



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**CENTRO DE RIGIDEZ PROVOCADO POR SISTEMAS DE ESCALERA DE CONCRETO
ARMADO SOBRE LA ESTRUCTURA EDIFICATORIA DE CONCRETO REFORZADO**

Carlos Eduardo Xoquic Cay

Asesorado por el Ing. Julio Antonio Arreaga Solares

Guatemala, febrero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CENTRO DE RIGIDEZ PROVOCADO POR SISTEMAS DE ESCALERA DE CONCRETO
ARMADO SOBRE LA ESTRUCTURA EDIFICATORIA DE CONCRETO REFORZADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS EDUARDO XOQUIC CAY

ASESORADO POR EL ING. JULIO ANTONIO ARREAGA SOLARES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADORA	Inga. Carmen Marina Mérida Alva
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuentes Roca
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CENTRO DE RIGIDEZ PROVOCADO POR SISTEMAS DE ESCALERA DE CONCRETO
ARMADO SOBRE LA ESTRUCTURA EDIFICATORIA DE CONCRETO REFORZADO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha noviembre de 2014.



Carlos Eduardo Xoquic Cay

Guatemala, 05 de Octubre de 2015

Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **CENTRO DE RIGIDEZ PROVOCADO POR SISTEMAS DE ESCALERA DE CONCRETO ARMADO SOBRE LA ESTRUCTURA EDIFICATORIA DE CONCRETO REFORZADO**, realizado por el estudiante Carlos Eduardo Xoquic Cay, con carné 201020490.

Considero que el trabajo de graduación cumple satisfactoriamente con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento la aprobación respectiva.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

Atentamente:


Ingeniero Civil Julio Antonio Arreaga Solares
Col. 4159
Asesor

JULIO A. ARREAGA SOLARES
INGENIERO CIVIL
COL. 4.159



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
16 de noviembre de 2015

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CENTRO DE RIGIDEZ PROVOCADO POR SISTEMAS DE ESCALERA DE CONCRETO ARMADO SOBRE LA ESTRUCTURA EDIFICATORIA DE CONCRETO REFORZADO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Carlos Eduardo Xoquic Cay, con Carnet No. 201020490, quien contó con la asesoría del Ingeniero Julio Antonio Arceaga Solares.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

Abdcb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





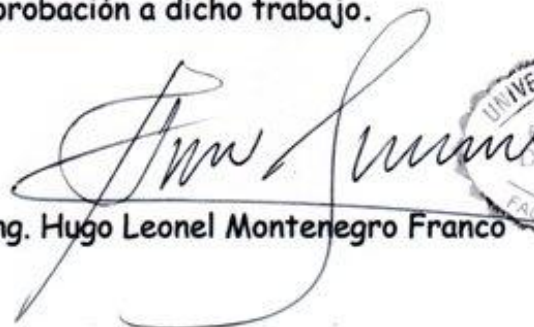
USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Julio Antonio Arreaga Solares y del Coordinador del Departamento de Estructuras Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera, al trabajo de graduación del estudiante Carlos Eduardo Xoquic Cay, titulado **CENTRO DE RIGIDEZ PROVOCADO POR SISTEMAS DE ESCALERA DE CONCRETO ARMADO SOBRE LA ESTRUCTURA EDIFICATORIA DE CONCRETO REFORZADO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, febrero 2016
 /mrm.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.083.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **CENTRO DE RIGIDEZ PROVOCADO POR SISTEMAS DE ESCALERA DE CONCRETO ARMADO SOBRE LA ESTRUCTURA EDIFICATORIA DE CONCRETO REFORZADO**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Eduardo Xoquic Cay**, y después haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Potanco
Decano



Guatemala, febrero de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Gracias por todo.

Mis hermanos

Por su apoyo y demás.

Mi asesor

Ingeniero Julio Antonio Arreaga Solares, por apoyarme a finalizar este trabajo.

Mis amigos

A todos mis amigos quienes me apoyaron para mi realización profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres	Por haber formado la celulosa que me permite, imaginar, pensar, crear y sobre todo sentir.
Mis hermanos	Por estar ahí, aunque algunos ya no estén.
Mi asesor	Ingeniero Julio Antonio Arreaga Solares, por haberme apoyado con sus sugerencias y comentarios en la elaboración de este trabajo, y también por sus enseñanzas.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme adquirir conocimientos desde una perspectiva académica.
Facultad de Ingeniería	Por las experiencias vividas en la formación como ingeniero civil.
Mis amigos	A todos con quienes tuve la oportunidad de conocer y compartir ideas, palabras y experiencias, especialmente a: Helen Castañeda, Laura Taracena, María Fernanda Ramírez, Narda Lucía Pacay, Rocio Marisol Palacios, Yoselin López, Carlos Grajeda, Cesar Bernal, Daniel Ramos, Edy Rodríguez, Estuardo López, Gerber González, Javier Hernández, José Valdez, José Galicia, José Pedro

Suntecun, Josué Chic, Juan Diego Mejia, Kevin Martínez, Tony Velásquez, Pablo Navas, Roger Calderón y Jimmy Yoc, esperando que cumplan todo lo que deseen.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XIX
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. SISTEMAS DE ESCALERA.....	1
1.1. Definición de sistemas de escalera.....	1
1.2. Clasificación de sistemas de escalera.....	3
1.2.1. Sistemas de escalera simplemente apoyado.....	3
1.2.1.1. Sistemas de escalera apoyado longitudinalmente.....	3
1.2.1.2. Sistemas de escalera apoyado transversalmente.....	4
1.2.2. Sistemas de escalera de uso cotidiano.....	5
1.2.3. Sistemas de escalera de emergencia.....	5
1.2.4. Sistemas de escalera autoportante.....	6
1.2.5. Sistemas de escalera de losa maciza.....	7
1.2.6. Sistemas de escalera con apoyo intermedio.....	7
1.2.7. Sistemas de escalera ortopoligonal.....	8
1.2.8. Sistemas de escalera helicoidal.....	9
2. CARGAS ACTUANTES EN SISTEMAS EDIFICATORIOS.....	11
2.1. Cargas en sistemas sin escalera.....	11

2.1.1.	Carga viva o de ocupación	12
2.1.2.	Carga muerta o peso propio	14
2.2.	Cargas en sistemas de escalera	14
2.2.1.	Carga viva o de ocupación	21
2.2.2.	Carga muerta o peso propio	23
2.3.	Combinación de cargas de acuerdo a códigos constructivos ..	23
2.4.	Carga sísmica	26
2.4.1.	Análisis de carga sísmica de acuerdo con Agies NSE-10.....	27
2.4.1.1.	Método de carga sísmica estática equivalente	28
2.4.2.	Aplicación de corte basal en estructuras	46
2.5.	Cálculo estructural de cortante basal estático a cedencia	47
2.5.1.	Modelo de la edificación	47
2.5.1.1.	Predimensionamiento de elementos estructurales	49
2.5.1.1.1.	Losa.....	49
2.5.1.1.2.	Viga	52
2.5.1.1.3.	Columna	53
2.5.1.2.	Modelo de la edificación con sistemas de escalera, e independiente a ellos	56
2.5.2.	Determinando coeficiente sísmico al límite de cedencia.....	63
2.5.2.1.	Índice de sismicidad	63
2.5.2.2.	Nivel de protección	63
2.5.2.3.	Clase de sitio de suelo.....	63
2.5.2.4.	Ordenada espectral	64
2.5.2.5.	Ajuste a condiciones en la superficie ...	64

2.5.2.6.	Ajuste por intensidades sísmicas espectrales.....	64
2.5.2.7.	Calibración de espectro a nivel de diseño requerido	65
2.5.2.8.	Periodo de transición.....	65
2.5.2.9.	Periodo fundamental de vibración de la edificación	66
2.5.2.10.	Ordenada espectral.....	66
2.5.2.11.	Coeficiente sísmico al límite de cedencia.....	66
2.5.3.	Peso sísmico efectivo de la edificación, influenciado por sistemas de escalera	67
2.5.3.1.	Peso de elementos en la edificación	68
2.5.4.	Cortante basal de la edificación influenciado por sistemas de escalera	69
2.5.5.	Fuerza por piso de la edificación, influenciado por sistemas de escalera	70
3.	DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS	73
3.1.	Fuerzas por piso.....	73
3.2.	Fuerzas por marco.....	74
3.2.1.	Rigidez lateral en marco	76
3.2.1.1.	Rigidez en secciones simétricas (secciones cuadradas)	77
3.2.1.2.	Rigidez en secciones no simétricas (secciones rectangulares)	78
3.2.2.	Rigidez lateral total	81
3.3.	Fuerzas en sistemas de escalera	82
3.3.1.	Rigidez lateral	82

3.3.1.1.	Rigidez en secciones no simétricas (secciones rectangulares).....	84
3.3.2.	Sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente	85
3.3.2.1.	Deformación por flexión	90
3.3.2.2.	Deformación por corte	93
3.3.2.3.	Deformación total.....	95
3.3.2.4.	Rigidez	96
3.3.2.5.	Rigidez que aporta un sistema de escalera al marco	96
3.3.2.6.	Método de columna ancha de sección variable	97
3.3.2.7.	Abertura equivalente en muros	98
3.3.2.8.	Cálculo de rigidez en sistemas de escalera simplemente apoyado longitudinalmente.....	100
3.3.3.	Sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal.....	105
3.3.3.1.	Cálculo de rigidez en sistemas de escalera ortopoligonal.....	109
3.3.4.	Sistema de escalera apoyado transversalmente ..	114
3.3.4.1.	Cálculo de rigidez en sistemas de escalera apoyado transversalmente ..	115
3.3.5.	Sistema de escalera con escalones en voladizo...	120
4.	MODELACIÓN DE CENTRO DE RIGIDEZ.....	127
4.1.	Centro de masa.....	127
4.1.1.	Coordenada geométrica de equilibrio en sistemas de escalera	128

4.1.2.	Cálculo estructural centro de masa	134
4.1.2.1.	Centro de masa de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera.....	134
4.1.2.2.	Centro de masa de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera.....	136
4.2.	Centro de rigidez	136
4.2.1.	Coordenada geométrica de equilibrio en sistemas de escalera	137
4.2.2.	Cálculo estructural centro de rigidez	138
4.2.2.1.	Centro de rigidez de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera.....	138
4.2.2.2.	Centro de rigidez de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera.....	139
5.	EFFECTOS DE TORSIÓN	141
5.1.	Excentricidad	141
5.1.1.	Real	141
5.1.2.	Diseño	142
5.1.3.	Cálculo estructural excentricidad	142
5.1.3.1.	Excentricidad de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera.....	143
5.1.3.2.	Excentricidad de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera.....	144

5.2.	Torsión.....	145
5.2.1.	Cálculo estructural de momento torsionante sísmico	145
5.2.1.1.	Momento torsionante sísmico de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera	146
5.2.1.2.	Momento torsionante sísmico de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera	147
5.3.	Deriva.....	148
5.3.1.	Cálculo estructural deriva	148
5.3.1.1.	Deriva de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera	149
5.3.1.2.	Deriva de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera	151
	CONCLUSIONES	155
	RECOMENDACIONES	159
	BIBLIOGRAFÍA	161
	APÉNDICES	163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema de escalera.....	2
2.	Tramos en sistemas de escalera.....	4
3.	Sistemas de escalera apoyado transversalmente	5
4.	Sistema de escalera autoportante.....	6
5.	Sistemas de escalera de losa maciza	7
6.	Sistema de escalera con apoyo intermedio.....	8
7.	Sistema de escalera ortopoligonal	9
8.	Sistema de escalera helicoidal	10
9.	Filosofía de longitudes proyectadas para evaluar cargas inducidas a sistemas de escalera simplemente apoyado	15
10.	Filosofía de longitudes inclinadas para evaluar cargas inducidas a sistemas de escalera simplemente apoyado.....	16
11.	Carga aplicada directamente a la placa inclinada del sistema con ángulo \emptyset	17
12.	Carga aplicada perpendicular sobre la placa inclinada.....	18
13.	Carga aplicada perpendicular sobre la huella del escalón.....	19
14.	Zonificación sísmica para la República de Guatemala	33
15.	Modelo de la edificación.....	48
16.	Edificación independiente al sistema de escalera	57
17.	Edificación con sistema de escalera simplemente apoyado	58
18.	Edificación con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal	59
19.	Edificación con sistema de escalera apoyada transversalmente	60

20.	Edificación con sistema de escalera con escalones en voladizo	61
21.	Edificación con sistema de escalera con escalones en voladizo ubicada en el extremo	62
22.	Distribución de fuerza cortante de cedencia, a lo alto de una edificación	73
23.	Distribución de fuerza cortante de cedencia, a lo alto de un sistema de escalera	74
24.	Elementos estructurales en marcos	76
25.	Secciones de elementos expuestos a deformación	78
26.	Muro de corte	79
27.	Fuerza cortante de cedencia, paralela y perpendicular a la dirección de un sistema de escalera	83
28.	Escalones en sistemas de escalera	84
29.	Fuerza, paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera, simplemente apoyado longitudinalmente	85
30.	Deformación en sistema de escalera con apoyo articulado- empotrado longitudinalmente, provocada por la fuerza, paralela a la dirección del tramo	86
31.	Relación de deformaciones entre escalones	87
32.	Deformaciones de elemento en voladizo	88
33.	Diagramas de un elemento en voladizo	91
34.	Rigidez de escalón y placa de losa inclinada	93
35.	Sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente en la edificación	101
36.	Abertura equivalente de sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente.....	103
37.	Discretización y apertura equivalente de escalones en sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente.....	104

38.	Fuerza, paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera ortopoligonal	106
39.	Deformación en sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal, provocada por la fuerza paralela a la dirección del tramo.....	107
40.	Deformaciones de elemento doblemente empotrado	108
41.	Sistema de escalera ortopoligonal en la edificación	110
42.	Abertura equivalente de sistema de escalera ortopoligonal.....	111
43.	Discretización y abertura equivalente de escalones en sistema de escalera ortopoligonal	112
44.	Fuerza, paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera, apoyada transversalmente	115
45.	Sistema de escalera apoyado transversalmente en la edificación	117
46.	Abertura equivalente de sistema de escalera apoyado transversalmente.....	118
47.	Fuerza, en dirección al sistema de escalera helicoidal.....	121
48.	Deformación en sistema de escalera helicoidal, provocada por la fuerza	122
49.	Coordenada geométrica de equilibrio, en sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente	129
50.	Coordenada geométrica de equilibrio, en sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal	130
51.	Coordenada geométrica de equilibrio, en sistema de escalera apoyado transversalmente	131
52.	Coordenada geométrica de equilibrio, en sistema de escalera con escalones en voladizo	132

TABLAS

I.	Cargas vivas para estructuras comunes	13
II.	Cargas vivas en sistemas de escalera	22
III.	Combinación de cargas método de diseño por resistencia	25
IV.	Combinaciones de cargas usualmente empleadas	26
V.	Nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad de sismo de diseño	29
VI.	Características irregulares en planta	30
VII.	Características irregulares en elevación	31
VIII.	Guía para clasificación de sitio	34
IX.	Coeficiente de sitio para periodos de vibración cortos	36
X.	Coeficiente de sitio para periodos de vibración largos	36
XI.	Tipo de fuente sísmica.....	37
XII.	Coeficientes de amenazas especiales para periodos de vibración cortos	38
XIII.	Coeficientes de amenazas especiales para periodos de vibración largos	39
XIV.	Factores de escala de niveles de diseño	40
XV.	Coeficientes y factores para diseño de sistemas sismorresistentes	42
XVI.	Coeficientes para determinar el periodo de vibración de la estructura de forma empírica y genérica.....	43
XVII.	Constante k	47
XVIII.	Relación de columnas	55
XIX.	Peso sísmico efectivo de la edificación, influenciado por sistemas de escalera	68
XX.	Corte basal de la edificación influenciado por sistemas de escalera	69
XXI.	Fuerza por piso de la edificación, influenciado por sistemas de escalera.....	71

XXII.	Rigidez paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente en voladizo.....	105
XXIII.	Rigidez perpendicular a la dirección del tramo del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente en voladizo	105
XXIV.	Rigidez paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera ortopoligonal en voladizo.....	113
XXV.	Rigidez perpendicular a la dirección del tramo del sistema de escalera ortopoligonal en voladizo	113
XXVI.	Rigidez paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera ortopoligonal doblemente empotrado	114
XXVII.	Rigidez perpendicular a la dirección del tramo del sistema de escalera ortopoligonal doblemente empotrado.....	114
XXVIII.	Rigidez paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera apoyado transversalmente en voladizo	116
XXIX.	Rigidez perpendicular a la dirección del tramo del sistema de escalera apoyado transversalmente en voladizo	119
XXX.	Rigidez paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera apoyado transversalmente doblemente empotrado.....	119
XXXI.	Rigidez perpendicular a la dirección del tramo del sistema de escalera apoyado transversalmente doblemente empotrado	120
XXXII.	Coordenada geométrica de equilibrio, en sistemas de escalera.....	133
XXXIII.	Centro de masa de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera.....	135
XXXIV.	Centro de masa, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera	136
XXXV.	Centro de rigidez de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera.....	139
XXXVI.	Centro de rigidez, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera	140

XXXVII.	Excentricidad de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera	143
XXXVIII.	Excentricidad de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera	144
XXXIX.	Momento torsionante sísmico de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera	146
XL.	Momento torsionante sísmico de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera	147
XLI.	Deriva de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera	149
XLII.	Deriva de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera	151

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
g	Aceleración debida a la gravedad.
H_e	Altura de abertura equivalente.
h_n	Altura del edificio desde la base en metros.
H_i	Altura del elemento vacío.
h_i	Altura del muro i sobre la base.
h_x	Altura del nivel x sobre la base.
H	Altura de la columna circular central del sistema de escalera helicoidal.
b_w	Ancho del alma.
\emptyset	Ángulo entre la carga aplicada y el tramo inclinado del sistema.
A_{ab}	Área bajo la curva del diagrama de momento entre el punto a y el punto b .
A_e	Área de abertura equivalente.
A_i	Área del elemento vacío.
A_g	Área gruesa de columna.
b_e	Base de abertura equivalente.
L_i	Base del elemento vacío.
W	Carga ambiental o peso del elemento, acorde al contexto descriptivo.
W_u	Carga última.
$W'u$	Carga aplicada perpendicular sobre la placa inclinada del sistema.

$W''u$	Carga aplicada perpendicular sobre la huella del escalón.
P_u	Carga axial en columna.
D	Carga muerta.
L	Carga viva o longitud proyectada del tramo, acorde al contexto descriptivo.
E	Carga de sismo.
W_v	Carga uniformemente distribuida.
P_v	Carga puntual.
CM	Centro de masa.
CR	Centro de rigidez.
F_a	Coefficiente de sitio para periodos de vibración cortos.
F_V	Coefficiente de sitio para periodos de vibración largos.
N_a	Coefficiente por proximidad de las amenazas especiales para periodos de vibración cortos.
N_v	Coefficiente por proximidad de las amenazas especiales para periodos de vibración largos.
c_b	Coefficiente lado mayor.
c_a	Coefficiente lado menor.
$K_T \circ x$	Coefficientes que depende del sistema estructural.
C_S	Coefficiente sísmico al límite de cedencia.
k	Constante de distribución de esfuerzos cortantes.
c	Contrahuella.
V	Cortante.
V_{ac}	Cortante actuante.
V_B	Cortante basal estático a cedencia.
V_{res}	Cortante resistente.
γ	Deformación angular por corte.
δ	Deformación por flexión.

δ_b	Deformación por flexión en el punto b .
$t_{b/a}$	Desviación tangencial en el punto b , respecto a la tangente trazada en el punto a , en el mismo sistema.
Δ_T	Deformación total en el elemento.
ΔV	Deriva.
u_i	Desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i .
\bar{d}	Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.
B	Dimensión del nivel perpendicular a la dirección de las fuerzas consideradas.
d	Distancia desde eje neutro del elemento, a un eje de referencia.
d'	Distancia entre la posición modificado de forma del centro de rigidez a cada marco.
\check{X}_b	Distancia entre el punto deformable de interés y el punto de equilibrio del diagrama de momento en el eje horizontal.
τ	Esfuerzo por corte.
S_{cd}	Espectro calibrado al nivel de diseño requerido corto.
S_{1d}	Espectro calibrado al nivel de diseño requerido de 1 segundo.
t	Espesor de losa.
e_d	Excentricidad de diseño.
e_{dx}	Excentricidad de diseño en <i>eje x</i> .
e_{dy}	Excentricidad de diseño en <i>eje y</i> .
e_r	Excentricidad real.
K_d	Factor de determinación de los niveles de diseño.

R	Factor de reducción de respuesta sísmica.
F_x	Fuerza cortante de cedencia en el nivel x de la edificación.
F_i	Fuerza estática equivalente para el nivel i .
β	Factor que está en función del tipo de apoyo.
F_m	Fuerza por marco.
h	Huella.
h_1	Horizontal proyectada de huella.
I	Inercia del elemento.
J	Momento de inercia polar equivalente.
kg	Kilogramos.
kg/m^2	Kilogramos sobre metro cuadrado.
l_a	Lado corto.
l_c	Lado de sección de columna.
l_b	Lado largo.
l	Longitud del elemento.
L''	Longitud real o longitud del tramo inclinado.
m	Metro, unidad de longitud.
E	Módulo de elasticidad del elemento.
G	Módulo de corte del material.
M	Momento flector.
T	Momento torsionante sísmico, periodo de vibración de la estructura o tonelada, acorde al contexto descriptivo.
s_c	Sobrecarga.
$\sum R_c$	Sumatoria de relación de columnas.
S_{cs}	Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructura con periodo de vibración corto.

S_{1s}	Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructura con periodo de vibración de 1 segundo.
S_{cr}	Ordenada espectral de periodo corto del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.
S_{1r}	Ordenada espectral de periodo de 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.
$S_a(T)$	Ordenada espectral para cualquier periodo de vibración T .
p	Perímetro.
T_s	Periodo de transición que separa los periodos cortos de los largos en segundos.
T_F	Periodo de vibración de la estructura de forma analítica.
T_a	Periodo de vibración de la estructura de forma empírica.
p_c	Peso de concreto.
γ_c	Peso específico del concreto.
W_s	Peso sísmico efectivo.
W_x	Peso sísmico efectivo del nivel x .
W_i	Peso sísmico efectivo del nivel i .
$\frac{H_e'}{b_e'} \frac{b_e'}{H_e'}$	Proporción de abertura equivalente.
r	Radio sección circular o vertical proyectada de contrahuella, acorde al contexto descriptivo.
$\sqrt{f'_c}$	Raíz cuadrada de resistencia específica a compresión del concreto.

λ	Reducción del concreto.
μ	Relación de Poisson del material.
f'_c	Resistencia específica a compresión del concreto.
K_{ls}	Rigidez de un sistema integrado por dos diferentes elementos estructurales.
K	Rigidez del elemento expuesto a la deformación.
K_{IT}	Rigidez lateral de elementos en el nivel x de la edificación paralela a la fuerza F_x .
K_{lcc}	Rigidez lateral de columna circular central del sistema.
K_{lm}	Rigidez lateral del marco.
$K_l(EE_1)$	Rigidez lateral del primer elemento estructural (Columna).
$K_l(EE_2)$	Rigidez lateral del segundo elemento estructural (Muro de corte).
K_{IT}	Rigidez lateral total de elementos en el nivel x de la edificación paralela a la fuerza F_x .
A_c	Sección deslizada debido a la fuerza cortante.

GLOSARIO

ACI	American Concrete Institute.
Agies	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
Carga gravitacional	Carga en dirección paralela a la dirección del campo gravitacional.
Carga lateral	Carga en dirección horizontal, generalmente provocada por acciones de sismos o vientos.
Contrahuella	Nombre asignado a la componente vertical de un escalón.
Deflexión	Deformación que sufre un elemento debido a flexiones internas.
Deformación	Cambio de tamaño o forma de un elemento, provocado por fuerzas.
Deriva	Desplazamiento que resulta del ladeo debido a cargas laterales.
Escalón	Superficie de diferente nivel que permite ascender distancias de diferente altura.

Esfuerzo	Resistencia que ofrece un área unitaria a la fuerza aplicada.
Excentricidad	Distancia entre el centro de rigidez y centro de masa.
Fuerza	Energía que se aplica a un elemento.
Huella	Nombre asignado a la componente horizontal de una escalón.
Inercia	Resistencia que un cuerpo en rotación opone al cambio de su velocidad de giro.
Muro	Componente utilizado para separar espacios o estructuralmente para resistir cargas gravitacionales y dinámicas.
Nivel	Cada región formada por los elementos horizontales de una estructura reticular.
NSE	Norma de Seguridad Estructural relacionado a Agies.
Piso	Espacio entre dos niveles de una estructura.
Periodo	Tiempo transcurrido en regresar al origen.
Rigidez	Capacidad de un elemento a oponerse a la deformación.

Sección transversal	Parte de un elemento estructural, resultante cuando es cortado por un plano perpendicular al eje longitudinal del elemento.
Sismo resistente	Elementos diseñados para resistir movimiento sísmico.

RESUMEN

El centro de rigidez, provocado por sistemas de escalera de concreto armado sobre la estructura edificatoria de concreto reforzado, es analizado con la finalidad de determinar cómo influyen los sistemas de escalera. Esto cuando son integrados al análisis estructural de la edificación, como elementos estructurales o elementos que cumplan otras funciones.

Al analizar la influencia de los sistemas de escalera, cuando cumplan una función distinta al estructural dentro de la edificación, se realiza por medio de la influencia de peso adicional que suma el sistema de escalera a la edificación. Esto por medio de apoyos articulados, sin incluirlo como elemento resistente a fuerzas horizontales.

Al integrar sistemas de escalera al análisis estructural de la edificación, las variables involucradas son diversas y complejas. Esto desde la configuración arquitectónica del sistema de escalera, hasta la ubicación del sistema dentro de la edificación. Al analizar las variables involucradas se reduce a las variables de mayor influencia dentro de la edificación como: la configuración y ubicación de los distintos sistemas.

La configuración y ubicación de los sistemas de escalera se analizan de acuerdo a las variables involucradas, al realizar el cálculo estructural por sismo, que están determinados por el peso y la rigidez que aportan estos sistemas a la edificación. Por ello se propone cuatro configuraciones distintas de sistemas de escalera dentro de la edificación, que tienen variables de apoyos y configuraciones geométricas en el perfil de sus escalones.

El procedimiento para determinar la influencia de las distintas configuración de sistemas de escalera, dentro de la edificación, es por medio de la ubicación en el mismo lugar o lo más cercano posible. Esto de acuerdo a su configuración, y determinar cómo influye la configuración de sus escalones o apoyos. Para analizar la influencia de los sistemas de escalera, por medio de su ubicación dentro de la edificación se realiza por medio de situar al sistema de escalera en el extremo de la edificación, y determinar desde la distancia del centro geométrico de la edificación a la ubicación del sistema de escalera, cuál es la influencia del sistema.

En la sección final del escrito se expone el comportamiento de la edificación provocado por las cargas actuantes de los sistemas de escalera y los lineamientos. Esto para determinar la rigidez de sistemas de escalera por medio de métodos simplificados de la literatura que determinan la rigidez de elementos específicos. Además de exponer el comportamiento del centro de rigidez del edificio con distintos sistemas de escalera.

OBJETIVOS

General

Analizar el comportamiento provocado por sistemas de escalera de concreto armado sobre la estructura edificatoria de concreto reforzado.

Específicos

1. Proporcionar cuál es el comportamiento provocado por las cargas actuantes en distintos sistemas de escalera.
2. Establecer cuáles son los lineamientos para conocer la rigidez provocado por sistemas de escalera.
3. Dar a conocer cuál es la configuración de rigidez lateral en distintos sistemas de escalera.
4. Determinar cuál es el comportamiento de centro de rigidez en la edificación cuando se utilizan configuraciones distintas de sistemas de escalera en los distintos niveles.

INTRODUCCIÓN

Al interactuar sistemas de escalera de concreto reforzado en la estructura edificatoria, evidencia la necesidad de analizar el comportamiento. Esto que pueden ser incluidos desde elementos o sistemas resistentes a fuerzas horizontales, o sistemas que cumplan otras funciones no resistentes. La influencia y el comportamiento de integrar sistemas de escalera en la estructura edificatoria es complejo. Sin embargo, las variables de mayor influencia radican en la configuración y ubicación de sistemas de escalera dentro de la edificación, que dependen del tipo de apoyo que posean.

El primer capítulo expone distintas configuraciones de sistemas de escalera, y los apoyos que pueden tener, longitudinalmente o transversalmente. Además de las configuraciones de sistemas de escalera compuestos de uno o varios tramos. En dicho capítulo también se exponen cuáles son las dimensiones adecuadas en inclinación o dimensión de escalones en sistemas de escalera, que se encuentran determinados por la morfología de personas que lo utilicen.

El segundo capítulo describe cargas involucradas en sistemas estructurales, y la influencia que dichas cargas tienen al momento de construir sistemas de escalera. Estos que se encuentran influenciados por la adecuada combinación de carga que se utilice al momento de integrarlos. El análisis de carga horizontal de sismo se expone por medio del método de carga sísmica estática equivalente determinado por Agies. En este se describe el procedimiento, y se ejemplifica por medio del modelo estructural edificatorio con distintos sistemas de escalera, e independiente a ellos. Se concluye, en dicho

capítulo, con la comparación de integración de cargas, y la comparación de corte basal. Esto de acuerdo a la configuración de sistemas de escalera que posea la estructura edificatoria.

El tercer capítulo describe la rigidez de distintos elementos estructurales, resistentes a fuerzas horizontales dentro de la edificación, como columnas o sistemas de escalera. Para obtener la rigidez de sistemas de escalera, perpendicular o paralela entre la fuerza y el tramo del sistema, se describe métodos utilizados en la literatura que determinan la rigidez de elementos específicos. Además de lineamientos que tales métodos utilizan y se ejemplifican con las configuraciones de sistemas de escalera.

El cuarto y quinto capítulo expresan resultados comparativos cuantitativos, obtenidos en el procedimiento de cálculo estructural por sismo. El cuarto capítulo describe la coordenada geométrica de equilibrio de sistemas de escalera, y el comportamiento de centro de masa y rigidez de la estructura edificatoria. Esto con sistemas de escalera e independiente a ellos, por la influencia de su configuración y ubicación dentro de la edificación. El quinto capítulo expone cuantitativamente resultados de excentricidad, torsión y derivas por la configuración y ubicación de sistemas de escalera dentro de la edificación.

1. SISTEMAS DE ESCALERA

1.1. Definición de sistemas de escalera

Es una estructura para el traslado de un punto específico a otro, pero con diferentes cotas de nivel, medidas a partir de un punto en común. Los sistemas de escalera, fundamentalmente, tienen la función de permitir trasladarse de un punto a otro, pero pueden ser utilizados como elementos estructurales de rigidez, cuando se involucran en el análisis estructural de la edificación. Sin embargo, con las distintas configuraciones estructurales que puedan existir, se debe tener un análisis específico sobre su rigidez. En general la configuración estructural de sistemas de escalera, está basada en losas o placas de concreto armado apoyadas en sus extremos.

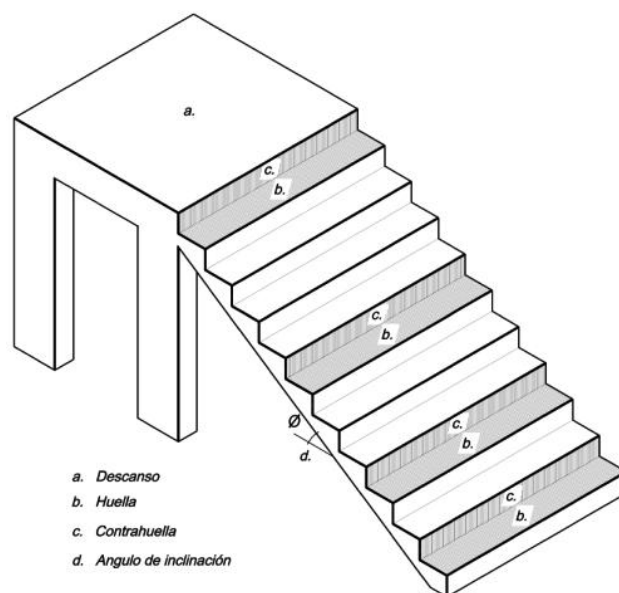
La configuración de sistemas de escalera está determinado por la comodidad y la confiabilidad que depende en gran medida de la inclinación de los tramos. Por ello, el grado recomendado de inclinación, que debe tener un sistema de escalera, es de 20° a 50° , considerando que inclinaciones menores al límite inferior, se emplee el uso de rampas.

También es evidente que la comodidad y la confiabilidad están íntimamente relacionadas a la forma escalonada, que permitirá al usuario transitar por los tramos del sistema. Estos son denominadas huellas y contrahuellas, que dependen de la morfología promedio de las personas que la utilizarán. Para el caso de Guatemala se recomienda utilizar el código constructivo de Perú, que ha obtenido sus resultados mediante la investigación

de especímenes con constituciones físicas y constructivas similares a las de los guatemaltecos.

La relación entre la huella y la contrahuella de sistemas de escalera debe ser: la sumatoria de dos veces la contrahuella, más la huella tenga una variación de 0,60 m a 0,64 m. La huella mínima es de 0,25 m y la contrahuella variará según los siguientes parámetros: para escaleras monumentales deberá variar entre 0,13 m a 0,15 m. Para edificios o casas la contrahuella deberá variar entre 0,15 m a 0,175 m. En sistemas de escalera secundarias (emergencia) la contrahuella deberá ser de 0,20 m. Se recomienda que el ancho del sistema constituya: para viviendas, el ancho mínimo sea de 1,00 m. Para sistemas secundarios o de emergencia 0,80 m, para sistemas de caracol o helicoidales 0,60 m y finalmente para sistemas de edificios 1,20 m en el caso de escaleras de uso cotidiano y de emergencia.

Figura 1. **Sistema de escalera**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.2. Clasificación de sistemas de escalera

Se pueden clasificar por las características de su propia configuración estructural y física. Por su configuración del uso para la cual es diseñada.

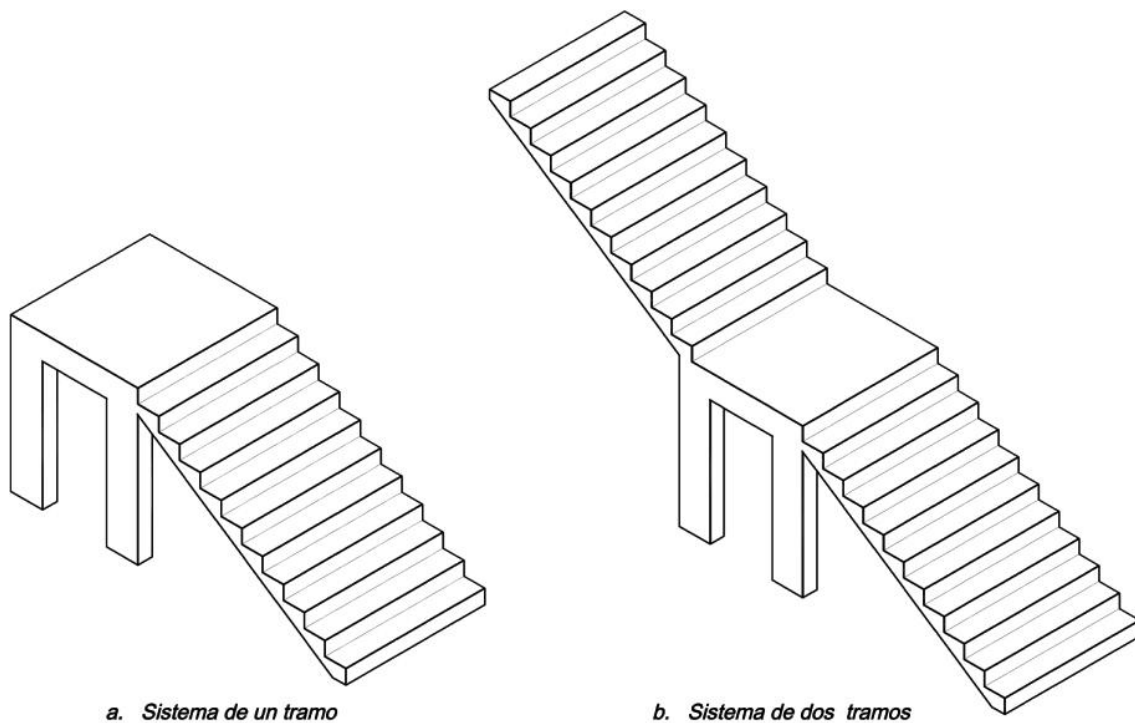
1.2.1. Sistemas de escalera simplemente apoyado

Estos tienen la característica de ser de longitudes cortas, que varían de tres a cuatro metros de longitud, y sus apoyos son sistemas de vigas. Estos pueden estar ubicados en sus extremos o estar ubicados como apoyos intermedios. Cuando se dé este apoyo intermedio, la longitud de los sistemas de escalera pueden ser mayores (de cuatro a seis metros), siempre que posean vigas en sus extremos. Además de diseñar la viga intermedia con capacidades estructurales para resistir los esfuerzos torsionales que el sistema le provoque. Los apoyos de estos sistemas de escalera pueden ubicarse en los extremos de la losa de concreto armado como apoyos transversales, o en los extremos del escalón como apoyos longitudinales.

1.2.1.1. Sistemas de escalera apoyado longitudinalmente

Estos son sistemas de losas apoyado en sus extremos en el sentido del eje de la escalera y en el escalón el acero de refuerzo principal. Estos sistemas de escalera simplemente apoyadas se dividen en uno, dos o más tramos, aunque la metodología de diseño es la misma.

Figura 2. **Tramos en sistemas de escalera**

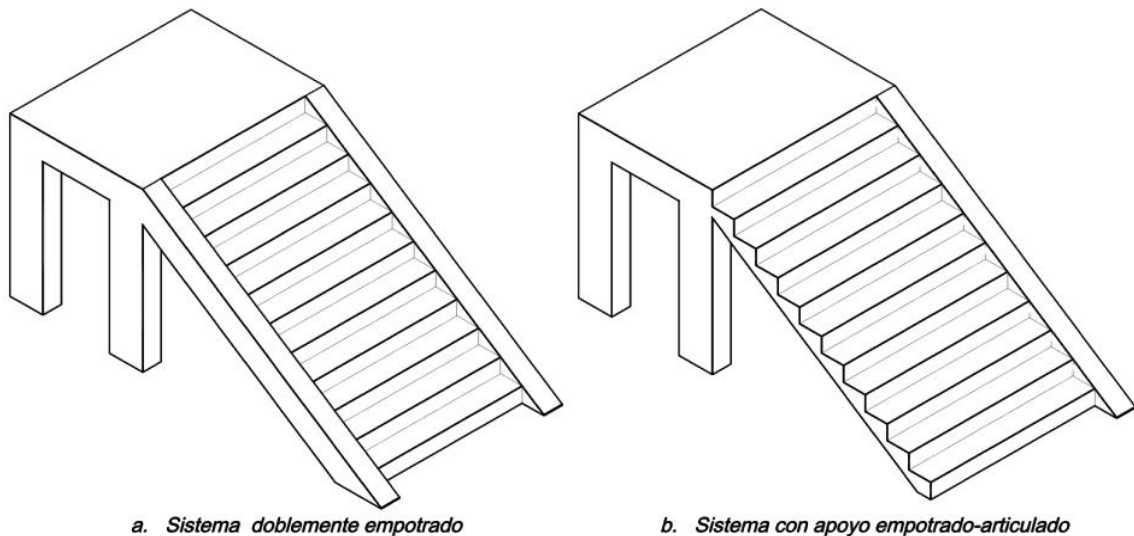


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.2.1.2. Sistemas de escalera apoyado transversalmente

Estos están apoyadas en los extremos de los escalones, llamados escalones autoportantes con acero de refuerzo principal en el eje del escalón. Estos sistemas de escalera se pueden apoyar en sus extremos por articulaciones o empotramientos, o una combinación de las dos anteriores, es decir articulado y empotrado en una estructura altamente rígida.

Figura 3. **Sistemas de escalera apoyado transversalmente**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.2.2. **Sistemas de escalera de uso cotidiano**

Estos son los que brindan acceso en cualquier momento de la vida de la edificación. Aunque la característica principal de estos sistemas es que debe resistir los esfuerzos de cargas gravitacionales diariamente, a la que es inducido.

1.2.3. **Sistemas de escalera de emergencia**

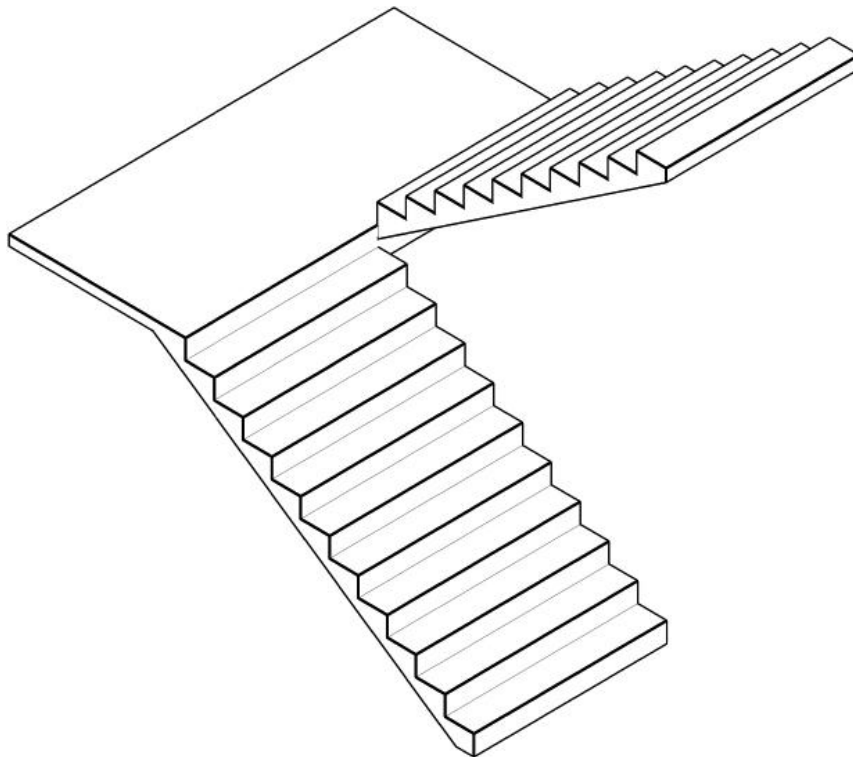
Estos, son sistemas que deben resistir la combinación crítica de cargas para evacuar a los usuarios de una edificación al momento de presentarse una catástrofe. En zonas clasificadas altamente sísmicas como la República de Guatemala, las cargas principales que debe resistir son las de origen gravitacional y sísmico. La primera debido a la carga crítica inducida por los usuarios al momento de presentarse una catástrofe. La segunda para minimizar

los efectos de torsión provocados por el sismo, y eliminar los efectos de volteo que pueda sufrir el sistema de escalera. Aunque no se debe obviar dentro del análisis las cargas muertas u otras, porque un sistema de escalera puede tener distintas funciones, características y configuraciones dentro de la edificación.

1.2.4. Sistemas de escalera autoportante

Estos son sistemas de escalera que están formados por dos tramos escalonados, en dirección opuesta de cada tramo. Están empotradas en una losa plana de unión común para ambos a la que se le denomina descanso, que induce torsión a los escalones y estos a los elementos rígidos terminales.

Figura 4. **Sistema de escalera autoportante**

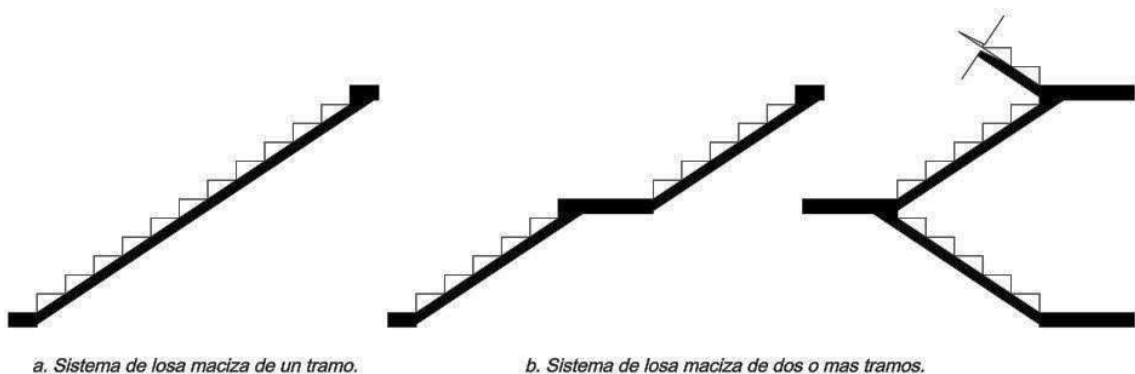


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.2.5. Sistemas de escalera de losa maciza

Estos son placas de losas de concreto armado las cuales se apoyan en sus extremos en elementos rígidos estructurales de la edificación. A ellas se les inducen las cargas de estos sistemas de escalera por medio de diafragmas de las placas. Las placas de losas en estos sistemas de escalera son el soporte estructural donde se colocan y apoyan los escalones, y puede ser de varios tramos con descansos.

Figura 5. **Sistemas de escalera de losa maciza**

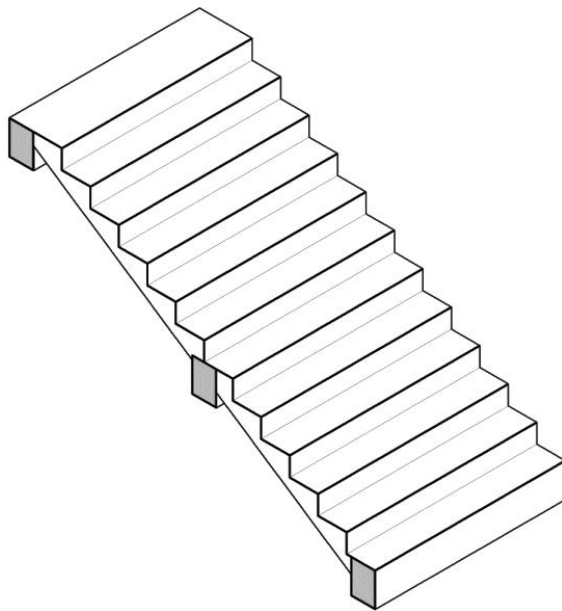


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.2.6. Sistemas de escalera con apoyo intermedio

Estos son escaleras que poseen dos tramos en la misma dirección, pero sin descanso intermedio. Son apoyadas generalmente por sistemas de vigas intermedias, con longitudes que no exceda de seis metros el tramo total del sistema. El apoyo intermedio debe tener la capacidad de resistir los mismos esfuerzos torsionantes que un descanso debe resistir. Por ello se considera a este sistema dentro de la clasificación de sistemas de escalera simplemente apoyadas de un tramo.

Figura 6. **Sistema de escalera con apoyo intermedio**



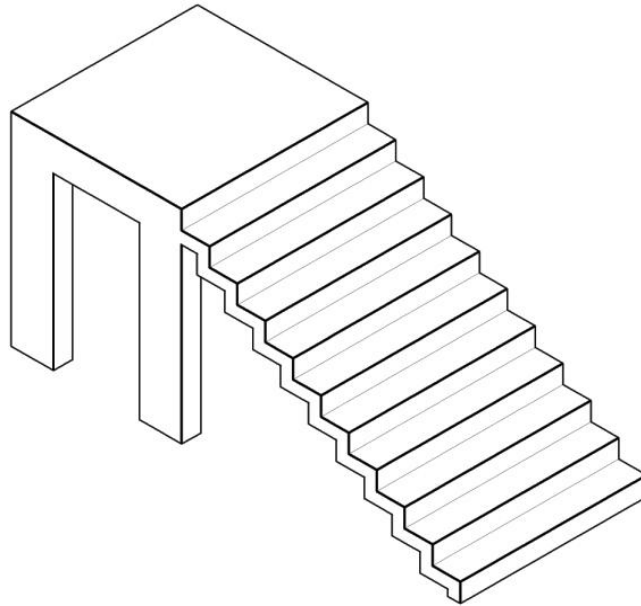
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.2.7. Sistemas de escalera ortopoligonal

Son sistemas de losas que se diseñan con la misma forma del escalón como se visualiza en la figura 7. Por la complejidad de estos sistemas tanto en su diseño, análisis y ejecución, rara vez se utiliza.

La compleja configuración de estos sistemas produce que el análisis estructural se realice por medio del concepto de aproximación de analogía de columna. Se considera al sistema como una estructura aporticada de un vano para obtener los momentos, que deben ser diseñados para resistir los efectos máximos producidos por las cargas mayoradas determinadas, de acuerdo con la teoría de análisis elástico.

Figura 7. **Sistema de escalera ortopoligonal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

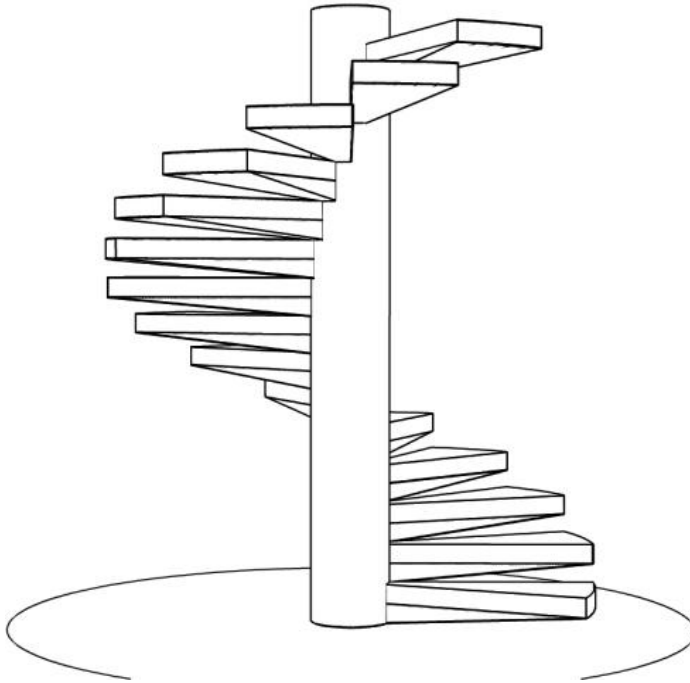
1.2.8. Sistemas de escalera helicoidal

Son sistemas que se emplean generalmente cuando los sistemas de escalera no se pueden apoyar en sus extremos del tramo, sino que se restringe al sistema a un punto de apoyo diseñado para resistir esfuerzos de flexo compresión. Sus escalones están empotrados en una columna central como voladizo que le brinda estabilidad. Por ello, se le considera a estos sistemas que se encuentran empotrados transversalmente.

La filosofía de funcionamiento estructural, de este tipo de sistemas, se basa en que cada uno de los escalones se soporta mediante un empotramiento. Debe estar en un elemento rígido y cada escalón trabaja de forma individual sin inducir esfuerzos uno respecto del otro. Estos esfuerzos son disipados

mediante la deformación de una sección de viga en voladizo que constituye el cuerpo mismo del escalón.

Figura 8. **Sistema de escalera helicoidal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2. CARGAS ACTUANTES EN SISTEMAS EDIFICATORIOS

El presente escrito está dividido por sistemas edificatorios que poseen sistemas de escalera, o son independientes a ellos, para describir la influencia de sus características. Por ejemplo: las características de cargas en sistemas sin escalera generalmente no tiene un ángulo de inclinación. La aplicación de la carga es paralela o perpendicular al elemento estructural, esto no sucede en la aplicación de cargas en sistemas de escalera. Al realizar un análisis de las características en los sistemas de escalera es necesario tener presente la influencia de su configuración.

2.1. Cargas en sistemas sin escalera

Son las que comúnmente están perpendicularmente aplicadas a elementos estructurales, provocados por la atracción de la gravedad. En la mayoría de sistemas edificatorios las cargas están aplicadas a noventa grados con relación al elemento estructural de análisis, pero en sistemas de escalera este análisis es diferente, la cual se describirá a detalle en la sección 2.2.

Aunque la característica fundamental de las cargas aplicadas a sistemas de escalera y a otros sistemas estructurales es el ángulo entre la dirección de la carga aplicada y el elemento estructural de análisis. La carga se define en los sistemas estructurales, como la fuerza aplicada sobre determinada estructura que provoca esfuerzos diferentes en la misma.

2.1.1. Carga viva o de ocupación

Está definida por el conjunto de fuerzas que actúan en un momento dado en un elemento estructural. Esto es provocado por las distintas funciones de uso que debe satisfacer el área para la cual fue diseñada. Por ejemplo de tipo mobiliario o la cantidad de usuarios. Estas cargas pueden llegar a aplicarse de forma parcial, total o simplemente no darse en el elemento estructural.

Las cargas vivas que se deben aplicar están en función del uso de la edificación. Esto aunque los códigos, reglamentos u otros documentos aceptados para el análisis de carga viva, brindan valores en los distintos ambientes. En la mayoría se desconoce el análisis aplicado para proponer tales magnitudes, y debe ser el profesional quien determine el uso o no, de tales magnitudes propuestas, así como el porcentaje utilizado para incluir la carga de impacto, que no es más que una aplicación súbita de la carga viva.

Por ello, se recomienda, en estructuras que son susceptibles a ser sometida a este tipo de esfuerzos provocados por impacto, que contemplen en su diseño agregar a la carga viva un mínimo de 15 % y un máximo de 30 % en concepto por carga de impacto.

En la mayoría de códigos, reglamentos u otros documentos aceptados para el análisis de cargas, se presentan las cargas como cargas uniformemente distribuidas. Aunque, a lo largo de la vida del elemento estructural de la edificación la carga viva es incierta.

En la tabla I se presentan valores de carga viva propuestos por las Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la República de Guatemala 2010 Agies NSE-10.

Tabla I. Cargas vivas para estructuras comunes

Tipo de ocupación o uso	W _v (kg/m ²)	P _v (kg)
Vivienda		
Balcones	300	
Habitaciones y pasillos	200	
Oficina		
Pasillos	300	
Oficinas	250	800
Áreas de cafetería	500	
Hospitales		
Pasillos	500	450
Clínicas y encamamiento	250	
Servicios médicos y laboratorio	350	800
Farmacia	500	
Cafetería y cocina	500	
Hoteles		
Habitaciones	200	450
Servicios y áreas publicas	500	800
Educativos		
Aulas	200	400
Pasillos	500	
Salones de lectura de Biblioteca	200	400
Área de estanterías de Biblioteca	700	800
Reunión		
Balcones	500	
Vestíbulos públicos	500	
Plaza a nivel de la calle	500	800
Salones con asiento fijo	300	
Salones sin asiento fijo	500	800
Escenarios y circulaciones	500	
Almacenes		
Minoristas	500	800
Mayoristas	600	1 200
Bodegas		
Cargas livianas	600	800
Cargas pesadas	1 200	1 200
Fabricas		
Industrias livianas	500	800
Industrias pesadas	1 000	1 200

Fuente: Agies NSE 2-10, Tabla 3-1. p. 6-7.

Las cargas vivas también comparten un factor común con las cargas ambientales, en ambos casos su incidencia es incierta. Las cargas ambientales son fuerzas externas que provienen de la naturaleza, por ejemplo: el sotavento

o el barlovento, el empuje de suelo, la carga por acumulación de agua de lluvia en superficies planas, o las fuerzas inerciales inducidas por sismos, entre otras.

Las cargas ambientales como las cargas vivas están en función del uso de la edificación. Esto para que la estructura pueda resistir su incidencia conviene apoyarse en códigos que se basan específicamente en el diseño de estructuras sometidas a este tipo de fuerzas.

2.1.2. Carga muerta o peso propio

Es llamada a las fuerzas que actúan de forma permanente en la estructura a lo largo de su periodo de vida, tanto en posición como en magnitud. Esta carga, como su nombre evidencia, es provocada por el peso propio de la estructura, o elementos, como acabados finales, barandales, recubrimientos y losas, entre otras. Esta se puede estimar con un valor bastante exacto, mediante un análisis correcto de la configuración en la edificación.

2.2. Cargas en sistemas de escalera

Se mencionó que la característica fundamental de las cargas aplicadas a sistemas de escalera y a otros sistemas estructurales, es el ángulo entre la dirección de la carga aplicada y el elemento estructural de análisis. Este enunciado evidencia que la carga aplicada perpendicularmente al tramo inclinado de un sistema de escalera, es menor que la carga aplicada en su componente vertical. Este hecho lo expone Carlos Antonio Fernandez Chea en su escrito *Análisis y Diseño de Escaleras*, la cual en su filosofía empleada para el análisis de sistemas de escalera simplemente apoyadas, determina dos formas para evaluar las cargas inducidas a estos sistemas.

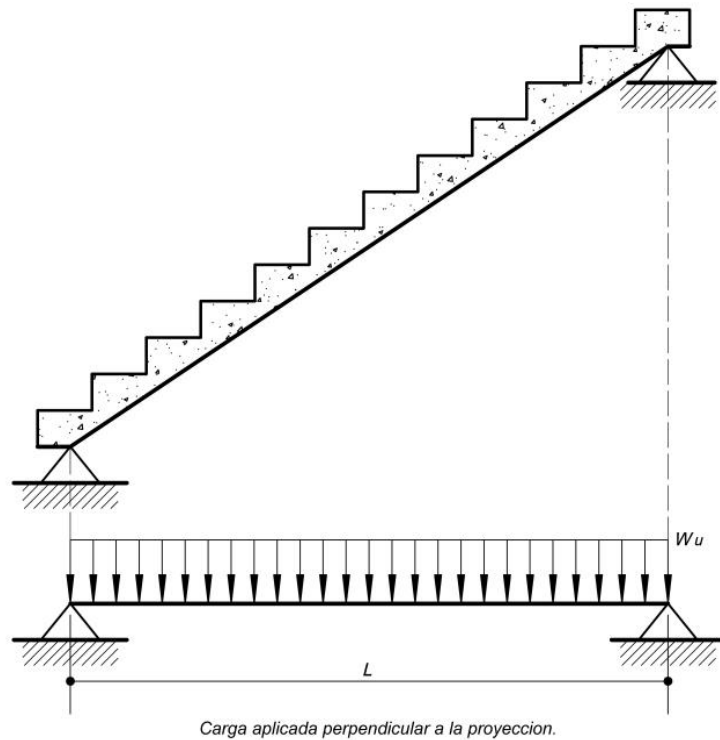
La primera, denominada longitudes proyectadas, se basa en el análisis de carga aplicada de forma perpendicular sobre la proyección horizontal que genera el sistema de escalera. Con esta filosofía de longitudes proyectadas se puede determinar el momento flector con la siguiente ecuación:

$$M = \beta * W_u * L^2 \quad (2-1)$$

Donde:

- M = Momento flector
- β = Factor que está en función del tipo de apoyo (0,125)
- W_u = Carga última
- L = Longitud proyectada del tramo

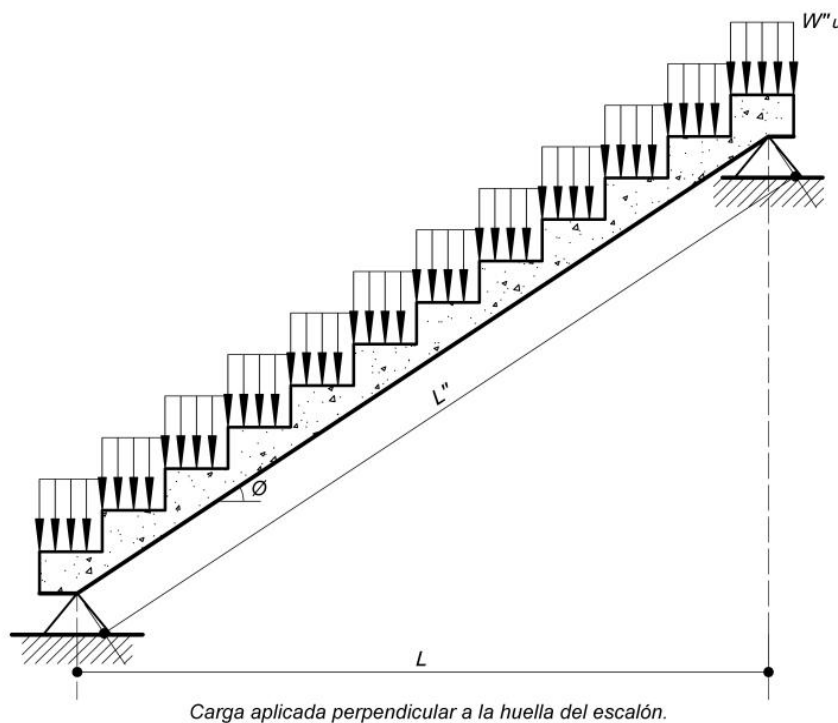
Figura 9. **Filosofía de longitudes proyectadas para evaluar cargas inducidas a sistemas de escalera simplemente apoyado**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La segunda filosofía empleada para evaluar las cargas inducidas a sistemas de escalera simplemente apoyadas. Esta consiste en analizar el sistema mediante la aplicación de la componente que ejerce su efecto perpendicular a los escalones del sistema. Para ello se emplea la longitud real del sistema, es decir la longitud inclinada del tramo.

Figura 10. **Filosofía de longitudes inclinadas para evaluar cargas inducidas a sistemas de escalera simplemente apoyado**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La filosofía de longitudes inclinadas determina W''_u a través del análisis de la dirección de la carga es aplicada directamente a la placa inclinada, del sistema con un ángulo \emptyset , como se visualiza en la figura 11. Este se descompone para determinar la carga aplicada perpendicularmente a la placa

inclinada del sistema W'_u como se visualiza en la figura 12. Consecuencia de ello determinar la carga aplicada perpendicular a la huella del escalón W''_u , que se visualiza en la figura 13.

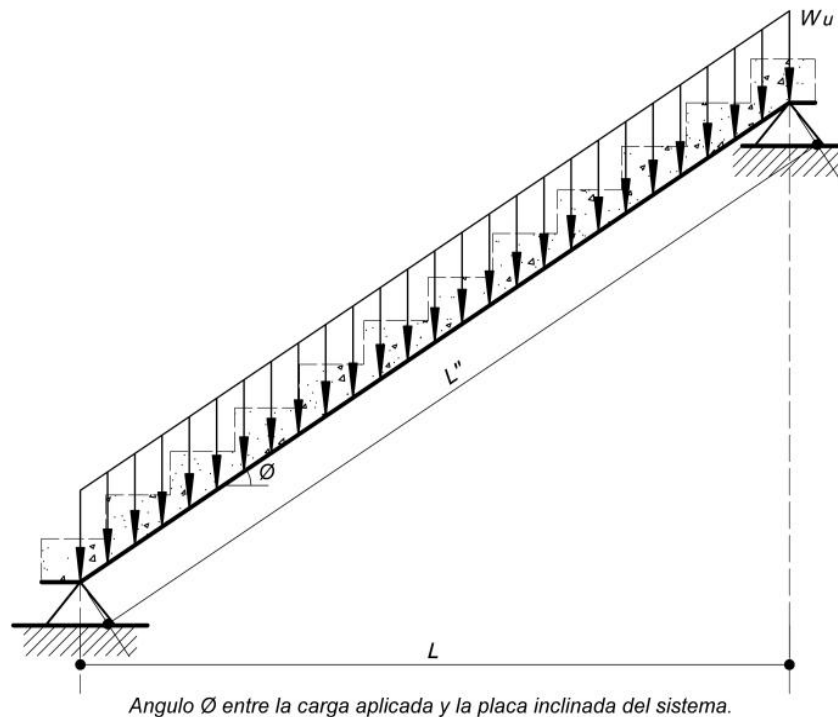
Por medio de la figura 11, se deduce la longitud real o longitud del tramo inclinado con lo siguiente ecuación:

$$\cos \varnothing = L/L'' \quad (2-2)$$

Donde:

- \varnothing = Ángulo entre la carga aplicada y el tramo inclinado del sistema
- L = Longitud proyectada del tramo
- L'' = Longitud real o longitud del tramo inclinado

Figura 11. **Carga aplicada directamente a la placa inclinada del sistema con ángulo \varnothing**

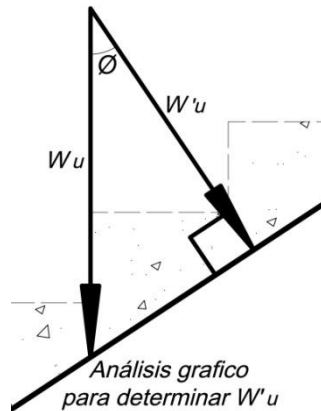


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Despejando la longitud real o longitud del tramo inclinado L'' de la ecuación anterior, se obtiene:

$$L'' = L / \cos \phi$$

Figura 12. **Carga aplicada perpendicular sobre la placa inclinada**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El análisis gráfico de la figura 12, brinda el valor de la carga aplicada perpendicular sobre la placa inclinada del sistema. Esto por medio de lo siguiente ecuación:

$$\cos \phi = W'u / Wu \quad (2-3)$$

Donde:

- ϕ = Ángulo entre la carga aplicada y el tramo inclinado del sistema
- Wu = Carga última
- $W'u$ = Carga aplicada perpendicular sobre la placa inclinada del sistema

Despejando la carga aplicada perpendicular sobre la placa inclinada del sistema $W'u$ de la ecuación anterior, se obtiene

$$W'u = Wu * \cos \phi$$

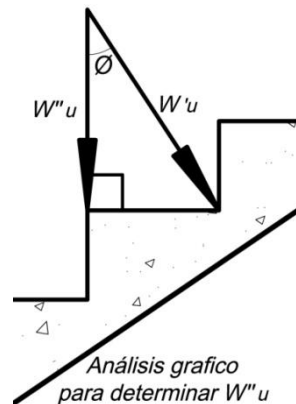
El análisis gráfico de la figura 13, brinda el valor de la carga aplicada perpendicular sobre la huella del escalón del sistema. Esto por medio de la siguiente ecuación:

$$\cos \phi = W''u/W'u \quad (2-4)$$

Donde:

- ϕ = Ángulo entre la carga aplicada y el tramo inclinado del sistema
- $W'u$ = Carga aplicada perpendicular sobre la placa inclinada del sistema
- $W''u$ = Carga aplicada perpendicular sobre la huella del escalón

Figura 13. **Carga aplicada perpendicular sobre la huella del escalón**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Despejando la carga aplicada perpendicular sobre la huella del escalón del sistema $W''u$ de la ecuación anterior, se obtiene

$$W''u = W'u * \cos \phi$$

Para determinar el momento flector en la filosofía de longitudes inclinadas, se realiza las sustituciones correspondientes de los valores obtenidos en la siguiente ecuación:

(2-5)

$$M = \beta * W''u * L''^2$$

Donde:

- M = Momento flector
- β = Factor que está en función del tipo de apoyo (0,125)
- $W''u$ = Carga aplicada perpendicular sobre la huella del escalón
- L'' = Longitud real o longitud del tramo inclinado

El momento flector inducido en el tramo en función de términos conocidos, se obtiene, sustituyendo los valores de la carga aplicada perpendicular sobre la huella del escalón $W''u$, y longitud real o longitud del tramo inclinado L'' . Esto por los valores encontrados, obteniendo la ecuación siguiente.

$$M = \beta * W''u * L''^2$$
$$M = \beta * (W' u * \cos \phi) * (L / \cos \phi)^2$$

Por último se sustituye el valor obtenido de la carga aplicada perpendicular sobre la placa inclinada del sistema $W' u$. Además de realizar las simplificaciones correspondientes obteniendo la ecuación de momento en función de términos conocidos.

$$M = \beta * (W' u * \cos \phi) * (L / \cos \phi)^2$$
$$M = \beta * ([Wu * \cos \phi] * \cos \phi) * (L / \cos \phi)^2$$
$$M = \beta * (Wu * \cos^2 \phi) * (L^2 / \cos^2 \phi)$$
$$M = \beta * Wu * L^2$$

Con esta última ecuación se visualiza que la filosofía de ambos procedimientos tanto el de longitudes proyectadas, como el de longitudes inclinadas. Estos determinan el mismo resultado de momento, quedando a criterio del profesional cual utilizar. El valor de momento es utilizado cuando se

necesita determinar la cantidad de área de acero en los elementos estructurales. En este caso particular, para determinar los momentos flectores en sistemas de escalera simplemente apoyado, la cual es inducida por las cargas.

La filosofía empleada para el análisis de sistemas de escalera simplemente apoyado, determina dos procedimientos distintos con el mismo resultado como se ha mencionado. Aunque existe un ángulo no perpendicular entre la dirección de la carga aplicada y el tramo inclinado del elemento estructural. Esto no tienen una incidencia significativa como se determinó, sin embargo, no se puede obviar tal hecho, porque en algunos procedimientos de análisis si puede tener incidencia.

2.2.1. Carga viva o de ocupación

Es el conjunto de fuerzas que actúan en un momento dado en un elemento estructural. Estas pueden llegar a aplicarse de forma parcial, total o simplemente no darse, y códigos, reglamentos u otros documentos aceptados para el análisis de carga viva. Brindan valores para distintos ambientes, pero que en la mayoría de valores brindados se desconoce el análisis aplicado para proponer tales magnitudes.

Se enfatiza en esto porque la carga viva o de ocupación en un sistema de escalera, es un caso particular de análisis, ya que el diseñador tiene que hacer su propia investigación previa, diferente. Esto porque los sistemas de escalera brindan un uso particular de evacuación en casos de emergencia influenciado directamente en gran porcentaje por la carga viva, y así asegurarse que el valor brindado por códigos sea acorde a las circunstancias del sistema de escalera.

El análisis de cargas en sistemas de escalera se realiza bajo la consideración del promedio de personas que la transitarán corriendo o caminando. Ambos casos, en el sistema de escalera, se consideran que están impactando por el efecto de fricción entre el usuario y el sistema.

Por ello, para sistemas de escalera de emergencia, se considera un 25 % más de la carga viva por el efecto de impacto. Para los sistemas de escalera que no sea de emergencia, se considera agregar a la carga viva entre un mínimo de 15 % y un máximo de 30 % en concepto de carga por impacto. El promedio de personas que transitarán un sistema de escalera será de 18 personas, para un ancho de 1,50 m y un largo de 3,00 m.

La tabla II presenta valores de carga viva para realizar el análisis estructural de sistemas de escalera, pero el análisis previo de cargas determinará si es acorde aplicarlo a las circunstancias a las que estará expuesto el sistema.

Tabla II. Cargas vivas en sistemas de escalera

Tipo de ocupación o uso	Wv (kg/m ²)	Pv (kg)
Escaleras en vivienda	300	
Escaleras en oficina	300	
Escaleras en hospitales	500	
Escaleras en educativos	500	
Escaleras en reunión		
Privadas	300	Ver 3.3 (d) AGIES NSE 2-10
Publicas	500	Ver 3.3 (d) AGIES NSE 2-10

Fuente: Agies NSE 2-10, Tabla 3-1. p. 6.

2.2.2. Carga muerta o peso propio

Es llamada a las fuerzas que actúan de forma permanente en la estructura a lo largo de su periodo de vida, tanto en posición como en magnitud. La carga muerta, que interviene en un sistema de escalera esta determinado en gran porcentaje a su peso propio. Esto se determina bastante cercana a la realidad, y el análisis que debe realizarse aunque no existan elementos sobre el sistema como son muros internos, recipientes de agua, pañuelos u otros, radica en el análisis de la sobre carga. Esto debido a que la sobre carga en estos sistemas se enfoca en variables como elementos con pasamanos, acabados y pisos entre otros, pero que si debe integrarse al análisis de sobre carga.

Por ejemplo una variable que influye la sobre carga, es aumentar o disminuir las dimensiones del sistema de escalera por error. Debido a que un sistema de escalera está integrado por varios escalones, y placas o losas, lo que vuelve complejo su construcción, e influye de forma distinta a las que teóricamente se calculó. En sistemas de escalera denominada ortopoligonal, la medición es mayor por el tipo de configuración, por ello una sobre carga adecuada en sistemas de escalera es de 40 kg/m^2 .

2.3. Combinación de cargas de acuerdo a códigos constructivos

Los elementos estructurales se diseñan, para brindar un comportamiento adecuado bajo las fuerzas a las cuales son sometidas al prestar su servicio, o cuando la estructura o los elementos estructurales son sometidas a esfuerzos que pudiesen llevarlo al colapso. Por ello la funcionalidad de los elementos estructurales consiste en proporcionar la seguridad suficiente a todo usuario, en cualquier momento dentro del sistema. Las cargas vivas y ambientales son tan inciertas en ubicación, magnitud y permanencia, por lo que es necesario realizar

el análisis estructural del sistema con métodos que proporcionen la seguridad de cubrir tales incertidumbres a las que son expuestas.

Al realizar el análisis correcto de carga muerta, se puede determinar un valor bastante exacto a la realidad. Sin embargo, aún existen posibles variables que pudiesen llevar al colapso la estructura. Esto debido a que la integridad de un sistema estructural abarca distintas variables, por ejemplo que el comportamiento real de la estructura sea distinto a las supuestas. Esto porque el análisis estructural se rigen de variables que tienen como base la probabilidad, o por ejemplo, que la ubicación y las dimensiones de los elementos estructurales sean distintas a las involucradas en el análisis.

La ejecución por el constructor, o los factores de resistencia reales de los elementos estructurales pudiesen ser distintas a las supuestas, todas estas circunstancias que pudiesen influir negativamente la correcta funcionalidad de la estructura. Por lo tanto, pone en riesgo la seguridad del usuario dentro del sistema.

En general para realizar un adecuado análisis de cargas, en los sistemas constructivos no es suficiente con diseñar correctamente. Además de ello, existen factores que dependen del constructor al momento de la ejecución. Para cubrir tales variables es necesario implementar un factor de seguridad, también llamado factor de mayoración de carga. Esto es un factor que permite incrementar la carga en un porcentaje recomendado por códigos especializados en el comportamiento de estructuras de concreto armado.

Un código que permite evaluar tales comportamientos es el Instituto Americano del Concreto (ACI). Dicho código brinda un análisis que cubre posibles anomalías de elementos estructurales. Estos son diseñados para

resistir los efectos más críticos en función de sus diferentes combinaciones de cargas básicas especificadas en el método de diseño por resistencia o llamado diseño por factores de cargas y resistencia. Tal método de diseño por resistencia usa el análisis elástico para determinar los momentos cortantes y reacciones según el comentario de la sección 8.3.1, del código ACI-318-08.

El código ACI-318-08 en su sección 8.2.1, determina que las disposiciones de diseño se basan en la suposición que las estructuras deben diseñarse para resistir todas las cargas solicitadas. Por ello las estructuras y los elementos estructurales deben ser diseñados para que tengan en cualquier sección una resistencia de diseño al menos igual a la resistencia requerida, calculada esta última para cargas y fuerzas afectadas por el factor de seguridad en las condiciones establecidas.

Tabla III. **Combinación de cargas método de diseño por resistencia**

Combinaciones de carga	
$U = 1,4(D + F)$	(9-1)
$U = 1,2(D + F + T) + 1,6(L + H) + 0,5(Lr \text{ or } S \text{ or } R)$	(9-2)
$U = 1,2D + 1,6(Lr \text{ or } S \text{ or } R) + (1,0L \text{ or } 0,8W)$	(9-3)
$U = 1,2D + 1,6W + 1,0L + 0,5(Lr \text{ or } S \text{ or } R)$	(9-4)
$U = 1,2D + 1,0E + 1,0L + 0,2S$	(9-5)
$U = 0,9D + 1,6W + 1,6H$	(9-6)
$U = 0,9D + 1,0E + 1,6H$	(9-7)

Fuente: *Aci-318-08*, Sección 9.2.1. p. 121-122.

Además los elementos de una estructura deben cumplir con los requisitos de este mismo código, y que al aplicar las combinaciones no se mezclen o cambien por combinaciones no establecidas. Esto debido a que la resistencia

de diseño requerida, debe ser por lo menos igual al efecto de las cargas mayoradas en las ecuaciones mostradas en la tabla III.

La tabla III presenta combinaciones con distintas variables, que se resumen en la tabla IV. Para el uso de variables como la carga muerta D, la carga viva L, la carga por viento (carga ambiental) W, o por los efectos de carga producidos por sismo E.

Tabla IV. **Combinaciones de cargas usualmente empleadas**

Combinaciones de carga.	
Combinaciones básicas	$U = 1,2D + 1,6L,$ (Según código) $U = 1,4D + 1,7L,$ (Según código)
Combinaciones para viento	$U = 0,75(1,4D + 1,7L + 1,7W)$ $U = 0,9D + 1,3W,$ Cuando el valor de L=0
Combinaciones para sismo	$U = 0,75(1,4D + 1,7L + 1,87E)$ $U = 0,9D + 1,43E,$ Cuando el valor de L=0
Presión de tierra	$U = \text{Cualquier combinación} + 1,4F$

Fuente: elaboración propia.

2.4. Carga sísmica

Es causada por la liberación repentina de energía, debida generalmente al desplazamiento en la corteza terrestre. La energía es liberada en todas direcciones en forma de ondas las cuales son percibidas en la superficie como vibraciones del terreno.

El análisis de los sistemas de escalera, al momento de un sismo depende de acuerdo a su configuración estructural, porque dependerá del tipo de apoyo

que posea el sistema, o los elementos que integren el cuerpo de su estructura, como lo son escalones o losas.

Por ejemplo el comportamiento de sistemas de escalera de losa maciza, al momento de producirse un sismo actúan similar al comportamiento de un puntal. Donde sus losas no trabajan a flexión y no existe torsión en su descanso, pero porcentualmente el sistema trabaja como una unidad que se comprime diagonalmente. Debido a que en sus extremos se apoyan en dos diferentes superficies, en general tal comportamiento brinda mayor rigidez, y posibles usos para estabilizar una estructura ante un sismo.

La carga sísmica es analizada por medio de la determinación de corte basal, que es una carga generada en la base de la estructura. Está inducida por el evento sísmico y se distribuye en los pisos de una estructura con el concepto de carga lateral. Esta fuerza que proporciona el suelo al moverse en contra de la edificación durante un movimiento sísmico es denominada *Espectro de respuesta*. Aunque es la acción del suelo, este espectro se refleja y debe ser absorbido por la estructura.

2.4.1. Análisis de carga sísmica de acuerdo con Agies NSE-10

El análisis sísmico por medio de las Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la República de Guatemala 2010, Agies NSE-10, expone cuatro métodos para la determinación de corte basal. El método estático equivalente, modal espectral, análisis dinámico paso a paso lineal o no-lineal, y el estático no-lineal de empujes incrementales (*pushover*).

El procedimiento que se expondrá en el presente escrito es el método estático equivalente. Debido a que Agies NSE-10 determina, que el corte basal

por medio del método estático equivalente, será un instrumento de calibración donde sus principales resultados se utilizarán como valores de comparación al aplicar cualquiera de los demás métodos. Esto para cuantificar las solicitaciones sísmicas, además brinda valores suficientes para evaluar el corte basal en sistemas de escalera.

El procedimiento del método modal espectral, para determinar el corte basal, es un método que tiene una aplicación general, tanto para las estructuras que deben analizarse por métodos dinámicos. También como para estructuras donde se pueda aplicar el procedimiento de método estático equivalente.

Los procedimientos de método de análisis dinámico paso a paso lineal o no-lineal, y el método estático no-lineal de empujes incrementales (*pushover*), se pueden utilizar en todos los casos de nivel de protección, o en todos los casos de irregularidades tanto en planta o en elevación de estructuras. Pero necesitan variables apropiadas y específicos para utilizarlos, por ejemplo para el método de análisis dinámico paso a paso lineal o no lineal, se necesita establecerse acelerogramas, y el segundo, se utiliza como referente en todos los casos de nivel de protección e irregularidades estructurales, para identificar puntos de problema.

2.4.1.1. Método de carga sísmica estática equivalente

La determinación de corte basal, por medio del método de carga sísmica estática equivalente, permite modelar la solicitación sísmica como fuerzas estáticas horizontales y verticales. Estas son aplicadas externamente a lo alto y ancho de la edificación, la cual está basada en un espectro de diseño sísmico,

la masa efectiva de la edificación, las propiedades elásticas de la estructura y el cálculo empírico del periodo fundamental de vibración de la edificación.

Para utilizar este método Agies NSE-10, determina que las estructuras deben tener un nivel de protección B o C. Pues está dividida por A, B, C, D y E donde E es el que da la protección más alta como se visualiza en la tabla V, que los edificios sean ordinarios y utilitarios de hasta tres niveles sobre la base. Las estructuras menores a 55,00 m sobre la base no tengan ninguna irregularidad en planta o en elevación exceptuando irregularidades H2, H3, V2 o V3, como se observa en las tablas VI y VII.

Tabla V. Nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad de sismo de diseño

Índice de sismicidad.	Clase de obra			
	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
Io = 5	E	E	D	C
Io = 4	E	D	D	C
Io = 3	D	C	C	B
Io = 2	C	B	B	A
Probabilidad de exceder un sismo de diseño	5% en 50 años	5% en 50 años	10% en 50 años	No aplica

- a) Para ciertas obras que hayan sido calificadas como "críticas" el ente estatal correspondiente puede considerar probabilidad de excedencia de 2% en 50 años ($K_d = 1,00$)
- b) Esencial e Importante tienen la misma probabilidad de excedencia se diferencia en el nivel de protección y en las deformaciones laterales permitidas.

Fuente: Agies NSE 2-10, Tabla 4-1. p. 11.

El nivel de protección sísmica utilizado para este método y en general para los métodos de Agies NSE-10 tienen como objetivo: proteger la vida y la integridad física de las personas que usan u ocupan edificaciones o estructuras, proveer un mínimo de calidad estructural que preserve la integridad de la obra sujeta a solicitaciones de cargas permanentes y cargas frecuentes, y por último

proveer protección contra daños directos e indirectos causados por amenazas naturales.

Tabla VI. **Características irregulares en planta**

Tipo de irregularidad	Descripción	Nivel de protección al que aplica	Sección de referencia AGIES NSE 3-10
H1-A	Giro mayor de diafragma: En la dirección de la carga lateral, la deriva en un extremo es mayor que 1.5 veces la deriva en el otro extremo.	D, E	1.8.3.4● 1.10.5
		C, D, E	1.8.3.5● 1.10.5
		B, C, D, E	1.10.5
H1-B	Giro extremo del diafragma: En la dirección de la carga lateral, la deriva en un extremo es mayor que 2.3 veces la deriva en el otro extremo.	E	1.8.3.1♦
		D	1.8.3.4● 1.10.5
		C, D	1.8.3.5● 1.10.5
		B, C, D	1.10.5
H2	Esquina entrante: Al menos una esquina del diafragma está recortada más de 25% en la dirección de análisis.	D, E	1.8.3.4● 1.10.5
H3	Diafragma discontinuo: El diafragma tiene menos del 50% de área del rectángulo que circunscribe al piso o si cambia rigidez en más de 50% de un piso al siguiente.	D, E	1.8.3.4● 1.10.5
H4	Desfase lateral: Un muro o marco o columna se interrumpe y se reanuda total o parcialmente hacia un lado.	D, E	1.8.3.4● 1.10.5
		B, C, D, E	1.8.3.3Ωr
		B, C, D, E	1.10.5
H5	Sistema no-paralelo: Cuando hay uno o más marcos o muros que no son paralelos a los ejes principales de la estructura.	D, E	1.10.5
		B, C, D, E	1.8.3.6
		B, C, D, E	4.2.4

- 1) La tabla no aplica a estructuras sin diafragma o con diafragma sin rigidez
 ●Precaución especial para el NdP indicado
 ♦Irregularidad prohibida para el NdP indicado
 Ωr Irregularidad requiere aplicar Ωr para resolverla

Fuente: Agies NSE 3-10, Tabla 1-2. p. 15.

La tabla V expone variables que los edificios o estructuras deben satisfacer para brindar un nivel mínimo de protección sísmica. Por ejemplo: el índice de sismicidad (I_0), que es una medida relativa de la severidad esperada

del sismo en una localidad. La probabilidad de sismo de diseño es utilizado para la construcción de los espectros de diseño.

Tabla VII. **Características irregulares en elevación**

Tipo de irregularidad	Descripción	Nivel de protección al que aplica	Sección de referencia AGIES NSE 3-10
V1-A	Piso flexible: Rigidez lateral de un piso menos que 70% de la rigidez del piso de encima; o menos que 80% de la rigidez promedios de los 3 pisos encima	D, E	1.10.5
V1-B	Piso flexible – caso extremo: Rigidez lateral de un piso menos que 60% de la rigidez del piso de encima; o menos que 70% de la rigidez promedios de los 3 pisos encima. – nota 1	D	1.10.5
		E	1.8.3.1♦
V2	Masa irregular verticalmente: El peso sísmico de un piso es más del 150% del peso sísmico de cada piso adyacente.	D, E	1.10.5
V3	Geometría vertical escalonada: La dimensión horizontal de la mitad o más de los marcos se reduce en más de 75%.	D, E	1.10.5
V4	Discontinuidad en plano vertical: Uno de los sistemas sismo-resistentes verticales sufre un desfase o reducción.	B, C, D, E	1.8.3.3 Ωr
		D, E	1.8.3.4● 1.10.5
V5-A	Piso débil: La resistencia del piso es 80% o menos que la resistencia del piso superior.	D	1.10.5
		E	1.8.3.1♦
V5-B	Piso débil – caso extremo: La resistencia del piso es 65% o menos que la resistencia del piso superior.	D, E	1.8.3.1♦
		B, C	1.8.3.2 Ωr 1.10.5

1. Para verificar esta condición se puede hacer un análisis estático equivalente de ensayo y comparar las derivas unitarias en los pisos (para este chequeo no importa valor absoluto de las derivas): la rigidez lateral es directamente proporcional a las derivas unitarias elásticas – (derivadas ver Sección 4.3; NSE 3, AGIES 2010)

1) Para verificar esta condición en forma preliminar rápida se puede sumar, en la dirección de interés, las secciones de todos los elementos capaces de recolectar carga lateral y comparar los totales en los pisos verificados; en caso necesario se podrá detallar más el chequeo.

- Precaución especial para el NdP indicado
- ♦ Irregularidad prohibida para el NdP indicado
- Ωr Irregularidad requiere aplicar Ωr para resolverla

Fuente: Agies NSE 3-10, Tabla 1-3. p. 16.

La clase de obra está dividida por categorías ocupacionales, por ejemplo: las obras utilitarias albergan personas de manera incidental, y que no tienen instalaciones de estar, de trabajo o no son habitables, son obras auxiliares de

infraestructura. Las obras ordinarias constituyen todas las demás obras que no se clasifican en ninguna de las categorías.

Las obras importantes son las que albergan a más de 300 personas, y prestan servicios importantes, pero no esenciales después de un desastre, u obras que albergan valores culturales reconocidos o equipo de alto costo. Las obras esenciales son las que deben permanecer esencialmente operativas durante y después de un desastre o evento.

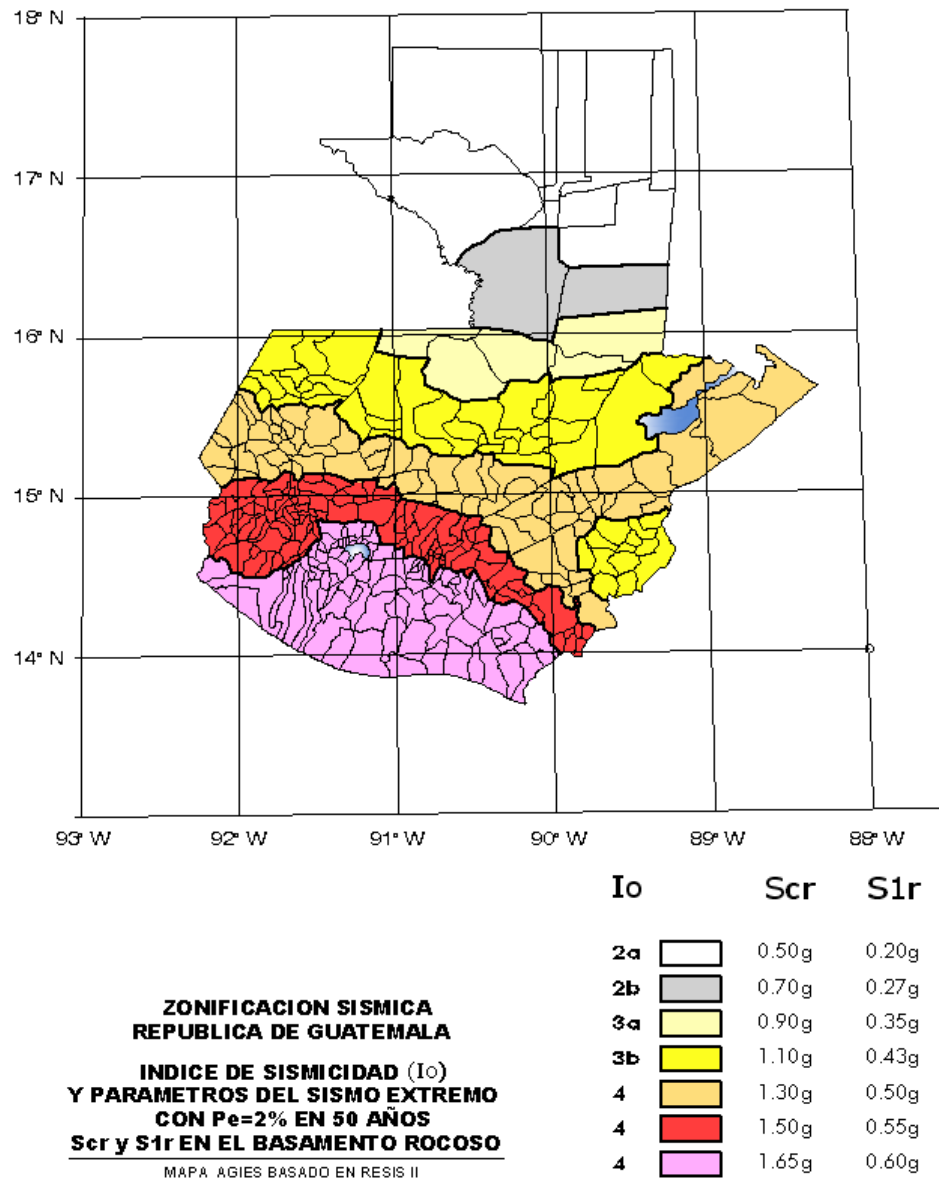
Al principio de esta sección se mencionó que el método estático equivalente también es un instrumento de calibración. Sus principales resultados se utilizarán como valores de comparación al aplicar cualquiera de los demás métodos para cuantificar las solicitaciones sísmicas. Esto define Agies NSE-10, debido que no hay certeza de que los modelos analíticos de la estructura desnuda de una edificación logren pronosticar acertadamente la respuesta sísmica real de la edificación. Las estructuras matemáticamente modelables contienen componentes aleatoriamente instalados que alteran el comportamiento vibratorio.

Para determinar, por medio del método de carga sísmica estática equivalente, el total de fuerzas sísmicas equivalentes que actúan sobre la edificación en cada dirección de análisis, debe ser representada por el Cortante Estático Equivalente al Límite de Cedencia en la base de la estructura o Cortante Basal Estático a Cedencia (V_B). Este debe conocer la localidad y la clasificación de la obra.

La primera para determinar el índice de sismicidad (I_0), por medio de las macrozonas sísmicas como se muestra en la figura 14, que es el mapa de zonificación sísmica de la República de Guatemala o en el listado de amenaza

sísmica por municipios de la República de Guatemala en el anexo A de Agies NSE 2-10. La segunda, la clasificación de la obra permitirá conocer el grado de nivel mínimo de protección sísmica como se visualiza en la tabla V.

Figura 14. **Zonificación sísmica para la República de Guatemala**



Fuente: Agies NSE 2-10, Figura 4-1. p. 14.

Otro dato que se debe conocer al comenzar a determinar el Cortante Basal Estático a Cedencia (V_B) son las propiedades del perfil del suelo, para determinar la clase de sitio que se detalla en la tabla VIII. Sin embargo, en la sección 4.5.5 de Agies NSE 2-10, se determina, cuando en el dictamen geotécnico se desconozcan parcialmente las propiedades del perfil del suelo y no se tenga detalle suficiente para enmarcarlo dentro de alguna de las categorías, se deberá utilizar la clasificación D, a menos que el profesional responsable del suelo o bien datos geotécnicos generales indiquen que la clasificación pudiera ser E, en cuyo caso se aplicará lo más conservador.

Tabla VIII. **Guía para clasificación de sitio**

Clase de Sitio		Vps todo el perfil	Np todo el perfil	Nnc sector no-cohesivo	Suc sector cohesivo
AB	Roca	750 m/s	No aplica	No aplica	No aplica
C	Suelo muy denso o roca suave	750 a 360 m/s	≥ 30	≥ 30	>200 kPa
D	Suelo firme y rígido	360 a 180 m/s	30 a 5	30 a 5	200 a 50 kPa
E	Suelo suave	< 180 m/s	≤ 5	≤ 5	<50 kPa
		Cualquier perfil de suelo con un estrato de 3,0 m o mas con índice de plasticidad $IP > 20$; humedad $w \geq 40\%$ y $Suc < 25$ kPa			
F	Suelo con problemas especiales	Véase AGIES NSE 2.1-10 Capitulo 5			

Fuente: Agies NSE 2-10, Tabla 4-4. p. 21.

Al determinar el índice de sismicidad, el nivel mínimo de protección de la edificación y la clase de sitio del suelo, se procede a determinar los parámetros iniciales. La ordenada espectral de periodo corto S_{cr} , y la ordenada espectral con periodo de 1 segundo S_{1r} , del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés. En teoría sin la influencia del suelo que cubre el

basamento, la cual se determina a través de la figura 14, o del listado de amenaza sísmica por municipios de la República de Guatemala como se observa en el anexo A de Agies NSE 2-10.

Con los valores obtenidos de ordenada espectral de periodo corto S_{cr} , y del periodo de 1 segundo S_{1r} , del sismo extremo, considerado en el basamento de roca en el sitio de interés, se procede a realizar un ajuste a las condiciones en la superficie. Esto según el perfil del suelo que cubra el basamento en el sitio, en forma específica de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a \quad (2-6)$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v \quad (2-7)$$

Donde:

S_{cs} = Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructura con periodo de vibración corto.

S_{1s} = Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructura con periodo de vibración de 1 segundo.

S_{cr} = Ordenada espectral de periodo corto del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.

S_{1r} = Ordenada espectral de periodo de 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.

F_a = Coeficiente de sitio para periodos de vibración cortos.

F_v = Coeficiente de sitio para periodos de vibración largos.

Tabla IX. **Coefficiente de sitio para periodos de vibración cortos**

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2a	2b	3a	3b	4
AB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
D	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
E	1,7	1,2	1,0	0,9	0,9
F	Se requiere evaluación específica – ver sección 4.4.1 AGIES NSE 2-10				

Fuente: Agies *NSE 2-10*, Tabla 4-2. p. 15.

Los coeficientes de sitio para periodos de vibración corto F_a y largo F_V se determinan de las tablas IX y X. Estos dependen del índice de sismicidad y la clase de sitio, las cuales se describieron con anterioridad.

Tabla X. **Coefficiente de sitio para periodos de vibración largos**

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2a	2b	3a	3b	4
AB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5
E	3,2	2,8	2,6	2,4	2,4
F	Se requiere evaluación específica – ver sección 4.4.1 AGIES NSE 2-10				

Fuente: Agies *NSE 2-10*, Tabla 4-3. p. 15.

En los casos que el equipo de diseño del proyecto establezca la proximidad de fallas geológicas activas se procede a establecer un ajuste por

intensidades sísmicas espectrales. Esto por la posibilidad de intensidades incrementadas de vibración en el sitio. Se modifican los valores de las ordenadas espectrales ajustadas del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con periodos de vibración corto S_{cs} , y para periodos de vibración de 1 segundo S_{1s} , de la siguiente forma.

Tabla XI. Tipo de fuente sísmica

Tipo de fuente	Descripción	Máxima magnitud-momento	Tasa de corrimiento (mm por año)
A	Fallas geológicas capaces de generar eventos de gran magnitud y con alta tasa de sismicidad (nota 1)	$M_o \geq 7,0$	$TC \geq 5$
B	Fallas geológicas que no son A o C	$M_o \geq 7,0$ $M_o < 7,0$ $M_o \geq 6,5$	$TC < 5$ $TC > 2$ $TC < 2$
C	Fallas geológicas incapaces de generar eventos de gran magnitud y que tienen baja tasa de sismicidad	$M_o \geq 6,5$	$TC < 2$

Nota 1: La zona de subducción de Guatemala no se considera por las distancia a la fuente.

Nota 2: La magnitud M_o y el TC deben concurrir simultáneamente cuando se califique el tipo de fuente sísmica.

Fuente: Agies NSE 2-10, Tabla 4-5. p. 24.

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a \quad (2-8)$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v * N_v \quad (2-9)$$

Donde:

S_{cs} = Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructura con periodo de vibración corto.

S_{1s} = Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructura con periodo de vibración de 1 segundo.

S_{cr} = Ordenada espectral de periodo corto del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.

S_{1r} = Ordenada espectral de periodo de 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.

F_a = Coeficiente de sitio para periodos de vibración cortos.

F_v = Coeficiente de sitio para periodos de vibración largos.

N_a = Coeficiente por proximidad de las amenazas especiales para periodos de vibración cortos.

N_v = Coeficiente por proximidad de las amenazas especiales para periodos de vibración largos.

Tabla XII. **Coeficientes de amenazas especiales para periodos de vibración cortos**

Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica (Nota 1)		
	≤ 2 km	5km	≥ 10 km
A	1,25	1,12	1,0
B	1,12	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0

Nota 1: Tomar la distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10km.

Nota 2: Utilizar el factor N_a que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes.

Fuente: Agies NSE 2-10, Tabla 4-6. p. 24.

Tabla XIII. **Coeficientes de amenazas especiales para periodos de vibración largos**

Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica (Nota 1)			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	1,4	1,2	1,1	1,0
B	1,2	1,1	1,0	1,0
C	1,0	1,0	1,0	1,0

Nota 1: Tomar la distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10km.

Nota 2: Utilizar el factor N_v , que mayor haya salido al cotejar todas las fuentes relevantes.

Fuente: Agies *NSE 2-10*, Tabla 4-7. p. 25.

Los coeficientes por proximidad de las amenazas especiales para periodos de vibración corto N_a y para periodos de vibración largo N_v . Estas se determinan de las tablas XII y XIII, que dependen del tipo de fuente sísmica como se visualiza en la tabla XI, y de la proximidad de la misma.

Con los valores obtenidos de las ordenadas espectrales ajustadas del sismo extremo en el sitio de interés para estructura con periodo de vibración corto S_{cs} , y con periodo de vibración de 1 segundo S_{1s} . Luego de realizar el ajuste de intensidades sísmicas espectrales debido a la proximidad de fallas geológicas activas, se procede a la calibración del espectro al nivel de diseño requerido.

$$S_{cd} = S_{cs} * K_d \quad (2-10)$$

$$S_{1d} = S_{1s} * K_d \quad (2-11)$$

Donde:

S_{cd} = Espectro calibrado al nivel de diseño requerido corto.

S_{1d} = Espectro calibrado al nivel de diseño requerido de 1 segundo.

S_{cs} = Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructura con periodo de vibración corto.

S_{1s} = Ordenada espectral ajustada del sismo extremo en el sitio de interés para estructura con periodo de vibración de 1 segundo.

K_d = Factor de determinación de los niveles de diseño.

El factor para la determinación de los niveles de diseño se obtiene de la tabla XIV.

Tabla XIV. **Factores de escala de niveles de diseño**

Sismo	Probabilidad de ser excedido en 50 años	Factor de determinación de los niveles de diseño K_d
Ordinario	10 %	0,66
Severo	5 %	0,80
Extremo	2 %	1,00
Mínimo	Condición de excepción	0,55

Fuente: Agies *NSE 2-10*, Sección 4.3.4.1. p. 16.

Al calibrar el espectro al nivel de diseño requerido corto S_{cd} , y de 1 segundo S_{1d} , se procede a determinar el periodo de transición T_s , que separa los periodos cortos de los largos.

(2-12)

$$T_s = S_{1d}/S_{cd}$$

Donde:

T_s = Periodo de transición que separa los periodos cortos de los largos en segundos.

S_{1d} = Espectro calibrado al nivel de diseño requerido de 1 segundo.

S_{cd} = Espectro calibrado al nivel de diseño requerido corto.

Para determinar el periodo fundamental de vibración de una edificación Agies NSE 3-10, describe dos procedimientos empíricos y uno analítico. Aunque entre los procedimientos empíricos existe un procedimiento que es utilizado solo para sistemas estructurales E1, E3 o E4 descritos en la tabla XV. Por ello, se describirá el procedimiento empírico que incluye todos los sistemas estructurales descritos en la tabla XV, además del procedimiento analítico. El periodo de vibración de la estructura se estimará en forma empírica T_a y genérica por medio de la siguiente ecuación:

(2-13)

$$T = T_a = K_T(h_n)^x$$

Donde:

T = Periodo de vibración de la estructura

T_a = Periodo de vibración de la estructura de forma empírica

h_n = Altura del edificio desde la base en metros

K_T = Coeficiente que depende del sistema estructural

x = Coeficiente que depende del sistema estructural

Los coeficientes que dependen del sistema estructural K_T y x se determinarán según sea el caso expuesto en la tabla XVI.

Tabla XV. **Coeficientes y factores para diseño de sistemas sismorresistentes**

	SISTEMA ESTRUCTURAL (sección 1.5)	Norma	R	Ω_r	Cd	Limite de altura en metros			
						B	C	D	E
E1	SISTEMA DE MARCOS								
E1-A	Marcos tipo A								
	De concreto reforzado	NSE 7.1	8	3	5.5	SL	SL	SL	SL
	De acero estructural	NSE 7.5	8	3	5.5	SL	SL	SL	SL
E1-B	Marcos tipo B								
	De concreto reforzado	NSE 7.1	5	3	4.5	55	33	12	NP
	De acero estructural	NSE 7.5	4.5	3	4	55	33	12	NP
E2	SISTEMA DE CAJÓN								
	Con muros estructurales								
	De concreto reforzado A	NSE 7.1	5	2.5	5	SL	75	55	33
	De concreto reforzado B	NSE 7.1	4	2.5	4	SL	55	33	NP
	De mampostería reforzada A	NSE 7.4	5	2.5	3.5	SL	SL	55	33
	Paneles de concreto prefabricado	NSE 7.3	4	3	3.5	SL	33	12	12
	Con paneles de madera	NSE 7.7	6	3	4	20	20	20	20
E3	SISTEMA GENERAL								
	Con muros estructurales								
	De concreto reforzado A	NSE 7.1	6	2.5	5	SL	75	55	55
	De concreto reforzado B	NSE 7.1	5	2.5	4	SL	55	33	NP
	De mampostería reforzada A	NSE 7.4	5.5	3	3.5	SL	SL	55	55
	Paneles de concreto prefabricado	NSE 7.3	4.5	3	3.5	SL	33	33	20
	Maros de acero arriostrado								
	Tipo A con riostras excéntricas	NSE 7.5	8	2	4	SL	75	55	33
	Tipo A con riostras concéntricas	NSE 7.5	6	2	5	SL	55	33	20
	Tipo B con riostras concéntricas	NSE 7.5	3.5	2	3.5	SL	12	12	NP
E4	SISTEMA DUAL								
	Marcos de concreto reforzado A								
	Con muros estructurales								
	De concreto reforzado A	NSE 7.1	7	2.5	5.5	SL	SL	SL	SL
	De mampostería reforzada A	NSE 7.4	5.5	3	5	SL	SL	SL	SL
	Marcos de acero tipo A								
	Con riostras excéntricas	NSE 7.5	8	2.5	4	SL	SL	SL	SL
	Con riostras concéntricas	NSE 7.5	7	2.5	5.5	SL	SL	SL	SL
	Especiales								
	Marcos de concreto reforzado B								
	Con muros estructurales:								
	De concreto reforzado A	NSE 7.1	6.5	2.5	5	SL	SL	SL	SL
E5	COLUMNAS VOLADIZAS o PÉNDULO INVERTIDO								
	De concreto reforzado								
	Confinado	NSE 7.1	2.5	1.2	2.5	12	12	12	12
	De estructura de acero								
	Con detalles sísmicos	NSE 7.5	2.5	1.2	2.5	12	12	12	12
	De estructura de madera	NSE 7.7	1.5	1.5	1.5	12	12	12	12
E6	OTRO TIPO								
	Clasificar como E5, o bien								
	Consultar exclusiones en NSE 3.1, NSE 4, NSE 5, o NSE 6.								

Nota: SL = Sin limite

Fuente: Agies NSE 3-10, Tabla 1-1. p. 10-11.

Tabla XVI. **Coefficientes para determinar el periodo de vibración de la estructura de forma empírica y genérica**

Sistemas estructurales	Coefficiente K_T	Coefficiente x
E2, E3, E4 o E5	0,049	0,75
E1 de concreto reforzado que sean abiertos o con fachadas de vidrio o paneles livianos y pocas particiones rígidas ¹ .	0,047	0,90
E1 de concreto reforzado con fachadas rígidas ² o que no cumplan con el párrafo anterior.	0,047	0,85
E1 de acero que sean abiertos o con fachadas de vidrio o paneles livianos y pocas particiones rígidas ³ .	0,072	0,80
E1 de acero rigidizados ⁴ .	0,072	0,75

1. Las particiones rígidas de concreto o de mampostería parcialmente reforzada con conexión piso a cielo, deberán estar en proporción menor a 1/3 de m² levantado por m² de área bruta de piso; si hay sillares de altura parcial no estarán en el plano de los soportes.
 2. Las fachadas rígidas incluyen las de mampostería reforzada y las de paneles prefabricados de concreto, porque aún las juntas entre paneles calificadas de flexibles proveen suficiente rigidez para acortar los periodos de vibración.
 3. Igual a nota 1.
 4. El calificativo "rigidizado" incluye la presencia de riostras estructurales o casos en que no se cumpla la nota 1.

Fuente: Agies NSE 3-10, Sección 2.1.4.1. p. 23.

El periodo de vibración mediante fórmula analítica T_F , en cada dirección de análisis se calcula por un método analítico como el de Rayleigh:

$$T = T_F = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i * u_i^2)}{g * \sum_{i=1}^n (F_i * u_i)}} \quad (2-14)$$

Donde:

- T = Periodo de vibración de la estructura
- T_F = Periodo de vibración de la estructura de forma analítica
- W_i = Peso sísmico efectivo del nivel i
- u_i = Desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i
- F_i = Fuerza estática equivalente para el nivel i
- g = Aceleración debida a la gravedad (9,81m/s²)

Para seleccionar el periodo de vibración de la estructura T , a utilizar en el método estático equivalente, se podrá utilizar directamente el periodo de

vibración de la estructura de forma empírica T_a . El periodo de vibración de la estructura de forma analítica T_F , se utilizará solo si cumple con la condición siguiente.

$$T = T_F \leq 1,4 * T_a \quad (2-15)$$

Donde:

- T = Periodo de vibración de la estructura
 T_F = Periodo de vibración de la estructura de forma analítica
 T_a = Periodo de vibración de la estructura de forma empírica

Las ordenadas espectrales $S_a(T)$, para cualquier periodo de vibración T , se obtendrán del espectro calibrado al nivel de diseño requerido S_{cd} o S_{1d} . De los periodos de vibración de la estructura T , y el periodo de transición que separa los periodos cortos de los largos T_s , con la condición siguiente:

$$S_a(T) = S_{cd} \quad \text{si } T \leq T_s \quad (2-16)$$

$$S_a(T) = S_{1d}/T \quad \text{si } T > T_s \quad (2-17)$$

Donde:

- $S_a(T)$ = Ordenada espectral para cualquier periodo de vibración T .
 S_{cd} = Espectro calibrado al nivel de diseño requerido corto.
 S_{1d} = Espectro calibrado al nivel de diseño requerido de 1 segundo.
 T = Periodo de vibración de la estructura.
 T_s = Periodo de transición que separa los periodos cortos de los largos en segundos.

La condición anterior determina el valor de la ordenada espectral $S_a(T)$, para cualquier periodo de vibración T a utilizar. En el coeficiente sísmico al límite de cedencia C_s en cada dirección de análisis, de la siguiente forma y bajo las condiciones de valores mínimos.

$$C_s = S_a(T)/R \quad (2-18)$$

si

$$C_s \geq 0,044S_{cd} \quad (2-19)$$

$$C_s \geq 0,75K_dS_{1r}/R \quad (2-20)$$

Donde:

C_s = Coeficiente sísmico al límite de cedencia.

$S_a(T)$ = Ordenada espectral para cualquier periodo de vibración T .

R = Factor de reducción de respuesta sísmica.

S_{cd} = Espectro calibrado al nivel de diseño requerido corto.

S_{1r} = Ordenada espectral de periodo de 1 segundo del sismo extremo considerado en el basamento de roca en el sitio de interés.

K_d = Factor de determinación de los niveles de diseño.

Al determinar el coeficiente sísmico, al límite de cedencia y verificar las condiciones de valores mínimos, se procede a determinar el total de las fuerzas sísmicas equivalentes que actúan sobre la edificación. En cada dirección de análisis, representada por medio del cortante estático equivalente al límite de cedencia en la base de la estructura o cortante basal estático a cedencia V_B .

$$V_B = W_s * C_s \quad (2-21)$$

Donde:

- V_B = Cortante basal estático a cedencia
 W_s = Peso sísmico efectivo
 C_s = Coeficiente sísmico al límite de cedencia

Para determinar el peso sísmico efectivo W_s , se deberá incluir como mínimo la carga muerta total de la edificación y el 25 % de la carga viva que no califica como reducible exceptuando las cargas vivas en estacionamientos. Sin embargo se deberá incluir las cargas vivas que estén rígidamente ancladas a la estructura.

2.4.2. Aplicación de corte basal en estructuras

El corte basal, como se ha mencionado, es una carga generada en la base de la estructura, que es inducida por evento sísmico. Se distribuye en los diferentes pisos de la estructura bajo estudio con el concepto de carga lateral. Este procedimiento de distribución en los diferentes pisos, es definido en la sección 2.2 de Agies NSE 3-10, la cual detalla que el cortante basal estático a cedencia (V_B) se distribuirá a lo alto del edificio de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$F_x = C_{vx} V_B \quad (2-22)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)} \quad (2-23)$$

Donde:

- F_x = Fuerza cortante de cedencia en el nivel x de la edificación
 V_B = Cortante basal estático a cedencia
 h_x = Altura del nivel x sobre la base
 h_i = Altura del muro i sobre la base

W_x = Peso sísmico efectivo del nivel x

W_i = Peso sísmico efectivo del nivel i

El valor de la constante k , está en función del periodo de vibración de la estructura T . El periodo de transición que separa los periodos cortos de los largos en segundos T_s , la cual se obtiene de la tabla XVII.

Tabla XVII. **Constante k**

Periodo de vibración de la estructura T	Constante k
$T \leq 0,5s$	1
$0,5 < T \leq 2,5s$	$0,75 + 0,5Ts$
$T > 2,5s$	2

Fuente: Agies NSE 3-10, Sección 2.2. p. 25.

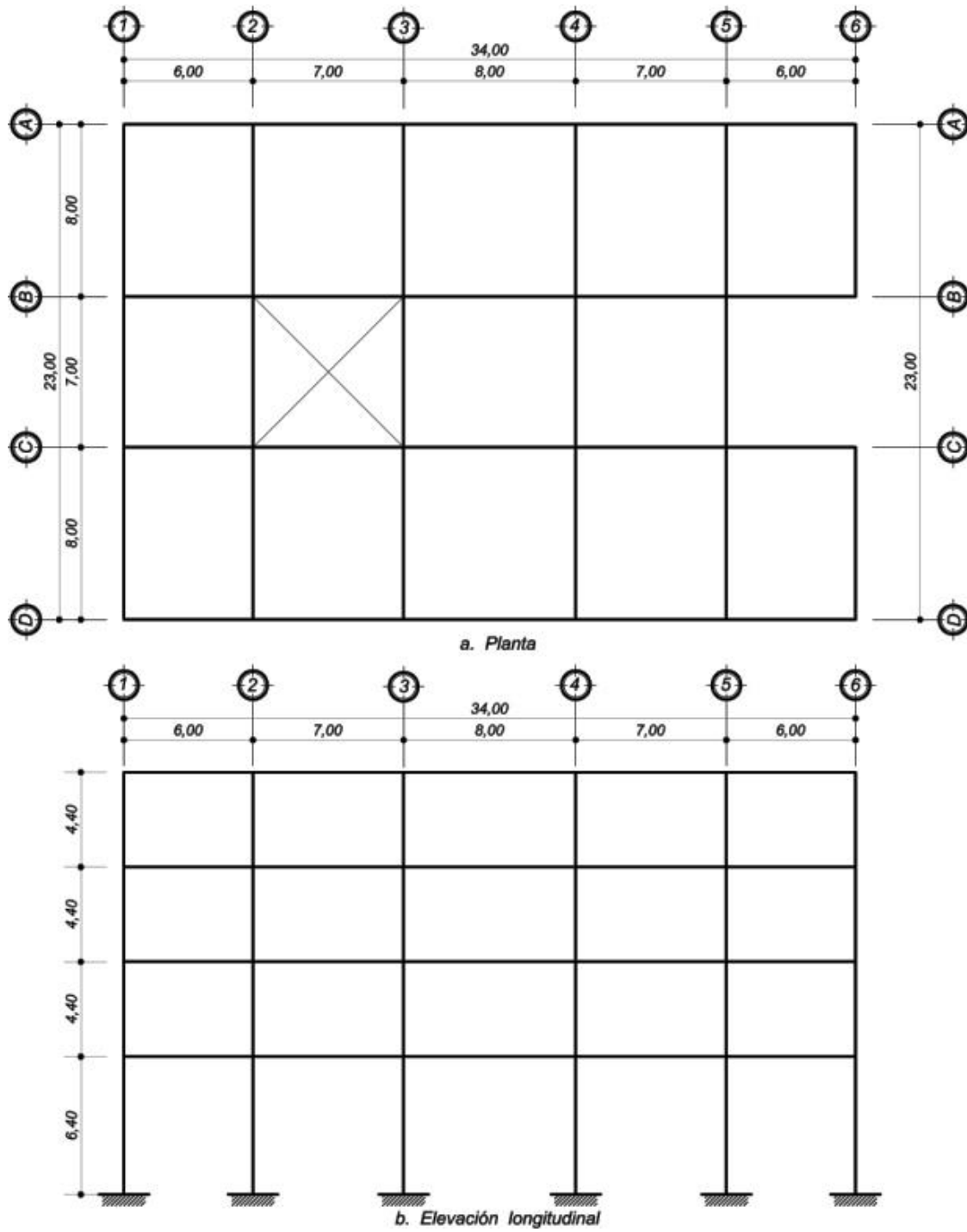
2.5. Cálculo estructural de cortante basal estático a cedencia

Se determinará a través del modelo edificatorio descrito en la sección 2.5.1., y el cortante basal estático a cedencia V_B . Se determinará en función de la configuración de los sistemas de escalera.

2.5.1. Modelo de la edificación

El modelo de la edificación expuesto en la figura 15, estará compuesto por un sistema estructural de marcos de concreto reforzado. Esto integrará a distintos sistemas de escalera, sin embargo se incluirá al determinar el cortante basal V_B estático a cedencia, un ejemplo sin sistemas de escalera.

Figura 15. Modelo de la edificación



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.5.1.1. Predimensionamiento de elementos estructurales

El predimensionamiento de los elementos estructurales en la edificación se realiza por medio de conceptos empíricos. Estos permiten una estimación de tamaños de secciones transversales aproximados.

Tales conceptos empíricos determinan dimensiones para distintos elementos estructurales, esto de acuerdo a la geometría de la estructura, la filosofía y el sistema estructural que se requiera o desea emplear. Al predimensionar elementos estructurales en la edificación por medio de conceptos empíricos, se debe considerar códigos como ACI 318S-08. Estos indican dimensiones mínimas para elementos estructurales, bastante específicos como en estructuras ubicadas en zonas sísmicas.

2.5.1.1.1. Losa

El predimensionamiento del espesor t de losa se realizará en los ejes de mayor magnitud por ser la más crítica a cortante V . Además de realizarlo de esta forma para obtener uniformidad en el espesor t de losa en el nivel. También se propondrá colocar vigas secundarias para minimizar la magnitud de luz entre ejes, y consecuencia de ello minimizar la magnitud del espesor t de losa.

- Espesor de losa: la losa de mayor magnitud expuesta en la figura 15 es de 8,00 x 8,00 m. Al colocar vigas secundarias la losa resultante es de 4,00 x 4,00 m, que determina una relación del lado corto l_a y la del lado largo l_b de 1 que es mayor a 0,5 indicando una losa con refuerzo en dos sentidos.

$$\frac{l_a}{l_b} = \frac{4,00 \text{ m}}{4,00 \text{ m}} = 1 > 0,5$$

Al determinar una losa con refuerzo en dos sentidos, el espesor t de losa se obtiene por medio de la relación entre el perímetro p y 180.

$$t = \frac{p}{180} = \frac{4(4,00 \text{ m})}{180} = 0,0889 \text{ m}$$

Al analizar el valor de espesor de losa $t = 0,0889 \text{ m}$ de la ecuación anterior. Determina un valor aproximado de $t = 0,09 \text{ m}$ que es el mínimo descrito por el código ACI 318-08. El valor de espesor de losa $t = 0,09 \text{ m}$ debe verificarse si resiste el cortante en losa producido por las cargas.

- Cortante en losa: el cortante V en losa, se determinará por medio de la carga última W_u del análisis de un edificio residencial con carga viva c_v de 200 kg/m^2 y una sobrecarga s_c de 30 kg/m^2 .

$$\begin{aligned} W_u &= 1,4c_m + 1,7c_v = 1,4(p_{eso} p_{propio} + s_c) + 1,7c_v \\ W_u &= 1,4(0,09 \text{ m} * 2400 \text{ kg/m}^3 + 30 \text{ kg/m}^2) + 1,7(200 \text{ kg/m}^2) \\ W_u &= 684,40 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Cortante actuante en losa: el cortante actuante V_{ac} en losa, se determinará por medio del análisis del método de coeficientes, que expone coeficientes similares en el lado menor c_a y en el lado mayor c_b de 0,5. Esto porque ambos lados miden lo mismo 4,00 m, lo que determina una relación entre lado corto l_a y lado largo de l_b 1. Además de ser un caso donde la losa se encuentra empotrada en todo su perímetro p .

$$c_a = c_b = 0,5$$

Al identificar los coeficientes en el lado menor c_a y en el lado mayor c_b , se procede a determinar el cortante actuante en V_{ac} en losa. Por medio del producto entre carga última W_u , el coeficiente perpendicular al lado de análisis c_a o c_b , y la relación entre el área A que produce el corte y lado de análisis l_a o l_b .

$$V_{ac} = cW_u(A/l) \quad (2-24)$$

Al utilizar la ecuación anterior en la losa de 4,00 x 4,00 m es evidente que no tiene influencia directa en el lado de análisis l_a o l_b , ni el coeficiente a utilizar c_a o c_b . Esto porque ambos datos son los mismos, sin embargo se enfatiza en esto porque cuando lado menor l_a y el lado mayor l_b de losa son distintos, si tiene influencia el lado de análisis.

- Cortante actuante V_{ac} en losa lado mayor l_b

$$V_{ac} = cW_u(A/l) = c_aW_u\left(\frac{\frac{1}{2}(l_a * l_b)}{l_b}\right) = \frac{1}{2}c_aW_u l_a$$

$$V_{ac} = \frac{1}{2}c_aW_u l_a = \frac{1}{2}(0,5(684,40 \text{ kg/m}^2)(4,00 \text{ m}))$$

$$V_{ac} = 684,4 \text{ kg/m}$$

- Cortante resistente en losa: el cortante resistente V_{res} en losa, se determinará por medio de la ecuación 11-3 descrito en el código ACI 318-08. Este que determina el producto entre la reducción del concreto λ , la raíz cuadrada de resistencia específica a compresión del concreto $\sqrt{f'_c}$, el ancho del alma b_w , y la distancia d desde la fibra extrema en compresión, hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.

$$V_{res} = 0.53\lambda\sqrt{f'_c}b_w d \quad (2-25)$$

La distancia \bar{d} desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción, se obtiene por medio de la diferencia entre el espesor t . El recubrimiento rec de losa de 3,5 cm y un medio del diámetro \emptyset_v 1,27 cm de una varía número 4.

$$\bar{d} = t - rec - \emptyset_v = 9,00 - 3,5 - 1,27/2 = 4,865 \text{ cm}$$

- Cortante resistente V_{res} en losa

$$V_{res} = 0,53\lambda\sqrt{f'_c}b_wd = 0,53(0,85)\sqrt{(210)}(100)(4,865)$$

$$V_{res} = 3\ 176,05 \text{ kg/m}$$

El resultado de corte que resiste V_{res} la losa es mayor que el corte actuante V_{ac} por tal razón se considera adecuado el espesor de losa propuesto de 0,09 m.

$$V_{res} = 3\ 176,05 \text{ kg/m} > V_{ac} = 684,4 \text{ kg/m}$$

2.5.1.1.2. Viga

El predimensionamiento de viga se obtiene al identificar cuál es el peralte de sección, y posterior a ello determinar la base de sección. Esto considerando que el Código ACI 318-08 en la sección 21.5.1.3 determina que el ancho de elementos controlados por flexión no debe ser menor que el más pequeño de 0,3 h y 250 mm.

El peralte de sección en vigas principales se determina por medio del 8 % de luz a cubrir, y en vigas secundarias se determina el 6 % de luz a cubrir. La base de la sección se determina empíricamente, con valores de 1 a 3 de la relación altura/base. Sin embargo, para seleccionar la base de la sección de

viga se debe tener en cuenta, que una base pequeña resultará en una viga profunda que puede disminuir el momento resistente de diseño del miembro estructural debido a posibles deformaciones laterales. También una base pequeña provoca la necesidad de más de una cama de barras de acero, que incrementa el peralte de la viga.

El predimensionamiento de viga principal y secundaria se realizará, en los ejes de mayor magnitud por ser la más crítica, y para obtener uniformidad entre vigas. Los ejes de mayor magnitud expuesta en la figura 15 es de 8,00 m, a la cual se le aplicará el 8 y 6 % para obtener el peralte de viga y posterior a ello la base, considerando las condiciones descritas.

- Viga principal

$$\text{peralte} = 0,08(8,00 \text{ m}) = 0,64 \text{ m}$$

$$\text{peralte} = \mathbf{0,65 \text{ m}}$$

$$\text{base} = \mathbf{0,35 \text{ m}}$$

- Viga secundaria

$$\text{peralte} = 0,06(8,00 \text{ m}) = 0,48 \text{ m}$$

$$\text{peralte} = \mathbf{0,50 \text{ m}}$$

$$\text{base} = \mathbf{0,30 \text{ m}}$$

2.5.1.1.3. Columna

El predimensionamiento de columna se realizará basado en la solicitud de carga axial y la resistencia especificada de concreto. Además de considerar que en la sección 21.6.1.1 y 21.6.1.2 del Código ACI 318-08, determina que la dimensión mínima de la sección transversal, medida en línea recta que pasa a través del centroide geométrico. Esto no debe ser menor de 300 mm, y la

relación entre la dimensión menor de la sección transversal y la dimensión perpendicular no debe ser menor que 0,4, respectivamente.

- Volumen de la edificación: se determinará en función de la figura 15.

$$Volumen = Area(Altura del edificio)$$

$$Volumen = (23,00(34,00) - 7,00(7,00) - 6,00(7,00))(19,60)$$

$$Volumen = 13\ 543,60\ m^3$$

- Volumen de obra gris de la edificación: el volumen de obra gris V_{og} en una edificación oscila entre 3 a 9 %. Siendo una edificación residencial se procederá a utilizar un 8 % de la misma.

$$V_{og} = 8\%Volumen = 0,08(13\ 543,60m^3)$$

$$V_{og} = 1\ 083,488\ m^3$$

- Peso de concreto de la edificación: peso de concreto p_c de la edificación es el producto del volumen de obra gris V_{og} y el peso específico del concreto γ_c .

$$p_c = V_{og}(\gamma_c) = 1\ 083,488\ m^3(2\ 400,00\ kg/m^3)$$

$$p_c = 2\ 600\ 371,2\ kg$$

- Áreas tributarias en planta, según ubicación de columnas: las áreas tributarias en planta que contribuyen a la carga axial de las columnas según su ubicación, se identifica por medio de relacionar las áreas tributarias con las columnas interiores, de borde y de esquina. Generalmente las áreas tributarias que contribuyen a las columnas interiores son 4, a las de borde son 2, y a las de esquina contribuye un

área tributaria. Sin embargo en columna interior puede contribuir solamente 3 áreas tributarias, como se observa en la intersección de los ejes 2B de la figura 15. Las áreas tributarias que contribuyen a la carga axial de las columnas según su ubicación, de la figura 15 se resumen en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. Relación de columnas

Ubicación de columnas	Cantidad de columnas C_c	Áreas tributarias A_t	Relación $\frac{C_c(A_t)}{4}$
Esquina	4	1	1
Borde	10	2	5
Interior	6	3	4.5
Interior	2	4	2
$\sum R_c$			12,5

Fuente: elaboración propia.

- Carga axial en columna: la carga axial en columna P_u se determina por medio de la relación entre el peso de concreto p_c de la edificación y la sumatoria de relación de columnas $\sum R_c$.

$$P_u = \frac{p_c}{\sum R_c} = \frac{2\,600\,371,2\text{ kg}}{12,5}$$

$$P_u = 208\,029,696\text{ kg}$$

- Área gruesa de columna: el área gruesa de columna A_g , se obtiene por medio de la relación entre la carga axial en columna P_u y el 10 % de la resistencia específica a compresión del concreto f'_c .

$$A_g = \frac{P_u}{0,1f'_c} = \frac{208\,029,696\text{ kg}}{0,1 \left(210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)}$$

$$A_g = 9\,906,176\text{ cm}^2$$

- Lado de sección de columna: el lado de sección de columna cuadrada o rectangular se determina en función área gruesa de columna A_g de la ecuación anterior. En este caso por simetría se utilizará una sección cuadrada. Sin embargo si se opta por una sección rectangular se debe considerar que la relación entre la dimensión menor de la sección transversal y la dimensión perpendicular no debe ser menor que 0,4.

$$l_c = \sqrt{A_g} = \sqrt{9\,906,176\text{ cm}^2}$$

$$l_c = 99,53\text{ cm}$$

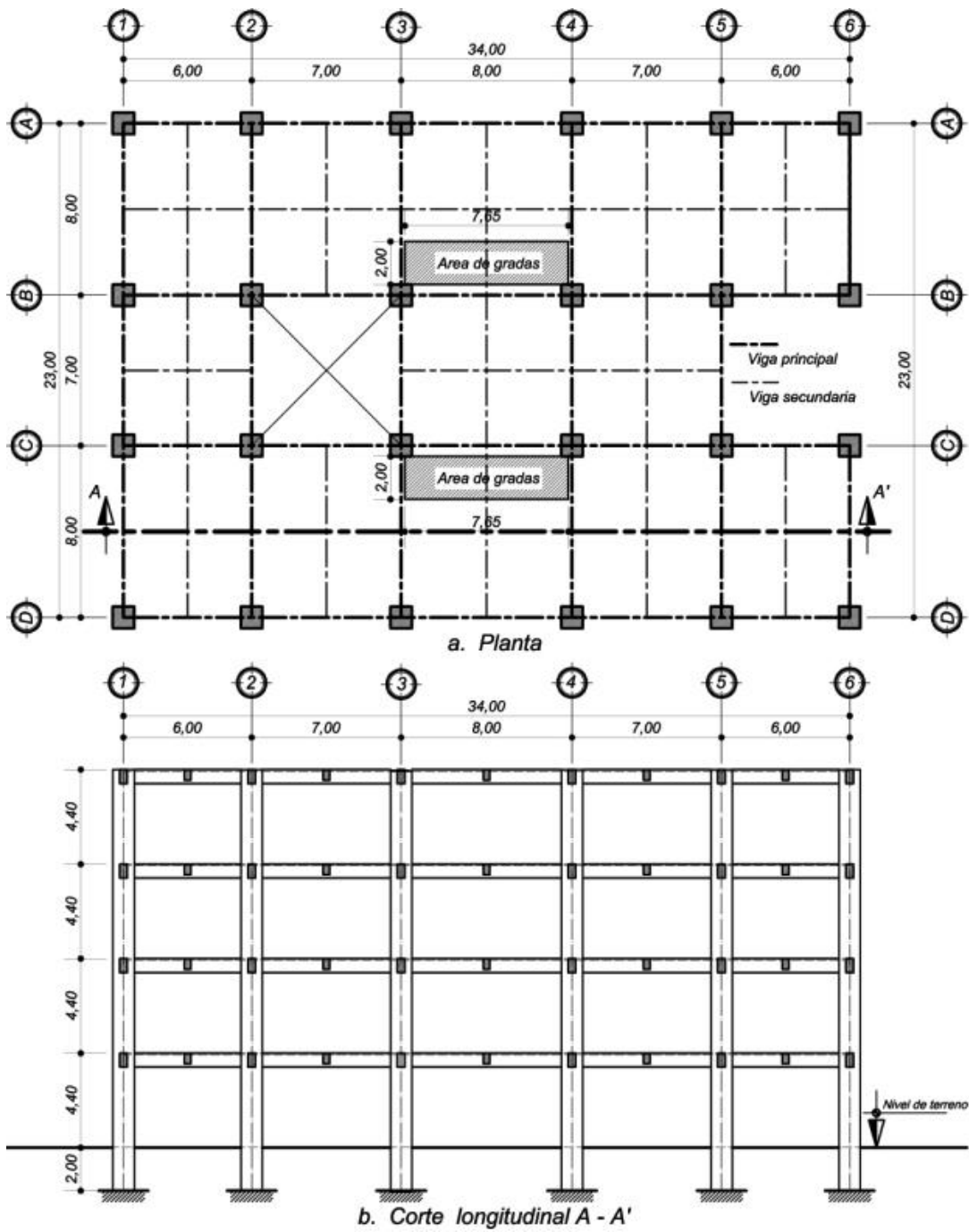
- Sección de columna

$$1,00 \times 1,00\text{ m}$$

2.5.1.2. Modelo de la edificación con sistemas de escalera, e independiente a ellos

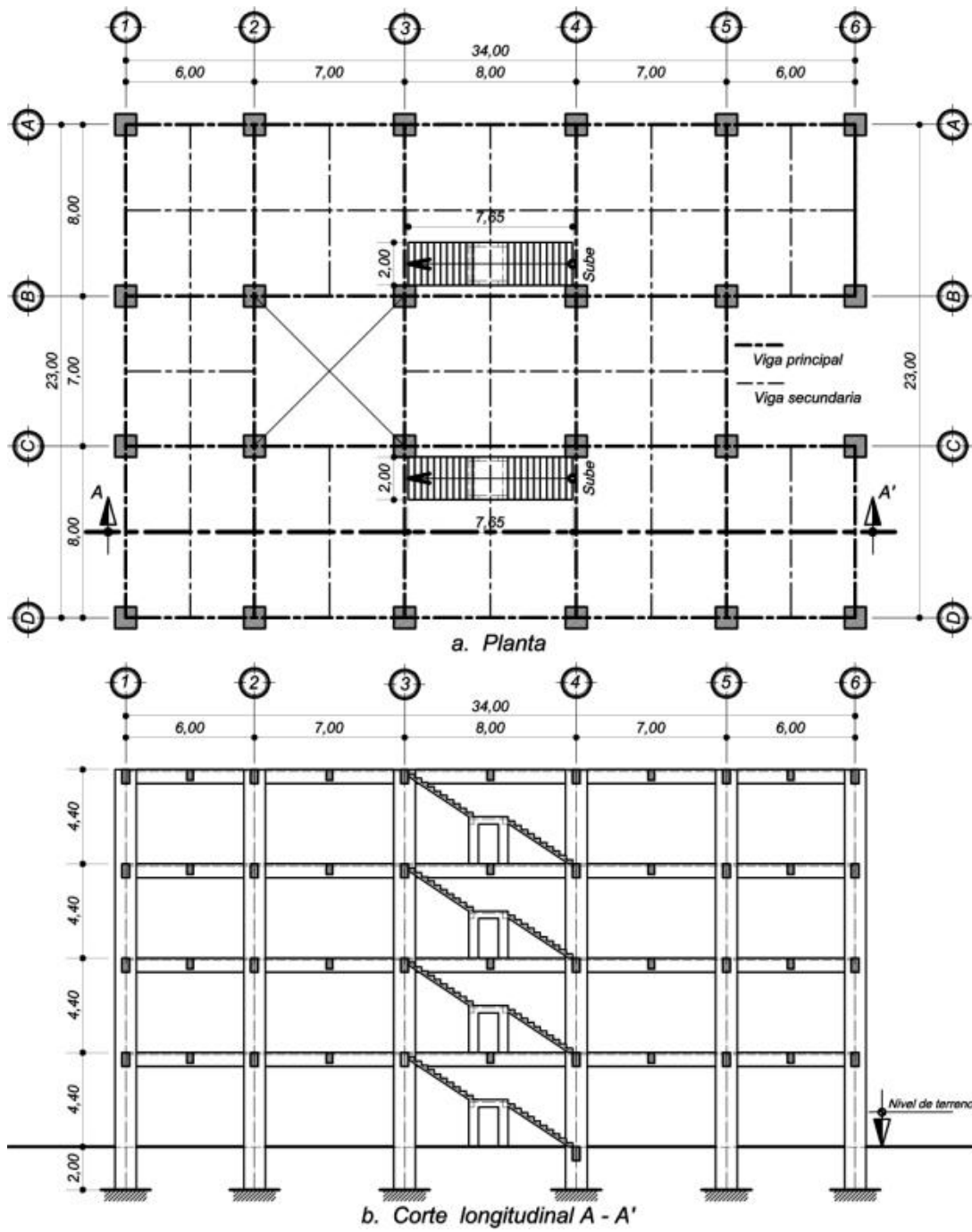
Las figuras de 16 a 21 exponen, el modelo de la edificación con sistemas de escalera e independiente a ellos. Las cuales determinarán los cálculos estructurales por sismo.

Figura 16. Edificación independiente al sistema de escalera



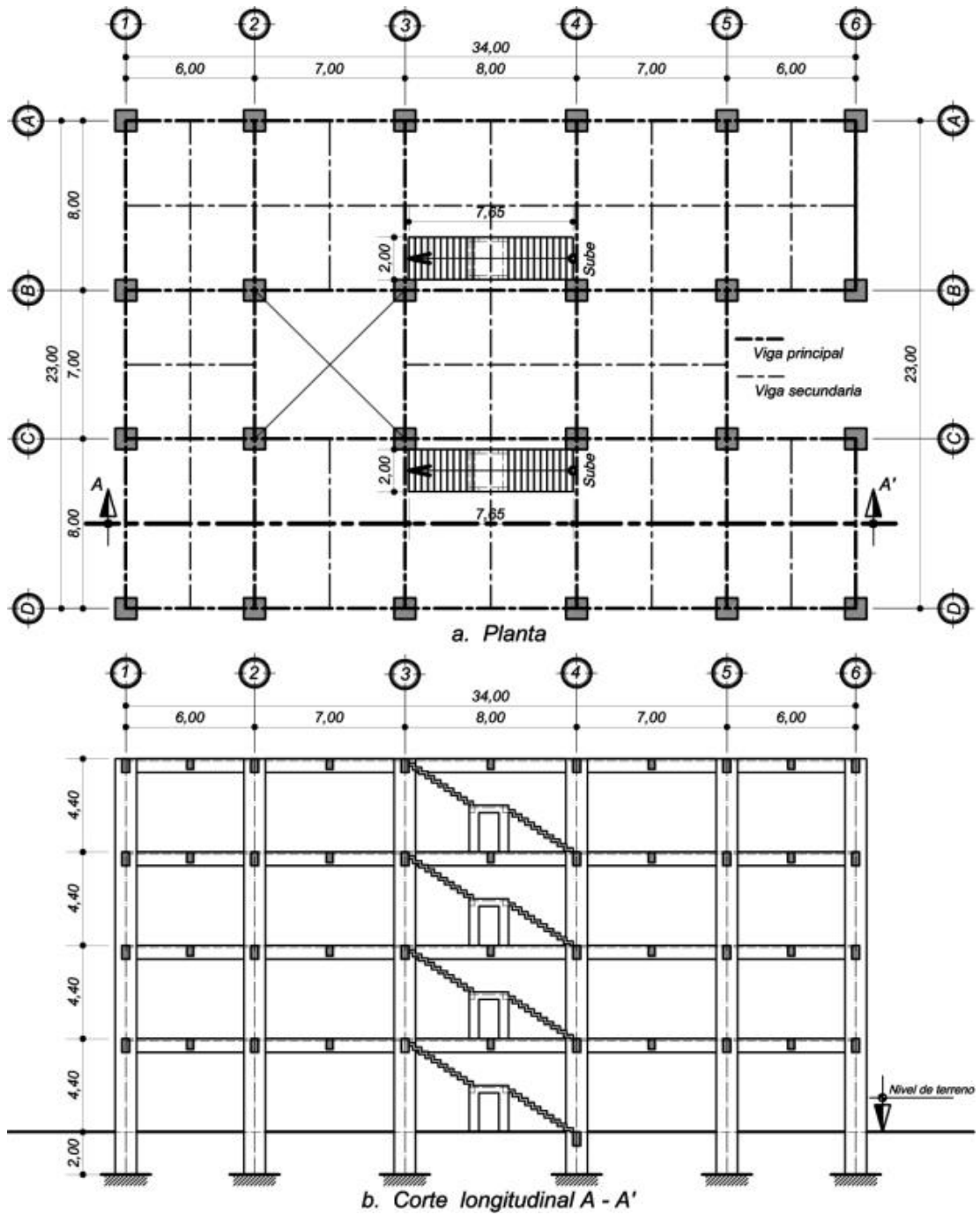
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 17. Edificación con sistema de escalera simplemente apoyado



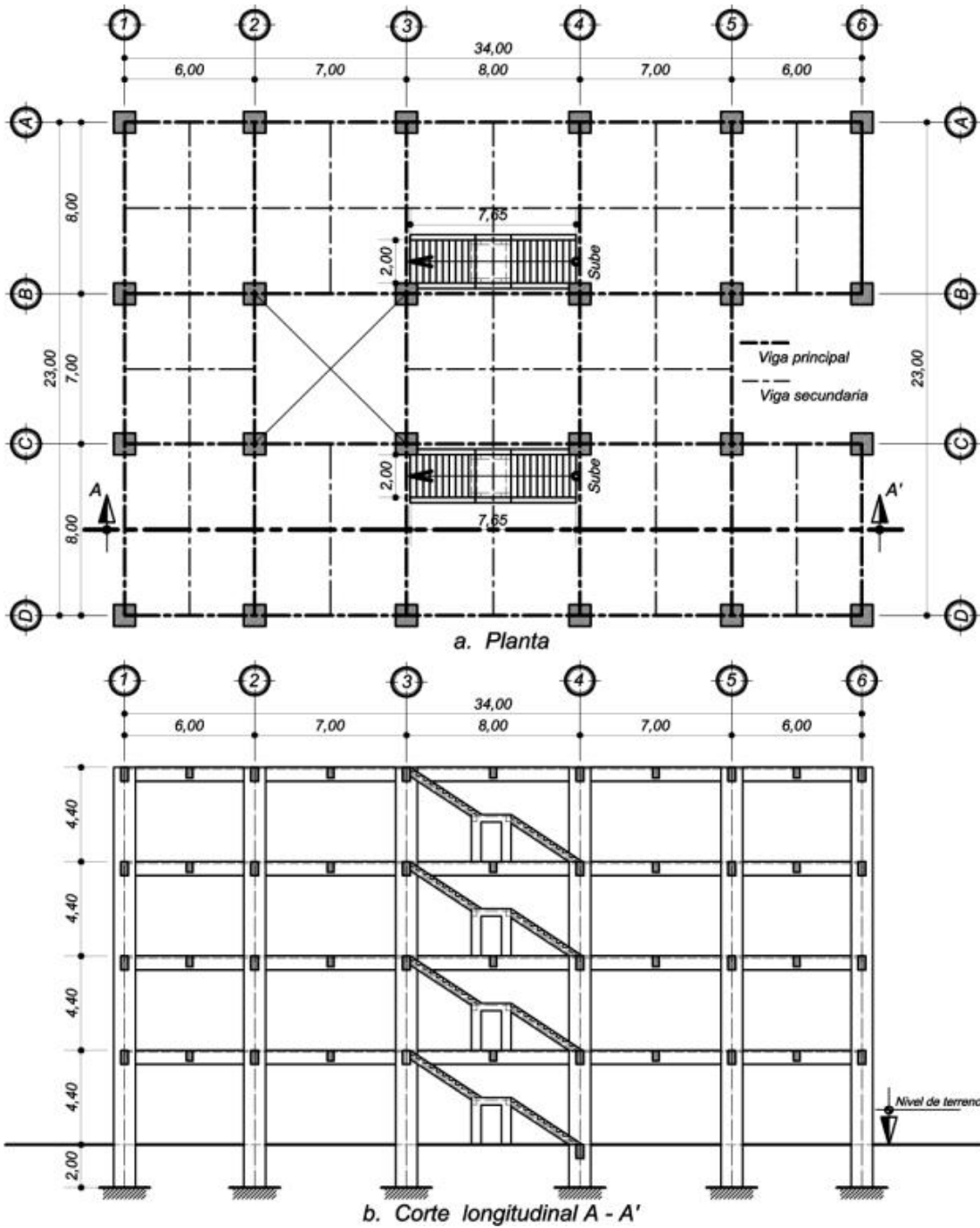
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 18. Edificación con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal



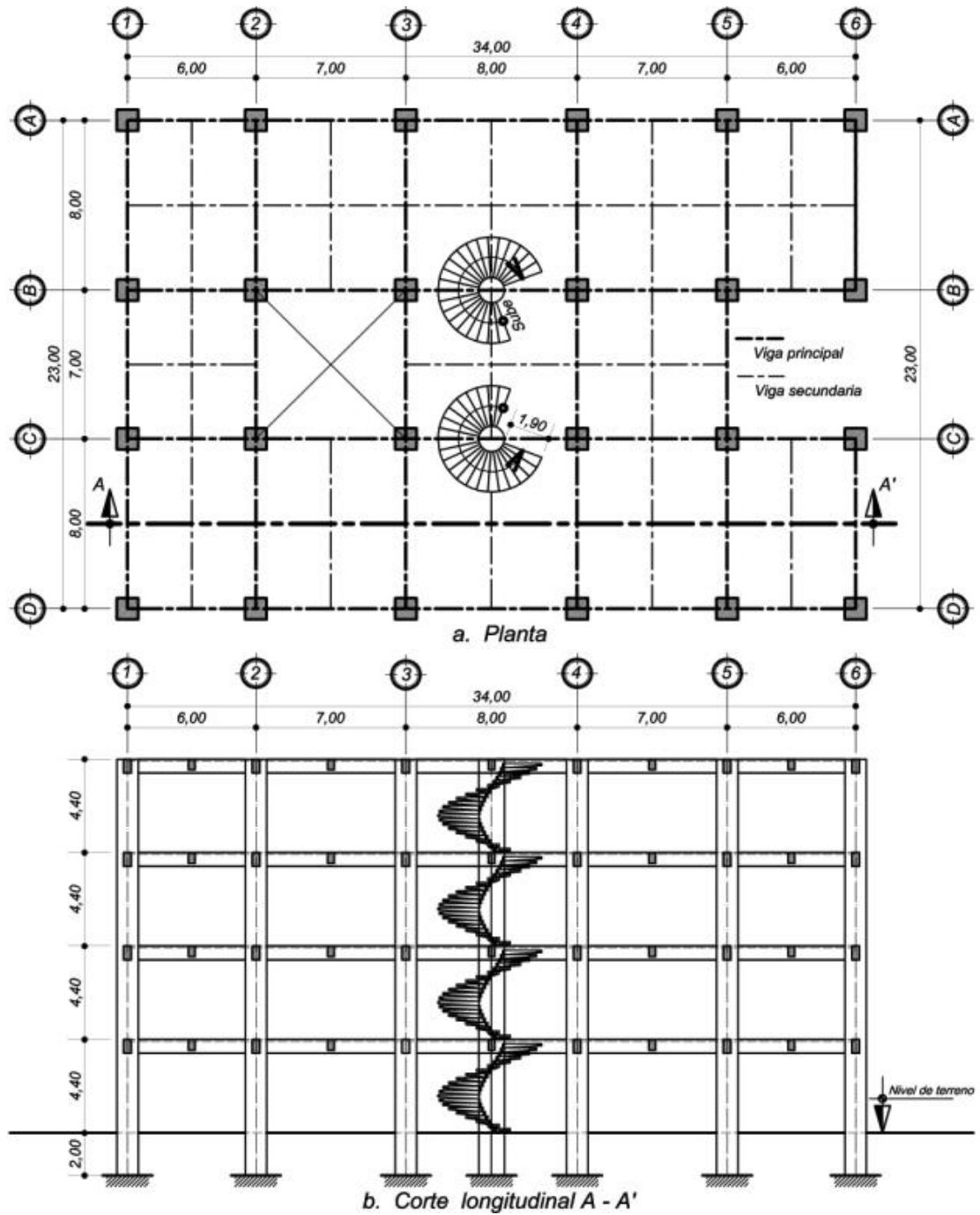
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 19. Edificación con sistema de escalera apoyada transversalmente



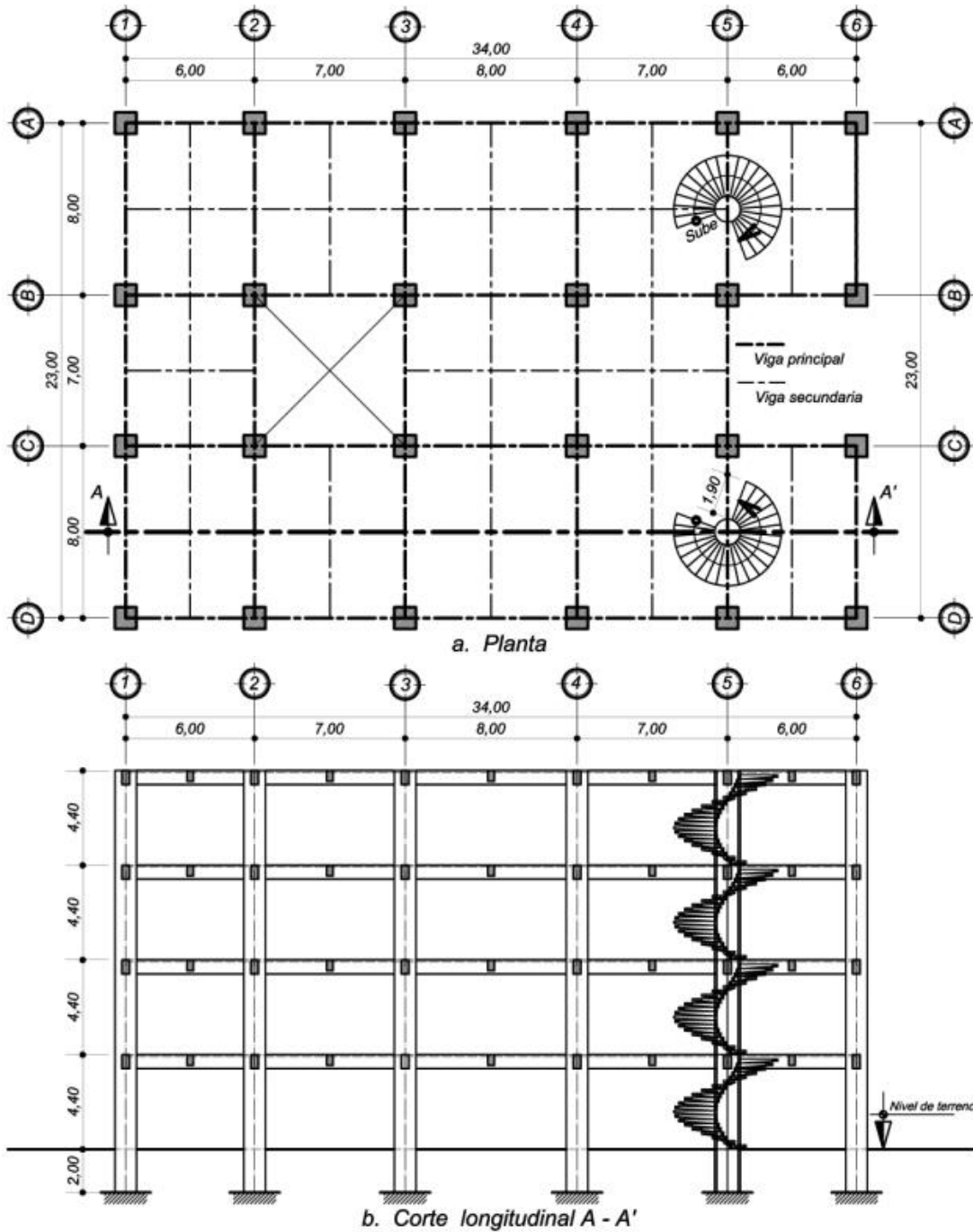
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 20. Edificación con sistema de escalera con escalones en voladizo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 21. Edificación con sistema de escalera con escalones en voladizo ubicada en el extremo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.5.2. Determinando coeficiente sísmico al límite de cedencia

La determinación del coeficiente sísmico C_s al límite de cedencia, de las figuras 16 a 21 se realizará por el método de la carga sísmica estática equivalente, de acuerdo con Agies NSE-10 como se describe en la sección 2.3.1.1.

2.5.2.1. Índice de sismicidad

Se determina en función de la localidad de la edificación por lo tanto se asumirá que se construirá en el municipio de Antigua Guatemala, departamento de Sacatepéquez. En el anexo A, listado de amenaza sísmica por municipios de Agies NSE 2-10, se establece para dicho municipio el índice de sismicidad.

$$I_o = 4$$

2.5.2.2. Nivel de protección

Para determinar el nivel de protección por medio de la tabla V, se considerará una obra esencial. Esto por ser un edificio residencial que debe permanecer operativa durante y después de un desastre o evento.

$$\textit{Nivel de proteccion} = E$$

2.5.2.3. Clase de sitio de suelo

Dado que se desconoce el dictamen geotécnico de las propiedades del perfil del suelo se utilizará la clasificación D.

2.5.2.4. Ordenada espectral

Las ordenadas espectrales S_{cr} y S_{1r} , se determinan por medio de la ubicación del municipio de Antigua Guatemala, departamento de Sacatepéquez en el anexo A, listado de amenaza sísmica por municipios de Agies NSE 2-10.

$$S_{cr} = 1,65 g$$

$$S_{1r} = 0,60 g$$

2.5.2.5. Ajuste a condiciones en la superficie

Para realizar ajuste a las condiciones en la superficie S_{cs} y S_{1s} se identifican los coeficientes de sitio. Esto para periodos de vibración corto F_a y largo F_v por medio de las tablas IX y X, que dependen del índice de sismicidad y la clase de sitio.

$$F_a = 1,0$$

$$F_v = 1,5$$

2.5.2.6. Ajuste por intensidades sísmicas espectrales

Para realizar ajuste por intensidades sísmicas S_{cs} y S_{1s} se identifican los coeficientes por proximidad de las amenazas especiales para periodos de vibración corto N_a y para periodos de vibración largo N_v . Estas se determinan de las tablas XII y XIII, que dependen del tipo de fuente sísmica como se visualiza en la tabla XI, y de la proximidad de la misma.

Para identificar los coeficientes $N_a = 1,0$ y $N_v = 1,0$, se utilizará el tipo de fuente B y la distancia horizontal a la fuentes sísmica más cercana mayor a 15 km.

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a = 1,65 \text{ g} * 1,0 * 1,0$$

$$\mathbf{S_{cs} = 1,65 \text{ g}}$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v * N_v = 0,60 \text{ g} * 1,5 * 1,0$$

$$\mathbf{S_{1s} = 0,90 \text{ g}}$$

2.5.2.7. Calibración de espectro a nivel de diseño requerido

La calibración del espectro al nivel de diseño requerido S_{cd} y S_{1d} se obtiene identificando el factor K_d de determinación de los niveles de diseño por medio de la tabla XIV. Este define un valor $K_d = 0,80$, para una obra esencial y sismo severo.

$$S_{cd} = S_{cs} * K_d = 1,65 \text{ g} * 0,80$$

$$\mathbf{S_{cd} = 1,32 \text{ g}}$$

$$S_{1d} = S_{1s} * K_d = 0,90 * 0,80$$

$$\mathbf{S_{1d} = 0,72 \text{ g}}$$

2.5.2.8. Periodo de transición

El periodo de transición T_s , se obtiene por medio de la relación entre el espectro calibrado al nivel de diseño requerido de 1 segundo S_{1d} y el espectro calibrado al nivel de diseño requerido corto S_{cd} .

$$T_s = \frac{S_{1d}}{S_{cd}} = \frac{0,72 \text{ g}}{1,32 \text{ g}}$$

$$\mathbf{T_s = 0,5455 \text{ s}}$$

2.5.2.9. Periodo fundamental de vibración de la edificación

El periodo fundamental de vibración de la edificación T_a , se obtendrá al establecer el sistema estructural de acuerdo a la tabla XV, que determina un valor E1, para sistema de marcos. Al establecer el sistema estructural E1 se determina los coeficientes K_T y x de 0,047 y 0,9 respectivamente de acuerdo a la tabla XVI. La altura h_n de la edificación que se expresa en la figura 16 desde la base es de 17,60 m.

$$T_a = K_T(h_n)^x = 0,047(17,60)^{0,9}$$
$$T_a = 0,62 \text{ s}$$

2.5.2.10. Ordenada espectral

La ordenada espectral $S_a(T)$, para cualquier periodo de vibración T , se obtiene al identificar que periodo T_a o T_s es mayor. Al analizar los periodos se identifica que el periodo fundamental de vibración de la edificación T_a , es mayor al periodo de transición T_s , por lo tanto la ordenada espectral $S_a(T)$ para cualquier periodo de vibración T , es:

$$S_a(T) = \frac{S_{1d}}{T} = \frac{0,72}{0,62}$$
$$S_a(T) = 1,16$$

2.5.2.11. Coeficiente sísmico al límite de cedencia

El coeficiente sísmico C_s al límite de cedencia se obtiene, por medio del factor de reducción de respuesta sísmica $R = 8$, de la tabla XV. El coeficiente sísmico C_s al límite de cedencia también debe cumplir las condiciones de ser mayor o igual a 4,4 % del espectro calibrado al nivel de diseño requerido corto

S_{cd} . También mayor o igual al 75 % de la relación entre el factor de determinación de los niveles de diseño K_d por la ordenada espectral de periodo de 1 segundo del sismo S_{1r} , y el factor de reducción de respuesta sísmica R .

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R} = \frac{1,16}{8}$$

$$C_s = 0,145$$

- Primera condición

$$C_s \geq 0,044S_{cd} = 0,145 \geq 0,044(1,32)$$

$$0,145 \geq 0,05808$$

- Segunda condición

$$C_s \geq 0,75 \frac{K_d S_{1r}}{R} = 0,145 \geq 0,75 \frac{0,80 * 0,60}{8}$$

$$0,145 \geq 0,045$$

Al analizar ambas condiciones, se concluye que el valor obtenido del coeficiente sísmico C_s al límite de cedencia es correcto. Por ello, se utilizará el valor de $C_s = 0,145$ para obtener el cortante basal estático a cedencia V_B del inciso 2.5.4.

2.5.3. Peso sísmico efectivo de la edificación, influenciado por sistemas de escalera

El peso sísmico efectivo W_s de la edificación, influenciado por sistemas de escalera, se determinarán en función de las figuras expuestas en la sección 2.5.1.2.

Para obtener el peso de la edificación se considerará un 30 % de la carga viva. Esto debido a que la estructura es un edificio residencial, y existe la

posibilidad de cargas no previstas. Además que Agies NSE-10 define un mínimo del total de carga muerta y el 25 % de carga viva.

2.5.3.1. Peso de elementos en la edificación

Los elementos de concreto se determinarán por medio de su volumen por el peso específico del concreto. Los demás elementos se obtendrán por medio del área, por la magnitud de la carga uniformemente distribuida utilizada. Los cálculos del peso de elementos en la edificación se exponen en las tablas apéndices.

Tabla XIX. **Peso sísmico efectivo de la edificación, influenciado por sistemas de escalera**

Nivel	Independiente al sistema de escalera <i>kg</i>	Simplemente apoyado longitudinalmente <i>kg</i>	Ortopoligonal con empotramiento longitudinal <i>kg</i>	Apoyado transversalmente <i>kg</i>	Escalones en voladizo <i>kg</i>
Nivel 4	819 532,08	829 774,08	830 740,08	834 980,21	860 641,47
Nivel 3	1 009 585,13	1 043 558,33	1 043 272,73	1 053 542,18	1 095 491,43
Nivel 2	1 009 585,13	1 043 558,33	1 043 272,73	1 053 542,18	1 095 491,43
Nivel 1	1 094 941,38	1 140 299,06	1 139 956,34	1 152 985,27	1 204 035,43
Sumatoria	3 933 643,73	4 057 189,81	4 057 241,89	4 095 049,84	4 255 659,76
Incremento de peso	0,00 %	3,14 %	3,05 %	3,98 %	7,86 %
Peso sísmico efectivo W_s	3 933 643,73	4 057 189,81	4 057 241,89	4 095 049,84	4 255 659,76

Fuente: elaboración propia.

La tabla XIX expone un incremento de peso de 3 a 4 %. Esto entre el edificio independiente al sistema de escalera, y el edificio con sistemas de escalera, exceptuando el edificio con sistema de escalera con escalones en voladizo. El incremento del edificio con sistemas de escalera con escalones en

voladizo es debido a que el sistema de escalera posee una columna central de un diámetro de 1,20 m. Esto donde se empotran los escalones, que los demás sistemas de escalera no poseen.

Al analizar los incrementos de peso, que están determinados por la configuración de las figuras expuestas en la sección 2.5.1.2, determinan un incremento mínimo. Esto se reduce a un medio del porcentaje expuesto, cuando se analiza un solo sistema de escalera. Esto porque la tabla XIX determina el peso de la misma edificación con dos sistemas de escalera de igual configuración.

2.5.4. Cortante basal de la edificación influenciado por sistemas de escalera

El cortante basal V_B del edificio influenciado por sistemas de escalera se determina por medio del peso sísmico efectivo W_s de la edificación expuesto en la tabla XIX y el coeficiente sísmico C_s al límite de cedencia, determinado en la sección 2.5.2.11.

Tabla XX. Corte basal de la edificación influenciado por sistemas de escalera

	Independiente al sistema de escalera T	Simplemente apoyado longitudinalmente T	Ortopoligonal con empotramiento longitudinal T	Apoyado transversalmente T	Escalones en voladizo T
Peso sísmico efectivo W_s	3 933,64	4 057,19	4 057,24	4 095,04	4 255,66
Coficiente sísmico C_s	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
Cortante basal $V_B = W_s * C_s$	570,38	588,29	588.30	593,78	617,07

Fuente: elaboración propia.

2.5.5. Fuerza por piso de la edificación, influenciado por sistemas de escalera

Las fuerzas F_x por piso de la misma edificación, con distintos sistemas de escalera, se resumen en la tabla XXI. Esto con magnitudes en toneladas, en función de la configuración geométrica física de los sistemas de escalera.

La tabla XXI evidencia la diferencia entre el sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente, y el sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal. Esta es mínima a tal grado que la magnitud del cortante basal V_B es similar, debido a que la única diferencia entre ellos es su propio peso.

Los demás sistemas de escalera sí tiene diferencia de magnitud de cortante basal V_B , y por lo tanto en las fuerzas F_x por piso de la edificación. Sin embargo, el de mayor magnitud de cortante basal V_B , de la edificación, es el sistema de escalera con escalones en voladizo con respecto, a la edificación independiente al sistema de escalera. Esto debido a que la configuración del sistema de escalera con escalones en voladizo posee una columna circular con dimensiones que influyen significativamente a la magnitud del peso de la edificación y por lo tanto a la magnitud del cortante basal V_B .

Tabla XXI. **Fuerza por piso de la edificación, influenciado por sistemas de escalera**

Nivel	Independiente al sistema de escalera <i>T</i>	Simplemente apoyado longitudinalmente <i>T</i>	Ortopoligonal con empotramiento longitudinal <i>T</i>	Apoyado transversalmente <i>T</i>	Escalones en voladizo <i>T</i>
Nivel 4	198,47	201,77	201,97	203,18	209,83
Nivel 3	183,37	190,32	190,23	192,28	200,31
Nivel 2	122,25	126,88	126,82	128,18	133,54
Nivel 1	66,29	69,32	69,29	70,14	73,39
Cortante basal <i>V_B</i>	570,38	588,29	588,30	593,78	617,07

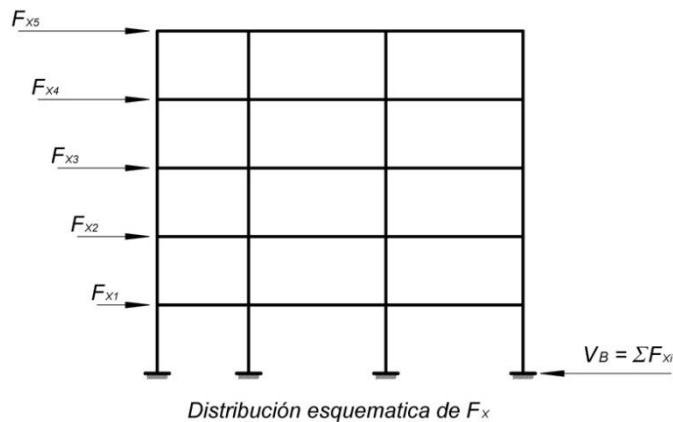
Fuente: elaboración propia.

3. DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS

3.1. Fuerzas por piso

En la sección 2.4.2, se expuso la aplicación de corte basal a lo alto de una estructura. Esta se distribuye como fuerza cortante de cedencia F_x en el nivel x de la edificación, actuando en el centro de masa del nivel, donde la sumatoria de tales fuerzas es igual al cortante basal estático a cedencia V_B . Por ello en estructuras de un nivel, la magnitud de fuerza lateral total de piso, es igual al cortante basal estático a cedencia V_B .

Figura 22. **Distribución de fuerza cortante de cedencia, a lo alto de una edificación**

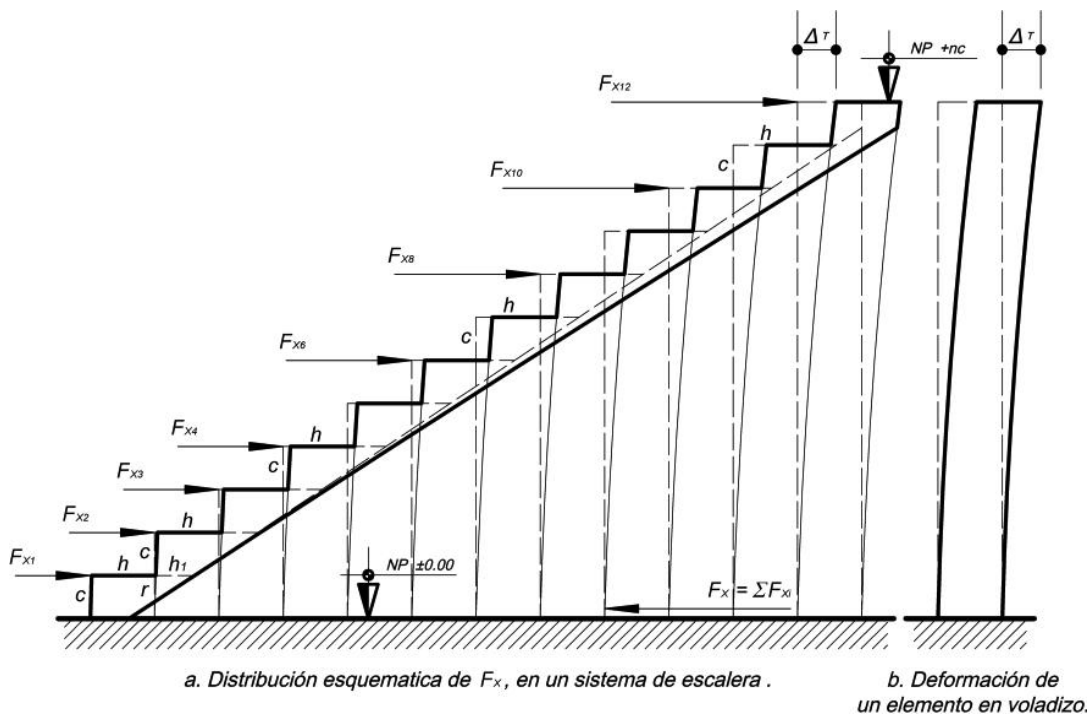


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El concepto de fuerza de piso se utilizará en sistemas de escalera en la parte superior de cada contrahuella c del escalón. Esto para determinar la deformación que sufren estos elementos proyectados hasta la horizontal

empotrada del primer escalón, con la filosofía de un elemento en voladizo, como se visualiza en la figura 23. Sin embargo, la filosofía en voladizo se utilizará acorde a la configuración de los apoyos con que cuente el sistema de escalera. Dado que en el inciso primero se definieron algunos sistemas de escalera pueden tener apoyos empotrados, apoyos articulados o una combinación de apoyos, empotrado articulado.

Figura 23. **Distribución de fuerza cortante de cedencia, a lo alto de un sistema de escalera**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.2. Fuerzas por marco

La distribución de las fuerzas por marco F_m , están determinados por la configuración simétrica o asimétrica de elementos estructurales del marco, y de

la continuidad de los marcos paralelos a la dirección de la fuerza cortante de cedencia F_x en el nivel x de la edificación.

En marcos paralelos a la fuerza F_x , y de elementos estructurales simétricos en los marcos, la fuerza por marco F_m , se obtiene, a través del producto de la fuerza cortante de cedencia F_x en el nivel x de la edificación, por la relación de rigidez lateral K_{lm} del marco, paralelo a la dirección de la fuerza F_x , y de la rigidez lateral total K_{IT} de los elementos estructurales en el nivel x de la edificación. También paralelo a la dirección de la fuerza F_x , sin embargo, por las condiciones arquitectónicas de los edificios, esta condición de simetría es poco probable que se dé.

$$F_m = \left(\frac{K_{lm}}{K_{IT}} \right) F_x \quad (3-1)$$

Donde:

F_m = Fuerza por marco.

K_{lm} = Rigidez lateral del marco paralela a la fuerza F_x .

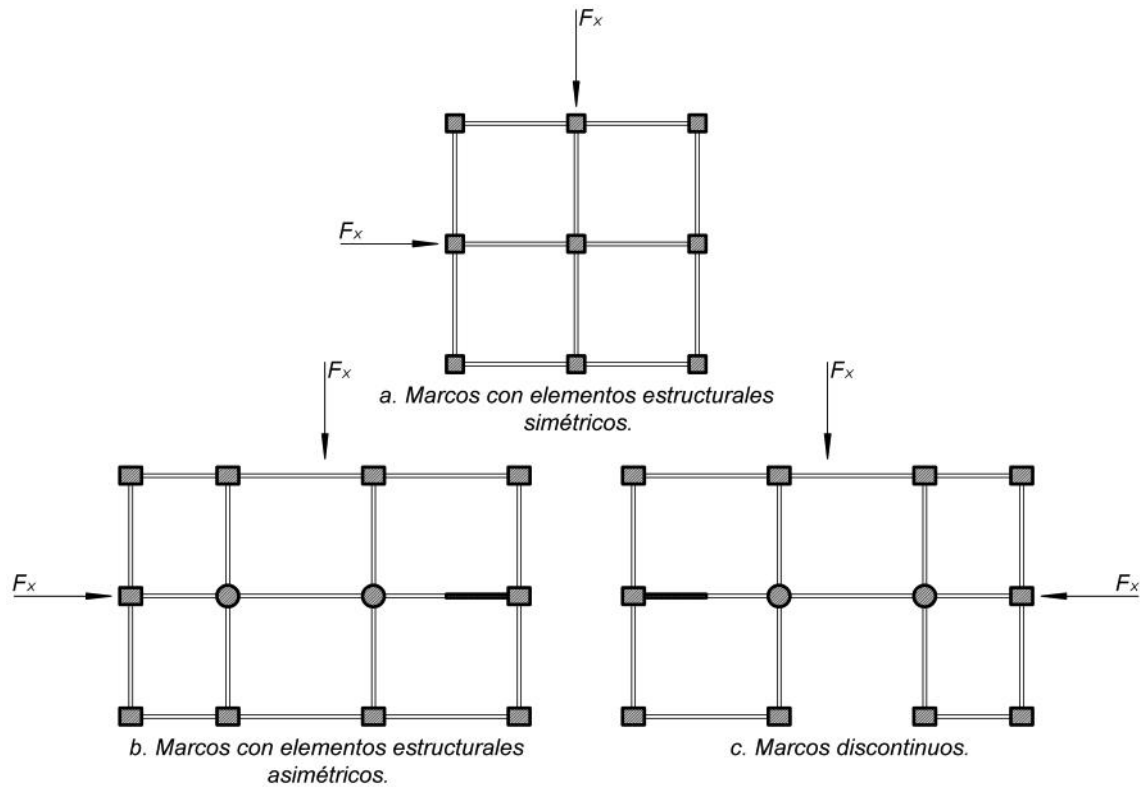
K_{IT} = Rigidez lateral de elementos en el nivel x de la edificación paralela ala fuerza F_x .

F_x = Fuerza cortante de cedencia en el nivel x de la edificación.

En marcos de elementos estructurales asimétricos, paralelos a la dirección de la fuerza F_x , la fuerza por marco F_m , se obtiene de la misma forma que se mencionó para marcos simétricos. Sin embargo, para determinar la rigidez lateral K_{lm} del marco, y la rigidez lateral total K_{IT} , de los elementos estructurales en el nivel x de la edificación, se debe analizar la rigidez que cada elemento

estructural aporta al marco o al nivel respectivamente. Esto de acuerdo a la posición de su sección.

Figura 24. **Elementos estructurales en marcos**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.2.1. Rigidez lateral en marco

La rigidez lateral en marco K_{lm} , se obtiene a través de la sumatoria de la rigidez de los elementos estructurales que componen el marco. Esto en dirección paralela a la dirección de la fuerza cortante de cedencia F_x en el nivel x de la edificación.

(3-2)

$$K_{lm} = \sum_{i=1}^n K_n$$

Donde:

- K_{lm} = Rigidez lateral del marco paralela a la fuerza F_x
 K = Rigidez del elemento expuesto a la deformación

3.2.1.1. Rigidez en secciones simétricas (secciones cuadradas)

La rigidez de un elemento estructural se determina por medio de la relación de la fuerza cortante de cedencia F_x y de la deformación total que sufre el elemento.

(3-3)

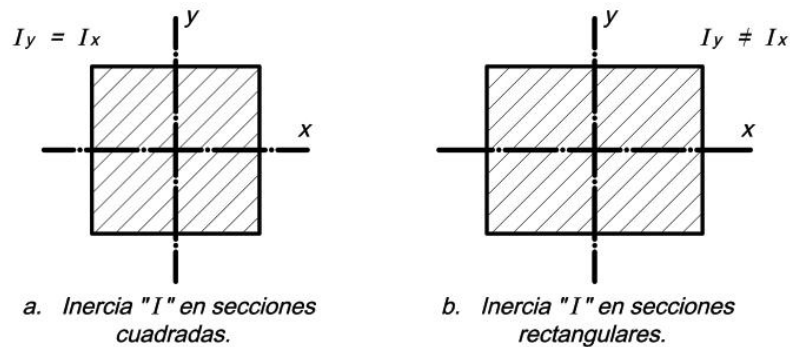
$$K = \frac{F_x}{\Delta_T}$$

Donde:

- K = Rigidez del elemento expuesto a la deformación
 F_x = Fuerza cortante de cedencia en el nivel x de la edificación
 Δ_T = Deformación total en el elemento

El uso de la ecuación 3-3, para determinar la rigidez del elemento K expuesto a la deformación, en secciones simétricas o secciones cuadradas se implementa no importando la dirección de la fuerza cortante de cedencia F_x . Esto es debido a que la inercia de la sección del elemento es la misma en sus ejes perpendiculares, como se expone en el inciso a de la figura 25. Tal inercia se encuentra involucrada al deducir la deformación total Δ_T , del elemento la cual se expondrá a profundidad en la sección 3.3.2.

Figura 25. **Secciones de elementos expuestos a deformación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.2.1.2. Rigidez en secciones no simétricas (secciones rectangulares)

Al determinar la rigidez K del elemento expuesto a la deformación, en secciones no simétricas o secciones rectangulares, se debe analizar la dirección de la fuerza cortante de cedencia F_x . Esto porque la inercia I que está involucrada en la deformación total Δ_T , no es la misma en sus ejes perpendiculares, como se aprecia en el inciso b de la figura 25.

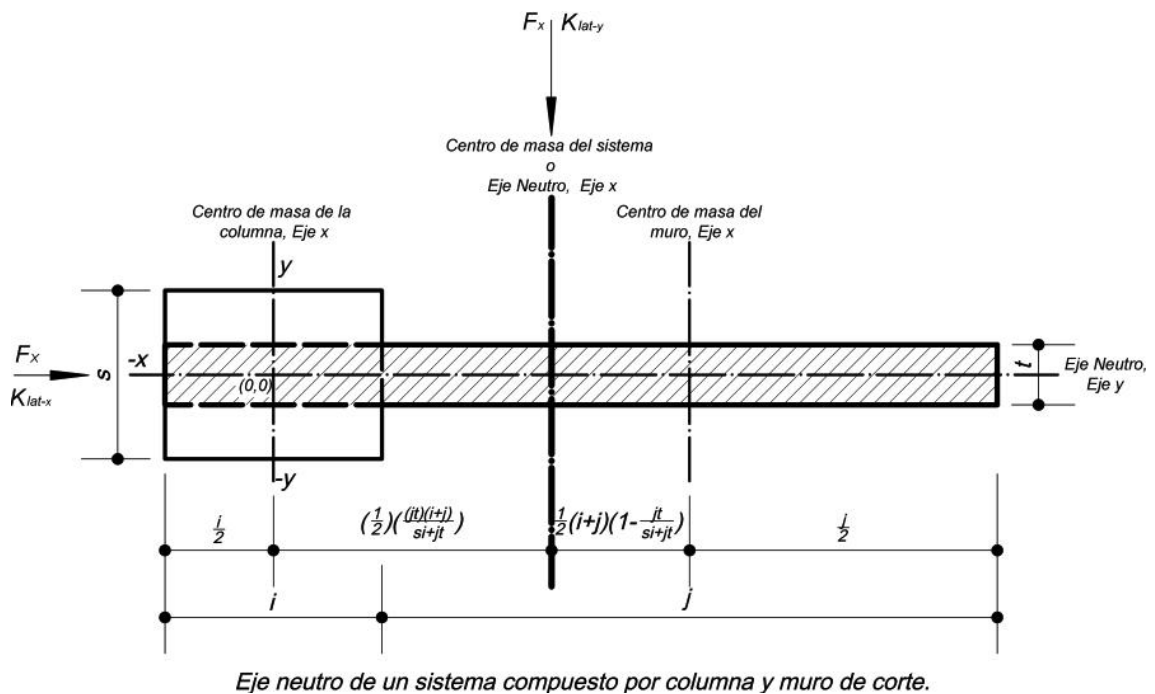
Para obtener la inercia I del inciso b de la figura 25 del elemento expuesto a la deformación, se debe identificar que la base de la sección es el lado perpendicular a la fuerza cortante de cedencia F_x , y el lado paralelo a la fuerza cortante de cedencia F_x , es la altura.

Los elementos estructurales de secciones rectangulares proveen una rigidez lateral K_l , de acuerdo a su posición con respecto a la dirección de la fuerza cortante de cedencia F_x como se mencionó. En marcos donde se necesite proveer de mayor rigidez lateral K_{lm} , se usa generalmente muros de

corte. Estos elementos estructurales, debido a su configuración y posición en el marco, además del tipo de material que se utilice determinan distintos análisis para obtener la rigidez lateral K_l que aporta al marco.

Sin embargo, cuando los muros de corte son construidos monolíticamente con la columna, como se aprecia en la figura 26, la rigidez lateral K_l que aporta el muro de corte al marco, se obtiene por medio de un análisis perpendicular, y un análisis paralelo entre la dirección de la fuerza cortante de cedencia F_x , y el sistema estructural integrado por columna y muro de corte.

Figura 26. Muro de corte



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Rigidez lateral, de un sistema integrado por columna y muro de corte, paralela a la dirección de la fuerza cortante de cedencia

La rigidez lateral K_{ls} , paralela a la dirección de la fuerza cortante de cedencia F_x , de un sistema integrado por columna y muro de corte, se obtiene a través de identificar el centro de masa del sistema en el eje x . También conocido como eje neutro, dado que la inercia I involucrada en el sistema expuesto en la figura 26, está ubicada en el eje neutro del sistema.

$$EN_x = \frac{\sum A\bar{x}}{\sum A} = \frac{(si)(0) + (jt) \left(\frac{1}{2}(i+j) \right)}{si + jt} = \frac{\frac{1}{2}(jt)((i+j))}{si + jt}$$

El eje neutro en x de la ecuación anterior determina la distancia a partir de la coordenada $x = 0$, como se expone en la figura 26. Al determinar el eje neutro en x , se obtiene la inercia I , por el teorema de ejes paralelos, involucrada en la deformación por flexión δ , que se expondrá a detalle en la sección 3.3.2.1.

$$I = \bar{I} + Ad^2$$

Otra característica que expone la figura 26, al determinar la rigidez lateral K_l , paralela a la dirección de la fuerza cortante de cedencia F_x , de un sistema integrado por columna y muro de corte, es el área cortante del sistema, dado que la figura 26, expone una sección cortante A_c , de $t(i+j)$. Esto está involucrada en la deformación por corte γ , que también se expondrá a detalle en la sección 3.3.2.2.

- Rigidez lateral, de un sistema integrado por columna y muro de corte, perpendicular a la dirección de la fuerza cortante de cedencia

La rigidez lateral K_{ls} , perpendicular a la dirección de la fuerza cortante de cedencia F_x , de un sistema integrado por columna y muro de corte expuesta en la figura 26, se obtiene a través de la sumatoria de la rigidez lateral K_l de la

columna, más la rigidez lateral K_l del muro de corte. La rigidez lateral K_l de un elemento estructural se expondrá a detalle en la sección 3.3.2.3.

(3-4)

$$K_{ls} = K_l(EE_1) + K_l(EE_2)$$

Donde:

K_{ls} = Rigidez de un sistema integrado por dos diferentes elementos estructurales.

$K_l(EE_1)$ = Rigidez lateral del primer elemento estructural (columna)

$K_l(EE_2)$ = Rigidez lateral del segundo elemento estructural (muro de corte).

La ecuación 3-4, aunque define la sumatoria de dos elementos estructurales diferentes, se puede utilizar cuando existan más de dos elementos estructurales diferentes en el sistema. Esto porque la rigidez K de los elementos estructurales está determinado por la configuración física de sus dimensiones.

Cuando no se pueda analizar la rigidez K_{ls} del sistema compuesto por diferentes elementos estructurales como una sola, por la complejidad que representa integrarlo, se analiza la rigidez K_l de los elementos estructurales, de forma independiente y posterior a ello sumarlos, para obtener la rigidez del sistema.

3.2.2. Rigidez lateral total

La rigidez lateral total K_{lT} en el nivel x , se obtiene a través de la sumatoria de la rigidez K de los elementos estructurales que componen el nivel x , en dirección paralela a la fuerza cortante de cedencia F_x . Al analizar la dirección de la fuerza cortante de cedencia F_x en el nivel x , es evidente que en elementos estructurales de secciones asimétricas paralelas a la dirección de la fuerza

cortante de cedencia F_x , determina que la rigidez lateral total en el eje x K_{IT-x} , es distinto a la rigidez lateral total en el eje y K_{IT-y} .

(3-5)

$$K_{IT} = \sum_{i=1}^n K_n$$

Donde:

K_{IT} = Rigidez lateral total de elementos en el nivel x de la edificación paralela a la fuerza F_x .

K = Rigidez del elemento expuesto a la deformación.

3.3. Fuerzas en sistemas de escalera

Se utilizarán con similares conceptos de aplicabilidad de estructuras en general. Por ejemplo, en el inciso 3.1 se mencionó que, el concepto de fuerza de piso se utilizará en sistemas de escalera en la parte superior de cada contrahuella c del escalón.

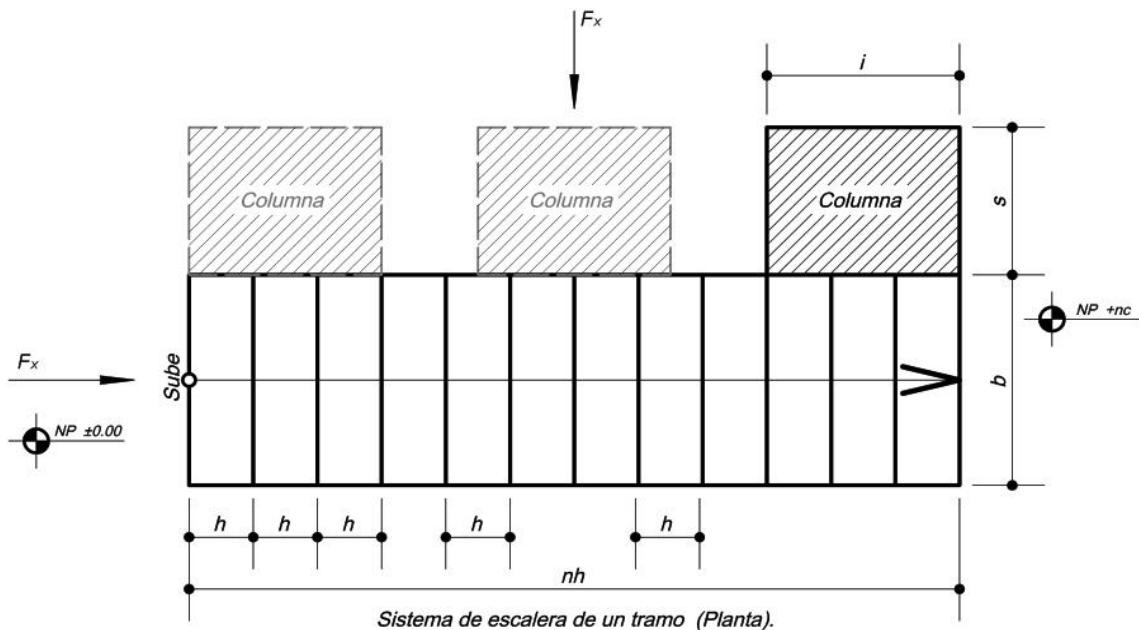
3.3.1. Rigidez lateral

La rigidez lateral en sistemas K_{ls} de escalera se analizará, perpendicular y paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera como se expone en la figura 27, porque aunque exista un ángulo entre la dirección del tramo del sistema de escalera y los ejes principales del edificio. La fuerza cortante de cedencia F_x , en el nivel x , se puede descomponer por medio del ángulo existente entre ellos, para determinar la magnitud en dirección perpendicular o paralela al tramo del sistema de escalera.

Al analizar la rigidez lateral K_{ls} que aporta un sistema de escalera, a la rigidez lateral del marco K_{lm} , se presenta el inconveniente de no saber la

posición ni la configuración física de los elementos estructurales que integran el marco. Sin embargo, se mencionó en la ecuación 3-4, cuando no se pueda analizar la rigidez K del sistema compuesto por diferentes elementos estructurales como una sola, por la complejidad que representa integrarlo. Se analiza la rigidez K de los elementos estructurales, de forma independiente y posterior a ello sumarlos, y de esa forma determinar la rigidez lateral K_l de todos los elementos estructurales que integran al marco.

Figura 27. **Fuerza cortante de cedencia, paralela y perpendicular a la dirección de un sistema de escalera**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

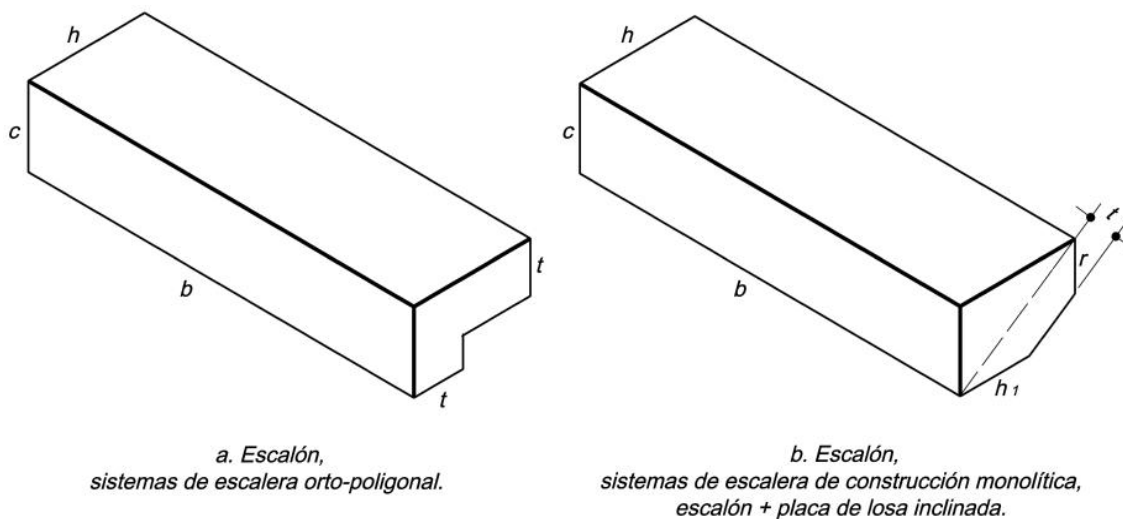
Existen sistemas de escalera con apoyos articulados, empotrados o una combinación de apoyos articulado y empotrado. Aunque todos estos sistemas de escalera posean rigidez, solo los sistemas de escalera que posean apoyos empotrados tanto longitudinal como transversal, y que estén integrados al

marco, contribuyen a la rigidez del marco de forma significativa. Los sistemas de escalera con apoyos articulados, o apoyos articulado empotrado, y aunque estén parcialmente integrados al marco, la rigidez que aporta al marco no es significativa, porque cuando ocurra un sismo, su movimiento será diferente al del marco.

3.3.1.1. Rigidez en secciones no simétricas (secciones rectangulares)

Se analizará por medio de sus escalones que son secciones rectangulares. Esto con la variable que dependerá de las características de perfil del sistema de escalera como se visualiza en la figura 28.

Figura 28. Escalones en sistemas de escalera

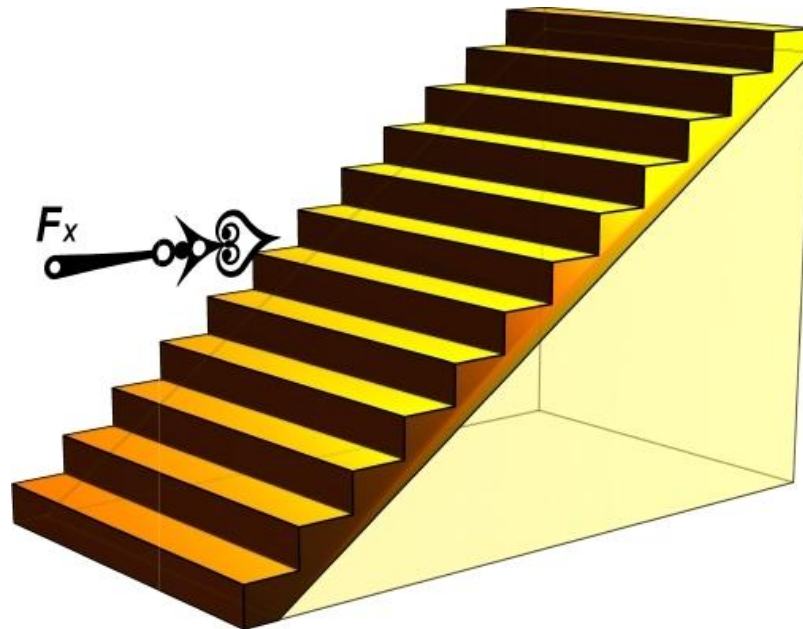


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.3.2. Sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente

Al analizar el sistema de escalera, simplemente apoyado longitudinalmente, es de esperar que su rigidez lateral K_{ls} sea mínima. Este aporte al marco no sea tan significativo como de los sistemas de escalera que poseen apoyos empotrados en sus extremos. Sin embargo, los conceptos utilizados en estos sistemas de escalera, fundamentarán los conceptos de los sistemas de escalera con apoyos empotrados en sus extremos.

Figura 29. Fuerza, paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera, simplemente apoyado longitudinalmente

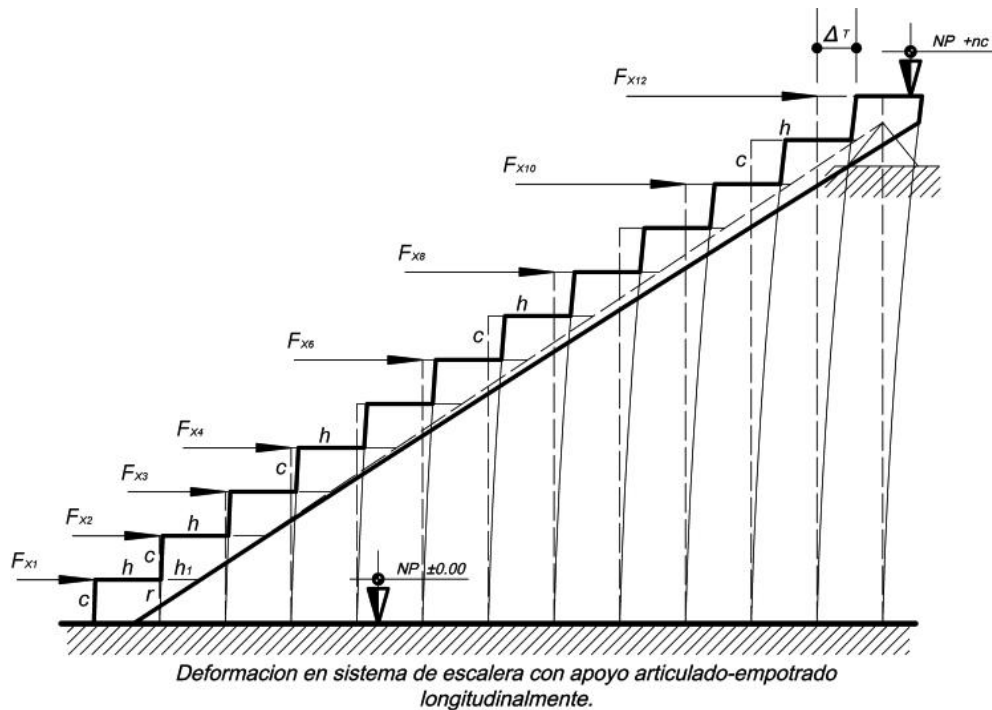


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El extremo opuesto al articulado, generalmente se encuentra empotrado o anclado para proporcionarle estabilidad. Por ello, para el análisis de estos

sistemas de escalera se determinará bajo la filosofía expuesta en la figura 30. Sin embargo, la rigidez de estos sistemas de escalera no se considerará en el marco por el apoyo articulado que posea. Su rigidez se determinará, para fundamentar los sistemas doblemente empotrados.

Figura 30. **Deformación en sistema de escalera con apoyo articulado-empotrado longitudinalmente, provocada por la fuerza, paralela a la dirección del tramo**

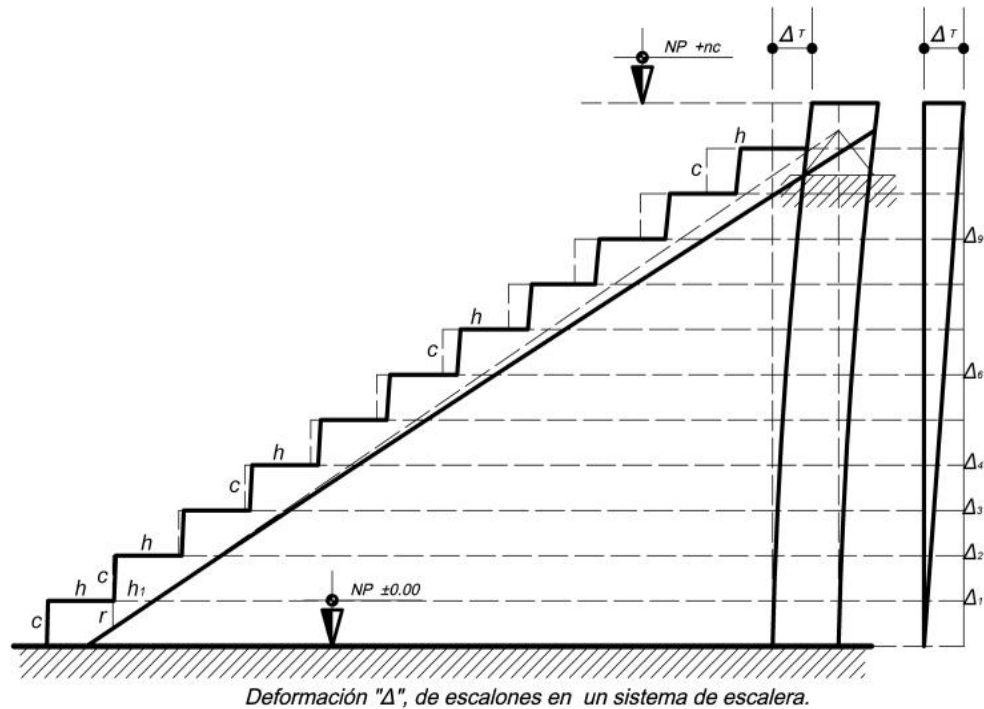


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La figura 30 evidencia que la fuerza cortante de cedencia F_x en el nivel x de la estructura, es distinto, este fenómeno se expresa como: “Los movimientos del suelo son amplificados en forma importante por la vibración de la estructura, de manera que las aceleraciones que se presentan en la misma llegan a ser varias veces superiores a las del terreno y el grado de amplificación depende

del amortiguamiento propio de la edificación y de la relación entre el periodo de la estructura y el periodo dominante del suelo”.²

Figura 31. Relación de deformaciones entre escalones



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

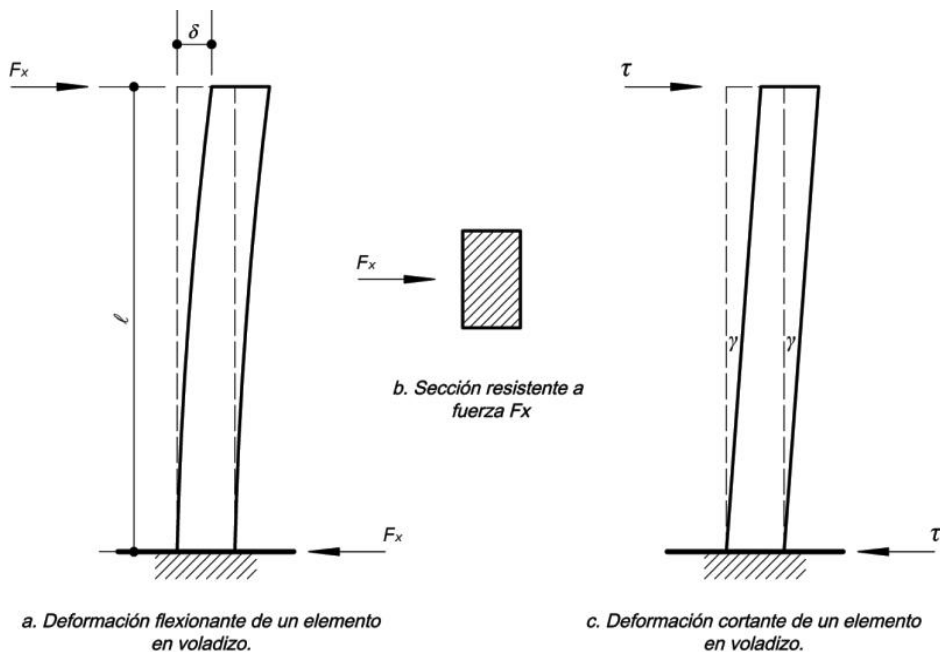
Al considerar que la fuerza cortante de cedencia F_x en el nivel x de la estructura, es distinto, y a mayor altura la fuerza es mayor como se observa esquemáticamente en la figura 30, la deformación que sufre tal elemento también es mayor, sin embargo si la magnitud de una misma fuerza F_x es aplicada a dos distancias distintas entre el extremo empotrado y el punto aplicado de la fuerza, el de mayor distancia tendrá una menor rigidez, dado que

² | BAZAN, Enrique. *Diseño sísmico de edificios*. p. 29.

la rigidez está determinado por la relación entre la fuerza y la deformación, siendo la deformación de un elemento, que depende de las características físicas de la misma, por ello es de esperar que la rigidez de los escalones de mayor altura con respecto del primer escalón sea menor.

Al considerar un sistema de escalera de construcción monolítica, con uniformidad en sus características físicas geométricas, tanto en huella h , contrahuella c , espesor t de placa de losa inclinada, y la uniformidad de sus propiedades mecánicas. Su relación de deformación Δ , de dos escalones de distinto nivel medidos a partir de una horizontal en común, es lineal. Esto permite evidenciar que la deformación que sufre un escalón superior es dos veces la deformación que sufre el escalón inferior próximo como se visualiza en la figura 31.

Figura 32. Deformaciones de elemento en voladizo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La rigidez de un elemento se determina por medio de la ecuación 3-3, bajo el principio que la fuerza horizontal F_x aplicada a un voladizo. Esto dado que en el sistema expuesto en el figura 30, determina un extremo empotrado y el extremo opuesto articulado, provocando deformaciones como se observa en la figura 32.

(3-3)

$$K = \frac{F_x}{\Delta_T}$$

Donde:

- K = Rigidez del elemento expuesto a la deformación
- F_x = Fuerza cortante de cedencia en el nivel x de la edificación
- Δ_T = Deformación total en el elemento

Para obtener las deformaciones a la que es expuesto el elemento en voladizo, y determinar la deformación total en el sistema Δ_T al momento de un sismo, es necesario identificar la configuración del elemento.

La figura 30, evidencia que el sistema de escalera se encuentra con un apoyo empotrado y un apoyo articulado en el extremo longitudinal del tramo. Bajo estas condiciones la deformación total Δ_T a la que se expone el sistema de escalera es la sumatoria de la deformación por flexión δ y la deformación por corte γ , como se aprecia en la figura 32. Esto debido a la filosofía de análisis de este tipo sistema de escalera expuesto en la figura 30.

(3-6)

$$\Delta_T = \delta + \gamma$$

Donde:

- Δ_T = Deformación total en el elemento
- δ = Deformación por flexión
- γ = Deformación angular por corte

3.3.2.1. Deformación por flexión

La deformación por flexión δ se obtiene a través del teorema II del método de área de momentos. Esto describe una desviación tangencial de un punto b , respecto de la tangente trazada en otro punto a , en el mismo sistema, como se aprecia en el inciso d de la figura 33.

El inciso d de la figura 33, expone que la deformación por flexión δ_b en el punto b , es igual a la desviación tangencial $t_{b/a}$ en el mismo punto con respecto al punto a . Tal distancia vertical entre la tangente y la curva elástica es directamente proporcional al área bajo la curva de momento entre el punto a , y el punto b , multiplicada por la distancia entre el punto deformable de interés y el punto de equilibrio del diagrama de momento en el eje horizontal.

Además la distancia vertical entre la tangente y la curva elástica $t_{b/a}$, es indirectamente proporcional al producto del módulo por la inercia que posea el elemento, como se describe en la ecuación 3-7.

$$\delta_b = t_{b/a} = \left(\frac{1}{EI}\right)(A_{ab})(\bar{X}_b) \quad (3-7)$$

Donde:

δ_b = Deformación por flexión en el punto b .

$t_{b/a}$ = Desviación tangencial en el punto b , respecto a la tangente trazada en el punto, en el mismo sistema.

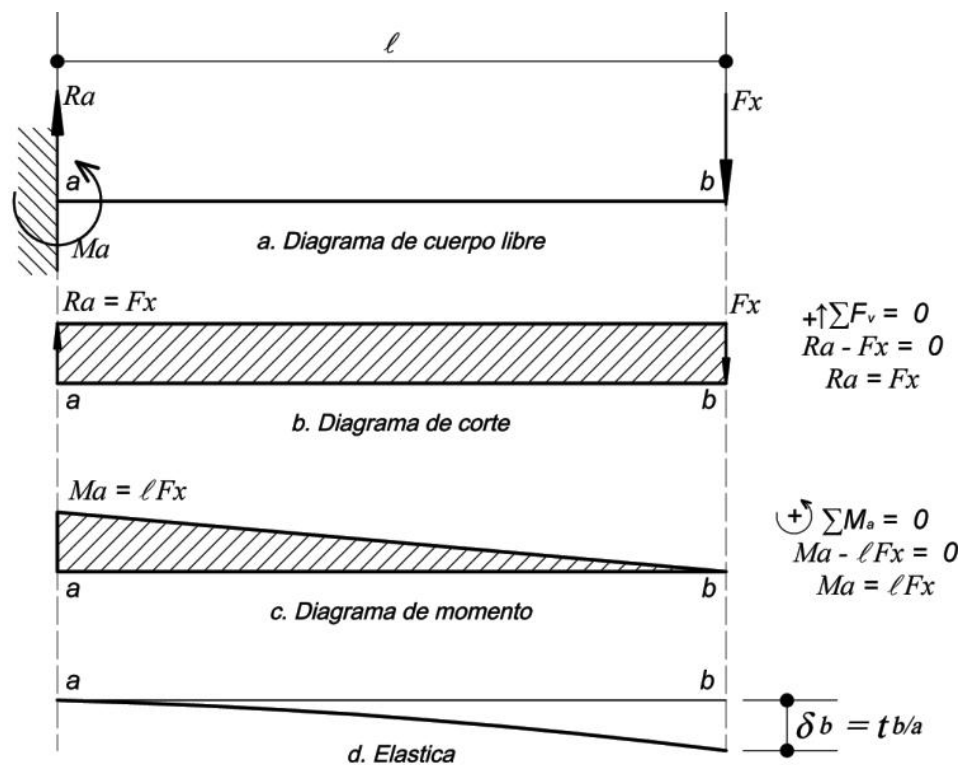
A_{ab} = Área bajo la curva del diagrama de momento entre el punto a y el punto b .

\check{X}_b = Distancia entre el punto deformable de interés y el punto de equilibrio del diagrama de momento en el eje horizontal.

E = Módulo de elasticidad del elemento.

I = Inercia del elemento.

Figura 33. Diagramas de un elemento en voladizo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Al realizar las sustituciones de la ecuación anterior el resultado que se obtiene es el siguiente:

$$\delta_b = t_{b/a} = \left(\frac{1}{EI}\right)(A_{ab})(\check{X}_b) = \left(\frac{1}{EI}\right)\left(\frac{1}{2}(l)(lF_x)\right)\left(\frac{2}{3}l\right) = \frac{F_x(l)^3}{3EI}$$

Tal resultado evidencia que un elemento en voladizo con el mismo módulo de elasticidad E , e inercia I , se deformará por flexión. Esto en función de la magnitud de la fuerza aplicada, y la longitud donde es aplicada dicha fuerza a partir del extremo empotrado.

(3-8)

$$\delta = \frac{F_x(l)^3}{3EI}$$

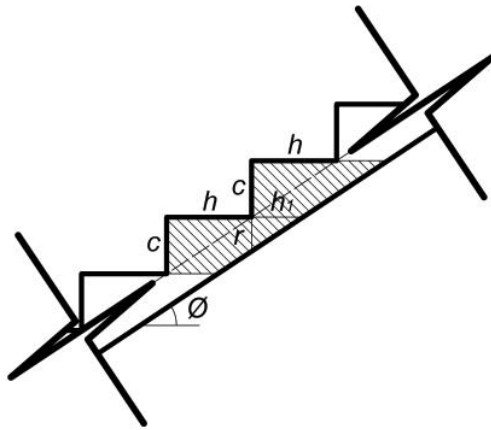
Donde:

- δ = Deformación por flexión
- F_x = Fuerza cortante de cedencia en el nivel x de la edificación
- E = Módulo de elasticidad del elemento
- I = Inercia del elemento
- l = Longitud del elemento

La longitud l y la inercia I involucrada en la ecuación 3-8, está determinada bajo la consideración, que a lo largo de un elemento su sección es constante. Sin embargo, en los sistemas de escalera construidos monolíticamente, que posean un ángulo \emptyset no recto, entre la placa de losa donde es apoyada los escalones, y la horizontal del sistema. Este análisis no es cierto, porque la sección de un escalón es mayor en la parte superior, que en la parte inferior, como se aprecia en la figura 34.

La sección del escalón cambia en función del ángulo \emptyset , o la pendiente m del sistema. Por lo tanto, al realizar el análisis de la sección de un escalón se debe determinar cuál es el valor de la sección a utilizar.

Figura 34. Rigidez de escalón y placa de losa inclinada



Perfil del escalón + placa de losa inclinada.

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.3.2.2. Deformación por corte

La deformación angular por corte γ , que sufre los elementos expuestos en la figura 32, está determinado por la ecuación 3-9.

(3-9)

$$\gamma = \frac{\tau}{G}$$

Donde:

- γ = Deformación angular por corte
- τ = Esfuerzo por corte
- G = Módulo de corte del material

El módulo de corte del material G , se obtiene a través del módulo de elasticidad que posea el elemento E , y la relación de Poisson del material μ . La relación de Poisson μ para el concreto está determinado por la Norma ASTM C-

469, que define un ensayo a compresión, donde sus resultados varían entre 0,15 y 0,20.

(3-10)

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \frac{E}{2(1 + 0,20)} = \mathbf{0,4E}$$

Donde:

- G = Módulo de corte del material
 E = Módulo de elasticidad del elemento
 μ = Relación de Poisson del material

El esfuerzo cortante τ , es la relación entre la fuerza cortante F_x , y la sección a través de la cual se produce el deslizamiento A_c .

(3-11)

$$\tau = \frac{F_x}{A_c}$$

Donde:

- τ = Esfuerzo por corte
 F_x = Fuerza cortante de cedencia en el nivel x de la edificación
 A_c = Sección deslizada debido a la fuerza cortante

Al sustituir la ecuación 3-11 y el resultado de la ecuación 3-10, en la ecuación 3-9, permite conocer la deformación angular por corte γ , en función de la fuerza F_x , la sección deslizada debido a la fuerza cortante A_c y el módulo de elasticidad del elemento E .

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{F_x/A_c}{0,4E} = \frac{F_x}{\mathbf{0,4EA_c}}$$

Para determinar la deformación angular por corte γ , es necesario conocer la longitud donde ocurre la deformación angular. En elementos con secciones constantes la deformación angular por corte γ , ocurre en la longitud l del elemento. Esto permite integrar la ecuación anterior en una función $f(y)$ constante. Además para obtener el valor de la deformación angular por corte γ , es necesario multiplicarlo por una constante k de distribución de esfuerzos cortantes que depende de la sección del elemento.

$$\gamma = \left(\frac{F_x}{0,4EA_c} \right) k \int_0^l f(y) dy$$

$$\gamma = \frac{F_x k l}{0,4EA_c}$$
(3-12)

Donde:

- γ = Deformación angular por corte
- F_x = Fuerza cortante de cedencia en el nivel x de la edificación
- E = Módulo de elasticidad del elemento
- A_c = Sección deslizada debido a la fuerza cortante
- k = Constante de distribución de esfuerzos cortantes
- l = Longitud del elemento

3.3.2.3. Deformación total

Al obtener los valores de la deformación por flexión δ y la deformación por corte γ , se determina la deformación total Δ_T , que sufre un elemento en voladizo por medio de la ecuación 3-8.

$$\Delta_T = \delta + \gamma = \frac{F_x(l)^3}{3EI} + \frac{F_x k l}{0,4EA_c}$$

$$\Delta_T = \left(\frac{F_x}{E} \right) \left(\frac{l^3}{3I} + \frac{kl}{0,4A_c} \right)$$
(3-13)

3.3.2.4. Rigidez

La determinación de la rigidez lateral de un elemento en voladizo, se obtiene sustituyendo el valor de la deformación total Δ_T de la ecuación 3-13, en la ecuación 3-3.

$$K = \frac{F_x}{\Delta_T} = \frac{F_x}{\left(\frac{F_x}{E}\right) \left(\frac{l^3}{3I} + \frac{kl}{0,4A_c}\right)}$$
$$K = \frac{E}{\frac{l^3}{3I} + \frac{kl}{0,4A_c}}$$

(3-14)

Donde:

- K = Rigidez lateral del elemento
- E = Módulo de elasticidad del elemento
- I = Inercia del elemento
- A_c = Sección deslizada debido a la fuerza cortante
- k = Constante de distribución de esfuerzos cortantes
- l = Longitud del elemento

3.3.2.5. Rigidez que aporta un sistema de escalera al marco

Al analizar la rigidez que aporta un sistema de escalera, al marco por medio de las filosofías expuestas, evidencia la complejidad de determinar la rigidez de los escalones superiores con respecto a la horizontal empotrada del primer escalón. Esto por las características de los sistemas mencionados. Sin embargo, se analizará la rigidez lateral de los sistemas de escalera por medio de métodos simplificados propuestos en la literatura. Esto para estimar la

rigidez lateral de muros con aberturas de cualquier material que se modele como elástico lineal.

Al analizar la complejidad de obtener la rigidez lateral en muros con aberturas, evidencia que los métodos simplificados. En la mayoría de casos tiende a subestimar o minimizar de forma considerable la rigidez lateral real del muro, porque utilizan criterios simplistas. Estos como regularidad, limitación de altura, reducción de grados de libertad en desplazamientos laterales a nivel de losas o hacer el análisis en una sola dirección.

La selección del método simplista para estimar la rigidez lateral de sistemas de escalera se fundamentará en el escrito *Estimación de la Rigidez lateral Elástica de Muros con Aberturas*, de los autores Arturo Tena Colunga, Germán Rivera Hernández, y Jonathan Vergara Sánchez. Estos analizan varios métodos para determinar la rigidez lateral en muros con aberturas y concluyen que el más adecuado para utilizar es el método de columna ancha de sección variable.

3.3.2.6. Método de columna ancha de sección variable

Esto considera discretizar al muro con aberturas como columnas anchas de sección variable. Esto ocasiona cada franja de aberturas una disminución de sus propiedades de inercia, área y por lo tanto una disminución en elevación de la rigidez del elemento. Al definir las propiedades equivalentes de inercias y áreas de cada tramo la rigidez de los elementos se determina con procedimientos tradicionales.

Las propiedades de inercia y área de los segmentos del muro, a lo largo de su eje longitudinal donde no existen aberturas, se determinan por medio de inercias equivalentes en los segmentos con aberturas. Las inercias equivalentes en los segmentos con aberturas se determinarán por el método denominado CE3. Esto considera que la abertura provoca un desacoplamiento completo de los segmentos de muro aledaños a la misma. Por ello cada segmento de muro aporta individualmente a la rigidez lateral del muro, en función de las propiedades de su sección transversal. Se considera que la inercia de una sección con aberturas es la suma de las inercias de las distintas secciones solidas.

La aplicación del concepto del método de columna ancha de sección variable, en sistemas de escalera, se utilizará por medio de la determinación de una abertura equivalente. Este es provocado por los elementos vacíos que se forman al limitar el perfil del sistema de escalera, dentro de un cuadro, con iguales dimensiones a la del sistema de escalera en horizontal y elevación.

3.3.2.7. Abertura equivalente en muros

Para simplificar la complejidad de elementos vacíos que se forman al limitar al perfil del sistema de escalera dentro de un cuadro. Esto se procederá a determinar una abertura equivalente que definirá los segmentos de muros sin aberturas, y por lo tanto determinarán la rigidez del sistema de escalera, a lo largo del muro. Para obtener la abertura equivalente de distintas aberturas se procederá de la siguiente forma.

- Se determinará el centroide de la abertura equivalente, que será el mismo centroide de las aberturas originales.

- Se formará una sola abertura desplazando las aberturas individuales, o partes de ellas, considerando no intercambiarlas o traslaparlas, hasta formar un gran rectángulo con algunos apéndices rectangulares.
- El área de la abertura equivalente, será la suma de las áreas individuales de las aberturas.
- Se definirá el área del rectángulo mayor y la de sus apéndices de la unión de las aberturas desplazadas.
- Se definirá la proporción largo-alto de la abertura equivalente por medio de las alturas y largos de la nueva discretización.

$$\frac{H_e'}{b_e'} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i * A_i}{\sum_{i=1}^n L_i * A_i} \quad (3-15)$$

Donde:

$\frac{H_e'}{b_e'}$ = Proporción largo-alto de la abertura equivalente

H_i = Altura del elemento vacío

L_i = Base del elemento vacío

A_i = Área del elemento vacío

- La dimensión de la abertura equivalente será

$$H_e = \sqrt{A_e \left(\frac{H_e'}{b_e'} \right)} \quad (3-16)$$

(3-17)

$$b_e = \sqrt{A_e \left(\frac{b_{e'}}{H_{e'}} \right)}$$

Donde:

$\frac{H_{e'}}{b_{e'}}, \frac{b_{e'}}{H_{e'}}$ = Proporción de abertura equivalente

H_e = Altura de abertura equivalente

b_e = Base de abertura equivalente

A_e = Área de abertura equivalente

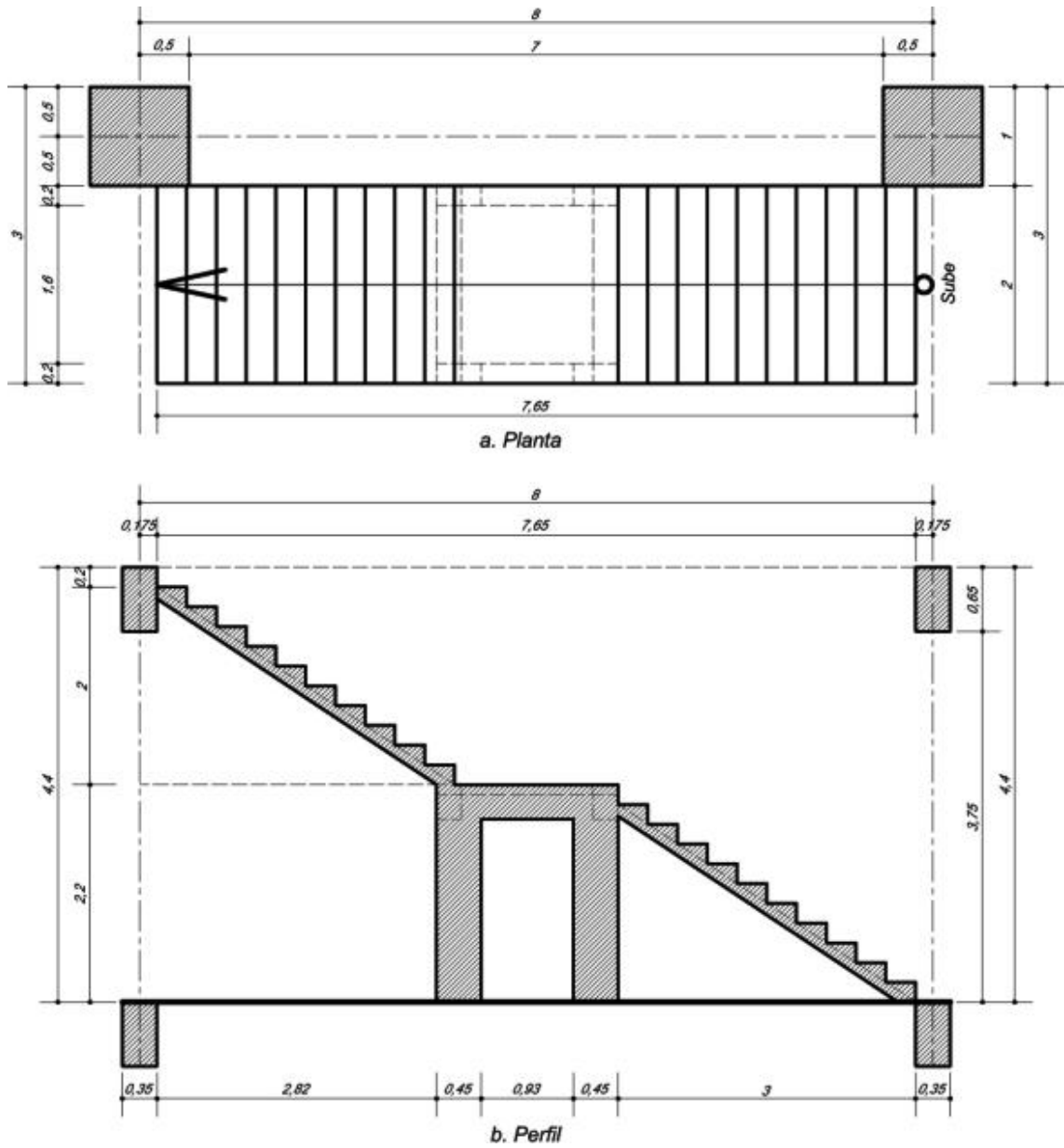
3.3.2.8. Cálculo de rigidez en sistemas de escalera simplemente apoyado longitudinalmente

La rigidez del sistema de escalera expuesta en la figura 35, se determinará por medio del método de columna ancha de sección variable. Esto a través de la abertura equivalente del sistema de escalera.

Para determinar la abertura equivalente del sistema de escalera se realizará de dos formas, esto por la compleja configuración que posee el sistema de escalera. El sistema de escalera posee un descanso que no es constante a lo ancho del sistema, que modifica el perfil de los escalones. La primera se determinará por dos franjas de 0,20 m cada una, que suman 0,40 m unidas a lo largo del perfil del sistema que se visualiza en el inciso a de la figura 36, que representa los extremos del sistema de escalera.

La segunda abertura equivalente del sistema de escalera, se realizará solo de los escalones, como se visualiza en la figura 37. Esto representa una franja central de 1,60 m a lo largo del perfil del sistema de escalera.

Figura 35. Sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente en la edificación



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

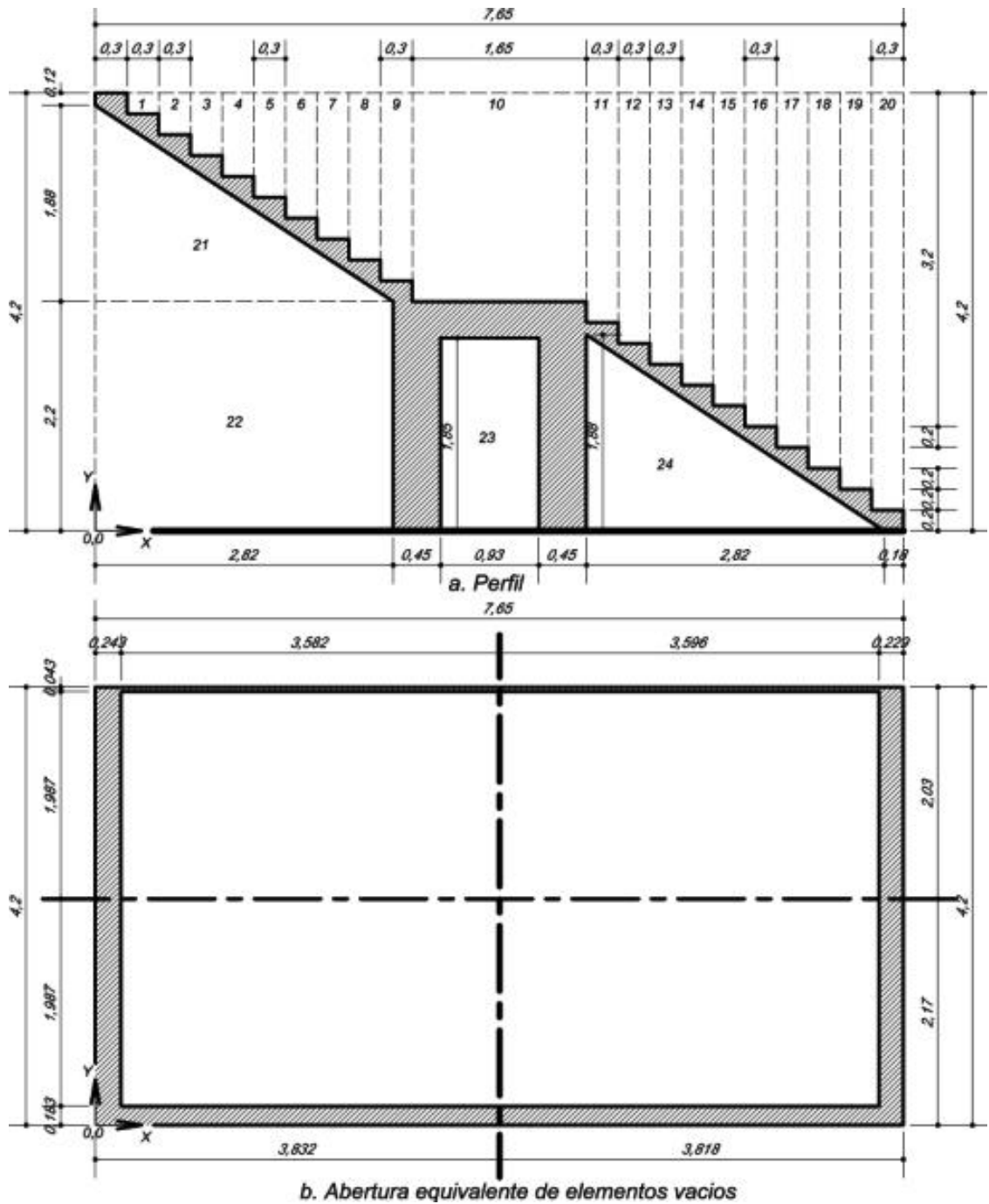
El inciso a de la figura 36 representa, los elementos de abertura que posee el sistema al limitar en un elemento rectangular de iguales dimensiones a la horizontal y elevación del perfil del sistema de escalera con la configuración del descanso. El inciso b de la figura 36 representa la abertura equivalente del sistema al limitar a un elemento rectangular, donde las porciones verticales de muros en los extremos. Estos representan la rigidez lateral que el sistema de escalera provee al marco en la dirección paralela o perpendicular a la dirección del sistema de escalera.

El procedimiento de abertura equivalente descrita en la sección 3.3.2.7 y expuesta en la figura 36, se detalla en el apéndice.

El inciso a de la figura 37, representa la discretización de los escalones, del perfil del sistema de escalera, siendo evaluada, por medio del método de columna ancha de sección variable. Los incisos b, c y d de la figura 37, exponen el procedimiento para determinar la abertura equivalente de los elementos vacíos, que se expresa en el inciso e de la figura 37. La misma está determinada por la discretización expuesta en el inciso b de la misma figura.

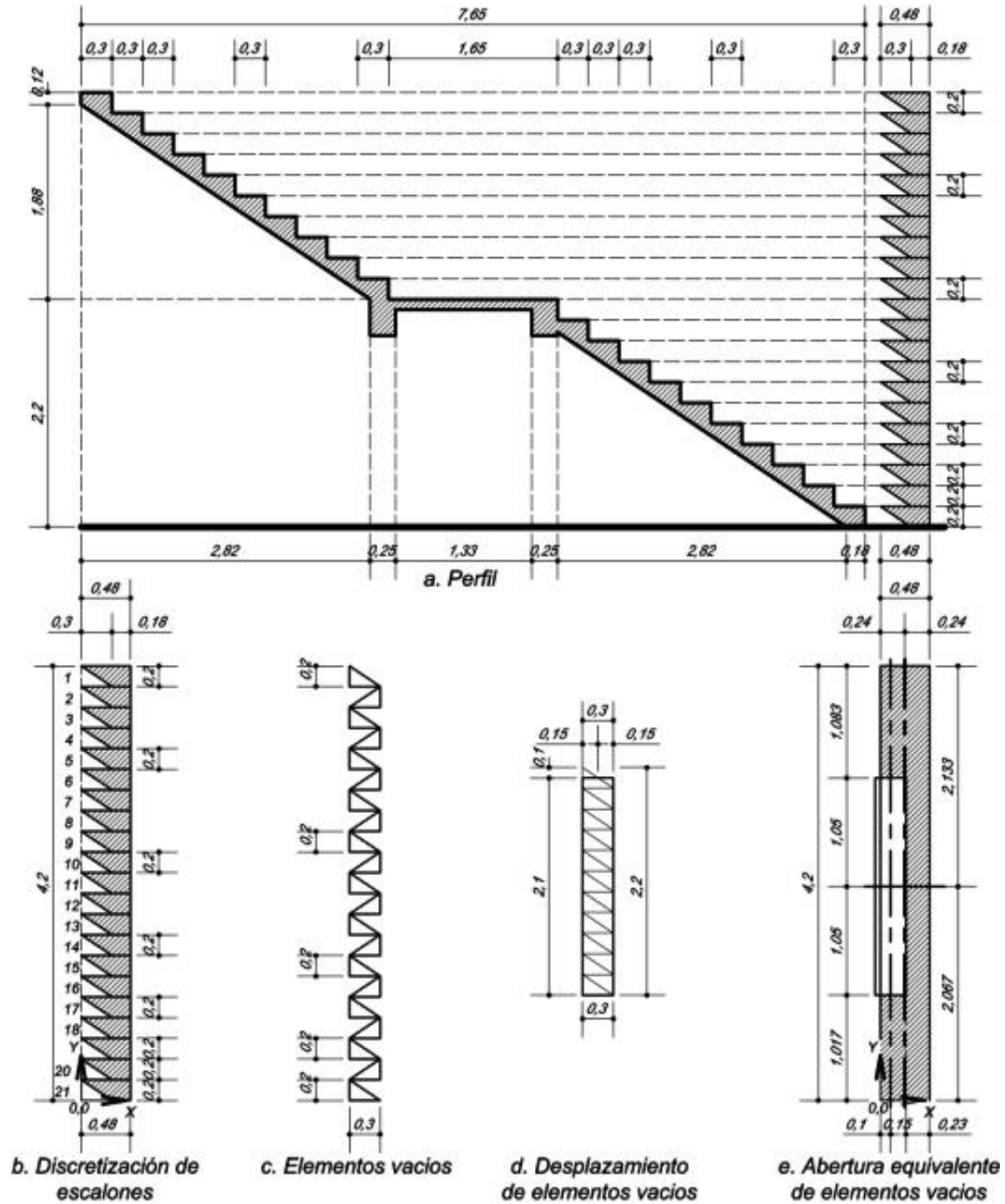
Al obtener las aberturas de las dos franjas, la de los extremos y la parte central a lo largo del perfil del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente. Se evalúa la rigidez de los elementos verticales sin abertura de los incisos b y e de las figuras 36, 37 respectivamente, que definirán la rigidez que el sistema de escalera posee, la cual se resume en la tabla XXII.

Figura 36. **Abertura equivalente de sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 37. Discretización y abertura equivalente de escalones en sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XXII. **Rigidez paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente en voladizo**

Elemento	Base sección m B	Alto sección m L	Distancia respecto al muro d	Sección m^2 A_c	Inercia respecto al muro $I + A_c d^2$	Coefficiente esfuerzo cortante k	Altura m H	Flexión $H^3/3I$	Corte $kH/0.4A_c$	Rigidez $(K)E$
Izquierda	0,400	0,243	3,704	0,0972	1,3337	1,2	4,080	16,9751	125,9259	0,0070
Derecha	0,400	0,229	3,711	0,0916	1,2615	1,2	4,080	17,9457	133,6245	0,0066
Escalones	1,600	0,230	0,125	0,3680	0,0074	1,2	4,080	3 070,8471	33,2609	0,0003
Sumatoria										0,0139

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Rigidez perpendicular a la dirección del tramo del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente en voladizo**

Elemento	Base sección m B	Alto sección m L	Inercia r I	Sección m^2 A_c	Coefficiente esfuerzo cortante k	Altura m H	Flexión $H^3/3I$	Corte $kH/0.4A_c$	Rigidez $(K)E$
Izquierda	0,243	0,400	0,0013	0,0972	1,2	4,080	1 7468,4444	125,9259	0,0001
Derecha	0,229	0,400	0,0012	0,0916	1,2	4,080	1 8536,3843	133,6245	0,0001
Escalones	0,230	1,600	0,0785	0,3680	1,2	4,080	288,3717	33,2609	0,0031
Sumatoria									0,0032

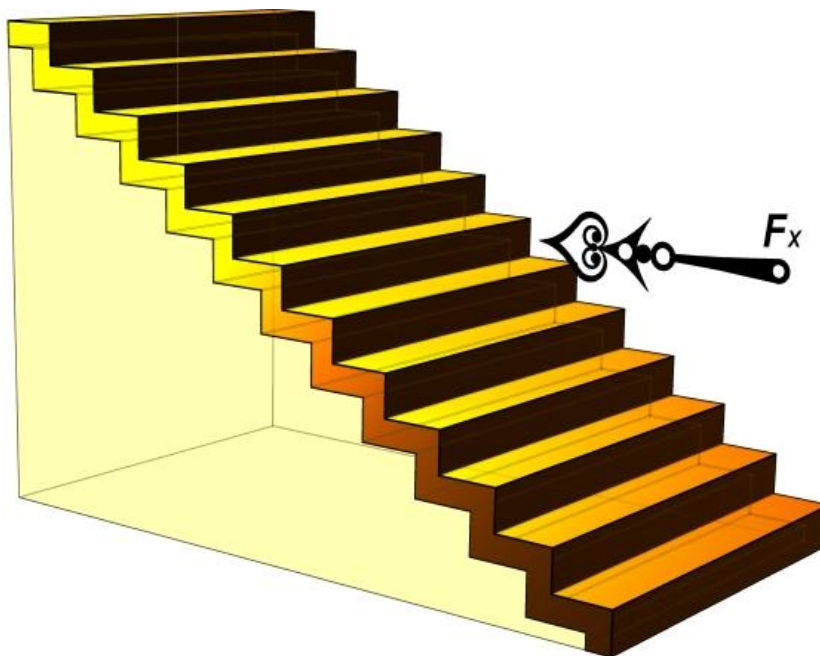
Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal

La rigidez lateral del sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal en sus extremos, se deducirá por medio de la filosofía de la figura 39. Esto expone un concepto similar a la filosofía utilizada para determinar la

rigidez lateral del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente expuesto en la figura 30. Esto con la diferencia geométrica en la configuración de sus perfiles, y los apoyos en los sistemas de escalera.

Figura 38. **Fuerza, paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera ortopoligonal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

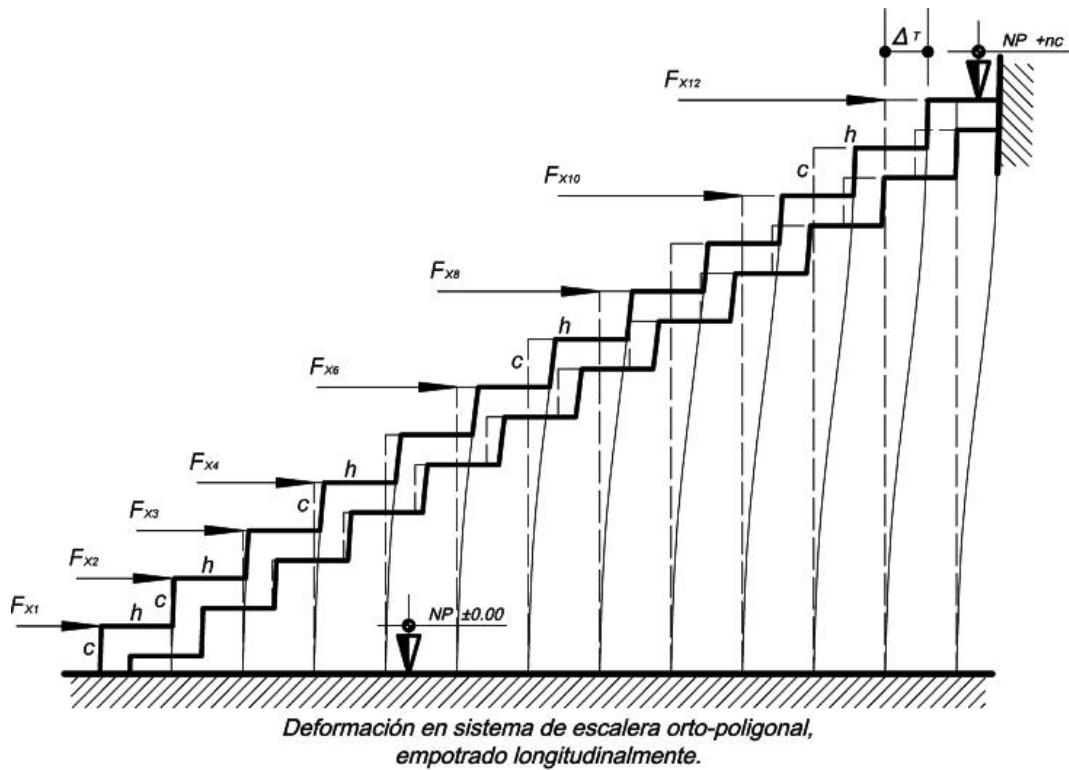
La figura 39 expone la filosofía de escalones proyectados hasta la horizontal empotrada del primer escalón inferior. Esto se deforman en elementos doblemente empotrados, debido el empotramiento en sus extremos longitudinales del tramo.

- Deformación por flexión δ doblemente empotrada

En la ecuación 3-10 se dedujo el valor de deformación por flexión δ de un elemento en voladizo.

$$\delta = \frac{F_x(l)^3}{3EI} \quad (3-10)$$

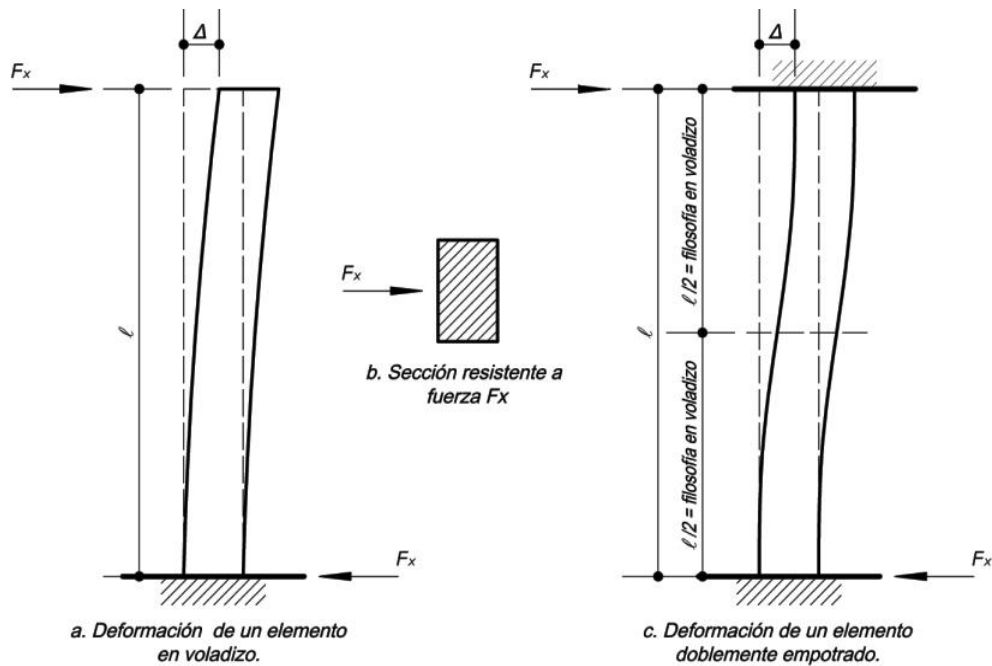
Figura 39. Deformación en sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal, provocada por la fuerza paralela a la dirección del tramo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La ecuación 3-10 representa el valor de deformación por flexión δ de un elemento en voladizo. Sin embargo, el valor de deformación por flexión δ de un elemento doblemente empotrado es dos veces la deformación por flexión δ de un elemento en voladizo y la longitud l es igual a $l/2$. Esto como es expone en la ecuación 3-18 por medio de la figura 40.

Figura 40. **Deformaciones de elemento doblemente empotrado**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

$$\delta = \frac{F_x(l)^3}{3EI} = \frac{F_x(l/2)^3}{3EI} \quad (3-18)$$

$$\delta = \left(\frac{1}{12}\right) \frac{F_x(l)^3}{EI}$$

Donde:

δ = Deformación por flexión de un elemento doblemente empotrado
 F_x = Fuerza cortante de cedencia en el nivel x de la edificación

E	=	Módulo de elasticidad del elemento
I	=	Inercia del elemento
l	=	Longitud del elemento

Al deducir la deformación por flexión de elementos doblemente empotrados, también se deduce la rigidez de elementos doblemente empotrados. Esto porque la diferencia de rigidez de un elemento de igual sección y módulo de elasticidad en voladizo o doblemente empotrado, es la deformación por flexión que sufre el elemento.

La deformación por corte que sufre un elemento de igual sección y módulo de elasticidad, en voladizo o doblemente empotrado es la misma. Esto porque la variable involucrada del elemento para obtener la deformación cortante está determinada por su sección.

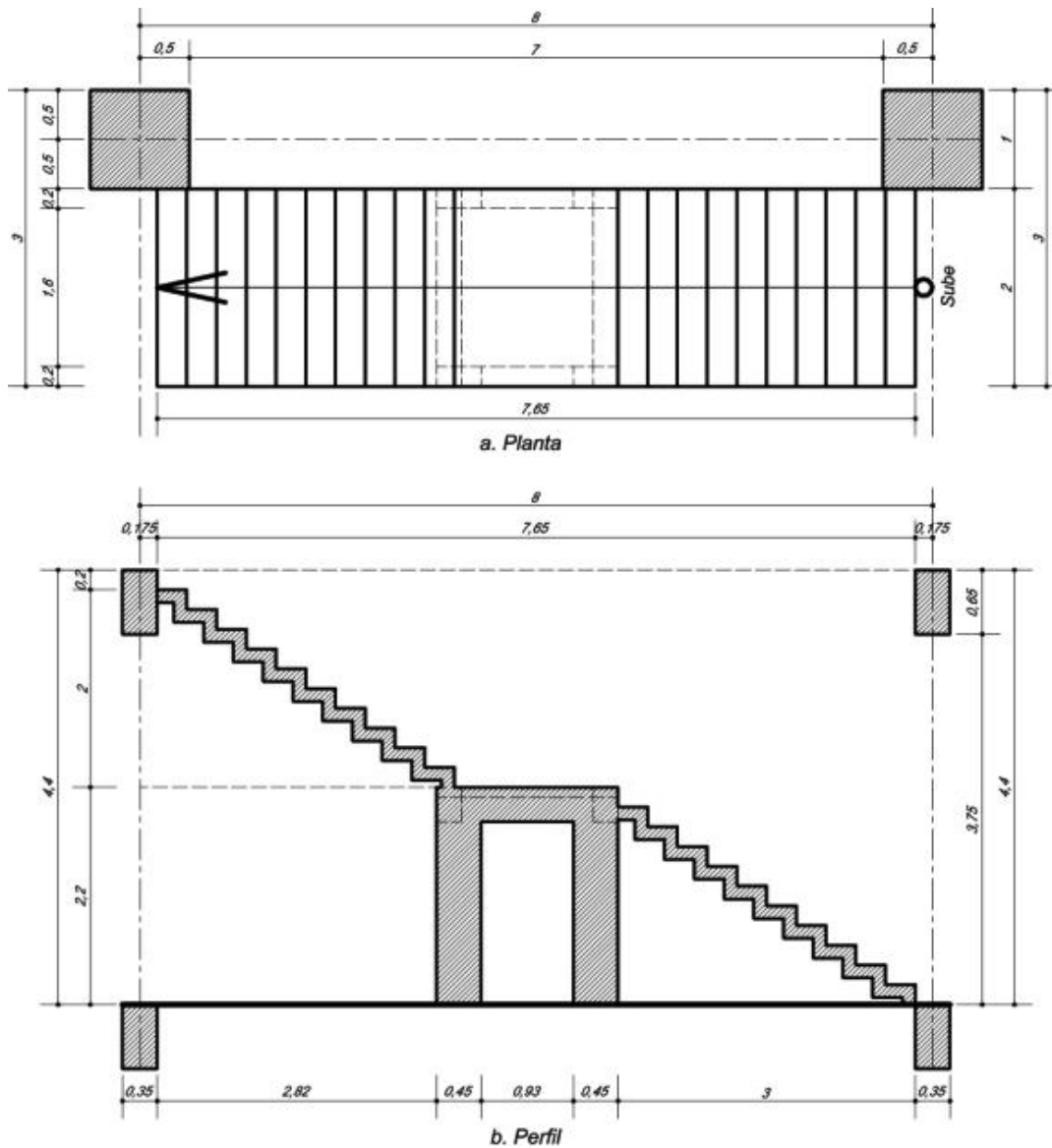
3.3.3.1. Cálculo de rigidez en sistemas de escalera ortopoligonal

La rigidez del sistema de escalera ortopoligonal expuesta en la figura 41, se determinará similar a los sistemas de escalera simplemente apoyado longitudinalmente, por medio del método de columna ancha de sección variable. Esto a través de la abertura equivalente del sistema de escalera.

La variable que diferencia al sistema ortopoligonal, del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente, es la configuración que posee los escalones. Al analizar la configuración de los escalones de sistemas de escalera ortopoligonal, evidencia que la rigidez que provee al marco estará determinado por el empotramiento de sus apoyos en los extremos del sistema, en el primer y último escalón. Sin embargo, también se calculará al sistema de

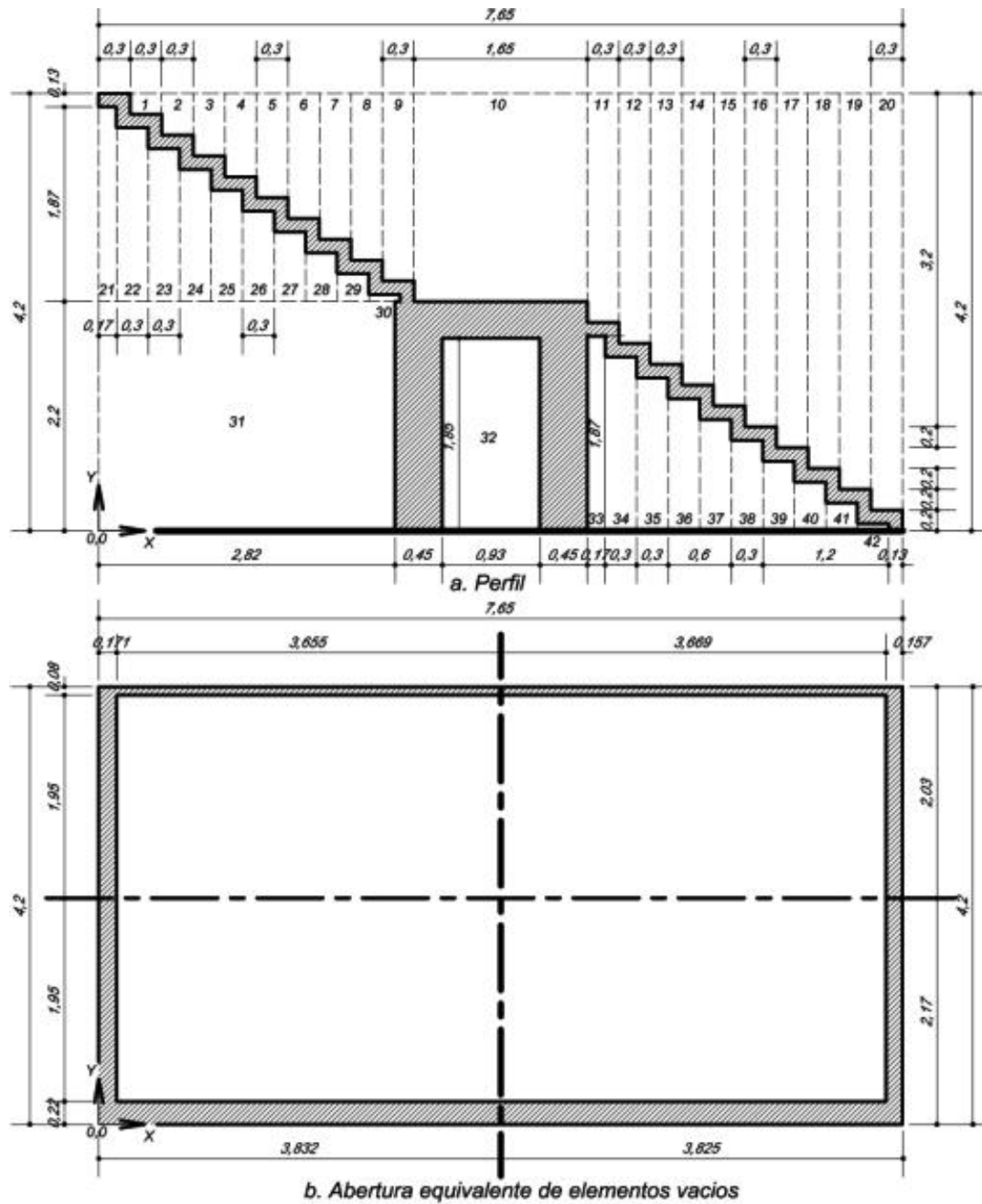
escalera, como si estuviese en voladizo dado que en el último nivel de la edificación se considera a los elementos que proveen rigidez, en voladizo.

Figura 41. Sistema de escalera ortopoligonal en la edificación



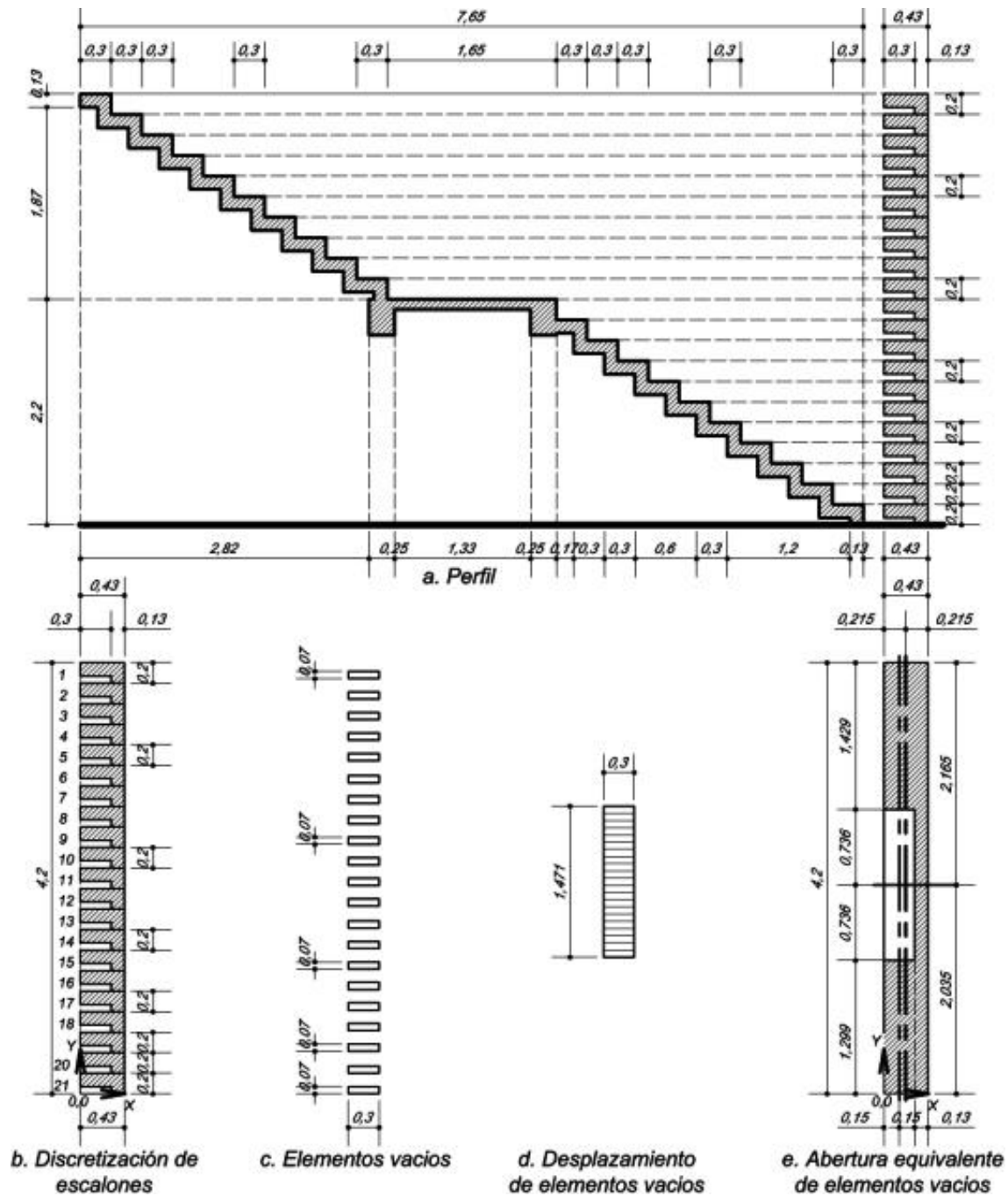
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 42. Abertura equivalente de sistema de escalera ortopoligonal



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 43. Discretización y abertura equivalente de escalones en sistema de escalera ortopoligonal



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Al obtener las aberturas de las dos franjas, la de los extremos y la parte central a lo largo del perfil del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente. Se evaluará la rigidez de los elementos verticales sin abertura de los incisos b y e de las figuras 42, y 43 respectivamente, que definirán la rigidez que el sistema de escalera posee, la cual se resumen en las tablas del XXIV a XXVII.

Tabla XXIV. Rigidez paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera ortopoligonal en voladizo

Elemento	Base sección <i>m</i> <i>B</i>	Alto sección <i>m</i> <i>L</i>	Distancia respecto al muro <i>d</i>	Sección <i>m</i> ² <i>A_c</i>	Inercia respecto al muro <i>I + A_cd²</i>	Coefficiente esfuerzo cortante <i>k</i>	Altura <i>m</i> <i>H</i>	Flexión <i>H³/3I</i>	Corte <i>kH/0.4A_c</i>	Rigidez <i>(K)E</i>
Izquierda	0,400	0,171	3,741	0,0684	0,9572	1,2	4,070	23,4785	178,5088	0,0050
Derecha	0,400	0,157	3,748	0,0628	0,8821	1,2	4,070	25,4774	194,4268	0,0045
Escalones	1,600	0,130	0,150	0,2080	0,0050	1,2	4,070	4 519,0728	58,7019	0,0002
Sumatoria										0,0097

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. Rigidez perpendicular a la dirección del tramo del sistema de escalera ortopoligonal en voladizo

Elemento	Base sección <i>m</i> <i>B</i>	Alto sección <i>m</i> <i>L</i>	Inercia <i>r</i> <i>I</i>	Sección <i>m</i> ² <i>A_c</i>	Coefficiente esfuerzo cortante <i>k</i>	Altura <i>m</i> <i>H</i>	Flexión <i>H³/3I</i>	Corte <i>kH/0.4A_c</i>	Rigidez <i>(K)E</i>
Izquierda	0,171	0,400	0,0009	0,0684	1,2	4,070	24 641,4996	178,5088	0,00004
Derecha	0,157	0,400	0,0008	0,0628	1,2	4,070	26 838,8308	194,4268	0,00004
Escalones	0,130	1,600	0,0444	0,2080	1,2	4,070	506,4539	58,7019	0,00177
Sumatoria									0,00185

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Rigidez paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera ortopoligonal doblemente empotrado**

Elemento	Base sección <i>m</i> <i>B</i>	Alto sección <i>m</i> <i>L</i>	Distancia respecto al muro <i>d</i>	Sección <i>m</i> ² <i>A_c</i>	Inercia respecto al muro <i>I + A_cd</i> ²	Coefficiente esfuerzo cortante <i>k</i>	Altura <i>m</i> <i>H</i>	Flexión <i>H</i> ³ / <i>12I</i>	Corte <i>kH/0.4A_c</i>	Rigidez <i>(K)E</i>
Izquierda	0,400	0,171	3,741	0,0684	0,9572	1,2	4,070	5,8696	178,5088	0,0054
Derecha	0,400	0,157	3,748	0,0628	0,8821	1,2	4,070	6,3694	194,4268	0,0050
Escalones	1,600	0,130	0,150	0,2080	0,0050	1,2	4,070	1 129,7682	58,7019	0,0008
Sumatoria										0,0112

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Rigidez perpendicular a la dirección del tramo del sistema de escalera ortopoligonal doblemente empotrado**

Elemento	Base sección <i>m</i> <i>B</i>	Alto sección <i>m</i> <i>L</i>	Inercia <i>r</i> <i>I</i>	Sección <i>m</i> ² <i>A_c</i>	Coefficiente esfuerzo cortante <i>k</i>	Altura <i>m</i> <i>H</i>	Flexión <i>H</i> ³ / <i>12I</i>	Corte <i>kH/0.4A_c</i>	Rigidez <i>(K)E</i>
Izquierda	0,171	0,400	0,0009	0,0684	1,2	4,070	6 160,3749	178,5088	0,00016
Derecha	0,157	0,400	0,0008	0,0628	1,2	4,070	6 709,7077	194,4268	0,00014
Escalones	0,130	1,600	0,0444	0,2080	1,2	4,070	126,6135	58,7019	0,00540
Sumatoria									0,00570

Fuente: elaboración propia.

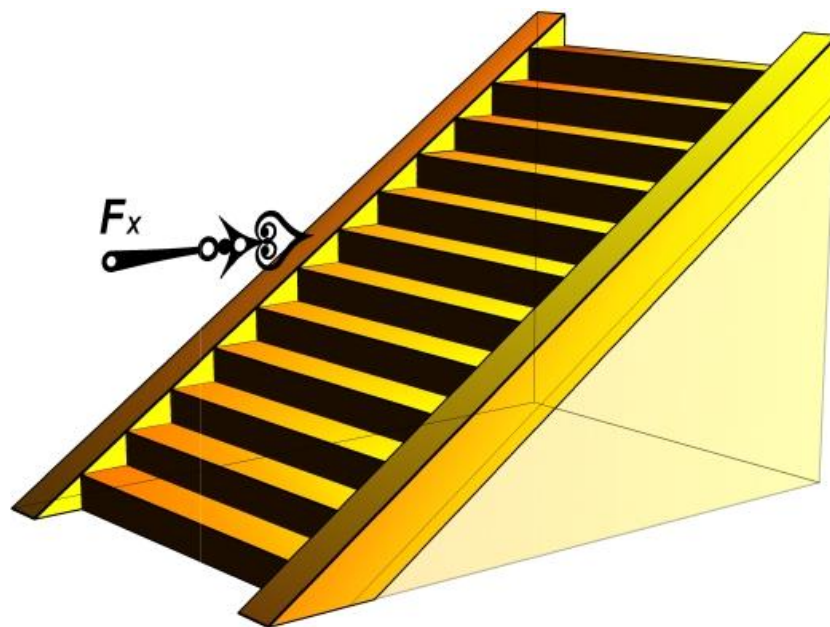
3.3.4. Sistema de escalera apoyado transversalmente

La rigidez lateral del sistema de escalera apoyado transversalmente en los extremos de sus escalones, se determinará como un elemento doblemente empotrado en sus extremos longitudinales. Esto porque los elementos estructurales donde se apoyan los escalones proveen la mayor rigidez del sistema. La filosofía utilizada será la misma que el sistema simplemente

apoyado longitudinalmente, porque la configuración de perfil de sus escalones es igual.

La variable independiente, además del empotramiento en los extremos longitudinales del sistema escalera será los elementos estructurales donde se apoyan los escalones.

Figura 44. **Fuerza, paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera, apoyada transversalmente**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.3.4.1. Cálculo de rigidez en sistemas de escalera apoyado transversalmente

La rigidez del sistema apoyado transversalmente expuesta en la figura 45, se determinará similar a la rigidez de los sistemas de escalera simplemente

apoyado longitudinalmente y ortopoligonal, a través de la abertura equivalente del sistema de escalera.

La abertura equivalente de la discretización de los escalones no se expondrá en esta sección, por ser igual a la expuesta en la figura 37. Los procedimientos de abertura equivalente, además de los cálculos de eje neutro de las aberturas originales se exponen a detalle en el apéndice. Esta se resume gráficamente en la figura 46.

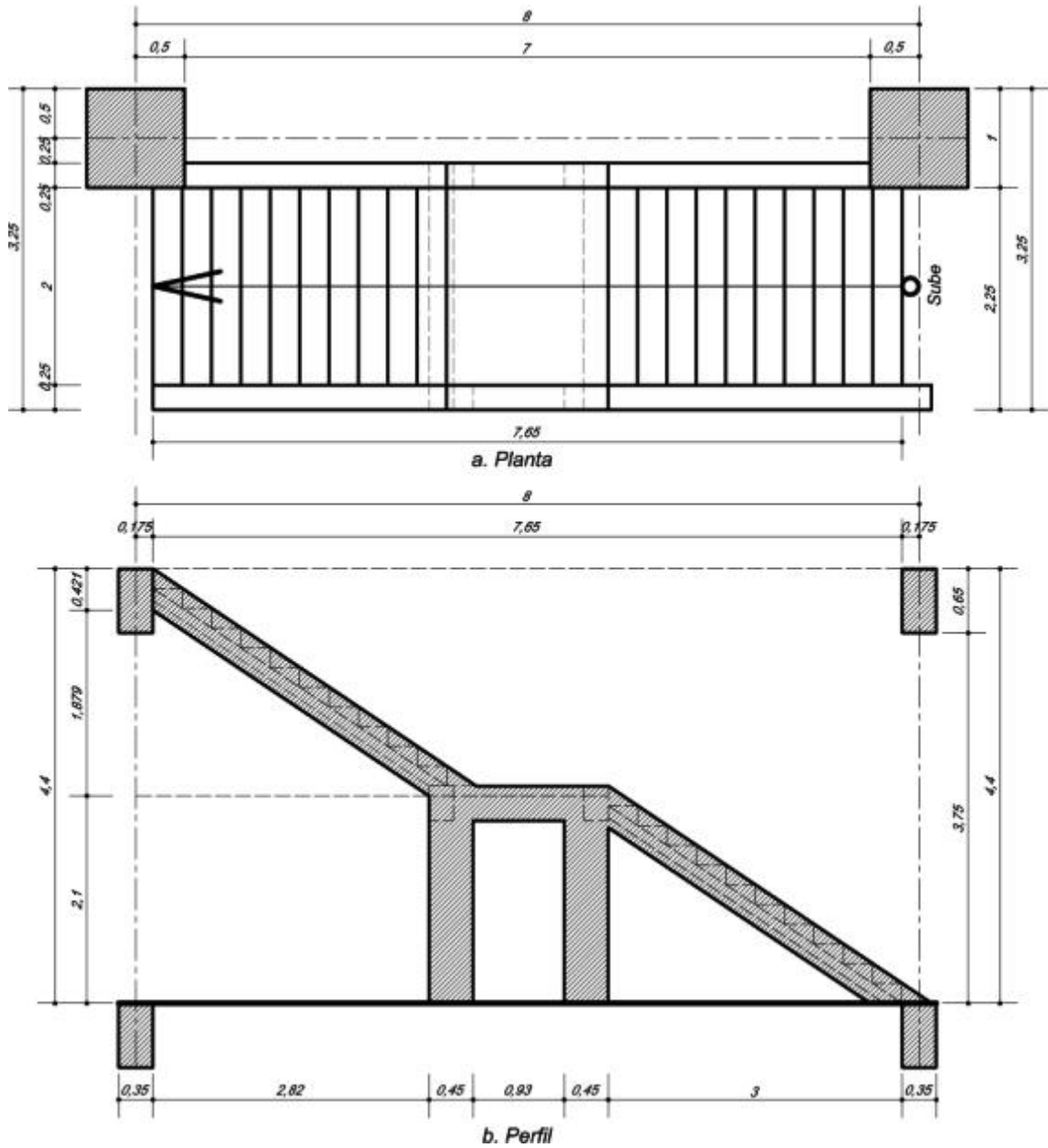
Al obtener las aberturas de las dos franjas, la de los extremos y la parte central a lo largo del perfil del sistema de escalera apoyado transversalmente. Se evaluará la rigidez de los elementos verticales sin abertura de los incisos b y e de las figuras 46, y 37 respectivamente, que definirán la rigidez que el sistema de escalera posee, la cual se resumen en las tablas del XXVIII a XXXI.

Tabla XXVIII. **Rigidez paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera apoyado transversalmente en voladizo**

Elemento	Base sección <i>m</i> <i>B</i>	Alto sección <i>m</i> <i>L</i>	Distancia respecto al muro <i>d</i>	Sección <i>m</i> ² <i>A_c</i>	Inercia respecto al muro <i>I + A_cd²</i>	Coefficiente esfuerzo cortante <i>k</i>	Altura <i>m</i> <i>H</i>	Flexión <i>H³/3I</i>	Corte <i>kH/0.4A_c</i>	Rigidez <i>(K)E</i>
Izquierda	0,500	0,343	3,654	0,1715	2,2909	1,2	3,979	9,1664	69,6035	0,0127
Derecha	0,500	0,327	3,662	0,1635	2,1934	1,2	3,979	9,5736	73,0092	0,0121
Escalones	2,000	0,230	0,125	0,4600	0,0092	1,2	4,080	2 456,6777	26,6087	0,0004
Sumatoria										0,0252

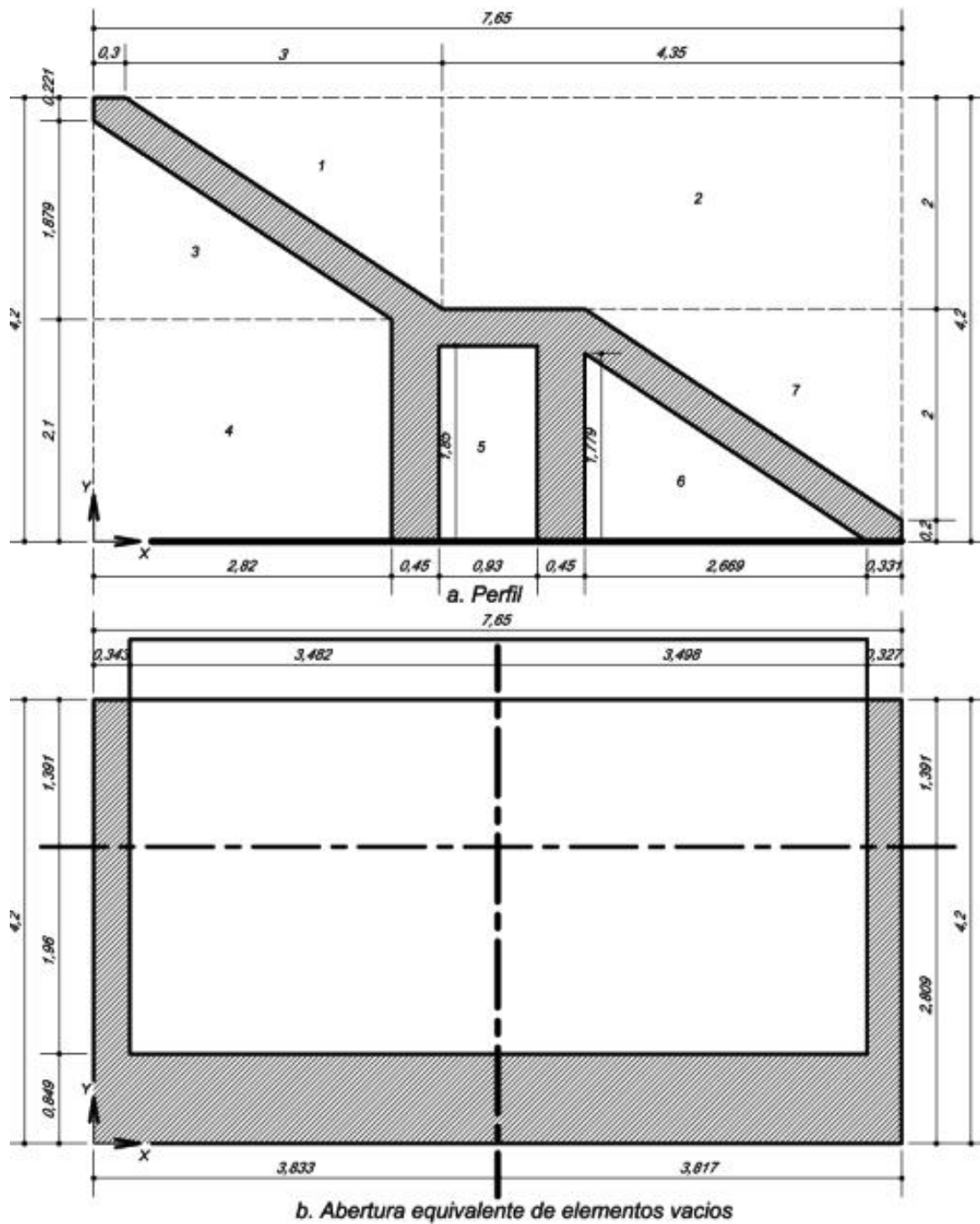
Fuente: elaboración propia.

Figura 45. Sistema de escalera apoyado transversalmente en la edificación



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 46. Abertura equivalente de sistema de escalera apoyado transversalmente



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XXIX. Rigidez perpendicular a la dirección del tramo del sistema de escalera apoyado transversalmente en voladizo

Elemento	Base sección <i>m</i> <i>B</i>	Alto sección <i>m</i> <i>L</i>	Inercia <i>r</i> <i>I</i>	Sección <i>m</i> ² <i>A_c</i>	Coefficiente esfuerzo cortante <i>k</i>	Altura <i>m</i> <i>H</i>	Flexión <i>H</i> ³ / <i>3I</i>	Corte <i>kH</i> / <i>0.4A_c</i>	Rigidez <i>(K)E</i>
Izquierda	0,343	0,500	0,0036	0,1715	1,2	3,979	5877,2975	69,6035	0,00017
Derecha	0,327	0,500	0,0034	0,1635	1,2	3,979	6164,8717	73,0092	0,00016
Escalones	0,230	2,000	0,1533	0,4600	1,2	4,080	147,6463	26,6087	0,00574
Sumatoria									0,00607

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. Rigidez paralela a la dirección del tramo del sistema de escalera apoyado transversalmente doblemente empotrado

Elemento	Base sección <i>m</i> <i>B</i>	Alto sección <i>m</i> <i>L</i>	Distancia respecto al muro <i>d</i>	Sección <i>m</i> ² <i>A_c</i>	Inercia respecto al muro <i>I + A_cd</i> ²	Coefficiente esfuerzo cortante <i>k</i>	Altura <i>m</i> <i>H</i>	Flexión <i>H</i> ³ / <i>12I</i>	Corte <i>kH</i> / <i>0.4A_c</i>	Rigidez <i>(K)E</i>
Izquierda	0,500	0,343	3,654	0,1715	2,2909	1,2	3,979	2,2916	69,6035	0,0139
Derecha	0,500	0,327	3,662	0,1635	2,1934	1,2	3,979	2,3934	73,0092	0,0133
Escalones	2,000	0,230	0,125	0,4600	0,0092	1,2	4,080	614,1694	26,6087	0,0016
Sumatoria										0,0287

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Rigidez perpendicular a la dirección del tramo del sistema de escalera apoyado transversalmente doblemente empotrado**

Elemento	Base sección <i>m</i> <i>B</i>	Alto sección <i>m</i> <i>L</i>	Inercia <i>I</i>	Sección <i>m</i> ² <i>A_c</i>	Coefficiente esfuerzo cortante <i>k</i>	Altura <i>m</i> <i>H</i>	Flexión $H^3/12I$	Corte $kH/0.4A_c$	Rigidez $(K)E$
Izquierda	0,343	0,500	0,0036	0,1715	1,2	3,979	1469,3244	69,6035	0,00065
Derecha	0,327	0,500	0,0034	0,1635	1,2	3,979	1541,2179	73,0092	0,00062
Escalones	0,230	2,000	0,1533	0,4600	1,2	4,080	36,9116	26,6087	0,01574
Sumatoria									0,01701

Fuente: elaboración propia.

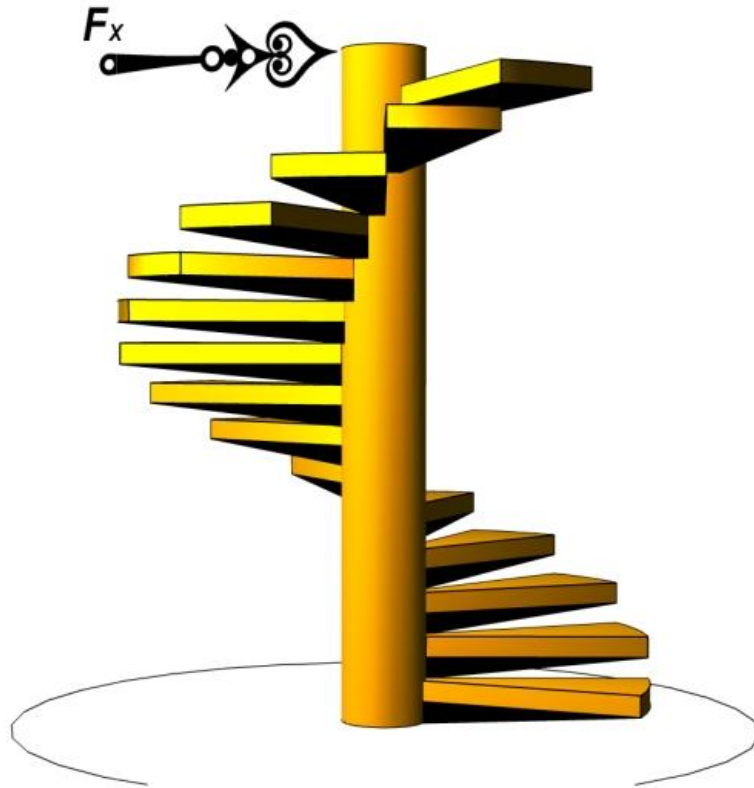
3.3.5. Sistema de escalera con escalones en voladizo

La rigidez lateral del sistema de escalera con escalones en voladizo, o escalera helicoidal, se deducirá por medio de la filosofía de la figura 48. Esto expone un concepto donde todo sus escalones se encuentran en voladizo empotrados en una columna circular central. Tales escalones no tienen influencia en la rigidez lateral del sistema de escalera, y es la columna circular central donde se encuentran empotrados todos los escalones la que determina la rigidez lateral del sistema de escalera.

La figura 48, expone la filosofía de un sistema de escalera helicoidal doblemente empotrada la cual es inducida a deformación por la fuerza F_x , y es resistida por el elemento central de sección circular. Al analizar la rigidez lateral del elemento central de sección circular, se deduce que la rigidez lateral es la misma no importando la dirección entre fuerza F_x , y el sistema de escalera helicoidal, porque el elemento central de sección circular trabaja como una columna de sección simétrica. La rigidez lateral en cualquier dirección entre la

fuerza F_x y el tramo del sistema de escalera helicoidal es igual a la rigidez lateral de una columna circular.

Figura 47. **Fuerza, en dirección al sistema de escalera helicoidal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

(3-19)

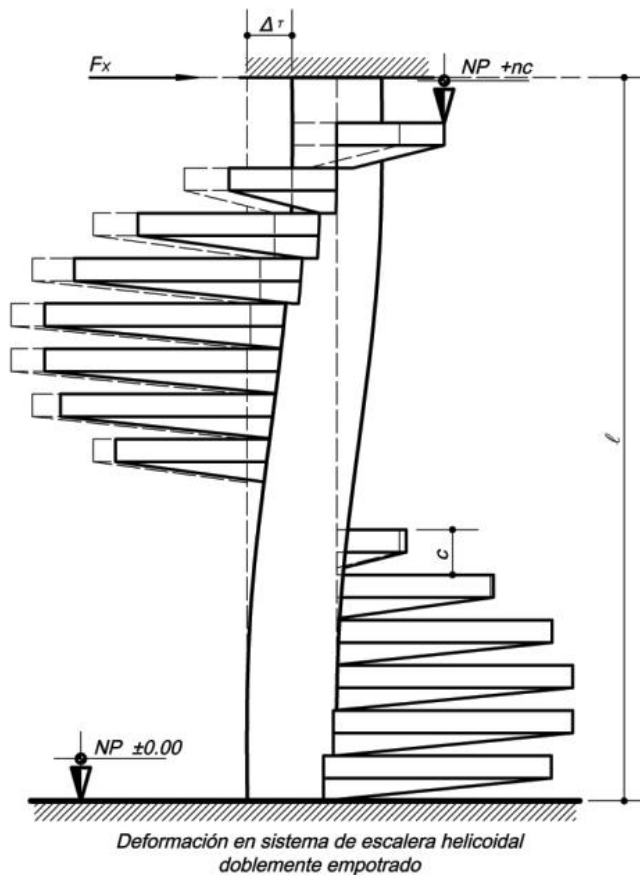
$$K_{ls} = K_{lcc}$$

Donde:

K_{ls} = Rigidez lateral del sistema

K_{lcc} = Rigidez lateral de columna circular central del sistema

Figura 48. **Deformación en sistema de escalera helicoidal, provocada por la fuerza**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Rigidez lateral de columna circular central del sistema
 - Deformación por flexión δ_{cc}

En la ecuación 3-18 se dedujo el valor de deformación por flexión δ de un elemento doblemente empotrado. Esta se utilizará para obtener la deformación por flexión δ_{cc} de la columna circular central del sistema de escalera helicoidal con una longitud l igual a la altura del sistema l . Esta expuesta en la figura 40, e

inercia I igual a un cuarto de π por radio r elevado a la cuarta, la cual representa la inercia I de una sección circular.

$$\delta = \left(\frac{1}{12}\right) \frac{F_x(l)^3}{EI} = \left(\frac{1}{12}\right) \frac{F_x(l)^3}{E \left(\frac{1}{4}\pi r^4\right)}$$

$$\delta_{cc} = \left(\frac{1}{3}\right) \frac{F_x l^3}{\pi r^4 E}$$

- Deformación angular por corte γ_{cc}

La deformación angular por corte de la columna circular γ_{cc} central del sistema de escalera helicoidal se determinará por medio de la ecuación 3-9.

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{F_x/A_c}{0,4E} = \frac{F_x}{0,4EA_c}$$

La sección a través de la cual se produce el deslizamiento A_c es debido a la fuerza cortante F_x , en la columna circular central del sistema de escalera helicoidal. Esta igual a π por radio r elevado al cuadrado, la cual define el área de una sección circular.

$$A_c = \pi r^2$$

$$\gamma = \frac{F_x}{0,4EA_c} = \frac{F_x}{0,4E(\pi r^2)}$$

La ecuación anterior se integra a lo largo de la altura de la columna circular central del sistema de escalera helicoidal, que determina una función $f(y)$ constante. Además de multiplicar la ecuación anterior por el valor de $4/3$, que es la constante de distribución de esfuerzos cortantes k para secciones circulares.

$$\gamma = \left(\frac{F_x}{0.4E\pi r^2} \right) k \int_{l=0}^l f(y) dl = \left(\frac{F_x}{0.4E\pi r^2} \right) 4/3 \int_{l=0}^l f(y) dl$$

$$\gamma = \frac{10}{3} \left(\frac{HF_x}{E\pi r^2} \right)$$

- Deformación total Δ_T

Al obtener los valores de deformación por flexión δ_{cc} y deformación por corte γ_{cc} , se determina la deformación total Δ_{Tcc} , por medio de la ecuación 3-6. Este sufre la columna circular central del sistema de escalera helicoidal.

$$\Delta_T = \delta + \gamma = \left(\frac{1}{3} \right) \frac{F_x l^3}{\pi r^4 E} + \frac{10}{3} \left(\frac{l F_x}{E \pi r^2} \right)$$

$$\Delta_{Tcc} = \frac{F_x}{3\pi r E} \left(\left(\frac{l}{r} \right)^3 + 10 \left(\frac{l}{r} \right) \right)$$

- Rigidez lateral K_{lcc} de columna circular central del sistema de escalera

La determinación de la rigidez lateral K_{lcc} , de la columna circular central del sistema de escalera helicoidal, se obtendrá sustituyendo el valor de la deformación total Δ_{Tcc} de la ecuación anterior, en la ecuación 3-3.

$$K = \frac{F_x}{\Delta_T} = \frac{F_x}{\frac{F_x}{3\pi r E} \left(\left(\frac{l}{r} \right)^3 + 10 \left(\frac{l}{r} \right) \right)}$$

$$K_{cc} = \frac{3\pi r E}{\left(\frac{l}{r} \right)^3 + 10 \left(\frac{l}{r} \right)}$$

(3-20)

Donde:

K_{lcc} = Rigidez lateral de columna circular central del sistema de escalera.

E = Módulo de elasticidad del elemento.

l = Altura de la columna circular central del sistema de escalera helicoidal.

r = Radio sección circular.

- Rigidez lateral K_{ls} del sistema de escalera helicoidal

Se expuso en la ecuación 3-19 que la rigidez lateral K_{ls} del sistema de escalera helicoidal es igual a la rigidez lateral K_{lcc} de la columna circular central del sistema de escalera. Por ello para determinar la rigidez lateral K_{ls} del sistema de escalera helicoidal se utilizará la ecuación 3-20.

4. MODELACIÓN DE CENTRO DE RIGIDEZ

Antes de modelar el centro de rigidez, se procederá a modelar el centro de masa de la edificación. Esto con distintos sistemas de escalera para analizar la influencia entre el centro de masa y el centro de rigidez.

4.1. Centro de masa

El centro de masa, en la dirección perpendicular al eje longitudinal de la edificación propuesto, coincide con el centro geométrico. Esto debido a la simetría de cargas. Por lo que se determinará únicamente el centro de masa en el eje longitudinal.

Al analizar las cargas en el eje longitudinal, se identifica que las columnas y vigas están ubicadas simétricamente, por lo que no se incluirán en el análisis de centro de masa. El centro de masa se determinará por medio de la ecuación 4-1, en función de la edificación independiente al sistema de escalera. La edificación con sistemas de escalera, que están determinados por el peso de losas de la edificación y el peso del sistema de escalera incluyendo cargas muertas y vivas.

(4-1)

$$CM = \frac{Wd}{\sum W}$$

Donde:

CM = Centro de masa

W = Peso del elemento

d = Distancia desde eje neutro del elemento, a un eje de referencia

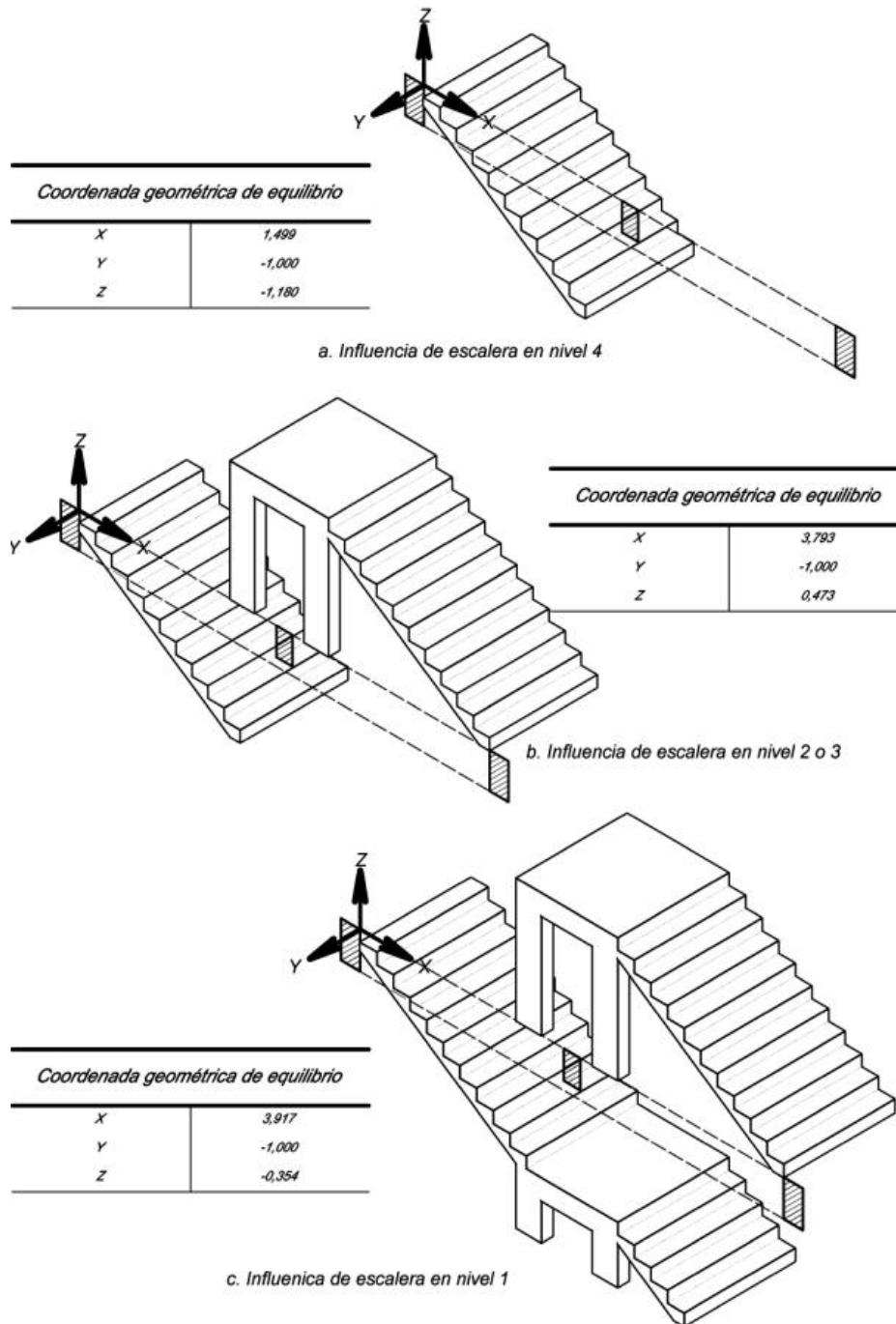
4.1.1. Coordenada geométrica de equilibrio en sistemas de escalera

Se determinará, por medio del tramo de escalera que contribuye al nivel de análisis, en la edificación. Al analizar la coordenada geométrica de equilibrio en sistemas de escalera, se determina en función de la sección geométrica longitudinal del sistema, porque son elementos que unen diferentes cotas de nivel. Sin embargo, las coordenadas que se necesitan determinar son las coordenadas en dirección longitudinal y transversal de la edificación. Esto por medio de determinar el punto de equilibrio donde es aplicado la carga en el sistema de escalera.

Al determinar el punto de equilibrio en el sistema de escalera se obtiene la longitud con respecto al eje de referencia para obtener el centro de masa. Esto por medio de la integración de cargas que contribuyen al peso de la edificación o al peso del sistema de escalera. Debido a que las cargas son diferentes en los elementos incluyendo el sistema de escalera. Además la configuración geométrica del sistema de escalera es diferente, de los demás elementos que contribuyen al centro de masa de la edificación.

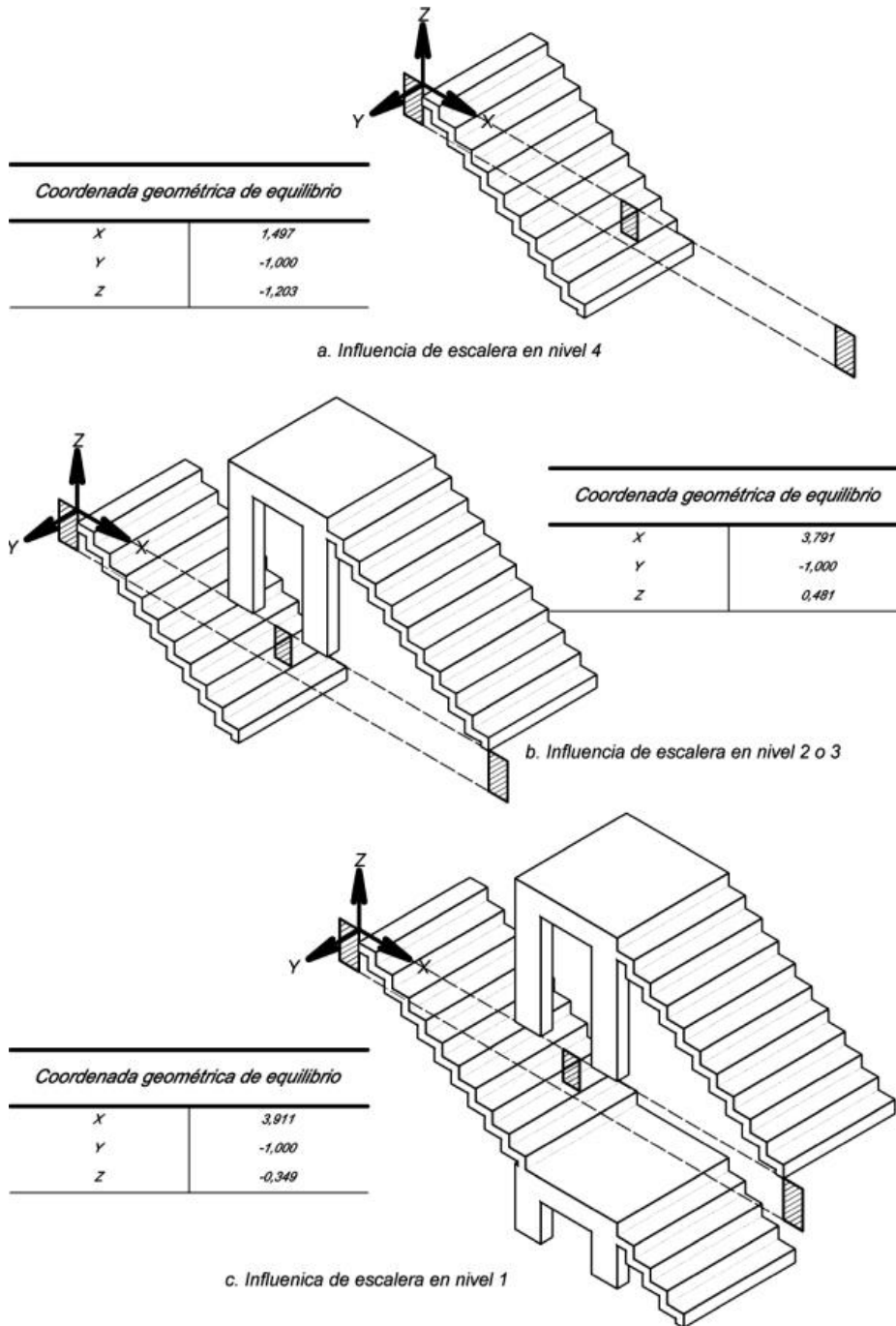
Al inicio de la sección 4.1 se ha mencionado, que distintos elementos estructurales, por simetría que tienen con respecto a su ubicación no se consideran. Sin embargo, la ubicación de los sistemas de escalera dentro de la edificación determina mayor influencia sobre el centro de masa de la edificación comparado a la configuración que posee el propio sistema, por la longitud que produce con respecto al eje de referencia.

Figura 49. **Coordenada geométrica de equilibrio, en sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**



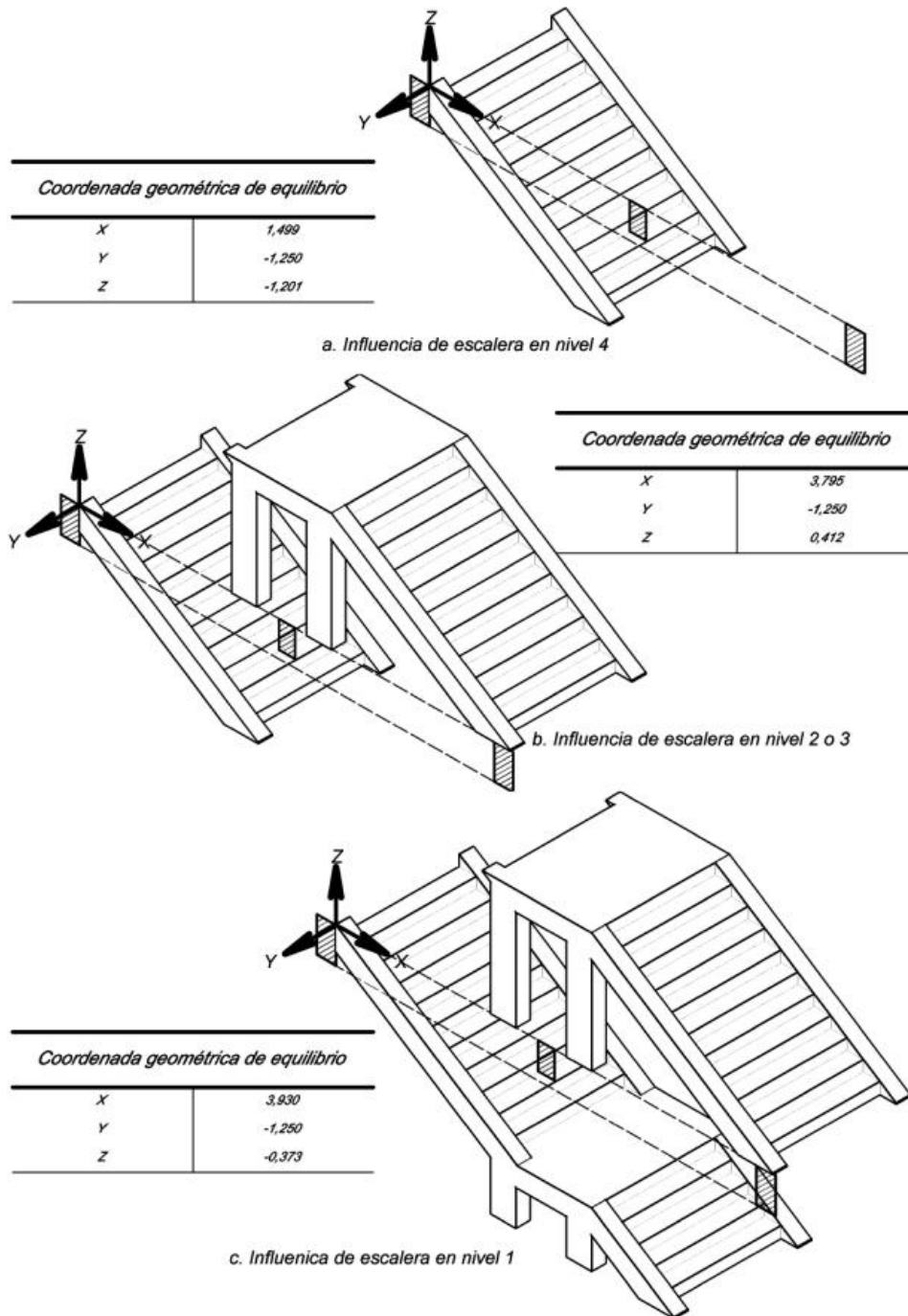
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 50. **Coordenada geométrica de equilibrio, en sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal**



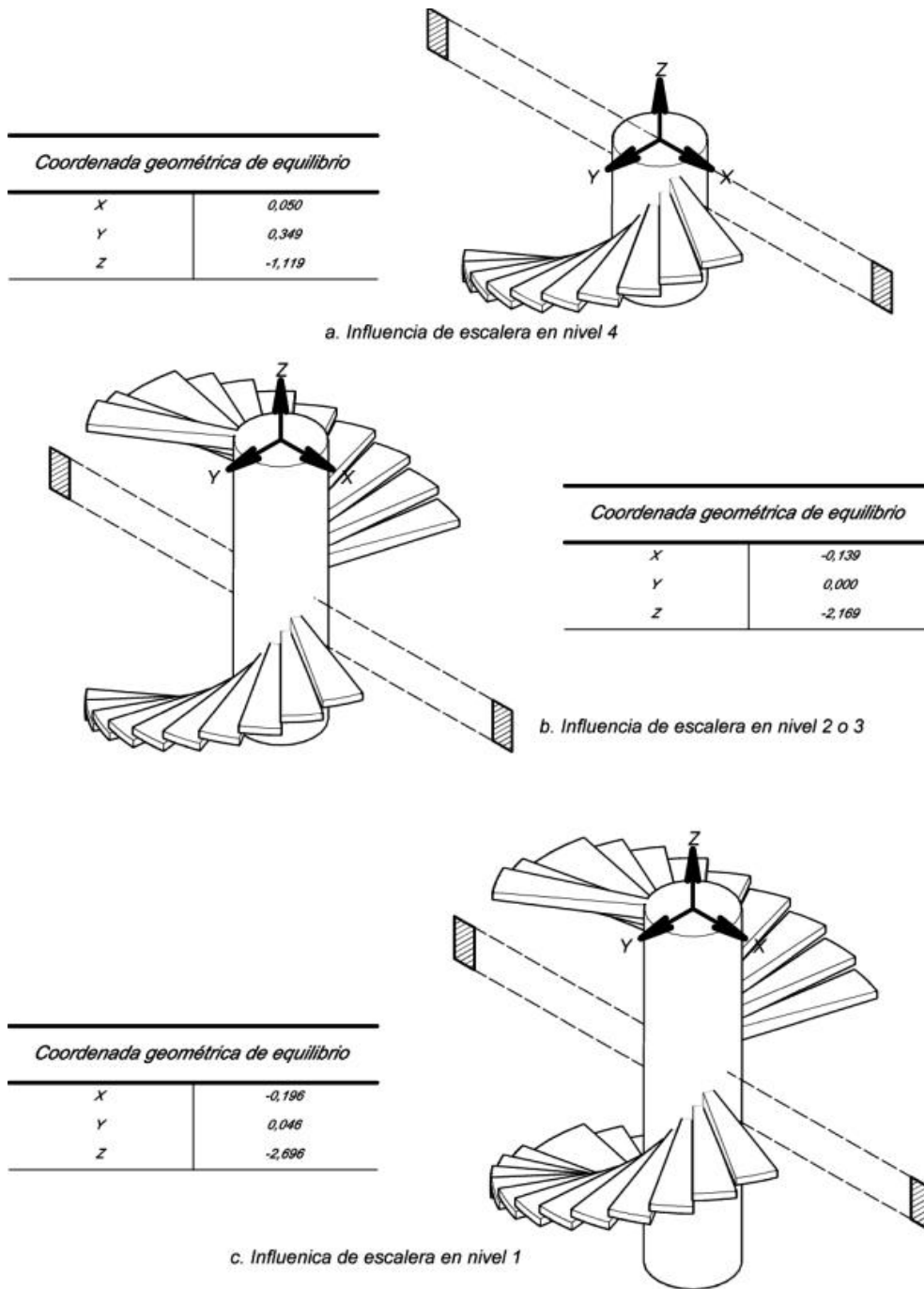
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 51. **Coordenada geométrica de equilibrio, en sistema de escalera apoyado transversalmente**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 52. **Coordenada geométrica de equilibrio, en sistema de escalera con escalones en voladizo**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla XXXII. **Coordenada geométrica de equilibrio, en sistemas de escalera**

Sistema de escalera simplemente apoyada longitudinalmente			
Coordenada	Nivel 1 m	Nivel 2 o 3 m	Nivel 4 m
X	3,9166	3,7926	1,4991
Y	-1,0000	-1,0000	-1,0000
Z	-0.3536	0,4729	-1,1799

Sistema de escalera orto-poligonal con empotramiento longitudinal			
Coordenada	Nivel 1 m	Nivel 2 o 3 m	Nivel 4 m
X	3,9113	3,79205	1,4966
Y	-1,0000	-1,0000	-1,0000
Z	-0.3488	0,4807	-1,2034

Sistema de escalera simplemente apoyado transversalmente			
Coordenada	Nivel 1 m	Nivel 2 o 3 m	Nivel 4 m
X	3,9295	3,7950	1,4987
Y	-1,2500	-1,2500	-1,2500
Z	-0.3725	0,4121	-1,2009

Sistema de escalera con escalones en voladizo			
Coordenada	Nivel 1 m	Nivel 2 o 3 m	Nivel 4 m
X	-0,1962	-0,1385	0,0502
Y	0,0464	0,0000	0.3492
Z	-2,6962	-2,1693	-1,1190

Fuente: elaboración propia.

La tabla XXXII expone coordenadas geométricas de equilibrio en sistemas de escalera, que están medidos en metros. Esto a partir de la coordenada vector de los tramos influyentes al nivel de análisis, que se exponen en las graficas de la sección 4.1.1.

4.1.2. Cálculo estructural centro de masa

Esto se determinará en función de la edificación independiente al sistema de escalera y con sistemas de escalera en cada nivel, promediando los resultados de centro de masa de los niveles. La integración de cargas de los elementos influyentes al centro de masa de la edificación se expone en los apéndices así como el cálculo de las mismas.

4.1.2.1. Centro de masa de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera

Expuesto en la tabla XXXIII, medidos en metros respecto al eje de referencia D y 1 para las coordenadas X y Y, respectivamente. Esto evidencia que no existe diferencia significativa entre los valores de centro de masa del nivel analizado, la diferencia es en centímetros y se reduce aún más al obtener el promedio de centro de masa de los niveles.

Al analizar el centro de masa de la edificación en función del peso y la ubicación de los elementos, se determina que el propio peso del sistema de escalera que está en función de su configuración. Esto no tiene influencia significativa con respecto al centro de masa de la edificación independiente a los sistemas de escalera. Sin embargo, la relación de peso entre el sistema de escalera y la edificación independiente al sistema de escalera es aproximadamente de 4 % lo que describiría los resultados de la tabla XXXIII. El peso del sistema de escalera es poco influyente al centro de masa de la edificación.

Tabla XXXIII. **Centro de masa de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera**

Nivel	Independiente al sistema de escalera <i>m</i>		Simplemente apoyado longitudinalmente <i>m</i>		Orto-polygonal con empotramiento longitudinal <i>m</i>		Apoyado transversalmente <i>m</i>		Escalones en voladizo <i>m</i>	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Nivel 4	16,67	11,50	16,60	11,50	16,60	11,50	16,58	11,50	16,71	11,50
Nivel 3	16,67	11,50	16,70	11,50	16,70	11,50	16,70	11,50	16,70	11,50
Nivel 2	16,67	11,50	16,70	11,50	16,70	11,50	16,70	11,50	16,70	11,50
Nivel 1	16,67	11,50	16,72	11,50	16,72	11,50	16,73	11,50	16,70	11,50
Promedio	16,67	11,50	16,68	11,50	16,68	11,50	16,68	11,50	16,70	11,50

Fuente: elaboración propia.

Al analizar la influencia de la ubicación del sistema de escalera al centro de masa de la edificación, es más probable obtener diferencias significativas en su centro de masa entre la edificación independiente al sistema de escalera y el centro de masa de la edificación con sistemas de escalera, debido a la distancia entre el sistema y el eje de referencia.

Al evidenciar en la tabla XXXIII, que el centro de masa de la edificación con distintas configuraciones de sistemas de escalera es similar, se propondrá utilizar al sistema de escalera con escalones en voladizo. Esto para analizar la influencia de ubicación del sistema de escalera al centro de masa de la edificación que se detalla en las tablas apéndice.

4.1.2.2. Centro de masa de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera

La tabla XXXIV evidencia que al ubicar el sistema de escalera 11,33 metros desfasados, del centro de masa de la edificación independiente al sistema de escalera. El centro de masa se desfasa 1,67 metros, lo que determina 14,74 % de influencia entre el sistema de escalera que solo posee 7,86 % de peso de la edificación independiente al sistema de escalera.

Tabla XXXIV. Centro de masa, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera

Nivel	Independiente al sistema de escalera <i>m</i>		Escalones en voladizo ubicadas en el extremo del edificio <i>m</i>	
	X	Y	X	Y
Nivel 4	16,67	11,50	17,78	11,50
Nivel 3	16,67	11,50	18,37	11,50
Nivel 2	16,67	11,50	18,37	11,50
Nivel 1	16,67	11,50	18,83	11,50
Promedio	16,67	11,50	18,34	11,50

Fuente: elaboración propia.

4.2. Centro de rigidez

El centro de rigidez en dirección perpendicular al eje longitudinal de la edificación propuesto coincide con el centro geométrico. Esto debido a la simetría de los elementos estructurales, por lo que se determinará únicamente el centro de rigidez en el eje longitudinal.

Al analizar los elementos estructurales, en el eje longitudinal, se identifica que las columnas están ubicadas simétricamente y son de secciones simétricas. Sin embargo, los sistemas de escalera aunque tienen simetría en la dirección perpendicular al eje longitudinal, su rigidez disminuye en función de la altura con respecto al nivel donde se encuentran apoyados los sistemas de escalera.

El centro de rigidez se determinará por medio de la ecuación 4-2, en función de la edificación independiente al sistema de escalera, y de la edificación con sistemas de escalera.

$$CR = \frac{K_l d}{\sum K_l} \quad (4-2)$$

Donde:

CR = Centro de rigidez.

K_l = Rigidez del elemento.

d = Distancia desde eje neutro del elemento, a un eje de referencia.

4.2.1. Coordenada geométrica de equilibrio en sistemas de escalera

Para determinar el centro de rigidez se determinará de la misma forma que se determinó para el centro de masa. Esto con la diferencia que la coordenada geométrica utilizada en el centro de rigidez son las coordenadas utilizadas en el nivel 2 y 3. Esto se resume de la tabla XXXII, debido que la coordenada de equilibrio es del tramo completo del sistema de escalera.

4.2.2. Cálculo estructural centro de rigidez

Se determinará en función de la edificación independiente al sistema de escalera y con sistemas de escalera en cada nivel a través del promedio de los resultados de centro de rigidez.

La rigidez de columnas y sistemas de escalera se determinará por medio de las ecuaciones y resultados, planteadas y obtenidas respectivamente en la sección 3. Se integran en el nivel para determinar la rigidez lateral en marcos, o la rigidez total del nivel analizado.

4.2.2.1. Centro de rigidez de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera

Expuesto en la tabla XXXV, medidos en metros respecto al eje de referencia D y 1 para las coordenadas X y Y, respectivamente de la edificación propuesto. Se evidencia que no existe diferencia significativa entre los valores la diferencia de centro de rigidez de la edificación influenciado por la configuración de sistemas de escalera. Esto es de valores con cuatro a cinco cifras significativas y que al aproximarlos se obtienen el mismo resultado de centro de rigidez. La tendencia es similar a la obtenida en el centro de masa de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera.

Los cálculos de centro de rigidez de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera se exponen en el apéndice.

Tabla XXXV. **Centro de rigidez de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera**

Nivel	Independiente al sistema de escalera <i>m</i>		Simplemente apoyado longitudinalmente <i>m</i>		Orto-polygonal con empotramiento longitudinal <i>m</i>		Apoyado transversalmente <i>m</i>		Escalones en voladizo <i>m</i>	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Nivel 4	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	16,96	11,50
Nivel 3	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	16,99	11,50
Nivel 2	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	16,99	11,50
Nivel 1	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	16,99	11,50
Promedio	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	16,98	11,50

Fuente: elaboración propia.

4.2.2.2. **Centro de rigidez de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera**

La tabla XXXVI evidencia que al ubicar el sistema de escalera 11,00 metros desfasados, del centro de rigidez de la edificación independiente al sistema de escalera, se desfasa 1,42 metros. Esto en dirección al sistema de escalera, lo que determina 12,90 % de desfase, en dirección de la distancia donde se ubique el sistema de escalera y el centro de rigidez de la edificación independiente al sistema de escalera. Se considera que el sistema de escalera solo tiene un porcentaje de 9,83 % de rigidez, con respecto a la rigidez total del nivel.

Tabla XXXVI. **Centro de rigidez, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera**

Nivel	Independiente al sistema de escalera <i>m</i>		Escalones en voladizo ubicadas en el extremo del edificio <i>m</i>	
	X	Y	X	Y
Nivel 4	17,00	11,50	19,76	11,50
Nivel 3	17,00	11,50	17,97	11,50
Nivel 2	17,00	11,50	17,97	11,50
Nivel 1	17,00	11,50	17,97	11,50
Promedio	17,00	11,50	18,42	11,50

Fuente: elaboración propia.

5. EFECTOS DE TORSIÓN

Los efectos de torsión de la edificación provocada por sistemas de escalera, está determinada para la influencia de las combinaciones de la dirección entrante o saliente de la fuerza cortante acumulada en el nivel analizado, y la excentricidad entre las direcciones longitudinal y transversal de los ejes de la edificación.

5.1. Excentricidad

Es la diferencia entre el centro de masa y el centro de rigidez o viceversa, provocados por el peso y la rigidez de los elementos en la edificación respectivamente. La diferencia entre el centro de masa y el centro de rigidez es denominada excentricidad real, y aunque la diferencia sea mínima o cero, lo que determina que la torsión sísmica también sea mínima. Se consideran excentricidades accidentales que puedan existir, modificando al centro de rigidez, denominándola posición modificado de forma, que define al centro de rigidez para obtener los valores de momento polar de inercia y las fuerzas torsionales en la edificación.

5.1.1. Real

La excentricidad real es la diferencia entre el centro de masa y el centro de rigidez o viceversa.

$$e_r = CM - CR \quad (5-1)$$

Donde:

e_r = Excentricidad real

CM = Centro de masa

CR = Centro de rigidez

5.1.2. Diseño

Para determinar la excentricidad por diseño, provocado por las excentricidades accidentales Agies NSE 3-10 define en la sección 2.3.2 una excentricidad accidental igual al 5 % de la dimensión del nivel, perpendicular a las fuerzas consideradas. Sin embargo, la excentricidad por diseño se determinará como se indica en el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (México), para cubrir la amplificación dinámica del giro torsional accidental. La excentricidad de diseño es medido a partir del centro de masa.

(5-2)

$$e_d = 1,5e_r + 0,10B$$

Donde:

e_d = Excentricidad de diseño.

e_r = Excentricidad real.

B = Dimensión del nivel perpendicular a la dirección de las fuerzas consideradas.

5.1.3. Cálculo estructural excentricidad

El cálculo estructural de excentricidad real se determinará en función de la edificación independiente al sistema de escalera y con sistemas de escalera. Esto a través del centro de masa y centro rigidez. Posterior a ello se aplicará la condición por excentricidades accidentales y se determinará la posición modificado de forma. Los cálculos se exponen en el apéndice.

5.1.3.1. Excentricidad de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera

Expuesta en la tabla XXXVII evidencia que la excentricidad de la edificación independiente al sistema de escalera es mayor, y disminuye aún más cuando el peso del sistema de escalera es mayor como se visualiza en la edificación de sistemas de escalera con escalones en voladizo, la cual posee 7,86 % de peso de la edificación independiente al sistema de escalera. Sin embargo, la diferencia es mínima, entre la edificación independiente al sistema de escalera, y la edificación modelado con sistemas de escalera. Esto debido a la ubicación de los sistemas de escalera que se encuentran en la parte central de la edificación.

Tabla XXXVII. **Excentricidad de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera**

	Independiente al sistema de escalera <i>m</i>		Simplemente apoyado longitudinalmente <i>m</i>		Orto-polygonal con empotramiento longitudinal <i>m</i>		Apoyado transversalmente <i>m</i>		Escalones en voladizo <i>m</i>	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Centro de masa	16,67	11,50	16,68	11,50	16,68	11,50	16,68	11,50	16,70	11,50
Centro de rigidez	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	17,00	11,50	16,98	11,50
Excentricidad real	0,33	0,00	0,32	0,00	0,32	0,00	0,32	0,00	0,28	0,00
Dimensión análisis del edificio B	23,00	34,00	23,00	34,00	23,00	34,00	23,00	34,00	23,00	34,00
Excentricidad de diseño	2,79	3,40	2,78	3,40	2,78	3,40	2,78	3,40	2,72	3,40
Posición modificado de forma	19,79	14,90	19,78	14,90	19,78	14,90	19,78	14,90	19,70	14,90

Fuente: elaboración propia.

5.1.3.2. Excentricidad de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera

Al analizar los sistemas de escalera en la parte central de la edificación evidencia una excentricidad real mínima menor que la excentricidad real en la edificación independiente al sistema de escalera. Sin embargo, al ubicar al sistema de escalera con escalones en voladizo en el extremo de la edificación propuesto en el eje 5 a 11,00 metros del centro de rigidez del edificio independiente al sistema de escalera la excentricidad real es de 0,08 metros. Esta al compararla con la excentricidad real, de 0,33 m de la edificación independiente al sistema de escalera evidencia un 24,24 % menos de excentricidad.

Tabla XXXVIII. **Excentricidad de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera**

	Independiente al sistema de escalera <i>m</i>		Escalones en voladizo ubicadas en el extremo del edificio <i>m</i>	
	X	Y	X	Y
Centro de masa	16,67	11,50	18,34	11,50
Centro de rigidez	17,00	11,50	18,42	11,50
Excentricidad real	0,33	0,00	0,08	0,00
Dimensión análisis del edificio B	23,00	34,00	23,00	34,00
Excentricidad de diseño	2,79	3,40	2,42	3,40
Posición modificado de forma	19,79	14,90	20,84	14,90

Fuente: elaboración propia.

5.2. Torsión

Al comienzo de la sección cinco, se mencionó que los efectos de torsión de la edificación provocado por sistemas de escalera, está determinada para la influencia de las combinaciones entre la dirección entrante o saliente de la fuerza cortante acumulada en el nivel analizado, y la excentricidad entre las direcciones longitudinal y transversal de los ejes de la edificación.

$$\begin{aligned} T &= (\mp 30\% e_{dy} \mp 100\% e_{cx}) \sum (F_x) \\ T &= (\mp 100\% e_{dy} \mp 30\% e_{dx}) \sum (F_x) \end{aligned} \tag{5-3}$$

Donde:

T	=	Momento torsionante sísmico
e_{dy}	=	Excentricidad de diseño en <i>eje y</i>
e_{dx}	=	Excentricidad de diseño en <i>eje x</i>
F_x	=	Fuerza cortante de cedencia en el nivel x de la edificación

La ecuación 5-3 evidencia las posibles combinaciones de momento torsionante sísmico en la edificación. Esta utilizará la más crítica para obtener las derivas de la edificación.

5.2.1. Cálculo estructural de momento torsionante sísmico

De la misma forma que se ha estado calculando, el momento torsionante sísmico, se determinará en función de la edificación independiente al sistema de escalera y con sistemas de escaleras. Esto a través de la excentricidad de diseño. Los cálculos se exponen en el apéndice y se resumen en esta sección.

5.2.1.1. Momento torsionante sísmico de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera

El momento torsionante sísmico de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera se resumen en la tabla XXXIX. Esto evidencia que aunque la excentricidad de la edificación con sistemas de escalera es menor a la edificación independiente al sistema de escalera. El momento torsionante sísmico no lo es porque la combinación mas critica de la ecuación 5-3, se da cuando ambas excentricidades son positivas y se incluye el 100 % de la excentricidad en el *eje y* y el 30 % de la excentricidad en el *eje x*.

Al analizar tales resultados, de momento torsionante sísmico de la edificación, por la configuración de sistemas de escalera, se deduce que el peso adicional provoca que el momento torsionante sísmico sea mayor a la edificación independiente de sistemas de escalera. Sin embargo, la excentricidad de la edificación independiente de sistemas de escalera es mayor a la edificación con sistemas de escalera.

Tabla XXXIX. **Momento torsionante sísmico de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera**

Nivel	Independiente al sistema de escalera <i>T</i>	Simplemente apoyado longitudinalmente <i>T</i>	Orto-polygonal con empotramiento longitudinal <i>T</i>	Apoyado transversalmente <i>T</i>	Escalones en voladizo <i>T</i>
Nivel 4	840,88	854,46	855,31	860,16	884,49
Nivel 3	1 617,80	1 660,42	1 660,90	1 674,15	1 728,88
Nivel 2	2 135,74	2 197,73	2 197,96	2 216,80	2 291,81
Nivel 1	2 416,61	2 491,28	2 491,38	2 513,74	2 601,16

Fuente: elaboración propia.

5.2.1.2. Momento torsionante sísmico de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera

Al analizar el momento torsionante sísmico de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera, se determinó que es mayor al momento torsionante sísmico de la edificación independiente al sistema de escalera. Sin embargo, si la edificación que posea sistemas de escalera está ubicado en el extremo de la edificación. Su momento torsionante será menor a la edificación que posea sistemas de escalera ubicadas en la parte central de la edificación, como se visualiza en el tabla XL. Sin embargo, el momento torsionante de la edificación con sistemas de escalera con escalones en voladizo propuesto en el extremo, es mayor al momento torsionante sísmico de la edificación independiente al sistema de escalera. Este se ubicó a 11,00 metros del centro de rigidez permitiendo visualizar que a cierta distancia el momento torsionante sísmico es óptimo entre la edificación independiente al sistema de escalera y la edificación con sistemas de escalera.

Tabla XL. **Momento torsionante sísmico de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera**

Nivel	Independiente al sistema de escalera <i>T</i>	Escalones en voladizo ubicadas en la parte central del edificio <i>T</i>	Escalones en voladizo ubicadas en el extremo del edificio <i>T</i>
Nivel 4	840,88	884,49	866,00
Nivel 3	1 617,80	1 728,88	1 692,73
Nivel 2	2 135,74	2 291,81	2 243,89
Nivel 1	2 416,61	2 601,16	2 546,77

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Deriva

Las fuerzas provocadas por las derivas de piso en cada marco, se obtiene por medio de la ecuación 5-4, donde el momento torsionante sísmico utilizado es la mas crítica de las combinaciones. La distancia es medida a partir de la posición modificado de forma del centro de rigidez hacia cada marco analizado.

(5-4)

$$\Delta V = \frac{T d'}{J} K_{lm}$$

Donde:

ΔV = Deriva.

T = Momento torsionante sísmico.

d' = Distancia entre la posición modificado de forma del centro de rigidez a cada marco.

K_{lm} = Rigidez lateral del marco.

J = Momento de inercia polar equivalente.

5.3.1. Cálculo estructural deriva

El cálculo estructural de deriva de la edificación con sistemas de escalera e independiente a ellos se expone en la tabla XLI. Por la influencia de la configuración de sistemas de escalera, y en la tabla XLII, se expone por la influencia de la ubicación de los sistemas de escalera. Los cálculos se expresan en el apéndice, iniciando por calcular la rigidez lateral de cada marco. Luego se determina el momento de inercia polar, y se sustituye en la ecuación 5-4, para obtener las derivas.

5.3.1.1. Deriva de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera

La tabla XLI expone la deriva de la edificación independiente a sistemas de escalera como parámetro, para comparar las derivas de la edificación influenciado por la configuración de sistemas de escalera. Al analizar los resultados de deriva de la tabla XLI, se deduce que la utilización de sistemas de escalera en la parte central de la edificación es de similar magnitud de deriva. Sin embargo, el sistema de escalera con escalones en voladizo determina un aumento mínimo de deriva, con respecto a la deriva obtenida en la edificación independiente al sistema de escalera. Esto no es significativa dado que los sistemas de escalera con escalones en voladizo en la edificación posee 7,86 % de peso de la edificación independiente al sistema de escalera

Tabla XLI. Deriva de la edificación, influenciado por la configuración de sistemas de escalera

Eje	Independiente al sistema de escalera T	Simplemente apoyado longitudinalmente T	Orto-polygonal con empotramiento longitudinal T	Apoyado transversalmente T	Escalones en voladizo T
Nivel 4					
Eje 1	12,73	12,73	12,54	12,01	12,89
Eje 2	8,80	8,80	8,66	8,30	8,91
Eje 3	4,23	4,23	4,14	3,97	4,26
Eje 4	1,01	1,01	1,03	0,98	1,05
Eje 5	5,59	5,59	5,55	5,32	5,70
Eje 6	4,76	4,76	4,71	4,51	4,84
Sistemas de escalera eje Y (Numeral)	0,00	0,00	0,16	0,51	0,00
Eje A	7,95	7,95	7,85	7,52	8,07
Eje B	0,10	0,10	0,10	0,09	0,17
Eje C	6,77	6,77	6,69	6,40	11,56
Eje D	14,62	14,62	14,44	13,83	14,84
Sistema de escalera eje B	0,00	0,00	0,56	1,39	0,00
Sistema de escalera eje C	0,00	0,00	2,93	7,28	0,00

Continuación de la tabla XLI.

Nivel 3						
Eje 1	24,49	24,49	24,85	24,61	25,87	
Eje 2	16,94	16,94	17,17	17,00	17,88	
Eje 3	8,13	8,13	8,21	8,13	8,55	
Eje 4	1,94	1,94	2,04	2,02	2,10	
Eje 5	10,75	10,75	11,00	10,89	11,43	
Eje 6	9,15	9,15	9,34	9,25	9,71	
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,00	0,00	0,28	0,84	0,00	
Eje A	15,29	15,29	15,55	15,40	16,19	
Eje B	0,19	0,19	0,19	0,19	0,24	
Eje C	13,03	13,03	13,25	13,12	16,50	
Eje D	28,13	28,13	28,61	28,33	29,77	
Sistema de escalera eje B	0,00	0,00	0,37	0,93	0,00	
Sistema de escalera eje C	0,00	0,00	1,93	4,89	0,00	
Nivel 2						
Eje 1	32,33	32,33	32,88	32,58	34,30	
Eje 2	22,36	22,36	22,72	22,51	23,70	
Eje 3	10,73	10,73	10,86	10,76	11,34	
Eje 4	2,56	2,56	2,69	2,67	2,79	
Eje 5	14,19	14,19	14,55	14,42	15,15	
Eje 6	12,08	12,08	12,36	12,25	12,87	
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,00	0,00	0,38	1,11	0,00	
Eje A	20,19	20,19	20,58	20,40	21,46	
Eje B	0,25	0,25	0,25	0,25	0,32	
Eje C	17,20	17,20	17,53	17,37	21,87	
Eje D	37,13	37,13	37,86	37,52	39,47	
Sistema de escalera eje B	0,00	0,00	0,49	1,23	0,00	
Sistema de escalera eje C	0,00	0,00	2,56	6,48	0,00	
Nivel 1						
Eje 1	36,58	36,58	37,27	36,95	38,92	
Eje 2	25,30	25,30	25,75	25,53	26,90	
Eje 3	12,14	12,14	12,31	12,20	12,87	
Eje 4	2,90	2,90	3,05	3,03	3,17	
Eje 5	16,05	16,05	16,49	16,35	17,20	
Eje 6	13,67	13,67	14,01	13,89	14,61	

Continuación de la tabla XLI.

Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,00	0,00	0,43	1,26	00,00
Eje A	22,84	22,84	23,33	23,13	24,35
Eje B	0,28	0,28	0,29	0,29	0,36
Eje C	19,46	19,46	19,87	19,70	24,82
Eje D	42,02	42,02	42,91	42,54	44,80
Sistema de escalera eje B	0,00	0,00	0,55	1,40	00,00
Sistema de escalera eje C	0,00	0,00	2,90	7,35	00,00

Fuente: elaboración propia.

5.3.1.2. Deriva de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera

La tabla XLII evidencia valores de deriva, en algunos marcos menores y en otros marcos mayores a las derivas de la edificación, independiente al sistema de escalera. Esto debido a la influencia de la ubicación del sistema de escalera la cual fue ubicada a 11,00 m del centro de rigidez. Esto provocó que la distancia en algunos marcos, y la posición modificado de forma fuese mayor a los sistemas de escalera que se ubicaron en la parte central de la edificación.

Tabla XLII. Deriva de la edificación, influenciado por la ubicación de sistemas de escalera

Eje	Independiente al sistema de escalera <i>T</i>	Escalones en voladizo ubicadas en el extremo del edificio <i>T</i>
Nivel 4		
Eje 1	12,89	12,32
Eje 2	8,91	8,76
Eje 3	4,26	4,60
Eje 4	1,05	0,14
Eje 5	5,70	13,10
Eje 6	4,84	3,93

Continuación de la tabla XLII.

Sistemas de escalera eje Y (Numeral)	0,00	0,00
Eje A	8,07	7,21
Eje B	0,17	0,09
Eje C	11,56	6,14
Eje D	14,84	13,26
Sistema de escalera eje B	0,00	0,00
Sistema de escalera eje C	0,00	0,00
Nivel 3		
Eje 1	25,87	25,41
Eje 2	17,88	18,07
Eje 3	8,55	9,50
Eje 4	2,10	0,29
Eje 5	11,43	14,09
Eje 6	9,71	8,10
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,00	0,00
Eje A	16,19	14,87
Eje B	0,24	0,18
Eje C	16,50	12,67
Eje D	29,77	27,36
Sistema de escalera eje B	0,00	0,00
Sistema de escalera eje C	0,00	0,00
Nivel 2		
Eje 1	34,30	33,68
Eje 2	23,70	23,95
Eje 3	11,34	12,59
Eje 4	2,79	0,39
Eje 5	15,15	18,68
Eje 6	12,87	10,74
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,00	0,00
Eje A	21,46	19,71
Eje B	0,32	0,24
Eje C	21,87	16,79
Eje D	39,47	36,26
Sistema de escalera eje B	0,00	0,00
Sistema de escalera eje C	0,00	0,00

Continuación de la tabla XLII.

Nivel 1		
Eje 1	38,92	38,23
Eje 2	26,90	27,18
Eje 3	12,87	14,29
Eje 4	3,17	0,44
Eje 5	17,20	21,20
Eje 6	14,61	12,19
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	00,00	0,00
Eje A	24,35	22,37
Eje B	0,36	0,28
Eje C	24,82	19,06
Eje D	44,80	41,16
Sistema de escalera eje B	00,00	0,00
Sistema de escalera eje C	00,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El comportamiento provocado por sistemas de escalera de concreto armado sobre la estructura edificatoria de concreto reforzado está determinado en gran porcentaje por la configuración de interacción. Esto entre el sistema de escalera y la estructura edificatoria, como lo son la ubicación del sistema de escalera dentro de la edificación, o la configuración geométrica del escalón del sistema, que se encuentran influenciados por los tipos de apoyos que posean. Al comparar los resultados cuantitativos de derivas, obtenidas de la estructura edificatoria con distintos sistemas de escalera, se deduce que la mayor influencia del sistema de escalera al realizar un análisis estructural por sismo, es el peso adicional que contribuye el sistema de escalera a la estructura edificatoria. La influencia de rigidez que aporta el sistema de escalera al nivel es inferior a la influencia del peso del sistema de escalera. Esto da como resultados que la deriva de la estructura edificatoria con sistemas de escalera simplemente apoyados longitudinalmente son mayores, a las derivas de la estructura edificatoria con sistemas de escalera doblemente empotrados longitudinalmente o transversalmente.
2. El comportamiento provocado por cargas actuantes en los distintos sistemas de escalera determina que el propio peso del sistema de escalera que está en función de su configuración, no tiene influencia significativa con respecto al centro de masa del edificio independiente a los sistemas de escalera. Sin embargo, el peso de los distintos sistemas de escalera es de aproximadamente 4 % del peso de la estructura edificatoria, exceptuando al sistema de escalera helicoidal que posee

aproximadamente 8 % del peso de la estructura edificatoria. Al analizar el comportamiento provocado por cargas actuantes de los sistemas de escalera influenciado por su ubicación dentro de la estructura edificatoria denota que al ubicar el sistema de escalera 11,33 metros desfasados del centro de masa de la edificación independiente al sistema de escalera, el centro de masa se desfasa 1,67 metros. Esto determina 14,74 % de influencia entre el sistema de escalera que solo posee 7,86 % de peso de la edificación independiente al sistema de escalera.

3. Los lineamientos para determinar la rigidez de sistemas de escalera están en función de la configuración geométrica de sus escalones. Además del tipo de apoyo, o la configuración de tramos y descansos que pudiese tener el sistema. La rigidez de un sistema de escalera se obtiene al considerar al sistema como un muro con aberturas, al limitar rectangularmente el perfil del sistema de escalera en su horizontal y elevación, y aplicar los métodos disponibles en la literatura para determinar la rigidez de muros con aberturas. Por ejemplo el método de columna ancha de sección variable que considera discretizar al muro con aberturas. Esto como una columna ancha de sección variable donde la rigidez se obtiene al realizar una abertura equivalente de los elementos vacíos y las porciones de muros que no tengan abertura son las que aportan rigidez al análisis.
4. La configuración de rigidez lateral en sistemas de escalera está determinada de acuerdo a la dirección perpendicular o paralela entre la dirección de la fuerza horizontal y el tramo del sistema. Además de las configuraciones geométricas en escalones o apoyos de sistemas de escalera. Al determinar la rigidez lateral de sistemas de escalera con distintas configuraciones evidencia valores donde la rigidez paralela es

mayor a la rigidez perpendicular, entre la fuerza horizontal y el tramo del sistema de escalera. Los resultados de rigidez obtenidas en los sistemas de escalera también brinda deducciones que permiten afirmar que si se utilizan sistemas de escalera como elementos resistentes a fuerzas horizontales, tendrán una mejor contribución de rigidez cuando los escalones de los sistemas de escalera se encuentran doblemente empotrados transversalmente. Esto porque el elemento donde se apoyan los escalones generalmente son vigas que rigidizan al sistema de escalera y que aportan una mejor rigidez, que los sistemas que se encuentren doblemente empotrados longitudinalmente. Sin embargo, si los sistemas de escalera son doblemente empotrados longitudinalmente, la rigidez que aportan los sistemas de escalera ortopoligonal son menores que los sistemas que poseen una placa inclinada de losa de concreto donde se apoya los escalones. Porque la rigidez de estos sistemas de escalera es el aporte que brinda la placa de losa de concreto inclinada más el escalón del sistema, y la configuración geométrica de los escalones de sistemas de escalera ortopoligonal solo tienden a resistir la contrahuella del escalón que generalmente es el espesor de losa.

5. El comportamiento de centro de rigidez en la edificación cuando se utilizan configuraciones distintas de sistemas de escalera en los distintos niveles no evidencia una diferencia significativa entre valores. Sin embargo, al analizar el centro de rigidez de la edificación influenciada por la ubicación de sistemas de escalera, denota que al ubicar el sistema de escalera 11,00 metros desfasados, del centro de rigidez de la edificación independiente al sistema de escalera, este se desfasa 1,42 metros. En dirección al sistema de escalera, lo que determina 12,90 % de desfase, en dirección de la distancia donde se ubique el sistema de escalera y el

centro de rigidez de la edificación independiente al sistema de escalera. Se considera que el sistema de escalera solo tiene un porcentaje de 9,83 % de rigidez, con respecto a la rigidez total del nivel. Los resultados obtenidos de centro de rigidez y centro de masa permiten afirmar que los sistemas de escalera que se ubiquen en un extremo minimizan la excentricidad real de la edificación. Sin embargo, la mayor contribución de mover el centro de rigidez, por medio de sistemas de escalera, es su influencia en los resultados de derivas. Esto evidencia a los marcos en voladizo que se encuentre lejanos al centro de rigidez su deriva será menor, a los marcos de estructuras edificatorias independientes a sistemas de escalera, y en marcos doblemente empotrados y cercanos al centro de rigidez su deriva será menor.

RECOMENDACIONES

1. Al incluir sistemas de escalera simplemente apoyados dentro de la estructura edificatoria, no aportan rigidez al nivel y la influencia del sistema de escalera en un cálculo estructural por sismo es debido al peso adicional que agrega el sistema de escalera a la estructura edificatoria. Por ello al incluir sistemas de escalera doblemente empotrados longitudinal o transversalmente permite determinar menores valores de deriva, que cuando los sistemas se encuentren simplemente apoyados.
2. Al momento de incluir sistemas de escalera en la estructura edificatoria existe influencia directa del comportamiento sobre centro de masa que se encuentra determinado por la ubicación del sistema de escalera. Por ello cuando no se quiera que el peso del sistema de escalera influya el centro de masa, los sistemas deben ubicarse lo más simétricamente posible y cercanos al centro de masa de la edificación independiente a los sistemas de escalera.
3. Al definir los lineamientos para obtener la rigidez de sistemas de escalera es evidente determinar una abertura equivalente, y por la complejidad que representa al limitar el perfil del sistema de escalera en forma rectangular, es necesario enfatizar en que se manipule lo menos posible los elementos vacíos al formar la abertura equivalente.
4. Al utilizar los sistemas de escalera como elementos resistentes a fuerzas horizontales, y elementos que aportan rigidez al nivel, que se

considere proveer a los escalones apoyos adecuados que mejoren el aporte de rigidez al nivel. Estos pueden ser los escalones doblemente empotrados transversalmente, porque los elementos transversales donde están apoyados los escalones rigidizan aún más los sistemas de escalera.

5. Al momento de considerar los sistemas de escalera como elementos resistentes a fuerzas horizontales, se visualiza que los conceptos utilizados también se puede utilizar para distintos elementos estructurales. Estos rigidizan el nivel de la estructura edificatoria, dado que los resultados obtenidos determinan ventajas que se pueden adecuar a distintas filosofía de análisis estructural, o el comportamiento que se desee que tenga la edificación. Por ejemplo, al aumentar la distancia del centro de rigidez de marcos específicos en voladizo su deriva es menor y al disminuir la distancia entre el centro de rigidez y marcos específicos doblemente empotrados también su deriva es menor.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI Committee 318. *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y Comentario (Versión en español y sistema métrico)*. Estados Unidos: American Concrete Institute. 2008. 518 p.
2. ARNOLD, Chistopher; WHITAKER, Dianne. *Manual de configuración y diseño sísmico de edificios*. México: Ciencia y Técnica, 1991. 32 p.
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural de edificios y obras de infraestructura para la República de Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2010. 75 p.
4. BAZÀN, Enrique; ROBERTO, Meli. *Diseño Sísmico de Edificios*. México: Limusa, 1985. 310 p.
5. DOWRICK, D. J. *Diseño de estructuras resistentes a sismos para Ingenieros y Arquitectos*. México: Limusa, 1984. 45 p.
6. FERNÁNDEZ CHEA, Carlos Antonio. *Análisis y Diseño de escaleras*. Lima Perú, 108 p.
7. ROBERTO, Meli. *Diseño Estructural*. 2a ed. México: Limusa, 1985. 582 p.

8. TENA COLUNGA, Arturo; RIVERA HERNÁNDEZ, Germán; VERGARA SÁNCHEZ, Jonathan. *Estimación de la rigidez lateral elástica de muros con aberturas*. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. 2011, Vol. 11, núm. 2, 135-162 p.

APÉNDICES

APÉNDICE A. DETERMINANDO ABERTURA EQUIVALENTE DE SISTEMA DE ESCALERA SIMPLEMENTE APOYADO LONGITUDINALMENTE

- Franja en los extremos a lo largo del perfil del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente
 - Eje Neutro

$$EN = \frac{\sum_{i=1}^n A * d}{\sum_{i=1}^n A}$$

Tabla A.I. Eje neutro de elementos vacíos en sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente

Elemento	Base <i>b</i> m	Altura <i>H</i> m	Área <i>A_e</i> m ²	<i>d_x</i> m	<i>d_y</i> m	<i>A_e * d_x</i>	<i>A_e * d_y</i>
1	0,30	0,20	0,060	0,450	4,100	0,027	0,246
2	0,30	0,40	0,120	0,750	4,000	0,090	0,480
3	0,30	0,60	0,180	1,050	3,900	0,189	0,702
4	0,30	0,80	0,240	1,350	3,800	0,324	0,912
5	0,30	1,00	0,300	1,650	3,700	0,495	1,110
6	0,30	1,20	0,360	1,950	3,600	0,702	1,296
7	0,30	1,40	0,420	2,250	3,500	0,945	1,470
8	0,30	1,60	0,480	2,550	3,400	1,224	1,632
9	0,30	1,80	0,540	2,850	3,300	1,539	1,782
10	1,65	2,00	3,300	3,825	3,200	12,623	10,560
11	0,30	2,20	0,660	4,800	3,100	3,168	2,046
12	0,30	2,40	0,720	5,100	3,000	3,672	2,160
13	0,30	2,60	0,780	5,400	2,900	4,212	2,262

Continuación de la tabla A.I.

14	0,30	2,80	0,840	5,700	2,800	4,788	2,352
15	0,30	3,00	0,900	6,000	2,700	5,400	2,430
16	0,30	3,20	0,960	6,300	2,600	6,048	2,496
17	0,30	3,40	1,020	6,600	2,500	6,732	2,550
18	0,30	3,60	1,080	6,900	2,400	7,452	2,592
19	0,30	3,80	1,140	7,200	2,300	8,208	2,622
20	0,30	4,00	1,200	7,500	2,200	9,000	2,640
21	2,82	1,88	2,651	0,940	2,827	2,492	7,493
22	2,82	2,20	6,204	1,410	1,100	8,748	6,824
23	0,93	1,85	1,721	3,735	0,925	6,426	1,591
24	2,82	1,88	2,651	5,590	0,627	14,818	1,661
Sumatoria			28,526			109,321	61,910
Eje neutro en abertura equivalente en x con respecto coordenada (0,0) 3,832 m							
Eje neutro en abertura equivalente en y con respecto coordenada (0,0) 2,170 m							

Fuente: elaboración propia.

○ **Dimensiones abertura equivalente**

$$b_e = \sqrt{A_e \left(\frac{b_e'}{H_e'} \right)} = \sqrt{A_e \left(\frac{\sum_{i=1}^n L_i * A_i}{\sum_{i=1}^n H_i * A_i} \right)}$$

$$H_e = \sqrt{A_e \left(\frac{H_e'}{b_e'} \right)} = \sqrt{A_e \left(\frac{\sum_{i=1}^n H_i * A_i}{\sum_{i=1}^n L_i * A_i} \right)}$$

Tabla A.II. Dimensiones de abertura equivalente de elementos vacíos en sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente

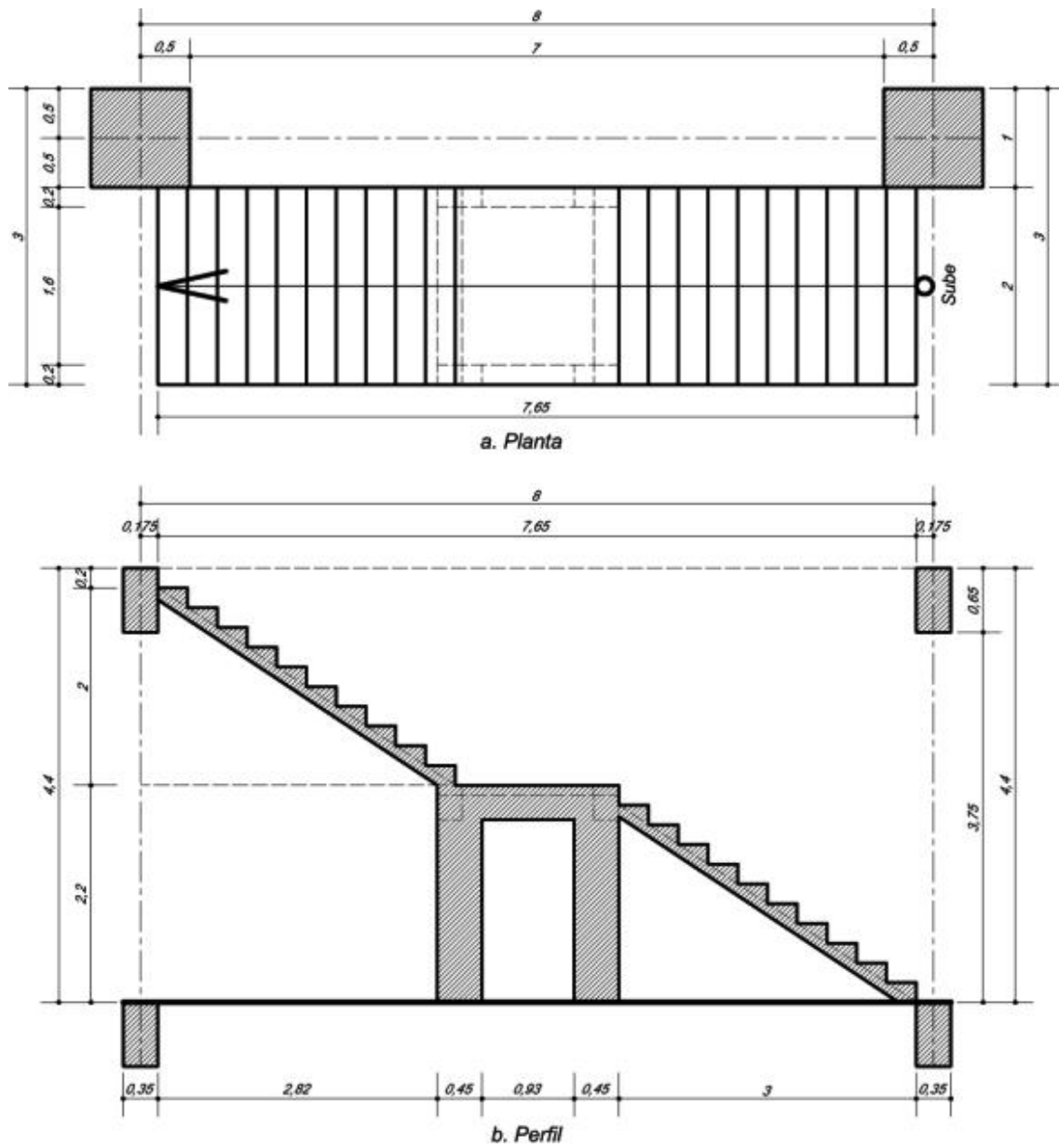
Elemento	Base b m	Altura H m	Área A m^2	$b_e = b * A$	$H_e = H * A$
1	6,75	3,75	25,313	170,859	94,922
2	0,72	1,80	1,296	0,933	2,333
3	2,82	0,35	0,987	2,783	0,345
4	2,70	0,23	0,621	1,677	0,143
5	1,65	0,10	0,165	0,272	0,017
6	0,30	0,15	0,045	0,014	0,007
7	0,60	0,10	0,060	0,036	0,006
8	0,12	0,04	0,005	0,001	0,000
9	0,06	0,08	0,005	0,000	0,000
Sumatoria				176,575	97,773

$b_e = 7,178 m$

$H_e = 3,974 m$

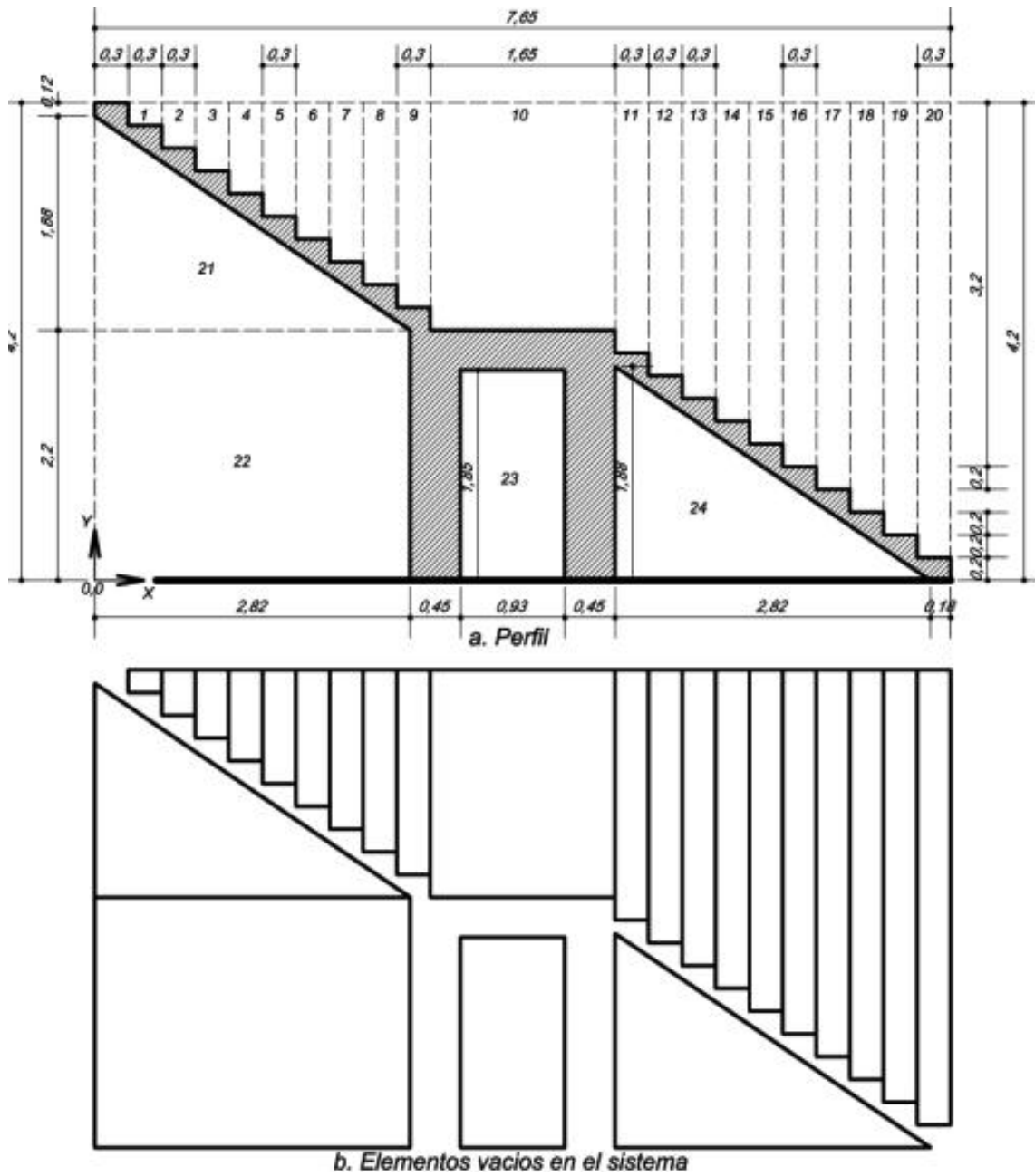
Fuente: elaboración propia.

Figura A.1. Sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente en la edificación



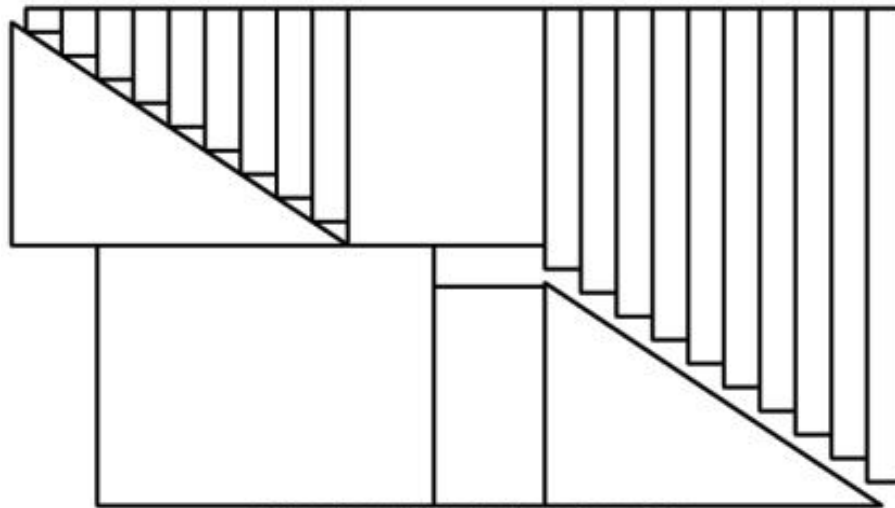
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura A.2. Elementos vacíos sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente

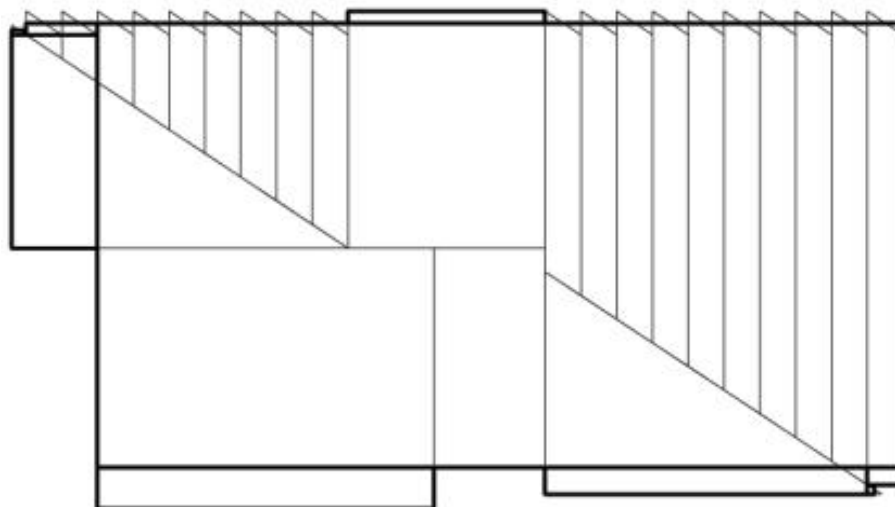


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura A.3. **Desplazamiento y unión de elementos vacíos sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**



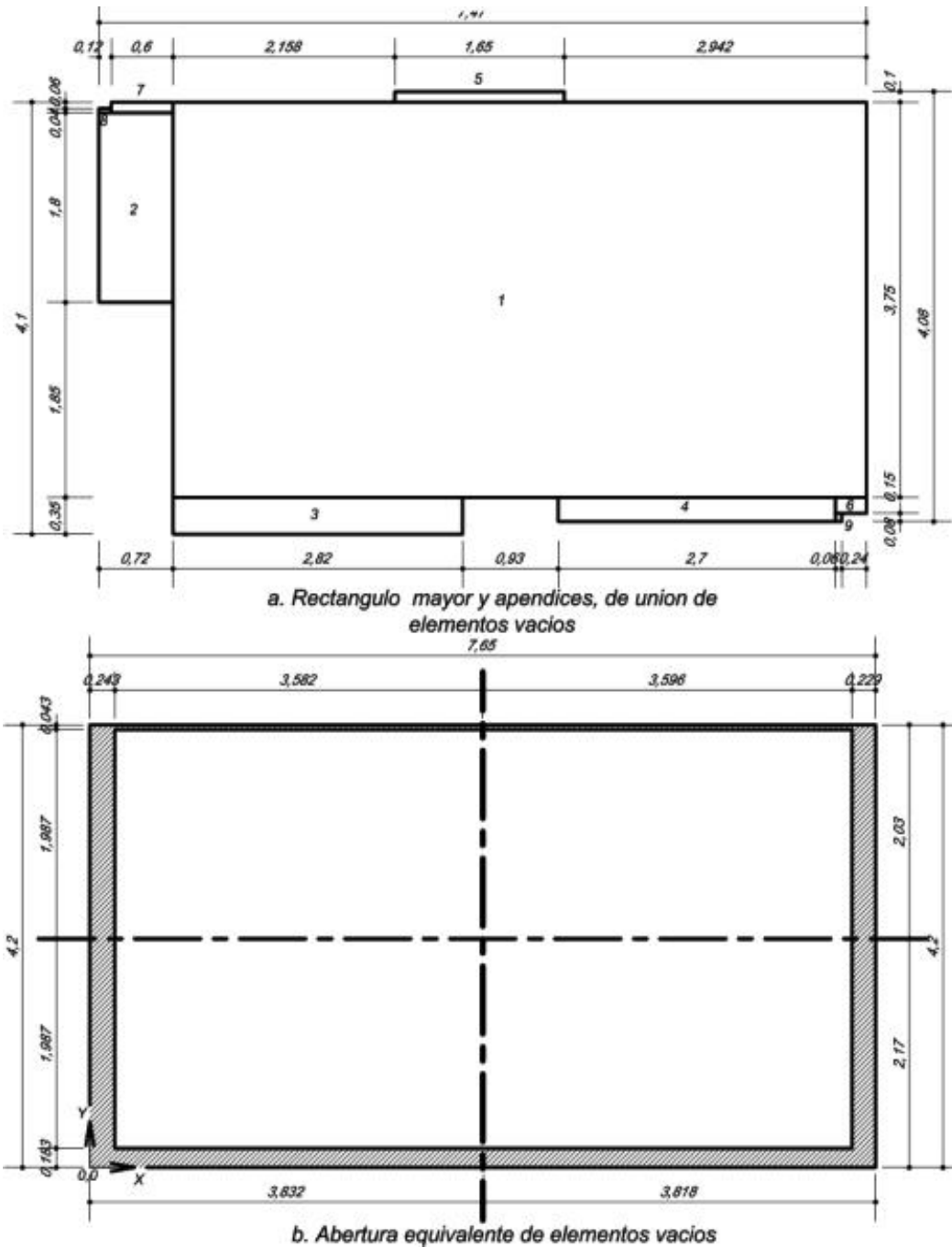
a. Desplazamiento de elementos vacíos



b. Unión de elementos vacíos

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura A.4. Abertura equivalente de elementos vacíos sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Franja central a lo largo del perfil del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente

- Eje Neutro

$$EN = \frac{\sum_{i=1}^n A * d}{\sum_{i=1}^n A}$$

Tabla A.III. Eje neutro de elementos vacíos en escalones de sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente

Elemento	Base b m	Altura H m	Área A_e m^2	d_x m	d_y m	$A_e * d_x$	$A_e * d_y$
1	0,30	0,20	0,030	0,100	4,067	0,003	0,122
2	0,30	0,20	0,030	0,100	3,867	0,003	0,116
3	0,30	0,20	0,030	0,100	3,667	0,003	0,110
4	0,30	0,20	0,030	0,100	3,467	0,003	0,104
5	0,30	0,20	0,030	0,100	3,267	0,003	0,098
6	0,30	0,20	0,030	0,100	3,067	0,003	0,092
7	0,30	0,20	0,030	0,100	2,867	0,003	0,086
8	0,30	0,20	0,030	0,100	2,667	0,003	0,080
9	0,30	0,20	0,030	0,100	2,467	0,003	0,074
10	0,30	0,20	0,030	0,100	2,267	0,003	0,068
11	0,30	0,20	0,030	0,100	2,067	0,003	0,062
12	0,30	0,20	0,030	0,100	1,867	0,003	0,056
13	0,30	0,20	0,030	0,100	1,667	0,003	0,050
14	0,30	0,20	0,030	0,100	1,467	0,003	0,044
15	0,30	0,20	0,030	0,100	1,267	0,003	0,038
16	0,30	0,20	0,030	0,100	1,067	0,003	0,032
17	0,30	0,20	0,030	0,100	0,867	0,003	0,026
18	0,30	0,20	0,030	0,100	0,667	0,003	0,020
19	0,30	0,20	0,030	0,100	0,467	0,003	0,014
20	0,30	0,20	0,030	0,100	0,267	0,003	0,008
21	0,30	0,20	0,030	0,100	0,067	0,003	0,002
Sumatoria			0,630			0,063	1,302

Eje neutro en abertura equivalente en x con respecto coordenada (0,0)
0,100 m

Eje neutro en abertura equivalente en y con respecto coordenada (0,0)
2,067 m

Fuente: elaboración propia.

○ **Dimensiones abertura equivalente**

$$b_e = \sqrt{A_e \left(\frac{b_{e'}}{H_{e'}} \right)} = \sqrt{A_e \left(\frac{\sum_{i=1}^n L_i * A_i}{\sum_{i=1}^n H_i * A_i} \right)}$$

$$H_e = \sqrt{A_e \left(\frac{H_{e'}}{b_{e'}} \right)} = \sqrt{A_e \left(\frac{\sum_{i=1}^n H_i * A_i}{\sum_{i=1}^n L_i * A_i} \right)}$$

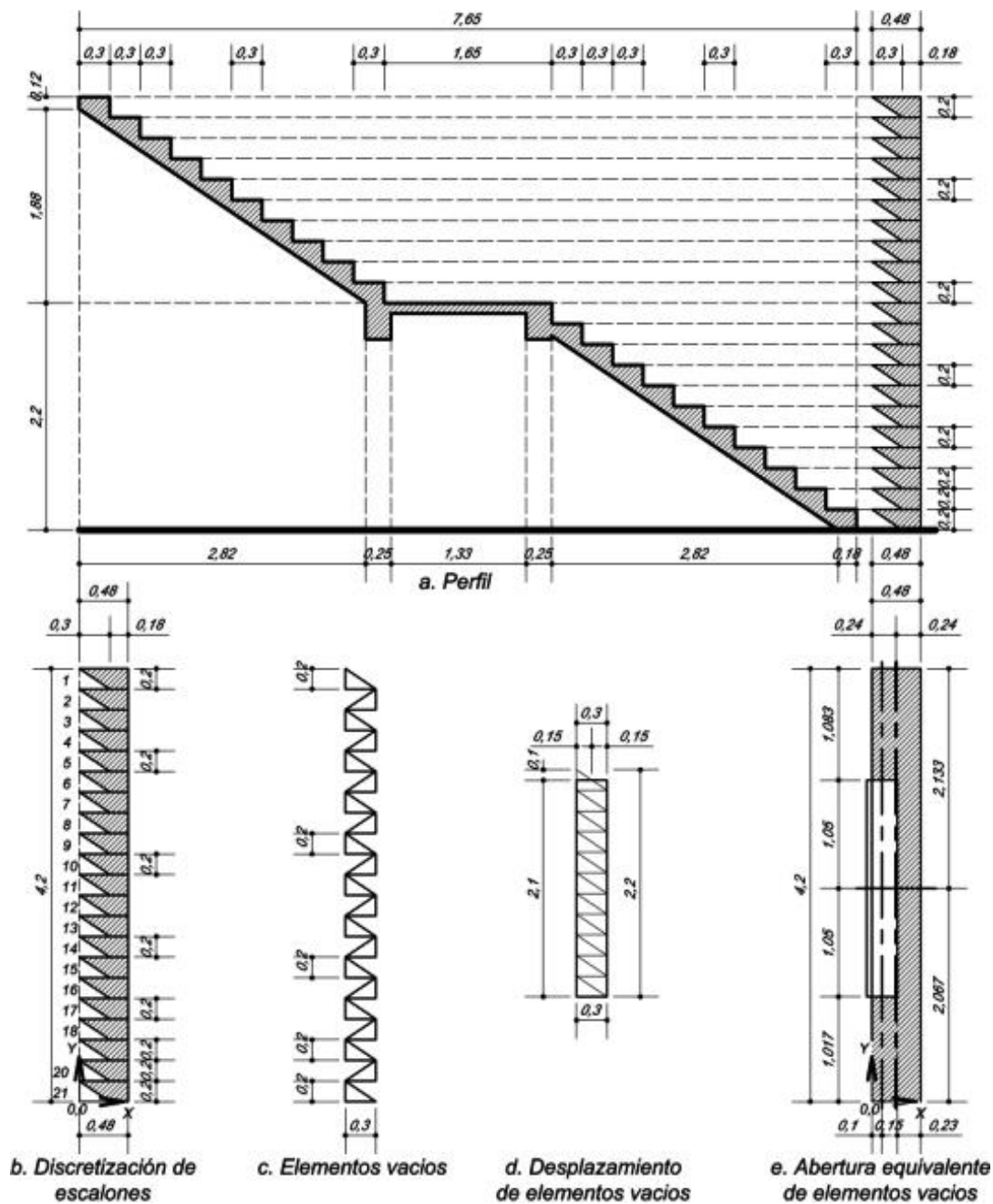
Tabla A.IV. **Dimensiones de abertura equivalente de elementos vacíos en escalones de sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**

Elemento	Base b m	Altura H m	Área A m^2	$b_e \cdot A$	$H_e \cdot A$
1	0,30	2,10	0,630	0,189	1,323
Sumatoria				0,189	1,323

$b_e = 0,300m$
 $H_e = 2,100m$

Fuente: elaboración propia.

Figura A.5. Abertura equivalente de elementos vacíos en escalones de sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

APÉNDICE B. DETERMINANDO ABERTURA EQUIVALENTE DE SISTEMA DE ESCALERA ORTOPOLIGONAL

- **Franja en los extremos a lo largo del perfil del sistema de escalera ortopoligonal**

- **Eje Neutro**

$$EN = \frac{\sum_{i=1}^n A * d}{\sum_{i=1}^n A}$$

Tabla B.I. **Eje neutro de elementos vacíos en sistema de escalera ortopoligonal**

Elemento	Base <i>b</i> <i>m</i>	Altura <i>H</i> <i>m</i>	Área <i>A_e</i> <i>m</i> ²	<i>d_x</i> <i>m</i>	<i>d_y</i> <i>m</i>	<i>A_e * d_x</i>	<i>A_e * d_y</i>
1	0,30	0,20	0,060	0,450	4,100	0,027	0,246
2	0,30	0,40	0,120	0,750	4,000	0,090	0,480
3	0,30	0,60	0,180	1,050	3,900	0,189	0,702
4	0,30	0,80	0,240	1,350	3,800	0,324	0,912
5	0,30	1,00	0,300	1,650	3,700	0,495	1,110
6	0,30	1,20	0,360	1,950	3,600	0,702	1,296
7	0,30	1,40	0,420	2,250	3,500	0,945	1,470
8	0,30	1,60	0,480	2,550	3,400	1,224	1,632
9	0,30	1,80	0,540	2,850	3,300	1,539	1,782
10	1,65	2,00	3,300	3,825	3,200	12,623	10,560
11	0,30	2,20	0,660	4,800	3,100	3,168	2,046
12	0,30	2,40	0,720	5,100	3,000	3,672	2,160
13	0,30	2,60	0,780	5,400	2,900	4,212	2,262
14	0,30	2,80	0,840	5,700	2,800	4,788	2,352
15	0,30	3,00	0,900	6,000	2,700	5,400	2,430
16	0,30	3,20	0,960	6,300	2,600	6,048	2,496
17	0,30	3,40	1,020	6,600	2,500	6,732	2,550
18	0,30	3,60	1,080	6,900	2,400	7,452	2,592
19	0,30	3,80	1,140	7,200	2,300	8,208	2,622
20	0,30	4,00	1,200	7,500	2,200	9,000	2,640
21	0,17	1,87	0,318	0,085	3,135	0,027	0,997
22	0,30	1,67	0,501	0,320	3,035	0,160	1,521
23	0,30	1,47	0,441	0,620	2,935	0,273	1,294

Continuación de la tabla B.I.

24	0,30	1,27	0,381	0,920	2,835	0,351	1,080
25	0,30	1,07	0,321	1,220	2,735	0,392	0,878
26	0,30	0,87	0,261	1,520	2,635	0,397	0,688
27	0,30	0,67	0,201	1,820	2,535	0,366	0,510
28	0,30	0,47	0,141	2,120	2,435	0,299	0,343
29	0,30	0,27	0,081	2,420	2,335	0,196	0,189
30	0,30	0,07	0,021	2,720	2,235	0,057	0,047
31	2,82	2,20	6,204	1,410	1,100	8,748	6,824
32	0,93	1,85	1,721	3,735	0,925	6,426	1,591
33	0,17	1,87	0,318	4,735	0,935	1,505	0,297
34	0,30	1,67	0,501	4,970	0,835	2,490	0,418
35	0,30	1,47	0,441	5,270	0,735	2,324	0,324
36	0,30	1,27	0,381	5,570	0,635	2,122	0,242
37	0,30	1,07	0,321	5,870	0,535	1,884	0,172
38	0,30	0,87	0,261	6,170	0,435	1,610	0,114
39	0,30	0,67	0,201	6,470	0,335	1,300	0,067
40	0,30	0,47	0,141	6,770	0,235	0,955	0,033
41	0,30	0,27	0,081	7,070	0,135	0,573	0,011
42	0,30	0,07	0,021	7,370	0,035	0,155	0,001
Sumatoria			28,558			109,447	61,981

Eje neutro en abertura equivalente en x con respecto coordenada (0,0)
3,832 m

Eje neutro en abertura equivalente en y con respecto coordenada (0,0)
2,170 m

Fuente: elaboración propia.

○ **Dimensiones abertura equivalente**

$$b_e = \sqrt{A_e \left(\frac{b_e'}{H_e'} \right)} = \sqrt{A_e \left(\frac{\sum_{i=1}^n L_i * A_i}{\sum_{i=1}^n H_i * A_i} \right)}$$

$$H_e = \sqrt{A_e \left(\frac{H_e'}{b_e'} \right)} = \sqrt{A_e \left(\frac{\sum_{i=1}^n H_i * A_i}{\sum_{i=1}^n L_i * A_i} \right)}$$

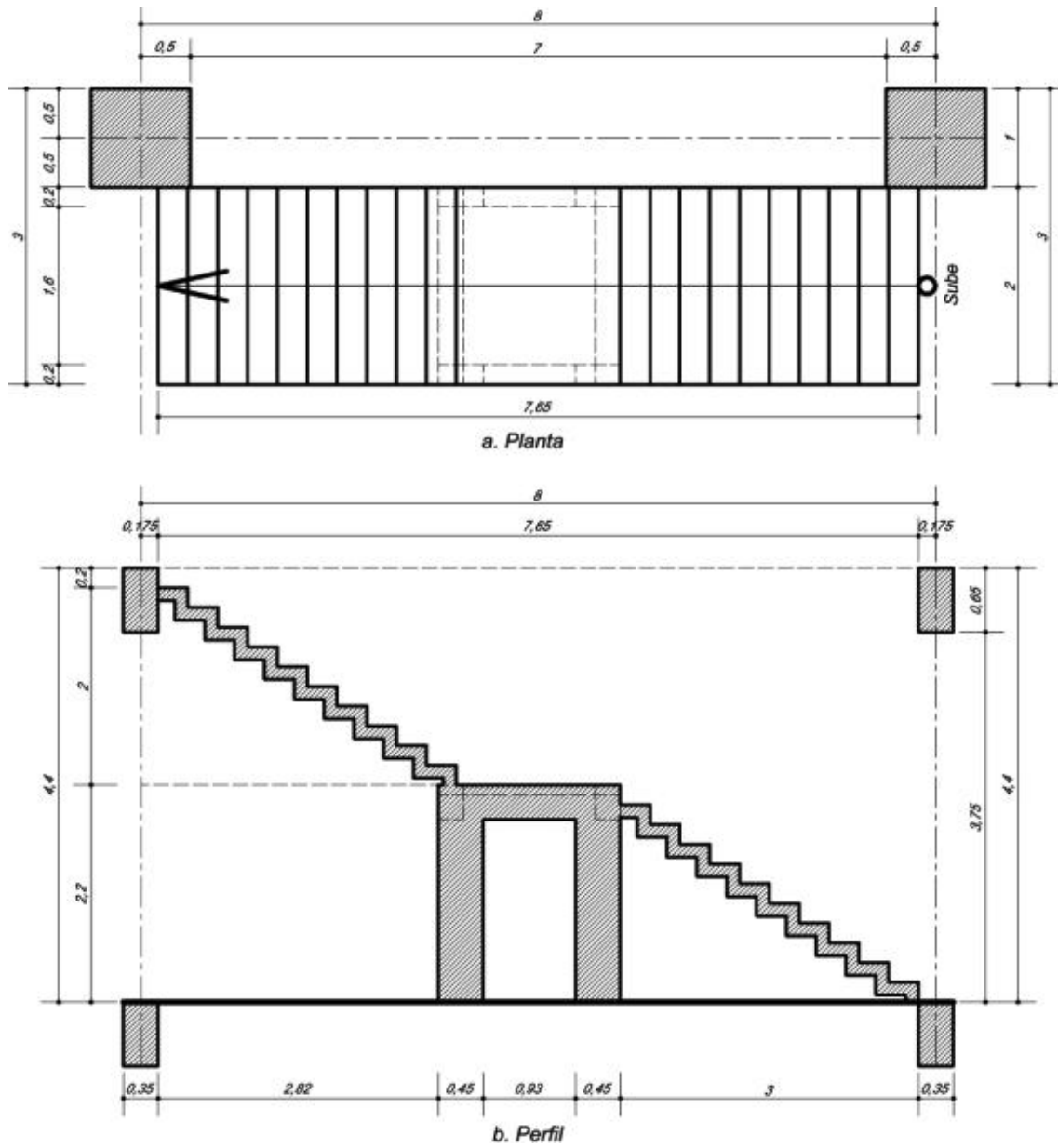
Tabla B.II. Dimensiones de abertura equivalente de elementos vacíos en sistema de escalera ortopoligonal

Elemento	Base b m	Altura H m	Área A m^2	$b_e = b * A$	$H_e = H * A$
1	6,92	3,72	25,742	178,137	95,762
2	2,82	0,35	0,987	2,783	0,345
3	0,60	1,87	1,122	0,673	2,098
4	4,65	0,13	0,605	2,811	0,079
5	2,87	0,02	0,057	0,165	0,001
6	0,30	0,15	0,045	0,014	0,007
Sumatoria				184,583	98,292

$b_e = 7,323 m$
 $H_e = 3,900 m$

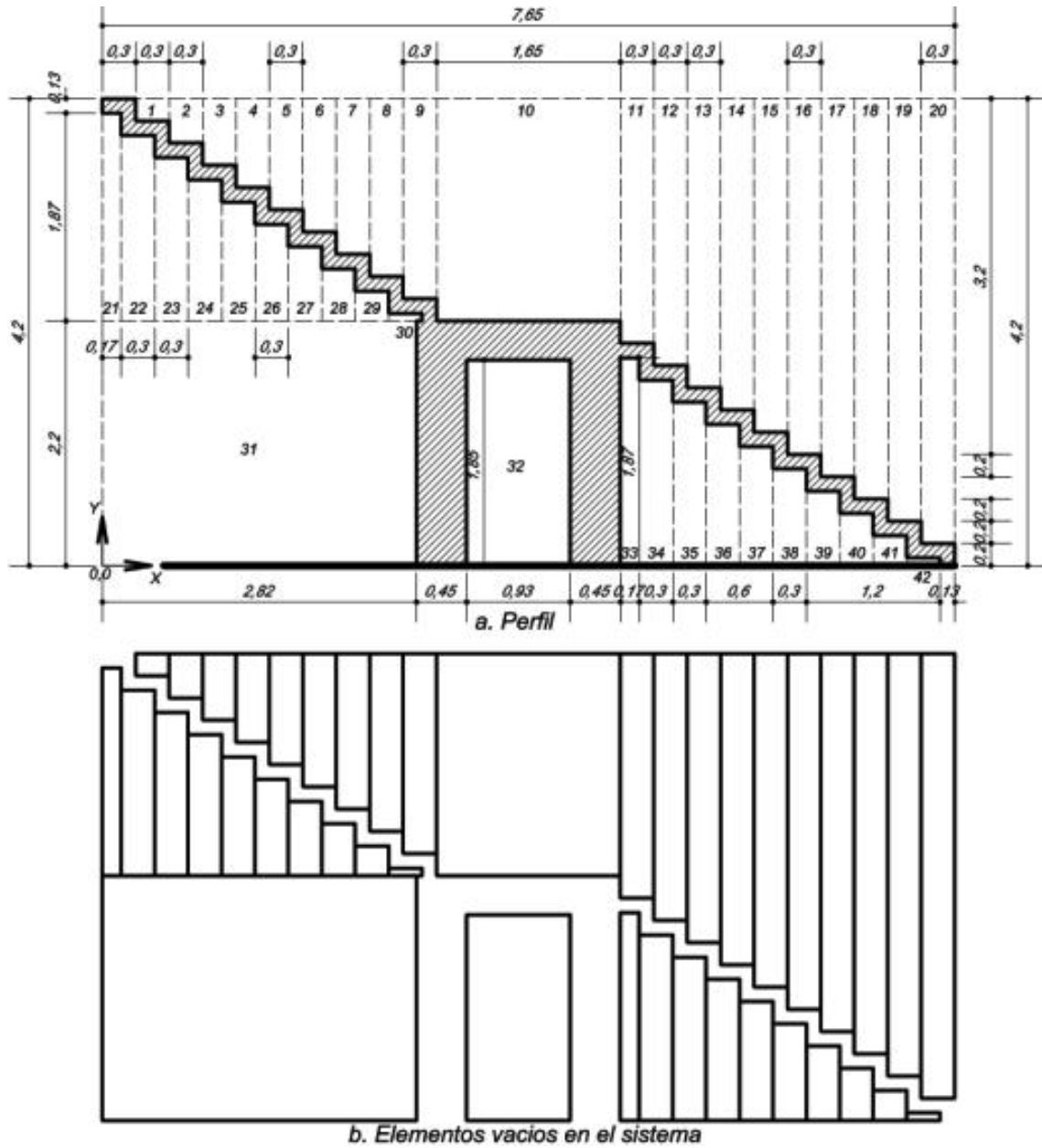
Fuente: elaboración propia.

Figura B.1. Sistema de escalera ortopoligonal en la edificación



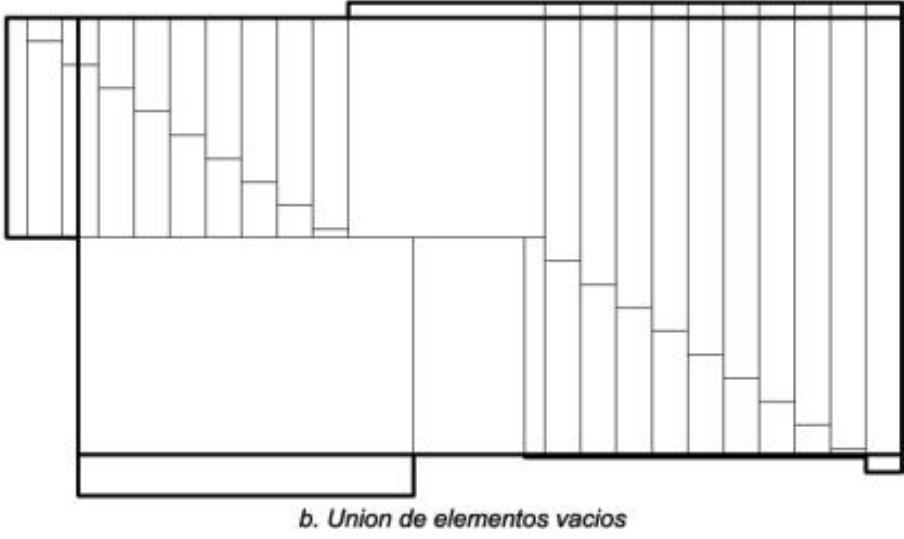
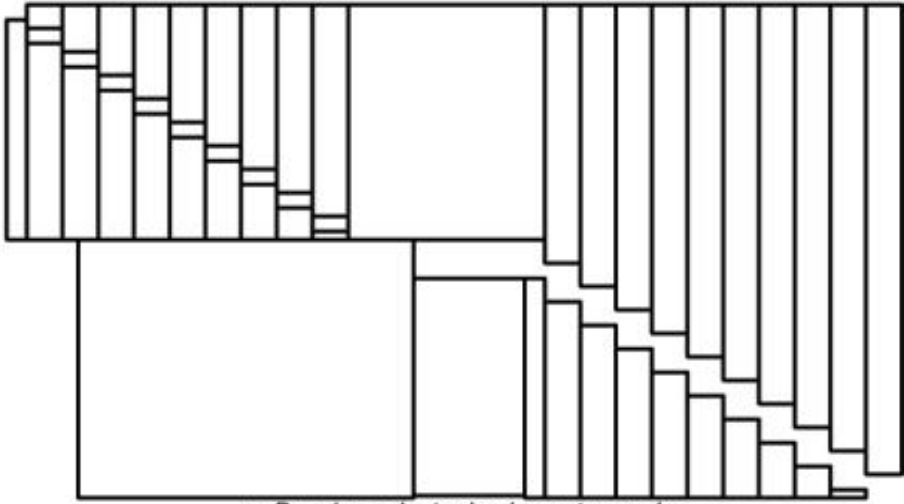
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura B.2. Elementos vacíos sistema de escalera ortopoligonal



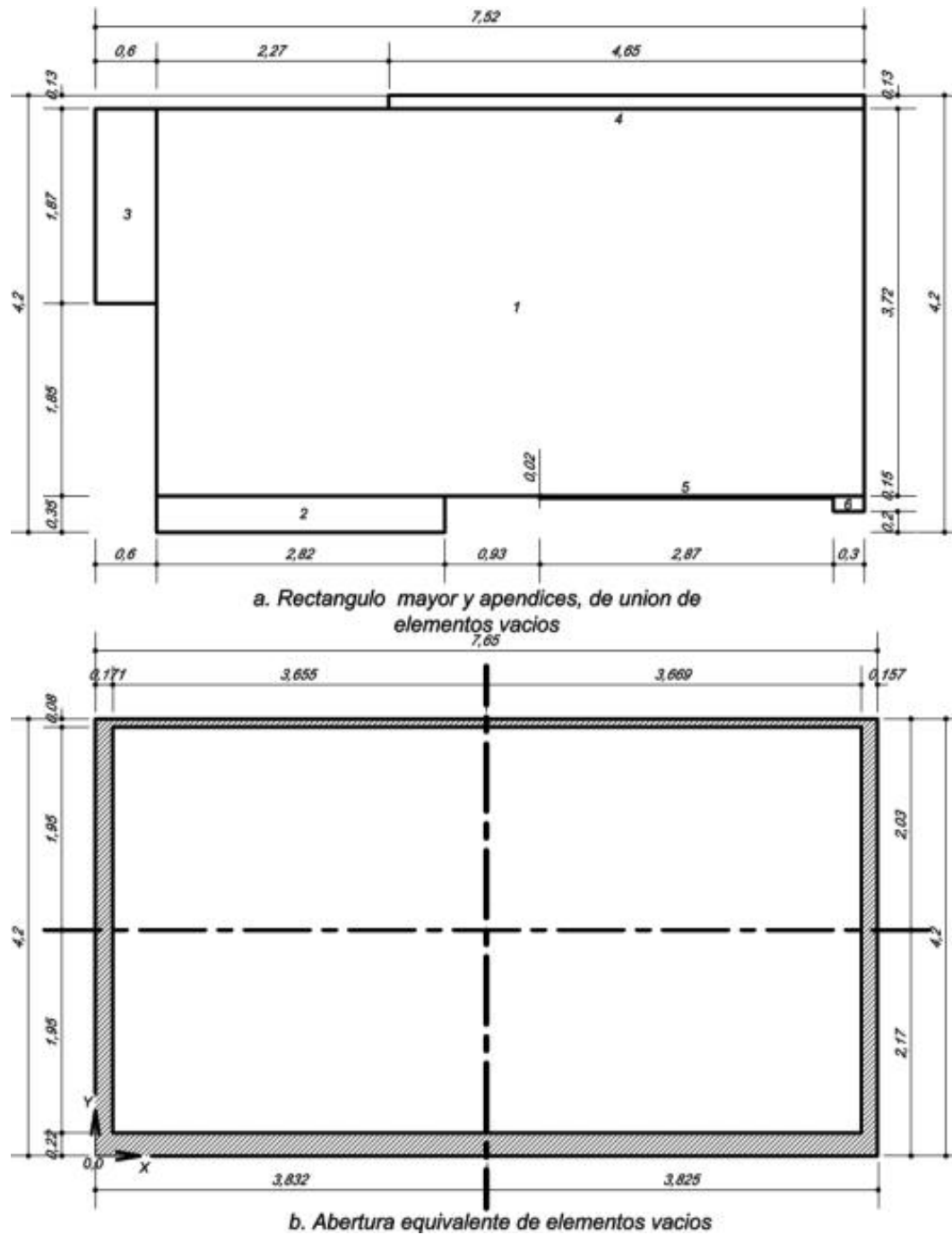
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura B.3. **Desplazamiento y unión de elementos vacíos sistema de escalera ortopoligonal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura B.4. **Abertura equivalente de elementos vacíos sistema de escalera ortopoligonal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Franja central a lo largo del perfil del sistema de escalera simplemente ortopoligonal

- Eje Neutro

$$EN = \frac{\sum_{i=1}^n A * d}{\sum_{i=1}^n A}$$

Tabla B.III. Eje neutro de elementos vacíos en escalones de sistema de escalera ortopoligonal

Elemento	Base <i>b</i> <i>m</i>	Altura <i>H</i> <i>m</i>	Área <i>A_e</i> <i>m</i> ²	<i>d_x</i> <i>m</i>	<i>d_y</i> <i>m</i>	<i>A_e * d_x</i>	<i>A_e * d_y</i>
1	0,30	0,07	0,021	0,150	4,035	0,003	0,085
2	0,30	0,07	0,021	0,150	3,835	0,003	0,081
3	0,30	0,07	0,021	0,150	3,635	0,003	0,076
4	0,30	0,07	0,021	0,150	3,435	0,003	0,072
5	0,30	0,07	0,021	0,150	3,235	0,003	0,068
6	0,30	0,07	0,021	0,150	3,035	0,003	0,064
7	0,30	0,07	0,021	0,150	2,835	0,003	0,060
8	0,30	0,07	0,021	0,150	2,635	0,003	0,055
9	0,30	0,07	0,021	0,150	2,435	0,003	0,051
10	0,30	0,07	0,021	0,150	2,235	0,003	0,047
11	0,30	0,07	0,021	0,150	2,035	0,003	0,043
12	0,30	0,07	0,021	0,150	1,835	0,003	0,039
13	0,30	0,07	0,021	0,150	1,635	0,003	0,034
14	0,30	0,07	0,021	0,150	1,435	0,003	0,030
15	0,30	0,07	0,021	0,150	1,235	0,003	0,026
16	0,30	0,07	0,021	0,150	1,035	0,003	0,022
17	0,30	0,07	0,021	0,150	0,835	0,003	0,018
18	0,30	0,07	0,021	0,150	0,635	0,003	0,013
19	0,30	0,07	0,021	0,150	0,435	0,003	0,009
20	0,30	0,07	0,021	0,150	0,235	0,003	0,005
21	0,30	0,07	0,021	0,150	0,035	0,003	0,001
Sumatoria			0,441			0,066	0,897

Eje neutro en abertura equivalente en x con respecto coordenada (0,0)
0,150 m

Eje neutro en abertura equivalente en y con respecto coordenada (0,0)
2,035 m

Fuente: elaboración propia.

○ **Dimensiones abertura equivalente**

$$b_e = \sqrt{A_e \left(\frac{b_{e'}}{H_{e'}} \right)} = \sqrt{A_e \left(\frac{\sum_{i=1}^n L_i * A_i}{\sum_{i=1}^n H_i * A_i} \right)}$$

$$H_e = \sqrt{A_e \left(\frac{H_{e'}}{b_{e'}} \right)} = \sqrt{A_e \left(\frac{\sum_{i=1}^n H_i * A_i}{\sum_{i=1}^n L_i * A_i} \right)}$$

Tabla B.IV. **Dimensiones de abertura equivalente de elementos vacíos en escalones de sistema de escalera ortopoligonal**

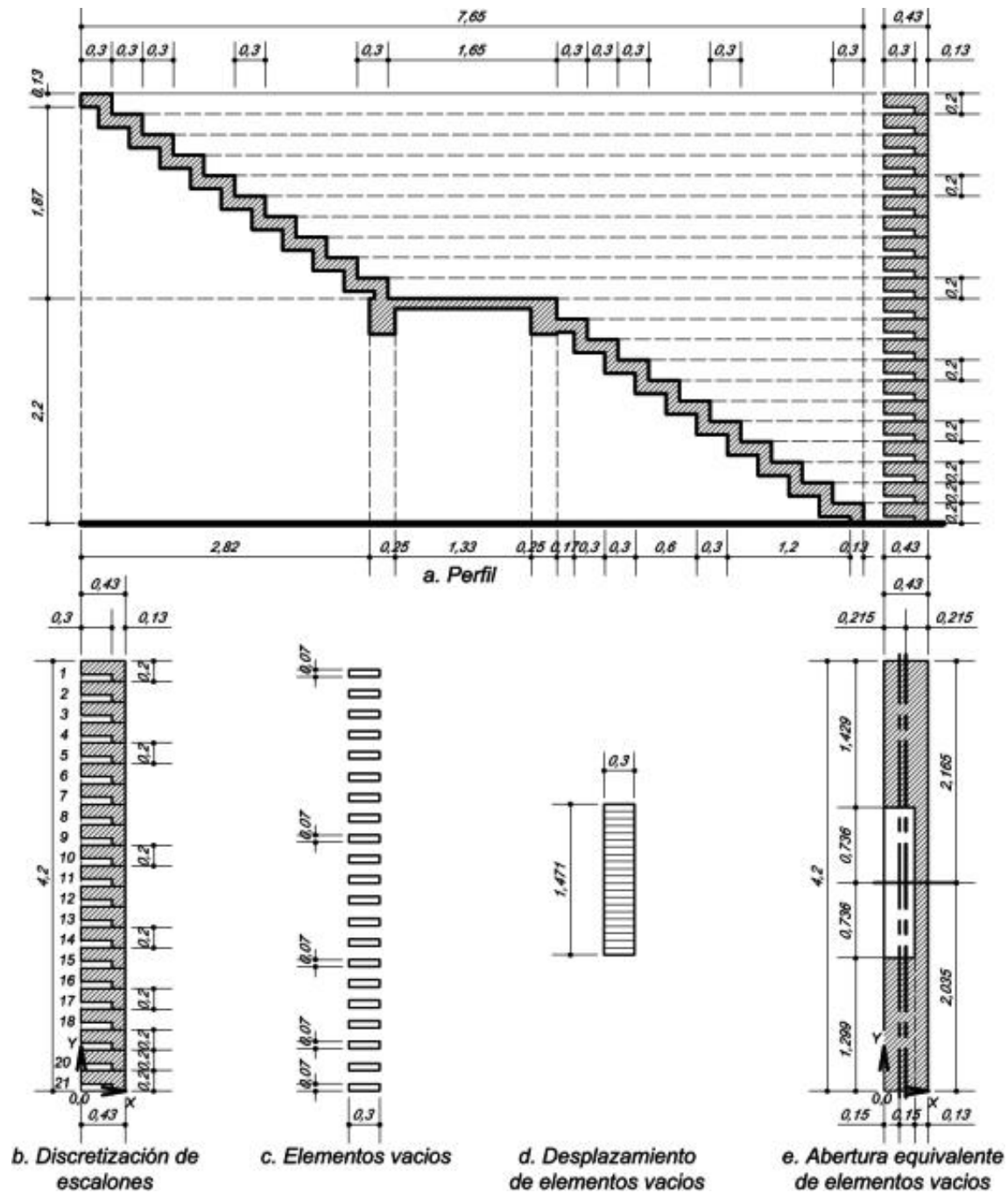
Elemento	Base b m	Altura H m	Área A m^2	$b_e = b * A$	$H_e = H * A$
1	0,30	1,47	0,441	0,132	0,649
Sumatoria				0,132	0,649

$$b_e = 0,300m$$

$$H_e = 1,470m$$

Fuente: elaboración propia.

Figura B.5. Abertura equivalente de elementos vacíos en escalones de sistema de escalera ortopoligonal



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

APÉNDICE C. DETERMINANDO ABERTURA EQUIVALENTE DE SISTEMA DE ESCALERA APOYADO TRANSVERSALMENTE

- **Franja central a lo largo del perfil del sistema de escalera apoyado transversalmente**

Para deducir la franja central a lo largo del perfil del sistema de escalera apoyado transversalmente, se realizará considerando que es igual al sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente. Para visualizar a detalle tales procedimientos consultar tabla A.III., tabla A.IV., y grafica apéndice A.5.

- **Franja en los extremos a lo largo del perfil del sistema de escalera apoyado transversalmente**

- **Eje Neutro**

$$EN = \frac{\sum_{i=1}^n A * d}{\sum_{i=1}^n A}$$

Tabla C.I. **Eje neutro de elementos vacíos en sistema de escalera apoyado transversalmente**

Elemento	Base <i>b</i> <i>m</i>	Altura <i>H</i> <i>m</i>	Área <i>A_e</i> <i>m</i> ²	<i>d_x</i> <i>m</i>	<i>d_y</i> <i>m</i>	<i>A_e * d_x</i>	<i>A_e * d_y</i>
1	3,00	2,00	3,000	2,300	3,533	6,900	10,600
2	4,35	2,00	8,700	5,475	5,200	47,633	45,240
3	2,82	1,88	2,649	0,940	2,726	2,490	7,223
4	2,82	2,10	5,922	1,410	1,050	8,350	6,218
5	0,93	1,85	1,721	3,735	0,925	6,426	1,591
6	2,67	1,78	2,374	5,540	0,593	13,152	1,408

Continuación de la tabla C.I.

7	3,00	2,00	3,000	6,650	1,533	19,950	4,600
Sumatoria			27,366			104,901	76,881

Eje neutro en abertura equivalente en x con respecto coordenada (0,0)
3,833 m

Eje neutro en abertura equivalente en y con respecto coordenada (0,0)
2,809 m

Fuente: elaboración propia.

○ **Dimensiones abertura equivalente**

$$b_e = \sqrt{A_e \left(\frac{b_e'}{H_e'} \right)} = \sqrt{A_e \left(\frac{\sum_{i=1}^n L_i * A_i}{\sum_{i=1}^n H_i * A_i} \right)}$$

$$H_e = \sqrt{A_e \left(\frac{H_e'}{b_e'} \right)} = \sqrt{A_e \left(\frac{\sum_{i=1}^n H_i * A_i}{\sum_{i=1}^n L_i * A_i} \right)}$$

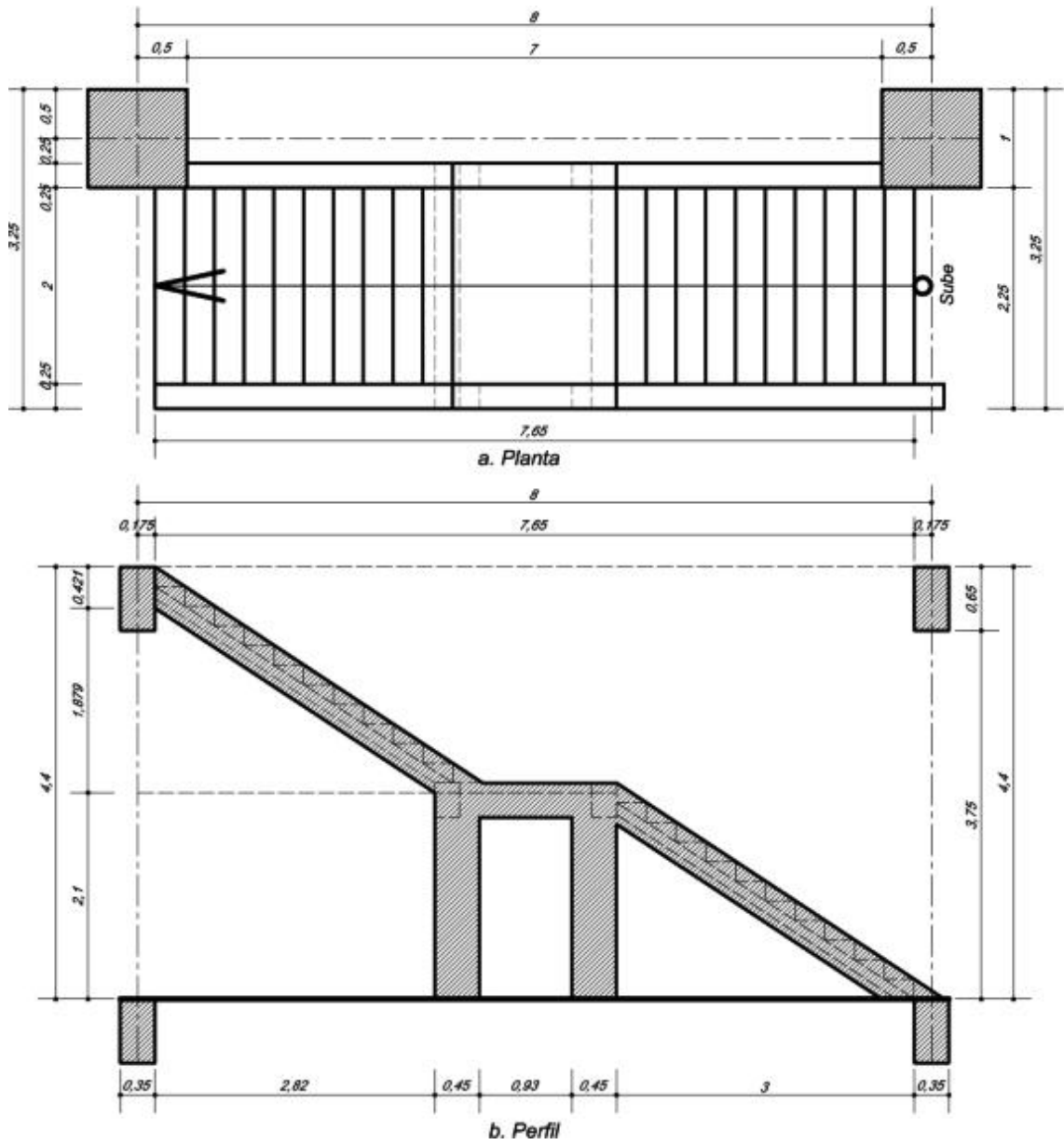
Tabla C.II. **Dimensiones de abertura equivalente de elementos vacíos en sistema de escalera apoyado transversalmente**

Elemento	Base <i>b</i> <i>m</i>	Altura <i>H</i> <i>m</i>	Área <i>A</i> <i>m</i> ²	<i>b_e' = b * A</i>	<i>H_e' = H * A</i>
1	6,75	3,78	25,508	172,181	96,396
2	2,82	0,32	0,902	2,545	0,289
3	0,42	2,00	0,840	0,353	1,680
4	0,93	0,07	0,066	0,061	0,005
5	0,33	0,11	0,036	0,012	0,004
6	0,09	0,12	0,011	0,001	0,001
Sumatoria				175,153	98,374

b_e = 6,980 m
H_e = 3,920 m

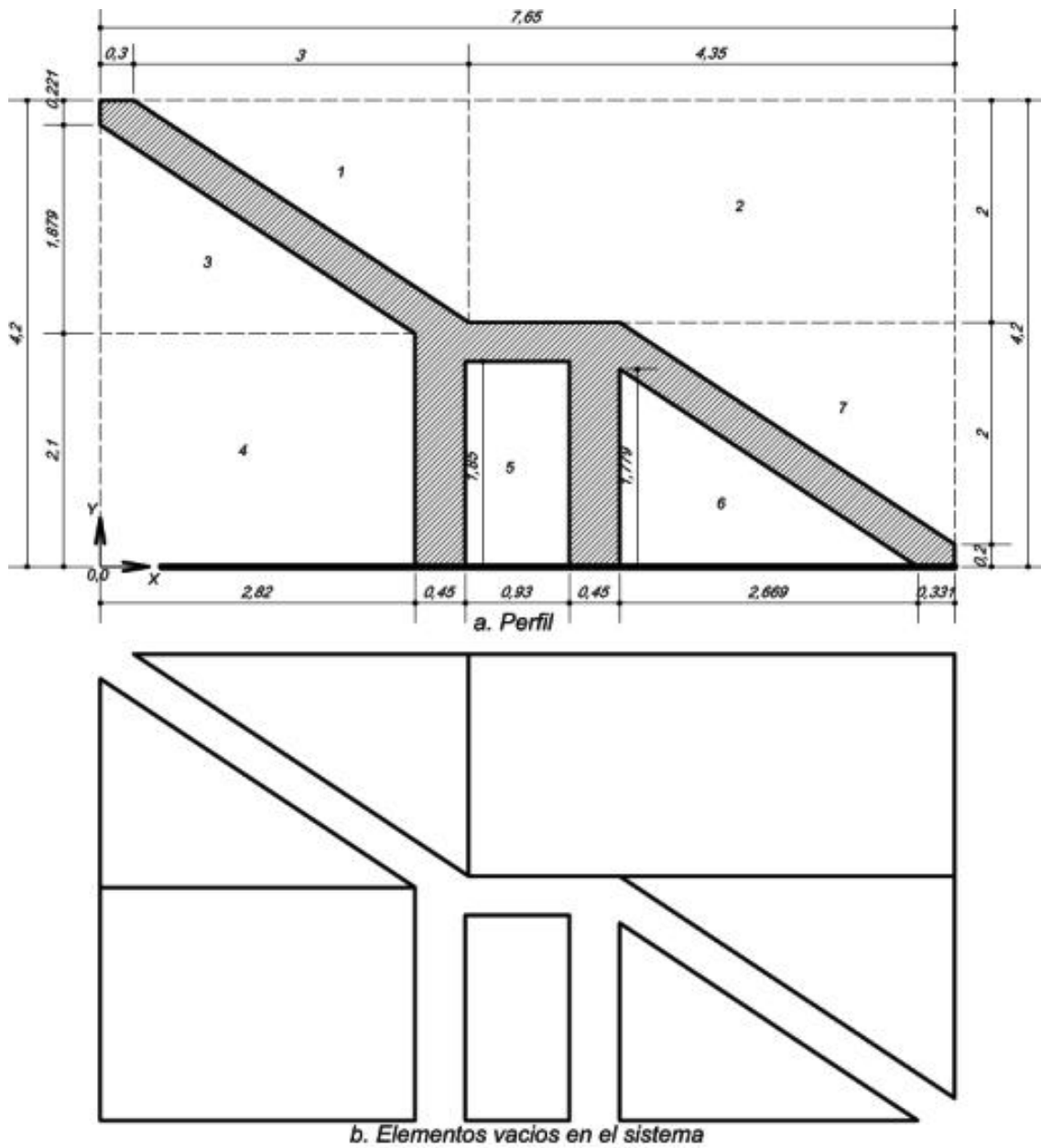
Fuente: elaboración propia.

Figura C.1. Sistema de escalera apoyado transversalmente en la edificación



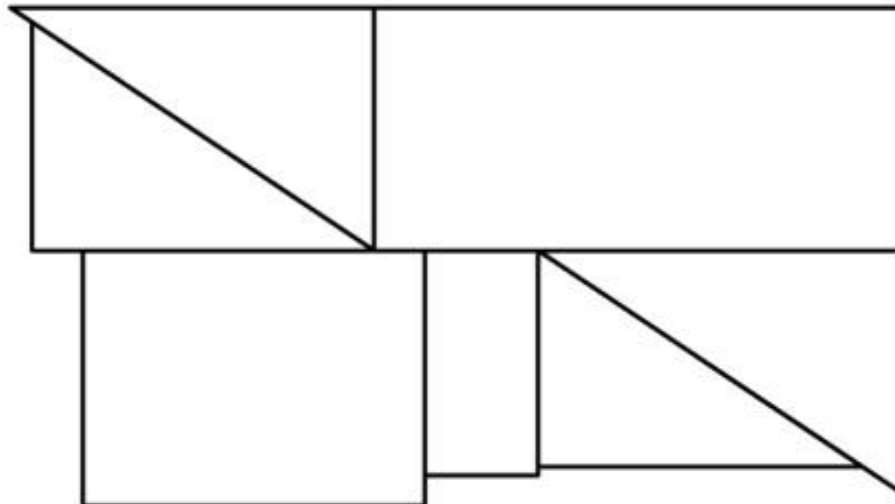
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura C.2. Elementos vacíos sistema de escalera apoyado transversalmente

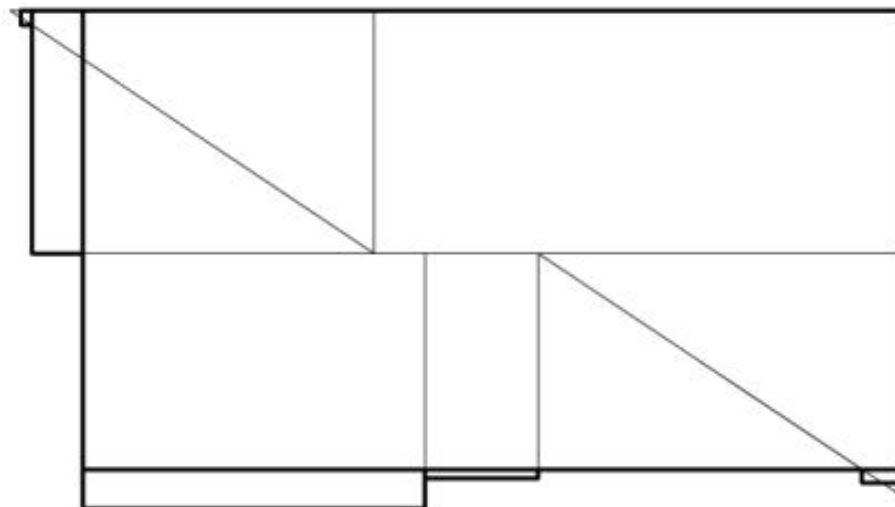


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura C.3. **Desplazamiento y unión de elementos vacíos sistema de escalera apoyado transversalmente**



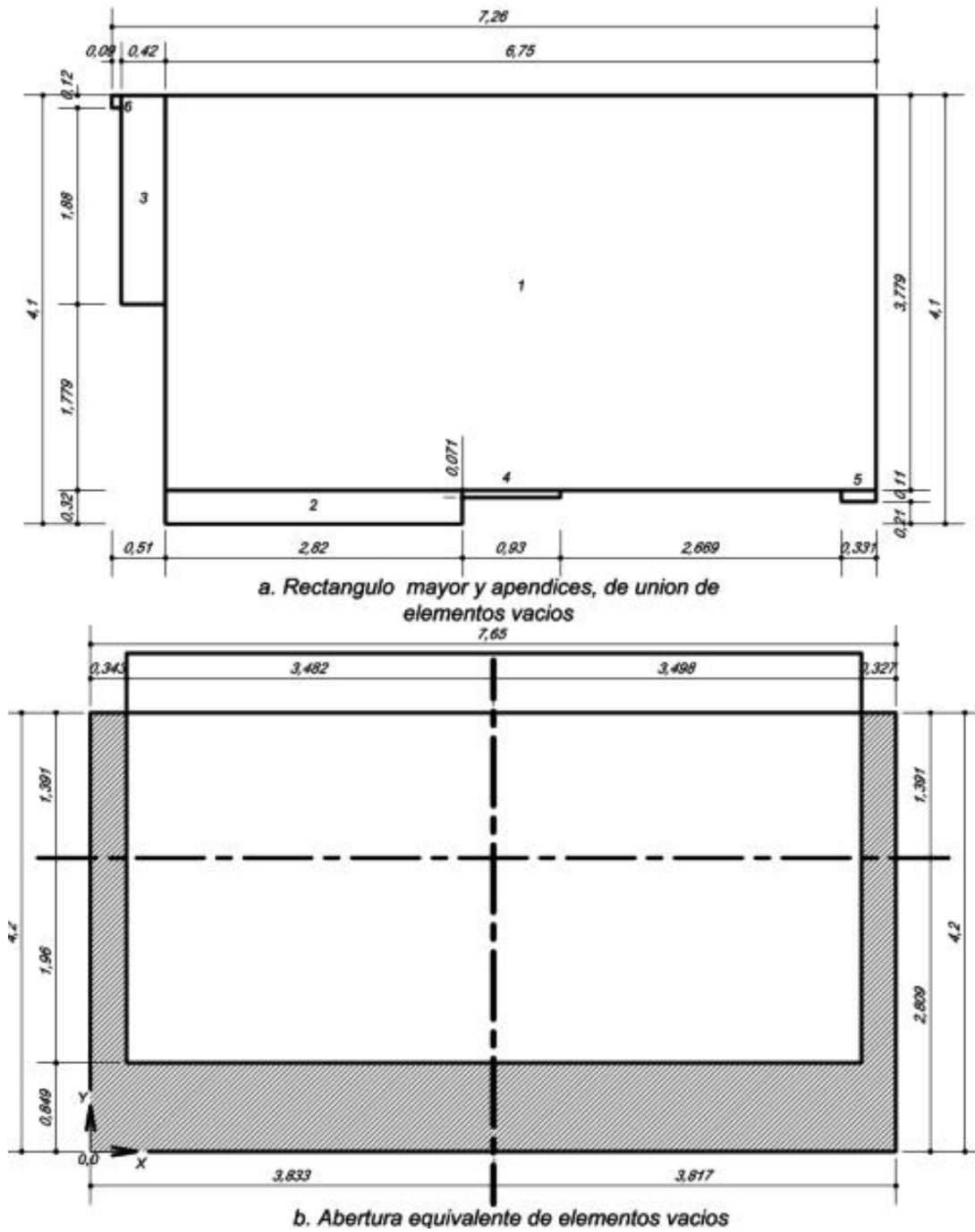
a. Desplazamiento de elementos vacíos



b. Unión de elementos vacíos

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura C.4. **Abertura equivalente de elementos vacíos sistema de escalera apoyado transversalmente**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

APÉNDICE D. INTEGRACIÓN DE CARGAS, DE ELEMENTOS EN EDIFICACIÓN, INDEPENDIENTE AL SISTEMA DE ESCALERA

Tabla D.I. **Peso de elementos en edificación, independiente al sistema de escalera**

Elemento	Calculo	Magnitud <i>kg</i>
Cargas muertas		
Losa techo y entrepisos	$0,09m(782m^2 - 49m^2 - 42m^2 - 2(2m * 7,65m)) \left(2\ 400 \frac{kg}{m^3} \right)$	142 646,40
Pañuelos, repello losa techo	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(2m * 7,65m)) \left(150 \frac{kg}{m^2} \right)$	99 060,00
Piso, relleno, entepiso	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(2m * 7,65m)) \left(150 \frac{kg}{m^2} \right)$	99 060,00
Sobrecarga losa techo	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(2m * 7,65m)) \left(25 \frac{kg}{m^2} \right)$	16 510,00
Sobrecarga losa entepiso	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(2m * 7,65m)) \left(30 \frac{kg}{m^2} \right)$	19 812,00
Viga principal	$261,05m(0,56m * 0,35m) \left(2\ 400 \frac{kg}{m^3} \right)$	122 797,92
Viga secundaria	$254,05m(0,41m * 0,30m) \left(2\ 400 \frac{kg}{m^3} \right)$	74 995,56
Sillar nivel 1, 2 y 3	$(1,00m * 154m) \left(45 \frac{kg}{m^2} \right)$	6 930,00
Vidrio nivel 4	$(1,875m * 154m) \left(25 \frac{kg}{m^2} \right)$	7 218,75
Vidrio nivel 2 y 3	$(2,75m * 154m) \left(25 \frac{kg}{m^2} \right)$	10 587,50
Vidrio nivel 1	$(3,625m * 154m) \left(25 \frac{kg}{m^2} \right)$	13 956,25
Columna nivel 4	$24(1,875m(1,00m * 1,00m)) \left(2\ 400 \frac{kg}{m^3} \right)$	108 000,00
Columna nivel 2 y 3	$24(3,75m(1,00m * 1,00m)) \left(2\ 400 \frac{kg}{m^3} \right)$	216 000,00
Columna nivel 1	$24(4,75m(1,00m * 1,00m)) \left(2\ 400 \frac{kg}{m^3} \right)$	273 600,00
Cargas Vivas		
Losa superior	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(2m * 7,65m)) \left(100 \frac{kg}{m^2} \right)$	66 040,00
Losa entepiso	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(2m * 7,65m)) \left(200 \frac{kg}{m^2} \right)$	132 080,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla D.II. **Peso de elementos influyentes al centro de masa en edificación, independiente al sistema de escalera**

Elemento	Calculo	Magnitud <i>kg/m²</i>
Losa nivel 4	$0,09m \left(2\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	216,00
Pañuelos, repello losa techo		150,00
Sobrecarga losa techo		25,00
Carga viva losa superior		100,00
Sumatoria carga losa superior	1,4D + 1,7L	717,40
Losa nivel 1, 2 y 3	$0,09m \left(2\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	216,00
Piso, relleno, entrepiso		150,00
Sobrecarga losa entrepiso		30,00
Carga viva losa entrepiso		200,00
Sumatoria carga losa entrepiso	1,4D + 1,7L	894,40

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE E. CÁLCULO ESTRUCTURAL POR SISMO, EN EDIFICACIÓN INDEPENDIENTE AL SISTEMA DE ESCALERA

- **Peso sísmico efectivo W_s**

Tabla E.I. **Peso en edificación, independiente al sistema de escalera**

Nivel	Carga muerta D <i>kg</i>	Carga viva L <i>kg</i>	$1,4D$ <i>kg</i>	$0,3L$ <i>kg</i>	U $= 1,4D + 0,3L$ <i>kg</i>
Nivel 4	571 228,63	66 040,00	799 720,08	19 812,00	819 532,08
Nivel 3	692 829,38	132 080,00	969 961,13	39 624,00	1 009 585,13
Nivel 2	692 829,38	132 080,00	969 961,13	39 624,00	1 009 585,13
Nivel 1	753 798,13	132 080,00	1 055 317,38	39 624,00	1 094 941,38
Sumatoria	2 710 685,52	462 280,00	3 794 959,73	138 684,00	3 933 643,73

Peso en edificación $W_s = 3 933 643,73kg \cong 3 933,64T$

Fuente: elaboración propia.

- **Cortante basal V_B**

$$V_B = W_s * C_s = 3 933,64T * 0,145 = 570,38T$$

- **Fuerza por piso**

$$F_x = V_B \left(\frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)} \right)$$

Tabla E.II. **Cortante F_x en edificación, independiente al sistema de escalera**

Nivel	$\frac{V_B}{T}$	$\frac{W_x}{T}$	$\frac{h_x}{m}$	k	$\frac{W_x h_x}{Tm}$	$\frac{F_x}{T}$
Nivel 4	570,38	819,53	17,60	1	14 424	198,47
Nivel 3	570,38	1 009,59	13,20	1	13 327	183,37
Nivel 2	570,38	1 009,59	8,80	1	8 884	122,25
Nivel 1	570,38	1 094,94	4,40	1	4 818	66,29
Sumatoria		3 933,64			41 452	570,38

Fuente: elaboración propia.

- **Rigidez de elementos**

Tabla E.III. **Rigidez de elementos en edificación, independiente al sistema de escalera**

Elemento	Rigidez $(K_y)E$	Rigidez $(K_x)E$
Columnas en voladizo	0,004501	0,004501
Columnas doblemente empotrado	0,015629	0,015629

Fuente: elaboración propia.

- **Fuerza por marco**

$$F_m = \left(\frac{K_{lm}}{K_{IT}} \right) F_x$$

Tabla E.IV. Fuerza por marco en edificación independiente al sistema de escalera

Nivel	$\frac{F_x}{T}$	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Rigidez lateral total de nivel (K_{ll})E	Fuerza por marco $\frac{F_m}{T}$
Eje 1, 2, 3, 4 y 5				
Nivel 4	198,47	0,018003	0,108017	33,08
Nivel 3	183,37	0,062515	0,375092	30,56
Nivel 2	122,25	0,062515	0,375092	20,37
Nivel 1	66,29	0,062515	0,375092	11,05
Eje 6				
Nivel 4	198,47	0,009001	0,108017	16,54
Nivel 3	183,37	0,031258	0,375092	15,28
Nivel 2	122,25	0,031258	0,375092	10,19
Nivel 1	66,29	0,031258	0,375092	5,52
Eje A, B, C y D				
Nivel 4	198,47	0,027004	0,108017	49,62
Nivel 3	183,37	0,093773	0,375092	45,84
Nivel 2	122,25	0,093773	0,375092	30,56
Nivel 1	66,29	0,093773	0,375092	16,57

Fuente: elaboración propia.

- **Centro de masa**

$$CM = \frac{Wd}{\sum W}$$

Tabla E.V. Centro de masa en edificación, independiente al sistema de escalera

Elemento	Distancia d m	Área m^2	Peso W kg/m^2	Peso W kg	Wd kgm
Nivel 4					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	491,00	383 962,00	6 527 354,00
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	491,00	-24 059,00	-228 560,50

Continuación de la tabla E.V.

Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	491,00	-7 512,30	-127 709,10
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	491,00	-20 622,00	-639 282,00
Sumatoria				331 768,70	5 531 802,40
Centro de masa	16,67				
Nivel 1, 2, y 3					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	596,00	466 072,00	7 923 224,00
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	596,00	-29 204,00	-277 438,00
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	596,00	-9 118,80	-155 019,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	596,00	-25 032,00	-775 992,00
Sumatoria				402 717,20	6 714 774,40
Centro de masa	16,67				

Centro de masa promedio = 16,67m

Fuente: elaboración propia.

- Centro de rigidez**

$$CR = \frac{K_{lm}d}{\sum K_{IT}}$$

Tabla E.VI. **Centro de rigidez en edificación, independiente al sistema de escalera**

Elemento	Número de elemento	Distancia d_x m	Rigidez elemento $(K_y)E$	Rigidez lateral de marco $(K_{lm})E$	$d_x * (K_{lm})E$
Nivel 4					
Columnas eje 1	4	0,00	0,004501	0,018003	0,000000
Columnas eje 2	4	6,00	0,004501	0,018003	0,108017
Columnas eje 3	4	13,00	0,004501	0,018003	0,234037
Sistema de escalera	0	0,00	0,000000	0,000000	0,000000
Columnas eje 4	4	21,00	0,004501	0,018003	0,378059
Columnas eje 5	4	28,00	0,004501	0,018003	0,504079
Columnas eje 6	4	34,00	0,004501	0,018003	0,612096
Sumatoria			0,027004	0,108017	1,836287
Centro de rigidez		17,00			

Continuación de la tabla E.VI.

Nivel 1, 2 y 3					
Columnas eje 1	4	0,00	0,015629	0,062515	0,000000
Columnas eje 2	4	6,00	0,015629	0,062515	0,375092
Columnas eje 3	4	13,00	0,015629	0,062515	0,812698
Sistema de escalera	0	0,00	0,000000	0,000000	0,000000
Columnas eje 4	4	21,00	0,015629	0,062515	1,312821
Columnas eje 5	4	28,00	0,015629	0,062515	1,750427
Columnas eje 6	4	34,00	0,015629	0,062515	2,125519
Sumatoria			0,093773	0,375092	6,376557
Centro de rigidez		17,00			

Centro de rigidez promedio = 17,00m

Fuente: elaboración propia.

- Excentricidad**

$$e_r = CM - CR$$

$$e_d = 1,5e_r + 0,1B$$

Tabla E.VII. **Excentricidad en edificación, independiente al sistema de escalera**

Dirección	Centro de masa <i>CM</i> <i>m</i>	Centro de rigidez <i>CR</i> <i>m</i>	Excentricidad real <i>e_r</i> <i>m</i>	Base análisis del edificio <i>B</i> <i>m</i>	Excentricidad de diseño <i>e_d</i> <i>m</i>	<i>CR</i> , posición modificado de forma <i>m</i>
Eje longitudinal X	16,67	17,00	0,33	23,00	2,79	19,79
Eje transversal Y	11,50	11,50	0,00	34,00	3,40	14,90

Fuente: elaboración propia.

- Torsión**

$$T = (\mp 30\%e_y \mp 100\%e_x) \sum (F_x)$$

$$T = (\mp 100\%e_y \mp 30\%e_x) \sum (F_x)$$

Tabla E.VIII. **Torsión en edificación, independiente al sistema de escalera**

Nivel	F_x T	F_x acumulado T	Torsión T $(+0,3e_y + e_x)\Sigma(F_x)$	Torsión T $(-0,3e_y + e_x)\Sigma(F_x)$	Torsión T $(+e_y + 0,3e_x)\Sigma(F_x)$	Torsión T $(+e_y - 0,3e_x)\Sigma(F_x)$
Nivel 4	198,47	198,47	756,07	351,19	840,88	508,71
Nivel 3	183,37	381,84	1 454,62	675,66	1 617,80	978,71
Nivel 2	122,25	504,09	1 920,32	891,98	2 135,74	1 292,05
Nivel 1	66,29	570,38	2 172,85	1 009,28	2 416,61	1 461,97

Fuente: elaboración propia.

- Momento polar de inercia**

$$J = \sum K_{lmx} * d_y^2 + \sum K_{lmy} * d_x^2$$

Tabla E.IX. **Momento polar de inercia en edificación, independiente al sistema de escalera**

Eje	Rigidez lateral de marco $(K_{lm})E$	Distancia d m	d^2	$d^2 * (K_{lm})E$
Nivel 4				
Eje 1	0,018003	19,46	378,69	6,817514
Eje 2	0,018003	13,46	181,17	3,261598
Eje 3	0,018003	6,46	41,73	0,751286
Eje 4	0,018003	-1,54	2,37	0,042695
Eje 5	0,018003	-8,54	72,93	1,312974
Eje 6	0,009001	-14,54	211,41	1,903002
Eje A	0,027004	8,10	65,61	1,771747
Eje B	0,027004	0,10	0,01	0,000270
Eje C	0,027004	-6,90	47,61	1,285671
Eje D	0,027004	-14,90	222,01	5,995207
Momento polar de inercia				23,141964

Continuación de la tabla E.IX.

Nivel 1, 2 y 3				
Eje 1	0,062515	19,46	378,69	23,674005
Eje 2	0,062515	13,46	181,17	11,325990
Eje 3	0,062515	6,46	41,73	2,608862
Eje 4	0,062515	-1,54	2,37	0,148261
Eje 5	0,062515	-8,54	72,93	4,559338
Eje 6	0,031258	-14,54	211,41	6,608226
Eje A	0,093773	8,10	65,61	6,152440
Eje B	0,093773	0,10	0,01	0,000938
Eje C	0,093773	-6,90	47,61	4,464527
Eje D	0,093773	-14,90	222,01	20,818520
Momento polar de inercia				80,361107

Fuente: elaboración propia.

- **Deriva**

$$\Delta V = \frac{Td}{J} K_{lm}$$

Tabla E.X. **Deriva en edificación, independiente al sistema de escalera**

Eje	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Distancia d m	Torsión T T	Momento polar (J)E	Deriva ΔV T
Nivel 4					
Eje 1	0,018003	19,46	840,88	23,14	12,73
Eje 2	0,018003	13,46	840,88	23,14	8,80
Eje 3	0,018003	6,46	840,88	23,14	4,23
Eje 4	0,018003	-1,54	840,88	23,14	1,01
Eje 5	0,018003	-8,54	840,88	23,14	5,59
Eje 6	0,009001	-14,54	840,88	23,14	4,76
Eje A	0,027004	8,10	840,88	23,14	7,95
Eje B	0,027004	0,10	840,88	23,14	0,10

Continuación de la tabla E.X.

Eje C	0,027004	-6,90	840,88	23,14	6,77
Eje D	0,027004	-14,90	840,88	23,14	14,62
Nivel 3					
Eje 1	0,062515	19,46	1 617,80	80,36	24,49
Eje 2	0,062515	13,46	1 617,80	80,36	16,94
Eje 3	0,062515	6,46	1 617,80	80,36	8,13
Eje 4	0,062515	-1,54	1 617,80	80,36	1,94
Eje 5	0,062515	-8,54	1 617,80	80,36	10,75
Eje 6	0,031258	-14,54	1 617,80	80,36	9,15
Eje A	0,093773	8,10	1 617,80	80,36	15,29
Eje B	0,093773	0,10	1 617,80	80,36	0,19
Eje C	0,093773	-6,90	1 617,80	80,36	13,03
Eje D	0,093773	-14,90	1 617,80	80,36	28,13
Nivel 2					
Eje 1	0,062515	19,46	2 135,74	80,36	32,33
Eje 2	0,062515	13,46	2 135,74	80,36	22,36
Eje 3	0,062515	6,46	2 135,74	80,36	10,73
Eje 4	0,062515	-1,54	2 135,74	80,36	2,56
Eje 5	0,062515	-8,54	2 135,74	80,36	14,19
Eje 6	0,031258	-14,54	2 135,74	80,36	12,08
Eje A	0,093773	8,10	2 135,74	80,36	20,19
Eje B	0,093773	0,10	2 135,74	80,36	0,25
Eje C	0,093773	-6,90	2 135,74	80,36	17,20
Eje D	0,093773	-14,90	2 135,74	80,36	37,13
Nivel 1					
Eje 1	0,062515	19,46	2 416,61	80,36	36,58
Eje 2	0,062515	13,46	2 416,61	80,36	25,30
Eje 3	0,062515	6,46	2 416,61	80,36	12,14
Eje 4	0,062515	-1,54	2 416,61	80,36	2,90
Eje 5	0,062515	-8,54	2 416,61	80,36	16,05
Eje 6	0,031258	-14,54	2 416,61	80,36	13,67
Eje A	0,093773	8,10	2 416,61	80,36	22,84
Eje B	0,093773	0,10	2 416,61	80,36	0,28
Eje C	0,093773	-6,90	2 416,61	80,36	19,46
Eje D	0,093773	-14,90	2 416,61	80,36	42,02

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE F. CÁLCULO ESTRUCTURAL POR SISMO, EN EDIFICACIÓN CON SISTEMA DE ESCALERA SIMPLEMENTE APOYADO LONGITUDINALMENTE

- Peso de elementos en edificación**

Tabla F.I. **Peso de elementos del sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**

Elementos	Calculo	Magnitud <i>kg</i>
Nivel 4		
Peso de escalones	$10 \left(2,00m \left(\frac{1}{2} (0,30m * 0,2m) \right) \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	1 044,00
Losa inclinada	$10 \left(0,10m * 2,00m * \sqrt{(0,30m)^2 + (0,2m)^2} \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	1 731,00
Sobrecarga	$(2,00m * 10(0,30m)) \left(40 \frac{kg}{m^2} \right)$	240,00
Carga viva	$(2,00m * 10(0,30m)) \left(500 \frac{kg}{m^2} \right)$	3 000,00
Sumatoria carga nivel 4	1,4D+1,7L	9 32,00
Nivel 3 o 2		
Peso de escalones	$20 \left(2,00m \left(\frac{1}{2} (0,30m * 0,2m) \right) \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	2 880,00
Losa inclinada	$20 \left(0,10m * 2,00m * \sqrt{(0,30m)^2 + (0,2m)^2} \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	3 462,00
Losa descanso	$(0,10m * 2,00m * 1,35m) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	648,00
Columnas descanso	$4(1,85m * 0,20m * 0,45m) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	1 598,40
Vigas descanso	$2(2,00m * 0,35m * 0,25m + 1,35m * 0,35m * 0,20m) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	1 293,60
Sobrecarga	$(2,00m * 7,65m) \left(40 \frac{kg}{m^2} \right)$	612,00
Caga viva	$(2,00m * 7,65m) \left(500 \frac{kg}{m^2} \right)$	7 650,00
Sumatoria carga nivel 3 o 2	1,4D+1,7L	27 696,60
Nivel 1		
Peso de escalones	$24 \left(2,00m \left(\frac{1}{2} (0,30m * 0,2m) \right) \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	3 456,00
Losa inclinada	$24 \left(0,10m * 2,00m * \sqrt{(0,30m)^2 + (0,2m)^2} \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	4 154,40
Losa descanso	$2(0,10m * 2,00m * 1,35m) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	1 296,00

Continuación de la tabla F.I.

Columnas descanso	$4(2,50\text{m} * 0,20\text{m} * 0,45\text{m}) \left(2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	2 160,00
Vigas descanso	$4(2,00\text{m} * 0,35\text{m} * 0,25\text{m} + 1,35\text{m} * 0,35\text{m} * 0,20\text{m}) \left(2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	2 587,20
Sobrecarga	$(2,00\text{m} * 8,65\text{m}) \left(40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$	692,00
Carga viva	$(2,00\text{m} * 8,65\text{m}) \left(500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$	8 650,00
Sumatoria carga nivel 1	1,4D+1,7L	34 788,84

Fuente: elaboración propia.

- **Peso sísmico efectivo W_s**

Tabla F.II. **Peso en edificación, con sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**

Nivel	Carga muerta D kg	Carga viva L kg	$1,4D$ kg	$0,3L$ kg	U $= 1,4D + 0,3Lkg$
Nivel 4	577 258,63	72 040,00	808 162,08	21 612,00	829 774,08
Nivel 3	713 817,38	147 380,00	999 344,33	44 214,00	1 043 558,33
Nivel 2	713 817,38	147 380,00	999 344,33	44 214,00	1 043 558,33
Nivel 1	782 489,33	149 380,00	1 095 485,06	44 814,00	1 140 299,06
Sumatoria	278 7382,72	516 180,00	3 902 335,81	154 854,00	4 057 189,81

Peso en edificación $W_s = 4 057 189,81kg \cong 4 057,19 T$

Fuente: elaboración propia.

- **Cortante basal V_B**

$$V_B = W_s * C_s = 4 057,19T * 0,145 = 588,29T$$

- **Fuerza por piso**

$$F_x = V_B \left(\frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)} \right)$$

Tabla F.III. **Cortante F_x en edificación, con sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**

Nivel	$\frac{V_B}{T}$	$\frac{W_x}{T}$	$\frac{h_x}{m}$	k	$\frac{W_x h_x}{Tm}$	$\frac{F_x}{T}$
Nivel 4	588.29	829,77	17,60	1	14 604	201,77
Nivel 3	588.29	1043,56	13,20	1	13 775	190,32
Nivel 2	588.29	1043,56	8,80	1	9 183	126,88
Nivel 1	588.29	1140,30	4,40	1	5 017	69,32
Sumatoria		4057,19			42 580	588,29

Fuente: elaboración propia.

- **Rigidez de elementos**

Tabla F.IV. **Rigidez de elementos en edificación, con sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**

Elemento	Rigidez (K_y)E	Rigidez (K_x)E
Columnas en voladizo	0,004501	0,004501
Columnas doblemente empotrado	0,015629	0,015629

Fuente: elaboración propia.

- **Fuerza por marco**

$$F_m = \left(\frac{K_{lm}}{K_{IT}} \right) F_x$$

Tabla F.V. **Fuerza por marco en edificación, con sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**

Nivel	$\frac{F_x}{T}$	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Rigidez lateral total de nivel (K_{lt})E	Fuerza por marco $\frac{F_m}{T}$
Eje 1, 2, 4, 3 y 5				
Nivel 4	201,77	0,018003	0,108017	33,63
Nivel 3	190,32	0,062515	0,375092	31,72
Nivel 2	126,88	0,062515	0,375092	21,15
Nivel 1	69,32	0,062515	0,375092	11,55
Eje 6				
Nivel 4	201,77	0,009001	0,108017	16,81
Nivel 3	190,32	0,031258	0,375092	15,86
Nivel 2	126,88	0,031258	0,375092	10,57
Nivel 1	69,32	0,031258	0,375092	5,78
Eje A y D				
Nivel 4	201,77	0,027004	0,108017	50,44
Nivel 3	190,32	0,093773	0,375092	47,58
Nivel 2	126,88	0,093773	0,375092	31,72
Nivel 1	69,32	0,093773	0,375092	17,33

Fuente: elaboración propia.

- Centro de masa**

$$CM = \frac{Wd}{\sum W}$$

Tabla F.VI. **Centro de masa en edificación, con sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**

Elemento	Distancia d m	Área m^2	Peso W kg/m^2	Peso W kg	Wd kgm
Nivel 4					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	717,40	561 006,80	9 537 115,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	717,40	-35 152,60	-333 949,70

Continuación de la tabla F.VI.

Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	717,40	-10 976,22	-186 595,74
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	717,40	-30 130,80	-934 054,80
Sistema de escalera	14,67			18 642,00	273 554,57
Sumatoria				503 389,18	8 356 069,93
Centro de masa	16,60				
Nivel 2 o 3					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	894,40	699 420,80	11 890 153,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	894,40	-43 825,60	-416 343,20
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	894,40	-13 684,32	-232 633,44
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	894,40	-37 564,80	-1 164 508,80
Sistema de escalera	16,97			55 393,20	939 889,66
Sumatoria				659 739,28	11 016 557,82
Centro de Masa	16,70				
Nivel 1					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	894,40	699 420,80	11 890 153,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	894,40	-43 825,60	-416 343,20
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	894,40	-13 684,32	-232 633,44
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	894,40	-37 564,80	-1 164 508,80
Sistema de escalera	17,09			69 577,68	1 189 193,88
Sumatoria				673 923,76	11 265 862,04
Centro de masa	16,72				

Centro de masa promedio = 16,68m

Fuente: elaboración propia.

- **Centro de rigidez**

$$CR = \frac{K_{lm}d}{\sum K_{IT}}$$

Tabla F.VII. Centro de rigidez en edificación, con sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente

Elemento	Número de elemento	Distancia d_x m	Rigidez elemento $(K_y)E$	Rigidez lateral de marco $(K_{lm})E$	$d_x * (K_{lm})E$
Nivel 4					
Columnas	4	0,00	0,004501	0,018003	0,000000
Columnas	4	6,00	0,004501	0,018003	0,108017
Columnas	4	13,00	0,004501	0,018003	0,234037
Sistema de escalera	0	0,00	0,000000	0,000000	0,000000
Columnas	4	21,00	0,004501	0,018003	0,378059
Columnas	4	28,00	0,004501	0,018003	0,504079
Columnas	4	34,00	0,004501	0,018003	0,612096
Sumatoria			0,027004	0,108017	1,836287
Centro de rigidez		17,00			
Nivel 1, 2, y 3					
Columnas	4	0,00	0,015629	0,062515	0,000000
Columnas	4	6,00	0,015629	0,062515	0,375092
Columnas	4	13,00	0,015629	0,062515	0,812698
Sistema de escalera	0	0,00	0,000000	0,000000	0,000000
Columnas	4	21,00	0,015629	0,062515	1,312821
Columnas	4	28,00	0,015629	0,062515	1,750427
Columnas	4	34,00	0,015629	0,062515	2,125519
Sumatoria			0,093773	0,375092	6,376557
Centro de rigidez		17,00			
Centro de rigidez promedio = 17,00m					

Fuente: elaboración propia.

- **Excentricidad**

$$e_r = CM - CR$$

$$e_d = 1,5e_r + 0,1B$$

Tabla F.VIII. **Excentricidad en edificación, con sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**

Dirección	Centro de masa <i>CM</i> <i>m</i>	Centro de rigidez <i>CR</i> <i>m</i>	Excentricidad real e_r <i>m</i>	Base análisis del edificio <i>B</i> <i>m</i>	Excentricidad de diseño e_d <i>m</i>	<i>CR</i> , posición modificado de forma <i>m</i>
Eje longitudinal X	16,68	17,00	0,32	23,00	2,78	19,78
Eje transversal Y	11,50	11,50	0,00	34,00	3,40	14,90

Fuente: elaboración propia.

- Torsión**

$$T = (\mp 30\%e_y \mp 100\%e_x) \sum (F_x)$$

$$T = (\mp 100\%e_y \mp 30\%e_x) \sum (F_x)$$

Tabla F.IX. **Torsión en edificación, con sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**

Nivel	F_x <i>T</i>	F_x acumulado <i>T</i>	Torsión <i>T</i> $(+0,3e_y + e_x)\sum(F_x)$	Torsión <i>T</i> $(-0,3e_y + e_x)\sum(F_x)$	Torsión <i>T</i> $(+e_y + 0,3e_x)\sum(F_x)$	Torsión <i>T</i> $(+e_y - 0,3e_x)\sum(F_x)$
Nivel 4	201,77	201,77	767,26	355,64	854,46	517,60
Nivel 3	190,32	392,09	1 490,96	691,09	1 660,42	1 005,81
Nivel 2	126,88	518,97	1 973,43	914,72	2 197,73	1 331,28
Nivel 1	69,32	588,29	2 237,02	1 036,91	2 491,28	1 509,10

Fuente: elaboración propia.

- Momento polar de inercia**

$$J = \sum K_{lmx} * d_y^2 + \sum K_{lmy} * d_x^2$$

Tabla F.X. **Momento polar de inercia en edificación, con sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente**

Eje	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Distancia d m	d^2	$d^2 * (K_{lm})E$
Nivel 4				
Eje 1	0,018003	19,41	376,75	6,78253
Eje 2	0,018003	13,41	179,83	3,23741
Eje 3	0,018003	6,41	41,09	0,73970
Eje 4	0,018003	-1,59	2,53	0,04551
Eje 5	0,018003	-8,59	73,79	1,32839
Eje 6	0,009001	-14,59	212,87	1,91611
Eje A	0,027004	8,10	65,61	1,77175
Eje B	0,027004	0,10	0,01	0,00027
Eje C	0,027004	-6,90	47,61	1,28567
Eje D	0,027004	-14,90	222,01	5,99521
Momento polar de inercia				23,10255
Nivel 1, 2 y 3				
Eje 1	0,062515	19,41	376,75	23,55251
Eje 2	0,062515	13,41	179,83	11,24200
Eje 3	0,062515	6,41	41,09	2,56863
Eje 4	0,062515	-1,59	2,53	0,15804
Eje 5	0,062515	-8,59	73,79	4,61288
Eje 6	0,031258	-14,59	212,87	6,65375
Eje A	0,093773	8,10	65,61	6,15244
Eje B	0,093773	0,10	0,01	0,00094
Eje C	0,093773	-6,90	47,61	4,46453
Eje D	0,093773	-14,90	222,01	20,81852
Momento polar de inercia				80,22425

Fuente: elaboración propia.

- **Deriva**

$$\Delta V = \frac{Td}{J} K_{lm}$$

Tabla F.XI. Deriva en edificación, con sistema de escalera simplemente apoyado longitudinalmente

Eje	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Distancia d m	Torsión T T	Momento polar (J)E	Deriva ΔV T
Nivel 4					
Eje 1	0,01800	19,41	854,46	23,10	12,92
Eje 2	0,01800	13,41	854,46	23,10	8,93
Eje 3	0,01800	6,41	854,46	23,10	4,27
Eje 4	0,01800	-1,59	854,46	23,10	1,06
Eje 5	0,01800	-8,59	854,46	23,10	5,72
Eje 6	0,00900	-14,59	854,46	23,10	4,86
Eje A	0,02700	8,10	854,46	23,10	8,09
Eje B	0,02700	0,10	854,46	23,10	0,10
Eje C	0,02700	-6,90	854,46	23,10	6,89
Eje D	0,02700	-14,90	854,46	23,10	14,88
Nivel 3					
Eje 1	0,06252	19,41	1 660,42	80,22	25,11
Eje 2	0,06252	13,41	1 660,42	80,22	17,35
Eje 3	0,06252	6,41	1 660,42	80,22	8,29
Eje 4	0,06252	-1,59	1 660,42	80,22	2,06
Eje 5	0,06252	-8,59	1 660,42	80,22	11,11
Eje 6	0,03126	-14,59	1 660,42	80,22	9,44
Eje A	0,09377	8,10	1 660,42	80,22	15,72
Eje B	0,09377	0,10	1 660,42	80,22	0,19
Eje C	0,09377	-6,90	1 660,42	80,22	13,39
Eje D	0,09377	-14,90	1 660,42	80,22	28,92
Nivel 2					
Eje 1	0,06252	19,41	2 197,73	80,22	33,24
Eje 2	0,06252	13,41	2 197,73	80,22	22,97
Eje 3	0,06252	6,41	2 197,73	80,22	10,98
Eje 4	0,06252	-1,59	2 197,73	80,22	2,72
Eje 5	0,06252	-8,59	2 197,73	80,22	14,71
Eje 6	0,03126	-14,59	2 197,73	80,22	12,49
Eje A	0,09377	8,10	2 197,73	80,22	20,81
Eje B	0,09377	0,10	2 197,73	80,22	0,26
Eje C	0,09377	-6,90	2 197,73	80,22	17,73
Eje D	0,09377	-14,90	2 197,73	80,22	38,28

Continuación de la tabla F.XI.

Nivel 1					
Eje 1	0,06252	19,41	2 491,28	80,22	37,68
Eje 2	0,06252	13,41	2 491,28	80,22	26,03
Eje 3	0,06252	6,41	2 491,28	80,22	12,44
Eje 4	0,06252	-1,59	2 491,28	80,22	3,09
Eje 5	0,06252	-8,59	2 491,28	80,22	16,68
Eje 6	0,03126	-14,59	2 491,28	80,22	14,16
Eje A	0,09377	8,10	2 491,28	80,22	23,59
Eje B	0,09377	0,10	2 491,28	80,22	0,29
Eje C	0,09377	-6,90	2 491,28	80,22	20,09
Eje D	0,09377	-14,90	2 491,28	80,22	43,39

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE G. CÁLCULO ESTRUCTURAL POR SISMO, EN EDIFICACIÓN CON SISTEMA DE ESCALERA ORTOPOLIGONAL CON EMPOTRAMIENTO LONGITUDINAL

- Peso de elementos en edificación**

Tabla G.I. **Peso de elementos del sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal**

Elementos	Calculo	Magnitud <i>kg</i>
Nivel 4		
Losa huella	$10(2,00m(0,30m * 0,13m)) \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)$	1 872,00
Losa contrahuella	$10(2,00m(0,20m * 0,13m)) \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)$	1 248,00
Sobrecarga	$(2,00m * 10(0,30m)) \left(40 \frac{kg}{m^2}\right)$	240,00
Carga viva	$(2,00m * 10(0,30m)) \left(500 \frac{kg}{m^2}\right)$	3 000,00
Sumatoria carga nivel 4	1,4D+1,7L	9 804,00
Nivel 3 y 2		
Losa huella	$20(2,00m(0,30m * 0,13m)) \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)$	3 744,00
Losa contrahuella	$20(2,00m(0,20m * 0,13m)) \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)$	2 496,00
Losa descanso	$(0,10m * 2,00m * 1,35m) \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)$	648,00
Columnas descanso	$4(1,85m * 0,20m * 0,45m) \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)$	1 598,40
Vigas descanso	$2(2,00m * 0,35m * 0,25m + 1,35m * 0,35m * 0,20m) \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)$	1 293,60
Sobrecarga	$(2,00m * 7,65m) \left(40 \frac{kg}{m^2}\right)$	612,00
Carga viva	$(2,00m * 7,65m) \left(500 \frac{kg}{m^2}\right)$	7 650,00
Sumatoria carga nivel 3 o 2	1,4D+1,7L	27 553,80
Nivel 1		
Losa huella	$24(2,00m(0,30m * 0,13m)) \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)$	4 492,80
Losa contrahuella	$24(2,00m(0,20m * 0,13m)) \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)$	2 995,20
Losa descanso	$2(0,10m * 2,00m * 1,35m) \left(2400 \frac{kg}{m^3}\right)$	1 296,00

Continuación de la tabla G.I.

Columnas descanso	$4(2,50\text{m} * 0,20\text{m} * 0,45\text{m}) \left(2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	2 160,00
Vigas descanso	$4(2,00\text{m} * 0,35\text{m} * 0,25\text{m} + 1,35\text{m} * 0,35\text{m} * 0,20\text{m}) \left(2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	2 587,20
Sobrecarga	$(2,00\text{m} * 8,65\text{m}) \left(40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$	692,00
Carga viva	$(2,00\text{m} * 8,65\text{m}) \left(500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$	8 650,00
Sumatoria carga nivel 1	1,4D+1,7L	34 617,48

Fuente: elaboración propia.

- **Peso sísmico efectivo W_s**

Tabla G.II. **Peso en edificación, con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal**

Nivel	Carga muerta D kg	Carga viva L kg	$1,4D$ kg	$0,3L$ kg	U $= 1,4D + 0,3Lkg$
Nivel 4	577 948,63	72 040,00	809 128,08	21 612,00	830 740,08
Nivel 3	713 613,38	147 380,00	999 058,73	44 214,00	1 043 272,73
Nivel 2	713 613,38	147 380,00	999 058,73	44 214,00	1 043 272,73
Nivel 1	782 244,53	149 380,00	1 095 142,34	44 814,00	1 139 956,34
Sumatoria	2 787 419,92	516 180,00	3 902 387,89	154 854,00	4 057 241,89

Peso en edificación $W_s = 4 057 241,89\text{kg} \cong 4 057,24T$

Fuente: elaboración propia.

- **Cortante basal V_B**

$$V_B = W_s * C_s = 4 057,24 * 0,145 = 588,30T$$

- **Fuerza por piso**

$$F_x = V_B \left(\frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)} \right)$$

Tabla G.III. Cortante F_x en edificación, con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal

Nivel	$\frac{V_B}{T}$	$\frac{W_x}{T}$	$\frac{h_x}{m}$	k	$\frac{W_x h_x}{Tm}$	$\frac{F_x}{T}$
Nivel 4	588,30	830,74	17,60	1	14 621	201,97
Nivel 3	588,30	1043,27	13,20	1	13 771	190,23
Nivel 2	588,30	1043,27	8,80	1	9 181	126,82
Nivel 1	588,30	1139,96	4,40	1	5 016	69,29
Sumatoria		4057,24			42 589	588,30

Fuente: elaboración propia.

- **Rigidez de elementos**

Tabla G.IV. Rigidez de elementos en edificación, con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal

Elemento	Rigidez $(K_y)E$	Rigidez $(K_y)E$
Columnas en voladizo	0,004501	0,004501
Columnas doblemente empotrado	0,015629	0,015629
Sistema de escalera		
Orto-poligonal, en voladizo	0,001847	0,009717
Orto-poligonal, doblemente empotrado	0,005699	0,011245

Fuente: elaboración propia.

- **Fuerza por marco**

$$F_m = \left(\frac{K_{lm}}{K_{IT}} \right) F_x$$

Tabla G.V. **Fuerza por marco en edificación, con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal**

Nivel	$\frac{F_x}{T}$	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Rigidez lateral total de nivel (K_{lr})E	Fuerza por marco $\frac{F_m}{T}$
Eje 1, 2, 3, 4 y 5				
Nivel 4	201,97	0,018003	0,111710	32,55
Nivel 3	190,23	0,062515	0,386489	30,77
Nivel 2	126,82	0,062515	0,386489	20,51
Nivel 1	69,29	0,062515	0,386489	11,21
Eje 6				
Nivel 4	201,97	0,009001	0,111710	16,27
Nivel 3	190,23	0,031258	0,386489	15,38
Nivel 2	126,82	0,031258	0,386489	10,26
Nivel 1	69,29	0,031258	0,386489	5,60
Sistema de escalera eje Y (Numeral)				
Nivel 4	201,97	0,001847	0,111710	3,34
Nivel 3	190,23	0,005699	0,386489	2,80
Nivel 2	126,82	0,005699	0,386489	1,87
Nivel 1	69,29	0,005699	0,386489	1,02
Eje A y D				
Nivel 4	201,97	0,027004	0,127450	42,79
Nivel 3	190,23	0,093773	0,397582	44,87
Nivel 2	126,82	0,093773	0,397582	29,91
Nivel 1	69,29	0,093773	0,397582	16,34
Eje B, C, y Sistema de escalera eje X (Literal)				
Nivel 4	201,97	0,036721	0,127450	58,19
Nivel 3	190,23	0,105018	0,397582	50,25
Nivel 2	126,82	0,105018	0,397582	33,50
Nivel 1	69,29	0,105018	0,397582	18,30

Fuente: elaboración propia.

- Centro de masa**

$$CM = \frac{Wd}{\sum W}$$

Tabla G.VI. Centro de masa en edificación, con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal

Elemento	Distancia d m	Área m^2	Peso W kg/m^2	Peso W kg	Wd kgm
Nivel 4					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	717,40	561 006,80	9 537 115,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	717,40	-35 152,60	-333 949,70
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	717,40	-10 976,22	-186 595,74
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	717,40	-30 130,80	-934 054,80
Sistema de escalera	14,67			19 608,00	287 680,73
Sumatoria				504 355,18	8 370 196,09
Centro de masa	16,60				
Nivel 2 o 3					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	894,40	699 420,80	11 890 153,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	894,40	-43 825,60	-416 343,20
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	894,40	-13 684,32	-232 633,44
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	894,40	-37 564,80	-1 164 508,80
Sistema de escalera	16,97			55 107,60	934 927,99
Sumatoria				659 453,68	11 011 596,15
Centro de Masa	16,70				
Nivel 1					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	894,40	699 420,80	11 890 153,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	894,40	-43 825,60	-416 343,20
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	894,40	-13 684,32	-232 633,44
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	894,40	-37 564,80	-1 164 508,80
Sistema de escalera	17,09			69 234,96	1 182 969,30
Sumatoria				673 581,04	11 259 637,46
Centro de masa	16,72				

Centro de masa promedio = 16,68m

Fuente: elaboración propia.

- **Centro de rigidez**

$$CR = \frac{K_{lm}d}{\sum K_{IT}}$$

Tabla G.VII. Centro de rigidez en edificación, con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal

Elemento	Número de elemento	Distancia d_x m	Rigidez elemento $(K_y)E$	Rigidez lateral de marco $(K_{lm})E$	$d_x * (K_{lm})E$
Nivel 4					
Columnas eje 1	4	0,00	0,004501	0,018003	0,000000
Columnas eje 2	4	6,00	0,004501	0,018003	0,108017
Columnas eje 3	4	13,00	0,004501	0,018003	0,234037
Sistema de escalera	2	16,97	0,001847	0,003693	0,062661
Columnas eje 4	4	21,00	0,004501	0,018003	0,378059
Columnas eje 5	4	28,00	0,004501	0,018003	0,504079
Columnas eje 6	4	34,00	0,004501	0,018003	0,612096
Sumatoria			0,028851	0,111710	1,898947
Centro de rigidez		17,00			
Nivel 1, 2 y 3					
Columnas eje 1	4	0,00	0,015629	0,062515	0,000000
Columnas eje 2	4	6,00	0,015629	0,062515	0,375092
Columnas eje 3	4	13,00	0,015629	0,062515	0,812698
Sistema de escalera	2	16,97	0,005699	0,011398	0,193366
Columnas eje 4	4	21,00	0,015629	0,062515	1,312821
Columnas eje 5	4	28,00	0,015629	0,062515	1,750427
Columnas eje 6	4	34,00	0,015629	0,062515	2,125519
Sumatoria			0,099472	0,386489	6,569923
Centro de rigidez		17,00			

Centro de rigidez promedio = 17,00m

Fuente: elaboración propia.

- Excentricidad**

$$e_r = CM - CR$$

$$e_d = 1,5e_r + 0,1B$$

Tabla G.VIII. **Excentricidad en edificación, con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal**

Dirección	Centro de masa CM m	Centro de rigidez CR m	Excentricidad real e_r m	Base análisis del edificio B m	Excentricidad de diseño e_d m	CR , posición modificado de forma m
Eje longitudinal X	16,68	17,00	0,32	23,00	2,78	19,78
Eje transversal Y	11,50	11,50	0,00	34,00	3,40	14,90

Fuente: elaboración propia.

- Torsión**

$$T = (\mp 30\%e_y \mp 100\%e_x) \sum (F_x)$$

$$T = (\mp 100\%e_y \mp 30\%e_x) \sum (F_x)$$

Tabla G.IX. **Torsión en edificación, con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal**

Nivel	F_x T	F_x acumulado T	Torsión T $(+0,3e_y + e_x)\sum(F_x)$	Torsión T $(-0,3e_y + e_x)\sum(F_x)$	Torsión T $(+e_y + 0,3e_x)\sum(F_x)$	Torsión T $(+e_y - 0,3e_x)\sum(F_x)$
Nivel 4	201,97	201,97	768,06	356,05	855,31	518,07
Nivel 3	190,23	392,20	1 491,49	691,41	1 660,90	1 006,03
Nivel 2	126,82	519,01	1 973,77	914,98	2 197,96	1 331,34
Nivel 1	69,29	588,30	2 237,25	1 037,12	2 491,38	1 509,06

Fuente: elaboración propia.

- Momento polar de inercia**

$$J = \sum K_{lmx} * d_y^2 + \sum K_{lmy} * d_x^2$$

Tabla G.X. **Momento polar de inercia en edificación, con sistema de escalera ortopoligonal con empotramiento longitudinal**

Eje	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Distancia d m	d^2	$d^2 * (K_{lm})E$
Nivel 4				
Eje 1	0,018003	19,41	376,75	6,782526
Eje 2	0,018003	13,41	179,83	3,237412
Eje 3	0,018003	6,41	41,09	0,739701
Eje 4	0,018003	-1,59	2,53	0,045513
Eje 5	0,018003	-8,59	73,79	1,328393
Eje 6	0,009001	-14,59	212,87	1,916112
2 Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,001847	2,44	5,95	0,021989
Eje A	0,027004	8,10	65,61	1,771747
Eje B	0,027004	0,10	0,01	0,000270
Eje C	0,027004	-6,90	47,61	1,285671
Eje D	0,027004	-14,90	222,01	5,995207
Sistema de escalera eje B	0,009717	1,60	2,56	0,024875
Sistema de escalera eje C	0,009717	-8,40	70,56	0,685610
Momento polar de inercia				23,835025
Nivel 1, 2 y 3				
Eje 1	0,062515	19,41	376,75	23,552506
Eje 2	0,062515	13,41	179,83	11,242001
Eje 3	0,062515	6,41	41,09	2,568633
Eje 4	0,062515	-1,59	2,53	0,158045
Eje 5	0,062515	-8,59	73,79	4,612882
Eje 6	0,031258	-14,59	212,87	6,653753
2 Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,005699	2,44	5,95	0,067857
Eje A	0,093773	8,10	65,61	6,152440
Eje B	0,093773	0,10	0,01	0,000938
Eje C	0,093773	-6,90	47,61	4,464527
Eje D	0,093773	-14,90	222,01	20,818520
Sistema de escalera eje B	0,011245	1,60	2,56	0,028788
Sistema de escalera eje C	0,011245	-8,40	70,56	0,793463
Momento polar de inercia				81,114353

Fuente: elaboración propia.

- **Deriva**

$$\Delta V = \frac{Td}{J} K_{lm}$$

Tabla G.XI. **Deriva en edificación, con sistema de escalera ortopolygonal con empotramiento longitudinal**

Eje	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Distancia d m	Torsión T T	Momento polar (J)E	Deriva ΔV T
Nivel 4					
Eje 1	0,018003	19,41	855,31	23,84	12,54
Eje 2	0,018003	13,41	855,31	23,84	8,66
Eje 3	0,018003	6,41	855,31	23,84	4,14
Eje 4	0,018003	-1,59	855,31	23,84	1,03
Eje 5	0,018003	-8,59	855,31	23,84	5,55
Eje 6	0,009001	-14,59	855,31	23,84	4,71
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,001847	2,44	855,31	23,84	0,16
Eje A	0,027004	8,10	855,31	23,84	7,85
Eje B	0,027004	0,10	855,31	23,84	0,10
Eje C	0,027004	-6,90	855,31	23,84	6,69
Eje D	0,027004	-14,90	855,31	23,84	14,44
Sistema de escalera eje B	0,009717	1,60	855,31	23,84	0,56
Sistema de escalera eje C	0,009717	-8,40	855,31	23,84	2,93
Nivel 3					
Eje 1	0,062515	19,41	1 660,90	81,11	24,85
Eje 2	0,062515	13,41	1 660,90	81,11	17,17
Eje 3	0,062515	6,41	1 660,90	81,11	8,21
Eje 4	0,062515	-1,59	1 660,90	81,11	2,04
Eje 5	0,062515	-8,59	1 660,90	81,11	11,00
Eje 6	0,031258	-14,59	1 660,90	81,11	9,34
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,005699	2,44	1 660,90	81,11	0,28
Eje A	0,093773	8,10	1 660,90	81,11	15,55
Eje B	0,093773	0,10	1 660,90	81,11	0,19
Eje C	0,093773	-6,90	1 660,90	81,11	13,25
Eje D	0,093773	-14,90	1 660,90	81,11	28,61
Sistema de escalera eje B	0,011245	1,60	1 660,90	81,11	0,37
Sistema de escalera eje C	0,011245	-8,40	1 660,90	81,11	1,93

Continuación de la tabla G.XI.

Nivel 2					
Eje 1	0,062515	19,41	2 197,96	81,11	32,88
Eje 2	0,062515	13,41	2 197,96	81,11	22,72
Eje 3	0,062515	6,41	2 197,96	81,11	10,86
Eje 4	0,062515	-1,59	2 197,96	81,11	2,69
Eje 5	0,062515	-8,59	2 197,96	81,11	14,55
Eje 6	0,031258	-14,59	2 197,96	81,11	12,36
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,005699	2,44	2 197,96	81,11	0,38
Eje A	0,093773	8,10	2 197,96	81,11	20,58
Eje B	0,093773	0,10	2 197,96	81,11	0,25
Eje C	0,093773	-6,90	2 197,96	81,11	17,53
Eje D	0,093773	-14,90	2 197,96	81,11	37,86
Sistema de escalera eje B	0,011245	1,60	2 197,96	81,11	0,49
Sistema de escalera eje C	0,011245	-8,40	2 197,96	81,11	2,56
Nivel 1					
Eje 1	0,062515	19,41	2 491,38	81,11	37,27
Eje 2	0,062515	13,41	2 491,38	81,11	25,75
Eje 3	0,062515	6,41	2 491,38	81,11	12,31
Eje 4	0,062515	-1,59	2 491,38	81,11	3,05
Eje 5	0,062515	-8,59	2 491,38	81,11	16,49
Eje 6	0,031258	-14,59	2 491,38	81,11	14,01
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,005699	2,44	2 491,38	81,11	0,43
Eje A	0,093773	8,10	2 491,38	81,11	23,33
Eje B	0,093773	0,10	2 491,38	81,11	0,29
Eje C	0,093773	-6,90	2 491,38	81,11	19,87
Eje D	0,093773	-14,90	2 491,38	81,11	42,91
Sistema de escalera eje B	0,011245	1,60	2 491,38	81,11	0,55
Sistema de escalera eje C	0,011245	-8,40	2 491,38	81,11	2,90

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE H. CÁLCULO ESTRUCTURAL POR SISMO, EN EDIFICACIÓN CON SISTEMA DE ESCALERA APOYADO TRANSVERSALMENTE

- **Peso de elementos en edificación**

Tabla H.I. **Peso de elementos del sistema de escalera apoyado transversalmente**

Elementos	Calculo	Magnitud <i>kg</i>
Nivel 4		
Peso de escalones	$10 \left(2,00m \left(\frac{1}{2} (0,30m * 0,2m) \right) \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	1 044,00
Losa inclinada	$10 \left(0,10m * 2,00m * \sqrt{(0,30m)^2 + (0,2m)^2} \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	1 731,00
Sobrecarga	$(2,00m * 10(0,30m)) \left(40 \frac{kg}{m^2} \right)$	240,00
Vigas para empotrar escalón	$10 \left(2 \left(0,25m * 0,35m * \sqrt{(0,30m)^2 + (0,2m)^2} \right) \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	1 514,33
Carga viva	$(2,00m * 10(0,30m)) \left(500 \frac{kg}{m^2} \right)$	3 000,00
Sumatoria carga nivel 4	1,4D+1,7L	11 441,06
Nivel 3 y 2		
Peso de escalones	$20 \left(2,00m \left(\frac{1}{2} (0,30m * 0,2m) \right) \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	2 880,00
Losa inclinada	$20 \left(0,10m * 2,00m * \sqrt{(0,30m)^2 + (0,2m)^2} \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	3 462,00
Losa descanso	$(0,10m * 2,00m * 1,35m) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	648,00
Columnas descanso	$4(1,85m * 0,25m * 0,45m) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	1 998,00
Vigas descanso	$2(3,65m * 0,35m * 0,25m) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	1 533,00
Sobrecarga	$(2,00m * 7,65m) \left(40 \frac{kg}{m^2} \right)$	612,00
Vigas para empotrar escalón	$20 \left(2 \left(0,25m * 0,35m * \sqrt{(0,30m)^2 + (0,2m)^2} \right) \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	3 028,66
Carga viva	$(2,00m * 7,65m) \left(500 \frac{kg}{m^2} \right)$	7 650,00
Sumatoria carga nivel 3 o 2	1,4D+1,7L	32 831,32
Nivel 1		
Peso de escalones	$24 \left(2,00m \left(\frac{1}{2} (0,30m * 0,2m) \right) \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	3 456,00
Losa inclinada	$24 \left(0,10m * 2,00m * \sqrt{(0,30m)^2 + (0,2m)^2} \right) \left(2400 \frac{kg}{m^3} \right)$	4 154,40

Continuación de la tabla H.I.

Losas descanso	$2(0,10\text{m} * 2,00\text{m} * 1,35\text{m}) \left(2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	1 296,00
Columnas descanso	$4(2,50\text{m} * 0,25\text{m} * 0,45\text{m}) \left(2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	2 700,00
Vigas descanso	$4(3,65\text{m} * 0,35\text{m} * 0,25\text{m}) \left(2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	3 066,00
Sobrecarga	$(2,00\text{m} * 8,65\text{m}) \left(40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$	692,00
Vigas para empotrar escalón	$24 \left(2 \left(0,25\text{m} * 0,35\text{m} * \sqrt{(0,30\text{m})^2 + (0,2\text{m})^2} \right) \right) \left(2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$	3 634,39
Carga viva	$(2,00\text{m} * 8,65\text{m}) \left(500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right)$	8 650,00
Sumatoria carga nivel 1	1,4D+1,7L	41 303,31

Fuente: elaboración propia.

- **Peso sísmico efectivo W_s**

Tabla H.II. **Peso en edificación, con sistema de escalera apoyado transversalmente**

Nivel	Carga muerta D kg	Carga viva L kg	$1,4D$ kg	$0,3L$ kg	U $= 1,4D + 0,3L kg$
Nivel 4	580 977,29	72 040,00	813 368,21	21 612,00	834 980,21
Nivel 3	720 948,70	147 380,00	1 009 328,18	44 214,00	1 053 542,18
Nivel 2	720 948,70	147 380,00	1 009 328,18	44 214,00	1 053 542,18
Nivel 1	791 550,91	149 380,00	1 108 171,27	44 814,00	1 152 985,27
Sumatoria	2 814 425,60	516 180,00	3 940 195,84	154 854,00	4 095 049,84

Peso en edificación $W_s = 4 095 049,84 \cong 4 095,05T$

Fuente: elaboración propia.

- **Cortante basal V_B**

$$V_B = W_s * C_s = 4 095,05 * 0,145 = 593,78T$$

- **Fuerza por piso**

$$F_x = V_B \left(\frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)} \right)$$

Tabla H.III. **Cortante F_x en edificación, con sistema de escalera apoyado transversalmente**

Nivel	$\frac{V_B}{T}$	$\frac{W_x}{T}$	$\frac{h_x}{m}$	k	$\frac{W_x h_x}{Tm}$	$\frac{F_x}{T}$
Nivel 4	593,78	834,98	17,60	1	14 696	203,18
Nivel 3	593,78	1 052,49	13,20	1	13 907	192,28
Nivel 2	593,78	1 051,44	8,80	1	9 271	128,18
Nivel 1	593,78	1 149,54	4,40	1	5 073	70,14
Sumatoria		4 078,73			42 947	593,78

Fuente: elaboración propia.

- **Rigidez de elementos**

Tabla H.IV. **Rigidez de elementos en edificación, con sistema de escalera apoyado transversalmente**

Elemento	Rigidez (K_y)E	Rigidez (K_x)E
Columnas en voladizo	0,004501	0,004501
Columnas doblemente empotrado	0,015629	0,015629
Sistema de escalera		
Apoyado transversalmente en voladizo	0,006067	0,025207
Apoyado transversalmente doblemente empotrado	0,017012	0,028732

Fuente: elaboración propia.

- **Fuerza por marco**

$$F_m = \left(\frac{K_{lm}}{K_{lt}} \right) F_x$$

Tabla H.V. **Fuerza por marco en edificación, con sistema de escalera apoyado transversalmente**

Nivel	$\frac{F_x}{T}$	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Rigidez lateral total de nivel (K_{lt})E	Fuerza por marco $\frac{F_m}{T}$
Eje 1, 2, 3, 4 y 5				
Nivel 4	203,18	0,018003	0,120151	30,44
Nivel 3	192,28	0,062515	0,409116	29,38
Nivel 2	128,18	0,062515	0,409116	19,59
Nivel 1	70,14	0,062515	0,409116	10,72
Eje 6				
Nivel 4	203,18	0,009001	0,120151	15,22
Nivel 3	192,28	0,031258	0,409116	14,69
Nivel 2	128,18	0,031258	0,409116	9,79
Nivel 1	70,14	0,031258	0,409116	5,36
Sistema de escalera eje Y (Numeral)				
Nivel 4	203,18	0,006067	0,120151	10,26
Nivel 3	192,28	0,017012	0,409116	8,00
Nivel 2	128,18	0,017012	0,409116	5,33
Nivel 1	70,14	0,017012	0,409116	2,92
Eje A y D				
Nivel 4	203,18	0,027004	0,158431	34,63
Nivel 3	192,28	0,093773	0,432555	41,68
Nivel 2	128,18	0,093773	0,432555	27,79
Nivel 1	70,14	0,093773	0,432555	15,21
Eje B, C, y Sistema de escalera eje X (Literal)				
Nivel 4	203,18	0,052211	0,158431	66,96
Nivel 3	192,28	0,055736	0,432555	24,78
Nivel 2	128,18	0,055736	0,432555	16,52
Nivel 1	70,14	0,055736	0,432555	9,04

Fuente: elaboración propia.

- **Centro de masa**

$$CM = \frac{Wd}{\sum W}$$

Tabla H.VI. Centro de masa en edificación, con sistema de escalera apoyado transversalmente

Elemento	Distancia d m	Área m^2	Peso W kg/m^2	Peso W kg	Wd kgm
Nivel 4					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	717,40	561 006,80	9 537 115,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	717,40	-35 152,60	-333 949,70
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	717,40	-10 976,22	-186 595,74
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	717,40	-30 130,80	-934 054,80
Sistema de escalera	14,67			22 882,12	335 765,42
Sumatoria				507 629,30	8 418 280,78
Centro de masa	16,58				
Nivel 2 o 3					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	894,40	699 420,80	11 890 153,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	894,40	-43 825,60	-416 343,20
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	894,40	-13 684,32	-232 633,44
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	894,40	-37 564,80	-1 164 508,80
Sistema de escalera	16,97			65 662,65	1 114 295,14
Sumatoria				670 008,73	11 190 963,30
Centro de Masa	16,70				
Nivel 1					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	894,40	699 420,80	11 890 153,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	894,40	-43 825,60	-416 343,20
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	894,40	-13 684,32	-232 633,44
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	894,40	-37 564,80	-1 164 508,80
Sistema de escalera	17,10			82 606,61	1 412 944,79
Sumatoria				686 952,69	11 489 612,95
Centro de masa	16,73				

Centro de masa promedio = 16,68m

Fuente: elaboración propia.

- **Centro de rigidez**

$$CR = \frac{K_{Im}d}{\sum K_{IT}}$$

Tabla H.VII. Centro de rigidez en edificación, con sistema de escalera apoyado transversalmente

Elemento	Número de elemento	Distancia d_x m	Rigidez elemento $(K_y)E$	Rigidez lateral de marco $(K_{lm})E$	$d_x * (K_{lm})E$
Nivel 4					
Columnas eje 1	4	0,00	0,004501	0,018003	0,000000
Columnas eje 2	4	6,00	0,004501	0,018003	0,108017
Columnas eje 3	4	13,00	0,004501	0,018003	0,234037
Sistema de escalera	2	16,97	0,006067	0,012134	0,205920
Columnas eje 4	4	21,00	0,004501	0,018003	0,378059
Columnas eje 5	4	28,00	0,004501	0,018003	0,504079
Columnas eje 6	4	34,00	0,004501	0,018003	0,612096
Sumatoria			0,033071	0,120151	2,042207
Centro de rigidez		17,00			
Nivel 1, 2 y 3					
Columnas eje 1	4	0,00	0,015629	0,062515	0,000000
Columnas eje 2	4	6,00	0,015629	0,062515	0,375092
Columnas eje 3	4	13,00	0,015629	0,062515	0,812698
Sistema de escalera	2	16,97	0,017012	0,034025	0,577397
Columnas eje 4	4	21,00	0,015629	0,062515	1,312821
Columnas eje 5	4	28,00	0,015629	0,062515	1,750427
Columnas eje 6	4	34,00	0,015629	0,062515	2,125519
Sumatoria			0,110785	0,409116	6,953954
Centro de rigidez		17,00			

Centro de rigidez promedio = 17,00m

Fuente: elaboración propia.

- **Excentricidad**

$$e_r = CM - CR$$

$$e_d = 1,5e_r + 0,1B$$

Tabla H.VIII. **Excentricidad en edificación, con sistema de escalera apoyado transversalmente**

Dirección	Centro de masa CM m	Centro de rigidez CR m	Excentricidad real e_r m	Base análisis del edificio B m	Excentricidad de diseño e_d m	CR , posición modificado de forma m
Eje longitudinal X	16,68	17,00	0,32	23,00	2,78	19,78
Eje transversal Y	11,50	11,50	0,00	34,00	3,40	14,90

Fuente: elaboración propia.

- Torsión**

$$T = (\mp 30\%e_y \mp 100\%e_x) \sum (F_x)$$

$$T = (\mp 100\%e_y \mp 30\%e_x) \sum (F_x)$$

Tabla H.IX. **Torsión en edificación, con sistema de escalera apoyado transversalmente**

Nivel	F_x T	F_x acumulado T	Torsión T $(+0,3e_y + e_x)\sum(F_x)$	Torsión T $(-0,3e_y + e_x)\sum(F_x)$	Torsión T $(+e_y + 0,3e_x)\sum(F_x)$	Torsión T $(+e_y - 0,3e_x)\sum(F_x)$
Nivel 4	203,18	203,18	771,72	357,22	860,16	521,48
Nivel 3	192,28	395,46	1 502,01	695,27	1 674,15	1 014,96
Nivel 2	128,18	523,64	1 988,87	920,64	2 216,80	1 343,95
Nivel 1	70,14	593,78	2 255,27	1 043,96	2 513,74	1 523,98

Fuente: elaboración propia.

- Momento polar de inercia**

$$J = \sum K_{lmx} * d_y^2 + \sum K_{lmy} * d_x^2$$

Tabla H.X. **Momento polar de inercia en edificación, con sistema de escalera apoyado transversalmente**

Eje	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Distancia d m	d^2	$d^2 * (K_{lm})E$
Nivel 4				
Eje 1	0,018003	19,42	377,14	6,789516
Eje 2	0,018003	13,42	180,10	3,242242
Eje 3	0,018003	6,42	41,22	0,742011
Eje 4	0,018003	-1,58	2,50	0,044942
Eje 5	0,018003	-8,58	73,62	1,325302
Eje 6	0,009001	-14,58	212,58	1,913487
2 Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,006067	2,45	6,00	0,072837
Eje A	0,027004	8,10	65,61	1,771747
Eje B	0,027004	0,10	0,01	0,000270
Eje C	0,027004	-6,90	47,61	1,285671
Eje D	0,027004	-14,90	222,01	5,995207
Sistema de escalera eje B	0,025207	1,60	2,56	0,064530
Sistema de escalera eje C	0,025207	-8,40	70,56	1,778603
Momento polar de inercia				25,026364
Nivel 1, 2 y 3				
Eje 1	0,062515	19,42	377,14	23,576781
Eje 2	0,062515	13,42	180,10	11,258774
Eje 3	0,062515	6,42	41,22	2,576654
Eje 4	0,062515	-1,58	2,50	0,156063
Eje 5	0,062515	-8,58	73,62	4,602149
Eje 6	0,031258	-14,58	212,58	6,644635
2 Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,017012	2,45	6,00	0,204233
Eje A	0,093773	8,10	65,61	6,152440
Eje B	0,093773	0,10	0,01	0,000938
Eje C	0,093773	-6,90	47,61	4,464527
Eje D	0,093773	-14,90	222,01	20,818520
Sistema de escalera eje B	0,028732	1,60	2,56	0,073554
Sistema de escalera eje C	0,028732	-8,40	70,56	2,027323
Momento polar de inercia				82,556589

Fuente: elaboración propia.

- **Deriva**

$$\Delta V = \frac{Td}{J} K_{lm}$$

Tabla H.XI. **Deriva en edificación, con sistema de escalera apoyado transversalmente**

Eje	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Distancia d m	Torsión T T	Momento polar (J)E	Deriva ΔV T
Nivel 4					
Eje 1	0,018003	19,41	860,16	25,03	12,01
Eje 2	0,018003	13,41	860,16	25,03	8,30
Eje 3	0,018003	6,41	860,16	25,03	3,97
Eje 4	0,018003	-1,59	860,16	25,03	0,98
Eje 5	0,018003	-8,59	860,16	25,03	5,32
Eje 6	0,009001	-14,59	860,16	25,03	4,51
Sistemas de escalera eje Y (Numeral)	0,006067	2,44	860,16	25,03	0,51
Eje A	0,027004	8,10	860,16	25,03	7,52
Eje B	0,027004	0,10	860,16	25,03	0,09
Eje C	0,027004	-6,90	860,16	25,03	6,40
Eje D	0,027004	-14,90	860,16	25,03	13,83
Sistema de escalera eje B	0,025207	1,60	860,16	25,03	1,39
Sistema de escalera eje C	0,025207	-8,40	860,16	25,03	7,28
Nivel 3					
Eje 1	0,062515	19,41	1 674,15	82,56	24,61
Eje 2	0,062515	13,41	1 674,15	82,56	17,00
Eje 3	0,062515	6,41	1 674,15	82,56	8,13
Eje 4	0,062515	-1,59	1 674,15	82,56	2,02
Eje 5	0,062515	-8,59	1 674,15	82,56	10,89
Eje 6	0,031258	-14,59	1 674,15	82,56	9,25
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,017012	2,44	1 674,15	82,56	0,84
Eje A	0,093773	8,10	1 674,15	82,56	15,40
Eje B	0,093773	0,10	1 674,15	82,56	0,19
Eje C	0,093773	-6,90	1 674,15	82,56	13,12
Eje D	0,093773	-14,90	1 674,15	82,56	28,33
Sistema de escalera eje B	0,028732	1,60	1 674,15	82,56	0,93
Sistema de escalera eje C	0,028732	-8,40	1 674,15	82,56	4,89

Continuación de la tabla H.XI.

Nivel 2						
Eje 1	0,062515	19,41	2 216,80	82,56	32,58	
Eje 2	0,062515	13,41	2 216,80	82,56	22,51	
Eje 3	0,062515	6,41	2 216,80	82,56	10,76	
Eje 4	0,062515	-1,59	2 216,80	82,56	2,67	
Eje 5	0,062515	-8,59	2 216,80	82,56	14,42	
Eje 6	0,031258	-14,59	2 216,80	82,56	12,25	
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,017012	2,44	2 216,80	82,56	1,11	
Eje A	0,093773	8,10	2 216,80	82,56	20,40	
Eje B	0,093773	0,10	2 216,80	82,56	0,25	
Eje C	0,093773	-6,90	2 216,80	82,56	17,37	
Eje D	0,093773	-14,90	2 216,80	82,56	37,52	
Sistema de escalera eje B	0,028732	1,60	2 216,80	82,56	1,23	
Sistema de escalera eje C	0,028732	-8,40	2 216,80	82,56	6,48	
Nivel 1						
Eje 1	0,062515	19,41	2 513,74	82,56	36,95	
Eje 2	0,062515	13,41	2 513,74	82,56	25,53	
Eje 3	0,062515	6,41	2 513,74	82,56	12,20	
Eje 4	0,062515	-1,59	2 513,74	82,56	3,03	
Eje 5	0,062515	-8,59	2 513,74	82,56	16,35	
Eje 6	0,031258	-14,59	2 513,74	82,56	13,89	
Sistema de escalera eje Y (Numeral)	0,017012	2,44	2 513,74	82,56	1,26	
Eje A	0,093773	8,10	2 513,74	82,56	23,13	
Eje B	0,093773	0,10	2 513,74	82,56	0,29	
Eje C	0,093773	-6,90	2 513,74	82,56	19,70	
Eje D	0,093773	-14,90	2 513,74	82,56	42,54	
Sistema de escalera eje B	0,028732	1,60	2 513,74	82,56	1,40	
Sistema de escalera eje C	0,028732	-8,40	2 513,74	82,56	7,35	

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE I. CÁLCULO ESTRUCTURAL POR SISMO, EN EDIFICACIÓN CON SISTEMA DE ESCALERA CON ESCALONES EN VOLADIZO

- **Peso de elementos en edificación**

Tabla I.I. **Peso de elementos de la edificación independiente al sistema de escalera con escalones en voladizo**

Elementos	Calculo	Magnitud <i>kg</i>
Cargas muertas		
Losa techo y entrepisos	$0,09m(782m^2 - 49m^2 - 42m^2 - 2(15,00m^2)) \left(2\,400 \frac{kg}{m^3}\right)$	142 776,00
Pañuelos, repello losa techo	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(15,00m^2)) \left(150 \frac{kg}{m^2}\right)$	99 150,00
Piso, relleno, entrepiso	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(15,00m^2)) \left(150 \frac{kg}{m^2}\right)$	99 150,00
Sobrecarga losa techo	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(15,00m^2)) \left(25 \frac{kg}{m^2}\right)$	16 525,00
Sobrecarga losa entrepiso	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(15,00m^2)) \left(30 \frac{kg}{m^2}\right)$	19 830,00
Viga principal	$261,05m(0,56m * 0,35m) \left(2\,400 \frac{kg}{m^3}\right)$	122 797,92
Viga secundaria	$250,255m(0,41m * 0,30m) \left(2\,400 \frac{kg}{m^3}\right)$	73 875,28
Sillar nivel 1, 2 y 3	$(1,00m * 154m) \left(45 \frac{kg}{m^2}\right)$	6 930,00
Vidrio nivel 4	$(1,875m * 154m) \left(25 \frac{kg}{m^2}\right)$	7 218,75
Vidrio nivel 2 y 3	$(2,75m * 154m) \left(25 \frac{kg}{m^2}\right)$	10 587,50
Vidrio nivel 1	$(3,625m * 154m) \left(25 \frac{kg}{m^2}\right)$	13 956,25
Columna nivel 4	$24(1,875m(1,00m * 1,00m)) \left(2\,400 \frac{kg}{m^3}\right)$	108 000,00
Columna nivel 2 y 3	$24(3,75m(1,00m * 1,00m)) \left(2\,400 \frac{kg}{m^3}\right)$	216 000,00
Columna nivel 1	$24(4,75m(1,00m * 1,00m)) \left(2\,400 \frac{kg}{m^3}\right)$	273 600,00
Cargas Vivas		
Losa superior	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(15,00m^2)) \left(100 \frac{kg}{m^2}\right)$	66 100,00
Losa entrepiso	$(34m * 23m - 7m * 7m - 6m * 7m - 2(15,00m^2)) \left(200 \frac{kg}{m^2}\right)$	132 200,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla I.II. **Peso de elementos del sistema de escalera con escalones en voladizo**

Elementos	Calculo	Magnitud <i>kg</i>
Nivel 4		
Columna central	$2(2,20\text{m}(\pi(0,60\text{m})^2))\left(2400\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	11 943,08
Escalones	$10(0,095\text{m}^3)\left(2400\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	2 280,00
Sobrecarga	$(6,31\text{m}^2)\left(40\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$	252,40
Carga viva	$(6,31\text{m}^2)\left(500\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$	3 155,00
Sumatoria carga nivel 4	1,4D+1,7L	26 011,37
Nivel 3 y 2		
Columna central	$2(4,40\text{m}(\pi(0,60\text{m})^2))\left(2400\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	23 886,16
Escalones	$20(0,095\text{m}^3)\left(2400\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	4 560,00
Descanso	$2(0,095\text{m}^3)\left(2400\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	456,00
Sobrecarga	$(15,00\text{m}^2)\left(40\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$	600,00
Carga viva	$(15,00\text{m}^2)\left(500\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$	7 500,00
Sumatoria carga nivel 3 o 2	1,4D+1,7L	54 053,02
Nivel 1		
Columna central	$2(5,40\text{m}(\pi(0,60\text{m})^2))\left(2400\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	29 314,83
Escalones	$24(0,095\text{m}^3)\left(2400\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	5 472,00
Descanso	$4(0,095\text{m}^3)\left(2400\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$	912,00
Sobrecarga	$(25,09\text{m}^2)\left(40\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$	1 003,60
Carga viva	$(25,09\text{m}^2)\left(500\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$	12 545,00
Sumatoria carga nivel 1	1,4D+1,7L	72 709,90

Fuente: elaboración propia.

- **Peso sísmico efectivo W_s**

Tabla I.III. **Peso en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo**

Nivel	Carga muerta D <i>kg</i>	Carga viva L <i>kg</i>	$1,4D$ <i>kg</i>	$0,3L$ <i>kg</i>	U $= 1,4D + 0,3L$ <i>kg</i>
Nivel 4	599 293,91	72 100,00	839 011,47	21 630,00	860 641,47
Nivel 3	750 951,02	147 200,00	1 051 331,43	44 160,00	1 095 491,43
Nivel 2	750 951,02	147 200,00	1 051 331,43	44 160,00	1 095 491,43
Nivel 1	826 320,31	157 290,00	1 156 848,43	47 187,00	1 204 035,43
Sumatoria	2 927 516,26	523 790,00	4 098 522,76	157 137,00	4 255 659,76

Peso en edificación $W_s = 4 255 659,76\text{kg} \cong 4 255,66T$

Fuente: elaboración propia.

- **Cortante basal V_B**

$$V_B = W_s * C_s = 4 255,66T * 0,145 = 617,07T$$

- **Fuerza por piso**

$$F_x = V_B \left(\frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)} \right)$$

Tabla I.IV. **Cortante F_x en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo**

Nivel	V_B <i>T</i>	W_x <i>T</i>	h_x <i>m</i>	k	$W_x h_x$ <i>Tm</i>	F_x <i>T</i>
Nivel 4	617,07	860,64	17,60	1	15 147	209,83
Nivel 3	617,07	1 094,40	13,20	1	14 460	200,31
Nivel 2	617,07	1 093,30	8,80	1	9 640	133,54
Nivel 1	617,07	1 200,43	4,40	1	5 298	73,39
Sumatoria		4 238,70			44 546	617,07

Fuente: elaboración propia.

- **Rigidez de elementos**

Tabla I.V. **Rigidez de elementos en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo**

Elemento	Rigidez (K_y)E	Rigidez (K_x)E
Columnas en voladizo	0,004501	0,004501
Columnas doblemente empotrado	0,015629	0,015629
Sistema de escalera		
Escalones en voladizo	0,018441	0,018441

Fuente: elaboración propia.

- **Fuerza por marco**

$$F_m = \left(\frac{K_{lm}}{K_{IT}} \right) F_x$$

Tabla I.VI. **Fuerza por marco en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo**

Nivel	$\frac{F_x}{T}$	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Rigidez lateral total de nivel (K_{IT})E	Fuerza por marco $\frac{F_m}{T}$
Eje 1, 2, 3, 4 y 5				
Nivel 4	209,83	0,018003	0,144900	26,07
Nivel 3	200,31	0,062515	0,411974	30,40
Nivel 2	133,54	0,062515	0,411974	20,26
Nivel 1	73,39	0,062515	0,411974	11,14
Eje 6				
Nivel 4	209,83	0,009001	0,144900	13,03
Nivel 3	200,31	0,031258	0,411974	15,20
Nivel 2	133,54	0,031258	0,411974	10,13
Nivel 1	73,39	0,031258	0,411974	5,57

Continuación de la tabla I.VI.

Sistema de escalera eje Y (Numeral)				
Nivel 4	209,83	0,018441	0,144900	26,70
Nivel 3	200,31	0,018441	0,411974	8,97
Nivel 2	133,54	0,018441	0,411974	5,98
Nivel 1	73,39	0,018441	0,411974	3,29
Eje A y D				
Nivel 4	209,83	0,027004	0,144900	39,10
Nivel 3	200,31	0,093773	0,411974	45,60
Nivel 2	133,54	0,093773	0,411974	30,40
Nivel 1	73,39	0,093773	0,411974	16,70
Eje B, C, y Sistema de escalera eje X (Literal)				
Nivel 4	209,83	0,045446	0,144900	65,81
Nivel 3	200,31	0,112214	0,411974	54,56
Nivel 2	133,54	0,112214	0,411974	36,37
Nivel 1	73,39	0,112214	0,411974	19,99

Fuente: elaboración propia.

- **Centro de masa**

$$CM = \frac{Wd}{\sum W}$$

Tabla I.VII. **Centro de masa en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo**

Elemento	Distancia <i>d</i> <i>m</i>	Área <i>m</i> ²	Peso <i>W</i> <i>kg/m</i> ²	Peso <i>W</i> <i>kg</i>	<i>Wd</i> <i>kgm</i>
Nivel 4					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	717,40	561 006,80	9 537 115,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	717,40	-35 152,60	-333 949,70
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	717,40	-10 976,22	-186 595,74
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	717,40	-30 130,80	-934 054,80
Sistema de escalera	17,05			52 022,74	886 998,19
Sumatoria				536 769,92	8 969 513,55
Centro de masa	16,71				

Continuación de la tabla I.VII.

Nivel 2 o 3					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	894,40	699 420,80	11 890 153,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	894,40	-43 825,60	-416 343,20
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	894,40	-13 684,32	-232 633,44
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	894,40	-37 564,80	-1 164 508,80
Sistema de escalera	16,86			108 106,05	1 822 830,13
Sumatoria				712 452,13	11 899 498,29
Centro de Masa	16,70				
Nivel 1					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	894,40	699 420,80	11 890 153,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	894,40	-43 825,60	-416 343,20
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	894,40	-13 684,32	-232 633,44
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	894,40	-37 564,80	-1 164 508,80
Sistema de escalera	16,80			145 419,80	2 443 605,30
Sumatoria				749 765,88	12 520 273,46
Centro de masa	16,70				

Centro de masa promedio = 16,70m

Fuente: elaboración propia.

● **Centro de rigidez**

$$CR = \frac{K_{lm}d}{\sum K_{lr}}$$

Tabla I.VIII. **Centro de rigidez en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo**

Elemento	Número de elemento	Distancia d_x m	Rigidez elemento $(K_y)E$	Rigidez lateral de marco $(K_{lm})E$	$d_x * (K_{lm})E$
Nivel 4					
Columnas eje 1	4	0,00	0,004501	0,018003	0,000000
Columnas eje 2	4	6,00	0,004501	0,018003	0,108017
Columnas eje 3	4	13,00	0,004501	0,018003	0,234037
Sistema de escalera	2	16,86	0,018441	0,036883	0,621898

Continuación de la tabla I.VIII.

Columnas eje 4	4	21,00	0,004501	0,018003	0,378059
Columnas eje 5	4	28,00	0,004501	0,018003	0,504079
Columnas eje 6	4	34,00	0,004501	0,018003	0,612096
Sumatoria			0,045446	0,144900	2,458185
Centro de rigidez		16,96			
Nivel 1, 2 y 3					
Columnas eje 1	4	0,00	0,015629	0,062515	0,000000
Columnas eje 2	4	6,00	0,015629	0,062515	0,375092
Columnas eje 3	4	13,00	0,015629	0,062515	0,812698
Sistema de escalera	2	16,86	0,018441	0,036883	0,621898
Columnas eje 4	4	21,00	0,015629	0,062515	1,312821
Columnas eje 5	4	28,00	0,015629	0,062515	1,750427
Columnas eje 6	4	34,00	0,015629	0,062515	2,125519
Sumatoria			0,112214	0,411974	6,998454
Centro de rigidez		16,99			

Centro de rigidez promedio = 16,97m

Fuente: elaboración propia.

- Excentricidad**

$$e_r = CM - CR$$

$$e_d = 1,5e_r + 0,1B$$

Tabla I.IX. **Excentricidad en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo**

Dirección	Centro de masa <i>CM</i> <i>m</i>	Centro de rigidez <i>CR</i> <i>m</i>	Excentricidad real e_r <i>m</i>	Base análisis del edificio <i>B</i> <i>m</i>	Excentricidad de diseño e_d <i>m</i>	<i>CR</i> , posición modificado de forma <i>m</i>
Eje longitudinal X	16,70	16,98	0,28	23,00	2,72	19,70
Eje transversal Y	11,50	11,50	0,00	34,00	3,40	14,90

Fuente: elaboración propia.

- **Torsión**

$$T = (\mp 30\%e_y \mp 100\%e_x) \sum (F_x)$$

$$T = (\mp 100\%e_y \mp 30\%e_x) \sum (F_x)$$

Tabla I.X. **Torsión en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo**

Nivel	F_x T	F_x acumulado T	Torsión T $(+0,3e_y + e_x)\Sigma(F_x)$	Torsión T $(-0,3e_y + e_x)\Sigma(F_x)$	Torsión T $(+e_y + 0,3e_x)\Sigma(F_x)$	Torsión T $(+e_y - 0,3e_x)\Sigma(F_x)$
Nivel 4	209,83	209,83	784,29	356,24	884,49	542,33
Nivel 3	200,31	410,14	1 533,02	696,34	1 728,88	1 060,08
Nivel 2	133,54	543,68	2 032,18	923,06	2 291,81	1 405,24
Nivel 1	73,39	617,07	2 306,49	1 047,66	2 601,16	1 594,92

Fuente: elaboración propia.

- **Momento polar de inercia**

$$J = \sum K_{lmx} * d_y^2 + \sum K_{lmy} * d_x^2$$

Tabla I.XI. **Momento polar de inercia en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo**

Eje	Rigidez lateral de marco $(K_{lm})E$	Distancia d m	d^2	$d^2 * (K_{lm})E$
Nivel 4				
Eje 1	0,018003	19,42	377,14	6,789516
Eje 2	0,018003	13,42	180,10	3,242242
Eje 3	0,018003	6,42	41,22	0,742011
Eje 4	0,018003	-1,58	2,50	0,044942
Eje 5	0,018003	-8,58	73,62	1,325302
Eje 6	0,009001	-14,58	212,58	1,913487
Eje A	0,027004	8,10	65,61	1,771747

Continuación de la tabla I.XI.

Eje B	0,045446	0,10	0,01	0,000454
Eje C	0,045446	-6,90	47,61	2,163664
Eje D	0,027004	-14,90	222,01	5,995207
Momento polar de inercia				23,988572
Nivel 1, 2 y 3				
Eje 1	0,062515	19,42	377,14	23,576781
Eje 2	0,062515	13,42	180,10	11,258774
Eje 3	0,062515	6,42	41,22	2,576654
Eje 4	0,062515	-1,58	2,50	0,156063
Eje 5	0,062515	-8,58	73,62	4,602149
Eje 6	0,031258	-14,58	212,58	6,644635
Eje A	0,093773	8,10	65,61	6,152440
Eje B	0,112214	0,10	0,01	0,001122
Eje C	0,112214	-6,90	47,61	5,342520
Eje D	0,093773	-14,90	222,01	20,818520
Momento polar de inercia				81,129657

Fuente: elaboración propia.

- **Deriva**

$$\Delta V = \frac{Td}{J} K_{lm}$$

Tabla I.XII. **Deriva en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo**

Eje	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Distancia d m	Torsión T T	Momento polar (J)E	Deriva ΔV T
Nivel 4					
Eje 1	0,018003	19,42	884,49	23,99	12,89
Eje 2	0,018003	13,42	884,49	23,99	8,91
Eje 3	0,018003	6,42	884,49	23,99	4,26
Eje 4	0,018003	-1,58	884,49	23,99	1,05

Continuación de la tabla I.XII.

Eje 5	0,018003	-8,58	884,49	23,99	5,70
Eje 6	0,009001	-14,58	884,49	23,99	4,84
Eje A	0,027004	8,10	884,49	23,99	8,07
Eje B	0,045446	0,10	884,49	23,99	0,17
Eje C	0,045446	-6,90	884,49	23,99	11,56
Eje D	0,027004	-14,90	884,49	23,99	14,84
Nivel 3					
Eje 1	0,062515	19,42	1 728,88	81,13	25,87
Eje 2	0,062515	13,42	1 728,88	81,13	17,88
Eje 3	0,062515	6,42	1 728,88	81,13	8,55
Eje 4	0,062515	-1,58	1 728,88	81,13	2,10
Eje 5	0,062515	-8,58	1 728,88	81,13	11,43
Eje 6	0,031258	-14,58	1 728,88	81,13	9,71
Eje A	0,093773	8,10	1 728,88	81,13	16,19
Eje B	0,112214	0,10	1 728,88	81,13	0,24
Eje C	0,112214	-6,90	1 728,88	81,13	16,50
Eje D	0,093773	-14,90	1 728,88	81,13	29,77
Nivel 2					
Eje 1	0,062515	19,42	2 291,81	81,13	34,30
Eje 2	0,062515	13,42	2 291,81	81,13	23,70
Eje 3	0,062515	6,42	2 291,81	81,13	11,34
Eje 4	0,062515	-1,58	2 291,81	81,13	2,79
Eje 5	0,062515	-8,58	2 291,81	81,13	15,15
Eje 6	0,031258	-14,58	2 291,81	81,13	12,87
Eje A	0,093773	8,10	2 291,81	81,13	21,46
Eje B	0,112214	0,10	2 291,81	81,13	0,32
Eje C	0,112214	-6,90	2 291,81	81,13	21,87
Eje D	0,093773	-14,90	2 291,81	81,13	39,47

Continuación de la tabla I.XII.

Nivel 1					
Eje 1	0,062515	19,42	2 601,16	81,13	38,92
Eje 2	0,062515	13,42	2 601,16	81,13	26,90
Eje 3	0,062515	6,42	2 601,16	81,13	12,87
Eje 4	0,062515	-1,58	2 601,16	81,13	3,17
Eje 5	0,062515	-8,58	2 601,16	81,13	17,20
Eje 6	0,031258	-14,58	2 601,16	81,13	14,61
Eje A	0,093773	8,10	2 601,16	81,13	24,35
Eje B	0,112214	0,10	2 601,16	81,13	0,36
Eje C	0,112214	-6,90	2 601,16	81,13	24,82
Eje D	0,093773	-14,90	2 601,16	81,13	44,80

Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE J. CÁLCULO ESTRUCTURAL POR SISMO, EN EDIFICACIÓN CON SISTEMA DE ESCALERA CON ESCALONES EN VOLADIZO UBICADO EN EL EXTREMO

Varias de las tablas utilizadas en esta sección, se describen en el apéndice I. Cuando exista relación con las tablas del apéndice I se mencionará, *ver tabla apéndice I, o ver apéndice I.*

- **Peso de elementos en edificación:** *Ver tabla apéndice I.*
- **Peso sísmico efectivo W_s :** *Ver tabla apéndice I.*
- **Cortante basal V_B :** *Ver apéndice I.*
- **Fuerza por piso:** *Ver tabla apéndice I.*
- **Rigidez de elementos:** *Ver tabla apéndice I.*

- **Fuerza por marco**

$$F_m = \left(\frac{K_{lm}}{K_{IT}} \right) F_x$$

Tabla J.I. **Fuerza por marco en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo ubicado en el extremo**

Nivel	$\frac{F_x}{T}$	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Rigidez lateral total de nivel (K_{IT})E	Fuerza por marco $\frac{F_m}{T}$
Eje 1, 2, 3, y 4				
Nivel 4	209,83	0,018003	0,144900	26,07
Nivel 3	200,31	0,062515	0,411974	30,40
Nivel 2	133,54	0,062515	0,411974	20,26
Nivel 1	73,39	0,062515	0,411974	11,14

Continuación de la tabla J.I.

Eje B, C, y Sistema de escalera				
eje X (Literal)				
Nivel 4	209,83	0,054886	0,144900	79,48
Nivel 3	200,31	0,099398	0,411974	48,33
Nivel 2	133,54	0,099398	0,411974	32,22
Nivel 1	73,39	0,099398	0,411974	17,71
Eje 6				
Nivel 4	209,83	0,009001	0,144900	13,03
Nivel 3	200,31	0,031258	0,411974	15,20
Nivel 2	133,54	0,031258	0,411974	10,13
Nivel 1	73,39	0,031258	0,411974	5,57
Eje A, B, C y D				
Nivel 4	209,83	0,027004	0,144900	39,10
Nivel 3	200,31	0,093773	0,411974	45,60
Nivel 2	133,54	0,093773	0,411974	30,40
Nivel 1	73,39	0,093773	0,411974	16,70

Fuente: elaboración propia.

- **Centro de masa**

$$CM = \frac{Wd}{\sum W}$$

Tabla J.II. **Centro de masa en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo ubicado en el extremo**

Elemento	Distancia <i>d</i> <i>m</i>	Área <i>m</i> ²	Peso <i>W</i> <i>kg/m</i> ²	Peso <i>W</i> <i>kg</i>	<i>Wd</i> <i>kgm</i>
Nivel 4					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	717,40	561 006,80	9 537 115,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	717,40	-35 152,60	-333 949,70
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	717,40	-10 976,22	-186 595,74
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	717,40	-30 130,80	-934 054,80
Sistema de escalera	28,05			52 022,74	1 459 248,37
Sumatoria				536 769,92	9 541 763,73

Continuación de la tabla J.II.

Centro de masa	17,78				
Nivel 2 o 3					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	894,40	699 420,80	11 890 153,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	894,40	-43 825,60	-416 343,20
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	894,40	-13 684,32	-232 633,44
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	894,40	-37 564,80	-1 164 508,80
Sistema de escalera	27,86			108 106,05	3 011 996,66
Sumatoria				712 452,13	13 088 664,82
Centro de Masa	18,37				
Nivel 1					
Losa entre ejes A-B y 1-2	17,00	782,00	894,40	699 420,80	11 890 153,60
Espacio vacío entre ejes B-C y 2-3	9,50	-49,00	894,40	-43 825,60	-416 343,20
Espacio vacío de gradas	17,00	-15,30	894,40	-13 684,32	-232 633,44
Espacio vacío entre ejes B-C y 5-6	31,00	-42,00	894,40	-37 564,80	-1 164 508,80
Sistema de escalera	27,80			145 419,80	4 043 223,15
Sumatoria				749 765,88	14 119 891,31
Centro de masa	18,83				

Centro de masa promedio = 18,34m

Fuente: elaboración propia.

- Centro de rigidez**

$$CR = \frac{K_{Im}d}{\sum K_{IT}}$$

Tabla J.III. **Centro de rigidez en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo ubicado en el extremo**

Elemento	Número de elemento	Distancia d_x m	Rigidez elemento $(K_y)E$	Rigidez lateral de marco $(K_{Im})E$	$d_x * (K_{Im})E$
Nivel 4					
Columnas eje 1	4	0,00	0,004501	0,018003	0,000000
Columnas eje 2	4	6,00	0,004501	0,018003	0,108017

Continuación de la tabla J.III.

Columnas eje 3	4	13,00	0,004501	0,018003	0,234037
Sistema de escalera	2	27,86	0,018441	0,036883	1,027607
Columnas eje 4	4	21,00	0,004501	0,018003	0,378059
Columnas eje 5	4	28,00	0,004501	0,018003	0,504079
Columnas eje 6	4	34,00	0,004501	0,018003	0,612096
Sumatoria			0,045446	0,144900	2,863894
Centro de rigidez		19,76			
Nivel 1, 2 y 3					
Columnas eje 1	4	0,00	0,015629	0,062515	0,000000
Columnas eje 2	4	6,00	0,015629	0,062515	0,375092
Columnas eje 3	4	13,00	0,015629	0,062515	0,812698
Sistema de escalera	2	27,86	0,018441	0,036883	1,027607
Columnas eje 4	4	21,00	0,015629	0,062515	1,312821
Columnas eje 5	4	28,00	0,015629	0,062515	1,750427
Columnas eje 6	4	34,00	0,015629	0,062515	2,125519
Sumatoria			0,112214	0,411974	7,404164
Centro de rigidez		17,97			

Centro de rigidez promedio = 18,42m

Fuente: elaboración propia.

- **Excentricidad**

$$e_r = CM - CR$$

$$e_d = 1,5e_r + 0,1B$$

Tabla J.IV. **Excentricidad en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo ubicado en el extremo**

Dirección	Centro de masa CM m	Centro de rigidez CR m	Excentricidad real e_r m	Base análisis del edificio B m	Excentricidad de diseño e_d m	CR , posición modificado de forma m
Eje longitudinal X	18,34	18,42	0,08	23,00	2,42	20,84
Eje transversal Y	11,50	11,50	0,00	34,00	3,40	14,90

Fuente: elaboración propia.

- Torsión**

$$T = (\mp 30\%e_y \mp 100\%e_x) \sum (F_x)$$

$$T = (\mp 100\%e_y \mp 30\%e_x) \sum (F_x)$$

Tabla J.V. **Torsión en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo ubicado en el extremo**

Nivel	F_x T	F_x acumulado T	Torsión T $(+0,3e_y + e_x)\sum(F_x)$	Torsión T $(-0,3e_y + e_x)\sum(F_x)$	Torsión T $(+e_y + 0,3e_x)\sum(F_x)$	Torsión T $(+e_y - 0,3e_x)\sum(F_x)$
Nivel 4	209,83	209,83	722,64	294,59	866,00	560,83
Nivel 3	200,31	410,14	1 412,52	575,83	1 692,73	1 096,23
Nivel 2	133,54	543,68	1 872,44	763,32	2 243,89	1 453,16
Nivel 1	73,39	617,07	2 125,18	866,36	2 546,77	1 649,31

Fuente: elaboración propia.

- Momento polar de inercia**

$$J = \sum K_{lmx} * d_y^2 + \sum K_{lmy} * d_x^2$$

Tabla J.VI. **Momento polar de inercia en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo ubicado en el extremo**

Eje	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Distancia d m	d^2	$d^2 * (K_{lm})E$
Nivel 4				
Eje 1	0,018003	20,76	430,98	7,758809
Eje 2	0,018003	14,76	217,86	3,922050
Eje 3	0,018003	7,76	60,22	1,084086
Eje 4	0,018003	-0,24	0,06	0,001037
Eje 5	0,054886	-7,24	52,42	2,876967
Eje 6	0,009001	-13,24	175,30	1,577925
Eje A	0,027004	8,10	65,61	1,771747
Eje B	0,027004	0,10	0,01	0,000270
Eje C	0,027004	-6,90	47,61	1,285671
Eje D	0,027004	-14,90	222,01	5,995207
Momento polar de inercia				26,273768
Nivel 1, 2 y 3				
Eje 1	0,062515	20,76	430,98	26,942678
Eje 2	0,062515	14,76	217,86	13,619425
Eje 3	0,062515	7,76	60,22	3,764519
Eje 4	0,062515	-0,24	0,06	0,003601
Eje 5	0,099398	-7,24	52,42	5,210203
Eje 6	0,031258	-13,24	175,30	5,479388
Eje A	0,093773	8,10	65,61	6,152440
Eje B	0,093773	0,10	0,01	0,000938
Eje C	0,093773	-6,90	47,61	4,464527
Eje D	0,093773	-14,90	222,01	20,818520
Momento polar de inercia				86,456238

Fuente: elaboración propia.

- **Deriva**

$$\Delta V = \frac{Td}{J} K_{lm}$$

Tabla J.VII. Deriva en edificación, con sistema de escalera con escalones en voladizo ubicado en el extremo

Eje	Rigidez lateral de marco (K_{lm})E	Distancia d m	Torsión T T	Momento polar (J)E	Deriva ΔV T
Nivel 4					
Eje 1	0,018003	20,76	866,00	26,27	12,32
Eje 2	0,018003	14,76	866,00	26,27	8,76
Eje 3	0,018003	7,76	866,00	26,27	4,60
Eje 4	0,018003	-0,24	866,00	26,27	0,14
Eje 5	0,054886	-7,24	866,00	26,27	13,10
Eje 6	0,009001	-13,24	866,00	26,27	3,93
Eje A	0,027004	8,10	866,00	26,27	7,21
Eje B	0,027004	0,10	866,00	26,27	0,09
Eje C	0,027004	-6,90	866,00	26,27	6,14
Eje D	0,027004	-14,90	866,00	26,27	13,26
Nivel 3					
Eje 1	0,062515	20,76	1 692,73	86,46	25,41
Eje 2	0,062515	14,76	1 692,73	86,46	18,07
Eje 3	0,062515	7,76	1 692,73	86,46	9,50
Eje 4	0,062515	-0,24	1 692,73	86,46	0,29
Eje 5	0,099398	-7,24	1 692,73	86,46	14,09
Eje 6	0,031258	-13,24	1 692,73	86,46	8,10
Eje A	0,093773	8,10	1 692,73	86,46	14,87
Eje B	0,093773	0,10	1 692,73	86,46	0,18
Eje C	0,093773	-6,90	1 692,73	86,46	12,67
Eje D	0,093773	-14,90	1 692,73	86,46	27,36
Nivel 2					
Eje 1	0,062515	20,76	2 243,89	86,46	33,68
Eje 2	0,062515	14,76	2 243,89	86,46	23,95
Eje 3	0,062515	7,76	2 243,89	86,46	12,59
Eje 4	0,062515	-0,24	2 243,89	86,46	0,39
Eje 5	0,099398	-7,24	2 243,89	86,46	18,68
Eje 6	0,031258	-13,24	2 243,89	86,46	10,74

Continuación de la tabla J.VII.

Eje A	0,093773	8,10	2 243,89	86,46	19,71
Eje B	0,093773	0,10	2 243,89	86,46	0,24
Eje C	0,093773	-6,90	2 243,89	86,46	16,79
Eje D	0,093773	-14,90	2 243,89	86,46	36,26
Nivel 1					
Eje 1	0,062515	20,76	2 546,77	86,46	38,23
Eje 2	0,062515	14,76	2 546,77	86,46	27,18
Eje 3	0,062515	7,76	2 546,77	86,46	14,29
Eje 4	0,062515	-0,24	2 546,77	86,46	0,44
Eje 5	0,099398	-7,24	2 546,77	86,46	21,20
Eje 6	0,031258	-13,24	2 546,77	86,46	12,19
Eje A	0,093773	8,10	2 546,77	86,46	22,37
Eje B	0,093773	0,10	2 546,77	86,46	0,28
Eje C	0,093773	-6,90	2 546,77	86,46	19,06
Eje D	0,093773	-14,90	2 546,77	86,46	41,16

Fuente: elaboración propia.

