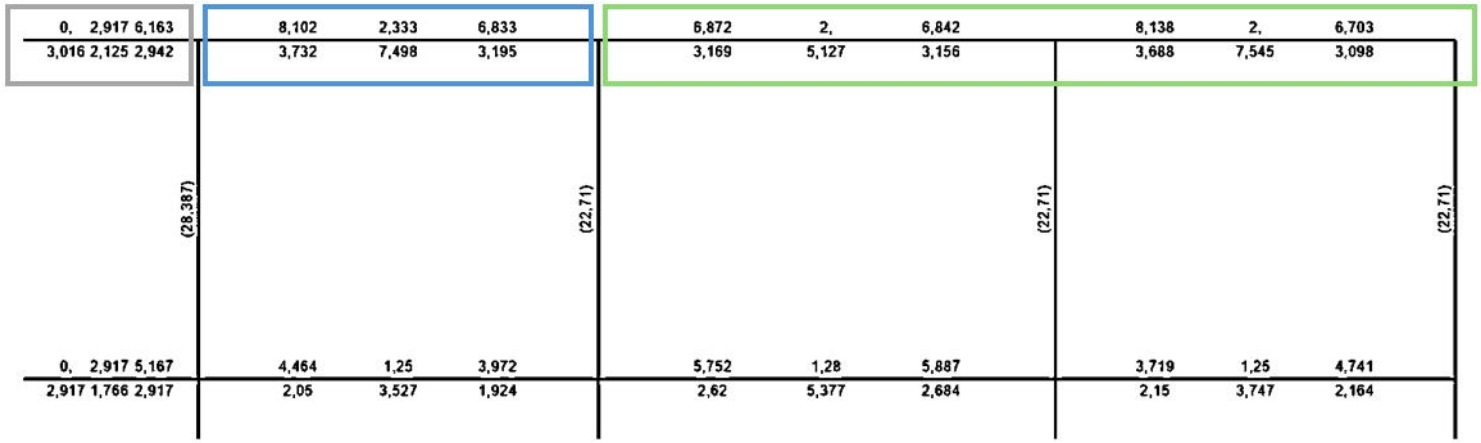
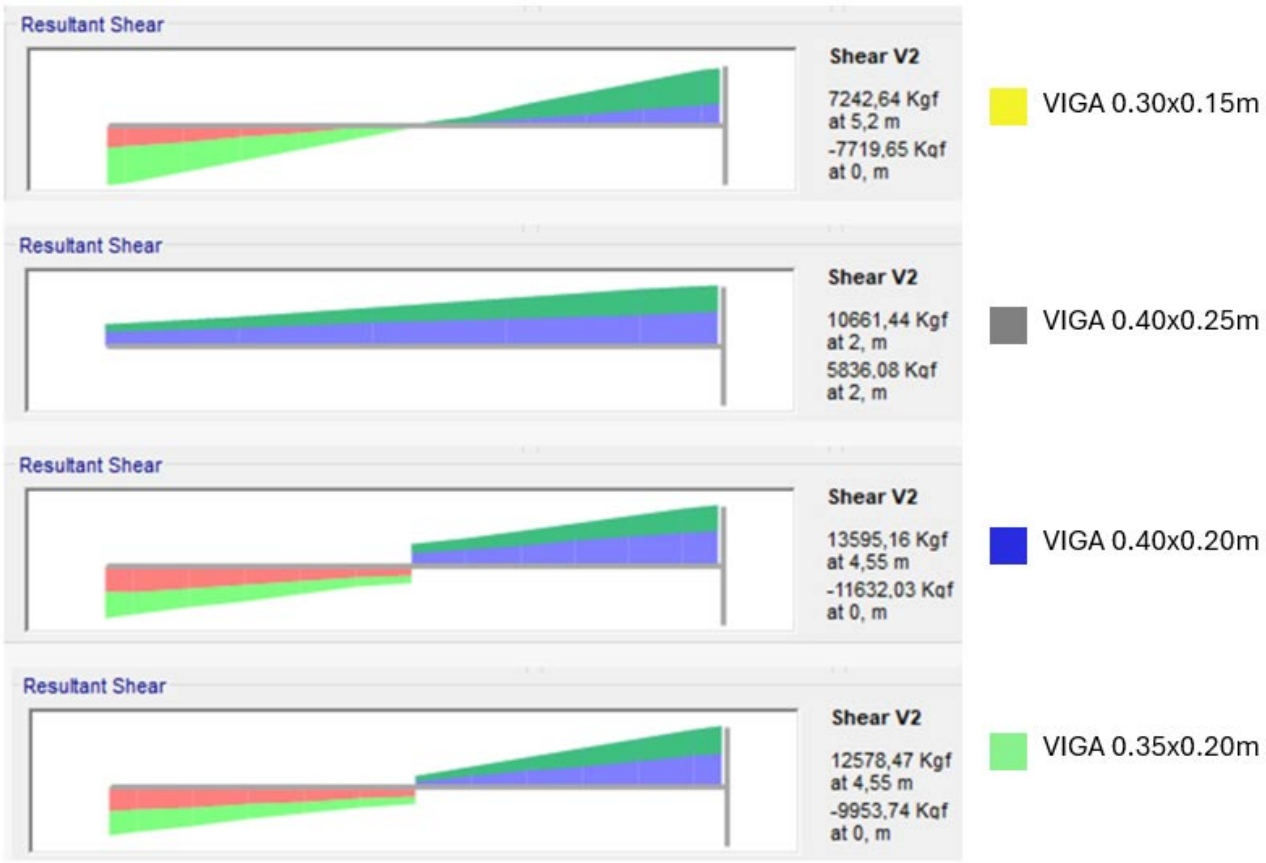


Figura 142

Cálculo de cortante para vigas en análisis



- Cálculo de estribos para viga de entrepiso de 0.30x0.15m: $V_a = 7719{,}65kg$

$$V_c = 0{,}53\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \ \rightarrow 0{,}53\sqrt{210} \cdot 15 \cdot 26 = 2995{,}36kg = 2{,}99Ton \tag{210}$$

$$V_s = (A_v \cdot fy \cdot d)/s \ \rightarrow (1{,}42 \cdot 4200 \cdot 26)/15 = 10337{,}6kg = 10{,}33Ton \tag{211}$$

$$\phi V_n = 0{,}85(V_c + V_s) \ \rightarrow 0{,}85(2{,}99 + 10{,}33) = 11{,}32Ton \tag{212}$$

$$V_a < \phi V_n \ \rightarrow 7{,}71 < 11{,}32 \, cumple \tag{213}$$

- Cálculo de estribos para viga de entrepiso de 0.40x0.25m: $V_a = 10661{,}44kg$

$$V_c = 0{,}53\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \ \rightarrow 0{,}53\sqrt{210} \cdot 25 \cdot 36 = 6912{,}38kg = 6{,}91Ton \tag{214}$$

$$V_s = (A_v \cdot fy \cdot d)/s \ \rightarrow (1{,}42 \cdot 4200 \cdot 36)/15 = 14313{,}6kg = 14{,}31Ton \tag{215}$$

$$\phi V_n = 0{,}85(V_c + V_s) \ \rightarrow 0{,}85(6{,}91 + 14{,}31) = 18{,}04Ton \tag{216}$$

$$V_a < \phi V_n \ \rightarrow 10{,}66 < 18{,}04 \, cumple \tag{217}$$

- Cálculo de estribos para viga de entrepiso de 0.40x0.20m: $V_a = 13595{,}16kg$

$$V_c = 0{,}53\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \ \rightarrow 0{,}53\sqrt{210} \cdot 20 \cdot 36 = 5529{,}90kg = 5{,}52Ton \tag{218}$$

$$V_s = (A_v \cdot fy \cdot d)/s \ \rightarrow (1{,}42 \cdot 4200 \cdot 36)/15 = 14313{,}6kg = 14{,}31Ton \tag{219}$$

$$\phi V_n = 0{,}85(V_c + V_s) \ \rightarrow 0{,}85(5{,}52 + 14{,}31) = 16{,}86Ton \tag{220}$$

$$V_a < \phi V_n \ \rightarrow 13{,}59 < 16{,}86 \, cumple \tag{221}$$

- Cálculo de estribos para viga de entrepiso de 0.35x0.20m: $V_a = 12578{,}47kg$

$$V_c = 0{,}53\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \ \rightarrow 0{,}53\sqrt{210} \cdot 20 \cdot 31 = 4761{,}86kg = 4{,}76Ton \tag{222}$$

$$V_s = (A_v \cdot fy \cdot d)/s \ \rightarrow (1{,}42 \cdot 4200 \cdot 31)/15 = 12325{,}6kg = 12{,}32Ton \tag{223}$$

$$\phi V_n = 0{,}85(V_c + V_s) \ \rightarrow 0{,}85(4{,}76 + 12{,}32) = 14{,}52Ton \tag{224}$$

$$V_a < \phi V_n \ \rightarrow 12{,}57 < 14{,}52 \, cumple \tag{225}$$

Con base en los valores máximos de fuerza cortante obtenidos del análisis estructural mediante elementos finitos en SAP2000, se procedió a la determinación del refuerzo transversal necesario para las vigas de entrepiso optimizadas. A partir de dichos valores, se comprobó que un área de acero resistente de 1,42 cm² es suficiente para resistir las solicitaciones por cortante presentes en estos elementos.

Como resultado del proceso de diseño, se especifica el uso de estribos de varilla n.° 3 de diámetro nominal de 0,95 cm, dispuestos a una separación uniforme de 15 cm a lo largo de cada viga de entrepiso. Esta disposición garantiza una respuesta estructural adecuada frente a los esfuerzos de corte, respetando los límites mínimos y máximos establecidos.

5.3.2 Detalle Constructivo de Vigas Optimizadas

Se realiza el detallado geométrico y de componentes de acuerdo a los resultados obtenidos del cálculo estructural provisto por SAP2000.

Figura 143

Detalle de vigas 0,30 m x 0,15 m y 0,40 m x 0,25 m

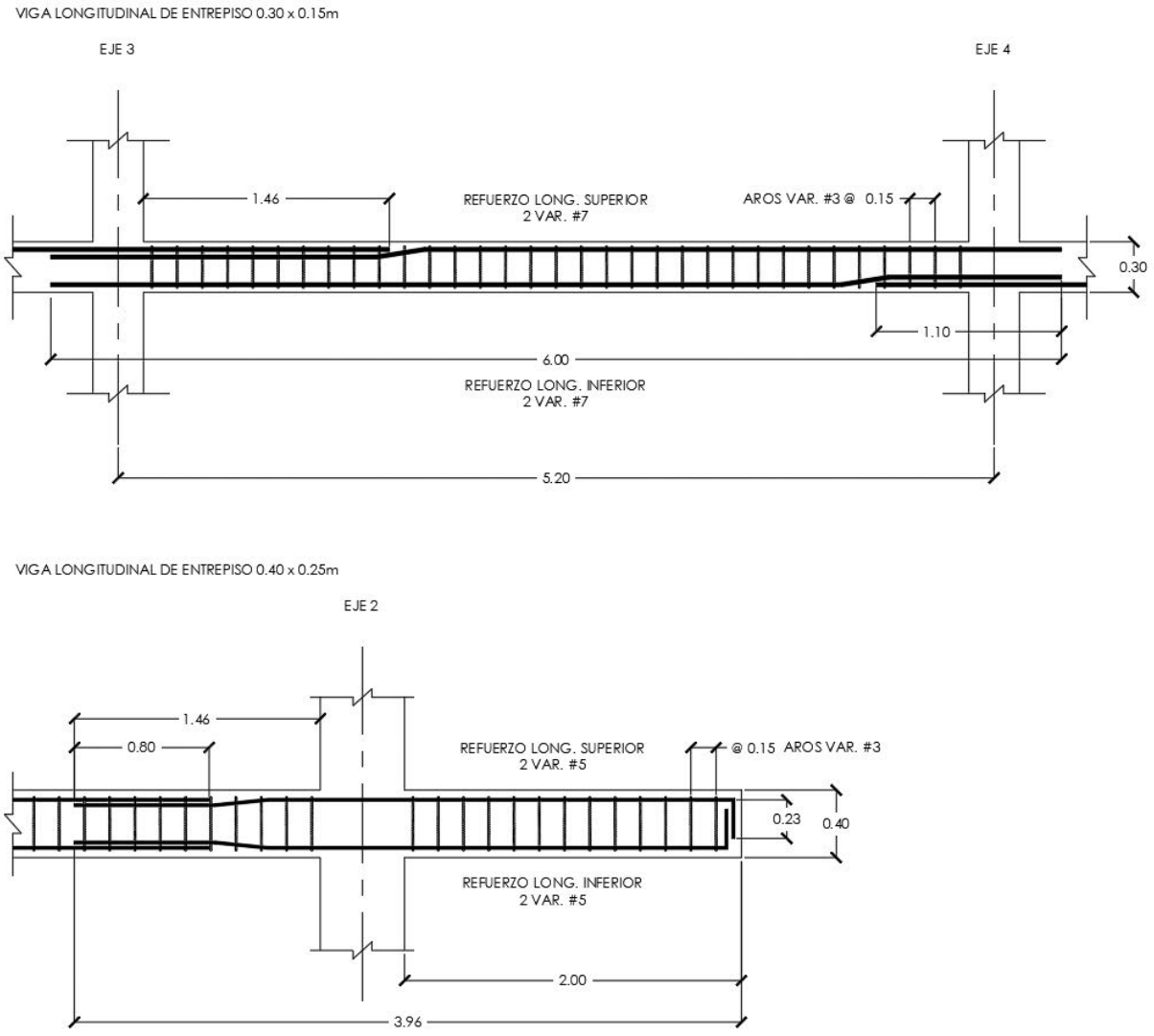
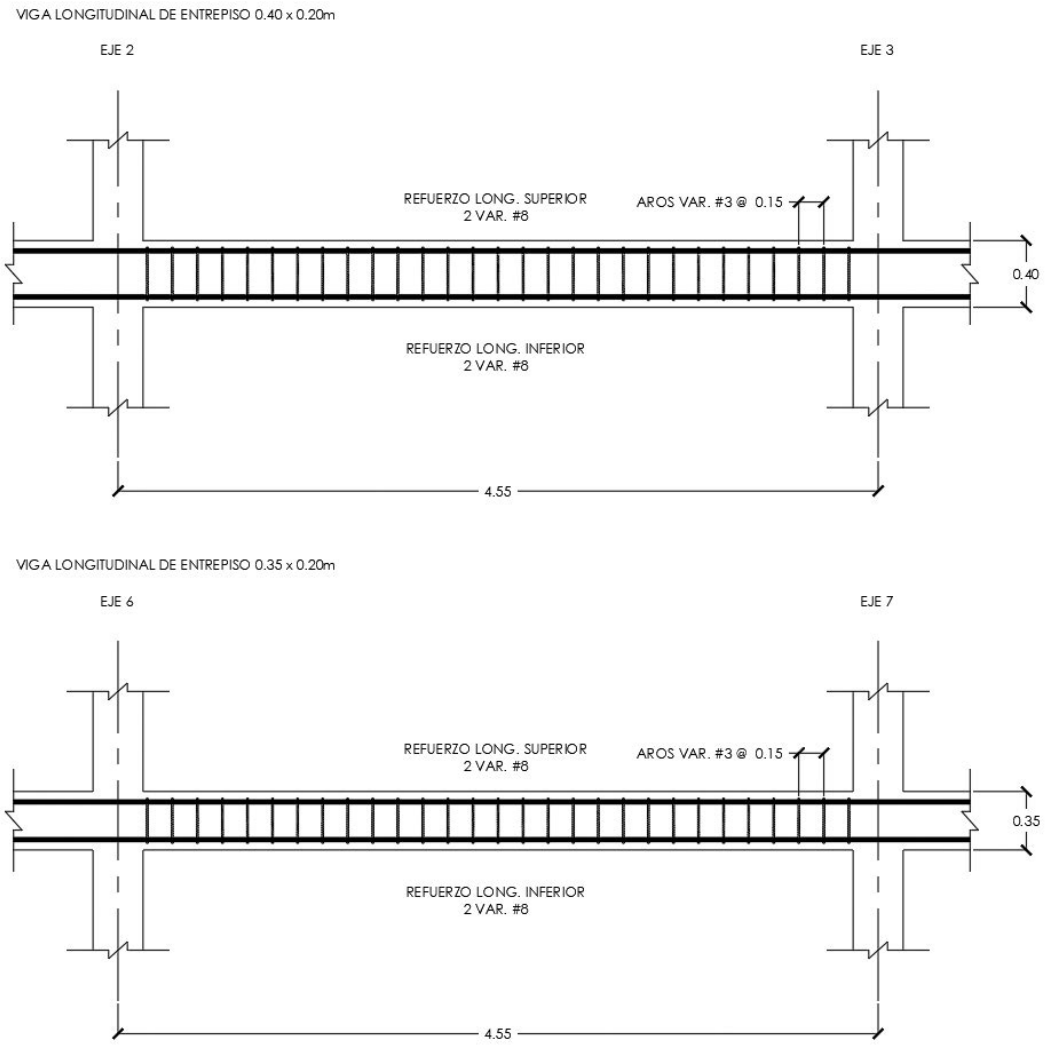


Figura 144

Detalle de vigas 0,40 m x 0,20 m y 0,35 m x 0,20 m



5.3.2.1 Cálculo Presupuestario de Materiales Para Vigas de Entrepiso Optimizadas

Tabla 109

Desglose de datos viga 0,30 m x 0,15 m

Desglose de datos de elemento estructural		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Viga de entrepiso 0,30 m x 0,15 m		
Longitud	4,9	m
Peralte	0,30	m
Base	0,15	m
Refuerzo longitudinal		
Longitud varilla # 7	6,00	m
Longitud de estribo # 3	0,80	m
Separación de estribos	0,15	m
Cantidad de estribos	33	unid.

Tabla 110

Desglose de costos viga 0,30 m x 0,15 m

Desglose de costos total de vigas de entrepiso				
Descripción	**Valor**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Sub total**
Concreto premezclado	0,22	m^3	₡85,500.00	₡18,852.75
Varilla # 7	4	unid.	₡10,000.00	₡40,000.00
Varilla # 3	5	unid.	₡1,800.00	₡9,000.00
Cantidad total de vigas de entrepiso	153	unid.	**Costo total**	**₡10,381,470.75**
				$20,670.74

Tabla 111

Desglose de datos viga 0,40 m x 0,25 m

Desglose de datos de elemento estructural		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Viga de entrepiso 0.40x0.25m		
Longitud	2	m
Peralte	0,40	m
Base	0,25	m
Refuerzo longitudinal		
Longitud varilla # 5	6,00	m
Longitud de estribo # 3	1,21	m
Separación de estribos	0,15	m
Cantidad de estribos	13	unid.

Tabla 112

Desglose de costos viga 0,40 m x 0,25 m

Desglose de costos total de vigas de entrepiso				
Descripción	**Valor**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Sub total**
Concreto premezclado	0,20	m^3	₡85,500.00	₡17,100.00
Varilla # 5	4	unid.	₡5,000.00	₡20,000.00
Varilla # 3	3	unid.	₡1,800.00	₡5,400.00

Cantidad total de vigas de entrepiso	8	unid.	**Costo total**	**₡340,000.00**
				$676,980.00

Tabla 113

Desglose de datos viga 0,40 m x 0,20 m

Desglose de datos de elemento estructural		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Viga de entrepiso 0.40x0.20m		
Longitud	4,25	m
Peralte	0,40	m
Base	0,2	m
Refuerzo longitudinal		
Longitud varilla # 8	6,00	m
Longitud de estribo # 3	1,10	m
Separación de estribos	0,15	m
Cantidad de estribos	28	unid.

Tabla 114

Desglose de costos viga 0,40 m x 0,20 m

Desglose de costos total de vigas de entrepiso				
Descripción	**Valor**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Sub total**
Concreto premezclado	0.34	m^3	₡85,500.00	₡29,070.00
Varilla # 8	4	unid.	₡13,000.00	₡52,000.00
Varilla # 3	3	unid.	₡1,800.00	₡5,400.00

Cantidad total de vigas de entrepiso	2	unid.	**Costo total**	**₡172,940.00**
				$344,34.00

Tabla 115

Desglose de datos viga 0,35 m x 0,20 m

Desglose de datos de elemento estructural		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Viga de entrepiso 0,35 m x 0,20 m		
Longitud	4,25	m
Peralte	0,35	m
Base	0,2	m
Refuerzo longitudinal		
Longitud varilla # 8	6,00	m
Longitud de estribo # 3	1,10	m
Separación de estribos	0,15	m
Cantidad de estribos	28	unid.

Tabla 116

Desglose de costos viga 0,35 m x 0,20 m

Desglose de costos total de vigas de entrepiso				
Descripción	**Valor**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Sub total**
Concreto premezclado	0,30	m^3	₡85,500.00	₡25,436.25
Varilla # 8	4	unid.	₡13,000.00	₡52,000.00
Varilla # 3	3	unid.	₡1,800.00	₡5,400.00
Cantidad total de vigas de entrepiso	9	unid.	**Costo total**	**₡745,526.25**
				$1,484.43

Una vez implementadas las secciones estructurales optimizadas para las vigas de entrepiso, diseñadas mediante la metodología de elementos finitos utilizando SAP2000, se procedió al cálculo detallado de los costos asociados exclusivamente a los materiales requeridos para su conformación. Este análisis se realizó con base en las cantidades precisas de concreto y acero determinadas a partir de los planos constructivos generados para las nuevas secciones, garantizando correspondencia con los resultados estructurales del modelo.

El edificio en estudio está compuesto por 162 vigas de entrepiso, y el costo total en materiales para este conjunto, conforme al diseño optimizado, asciende a ₡11,639,937.00. Este valor se obtuvo considerando únicamente insumos de construcción tales como concreto, acero longitudinal y acero transversal (estribos), sin incluir costos indirectos asociados a ejecución o mano de obra.

Cabe señalar que, bajo la metodología tradicional del diseño simplificado ACI 314 RS-11, el costo de materiales para las mismas 162 vigas había resultado en ₡81,635,343.75, lo que proporciona una base cuantitativa clara para efectos comparativos que serán abordados en el desarrollo financiero posterior.

5.3.3 Análisis Constructivo Para Columnas

El proceso de definición y detallado de las columnas optimizadas se basó en el análisis estructural completo mediante la herramienta SAP2000, utilizando su opción de comprobación de diseño. Esta función permite evaluar el comportamiento de cada columna considerando múltiples parámetros de diseño establecidos por la normativa, y proporciona un criterio integral que va más allá del simple dimensionamiento por carga axial.

Entre los aspectos fundamentales que se tomaron en cuenta para la configuración final de las columnas se encuentran:

- La relación viga/columna:
  indispensable para garantizar una jerarquía estructural adecuada y un comportamiento dúctil ante cargas sísmicas.

- La comprobación de la cuantía mínima de acero longitudinal requerida:
  en cumplimiento con los valores normativos para evitar fallas frágiles.

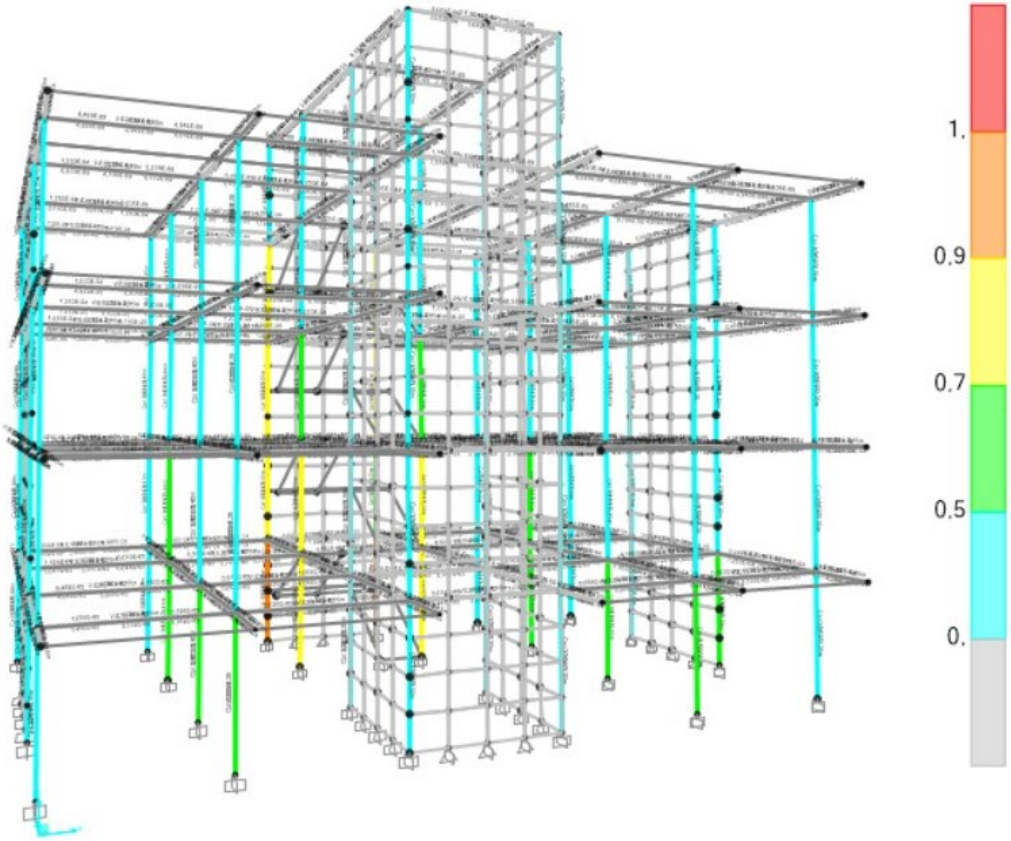
- El análisis por flexo-compresión:
  que permite evaluar simultáneamente la interacción entre carga axial y momento flector, determinando si la sección propuesta mantiene su capacidad resistente dentro de los límites aceptables.

Estos criterios fueron aplicados en cada uno de los ejes verticales de la edificación, permitiendo adaptar las dimensiones y la disposición del refuerzo según las solicitaciones reales, sin forzar una reducción generalizada o escalonada. Como resultado, el detallado constructivo refleja no solo un diseño estructural eficiente, sino también una respuesta más

coherente y ajustada a las condiciones específicas de carga y demanda en cada parte del edificio.

Figura 145

Resultados de comprobación de la estructura

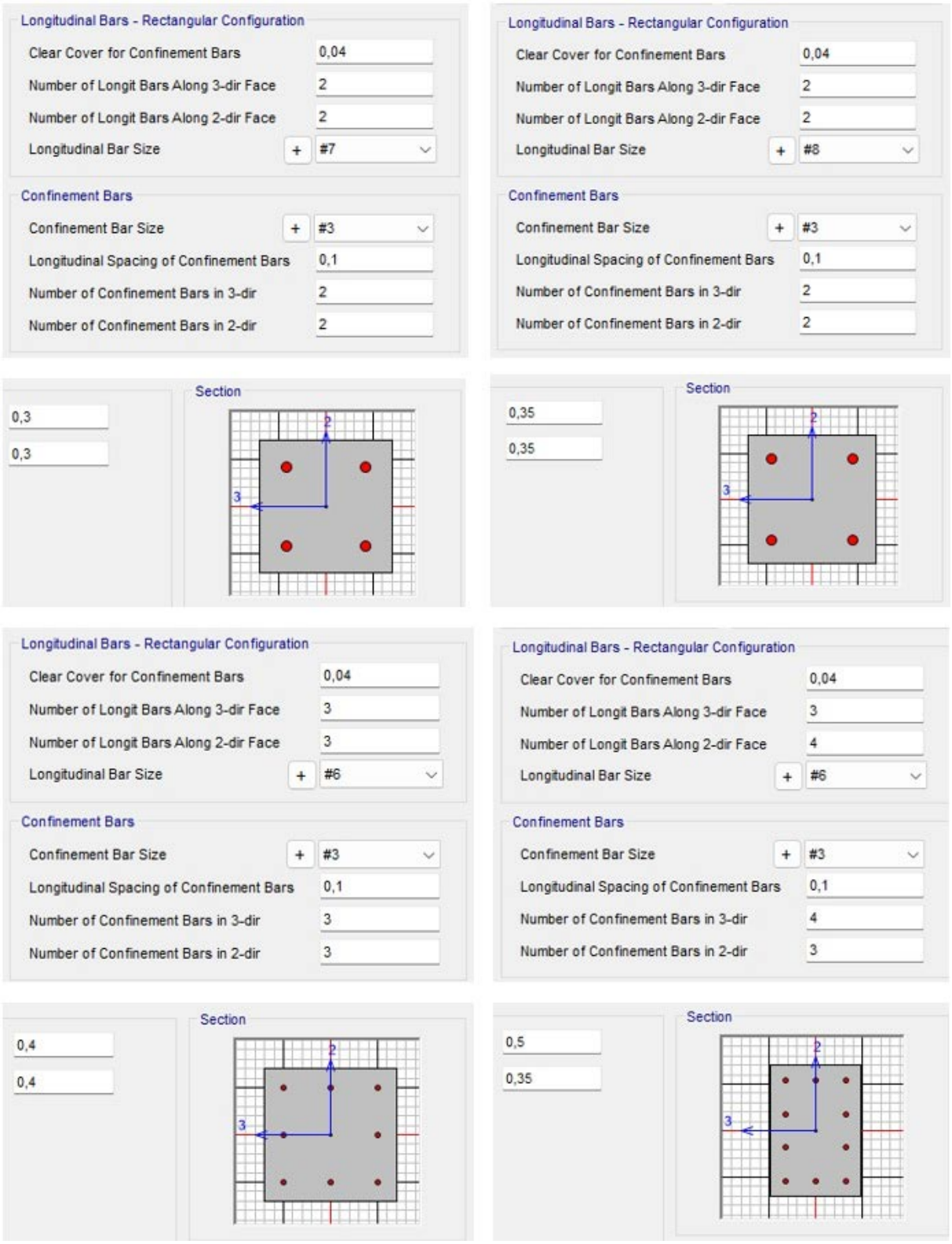


5.3.3.1 Criterio de Asignación de Secciones Optimizadas de Columnas

La metodología consistió en identificar los ejes verticales de mayor demanda estructural, como aquellos donde convergen mayores cargas gravitacionales y efectos acumulados de acciones laterales, tales como sismo y viento. Con base en esta evaluación cualitativa y cuantitativa, se asignaron nuevas secciones de columnas que, si bien reducidas respecto al diseño original por el método simplificado, fueron evaluadas individualmente mediante la comprobación con elementos finitos en SAP2000.

Figura 146

Secciones optimizadas de columnas con SAP2000



5.3.3.2 Detalle Constructivo de Columnas Optimizadas

Al igual que para las vigas de entrepiso, se realizarán detalles constructivos por cada columna, distribuyendo los elementos de acuerdo con la normativa estructural.

De esta manera se podrá estimar el costo de los elementos estructurales que conforman cada columna, al igual que se hizo con las vigas.

Esto con el fin de lograr un cálculo certero al existir detalles constructivos de distintas dimensiones.

5.3.3.3 Criterios Para Acero de Confinamiento en Columnas

- Espaciamiento de estribos cercano a viga. (l_o)

$$l_o = max\left\{\frac{luz\ libre}{6},\ lado\ largo,\ 450mm\right\} \tag{226}$$

- Espaciamiento máximo ($S_o max$) de estribos dentro de (l_o)

$$S_o max = menor\ de\left\{8 \cdot \oslash var\ long,\ 24 \cdot \oslash estribo,\ \frac{l\ menor\ colum}{2},\ 300mm\right\} \tag{227}$$

- Espaciamiento para estribos centrales (S_o)

$$S_o = menor\ de\left\{16 \cdot \oslash var\ long,\ 48 \cdot \oslash estribo,\ l\ menor\ columna\right\} \tag{228}$$

Figura 147

Detalle de columnas 0,30 m x 0,30 m y 0,35 m x 0,35 m

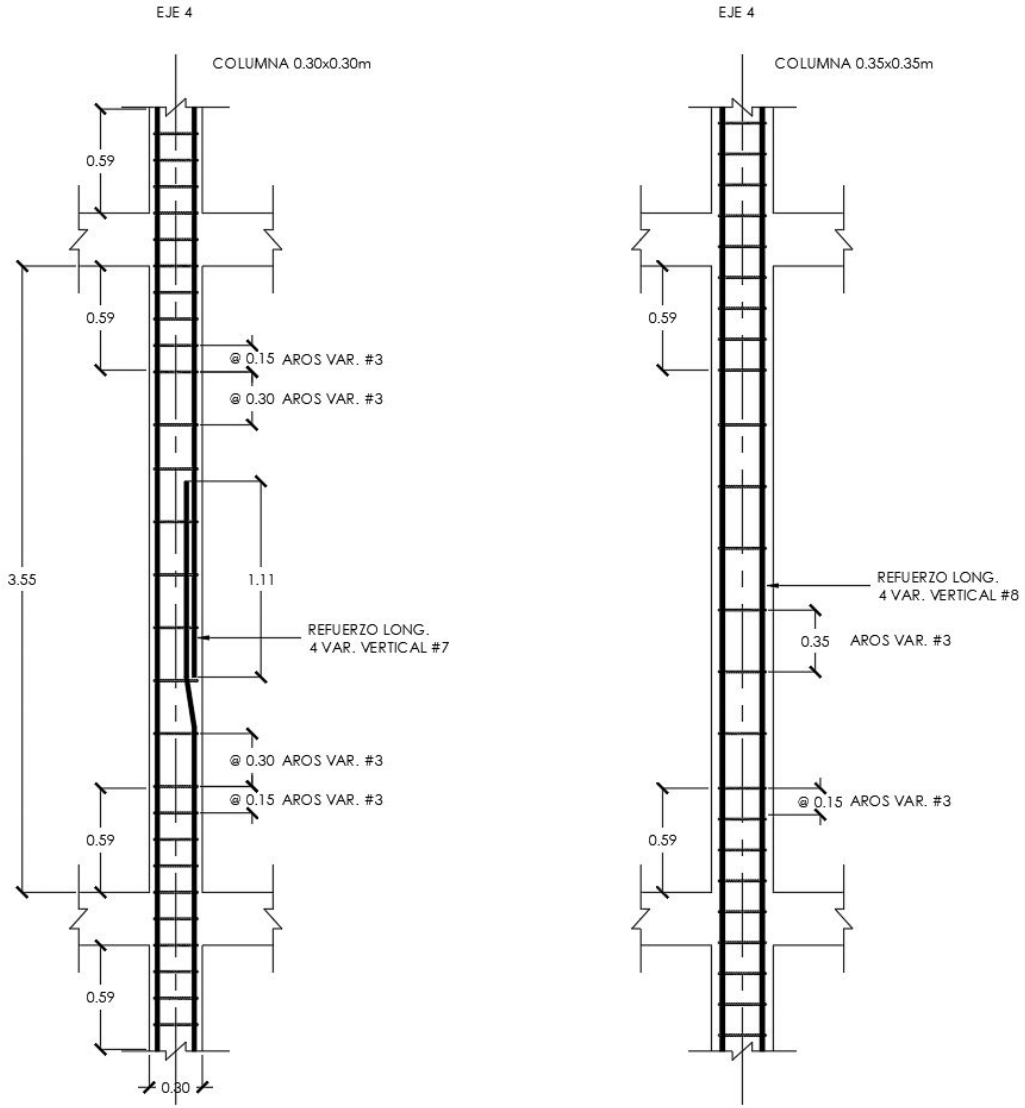
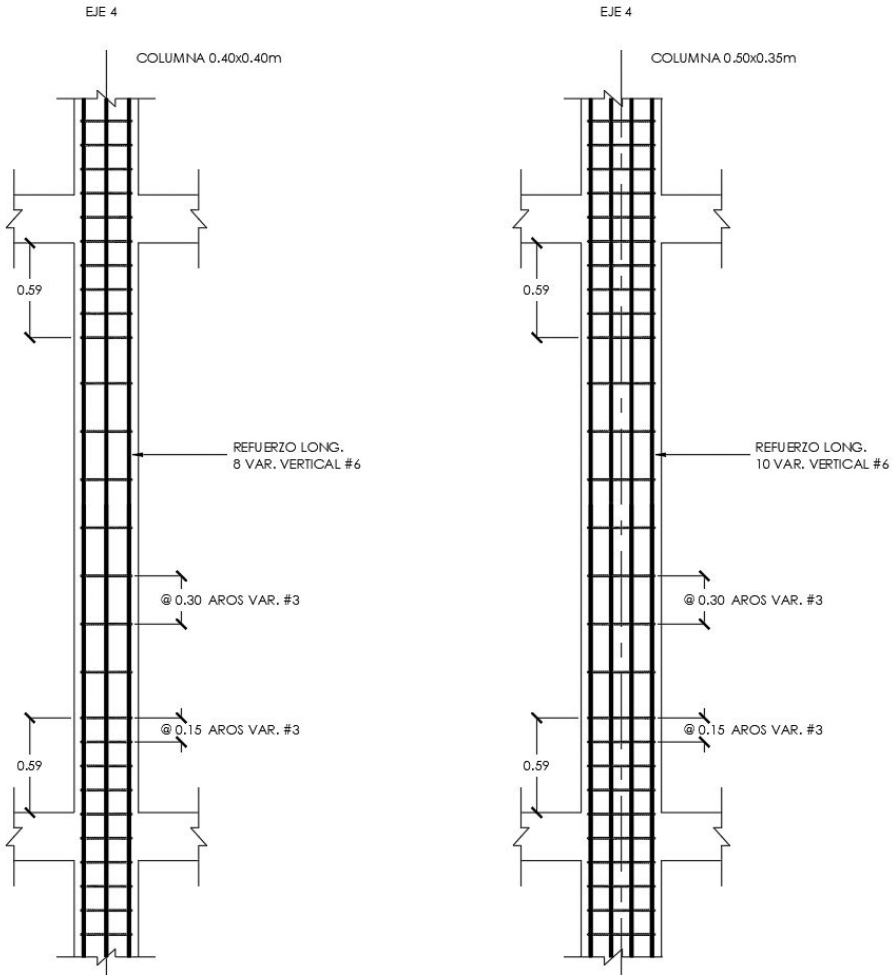


Figura 148

Detalle de vigas 0,40 m x 0,40 m y 0,50 m x 0,35 m



5.3.3.4 Cálculo Presupuestario de Materiales Para Columnas Optimizadas

Tabla 117

Desglose de datos columna 0,30 m x 0,30 m

Desglose de datos de elemento estructural		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Columna 0,30 m x 0,30 m		
Longitud	3,85	m
Peralte	0,30	m
Base	0,3	m
Refuerzo longitudinal		
Longitud varilla # 7	6,00	m
Longitud de estribo # 3	1,03	m
Separación de estribos corta	0,15	m
Separación de estribos larga	0,30	m
Cantidad de estribos	19	unid.

Tabla 118

Desglose de costos columna 0,30 m x 0,30 m

Desglose de costos total de columna				
Descripción	**Valor**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Sub total**
Concreto premezclado	0,35	m^3	₡85,500.00	₡29,625.75
Varilla # 7	4	unid.	₡10,000.00	₡40,000.00
Varilla # 3	4	unid.	₡1,800.00	₡7,200.00
Cantidad total de columnas	62	unid.	**Costo total**	**₡4,763,196.50**
				$9,484.09

Tabla 119

Desglose de datos columna 0,35 m x 0,35 m

Desglose de datos de elemento estructural		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Columna 0,35 m x 0,35 m		
Longitud	3,85	m
Peralte	0,35	m
Base	0,35	m
Refuerzo longitudinal		
Longitud varilla # 8	6,00	m
Longitud de estribo # 3	1,23	m
Separación de estribos corta	0,15	m
Separación de estribos larga	0,30	m
Cantidad de estribos	19	unid.

Tabla 120

Desglose de costos columna 0,35 m x 0,35 m

Desglose de costos total de vigas de entrepiso				
Descripción	**Valor**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Sub total**
Concreto premezclado	0,47	m^3	₡85,500.00	₡40,323.94
Varilla # 6	4	unid.	₡13,000.00	₡52,000.00
Varilla # 3	4	unid.	₡1,800.00	₡7,200.00

Cantidad total de columnas	10	unid.	**Costo total**	**₡995,239.38**
				$1,981.64

Tabla 121

Desglose de datos columna 0,40 m x 0,40 m

Desglose de datos de elemento estructural		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Columna 0,40 m x 0,40 m		
Longitud	3,85	m
Peralte	0,40	m
Base	0,4	m
Refuerzo longitudinal		
Longitud varilla # 6	6,00	m
Longitud de estribo # 3	1,43	m
Separación de estribos corta	0,15	m
Separación de estribos larga	0,30	m
Cantidad de estribos	19	unid.

Tabla 122

Desglose de costos columna 0,40 m x 0,40 m

Desglose de costos total de vigas de entrepiso				
Descripción	**Valor**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Sub total**
Concreto premezclado	0,62	m^3	₡85,500.00	₡52,668.00
Varilla # 6	8	unid.	₡7,200.00	₡57,600.00
Varilla # 3	4	unid.	₡1,800.00	₡7,200.00

Cantidad total de columnas	24	unid.	**Costo total**	**₡2,819,232.00**
				$5,613.42

Tabla 123

Desglose de datos columna 0,50 m x 0,35 m

Desglose de datos de elemento estructural		
Descripción	**Valor**	**Unidad**
Columna 0,50 m x 0,35 m		
Longitud	3,85	m
Peralte	0,50	m
Base	0,35	m
Refuerzo longitudinal		
Longitud varilla # 6	6,00	m
Longitud de estribo # 3	1,53	m
Separación de estribos corta	0,15	m
Separación de estribos larga	0,30	m
Cantidad de estribos	19	unid.

Tabla 124

Desglose de costos columna 0,50 m x 0,35 m

Desglose de costos total de vigas de entrepiso				
Descripción	**Valor**	**Unidad**	**Precio unitario**	**Sub total**
Concreto premezclado	0,67	m^3	₡85,500.00	₡57,605.63
Varilla # 6	10	unid.	₡7,200.00	₡72,000.00
Varilla # 3	5	unid.	₡1,800.00	₡9,000.00
Cantidad total de columnas	8	unid.	**Costo total**	**₡1,108,845.00**
				$2,207.84

Una vez definidas las secciones estructurales optimizadas de columnas mediante el método de elementos finitos en SAP2000, se procedió al cálculo del costo total de materiales asociados exclusivamente a estos elementos. Para ello, se consideraron las cantidades precisas de concreto y acero derivadas de los planos constructivos detallados, junto con los precios unitarios actuales del mercado para cada material.

El modelo de edificación contempla un total de 104 columnas, las cuales fueron rediseñadas bajo criterios de desempeño estructural, buscando la reducción eficiente de sus dimensiones sin comprometer su capacidad resistente. Como resultado, el costo total en materiales para estas columnas optimizadas fue de ₡9,686,512.88, evidenciando una disminución significativa respecto al costo anterior de ₡15,281,545.50, correspondiente al diseño obtenido

mediante la metodología simplificada del ACI 314 RS-11.

5.4 Propuesta de Variables Financieras Entre Métodos

Con el desarrollo estructural de la propuesta optimizada, basada en el método de análisis por elementos finitos utilizando SAP2000, se ha generado una alternativa técnicamente viable en comparación con el diseño tradicional regido por la metodología simplificada de la norma ACI 314 RS-11. A partir de esta base estructural validada, se establece la necesidad de evaluar la propuesta desde una perspectiva financiera, que permita cuantificar y justificar económicamente la optimización alcanzada.

Este análisis financiero se enfoca en la comparativa entre ambas metodologías, limitándose, exclusivamente, al estudio de costos asociados a los materiales estructurales de columnas y vigas, así como a los costos técnicos vinculados al proceso de diseño estructural.

Con estos datos, se procederá al desarrollo de tres indicadores clave de evaluación financiera: el Retorno sobre la Inversión (ROI), el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR). Estos indicadores permitirán analizar la eficiencia, viabilidad y rentabilidad relativa de la implementación de la propuesta optimizada frente a la metodología convencional, con el objetivo de aportar una perspectiva económica complementaria a los beneficios estructurales ya demostrados.

5.4.1 Variables Técnicas y de Costo a Evaluar

· Costos directos de materiales.

- Costo total de columnas (método simplificado)
- Costo total de columnas (método de elementos finitos / SAP2000)
- Costo total de vigas (método simplificado)
- Costo total de vigas (método de elementos finitos / SAP2000)

· Costos técnicos profesionales.

- Costo por hora del profesional en ingeniería (método simplificado)
- Cantidad de horas estimadas para diseño por método simplificado
- Costo por hora del profesional en ingeniería (con SAP2000)
- Cantidad de horas estimadas para diseño por método SAP2000
    - Costos de herramientas y recursos técnicos.
- Costo de la licencia del software SAP2000
- Costo de certificación profesional para operar SAP2000
- Costo de adquisición del documento oficial ACI 314 RS-11

5.4.2 Obtención de Valores en Costo por Variables

- Costos directos de materiales:

Para establecer una base cuantificable en el análisis financiero, se procedió con la recopilación de los costos directos asociados a los materiales requeridos para la ejecución estructural de las vigas de entrepiso y las columnas. Estos valores fueron obtenidos a partir de los cálculos detallados, realizados en capítulos anteriores, en los cuales se modelaron las secciones estructurales tanto bajo la metodología de diseño simplificado basada en la norma ACI 314 RS-11, como bajo el análisis estructural por elementos finitos mediante el software SAP2000.

Tabla 125

Tabla de costos directos por materiales

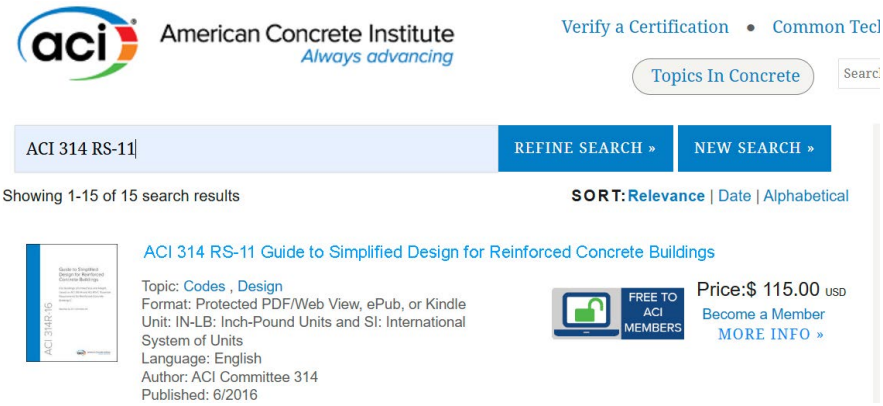
Valores y costos directos por materiales en elementos estructurales		
Elemento estructural	**ACI314 RS-11**	**SAP2000**
Columnas	₡ 15,281,545.50	₡ 9,686,512.88
Vigas	₡ 81,635,343.75	₡ 11,639,937.00
Total	**₡ 96,916,889.25**	**₡ 21,326,449.88**
	$192,973.11	**$42,463.51**

- Costos de herramientas y recursos técnicos:

La obtención de estos costos se realizó mediante consulta directa a los sitios web oficiales de los proveedores correspondientes. Para el caso del diseño simplificado, se incluye el costo de adquisición de la norma ACI 314 RS-11, publicada por el American Concrete Institute (ACI), cuyo valor internacional es de $115. Dicho monto ha sido convertido a moneda local para efectos del análisis, resultando en un costo de ₡57,756.45.

Figura 149

Precio de la norma ACI314 RS-11



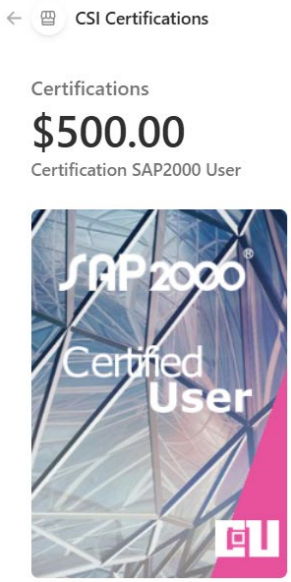
Nota. Catálogo de productos ACI, 2025.

En cuanto al método de análisis por elementos finitos, se consideran dos recursos técnicos principales. En primer lugar, la licencia del software SAP2000 es una herramienta desarrollada por Computers and Structures Inc. (CSI) y se utiliza para modelado, análisis y diseño estructural avanzado. Su costo internacional es de $2,918, lo que equivale a ₡1,465,507.14 al tipo de cambio vigente. En segundo lugar, se incorpora el costo de la certificación profesional en el uso de SAP2000, también ofrecida por CSI, cuyo valor internacional es de $500, equivalente a ₡251,115.00 en moneda local.

Estos costos representan una inversión inicial fundamental que, si bien no forma parte del costo directo en materiales, sí influye directamente en la factibilidad económica y operativa de cada metodología. Por lo tanto, serán considerados como parte de las variables de entrada en el análisis de indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la

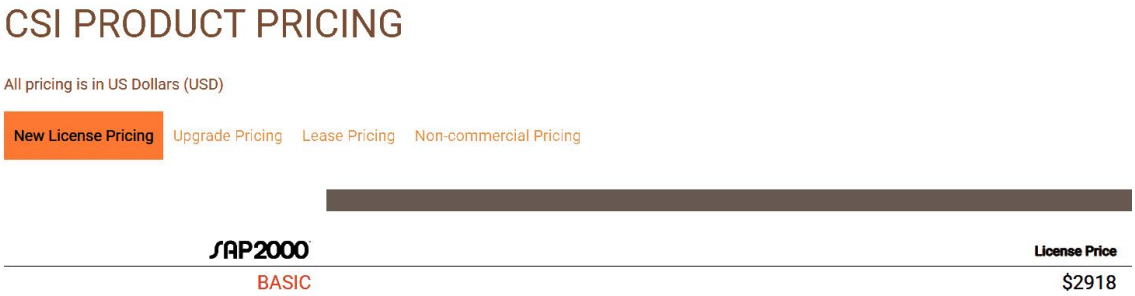
Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Retorno de Inversión (ROI), permitiendo una evaluación más completa de la eficiencia de cada enfoque.

Figura 150
Precio de la certificación SAP2000



Nota. Catálogo de productos CSI, 2025.

Figura 151
Precio de la licencia SAP2000



Nota. Catálogo de productos CSI, 2025.

- Costos técnicos profesionales:

Para estimar de forma precisa los costos técnicos profesionales involucrados en el desarrollo estructural por ambas metodologías, se parte del valor referencial de la hora pro-

fesional establecida por el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA), el cual asciende a ₡37,700.00.

Figura 152

Precio de la hora profesional

Nota. CFIA, 2025.

Además del costo base por hora profesional, se contempla la inversión necesaria en herramientas y recursos técnicos para cada metodología, los cuales se distribuyen proporcionalmente, de acuerdo con el tiempo de uso estimado por proceso.

Tabla 126

Costos técnicos del método de diseño simplificado

Concepto	Valor
Costo hora profesional (CFIA)	₡37,700.00
Costo de herramienta técnica (Norma ACI 314 RS-11)	₡57,756.45
Tiempo estimado de desarrollo (horas)	40
Costo por hora técnica adicional	₡1,443.91
Costo total por hora profesional	₡39,143.91
Costo total profesional del proyecto	**₡1,565,756.40**
	$3,117.60

Tabla 127

Costos técnicos del método de diseño por elementos finitos

Concepto	Valor
Costo hora profesional (CFIA)	₡37,700.00
Costo de licencia SAP2000	₡1,465,507.14
Costo de certificación SAP2000	₡251,115.00
Costo total de herramienta técnica (SAP2000)	₡1,716,622.14
Tiempo estimado de desarrollo (horas)	16
Costo por hora técnica adicional	₡107,288.88
Costo total por hora profesional	₡144,988.88
Costo total profesional del proyecto	**₡2,319,822.08**
	$4,619.04

5.5 Aplicación de Indicadores Financieros en la Optimización del Diseño Estructural

5.5.1 Retorno Sobre la Inversión (ROI)

- Inversión inicial (SAP2000) =

  ₡2,319,822.08 (costo total profesional)

- Ahorro generado en materiales =

  ₡96,916,889.25 (ACI) – ₡21,326,449.88 (SAP2000) = ₡75,590,439.37

- Beneficio neto del cliente =

  Ahorro en materiales – Costo adicional profesional por SAP2000 respecto a ACI

- Profesional con ACI: ₡1,565,756.40

- Profesional con SAP2000: ₡2,319,822.08

- Diferencia en costo profesional = ₡754,065.68

$$Beneficio\,neto = ₡75,590,439{,}37 - ₡754,065{,}68 = ₡74,836,373{,}69 \tag{229}$$

$$ROI = \frac{74,836,373{,}69}{2,319,822{,}08} \cdot 100 \approx 3,224{,}7\,\% \tag{230}$$

5.5.2 Valor Actual Neto (VAN)

- Evaluación a un periodo: 1 año

- Tasa de descuento estimada: 10

- Flujo de caja neto: el ahorro total generado ₡75,590,439.37 ($150,509.60)

- Inversión inicial: costo total de servicios profesionales con SAP2000

$$VAN = \frac{Flujo\,de\,caja}{(1+r)^n} - Inversion\,inicial \tag{231}$$

$$VAN = \frac{75,590,439{,}37}{(1+0{,}10)^1} - 2,319,822{,}08 = \frac{75,590,439{,}37}{1{,}10} - 2,319,822{,}08 \tag{232}$$

$$VAN = ₡66,398,759{,}16\ (\$132,207{,}87) \tag{233}$$

5.5.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$0 = \sum_{t=0}^{n} \frac{Ft}{(1+r)^t} \tag{234}$$

$$0 = \frac{75,590,439{,}37}{(1+r)} - 2,319,822{,}08 \tag{235}$$

$$1 + r = \frac{75,590,439{,}37}{2,319,822{,}08} = 32{,}6 \tag{236}$$

$$TIR = 3{,}16\,\% \tag{237}$$

5.6 Balance Técnico y Económico de la Propuesta

Con la propuesta de optimización estructural, se establece un nuevo escenario de diseño más eficiente. Las nuevas secciones, validadas por el software SAP2000, cumplieron con la resistencia, rigidez y estabilidad frente a las acciones gravitacionales y laterales, permitiendo además una considerable reducción en el consumo de materiales.

Posterior a la definición constructiva de estas nuevas secciones, se procedió al desarrollo del análisis financiero, tomando en cuenta no solo los costos asociados a los materiales en ambas metodologías, sino también los costos técnicos profesionales, el valor de las herramientas empleadas como la licencia de SAP2000, la certificación de uso y la adquisición de la norma ACI 314 RS-11, así como el tiempo requerido para desarrollar cada metodología. Este análisis incluyó la evaluación de los indicadores financieros más relevantes, que permitieron cuantificar económicamente el impacto y viabilidad de implementar una metodología de diseño más técnica y ajustada a los requerimientos reales de la edificación.

Figura 153

Resultado del análisis estructural mediante diseño simplificado ACI 314 RS-11

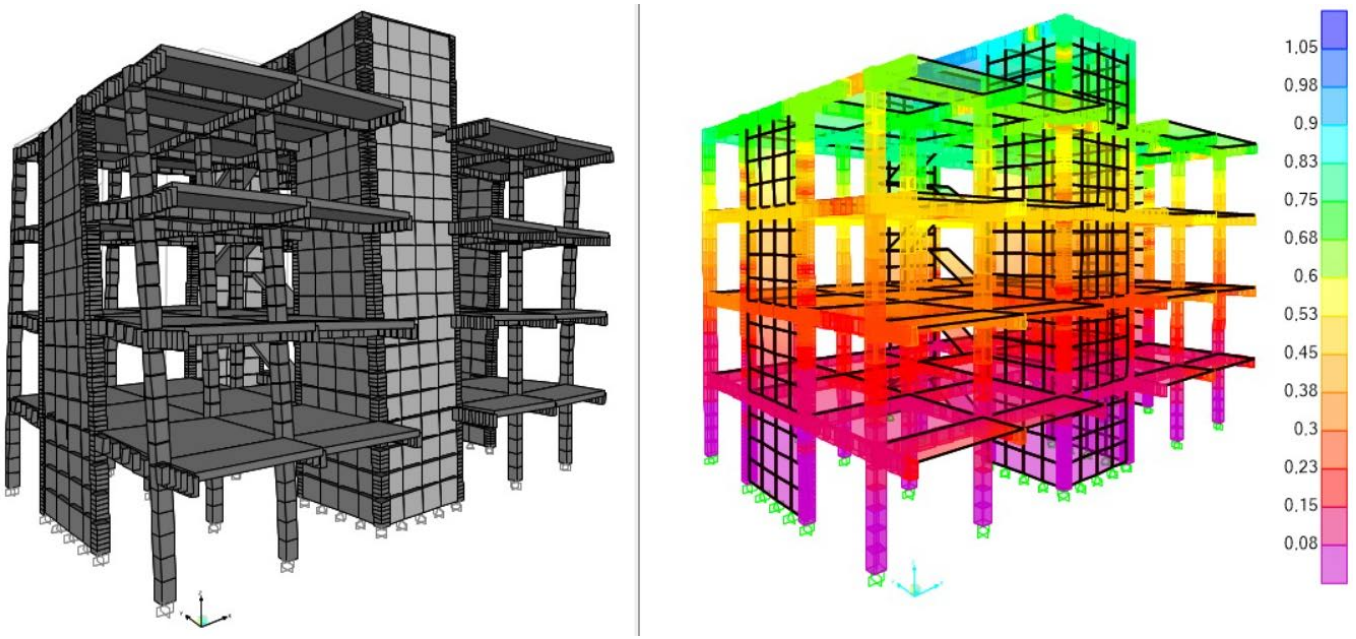
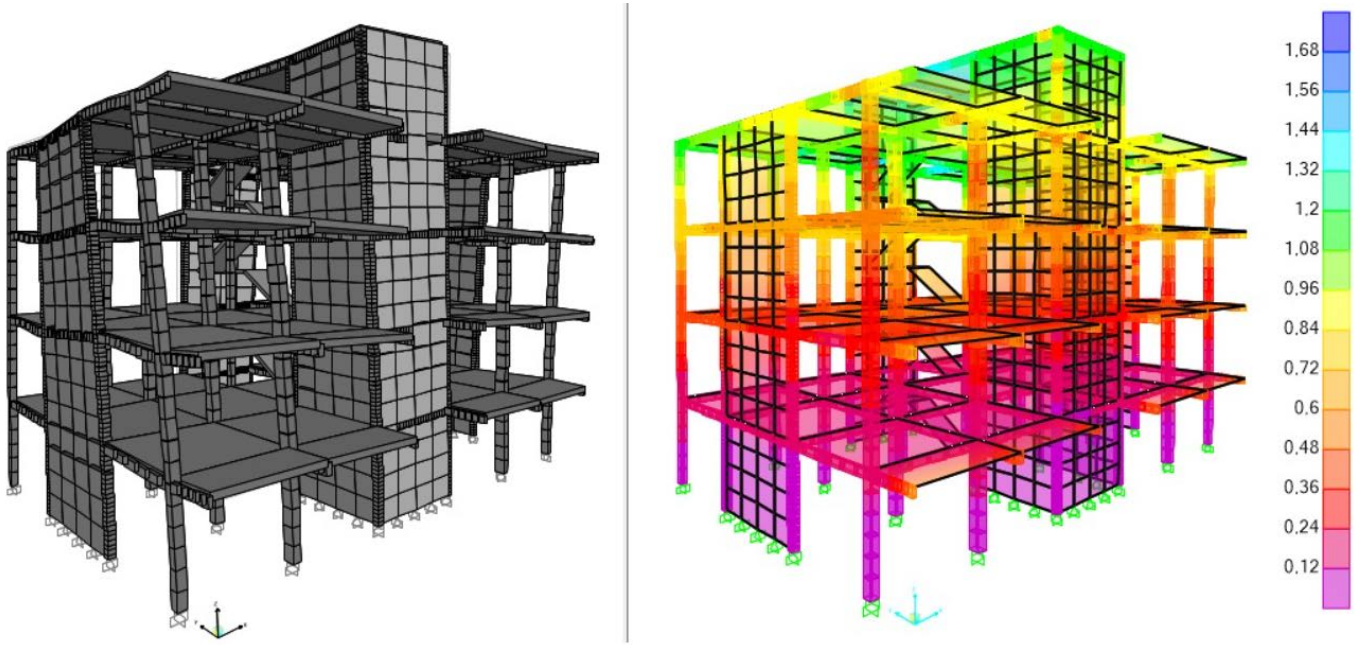


Figura 154

Resultado del análisis estructural mediante diseño con análisis de elementos finitos



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones Sobre la Metodología de Diseño Simplificado (ACI 314 RS-11)

- La aplicación de la metodología de diseño simplificado, contenida en la norma ACI 314 RS-11, permitió desarrollar un modelo estructural inicial que responde adecuadamente a los principios fundamentales de resistencia, estabilidad y seguridad estructural. Esta norma, orientada a construcciones de baja complejidad, facilita el dimensionamiento de elementos como columnas y vigas mediante reglas claras, empíricas y conservadoras, las cuales simplifican los cálculos al evitar la necesidad de realizar un análisis estructural detallado por elementos finitos o con modelos tridimensionales.

- Durante el desarrollo del proyecto, la implementación de esta metodología demostró ser eficaz para generar una solución estructural robusta desde el punto de vista normativo y práctico. Los elementos estructurales diseñados, tanto columnas como vigas, presentaron secciones de gran tamaño que garantizan un margen elevado de seguridad frente a las cargas verticales y horizontales consideradas, tales como cargas muertas, vivas, y acciones sísmicas o por viento. Sin embargo, el modelo realizado en SAP2000 permitió comprobar, de forma detallada, el comportamiento estructural de las secciones propuestas por la norma, evidenciando que, a pesar de cumplir, estas secciones resultan sobredimensionadas para los esfuerzos reales que enfrentan.

- La verificación, mediante análisis de elementos finitos, mostró que las secciones propuestas con el método simplificado generan altos consumos de material, especialmente de concreto y acero de refuerzo, en comparación con los niveles reales de solicitación estructural. Este sobredimensionamiento, aunque ofrece un elevado margen de seguridad, implica una carga económica significativa para el proyecto al no estar ajustado con precisión a las verdaderas demandas estructurales.

- La norma ACI 314 RS-11 puede representar una desventaja en términos de eficiencia económica y optimización de materiales. La facilidad de uso y bajo requerimiento de software especializado representan una ventaja para ciertos contextos, no obstante,

su aplicación generalizada, sin una verificación detallada, puede derivar en propuestas estructuralmente seguras, pero financieramente ineficientes.

Conclusiones Sobre la Metodología de Diseño por Elementos Finitos (SAP2000)

- La aplicación del método de análisis por elementos finitos, utilizando el software SAP2000, representó un enfoque integral, detallado y técnicamente superior en la evaluación del comportamiento estructural del modelo en estudio. Este método permitió abordar la estructura como un sistema global tridimensional, modelando con mayor realismo las condiciones de carga, las conexiones, las restricciones y la interacción entre elementos. A través de esta metodología fue posible obtener resultados precisos sobre esfuerzos internos, deformaciones, derivas de piso y distribución de cargas, lo que facilitó un proceso de optimización estructural sustentado en datos objetivos.

- Una de las contribuciones más relevantes del análisis por elementos finitos fue la posibilidad de reducir secciones estructurales, tanto en columnas como en vigas, sin comprometer la estabilidad ni la resistencia de la edificación. A diferencia del método simplificado basado en ACI 314 RS-11, la metodología empleada en SAP2000 permitió determinar con precisión las exigencias estructurales reales para cada componente, revelando que las secciones originalmente propuestas estaban sobredimensionadas. Mediante este nuevo enfoque, se logró asignar secciones reducidas en función de la demanda específica de cada eje vertical y nivel estructural, lo que derivó en una propuesta estructural más eficiente.

- En el caso de las columnas, aunque no se adoptó un criterio de reducción gradual nivel por nivel, se logró una reducción significativa y personalizada por eje vertical, manteniendo la sección optimizada constante en toda la altura del edificio, pero diferenciada por eje en función de su nivel de solicitación. Esto refleja un uso racional de materiales, orientado por la capacidad real requerida en cada columna. Del mismo modo, las vigas de entrepiso fueron rediseñadas con secciones menores que fueron previamente

verificadas frente a esfuerzos de momento, cortante y derivas, cumpliendo con todos los requisitos normativos establecidos.

- Se observó que, a pesar de la reducción generalizada de secciones, las derivas de piso y desplazamientos laterales obtenidos en el modelo optimizado fueron menores en comparación con el modelo inicial desarrollado por el método simplificado. Este resultado evidencia no solo la precisión del análisis por elementos finitos, sino también la posibilidad de mejorar el comportamiento global de la estructura mediante una distribución más eficiente de rigidez y masa.

- En términos de consumo de materiales, el análisis confirmó reducciones drásticas en la cantidad de concreto y acero, lo cual repercutió directamente en la reducción de los costos totales de los elementos estructurales. Estos resultados, posteriormente validados con el análisis financiero, respaldan la eficacia y viabilidad de implementar herramientas de diseño asistido por computadora en proyectos que exigen eficiencia estructural y económica.

Conclusiones Financieras

- Interpretación del retorno de la inversión (ROI):

El ROI es extremadamente alto: por cada colón invertido en diseño estructural con SAP2000, el cliente obtiene ₡32.24 de retorno. Es una inversión técnica muy rentable para el cliente.

- Interpretación del valor actual neto (VAN):

El VAN es altamente positivo, lo que indica que el uso de SAP2000 no solo recupera la inversión inicial, sino que genera un valor agregado significativo al proyecto, incluso considerando una tasa de descuento razonable.

- Interpretación de la tasa interna de retorno (TIR):

La TIR supera ampliamente cualquier tasa de rentabilidad esperada en ingeniería o construcción. Esto significa que, financieramente, la decisión de invertir en herramientas como SAP2000 y utilizar el método de elementos finitos es incuestionablemente rentable para el cliente.

- ROI = 3,224.7 %
- VAN = ₡66,398,759.16 ($132,207.87)
- TIR = 3,160 %

Estos tres indicadores reflejan que, aunque el costo profesional con SAP2000 sea mayor, la reducción en materiales estructurales optimizados compensa y excede esa inversión de forma exponencial, lo que hace que el método por elementos finitos no solo sea más técnico, sino financieramente más beneficioso para el proyecto.

Recomendaciones

- Se plantea la necesidad de investigar con mayor profundidad el vínculo entre el sobredimensionamiento de elementos estructurales, producto de metodologías conservadoras, y su impacto en el costo total de la obra. Este fenómeno, al ser acumulativo en grandes volúmenes de construcción, contribuye al encarecimiento innecesario de los proyectos y afecta directamente la competitividad del sector.
- Se recomienda promover investigaciones aplicadas que evidencien el impacto económico que tiene la falta de uso de metodologías de análisis estructural avanzadas, como el método de elementos finitos, en el desarrollo de proyectos constructivos en Costa Rica. Estas investigaciones pueden servir de base para establecer políticas de eficiencia estructural en el país.
- Es conveniente que las universidades, colegios profesionales y entidades públicas impulsen estudios comparativos entre proyectos diseñados con métodos simplificados y

aquellos optimizados mediante software especializado, con el fin de cuantificar el ahorro potencial en materiales, tiempo y recursos financieros.

- Dado el contexto actual del mercado de la construcción en Costa Rica, se recomienda que los profesionales y desarrolladores incorporen herramientas de análisis estructural computacional en proyectos de todo tipo, no solo en grandes obras. Esto permitiría establecer una cultura técnica más sostenible, orientada a la optimización de recursos y a la mejora del rendimiento financiero de los proyectos.

Referencias

Abarca Duarte, N. J. (2020). *Optimización estructural de un edificio con marcos de concreto reforzado, utilizando el método de capacidad espectral, comparando los resultados de la modelación con plasticidad concentrada y distribuida.* Descargado 2020, de https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/11456

ACI-314RS-11. (2013). *Guía para el diseño simplificado de edificaciones en concreto reforzado (aci 314 rs-11)* (1.ª ed.). Farmington: Autor.

ACI-318. (2019). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (aci 318-19)* (1era ed.). Farmington: Autor.

Amariles López, C. (2022). *Comparación entre el ACI-318-19 y la NSR-10 para diseño estructural de pórticos de concreto en zonas de amenaza sísmica alta.* Descargado 2021, de https://doi.org/10.18359/rcin.5933

Beer, F. J. (2020). *Mecánica de materiales.* (7ma ed.). McGraw-Hill Interamericana de España S.L 2020.

Brichetto Robayo, P. M. (2020). *Análisis comparativo entre el diseño de una estructura con las combinaciones de carga y los factores de reducción de resistencia del ACI 318 (71 99) Y ACI 318 (02 11).* Descargado 2020, de https://1library.co/document/yd7l5vly-analisis-comparativo-diseno-estructura-combinaciones-factores-reduccion-resistencia.html

Cañas Castañeda, A. F. (2021). *Análisis comparativo de diseño entre la Nsr-10 y los requisitos del reglamento para concreto estructural basados en el Aci-318R-14.* Descargado 2021, de https://repository.ucc.edu.co/entities/publication/4b7936a8-01c7-4c47-be40-306622d51f3e

CFIA. (2014). (4ta ed.). Código Sísmico de Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Cubiertas, H. (2025). *Sistema de cubiertas verdes laminar.* https://helecho.co/.

Cubillos Rojas, J. L. (2021). *Análisis comparativo para el diseño estructural de un edificio*

porticado con la normativa ACI318S-19 y el reglamento Colombiano NSR-10. Descargado 2021, de https://repository.udistrital.edu.co/items/78ccafd5-0f61-4417-9c2f-5c0080351ea9

Cuevillas Mora, M. (2020). *Comparación mediante el método de capacidad espectral de las curvas de capacidad estructural para edificios equivalentes de muros con losas planas (sin vigas) y edificios con muros y vigas (sistema de muros y duales).* Descargado 2020, de https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/6cbece47-1c27-4114-aedc-4641b06cbd0f

Garita Naranjo, M. G. (2022). *Comparación del análisis y diseño estructural de edificios utilizando la inercia equivalente del CSCR10-14 versus la del ACI-318-19.* Descargado 2022, de https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/e5b61f44-47fd-4af9-8775-032c981ce0a3

González Hernández, J. C. (2015). *Comparación de análisis, diseño y requisitos estructurales del sistema sismo-resistente tipo marco de concreto reforzado según el CSCR-10 y el ASCE 7-10.* Descargado 2015, de https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/da24aa12-bdbc-4505-aec1-0b3f50c98b7a

Hibbeler, R. C. (2012). *Análisis estructural.* (8va ed.). Pearson, 2012.

Laboratorio de materiales, L. (2021). *INFORME LABCORE-65-09-2021.* Obtenido de: Anexos.

Mehta, P., P.K. y Monteiro. (1998). *Concreto: Estructura, propiedades y materiales.* (1era ed.). IMCYC 1998.

Mejía Orozco, W. A. (2018). *Optimización en el diseño estructural de pórticos de concreto usando SAP2000.* Descargado 2018, de https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home-40/recursos/05-v31-35/revista33/documentos/07032019/12-33.pdf

Miranda Moya, J. G. (2019). *Efectos del incremento en la resistencia especificada a la compresión del concreto distribuida irregularmente en diferentes columnas de edificios tipo*

marco característicos de Costa Rica. Descargado 2019, de https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10991

Park, T., R y Paulay. (1980). *Estructuras de concreto reforzado* (1era ed.). Editorial Limusa.

Schindler, E. (2025). *Planifica tu elevador.* Descargado 2025, de https://digitalplan.schindler.com/

Signature, L. (2025). *Aire Acondicionado LG DUALCOOL.* Obtenido de: https://www.lg.com/cac.

tecnomundo editores ltda. (1999). *Presupuesto de obra.* (1ra ed.). Colombia: tecnomundo editores ltda.

Urbina, B. (2006). *Evaluación de proyectos.* (5ta ed.). McGraw-Hill.

APÉNDICE

Apéndice A. Glosario

Código Sísmico de Costa Rica (CSCR)

Instituto Americano del Concreto (ACI, por sus siglas en inglés)

Método de Elementos Finitos (MEF)

Norma Sismo Resistente, Colombia (NSR)

Peso propio (PP)

Programa de Análisis Estructural (SAP2000, por sus siglas en inglés)

Programación de Aplicaciones (API, por sus siglas en inglés)

Retorno de la Inversión (ROI, por sus siglas en inglés)

Sistema Extendido de Análisis Tridimensional de Edificaciones (ETABS, por sus siglas en inglés)

Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, por sus siglas en inglés)

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Valor Actual Neto (VAN)