



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE
SISTEMAS SISMO-RESISTENTES
DE ESTRUCTURAS DE ACERO
SPECIAL MOMENT FRAME
CON VIGAS VIERENDEEL**

Autor (es): Gutiérrez C., María L.

C.I.: 23.424.597

Matas B., Gerda M.

C.I.: 24.295.273

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego

Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS SISMO-
RESISTENTES DE ESTRUCTURAS DE ACERO SPECIAL
MOMENT FRAME CON VIGAS VIERENDEEL**

Proyecto del Trabajo de Grado para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Autor (es): Gerda M., Matas B.,

C.I.: 24.295.273

María L., Gutiérrez C.

C.I.: 23.424.597

Tutor(a): Ramón D., Mata L.

C.I.: 22728474

San Diego, enero 2017



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-TG-2017-ICR-048

Valencia, 13 de Enero de 2017.

Ciudadanas:

Gutiérrez María

C.I. 23.424.597

Matas Gerda

C.I. 24.295.273

Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 1-2017 de fecha 13/01/2017 aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS SISMORRESISTENTES DE ESTRUCTURAS DE ACERO SPECIAL MOMENT FRAME CON VIGAS VIERENDEEL.”** Presentado por ustedes como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Ramón Mata, C.I. 22.728.474 y la Ing. Alicia Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutotes Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Prof. Marlene Zambrano

Decana (Encargada) de la Facultad de Ingeniería
(C/502 de fecha 11/10/2016)



c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (2).
Archivo.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Ramón Mata, portador(a) de la cédula de identidad N° 22.728.474, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por las ciudadanas Gerda María Matas Benavides; María Laura Gutiérrez Castillo, portadoras de la cédula de identidad N° 24.295.273; 23.424.597, titulado **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS SISMO-RESISTENTES DE ESTRUCTURAS DE ACERO SPECIAL MOMENT FRAME CON VIGAS VIERENDEEL**, presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 11 días del mes de junio de 2017.

Ramón David, Mata Lemus

C.I.: 22.728.474



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

San Diego, 2016

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS SISMO-RESISTENTES DE ESTRUCTURAS DE ACERO SPECIAL MOMENT FRAME CON VIGAS VIERENDEEL”** ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Mata L. Ramón D.

Tutor Académico

Firma

Fecha

Ing. De Pizella Alicia

Tutor Metodológico

Firma

Fecha

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por darme la oportunidad de cumplir esta meta, por acompañarme en todos mis logros alcanzados y por darme la fortaleza en estos momentos para seguir adelante.

Agradezco en especial a mis padres Julio Matas (†) y Ma. Antonia Benavides, y a mis hermanos Helena Matas y Julio Matas, que siempre estuvieron apoyándome en cada paso de la carrera. A mis tíos Jorge Benavides y Eva Poskal, por ayudarme a empezar y cumplir esta meta; y a mi cuñado que es otro hermano Oscar Carvajal y sus papás Hernán Carvajal y Eglees Velásquez por ser otros padres.

También a Andrés Montaña, una persona que llegó a mi vida y en tan poco tiempo se convirtió en un pilar importante en mi carrera, y a su familia por dejarme formar parte de ella. Le doy gracias a mi tío Abraham Isaac, por ser un grandísimo apoyo y darme esos consejos y fuerzas para seguir adelante.

Tomás Robleto y Brenda Carrillo dos amigos que me acompañaron desde el curso introductorio y siempre estuvieron ahí a lo largo de la carrera. A mi compañera de tesis, amiga y hermana que me regalo la universidad Maria Laura Gutiérrez, que en toda la carrera tuvimos ese apoyo mutuo y que todos esos trasnochos y locuras valieron la pena, a sus papas Gonzalo Gutiérrez y Mercedes Castillo gracias por los consejos y experiencias que nos van a ayudar en un futuro, y a Jesús Manuel Gutiérrez por hacernos reír con tus chistes malos.

Y citando a mi primo Ing. Alberto Benavides (†) “Agradezco a aquellas personas que pensaron que nunca lo iba a lograr, que con sus críticas y malas energías generaron fortaleza en mí y que fueran parte de inspiración para alcanzar mis metas.”

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de grado a toda mi familia, en especial a mi papá, que, aunque te fuiste en un momento muy importante para mí, sé que siempre vas a estar conmigo acompañándome desde el cielo en este largo camino que me queda por aprender, eres el motor que me impulso para poder seguir adelante cuando sentía que ya no podía. Te extraño.

AGRADECIMIENTOS

Ante todo quiero dar gracias a Dios.

Quiero dar gracias a mis padres: Gonzalo Gutiérrez y Mercedes Castillo que a pesar de mi necesidad me han brindado todo el apoyo incondicional, guía, consejos y llamadas de atención, que a lo largo de los años han sido mis dos pilares en la vida, proporcionándome todo el cariño que se puede dar. A mi 2da madre, madrina, amiga, alcahuete Maribel Colina que estuvo siempre ahí para mí cuando lo necesitaba y cuando no también, dando ánimos y consejos como ella solo sabe. A mi hermano Jesús Manuel, por todo el apoyo brindado, chistes malos que lograron aligerar mi humor, además supo improvisar una maestría en Power Point cuando más lo necesitaba.

Gracias, gracias a Gerda Matas por ser amiga, consejera, compañera de dramas y de tertulias, pero más que todo esto una hermana del alma que la universidad me dió la oportunidad de tener, desde el inicio de este viaje, hasta la culminación del mismo, por estar siempre ahí cuando las cosas daban sus vueltas de 180° y compartir el mejor sarcasmo que se pueda tener. Gracias a su familia, por el apoyo y ánimos dado, se les quiere y ama como a mi propia familia.

Por otro lado, quiero dar las gracias a Alfredo Toledo, que sin él literalmente este trabajo no fuera lo que es ahora. Aunque la vida nos cruzó casi en la recta final de la carrera, el apoyo, alcahuetería y amistad bridada se iguala a los de décadas de relación. En fin, gracias por la paciencia y el hombro brindado cuando todo se colocaba gris. Agradezco a la vida a estas dos personas tan especiales, que por ellos tengo mi cabello intacto.

A mi querido Filomeno, por acompañarme y apoyarme en las madrugadas de mucho estrés con su forma tan particular de hacerlo: pasando por las teclas de la pc.

Gracias a mi tutor académico, Ing. Ramón Mata por su guía y consejos a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Por último, gracias a todas esas personas que aunque no pude nombrar, los tengo muy presentes con su apoyo y ánimos brindados.

GRACIAS

DEDICATORIA

A ti, que a pesar de permanecer en el anonimato, siempre fuiste espectador de mis logros y guía-guerrero en mis luchas contra el mal (sabes a lo que me refiero).

P.D: gracias por entender que si existen.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	pp.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN INFORMATIVO.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA.....	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo General.....	4
1.5 Alcance y limitaciones de la investigación.....	5
.....	7
MARCO TEÓRICO´.....	7
2.1 Antecedentes.....	7
2.2 Bases teóricas.....	10
2.2.1 Acero.....	11
2.2.2 Sismo.....	16
2.2.3 Diseño sísmico de pórticos de acero.....	18
2.2.4 Sistemas sismo-resistentes en acero.....	19
2.2.5 Evaluación de la ductilidad.....	22
2.2.6 Efectos de la deformación inelástica.....	22
2.2.7 Coeficiente de reducción de respuesta estructural, factor R.....	23
2.2.8 Factores de carga.....	24
2.2.9 Factores de resistencia.....	24
2.2.10 Método LRFD.....	24
2.2.11 Viga Vierendeel.....	25
2.2.12 Efecto de las vigas Vierendeel en los pórticos no arriostrados.....	33
2.2.13 Análisis dinámico modal.....	35
2.3 Bases legales.....	38
2.4 Definición de términos básicos.....	38

III MARCO METODOLÓGICO.....	41
3.1 Tipo de investigación.....	41
3.2 Diseño de la investigación	41
3.3 Nivel de la investigación	42
3.4 Población y muestra	42
3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	42
3.6 Fases Metodológicas.....	43
IV RECURSOS.....	46
4.1. Recursos Humanos	46
4.2. Recursos Institucionales	46
4.3. Materiales	46
4.4 Tiempo	46
RESULTADOS.....	48
5.1 Describir en que consiste los SMF y vigas Vierendeel	48
5.1.1 Sistemas Special Moment Frame.....	48
5.1.2. Vigas Vierendeel	49
5.2 Establecer una metodología de diseño de los SMF y vigas Vierendeel	50
5.2.1 Metodología de diseño de SMF	50
5.2.2 Metodología de diseño con las vigas Vierendeel	56
5.2.3 Modelo híbrido.....	67
5.3 Estimar los efectos de la acción sísmica.....	74
5.3.1 Características generales del modelo	74
5.3.2 Cargas aplicadas	74
5.3.3 Parámetros sísmicos	75
5.3.4 Valores de diseño	77
5.3.5 Combinación de efectos.....	78
5.3.6 Torsión adicional	78
5.3.7 Ejemplo de aplicación del Método Analisis Modal 3GL	79
5.3.8 Resultados de los efectos sísmicos	84

5.4 Efectuar el análisis comparativo entre los sistemas estructurales	122
5.4.1 Gráficos comparativos entre pisos	122
5.4.2 Gráficos comparativos entre los modelados.....	153
CONCLUSIONES	185
RECOMENDACIONES	188
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	pp.
FIGURA	
1 Diagrama de esfuerzo-deformación.....	16
2 Comportamiento histérico de cuatro pórticos de acero.	23
3 Ejemplo de fuerzas.	27
4 Funcionamiento de una Vierendeel 1	28
5 Funcionamiento de una Vierendeel 2	28
6 Funcionamiento de la Vierendeel 3	29
7 Funcionamiento de la Vierendeel 4	29
8 Funcionamiento de la Vierendeel 5	29
9 Montantes poco rígidos.....	30
10 Deformación de montantes poco rígidos	30
11 Montantes muy rígidos.....	30
12 Deformación de montantes muy rígidos	31
13 Estructura balanceada.....	31
14 Deformación de estructura balanceada	31
15 Vierendeel simple y múltiple	32
16 Vierendeel como dintel de pórtico o simplemente apoyada.	32
17 Eje central	32
18 Vierendeel en voladizo.....	33
19 Vierendeel con montantes de diferente sección	33
20 Modelo de estructura con viga de alma abierta.....	34
21 Panel nodal	34
22 Planta de techo de la edificación SMF..... ¡Error! Marcador no definido.	
23 Planta del entrespacio de la edificación SMF.....	55
24 Planta de techo de la edificación con panel Vierendeel 1m.....	59
25 Planta del entrespacio de la edificación con panel	59
26 Configuración de los pórticos con viga Vierendeel en la dirección X.....	60

27	Configuración de los pórticos con viga Vierendeel en la dirección Y.....	61
28	Planta de techo de la edificación con panel Vierendeel 2m.....	63
29	Planta de entrepiso de la edificación con panel Vierendeel 2m.....	64
30	Configuración de los pórticos con viga Vierendeel en la dirección Y.....	64
31	Configuración de los pórticos con viga Vierendeel en la dirección X.....	65
32	Planta de techo de la edificación híbrida con panel Vierendeel 1m	67
33	Planta de entrepiso de la edificación híbrida con panel Vierendeel 1m	68
34	Configuración de los pórticos con viga Vierendeel en la dirección Y.....	68
35	Planta de techo de la edificación híbrida con panel Vierendeel 2m	70
36	Planta de entrepiso de la edificación híbrida con panel Vierendeel 2m	71
37	Configuración de los pórticos con viga Vierendeel en la dirección Y.....	72

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CONTENIDO	pp.
GRÁFICAS	
1 Espectro de diseño.	77
2 Gráfica de resultados de corte basal SMF 2 pisos	84
3 Gráfica de resultados de corte basal SMF 4 pisos	85
4 Gráfica de resultados de corte basal SMF 6 pisos.	85
5 Gráfica de resultados de corte basal SMF 8 pisos.	86
6 Gráfica de resultados de corte basal SMF 10 pisos.	86
7 Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 1m 2 pisos.....	87
8 Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 1m 4 pisos.....	87
9 Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 1m 6 pisos.....	88
10 Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 1m 8 pisos.....	88
11 Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 1m 10 pisos.....	89
12 Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 2m 2 pisos.....	89
13 Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 2m 4 pisos.....	90
14 Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 2m 6 pisos.....	90
15 Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 2m 8 pisos.....	91
16 Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 2m 10 pisos.....	91
17 Gráfica de resultados de corte basal híbrido 1 m 2 pisos.....	92
18 Gráfica de resultados de corte basal híbrido 1 m 4 pisos.....	92
19 Gráfica de resultados de corte basal híbrido 1 m 6 pisos.....	93
20 Gráfica de resultados de corte basal híbrido 1 m 8 pisos.....	93
21 Gráfica de resultados de corte basal híbrido 1 m 10 pisos.....	94
22 Gráfica de resultados de corte basal híbrido 2 m 2 pisos.....	94
23 Gráfica de resultados de corte basal híbrido 2 m 4 pisos.....	95
24 Gráfica de resultados de corte basal híbrido 2 m 6 pisos.....	95
25 Gráfica de resultados de corte basal híbrido 2 m 8 pisos.....	96

26	Gráfica de resultados de corte basal híbrido 2 m 10 pisos.....	96
27	Gráfica de resultados de derivas SMF 2 pisos	97
28	Gráfica de resultados de derivas SMF 4 pisos.	97
29	Gráfica de resultados de derivas SMF 6 pisos.	98
30	Gráfica de resultados de derivas SMF 8 pisos.	98
31	Gráfica de resultados de derivas SMF 10 pisos.	99
32	Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 1m 2 pisos.....	99
33	Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 1m 4 pisos.....	100
34	Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 1m 6 pisos.....	100
35	Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 1m 8 pisos.....	101
36	Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 1m 10 pisos.....	101
37	Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 2 m 2 pisos.....	102
38	Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 2 m 4 pisos.....	102
39	Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 2 m 6 pisos.....	103
40	Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 2 m 8 pisos.....	103
41	Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 2 m 10 pisos.....	104
42	Gráfica de resultados de derivas híbrido 1 m 2 pisos.	104
43	Gráfica de resultados de derivas híbrido 1 m 4 pisos.	105
44	Gráfica de resultados de derivas híbrido 1 m 6 pisos.	105
45	Gráfica de resultados de derivas híbrido 1 m 8 pisos.1	106
46	Gráfica de resultados de derivas híbrido 1 m 10 pisos.....	106
47	Gráfica de resultados de derivas híbrido 2 m 2 pisos.	107
48	Gráfica de resultados de derivas híbrido 2 m 4 pisos.	107
49	Gráfica de resultados de derivas híbrido 2 m 6 pisos.	108
50	Gráfica de resultados de derivas híbrido 2 m 8 pisos.....	108
51	Gráfica de resultados de derivas híbrido 2 m 10 pisos.....	109
52	Gráfica de resultados de desplazamiento máximo SMF de 2 pisos.	109
53	Gráfica de resultados de desplazamiento máximo SMF de 4 pisos.....	110
54	Gráfica de resultados de desplazamiento máximo SMF de 6 pisos.....	110
55	Gráfica de resultados de desplazamiento máximo SMF de 8 pisos.....	111
56	Gráfica de resultados de desplazamiento máximo SMF de 4 pisos.....	111
57	Gráfica de resultados de desplazamiento con Vierendeel 1m de 2 pisos. 112	112
58	Gráfica de resultados de desplazamiento con Vierendeel 1m de 4 pisos. 112	112
59	Gráfica de resultados de desplazamiento con Vierendeel 1m de 6 pisos. 113	113
60	Gráfica de resultados de desplazamiento con Vierendeel 1m de 8 pisos. 113	113
61	Gráfica de resultados de desplazamiento con Vierendeel 1m de 10 pisos114	114
62	Gráfica de resultados de desplazamiento con Vierendeel 2m de 2 pisos. 114	114
63	Gráfica de resultados de desplazamiento con Vierendeel 2m de 4 pisos.. 115	115
64	Gráfica de resultados de desplazamiento on Vierendeel 2m de 6 pisos. . 115	115
65	Gráfica de resultados de desplazamiento con Vierendeel 2m de 8 pisos.. 116	116

66	Gráfica de resultados de desplazamiento con Vierendeel 2m de 10 pisos	116
67	Gráfica de resultados de desplazamiento híbrido de 1 m de 2 pisos.....	117
68	Gráfica de resultados de desplazamiento híbrido de 1 m de 4 pisos.....	117
69	Gráfica de resultados de desplazamiento híbrido de 1 m de 6 pisos.....	118
70	Gráfica de resultados de desplazamiento híbrido de 1 m de 8 pisos.....	118
71	Gráfica de resultados de desplazamiento híbrido de 1 m de 10 pisos.....	119
72	Gráfica de resultados de desplazamiento híbrido de 2 m de 2 pisos.....	119
73	Gráfica de resultados de desplazamiento híbrido de 2 m de 4 pisos.....	120
74	Gráfica de resultados de desplazamiento híbrido de 2 m de 6 pisos.....	120
75	Gráfica de resultados de desplazamiento híbrido de 2 m de 8 pisos.....	121
76	Gráfica de resultados de desplazamiento híbrido de 2 m de 10 pisos.....	121
77	Comparación de corte basal por pisos sistema SMF en barras.	122
78	Comparación de corte basal por pisos sistema SMF en dispersión.	123
79	Comparación de corte basal por pisos con Vierendeel 1m en barras.....	124
80	Comparación de corte basal por pisos con Vierendeel 1m en dispersión	125
81	Comparación de corte basal por pisos con Vierendeel 2m en barras.....	126
82	Comparación de corte basal por pisos con Vierendeel 2m en dispersión.	127
83	Comparación de corte basal por pisos híbrido 1m en barras.	129
84	Comparación de corte basal por pisos híbrido 1m en dispersión.....	130
85	Comparación de corte basal por pisos híbrido 2m en barras.	131
86	Comparación de corte basal por pisos híbrido 2m en dispersión.....	132
87	Comparación de derivas por pisos en sistema SMF en barras.....	133
88	Comparación de derivas por pisos en sistema SMF en dispersión	134
89	Comparación de derivas por pisos con Vierendeel 1m en barras.	135
90	Comparación de derivas por pisos con Vierendeel 1m en dispersión.....	136
91	Comparación de derivas por pisos con Vierendeel 2m en barras.	137
92	Comparación de derivas por pisos con Vierendeel 2m en dispersión.....	138
93	Comparación de derivas por pisos en sistema híbrido 1m en barras	139
94	Comparación de derivas por pisos en sistema híbrido 1m en dispersión.	140
95	Comparación de derivas por pisos en sistema híbrido 2m en barras	141
96	Comparación de derivas por pisos en sistema híbrido 2m en dispersión.	142
97	Comparación de desplazamientos por pisos en el sistema SMF	143
98	Comparación de desplazamientos por pisos en el sistema SMF.....	144
99	Comparación de desplazamientos por pisos Vierendeel 1m en barras	145
100	Comparación de desplazamientos por piso Vierendeel 1m en dispersión.	146
101	Comparación de desplazamientos por pisos Vierendeel 2m en barras. ...	147
102	Comparación de desplazamientos por pisos Vierendeel 2men dispersión.	148
103	Comparación de desplazamientos por pisos en híbrido 1m en barras.	149
104	Comparación de desplazamientos por pisos en híbrido 1m en dispersión	150
105	Comparación de desplazamientos por pisos en híbrido 2m en barras	151

106	Comparación de desplazamientos por pisos híbrido 2m en dispersión....	152
107	Comparación de corte basal en modelados de 2 pisos en barras.....	153
108	Comparación de corte basal en modelados de 2 pisos en dispersión	154
109	Comparación de corte basal en modelados de 4 pisos en barras.....	155
110	Comparación de corte basal en modelados de 4 pisos en dispersión	156
111	Comparación de corte basal en modelados de 6 pisos en barras.....	157
112	Comparación de corte basal en modelados de 6 pisos en dispersión	158
113	Comparación de corte basal en modelados de 8 pisos en barras.....	159
114	Comparación de corte basal en modelados de 8 pisos en dispersión.....	160
115	Comparación de corte basal en modelados de 10 pisos en barras.....	161
116	Comparación de corte basal en modelados de 10 pisos en dispersión	163
117	Comparación de derivas en modelados de 2 pisos en barras	164
118	Comparación de derivas en modelados de 4 pisos en barras.	166
119	Comparación de derivas en modelados de 4 pisos en dispersión.....	167
120	Comparación de derivas en modelados de 6 pisos.....	168
121	Comparación de derivas en modelados de 6 pisos en dispersión.....	169
122	Comparación de derivas en modelados de 8 pisos.....	170
123	Comparación de derivas en modelados de 8 pisos en dispersión.....	171
124	Comparación de derivas en modelados de 10 pisos en barras	172
125	Comparación de derivas en modelados de 10 pisos en dispersión.....	173
126	Comparación de los desplazamientos de 2 pisos en barras.....	174
127	Comparación de los desplazamientos de 2 pisos en dispersión.	175
128	Comparación de los desplazamientos de 4 pisos en barras.....	176
129	Comparación de los desplazamientos 4 pisos en dispersión.....	177
130	Comparación de los desplazamientos de 6 pisos en barras.....	178
131	Comparación de los desplazamientos de 6 pisos en dispersión.	179
132	Comparación de los desplazamientos de 8 pisos en barras.....	180
133	Comparación de los desplazamientos de 8 pisos en dispersión.	181
134	Comparación de los desplazamientos de 10 pisos en barras.....	182
135	Comparación de los desplazamientos de 10 pisos en dispersión.	183

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	pp.
TABLA	
1 Características del acero A36.....	14
2 Cronograma de actividades	47
3 Límites de relación ancho/espesor	54
4 Perfilera utilizada en la estructura SMF de 2 pisos.....	55
5 Perfilera utilizada en la estructura SMF de 4 pisos.....	55
6 Perfilera utilizada en la estructura SMF de 6 pisos.....	56

7	Perfilería utilizada en la estructura SMF de 8 pisos.....	56
8	Perfilería utilizada en la estructura SMF de 10 pisos.....	56
9	Perfilería utilizada en la estructura con Vierendeel 1m de 2 pisos	61
10	Perfilería utilizada en la estructura con Vierendeel 1m de 4 pisos	62
11	Perfilería utilizada en la estructura con Vierendeel 1m de 6 pisos	62
12	Perfilería utilizada en la estructura con Vierendeel 1m de 8 pisos	62
13	Perfilería utilizada en la estructura con Vierendeel 1m de 10 pisos	63
14	Perfilería utilizada en la estructura con Vierendeel 2m de 2 pisos.	65
15	Perfilería utilizada en la estructura con Vierendeel 2m de 4 pisos	66
16	Perfilería utilizada en la estructura con Vierendeel 2m de 6 pisos	66
17	Perfilería utilizada en la estructura con Vierendeel 2m de 8 pisos	66
18	Perfilería utilizada en la estructura con Vierendeel 2m de 10 pisos	67
19	Perfilería utilizada en la estructura híbrida 1m de 2 pisos	68
20	Perfilería utilizada en la estructura híbrida con Vierendeel 1m de 4 pisos	69
21	Perfilería utilizada en la estructura híbrida 1m de 6 pisos	69
22	Perfilería utilizada en la estructura híbrida 1m de 8 pisos	70
23	Perfilería utilizada en la estructura híbrida 1m de 10 pisos	70
24	Perfilería utilizada en la estructura híbrida 2m de 2 pisos	72
25	Perfilería utilizada en la estructura híbrida de 4 pisos	73
26	Perfilería utilizada en la estructura híbrida 2m de 6 pisos.	73
27	Perfilería utilizada en la estructura híbrida 2m de 8 pisos	73
28	Perfilería utilizada en la estructura híbrida 2m de 10 pisos	74
29	Tabla de cargas sobre la estructura	75
30	Definición de parámetros sísmicos según COVENIN 1756-2001.....	76
31	Definición del periodo fundamental según COVENIN 1756-2001	79
32	Fuerza cortante basal mínima según COVENIN 1756-2001.....	80
33	Chequeo de los cortes basales y deriva inelástica según norma	80
34	Verificación del coeficiente sísmico mínimo según norma.	81
35	Fuerza cortante basal mínima según COVENIN 1756-2001	81
36	Chequeo de los cortes basales y deriva inelástica según norma.	82
37	Verificación del coeficiente sísmico mínimo según norma.	82
38	Fuerza cortante basal mínima según COVENIN 1756-2001.....	83
39	Chequeo de los cortes basales y deriva inelástica según norma	83
40	Verificación del coeficiente sísmico mínimo según norma.	84
41	Tabla de cortes basales por pisos del sistema SMF en barras.....	122
42	Tabla de cortes basales por pisos del sistema SMF en dispersión	123
43	Cortes basales por pisos del sistema con Vierendeel 1m en barras.	124
44	Cortes basales por pisos del sistema Vierendeel 1m en dispersión.	125
45	Cortes basales por pisos del sistema Vierendeel 2m en barras.	126
46	Cortes basales por pisos del sistema Vierendeel 2m en dispersión.	127

47	Tabla de cortes basales por pisos del sistema híbrido 1m en barras.	128
48	Cortes basales por pisos del sistema híbrido 1m en dispersión.	129
49	Tabla de cortes basales por pisos del sistema híbrido 2m en barras.	130
50	Cortes basales por pisos del sistema híbrido 2m en dispersión.	132
51	Tabla de derivas inelásticas por pisos en sistema SMF en barras.	133
52	Tabla de derivas inelásticas por pisos en sistema SMF en dispersión.	134
53	Tabla de derivas inelásticas por pisos c Vierendeel 1m en barras.	135
54	Tabla de derivas inelásticas por pisos Vierendeel 1m en dispersión.	136
55	Tabla de derivas inelásticas por pisos Vierendeel 2m en barras.	137
56	Derivas inelásticas por pisos con Vierendeel 2m en dispersión.	138
57	Derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido 1m en barras.	139
58	Derivas por pisos en sistema híbrido 1m en dispersión.	140
59	Derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido 2m en barras.	141
60	Derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido 2m en dispersión.	142
61	Desplazamientos máximos por pisos en el sistema SMF en barras.	143
62	Desplazamientos por pisos en el sistema SMF en dispersión.	144
63	Desplazamientos por pisos con panel Vierendeel 1m en barras.	145
64	Desplazamientos máximos por pisos Vierendeel 1m en dispersión.	146
65	Desplazamientos máximos por pisos Vierendeel 2m en barras.	147
66	Desplazamientos máximos por pisos Vierendeel 2m en dispersión.	148
67	Desplazamientos por pisos en sistema híbrido 1m en barras.	149
68	Desplazamientos por pisos en sistema híbrido 1m en dispersión.	150
69	Desplazamientos máximos por pisos en sistema híbrido 2m en barras. ..	151
70	Desplazamientos por pisos en sistema híbrido 2m en dispersión.	152
71	Tabla de cortes basales y peso de cada modelado de 2 pisos.	153
72	Tabla de cortes basales de cada modelado de 2 pisos en dispersión.	154
73	Tabla de cortes basales de cada modelado de 4 pisos en barras.	155
74	Tabla de cortes basales de cada modelado de 4 pisos en dispersión.	155
75	Tabla de cortes basales de cada modelado de 6 pisos en barras.	156
76	Tabla de cortes basales de cada modelado de 6 pisos en dispersión.	157
77	Tabla de cortes basales de cada modelado de 8 pisos en barras.	158
78	Tabla de cortes basales de cada modelado de 8 pisos en dispersión.	159
79	Tabla de cortes basales de cada modelado de 10 pisos en barras.	161
80	Tabla de cortes basales de cada modelado de 10 pisos en dispersión.	161
81	Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 2 pisos en barras.	164
82	Derivas inelásticas de cada modelado de 2 pisos en dispersión.	164
83	Derivas inelásticas de cada modelado de 4 pisos en barras.	165
84	Derivas inelásticas de cada modelado de 4 pisos en dispersión.	166
85	Derivas inelásticas de cada modelado de 6 pisos en barras.	167
86	Derivas inelásticas de cada modelado de 6 pisos en dispersión.	168

87	Derivas inelásticas de cada modelado de 8 pisos en barras.	170
88	Derivas inelásticas de cada modelado de 8 pisos en barras	170
89	Derivas inelásticas de cada modelado de 10 pisos en barras	172
90	Derivas inelásticas de cada modelado de 10 pisos en dispersión.....	172
91	Desplazamientos máximos de cada modelado de 2 pisos en barras.	174
92	Desplazamientos de cada modelado de 2 pisos en dispersión	174
93	Desplazamientos máximos de cada modelado de 4 pisos en barras.	176
94	Desplazamientos de cada modelado de 4 pisos en dispersión.	176
95	Desplazamientos máximos de cada modelado de 6 pisos en barras.	177
96	Desplazamientos máximos de cada modelado de 6 pisos en dispersión..	178
97	Desplazamientos máximos de cada modelado de 8 pisos en barras.	179
98	Desplazamientos máximos de cada modelado de 8 pisos en dispersión. .	180
99	Desplazamientos máximos de cada modelado de 10 pisos en barras.	182
100	Desplazamientos de cada modelado de 10 pisos en dispersión	183

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS SISMO-
RESISTENTES DE ESTRUCTURAS DE ACERO SPECIAL
MOMENT FRAME CON VIGAS VIERENDEEL**

Autor(es): Gerda M., Matas B.,

María L., Gutiérrez C.

Tutor(a): Ramón D., Mata L.

Fecha: enero 2017

RESUMEN INFORMATIVO

El presente trabajo de investigación se pretende determinar la respuesta sismo-resistente de dos modelos estructurales de acero con diferentes sistemas, realizando un análisis comparativo utilizando las vigas Vierendeel. El primer modelo conformado por pórticos Special Moment Frame; el segundo modelo reticulado rectangular, donde se emplea un panel Vierendeel y un tercer modelo que se constituye con paneles Vierendeel únicamente. Este ensayo se desea realizar con el fin de observar la eficiencia que tienen las vigas Vierendeel en el manejo de la acción sísmica en términos de conocer su resistencia, capacidad de disipar la energía de manera controlada, ser capaz de soportar grandes esfuerzos, tanto los generados por fuerzas verticales gravitacionales como los causados por fuerzas horizontales sísmicas. Para alcanzar este propósito se requiere un análisis que permita evaluar el comportamiento de la edificación lo más aproximado posible a la realidad.

Descriptor(es): vigas Vierendeel, sismo-resistente, segmento especial, Special Moment Frame.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la rama estructural en ingeniería civil, uno de los problemas con mayor importancia a resolver son los sismos, debido que producen pérdidas de vidas humanas, daños en la estructura y pérdidas económicas. En los últimos años se han realizado investigaciones acerca de este comportamiento a raíz de los terremotos de Northridge (1994) y Kobe (1995), ya que, muchos edificios con pórticos de acero sufrieron fracturas inesperadas. La experiencia recogida a lo largo de décadas indica, sin lugar a dudas, que el daño producido por los sismos puede controlarse y reducirse a niveles aceptables mediante medidas sistemáticas de prevención.

En la actualidad la ingeniería sismo-resistente dispone de soluciones adecuadas que, mediante el uso de distintos materiales estructurales, sistemas constructivos, dispositivos innovadores para el control de vibraciones, criterios de diseño y métodos de análisis confiables, permiten reducir el riesgo sísmico. Entre estos sistemas se encuentran los pórticos no arriostrados o pórticos resistentes a momento que son ensambles rectilíneos de vigas y columnas conectadas entre sí mediante soldaduras, pernos o ambos. Las barras componentes de estos pórticos quedan sometidos principalmente a momentos flectores y esfuerzos de corte, que controlan su diseño, razón por la cual también se los denomina “pórticos a momentos”. Este tipo estructural se caracteriza por su elevada capacidad de disipación de energía, cuando se diseña y construye para tal fin.

Dentro de las alternativas que ofrece este tipo estructural, las especificaciones sísmicas AISC 341-10 contemplan un caso particular: los pórticos con vigas reticuladas. Éstos se caracterizan por contar con un segmento especial en la viga que se diseña para deformaciones inelásticas significativas cuando es sometido a la acción del sismo. El segmento especial puede ser de dos tipos: reticulado o tipo Vierendeel.

El presente trabajo de investigación se pretende determinar la respuesta sismo-resistente de dos modelos estructurales de acero con diferentes sistemas de

segmento especial, realizando un análisis comparativo utilizando las vigas Vierendeel. El primer modelo, utilizando pórticos Special Moment Frame, el segundo modelo rectangular, donde se emplea un segmento especial con panel Vierendeel y un tercer modelo constituido con paneles Vierendeel únicamente. Este ensayo se desea realizar con el fin de observar la eficiencia que tienen las vigas Vierendeel en el manejo de la acción sísmica en términos de conocer su resistencia, capacidad de disipar la energía de manera controlada, ser capaz de soportar grandes esfuerzos, tanto los generados por fuerzas verticales gravitacionales como los causados por fuerzas horizontales sísmicas.

Para alcanzar este propósito se requiere un análisis que permita evaluar el comportamiento de la edificación lo más aproximado posible a la realidad. Por todo lo anterior, esta investigación se enfoca en el estudio del comportamiento sismo-resistente de varios modelos estructurales a porticado de acero de 2, 4, 6, 8 y 10 pisos analizado bajo dos modalidades de segmento especial para analizar como incrementa el periodo mientras más elevada sea la estructura. El diseño se realizó con el método de análisis dinámico espacial de superposición modal con tres grados de libertad por nivel. Para el diseño de las edificaciones se va a establecer el uso de la norma AISC 341-10.

La Investigación estará estructurada en cinco capítulos. **Capítulo I El Problema**, donde se habla del planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos generales y específicos, justificación del problema y alcance. **Capítulo II Marco Teórico**, que trata de los antecedentes, bases teóricas y definición de términos. **Capítulo III Marco Metodológico**, donde se expone el diseño de la investigación, nivel de investigación, técnicas e instrumentos de investigación y fases metodológicas. **Capítulo IV Recursos**, donde se plantearán todos los datos obtenidos en el siguiente trabajo investigativo, por último, **Capítulo V Resultados** que abarca las Conclusiones, Recomendaciones y Anexos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Un sismo es una acción dinámica, generalmente producido por disturbios tectónicos; ocasionados por fuerzas que tienen su origen en el interior de la Tierra. Durante el fenómeno, hay una liberación de energía acumulada que se transmite en forma de ondas elásticas, causando vibraciones y oscilaciones a su paso a través de las rocas sólidas del manto y la litosfera hasta la superficie terrestre.

A nivel mundial se han desarrollado investigaciones que demuestren que un sismo produce un movimiento vibratorio que sacude a las estructuras tanto vertical como horizontalmente. Esta última fuerza son las más peligrosas para la estructura, ya que origina un desplazamiento del edificio; cuando esta se detiene, la estructura tiende a retornar a su posición original como consecuencia de la elasticidad de los materiales. En este momento comienza un movimiento vibratorio y la estructura oscila deformándose a partir de su posición inicial.

Estas sacudidas traen consecuencias físicas, tanto materiales como humanas, dejando tras su paso un ambiente de destrucción, a lo largo de los años a nivel mundial. Con el objetivo de prevenir la mayor cantidad de daños causados en el ámbito estructural, se han implementado las estructuras sismo-resistentes, las cuales son construidas tanto de concreto como en acero, este último ha presentado mayor vanguardia a nivel mundial durante las últimas décadas.

Dentro de los sistemas sismo-resistentes de acero, se encuentran los Special Moment Frame, que se caracteriza por su alta capacidad de disipación energética. Esto ocurre debido a que usualmente las vigas son las que tienen incursiones inelásticas mientras que las columnas se mantienen intactas durante el sismo. Por otro lado, se encuentran las vigas Vierendeel, las cuales permiten salvar grandes luces, recibiendo cargas de pisos superiores y se puede decir que, en la viga, el momento flector es tomado por esfuerzos axiales en los cordones, y el esfuerzo de corte, por flexión en los montantes. La viga Vierendeel absorbe el corte por medio de un trabajo de flexión que se transmite a los cordones superior e inferior generando

flexo-compresión y flexo-tracción respectivamente. No obstante, existe una variación del Special Moment Frame combinado con vigas Vierendeel que, aunque se han realizado ensayos y pruebas a nivel mundial, todavía no se ha mostrado el desempeño de este tipo de sistema con respecto al original.

En Venezuela, no se han realizado investigaciones para construir estructuras sismo-resistentes que utilicen el sistema estructural de las vigas Vierendeel, por lo que su eficacia no ha sido probada; por tanto, las normas venezolanas no contemplan la realización y diseño de dichos sistemas estructurales. Lo que se propone en este trabajo de investigación demostrar la eficiencia de las vigas Vierendeel comparándola con el SMF, para así plantear otra alternativa de solución a sistemas sismo-resistentes.

1.2 Formulación del problema

¿Qué sistema estructural se puede utilizar para proponer otra solución alternativa para los sistemas sismo-resistentes mostrando el desempeño del mismo, realizando una comparación entre las vigas Vierendeel y el Special Moment Frame?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Realizar un análisis comparativo entre sistemas sismo-resistentes de estructuras de acero SMF con vigas Vierendeel.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir en qué consiste los sistemas SMF y vigas Vierendeel.
- Establecer una metodología de diseño de los SMF y vigas Vierendeel.
- Estimar los efectos de la acción sísmica en los sistemas estructurales planteados mediante modelos matemáticos en software de última generación.
- Efectuar el análisis comparativo entre los sistemas estructurales.

1.4 Justificación de la investigación

La realización de este trabajo de investigación es con el fin de observar la eficiencia que tienen las vigas Vierendeel en el manejo de la acción sísmica en términos de conocer su resistencia, capacidad de disipar la energía de manera controlada, ser capaz de soportar grandes esfuerzos, tanto los generados por fuerzas verticales gravitacionales como los causados por fuerzas horizontales sísmicas.

Para cuantificar el desempeño del SMF en combinación con las vigas Vierendeel a partir de la comparación de esta variante y el sistema original SMF, se utilizará un análisis que permita evaluar el comportamiento de los modelos lo más aproximado posible; lo que lleva a un mejor entendimiento del comportamiento estructural de las vigas Vierendeel en el campo sismo-resistente, además de señalar las diferencias que haya entre estos dos sistemas. Igualmente se podrá observar el desempeño de las vigas Vierendeel como sistema individual; logrando observar si es más óptimo de dicha forma que trabajando en conjunto con el SMF. Asimismo, partiendo de los resultados obtenidos de dicha comparación; considerar si es posible que este sistema sea candidato como solución alternativa de un sistema sismo-resistente, capaz de ser utilizado a nivel nacional como mundial. Por otro lado, el trabajo realizado es un aporte al estudio del campo estructural sismo-resistente el cual llama la atención tanto de profesionales como estudiantes en los últimos años, igualmente es un trabajo investigativo que puede tomarse como referencia a futuros estudios dentro del ámbito estructural.

1.5 Alcance y limitaciones de la investigación

El desarrollo del análisis comparativo estará limitado por la implementación de edificios regulares, tomando una zona sísmica 5 y factor espectral S2, así como también se contempla el uso de los perfiles I, perfiles H y doble ángulo, sin embargo, no realizará el diseño como tal de los perfiles a utilizar, ya que, el objetivo es observar la respuesta sísmica de las estructuras. Dicho trabajo investigativo va dirigido a todo el ámbito ingenieril, más que todo a los estudiantes y profesionales en el área de la ingeniería civil específicamente en el ámbito de diseño estructural sismo-resistente.

Para alcanzar este propósito se requiere un análisis que permita evaluar el comportamiento de la edificación lo más aproximado posible a la realidad, se

llevará a cabo el método de análisis dinámico modal, cumpliendo con las normas COVENIN 1756-2001, ANSI/AISC y 341-10 ACE 7-10.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Xavier Santiago Genovéz Orellana (2015) de la Universidad de Azuay, en su trabajo de grado titulado, “**Diseño, análisis económico de la estructura de tres plantas de acero del área de administración de la facultad de ciencia y tecnología combinando pórticos resistentes a momento y pórticos simples**”, expone la tecnología utilizada en diseño estructural sismo-resistente en el mundo, las ventajas de aplicar nuevas tecnologías de diseño en la proyección y ejecución en la infraestructura de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Además, se analiza las ventajas de la norma NEC 11 sobre la INEN 5-2001. Se realiza también, el estudio de los principios que rigen en los pórticos especiales de acero resistentes a momento (PEARM), y se analiza las ventajas de utilizar este sistema a la hora de proyectar estructuras y se valora el desempeño de las conexiones precalificadas que unen los miembros estructurales frente a cargas sísmicas con resultados presentados en gráficos que pretenden exponer mejor la capacidad de estas conexiones. Se concluye que la norma NEC 11 es más rigurosa en cuanto a la consideración de los factores del diseño estructural y al análisis sismo-resistente en comparación con la INEN 5-2001. En otro orden de ideas, la PEARM cuenta con la garantía de una mayor ductilidad que la propuesta por los pórticos gravitacionales simples. Por último, la teoría del mecanismo de la línea de rendimiento permitió un análisis de la energía interna que acumula cada conexión y su capacidad a momento, este análisis teórico brinda información de la predicción teórica de las fuerzas a las que estarán sometidas la conexión.

Por otro lado, Nelson Roger Pareja Sulla (2012), de la Universidad Nacional de Ingeniería, en su trabajo de investigación, “**Estudio del comportamiento sísmico lineal y no lineal de pórticos metálicos resistentes a momentos**”, el cual está orientado al estudio del comportamiento no lineal de pórticos resistentes a momentos, donde se muestran los diferentes modelos no lineales para el comportamiento sísmico de pórticos de acero. Para desarrollar el trabajo, se utiliza un modelo que permite simplificar el problema de la no linealidad mediante un

elemento multi-spring en zonas predeterminadas, para poder predecir el comportamiento no lineal en una estructura. Mediante este modelo se ha desarrollado un programa de cómputo para el análisis no lineal de estructuras de acero en dos dimensiones. Para verificar el programa realizado se ha usado un ensayo con el programa SAP2000, dando resultados similares al modelo usado mediante un análisis pushover. Finalmente, se analizan los resultados obtenidos mediante el programa de cómputo realizado y el modelo de ensayo utilizado para calibrar el programa.

De acuerdo a los resultados observados es posible aplicar la metodología del presente trabajo para determinar el comportamiento no lineal de pórticos ordinarios de acero resistentes a momentos de diferentes niveles con secciones similares, utilizando los parámetros iniciales de calibración. Además, se ha obtenido un programa de cómputo, que permite el ingreso de información y vista de resultados gráficamente, lo cual facilita el proceso de análisis no lineal de la estructura de pórticos de acero. Mediante la aplicación del análisis incremental cuando una estructura es sometida a sismo, es posible determinar si la estructura está incursionando en el rango lineal o no lineal, sin embargo, para lograr este objetivo se debe calibrar adecuadamente el modelo, para no tener valores no reales.

Por su parte, Jon Salegui y Álvaro Urdaneta (2011), de la Universidad de Nueva Esparta, en su trabajo de grado “**Consideraciones sismo-resistentes en el análisis y detallado de conexiones precalificadas plancha extrema tipos 4E, 4ES y 8ES según la guía AISC 358-05**”, que tiene como objetivo analizar las conexiones precalificadas tipo plancha extrema y determinar las propiedades geométricas y resistentes de los perfiles de conexiones permitidos y empleados en Venezuela, para ser usados como vigas y columnas, con lo cual se seleccionaran unos generales para el análisis de las conexiones plancha extrema. Como recomendación en este trabajo se tiene que, en Venezuela, no se dispone de organismos que constantemente estudien y estén actualizando los procedimientos de cálculo normativos en el país, situación que obliga a consultar y emplear procedimientos para el diseño y análisis de elementos y miembros estructurales.

En cuanto Andrés Emén y Pedro Rojas (2009), en el artículo **“Análisis, diseño y evaluación sísmica de pórticos especiales de acero resistentes a momento (PEARM) a base de planchas soldadas”**, describen el uso de la conexión precalificada de alas no reforzadas soldadas y alma soldada (ANRS-AS) a usarse en edificios con pórticos especiales de acero resistentes a momento (PEARM), fabricados a partir de planchas soldadas. Posteriormente, se resume el método de diseño propuesto para edificios con PEARM y las recomendaciones sísmicas más relevantes estipuladas en el ANSI/AISC 341-05. y la aplicación de los criterios de diseño a un edificio prototipo de seis pisos, cuyo modelo analítico fue desarrollado en el programa de análisis no lineal DRAIN-2DX; la evaluación sísmica fue efectuada mediante el análisis estático lateral no lineal (pushover).

Finalmente, se presentan los resultados más relevantes de la evaluación sísmica, donde se concluye que los edificios PEARM con conexiones ANRS-AS, fabricados a partir de planchas soldadas y diseñados según especificaciones tales como las presentadas en este trabajo (basadas a su vez en FEMA-350 y ANSI-AISC 341-05), poseen adecuada resistencia, ductilidad y gran capacidad de disipación de energía ante eventos sísmicos, demostrado en los análisis dinámicos. Además, este tipo de edificios de mediana altura, como el estudiado en este trabajo de seis niveles, localizados en la ciudad de Guayaquil, el peso de la estructura metálica resultó en orden de los 64 kg/m².

Aparte, Anne D. Ferraz L., (2008) de la UFU, en su trabajo de investigación, **“Diagnóstico numérico de vigas Vierendeel formadas por perfiles tubulares metálicos de sección tubular”**, presenta un estudio del comportamiento estructural de las vigas Vierendeel, constituidas de perfiles tubulares metálicos de sección circular, por medio de un análisis global de la estructura y local de los enlaces tipo “T” sometidos a fuerzas axiales y flexión. Es utilizado el método de los elementos finitos para evaluar la estructura completa por medio del programa computacional ANSYS. Como el manual CIDECT y algunos autores indican un cálculo simplificado por la introducción de articulaciones en puntos estratégicos, son realizados estudios comparativos entre el modelo simplificado y el llamado modelo real. Además de presentar ejemplos numéricos de dimensiones, permitiendo así,

entender el comportamiento de este tipo de estructura y saber el efecto generado por la ovalización de los tubos en el sistema usualmente calculado como reticulado. Para estos casos son presentados el desarrollo de cálculo de las conexiones y de las barras utilizando el manual CIDECT N° 1 y los softwares HSS_connex 1.02 y GESTRUT, ambos en conformidad con la norma canadiense CAN/CSA-S16.1-94. Por último, expone diversos análisis en el sentido de mostrar las relaciones entre vano y altura de las vigas de tipo Vierendeel y la interferencia de los tubos en la distribución de las tensiones.

A partir de los resultados obtenidos, con el aumento de la altura de los montantes, debido al efecto ejercido por el momento flector actuante en las extremidades de las barras, ellas presentan mayores deformaciones, además que con la variación de las alturas de los montantes se observa que la estructura presenta mejor aprovechamiento de las barras que de las conexiones y cuanto menor son esas alturas, mayor es la solicitud a los esfuerzos axiales en los cordones. También se observó que todas las estructuras generadas en 3d se comportaron de manera similar desde el punto de vista de las tensiones y deformaciones; y como estaba previsto en varias investigaciones realizadas, las mayores concentraciones de tensiones, para la configuración de la viga en estudio, se localizaron en la segunda conexión en las regiones de las uniones entre los cordones y montantes.

Por último, Laura Gomez F., (1979) UCAB, en su trabajo de grado titulado “**Aspectos constructivos en estructuras metálicas**”; el principal objetivo de este trabajo fue el aporte de los métodos constructivos en estructuras metálicas, que en nuestro país el conocimiento en la construcción de estructuras de acero es muy limitada, afectando así la resistencia de estos elementos por la falta de especialización en la ejecución de la obra. ´

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Acero

El acero es un elemento aleado fundamentalmente formado por carbón y hierro, es de entender que en las aplicaciones industriales y tecnológicas actuales suele ser combinado por otros metales los cuales le brindan propiedades específicas como son el manganeso, cromo, molibdeno, etc. La proporción del acero es usualmente de máximo el 2 % de carbón, en un 98 % de hierro, aunque la proporción común es de 0.2 al 0.3 % de carbón, cuando se sobrepasa esta porción se da origen a aleaciones que son muy duras y difíciles de maquinar por lo cual es usual la elaboración de partes mediante el colado en moldes, identificándose por este efecto acabados superficiales en las mismas pobre y hasta rústicos, sin embargo con el advenimiento de nuevas y mejores tecnologías se ha podido superar esta deficiencia ya sea mediante la micro fundición, fundición centrífuga, fundición modular, etc.

Ya que el acero es básicamente hierro altamente refinado más de un 98%, su fabricación comienza con la reducción de hierro producción de arrabio el cual se convierte más tarde en acero. El hierro puro es uno de los elementos del acero, por lo tanto, consiste solamente de un tipo de átomos. No se encuentra libre en la naturaleza ya que químicamente reacciona con facilidad con el oxígeno del aire para formar óxido de hierro - herrumbre. El óxido se encuentra en cantidades significativas en el mineral de hierro, el cual es una concentración de óxido de hierro con impurezas y materiales térreos.

2.2.1.1 Historia

No se tiene a ciencia cierta un indicio de cuál fue la fecha exacta de la elaboración de los primeros aceros, pero se identifican productos elaborados de acero, en el año 3000 A.C., sin embargo los primeros aceros producidos con características similares de calidad (cantidad suficiente) al acero actual fueron obtenidos por Sir Henry Bessemer en 1856 con la ayuda de un proceso por el diseñado utilizando fósforo y azufre, sin embargo debido a la necesaria presencia de estos elementos, ha caído en desuso, siendo sustituido por el sistema inventado por Sir William Siemens en 1857 el cual descarburiza la aleación de acero con la ayuda de óxido de hierro.

Actualmente los procesos han ido mejorando el acero en especial el usado mediante la reducción con oxígeno inventado en Austria en 1948 y la colada contiene que es el que permite la formación de perfiles mediante la dosificación del material fundido en un molde enfriado por agua que genera un elemento constante en su sección el mismo que es afinado en sus dimensiones con rodillos.

2.2.1.2 Acero Estructural

El acero es uno de los materiales de fabricación y construcción más versátil, más adaptable y más ampliamente usado para fines estructurales porque combina una alta resistencia, tanto en tensión como en compresión, con gran rigidez (módulo de elasticidad elevado), y facilidad de fabricación, con un precio relativamente bajo. El acero combina la resistencia y la posibilidad de ser trabajado, lo que se presta para fabricaciones mediante muchos métodos. Además, sus propiedades pueden ser manejadas de acuerdo a las necesidades específicas mediante tratamientos con calor, trabajo mecánico, o mediante aleaciones.

2.2.1.3 Propiedades relevantes del acero estructural

Las propiedades mecánicas del acero están influenciadas de manera importante por el proceso de laminación, velocidad de enfriamiento, tratamiento térmico, temperatura de servicio, deformación en frío, tipo de solicitaciones, etc., por lo que es muy conveniente analizar cada uno de estos factores para establecer los criterios de selección de la calidad y tipo de material más recomendable para una aplicación específica.

Además, estas propiedades son las características más importantes para su aplicación en estructuras, debido a que el diseño y la fabricación de este tipo de estructuras se basan en su conocimiento. Aunque lo que interesa principalmente al diseñador o al proyectista son las características mecánicas de los aceros estructurales, la composición química es un índice de calidad de los mismos, y puede, a partir de ésta, determinar con bastante aproximación las propiedades mecánicas.

- **Resistencia**, el acero estructural es un material homogéneo e isótropo de calidad uniforme que permite soportar grandes esfuerzos, por lo que en la mayoría

de los casos se obtienen miembros con espesores relativamente pequeños en comparación con sus otras dimensiones. Estas propiedades le dan mayores niveles de seguridad a una estructura sobre todo cuando está sujeta a esfuerzos causados por cargas accidentales, principalmente sismo o viento, ya que estas fuerzas pueden ocasionar inversiones de esfuerzos. En el diseño de una estructura se buscará el equilibrio entre fuerzas externas e internas de tal manera que se obtenga una estructura resistente a las sollicitaciones actuantes.

- **Ductilidad**, el acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene además un comportamiento estable bajo inversiones de carga y tiene una relación resistencia- peso conveniente. El acero puede aceptar deformaciones importantes más allá del límite elástico sin fallar, tiene pues capacidad para permitir las deformaciones inelásticas que puedan requerirse. Puede utilizarse para construir estructuras estáticamente indeterminadas que satisfagan los requisitos de diseño sísmico. Es, por consiguiente, muy conveniente para construcciones ubicadas en zonas de alta sismicidad.

No obstante, la ductilidad intrínseca del acero no se conserva necesariamente en la estructura terminada, por lo que debe procederse con mucho cuidado durante el diseño y la construcción para evitar la pérdida de esta propiedad. No todos los aceros cumplen con los requisitos de ductilidad que se requieren en zonas de alta sismicidad; específicamente se requiere un comportamiento como el que se muestra en la figura 2 en que se representa esquemáticamente la gráfica esfuerzo-deformación de una probeta durante la prueba de tensión.

- **Tenacidad**, es la medida de energía por unidad de volumen necesaria para deformar un cuerpo hasta el momento de la fractura. Esta propiedad tiene importancia especial en el diseño sismo-resistente. Se utiliza la prueba de impacto Charpy en V para determinar la capacidad que tiene un acero para absorber energía hasta llegar a la fractura. Los factores que influyen en la tenacidad del acero son: composición química, estructura metalográfica, inclusiones no metálicas y segregaciones. Con relación a la composición química del acero, la presencia de elementos fragilizantes como el carbono, fósforo, nitrógeno, actúan en detrimento

de la tenacidad. La presencia de estructuras frágiles y la presencia de grano grueso influyen de manera perjudicial en la tenacidad del acero.

- **Maleabilidad:** Término que frecuentemente se intercambia con ductilidad. La maleabilidad es la propiedad o cualidad de ser comprimido o aplanado.

- **Resiliencia:** Capacidad para absorber energía en la zona elástica se mide por el módulo de resiliencia que es la energía de deformación que puede absorber por unidad de volumen el material.

- **Dureza:** La dureza es importante cuando se proyecta una pieza que deba resistir el desgaste, la erosión o la deformación plástica. Los sistemas de medida de mayor uso son: Brinell, Rockwell, Vickers y la Shore.

2.2.1.4 Características de control de calidad

Los perfiles estructurales no pueden tener daños visibles, lo primero que deben tener es un buen aspecto. En nuestro país esta normalizado el tipo de perfil A36. (Ver tabla 1).

Composición Química (Valores Típicos)				
%C	%Mn	%Si	%P	%S

El acero se caracteriza por su gran resistencia, contrariamente a lo que ocurre con el hierro. Este resiste muy poco a la deformación plástica, por estar constituida solo con cristales de ferrita; cuando se alea con carbono, se forman estructuras cristalinas diferentes, que permiten un gran incremento de su resistencia. Esta cualidad del acero y la abundancia de hierro le colocan en un lugar preeminente, constituyendo el material básico del siglo XX.

Curva esfuerzo-deformación, se obtiene por la acción de una carga estática sobre una probeta estándar, a partir de la cual sólo se recuperará la parte de su deformación correspondiente a la deformación elástica, quedando una deformación irreversible. Este fenómeno se sitúa justo encima del límite elástico, y se produce un alargamiento muy rápido sin que varíe la tensión aplicada. Mediante el ensayo de tracción se mide esta deformación característica que no todos los materiales experimentan.

El fenómeno de cedencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación, bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, proceso mediante el cual el material se deforma plásticamente.

Alcanzado el límite de cedencia se llegan a liberar las dislocaciones, produciéndose una brusca deformación. La deformación en este caso también se distribuye uniformemente a lo largo de la probeta, pero concentrándose en las zonas en las que se ha logrado liberar las dislocaciones (bandas de Lüders). No todos los materiales presentan este fenómeno, en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara. (Ver figura 1).

2.2.1.6 Clasificación del acero estructural

El **acero estructural**, según su forma, se clasifica en:

- **Perfiles estructurales:** Los perfiles estructurales son piezas de **acero laminado** cuya sección transversal puede ser en forma de I, H, T, canal o ángulo.
- **Barras:** Las barras de acero estructural son piezas de acero laminado, cuya sección transversal puede ser circular, hexagonal o cuadrada en todos los tamaños.

- **Planchas:** Las planchas de acero estructural son productos planos de acero laminado en caliente con anchos de 203 mm y 219 mm, y espesores mayores de 5,8 mm y mayores de 4,5 mm, respectivamente.

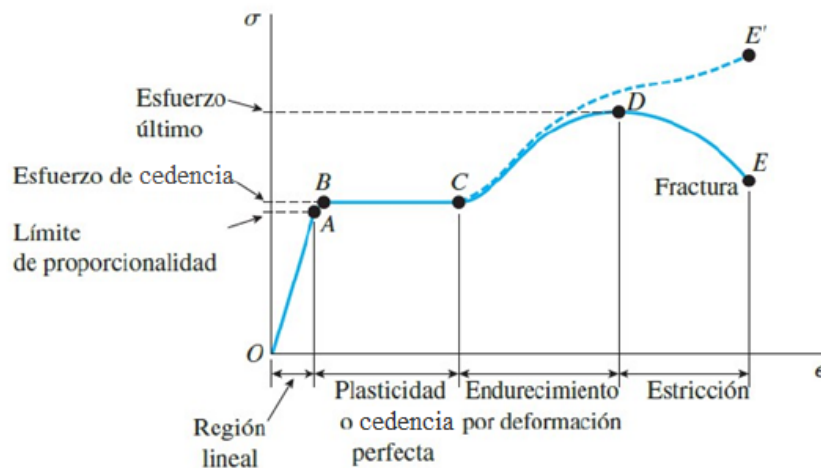


Figura 1. Diagrama de esfuerzo-deformación

2.2.2 Sismo

Es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Los más comunes se producen por la actividad de fallas geológicas. También pueden ocurrir por otras causas como, por ejemplo, fricción en el borde de placas tectónicas, procesos volcánicos o incluso pueden ser producidas por el hombre al realizar pruebas de detonaciones nucleares subterráneas.

El punto de origen de un terremoto se denomina foco o hipocentro. El epicentro es el punto de la superficie terrestre que se encuentra directamente sobre el hipocentro. Dependiendo de su intensidad y origen, un terremoto puede causar desplazamientos de la corteza terrestre, corrimientos de tierras, maremotos (o también llamados tsunamis) o la actividad volcánica. Para medir la energía liberada por un terremoto se emplean diversas escalas, entre ellas, la escala de Richter es la más conocida y utilizada por los medios de comunicación.

2.2.2.1 Parámetros de los sismos

- **Magnitud**, para un sismo dado, la magnitud es una constante única que representa una medida cuantitativa del tamaño del sismo, independientemente del sitio de observación. La magnitud se determina midiendo la máxima amplitud de las ondas registradas en el sismograma correspondiente al evento. Una escala estrictamente cualitativa puede ser aplicada en sismos de regiones habitadas o no habitadas, fue ideada en 1931 por Wadati en Japón y desarrollada por Charles Richter 1935 en California. Richter definió la magnitud de un evento local como el logaritmo de base diez de amplitud máxima de una onda sísmica registrada en un sismógrafo patrón a una distancia de cien kilómetros del epicentro del terremoto. Esto significa que siempre que la magnitud aumenta en una unidad, las amplitudes de las ondas sísmicas aumentan diez veces.

- **Intensidad**, mide cualitativamente los efectos de un terremoto y delimita las áreas con efectos similares. La intensidad se mide por el grado de daños a las construcciones realizadas por el hombre, la cantidad de perturbaciones en la superficie del suelo y el alcance de la reacción animal en la sacudida. La primera escala de intensidad en los tiempos modernos fue desarrollada por Rosi, Italia y Florel, de Suiza, en el año 1880. Esta escala que todavía es utilizada algunas veces para describir un terremoto que tiene un intervalo de valores de I a X. Una escala más refinada, con doce valores fue construida en 1902 por el sismólogo y vulcanólogo italiano Mercalli, llamada escala de intensidad Mercalli modificada abreviada. La valoración de la intensidad sísmica es mediante una escala descriptiva, no depende de las observaciones reales de los efectos en la zona macro sísmico.

- **Método subjetivo**, consiste en la evaluación de los efectos sísmicos de un sismo basándose en los daños causados en las construcciones y en el entorno físico. Es importante que el profesional tenga claro el concepto de intensidad, ya que esta no nos brinda una idea exacta de la energía liberada por un sismo, por ejemplo, un sismo puede producir valores de intensidad altos, pero sin embargo liberando una cantidad de energía muy pequeña. Para describir la severidad de los sismos podemos basarnos en escalas, las cuales describen el efecto esperando para cada

grado de intensidad para así evaluar los efectos del sismo sobre las personas y la infraestructura. Las escalas dependen exclusivamente de la opinión de los observadores, de la uniformidad en tipología estructural, entre otros parámetros.

- **Método analítico**, este procedimiento está basado en el uso de medidas instrumentales para cuantificar la intensidad, como un ejemplo citaremos la intensidad espectral de Housner. Este procedimiento la severidad de las vibraciones inducidas en un oscilador lineal con un grado de libertad, el cual es avaluado da partir del espectro de respuesta en velocidades correspondientes al oscilador (BOZZO, 2000).

- **Duración efectiva de un sismo**, Bolt en 1985, define la duración acotada como el lapso en el que la sacudida generada por un sismo mantiene sobre un cierto principio de aceleración, normalmente igual a 0.05g. Otros autores considera para este concepto la forma del acelero grama y no los niveles de aceleración, encontrando una correlación entre la duración efectiva y la magnitud de un sismo. (BOZZO, 2000) Trifunac y Brady por su parte en 1975 relacionan la duración con la máxima energía generada por el movimiento, definiendo como concepto que es el tiempo transcurrido para que la función intensidad supere el 5% y alcance 95% de su valor.

- **Sismicidad**, es la distribución espacio-tiempo de los sismos en la tierra y sus efectos destructivos. Los sismos generan grandes pérdidas económicas por daños en la infraestructura pública y privada generando un impacto negativo en el desarrollo económico y social de las zonas afectadas. El problema sísmico considera tres aspectos importantes; el primero donde ellos es el terremoto en sí, el segundo aspecto a tomar en cuenta es el movimiento de tierra generando por la ocurrencia de un terremoto, y el tercer aspecto es el efecto que este provoca sobre la infraestructura.

2.2.3 Diseño sísmico de pórticos de acero.

El fenómeno sísmico es un problema netamente dinámico, por esta razón el diseño de estructuras sismo-resistentes presenta particularidades que lo distinguen del diseño para otro tipo de acciones como cargas gravitatorias o viento. Debido a esto existen dos métodos para determinar y distribuir las cargas de diseño sísmico.

Uno es el método dinámico, el cual es usado cuando una estructura es irregular o de dimensiones no usuales. El otro es el método estático equivalente que especifica fuerzas estáticas equivalentes y es el más usado, por su simplicidad.

Para aplicar cualquiera de estos dos métodos, se debe tomar en cuenta cuatro aspectos fundamentales para cuantificar la acción sísmica, a saber:

1. Sismicidad propia del lugar.
2. Características del suelo de fundación.
3. Destino o importancia de la construcción.
4. Características principales de la respuesta estructural, vinculadas principalmente a su ductilidad y sobre-resistencia.

Los primeros aspectos se definen a través de un espectro de diseño y el comportamiento estructural se representa mediante un factor de modificación de respuesta, R , donde el diseñador debe asegurar que la estructura sea capaz de desarrollar la ductilidad requerida.

2.2.4 Sistemas sismo-resistentes en acero

El sistema sismo-resistente (Seismic Force Resisting System, SFRS) de una construcción, comprende todos los componentes estructurales y sus conexiones, necesarios para transferir las fuerzas de inercia inducidas por el sismo desde su punto de origen hasta el terreno de fundación. Los componentes de un sistema típico, para el caso de edificios, pueden agruparse en:

- **Diafragmas horizontales**, formados por losas, riostras u otros componentes, con el objeto de transmitir las fuerzas de inercia. Estos diafragmas actúan como placas horizontales que distribuyen dichas fuerzas entre los componentes verticales, permitiendo así que se transfieran hasta el terreno de fundación.

- **Conexiones**, entre los distintos componentes que integran el sistema. El adecuado diseño y construcción de las conexiones constituyen un aspecto fundamental para garantizar la condición sismo-resistente de todo el sistema. Algunas de las conexiones más usuales son: conexión viga-columna (en pórticos no arriostrados y arriostrados), conexiones de base de columna, empalmes, etc.

- **Componentes verticales**, que usualmente se disponen formando un plano resistente y conforman uno o más de los tipos estructurales descritos previamente, tales como pórticos no arriostrados, pórticos arriostrados, etc.

2.2.4.1 Pórticos arriostrados concéntricamente

Los pórticos de acero con arrostros concéntricos representan una solución estructural conveniente para suministrar resistencia y rigidez lateral en edificios de baja y mediana altura. Este tipo de estructura se caracteriza porque los ejes centrales de los miembros componentes se cortan en un punto, formando así una estructura reticulada.

Es por ello que las acciones laterales de viento y sismo inducen, principalmente, esfuerzos axiales en los miembros del pórtico arriostrado. El sistema se destaca por su elevada rigidez lateral, la que permite controlar adecuadamente los desplazamientos laterales para cumplir los requerimientos de diseño. Las especificaciones de diseño modernas consideran que las riostras diagonales pueden desarrollar deformaciones inelásticas durante la ocurrencia de un terremoto severo. De esta forma, la estructura dispone de capacidad para disipar energía bajo la acción del sismo, mediante sucesivos ciclos de cedencia por tracción y pandeo global en compresión (con formación de rótulas plásticas en la zona central y en los extremos de las riostras). La estrategia de diseño asegura que el resto de la estructura (columnas, vigas y conexiones) posea la capacidad suficiente para resistir las cargas gravitatorias, aun cuando las riostras hayan sufrido daño.

2.2.4.2 Pórticos arriostrados excéntricamente

Los pórticos arriostrados excéntricamente, adecuadamente diseñados, se caracterizan por desarrollar una respuesta dúctil y estable. En este sistema estructural, las fuerzas axiales inducidas en las riostras son transferidas mediante esfuerzos de corte y flexión en segmentos de reducida longitud, llamados enlaces o links, donde se disipa energía por cedencia del acero. Los enlaces representan "fusibles estructurales", los que deben detallarse adecuadamente para evitar que el pandeo local y otros fenómenos de inestabilidad degraden la respuesta. Los restantes componentes del pórtico (vigas fuera de la zona de enlace, columnas,

conexiones) se dimensionan aplicando conceptos del diseño por capacidad para asegurar que permanecen en rango elástico.

2.2.4.3 Pórticos no arriostrados

Los pórticos no arriostrados, o pórticos a momentos, están formados por distintos componentes que se vinculan entre sí para formar una estructura resistente; usualmente los componentes principales son rectilíneos y se disponen en posición vertical (columnas) y horizontal (vigas). Desde el punto de vista estructural, y a los efectos del diseño, se deben considerar los siguientes componentes: vigas, columnas, conexiones viga-columnas, panel nodal (o zona panel), empalmes y base de columnas.

Las distintas cargas que actúan sobre los pórticos no arriostrados inducen esfuerzos internos, controlando el diseño los momentos flectores. Para el caso particular de la acción sísmica los momentos flectores desarrollan sus valores máximos en los extremos de vigas y columnas, donde pueden formarse rótulas plásticas para permitir la disipación de energía por cedencia del acero. Consideraciones analíticas y experimentales indican que se puede lograr una excelente respuesta estructural si se induce, a través del diseño, la formación de un mecanismo de “viga débil-columna fuerte”. En este mecanismo, las rótulas plásticas se forman en los extremos de las vigas, mientras las columnas permanecen en rango elástico (con excepción de la base de las columnas).

Las columnas están sometidas a carga axial variable por el efecto del sismo, lo que afecta la resistencia y ductilidad de las mismas; además, la falla de una columna puede originar colapso parcial o total del edificio, mientras que la misma falla en una viga presenta efectos menos significativos. Estas son las razones principales por las que se protegen las columnas del pórtico, mediante la condición de que las mismas se mantengan en rango elástico. Para lograr este objetivo es de fundamental importancia aplicar los conceptos del diseño por capacidad de modo de obtener una respuesta dúctil, donde la plastificación de las vigas se produce en forma progresiva y el sistema es capaz de desarrollar una respuesta dúctil.

Las especificaciones ANSI/AISC 341-10 definen tres tipos de pórticos no arriostrados: especiales (SMF), intermedios (IMF) y ordinarios (OMF), de acuerdo al grado de comportamiento dúctil que se considera en el diseño.

2.2.5 Evaluación de la ductilidad

La ductilidad frecuentemente es afectada por el comportamiento histórico de los componentes críticos, siendo este usualmente examinado dando como resultado un comportamiento cíclico de fuerza-deflexión (momento-rotación) como es mostrado en la figura 2, donde la pendiente de las curvas representa la rigidez de la estructura. El área encerrada representa la energía que es disipada, y esto puede ser grande, por los ciclos repetidos de vibración. Algunas áreas encerradas son a veces llenas y anchas (Figura 2a) o pueden ser apretadas o distorsionadas (Figura 2b). Las curvas de histéresis también muestran la deformación inelástica que puede ser tolerado en varios niveles de resistencia. Los pórticos estructurales con curvas que encierran una gran área representan una gran energía de disipación, y los pórticos estructurales que pueden tolerar grandes deformaciones inelásticas sin excesiva pérdida en resistencia, son considerados como sistemas superiores para resistir cargas sísmicas. Como un resultado, estos sistemas son comúnmente diseñados con valores de R más grandes y cargas sísmicas más pequeñas.

Los pórticos de acero especiales resistentes a momentos, son capaces de desarrollar grandes deformaciones plásticas y grandes áreas históricas. Como resultado, son diseñados para valores más grandes de R, así se tienen fuerzas sísmicas más pequeñas y deformaciones inelásticas más grandes. Este comportamiento histórico es importante ya que amortigua la respuesta inelástica y mejora el desempeño sísmico de la estructura sin necesitar demasiada resistencia o deformación en la estructura. (Ver figura 2).

2.2.6 Efectos de la deformación inelástica

La deformación inelástica es un parámetro de significativa importancia en el diseño, siendo necesario controlar los valores máximos esperados en un sismo severo a los efectos de asegurar una respuesta adecuada, debido que, si esta se concentra dentro de una pequeña porción de la estructura puede incrementar la

demanda de ductilidad por esa porción de la estructura. Esta concentración del daño está algunas veces relacionado a factores que causan comportamiento histórico apretado, así el pandeo puede cambiar la distribución de la rigidez y también afectar la disipación de la energía. (Ver figura 2).

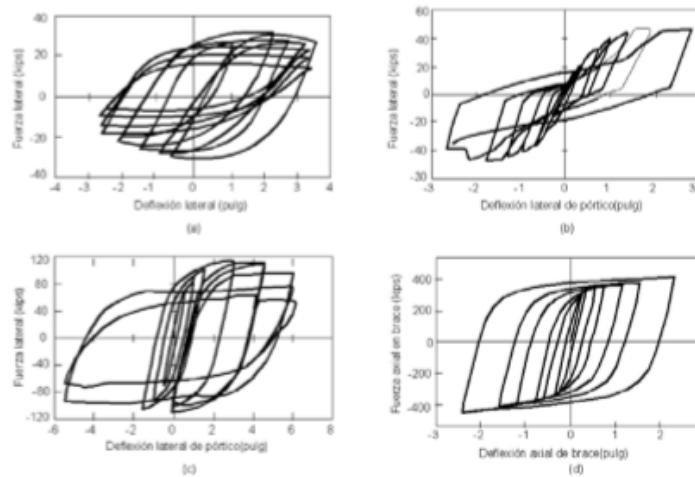


Figura 2. Comportamiento histórico de cuatro pórticos de acero. (a) Pórtico resistente a momento. (b) Pórtico con brace concéntrico. (c) Pórtico con brace excéntrico. (d) Pórtico con brace restringido al pandeo.

2.2.7 Coeficiente de reducción de respuesta estructural, factor R

El factor de modificación de respuesta, normalmente conocido como “factor R”, constituye uno de los parámetros de mayor importancia en el cómputo de las cargas sísmicas inelásticas utilizadas en el proceso de diseño o evaluación estructural de un edificio. Basados en el hecho que, durante la respuesta inelástica a la acción de cargas dinámicas, las estructuras disipan energía y pueden activar tres recursos esenciales a saber: la ductilidad (μ), la sobre-

utiliza para reducir la intensidad de las cargas elásticas usadas para el diseño a niveles inelásticos. La capacidad de disipación de energía puede variar significativamente según el tipo de estructura y depende principalmente del grado de degradación de rigidez y resistencia que experimenta el sistema estructural. Estos efectos se producen por la ocurrencia de mecanismos frágiles como el pandeo local, en las estructuras de acero.

2.2.8 Factores de carga

La función principal de los factores de carga es dar un incremento a las cargas, de manera que se pueda considerar la incertidumbre que se posea al momento de calcular las cargas vivas y muertas. El factor para cargas muertas es menor al correspondiente para cargas vivas, ya que las cargas muertas pueden ser estimadas con mayor precisión que las cargas vivas.

2.2.9 Factores de resistencia

Para poder acercarnos a una estimación más precisa de la resistencia última de una estructura, es importante considerar las incertidumbres en cuanto a la resistencia de los materiales de construcción, para este proceso lo que se debe hacer es multiplicar la resistencia última teórica o nominal de cada elemento analizado por un factor ϕ de resistencia, el cual es menor que 1, para columnas el valor es igual a 0.85, en elementos a tensión es 0.75 o 0.90 y para flexión o corte en vigas igual a 0.90. Ciertas incertidumbres que afectan a los factores de resistencia son:

- Errores apreciables cometidos en los métodos de análisis de la estructura.
- Mal manejo al momento de la producción en fábrica de los elementos, estos esfuerzos pueden superar muchas de las veces a los que se presentan una vez terminada la estructura.
 - La resistencia de los materiales puede cambiar por factores como el flujo plástico, la corrosión y la fatiga, este cambio se incrementa con el paso del tiempo.
 - Errores apreciables cometidos en los métodos de análisis de la estructura.
 - Las cargas muertas pueden ser estimadas con exactitud, mientras que las cargas vivas no.
- Presencia de esfuerzos residuales, concentraciones de esfuerzos o variación en las dimensiones de las secciones transversales.
- Incertidumbre por cambios tecnológicos, o por cambios imprevistos como la acción del viento.

2.2.10 Método LRFD

El método LRFD (Load and Resistance Factor Design) para edificaciones con estructuras de acero es el que gobierna el diseño y proyección de edificaciones con

pórticos de acero; es un método basado en estados límites, a los estados límites se los puede definir como la descripción de la condición en la cual la estructura o parte de ella ya no cumple más su función.

Existen dos tipos de estados límite, uno son los estados límite de servicio, mediante estos se representan aspectos de uso, ocupación, como las deflexiones excesivas, deslizamientos, vibraciones y agrietamientos. El otro tipo son los estados límites de resistencia están basados en la seguridad o capacidad de carga de la estructura, incluye la resistencia plástica, la de pandeo, de fractura, de fatiga, etc. Se debe procurar que la estructura diseñada tenga la capacidad de soportar tanto cargas de diseño últimas como también las cargas de servicio.

2.2.11 Viga Vierendeel

El descubrimiento de la viga Vierendeel nunca fue explicada por el mismo Vierendeel, sin embargo, se sabe que cuando trabajaba al principio de su carrera de ingeniero en un puente con vigas planas laterales de 75 mts de largo de entramado triangular, sobre el río Mouse, en la provincia holandesa de Gueldre, realizó ensayos acústicos durante unas semanas para determinar las tensiones internas en los diferentes elementos constructivos. Esta experiencia lo convenció de lo complejo del problema, y tardó seis años antes de patentar su invento.

Mientras tanto realizó algunas obras de arquitectura como ensayo previo y aplicación de sus ideas, tal es el caso del campanario con estructura metálica de la iglesia de Dadizeele (1890-93). La construcción de esta iglesia fue suspendida en 1860, pues las fundaciones para un campanario de mampostería no están lo suficientemente dimensionados, por lo que necesitaba que el mismo sea ejecutado con materiales más livianos, situación que lo realiza Vierendeel con una estructura metálica tipo marco rígidos continuos.

En 1898 se realiza una exposición en Bruselas, donde Vierendeel expone un puente construido de 31,50 mts de luz, junto con una serie de ensayos sobre el mismo para demostrar la confiabilidad de su propuesta, todo financiado por el mismo (proyecto, construcción y ensayos). Vierendeel puso en servicio la estructura metálica con 175 ton, entre agosto y noviembre, para así verifica la aparición de las primeras deformaciones, cuando nuevamente sobrecarga con 47

ton más y un día después retiro abruptamente las 204 ton, lo que le permitió comprobar que las deformaciones bajo servicio desaparecieron y toda la estructura se acomodó a su forma inicial, demostrando la elasticidad del sistema estructural desarrollado. Luego nuevamente cargo sucesivamente dicho puente hasta alcanzar la carga final de rotura y así colapsar el puente.

Ya en 1884 ensayo una probeta metálica a una carga de aumento progresivo solicitada a tracción pura para estudiar la relación entre el esfuerzo de tracción y las deformaciones plásticas permanentes, así logro predeterminar los valores límites de carga elástica admisible, fluencia plástica y de rotura, para luego aplicar dicha experiencia a su viga de manera exacta. Según su colega Magnel de la Universidad de Gand: “

”. Sin embargo, el mundo técnico de los ingenieros reacciono ante la propuesta de Vierendeel de manera dividida: en 1900 se realizó un debate internacional en “Société des ingénieurs civils de France”, tomando parte los más importantes ingenieros de la época: P Bodin, F. Chady, A. Marsaux, M. Duplaix y A. Maure.

En 1902 se construyó el primer puente con vigas Vierendeel, divulgándose así en la práctica con una repetición increíble de obras similares en toda Bélgica. En 1907 se construyó el puente “Pont de Quebec” (Canadá), el cual sin embargo colapso, matando a 72 personas. Vierendeel descubrió con dicha catástrofe que la carga crítica en los nudos no fue correctamente determinada, siendo la causa del colapso, por lo que se aboco a estudiar el método de determinación de la carga crítica según los principios de Euler. En 1911 se publicitó una dura discusión académico-científica entre Vierendeel, Otto Mohr y Franz Cech en la revista técnica “Der Eisenbau” y se le reprocho sobre su difícil método de cálculo.

En 1920 estudio el fenómeno de la magnetización del acero tan pronto entraba en servicio solicitado a la tracción pura, lo que lo llevo a ampliar los

conocimientos sobre Tensiones, Deformaciones, Cargas Límites de Deformaciones y de Rotura. También desarrollo un método de cálculo para fundaciones sobre suelos inestables. Recién en 1912 se aceptó plenamente su viga de tirantes verticales sin entramado triangular o “viga Vierendeel”, la cual reemplazo definitivamente a todas las vigas de entramado triangular en todos los puentes metálicos europeos.

La viga Vierendeel es una de las estructuras denominadas como de transición, pues permite salvar grandes luces (de 20 a 30 m), recibiendo las cargas de pisos superiores. (Ver figura 3)

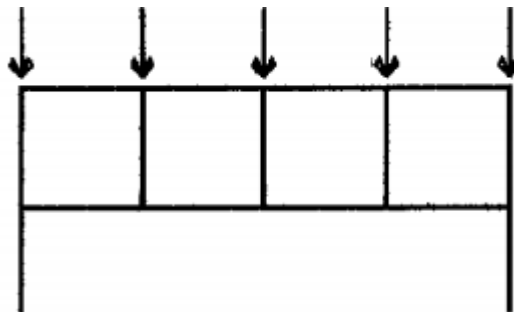


Figura 3. Ejemplo de fuerzas.

Para luces del orden mencionado, las vigas de alma llena en H° A° se hacen muy poco eficientes pues necesitarían como mínimo una altura del orden de 1/10 (2 a 3 m). Esto trae aparejado serios inconvenientes ocasionados por la importancia que adquiere el peso propio de la viga, además de problemas de tipo arquitectónico ya que impiden la posibilidad de practicar aventajamientos en la altura del piso que ocupa. De ahí surge la necesidad de proyectar estructuras de alma calada que permitan solucionar el inconveniente arquitectónico y disminuir el peso propio de la estructura.

2.2.11.1 Análisis del funcionamiento de una viga Vierendeel

Supóngase que se tiene dos vigas de altura h , una sobre otra y sometidas a una carga P , cada una de las vigas tomará $P/2$ y el módulo resistente a la flexión será $W = b h^2/6$ para cada viga, o sea $W = 2 b h^2/6$ para ambas. Al flexionarse, cada una de ellas trabaja en forma independiente, deslizando una sobre la otra. (Ver figura 4).

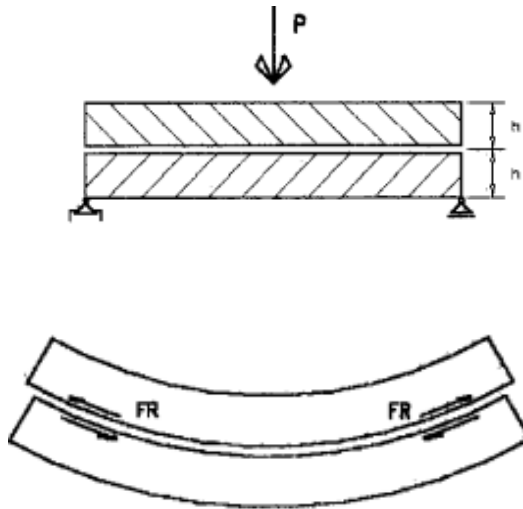


Figura 4. Funcionamiento de una Vierendeel 1

Si de algún modo se intercalan conectores entre ambas vigas para absorber estas fuerzas de resbalamiento, se logra un trabajo mancomunado de ambas vigas, transformándose en una sola viga. Ahora el módulo resistente de la nueva viga así materializada será $W = b (2h)^2 / 6$, es decir que la viga entera resistirá el doble que ambas partes trabajando independientemente. (Ver figura 5)

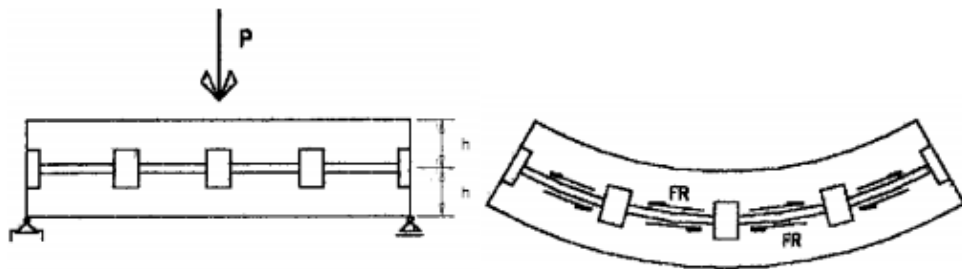


Figura 5 Funcionamiento de la Vierendeel 2

Estas fuerzas de resbalamiento dependen de la carga, o mejor aún del esfuerzo de corte existente en la sección considerada. Teniendo en cuenta que las tensiones de resbalamiento son iguales y perpendiculares a las tensiones de corte. Un conector situado en el centro de la viga no está sometido a tensión de resbalamiento ya que allí el corte es nulo. Si se transforma los conectores en montantes alejando los cordones superior e inferior de la viga; aumentando el brazo de palanca, resulta conformada la viga Vierendeel. (Ver figura 6)

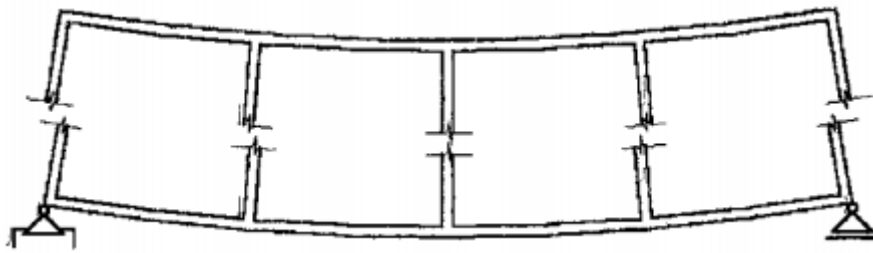


Figura 6. Funcionamiento de la Vierendeel 3

Este esfuerzo rasante tomado por los montantes origina flexiones en los mismos. (Ver figura 7)

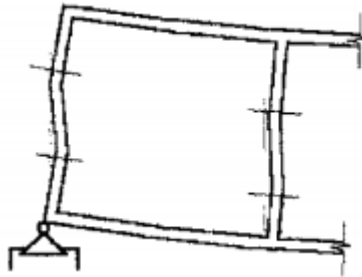


Figura 7. Funcionamiento de la Vierendeel 4

En la viga Vierendeel el momento flector es tomado por esfuerzos axiales en los cordones, y el esfuerzo de corte (Q), por flexión en los montantes. En resumen, la viga Vierendeel se diferencia de las vigas de alma llena y de la viga reticulada, por la forma de absorber los esfuerzos de corte. En las primeras el corte genera un estado de tensiones (tau) que compuesto con las (sigma) provocadas por la flexión, generan un esquema de isostáticas de tracción y compresión, mientras que en las reticuladas el corte se deriva en esfuerzos directos de tracción y compresión en montantes y diagonales. (Ver figura 8)

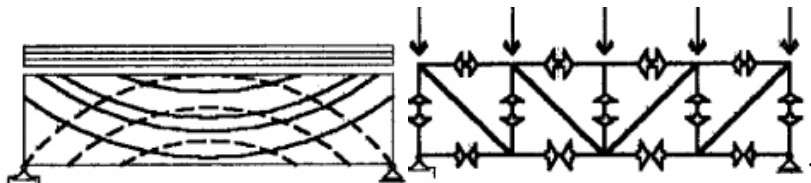


Figura 8. Funcionamiento de la Vierendeel 5

La viga Vierendeel absorbe el corte mediante un trabajo de flexión en los montantes, flexión que se transmite a los cordones superior e inferior generando flexo-compresión y flexo-tracción respectivamente.

2.2.11.2 Variación del funcionamiento en función de las rigideces relativas

Caso 1) Montantes poco rígidos:

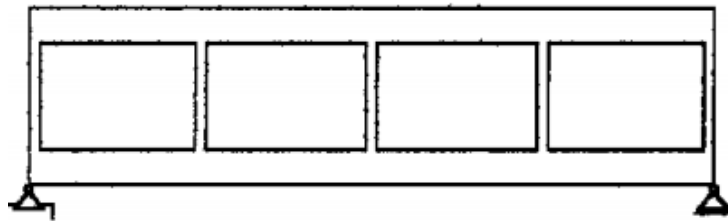


Figura 9. Montantes poco rígidos.

En este caso, al ser los montantes poco rígidos no están capacitados para absorber flexión ni fuerzas rasantes, por lo que los cordones tienden a funcionar como dos vigas independientes, la deformación en cada cordón se asemeja a la de una viga simplemente apoyada. (Ver figura 10)

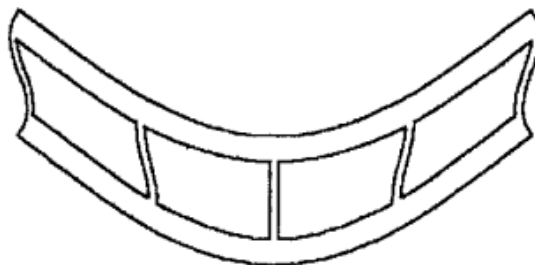


Figura 10. Deformación de montantes poco rígidos.

Caso 2) Montantes muy rígidos: (Ver figura 11)

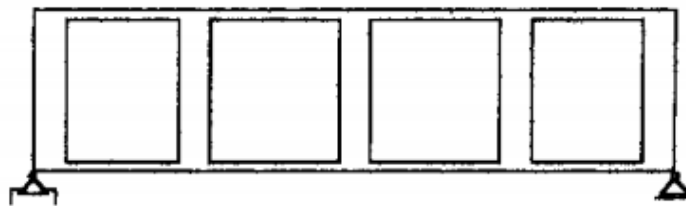


Figura 11. Montantes muy rígidos.

Aparecen puntos de inflexión en la mitad de la luz entre montantes. Los cordones funcionan como empotrados entre montantes, los cuales imponen las deformaciones. (Ver figura 12)

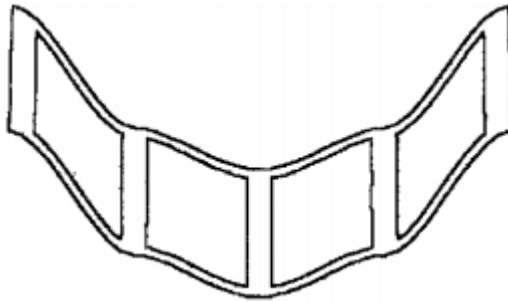


Figura 12. Deformación de montantes muy rígidos.

Caso 3) Estructura balanceada, rigideces similares entre montantes y cordones: (Ver figura 13)

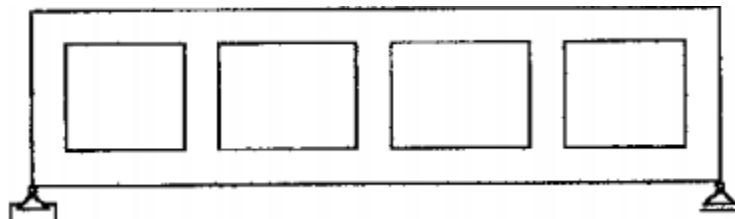


Figura 13. Estructura balanceada.

Esto es un caso intermedio entre 1) y 2), las solicitaciones se distribuyen más equitativamente entre los distintos elementos que la componen. Aparecen puntos de inflexión en los centros de tramos de cordones y centros de montantes. (Ver figura 14)

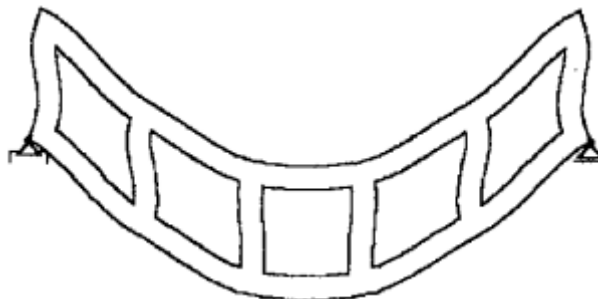


Figura 14. Deformación de estructura balanceada.

2.2.11.3 Tipos de viga Vierendeel

Las vigas Vierendeel pueden ocupar un solo nivel (Vierendeel simple) o varios niveles (Vierendeel múltiple), en cuyo caso se asemeja a una viga de gran altura. (Ver figura 15).

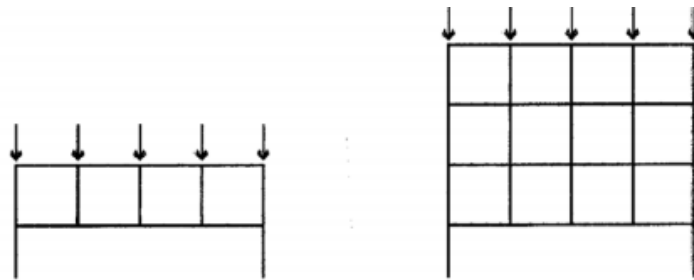


Figura 15. Vierendeel simple y múltiple.

Además, pueden ser simplemente apoyadas sobre columnas o ser el dintel de un pórtico para lo cual su rigidez flexional como viga unificada debe ser compatible con la de los parantes (ver figura 16). Para determinar la rigidez de la viga Vierendeel como dintel de pórtico se puede hallar el momento de inercia J de los cordones respecto de un eje central (ver figura 17), en una primera aproximación.

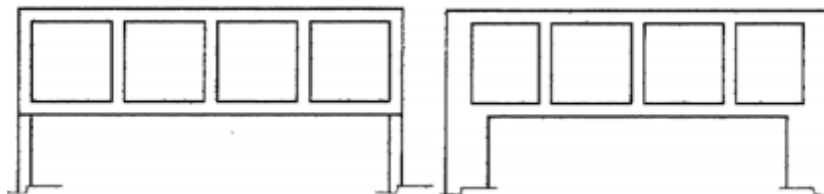


Figura 16. Vierendeel como dintel de pórtico o simplemente apoyada.

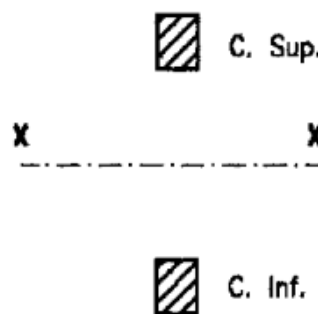


Figura 17. Eje central.

También se puede tener viga Vierendeel en voladizo. Por ejemplo, en un pórtico múltiple sometido a cargas horizontales en los nudos (Viento), puede ser analizado como una Vierendeel en voladizo. (Ver figura 18)

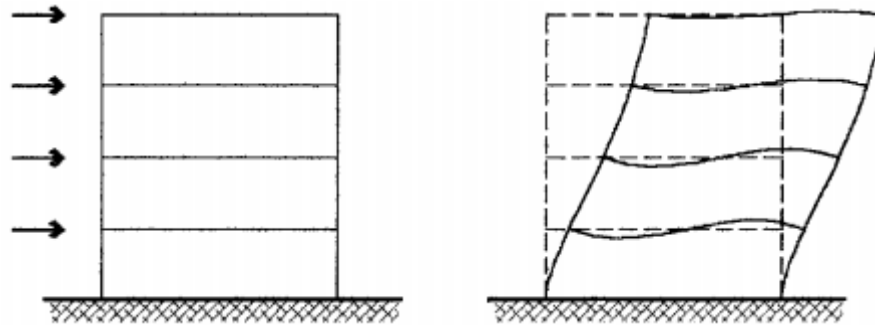


Figura 18. Vierendeel en voladizo.

Se pueden proyectar vigas Vierendeel con montantes de diferente sección o con aberturas variables, en tal caso los montantes de mayor sección o más juntos deberán estar en la zona donde el corte es máximo, siendo éstos los que absorben el esfuerzo de corte. (Ver figura 19)

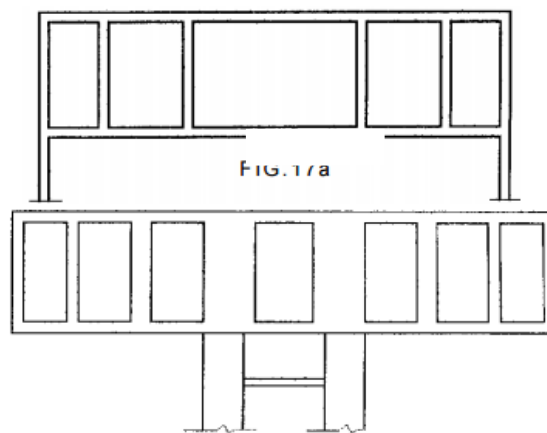


Figura 19. Vierendeel con montantes de diferente sección.

2.2.12 Efecto de las vigas Vierendeel en los pórticos no arriostrados

Las vigas Vierendeel son utilizadas como un método eficiente para prevenir deformaciones inelásticas en la conexión viga-columna o panel nodal, también, la presencia de esta cuenta con un efecto insignificante sobre la reducción de la rigidez

global y la resistencia. En otras palabras, el uso de vigas de alma abierta no tiene un efecto contrario sobre las características de comportamiento globales de la estructura. Basándose en la distribución de los elementos producidos alrededor de la conexión, se puede decir que las secciones de viga con alma abierta ceden ante cualquier otra parte de la estructura e impiden que la unión viga-columna y el panel nodal cedan.

También se observa que la disipación de energía en las vigas no es sensible a la relación de las cargas sísmicas a las cargas de gravedad y, por lo tanto, la alteración de esta trama en el pórtico no tiene efecto adverso sobre la ductilidad y la capacidad de desplazamiento del sistema propuesto. En general, se puede decir que la aplicación de vigas Vierendeel es un método eficaz que puede usarse para desplazar la posición de deformación no elástica de flexión de la viga a las zonas situadas a cierta distancia de la conexión viga-columna.



Figura 20. Modelo de estructura con viga de alma abierta.

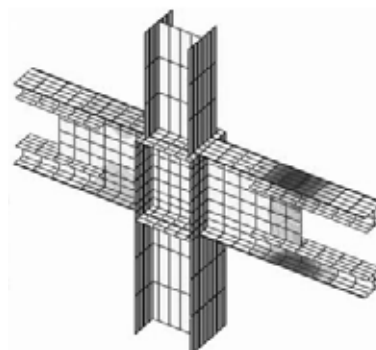


Figura 21. Panel nodal.

Fuente:

2.2.13 Análisis dinámico modal

El análisis modal es una técnica de análisis dinámico de estructuras. Tiene como objetivo la estimación de propiedades dinámicas como las frecuencias y los modos naturales al igual que el amortiguamiento. El análisis modal puede ser teórico o experimental. El teórico se basa en técnicas analíticas o simulaciones. El experimental se basa en ensayos y tiene 4 pasos fundamentales: Excitación de la estructura; medición mediante acelerómetros; tratamiento digital y análisis de las señales y aplicación de modelos.

Esta metodología también se utiliza como método monitorización de la vida estructural (SHM). Cuando una estructura se daña, su rigidez disminuye y eso afecta a sus frecuencias y sus modos naturales, es decir, afecta a su manera de vibrar. Este cambio es detectable y comparable con un estado de referencia inicial de la estructura libre de daño. Además, mediante técnicas de análisis es posible detectar la localización e intensidad de los daños, y en el futuro, incluso prever el resto de la vida en servicio del componente o estructura.

2.2.14.1 El método de análisis dinámico con tres grados de libertad por nivel

El método de análisis dinámico con tres grados de libertad por nivel tiene por objeto evaluar la respuesta dinámica y constituye una alternativa de uso general para el análisis de todas las estructuras tipificadas en las Normas COVENIN, excepto para aquellas que tienen diafragmas flexibles. En este método se consideran como coordenadas de respuesta modal los desplazamientos horizontales y la rotación de cada nivel. Los valores de respuesta sísmica deberán calcularse para los casos de sismos en direcciones X e Y, actuando independientemente. Sin embargo, las respuestas modales que se calculan están definidas para una determinada dirección del sismo; entonces, los factores de participación de cada modo corresponden a esa dirección y se calculan tomado esto en consideración.

2.2.14.2 Valores de diseño

Dado que los modos acoplados resultantes del análisis pueden tener frecuencias cercanas entre sí, deberán usarse métodos de combinación que tomen en cuenta su acoplamiento. Se establece que los máximos de respuesta se obtengan

combinando los valores modales según el criterio de la combinación cuadrática completa el cual puede suponer el mismo amortiguamiento en cada modo de vibración. Existen varias formulaciones del criterio.

El número mínimo de modos a emplear debe ser el triple del establecido para el Análisis Dinámico Plano, utilizando como valor T_1 para el cálculo de N_1 , el del periodo acoplado fundamental, o sea el mayor periodo de todos. Debido a la posibilidad que los modos asociados a una dirección dominante aparezcan sucesivamente con periodos mayores que los asociados a otra, debe verificarse que se suple el 90% de la masa participativa para cada dirección del análisis.

Las combinaciones deben efectuarse para las respuestas de interés, como las sollicitaciones locales de diseño de los miembros y las fuerzas cortantes de entrepiso, necesarias para controles del procedimiento (cortante basal mínimo, efectos P-
orsos adicionales). Es posible como parte de la metodología general de análisis, modelar la acción sísmica por medio de una fuerza cortante y un momento torsor por nivel, pero un procedimiento más exacto consiste en combinar las respuestas de fuerzas cortantes modales de cada plano resistente o bien las sollicitaciones locales en los miembros. Este segundo procedimiento es recomendable en todos los casos e incorpora los efectos desfavorables del acoplamiento modal para todos los planos resistentes. Mientras que el primero conduce a sobreestimaciones en las zonas flexibles de las plantas, junto con subestimaciones en las zonas rígidas que exigen la realización de análisis adicionales.

Eventualmente deberá aumentarse la fuerza cortante basal al valor V_0 o al dado por el coeficiente sísmico mínimo. Está implícito que en tal caso deben incrementarse las fuerzas cortantes de cada piso antes de verificar los efectos P- luego a todas las sollicitaciones de diseño deberán aplicárseles todos los incrementos correspondientes.

Con el objeto de incorporar los efectos de excentricidades accidentales causadas, bien por variaciones de la posición de los centros de masa y de rigidez o bien por excitaciones rotacionales del terreno, se deben añadir a los resultados del análisis de tres grados de libertad por nivel los efectos estáticos de una excentricidad

del cortante que se establece en seis por ciento (6%) de la dimensión de la planta perpendicular a la dirección analizada.

Dichos efectos se pueden obtener aplicando momentos torsores iguales al producto del cortante por nivel, multiplicado por la excentricidad $0.06 B$ correspondiente al mismo nivel. Estos efectos se suman a los obtenidos en el análisis dinámico.

Para obtener las solicitaciones más desfavorables en cada línea resistente, debe considerarse que dichos momentos torsores accidentales pueden cambiar de sentido. A los fines de una aplicación sencilla puede suponerse que las excentricidades tienen igual signo en todos los pisos en forma simultánea.

En resumen, la secuencia del análisis para los casos de sismo en direcciones ortogonales X e Y, podría ser la siguiente, bajo el supuesto de que se use el segundo procedimiento indicado antes:

- 1) Cálculo de los modos y las frecuencias de la estructura;
- 2) Respuesta modal a sismo en la dirección X;
- 3) Respuesta modal a sismo en la dirección Y;
- 4) Combinación de respuestas modales a sismo en la dirección X;
- 5) Combinación de respuestas modales a sismo en la dirección Y;
- 6) Control de fuerza cortante basal mínima y eventual incremento de solicitaciones.
- 7) Verificación de efectos P-
- 8) Cálculo de los efectos de la excentricidad accidental $\pm 0.06 B_x$;
- 9) Cálculo de los efectos de la excentricidad accidental $\pm 0.06 B_y$;
- 10) En cada plano resistente, agregar a los resultados obtenidos en el efecto más desfavorable de la excentricidad accidental.

11) Combinar los resultados de los sismos ortogonales.

Los pasos (8), (9) y (10) no son necesarios si en el paso (1) se incorporan separadamente variaciones de la posición de los centros de masa del orden de ± 0.03 B en cada dirección, en la y se analiza cada situación. Esto supone la ejecución de 5 análisis dinámicos espaciales como mínimo; obviamente, como respuestas modales deben tomarse las envolventes de todos los análisis. La no incorporación de la excitación rotacional en el análisis puede considerarse suplida por haber tomado los máximos de las variaciones de los centros de masas en ambas direcciones simultáneamente.

2.3 Bases legales

El presente estudio se fundamenta sobre las siguientes normas venezolanas e internacionales:

- **ASTM A36.** Norma calidad del acero.
- **COVENIN 1756-2001.** Edificaciones Sismo-resistentes. Parte 1 y 2, requisitos y comentarios, aprobada por el Ministerio de Industria y Comercio. Esta norma considera los requerimientos para el diseño sismo-resistente de edificaciones y se complementa con otras normas y especificaciones para la evaluación de equipos e instalaciones.
- **COVENIN 2002-88.** Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones.
- **ANSI/AISC 341-10.** Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.
- **ASCE 7-10.** Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.

2.4 Definición de términos básicos

- **Arrostramiento:** es la acción de rigidizar o estabilizar una estructura mediante el uso de elementos que impidan el desplazamiento o deformación de la misma.
- **Cedencia:** Deformación que se produce en un período cuando un material está sometido a un esfuerzo constante y a temperatura constante.
- **Cortante basal:** fuerza sísmica total en la base del edificio.

- **Ductilidad:** propiedad de aquellos materiales que, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sin llegar a romperse.
- **Efectos P-** es el efecto de una sobre carga axial sobre el comportamiento de la flexión transversal de los elementos reticulares.
- **Esfuerzo axial:** es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones perpendiculares (normales) a la sección transversal de un prisma mecánico.
- **Esfuerzo cortante:** es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico.
- **Excentricidad:** parámetro que determina el grado de desviación de una sección
- **Fundación:** conjunto de elementos estructurales de una edificación cuya misión es transmitir sus cargas o elementos apoyados en ella al suelo.
- **Histéresis:** es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado.
- **Montante:** toda pieza vertical que sin que pueda ser considerada como pilastra o columna sostiene alguna construcción.
- **Resistencia:** capacidad de los sólidos para soportar tensiones sin alterarse.
- **Rigidez:** Capacidad de resistencia de un cuerpo a doblarse o torcerse por la acción de fuerzas exteriores que actúan sobre su superficie.
- **Parante:** es la estructura inferior fija al suelo que funciona como apoyo que sostiene el resto de una estructura diferente que ejerce una fuerza opuesta a la gravedad.
- **Pandeo:** es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.
- **Pórtico:** es un espacio arquitectónico cubierto conformado por una galería de columnas adosada a un edificio.
- **Sismo resistencia:** es la ciencia que se encarga que las edificaciones sean capaces de resistir la acción de las fuerzas causadas por sismos frecuentes, aunque se presenten daños, en el caso de un sismo muy fuerte.

- **Solicitaciones:** Esfuerzos internos transmitidos por una parte de la estructura a otra parte adyacente. Desplazamientos ocasionados por un desplazamiento del terreno o el empuje de algún elemento externo.
- **Viga de alma calada:** viga formada a partir de vigas laminadas en forma de doble te, cortándola siguiendo un trazo longitudinal en forma de zigzag, desplazando ambas partes obtenidas para soldarlas luego, obteniendo un perfil más alto y más ligero.
- **Viga de alma llena:** viga de acero compuesta por diferentes planchas rematadas o soldadas entre sí.
- **Viga Vierendeel:** es una viga con forma de celosía ortogonal, inventada y patentada por Jules Arthur Vierendeel.

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

Según Tamayo y Tamayo (2003), “la metodología constituye la medula del plan; se refiere a la descripción de las unidades de análisis o de investigación, técnicas de observación y recolección de datos, los instrumentos, los procedimientos y las técnicas de análisis”. El marco metodológico que define la siguiente investigación está constituido por los siguientes puntos: tipo, diseño y nivel de la investigación, población y de recolección de datos y las fases metodológicas.

3.1 Tipo de investigación

En este trabajo de investigación se tomará en cuenta el punto de vista de Tamayo y Tamayo (2003) que cita “el tipo de investigación descriptiva comprende el registro, descripción, análisis e interpretación de la naturalizada actual y la composición o procesos de los fenómenos, el enfoque que se hace sobre conclusiones dominantes o sobre como una persona, grupo o cosa funcionan en el presente, la investigación descriptiva trabaja sobre realidades de hecho, caracterizándose fundamentalmente por presentarnos una interpretación correcta”

Para esta investigación se considera que el tipo de investigación es documental-descriptiva, ya que se representa un estudio detallado y organizado sobre ciertas investigaciones ya comprobadas posteriormente. La misma concentra su atención en las posibilidades factibles de llevar a la práctica las teorías generales y destina su atención a resolver problemas y necesidades que se plantean y formulan los hombres en la sociedad a corto, mediano y largo plazo, en otras palabras, se interesa fundamentalmente por la propuesta de solución en un contexto físico-social específico.

3.2 Diseño de la investigación

Según Fidias G. Arias (1999), define el diseño de la investigación como “la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado”. Así

mismo, la investigación documental se ha establecido que “es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas”. (Fidias G. Arias, 2004, p. 25). Es por ello que el diseño del presente trabajo es de tipo documental, puesto que se basa en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales impresas, audiovisuales o electrónicas, con el fin de nuevos aportes en conocimientos.

3.3 Nivel de la investigación

Para Fidias G. Arias (2006) el nivel de investigación: “Se refiere al grado de profundidad con el que se aborda un fenómeno u objeto de estudio” (2006, pag.23). La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. Por ello el nivel de investigación de este trabajo es descriptivo, ya que presenta el rendimiento de las vigas Vierendeel ante una acción sísmica.

3.4 Población y muestra

Comúnmente en la presente sección del marco metodológico de un trabajo de grado desarrollado en base al estudio de un tema relacionado al entorno social, la definición de los términos de población y muestra se realizan en base a la formulación de una ecuación probabilística donde se caracterizan los dos términos. En el caso del desarrollo de este trabajo de grado, representa un estudio de concepción técnica, este no es afectado por el comportamiento de individuos y sus características, por lo que no resulta factible, plantear o determinar de forma específica la población y la muestra, ya que no se puede aplicar una probabilidad al tema en estudio.

3.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Al hablar de técnica, Falcón y Herrera (2005), estipulan lo siguiente: “se entiende como técnica el procedimiento o forma particular de obtener datos o

información” (pág. 12). La aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser resguardada mediante un instrumento de recolección de datos, lo cual según los autores antes mencionados “son dispositivos o formatos (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información” (pág. 12). La selección de técnicas e instrumentos de recolección de datos implica determinar por cuales medios los investigadores obtendrán la información necesaria para alcanzar los objetivos de la investigación.

Para el desarrollo de los objetivos trazados en la investigación fue necesario utilizar la técnica de observación documental, presentación resumida, resumen analítico y análisis crítico.

3.6 Fases Metodológicas

Fase I: Describir en qué consiste los sistemas SMF y vigas Vierendeel.

Se procede a explicar de forma concisa los sistemas a estudiar, desde su definición hasta su comportamiento sismo-resistente. Esta fase viene dada por la recopilación de información para sustentar las definiciones y describir los comportamientos sismo resistentes de los sistemas SMF y de las vigas Vierendeel por medio de instrumentos definidos según fuente documental.

Fase II: Establecer una metodología de diseño de los SMF y vigas Vierendeel.

El establecimiento de la metodología de diseño de este estudio de investigación se fundamenta en los requisitos de la norma ANSI/AISC 341-10 en donde el diseño esperado de los SMF es que cuando ocurran largos eventos sísmicos estas estructuras experimenten significativas deformaciones inelásticas en donde la mayor deformación inelástica se produce como rotación en la rótula de la viga limitada en el panel nodal de la columna. Los pórticos de acero resistentes a momento con vigas de celosía que forman parte del sistema resistente a sismos se diseñan, inspeccionan y construirán con un Nivel de Diseño ND3, de manera que sometidos a las acciones sísmicas la cedencia ocurra en segmentos especialmente diseñados con las vigas Vierendeel. Las columnas y los tramos de las vigas Vierendeel fuera de los segmentos especiales se diseñarán para que permanezcan elásticos bajo las fuerzas que genera la cedencia total y la deformación por

endurecimiento del segmento especial. La altura total de las vigas de celosía está limitada a no más de 1.80 m. y a una luz de hasta 20 m.

Fase III: Estimar los efectos de la acción sísmica en los sistemas estructurales planteados mediante modelos matemáticos en software de última generación.

Para realizar este estudio será mediante el Método de Análisis Dinámico Modal con Tres Grados de Libertad por Nivel, con el propósito de obtener una comparación con respecto a cada uno de los pórticos a estudiar y conocer la eficiencia en el comportamiento de cada sistema estructural.

En el diseño de edificaciones sismo resistentes la acción sísmica se caracteriza mediante espectros de diseño, los cuales toman en cuenta: la zonificación sísmica, los perfiles geotécnicos, el coeficiente de amortiguamiento y la ductilidad. Los criterios de análisis se analizarán bajo la acción de dos componentes sísmicas horizontales actuando simultáneamente según dos direcciones ortogonales. Estas dos direcciones deberán corresponder a las direcciones asociadas a los planos resistentes significativos del edificio. El método de análisis que se establece para la superestructura es “Método de análisis dinámico espacial de superposición modal con tres grados de libertad por nivel” donde se toma en cuenta el acoplamiento de las vibraciones traslacionales y torsionales de la edificación y considera tres grados de libertad para cada nivel. Los desplazamientos máximos no excederán los límites establecidos en el Capítulo 10 de la norma COVENIN 1756-2001.

A partir de los modelos de edificaciones a evaluar, se utiliza el software para la realización del análisis al comportamiento sismo-resistente de ambos sistemas en estudio, con el fin de obtener data.

Fase IV: Efectuar el análisis comparativo entre los sistemas estructurales.

Una vez obtenidos los resultados de la modelación en el software, se compara de forma crítica los dos sistemas. Se pretende demostrar el comportamiento sismo resistente de tres modelos de pórticos en acero con cinco tipos de altura (2, 4, 6, 8 y 10 pisos), cada uno con la misma altura de entrepiso de forma regular con una relación de 1 a 2, los cuales serán descritos a continuación: el primero de ellos es un modelo todo con un sistema Special Moment Frame, el segundo es un modelo

completo con vigas Vierendeel y el tercer y último modelo será una estructura híbrida, es decir, utilizando un sistema Special Moment Frame en el eje Xy en el eje Y vigas Vierendeel; en los segmentos especiales de cada panel Vierendeel tendrán dos longitudes diferentes.

CAPITULO IV

RECURSOS

4.1. Recursos Humanos

Entre los recursos humanos con los cuales se contará para el desarrollo de dicha investigación se encuentran:

- Estudiantes de la Universidad José Antonio Páez.
- Ingeniero Civil Mata Ramón (Tutor Académico).
- Ingeniero Mecánico De Pizella Alicia (Tutor Metodológico).

4.2. Recursos Institucionales

Se recibió el apoyo de las instalaciones de la Universidad José Antonio Páez y demás instituciones universitarias que sirvan de apoyo a la investigación.

4.3. Materiales

Se cuenta con los siguientes equipos para la realización de la investigación: Guías técnicas referentes al tema, computadoras portátiles, software de modelado matemático, material de oficina necesario para la realización de esta investigación.

4.4 Tiempo

El tiempo con el que cuenta esta investigación está comprendido entre los periodos electivos 20163CR-20171CR que corresponden a la cantidad de 8 meses. Las actividades a realizar en la presente investigación se encuentran detalladas en el cronograma de actividades. (Ver tabla 2).

Actividades	Tiempo								
	Oct. 2016	Nov. 2016	Dic. 2016	Ene. 2017	Feb. 2017	Mar. 2017	Abril 2017	May. 2017	Junio 2017
Describir en qué consiste los sistemas SMF y vigas Vierendeel.	X	X							
Establecer una metodología de diseño de los SMF y vigas Vierendeel.			X	X					
Estimar los efectos de la acción sísmica en los sistemas estructurales planteados mediante modelos matemáticos en software de última generación.					X	X			
Efectuar el análisis comparativo entre los sistemas estructurales.							X	X	X

Tabla 2. Cronograma de actividades.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Luego de haber planteado el objetivo general y los objetivos específicos del presente trabajo de grado, y llevar a cabo la investigación teórica y metodológica del mismo, es pertinente presentar el registro de los resultados obtenidos producto del desarrollo de cada fase definida durante el análisis metodológico del trabajo de grado.

5.1 Describir en que consiste los SMF y vigas Vierendeel

5.1.1 Sistemas Special Moment Frame

Un pórtico a momento sísmico comprende un sistema rectangular de vigas y columnas que resiste momento y corte durante las sacudidas del terremoto. Los estándares sísmicos típicamente consideran el sistema extremadamente dúctil y se le asigna un factor de respuesta más alto.

En regiones donde los eventos sísmicos son severos pero raros, en la construcción se adoptó una filosofía de diseño económica y practica para resistir tales terremotos proporcionando seguridad y evitando el colapso inducido por el evento sísmico y mientras permitiendo daños no estructurales.

Estos sistemas presentan un comportamiento inelástico debido a la formación de rotulas plásticas en las juntas de viga-columna y la base de la columna. Las rotulas plásticas se forman mediante la flexión de las vigas y columnas y el corte en el panel nodal.

Los pórticos especiales a momento consisten en vigas horizontales rígidamente conectadas a columnas. La resistencia al desplazamiento lateral es por la acción del sistema en general. Se debe notar, que los Special Moment Frame presentan una variación donde, se imponen ciertos límites a la amplitud y profundidad del entramado a utilizar en los edificios. En estos edificios se puede presentar un segmento especial dentro del entramado que, está diseñado para

proporcionar un mecanismo de rendimiento, mientras que los elementos fuera del segmento especial están diseñados y detallados para permanecer nominalmente elásticos. Los elementos horizontales son diseñados y construidos con un segmento especial en el punto medio de la viga para mitigar los efectos de corte de la gravedad. El segmento especial puede ser detallado usando paneles arriostrados en X o paneles Vierendeel. Se espera que un segmento correctamente diseñado y detallado resista grandes deformaciones inelásticas. La disipación de energía es a través de la flexión o flexión axial de los miembros, dependiendo del tipo de segmento especial utilizado.

5.1.7.2 Vigas Vierendeel

La viga Vierendeel es una estructura de entramado, constituida por dos cordones, superior e inferior, rectos o poligonales, unidos por montantes verticales, se organiza a partir de la no triangulación, sino de elementos intermedios verticales y vacíos rectangulares, no posee ninguna diagonal intermedia. Todo lo contrario, a la forma estática ideal del triángulo. Una organización vertical de los elementos intermedios se deforma, si los elementos estructurales no se encuentran completamente perpendiculares con respecto a los cordones superiores e inferiores.

Se especifican dos puntos: la falta de diagonales y el significado de la rigidez de conjunto de todo el sistema estructural, con las siguientes afirmaciones: El proceso comprende en evitar la formación de la triangulación en los nudos, sean estos derechos o curvos, de madera o metálico y reemplazarlos con ensamblajes verticales rígidos entre los cordones superiores e inferiores.

El cálculo es pesado en el caso general; pero se simplifica en el caso frecuente en que los cordones superior e inferior son rectos y horizontales, de igual momento de inercia y con cargas aplicadas sólo en los nudos. Este, trata de determinar cada una de las piezas rectas que constituyen en la viga, su ley de variación de momentos flectores y su tensión normal; es decir, su régimen de flexión compuesta, y además su esfuerzo tangencial. El punto medio de cada montante puede considerarse nulo con bastante exactitud.

El procedimiento del cálculo consiste en suponer un trozo de viga separado del resto por el plano que contiene los puntos de momento nulo de los montantes, y

considerar las fuerzas que restablecen el equilibrio de este trozo, y se aplican las ecuaciones generales de la deformación. El cálculo de esta viga es además extraordinariamente exacto y exigente como en el caso de los entramados triangulares. Siendo la viga rígida unifica por lo tanto las ventajas teóricas de las vigas y evita los problemas prácticos: ejecución y mantenimiento en servicio”.

La configuración Vierendeel del segmento dúctil, permite una mayor flexibilidad y libertad arquitectónica dentro del segmento especial. Durante los eventos sísmicos, las fuerzas laterales resultantes crean un corte vertical en el segmento especial que es resistido por los cordones del miembro. El segmento especial actúa como un “tramo” dúctil que disipa la energía a través de deformaciones inelásticas. Se ha demostrado mediante ensayos que estos paneles Vierendeel muestran un excelente comportamiento del sistema con ciclos histéricos estables y “completos”. El sistema también ha dado como resultados ser altamente económico, tener una excelente respuesta sísmica inelástica caracterizada por su comportamiento histórico estable, más ductilidad y menos derivas en los pisos en comparación con otros sistemas de pórticos.

5.2 Establecer una metodología de diseño de los SMF y vigas Vierendeel

5.2.7.2 Metodología de diseño de SMF

Los requerimientos para el diseño de un Special Moment Frame vienen dados por:

El concepto de viga débil de columna fuerte (CF / VD) es tal vez una de las disposiciones sísmicas menos comprendidas en el diseño de acero. A menudo se asume erróneamente que está formulado para evitar que cualquier columna ceda en el pórtico, y que, si tal rendimiento se produce, la columna fallará. Los ensayos de sub ensamblaje en pórticos a momento han demostrado que el rendimiento de las columnas no reduce necesariamente la resistencia lateral a los niveles de desplazamiento sísmico esperados.

Schneider et al (1991) y Roeder (1987) demostraron que el beneficio real de cumplir con los requisitos de CF / VD es que las columnas son generalmente lo suficientemente fuertes como para forzar la flexión en vigas en múltiples niveles del pórtico, logrando así un mayor nivel de disipación de energía en el sistema. Los

pórticos débiles de las columnas, particularmente aquellos con pisos débiles o blandos, es probable que muestren una respuesta indeseable en aquellos niveles con la demanda más alta de la columna de coeficientes de capacidad.

Debe tenerse en cuenta que el cumplimiento del concepto CF / VD y la relación de momentos en los nodos $\frac{M_{pc}}{M_{pb}} > 1.0$ no garantiza que las columnas individuales no cederán, incluso cuando todas las ubicaciones de conexión en el pórtico cumplan. Los análisis de la historia de respuesta no lineal han demostrado que, a medida que el pórtico se deforma inelásticamente, los puntos de desplazamiento de inflexión y la distribución de los momentos varían de la condición idealizada. No obstante, predominará el rendimiento de las vigas en lugar de las columnas y, en general, se conseguirá el rendimiento inelástico deseado en cuadros con miembros dimensionados para satisfacer el requisito de la ecuación.

Donde:

M_{pc} = la sumatoria de los momentos en el punto de intersección de los ejes baricéntricos de la viga y la columna, determinado como la proyección de la suma de la resistencia teórica a flexión plástica de la columna en los extremo superior e inferior de la conexión a momento de la viga, incluyendo las cartelas cuando existan, menos las fuerzas normales en la columna. Se permitirá tomar:

$$M_{pc} = Z_c(F_{yc} - P_{uc} / A_g) \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{E} - 1)$$

Donde no coincidan los ejes de las vigas concurrentes en un mismo plano, se tomará como eje el valor promedio.

M_{pb} = sumatoria de los momentos en el punto de intersección de los ejes baricéntricos de las vigas y la columna determinado por la proyección de la suma de las resistencias esperadas a flexión en la rótula plástica sobre el eje de la columna. Se permitirá tomar:

$$M_{pb} = (1.1R_y F_{yb} Z_b + M_{uv}) \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{E} - 2)$$

A_g = Área de la columna, cm².

F_{yc} = Tensión cedente mínima especificada del acero de la columna, kgf/cm².

F_{yb} = Tensión cedente mínima especificada del acero de la viga, kgf/cm².

P_{uc} = Solicitación mayorada de compresión normal de la columna (un número positivo), Kgf.

Z_c = Módulo de sección plástico de la columna, cm³.

Z_b = Módulo de sección plástico de la viga, cm³.

M_{uv} = Momento adicional que se produce al trasladar el cortante en la rótula plástica al centro de la columna.

Excepción: La relación de nodos no aplica en los casos:

- 1) Columnas sometidas a $P_{uc} < 0.3 P_c$ para todas las combinaciones de solicitaciones que se encuentren en las siguientes situaciones:
 - a) Columnas de edificaciones de un piso o del último entrepiso de una estructura de múltiples entrepisos.
 - b) Columnas donde:
 - 1) La suma de las resistencias minoradas de corte de todas las columnas exentas sea menos del veinte por ciento (20%) de la demanda por corte en el entrepiso.
 - 2) La suma de las resistencias minoradas a corte de todas las columnas exentas en cada una de las líneas de columnas dentro de ese entrepiso sea menor que el treinta y tres por ciento (33%) de las solicitaciones mayoradas de corte en esa línea de columna. Para los propósitos de esta excepción, se define línea de columnas como una sola línea de columnas o líneas de columnas paralelas comprendidas dentro del diez por ciento (10%) de la dimensión en planta perpendicular a la línea de columnas.

La resistencia nominal a la compresión, P_c :

$$P_c = F_{yc} A_g \text{ (LRFD)} \quad (\text{E} - 3)$$

2) En cualquier entrepiso donde la relación resistencia minorada / solicitaciones mayoradas de corte sea mayor que el cincuenta por ciento (50%) del entrepiso superior contiguo.

En los refuerzos laterales de las vigas, estas se sujetarán para satisfacer los requisitos de los miembros altamente dúctiles. Además, a menos que se indique otra

cosa mediante pruebas, los tirantes de viga se colocarán cerca de fuerzas concentradas, cambios de sección transversal y otros lugares donde el análisis indique que se formará una rótula plástica durante deformaciones inelásticas del SMF. La colocación de refuerzos laterales deberá ser consistente con la documentada para una conexión precalificada designada en ANSI / AISC 358.

Para el diseño de miembros:

Los miembros de vigas y columnas deberán cumplir los requisitos de la relación ancho/ espesor para los miembros altamente dúctiles, a menos que se especifique lo contrario mediante pruebas. Las vigas estructurales de acero en SMF pueden ser compuestas con una losa de hormigón armado para resistir cargas gravitacionales.

La capacidad de deformación inelástica confiable para los miembros altamente dúctiles requiere que la relación ancho/espesor de los elementos se limite a un rango que proporcione una sección transversal resistente al pandeo local dentro del rango inelástico. Los límites que figuran en el cuadro D1.1 de la norma ANSI/AISC 341-10 de las disposiciones se consideran adecuadas para la gran ductilidad demandas a las cuales estos miembros pueden estar sujetos. (Ver tabla 3).

Para la conexión viga – columna utilizada en el sistema debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- 1) La conexión debe ser capaz de tener un ángulo de deriva por nivel de al menos 0-04 rad.
- 2) La resistencia a flexión de la conexión, determinada en la cara de la columna, debe ser igual a 0.8 Mp de la viga al ángulo de la deriva en planta de 0.04rad.

3) Modelo sistema Special Moment Frame

Se presenta la disposición de las columnas, dirección de las mismas y de las losas colocadas, así como la configuración de los sistemas estructurales (Ver figura 22 y 23)

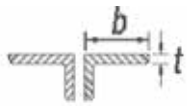
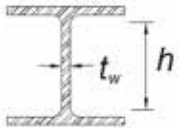
Límites de relación ancho/espesor para elementos de compresión para miembros moderadamente dúctiles y altamente dúctiles.				
Descripción del elemento	Relación ancho/espesor r	Límites de relación ancho/espesor		Ejemplo
		Miembros altamente dúctil	Miembros moderadamente dúctil	
Miembro doble ángulo con separación	$\frac{b}{t}$	$0.3\sqrt{E Fy}$	$0.38\sqrt{E Fy}$	
Miembro de sección H	$\frac{h}{t_w}$	$0.94\sqrt{E Fy}$	No aplica	

Tabla 3. Límites de relación ancho/espesor para elementos de compresión para miembros moderadamente dúctiles y altamente dúctiles.

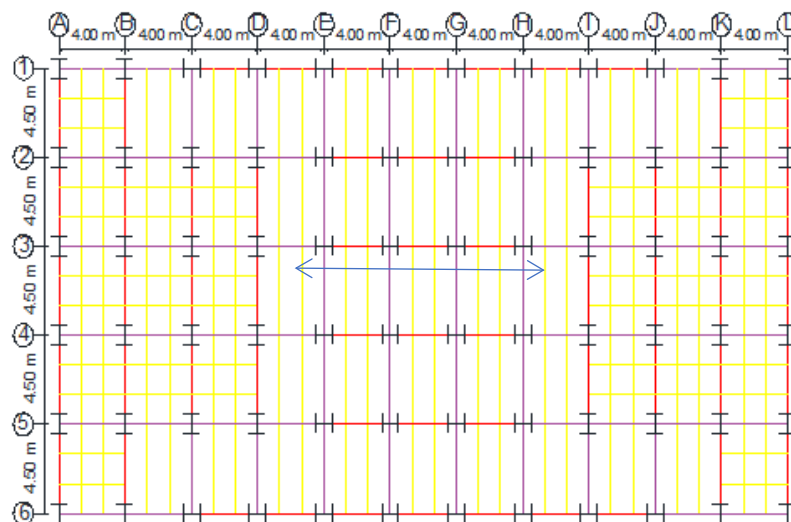


Figura 22. Planta de techo de la edificación SMF.

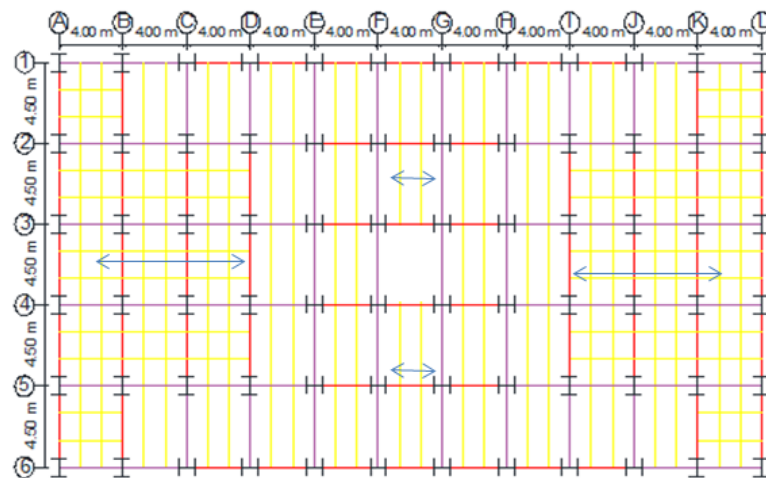


Figura 23. Planta del entrespacio de la edificación SMF.

A continuación, se exponen los perfiles que se utilizaron en cada uno de los modelados SMF.

Modelo de edificación de 2 pisos.

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE340B
—	Vigas SMF	IPE 300
—	Vigas OMF	IPE 270
—	Correas	IPE 220

Tabla 4. Perfilería utilizada en la estructura SMF de 2 pisos.

Modelo de edificación de 4 pisos.

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE550B
—	Vigas SMF	IPE 330
—	Vigas OMF	IPE 300
—	Correas	IPE 240

Tabla 5. Perfilería utilizada en la estructura SMF de 4 pisos.

Modelo de edificación de 6 pisos.

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE650B
—	Vigas SMF	IPE 360
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Correas	IPE 270

Tabla 6. Perfilería utilizada en la estructura SMF de 6 pisos.

Modelo de edificación de 8 pisos.

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE800B
—	Vigas SMF	IPE 400
—	Vigas OMF	IPE 360
—	Correas	IPE 300

Tabla 7. Perfilería utilizada en la estructura SMF de 8 pisos.

Modelo de edificación de 10 pisos.

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE1000B
—	Vigas SMF	IPE 500
—	Vigas OMF	IPE 450
—	Correas	IPE 330

Tabla 8. Perfilería utilizada en la estructura SMF de 10 pisos.

5.2.2 Metodología de diseño con las vigas Vierendeel

Se espera que esta disposición de segmento especial con viga Vierendeel diseñado de acuerdo con las disposiciones de la norma ANSI/AISC 341-10 para que proporcione una capacidad de deformación inelástica significativa dentro de la armadura de la viga de celosía. La viga debe estar limitada a longitudes de travesaño entre columnas que no excedan los 20 m y el alto total no debe pasar de 1,8 m. Las

columnas y los segmentos de viga fuera de los segmentos especiales se diseñarán para que permanezcan elásticos bajo las fuerzas que pueden ser generadas por el segmento especial completamente endurecido y endurecido por deformación.

El análisis de los segmentos viene dado por los siguientes requerimientos:

1) Segmento especial Vierendeel: la resistencia de corte vertical requerida del segmento especial se calculará para las combinaciones de cargas apropiadas en el código de construcción ASCE 7-10.

2) Segmento no especial: la resistencia requerida de miembros del segmento y conexiones se calculará en base a las combinaciones de carga en el código de construcción ASCE 7-10 aplicable que incluyen la carga sísmica amplificada. Al determinar la carga sísmica amplificada, el efecto de las fuerzas horizontales, incluyendo la sobretensión, $E_m h$, se tomarán como las fuerzas laterales necesarias para desarrollar la resistencia al corte vertical esperado del segmento especial que actúa a mediana longitud. Se incluirán los efectos de segundo orden con la desviación máxima del diseño.

Los requerimientos del sistema:

En el Segmento especial con panel Vierendeel, cada viga horizontal que forma parte de un pórtico a momento deberá tener un segmento especial que se encuentre entre los puntos de cuarto del tramo de la armadura. La longitud del segmento especial debe ser entre 0,1 y 0,5 veces la longitud del tramo. La relación longitud / alto de cualquier panel en el segmento especial no debe ser superior a 1,5 ni inferior a 0,67.

El panel dentro del segmento especial será solo de viga Vierendeel. No se permitirá dentro del segmento especial empalmes en los cordones, ni dentro de la mitad de la longitud del panel desde los extremos del segmento especial.

Cada miembro de los cordones debe estar apoyado lateralmente en los extremos del segmento especial. La resistencia teórica requerida lateralmente será:

$$= 0.06 \quad (\text{LRFD}) \quad (\text{E} - 4)$$

$$= \text{Área gruesa del miembro del cordón del segmento especial, mm}^2$$

Para el diseño de miembros, en el segmento especial en el estado límite de cedencia total, el segmento especial deberá desarrollar su resistencia teórica al corte vertical a través de la resistencia teórica a flexión de los miembros de los cordones y de la resistencia a cargas normales de tracción y compresión de los miembros diagonales que constituyen el alma.

Los miembros de los cordones superior e inferior se fabricarán con idénticas secciones, de manera que en el estado de cedencia total resistan por lo menos el veinticinco por ciento (25 %) de la sollicitación mayorada de corte vertical. La resistencia minorada a carga normal en los cordones no excederá $\phi = 0.90$, con $\phi = 0.90$ donde:

$$= \quad (E - 5)$$

La fuerza de corte vertical esperada del segmento especial será:

$$V_{ne} = \frac{3.60R_y M_{nc}}{L_s} + 0.036EI \frac{L}{L_s^3} + R_y (P_{nt} + 0.3P_{nc}) \sin \alpha \quad (E - 6)$$

Donde:

E = módulo de elasticidad de los cordones del segmento especial.

I = momento de inercia de los cordones del segmento especial.

L = Luz de la viga de celosía.

Ls = Longitud del segmento especial.

Mnc = resistencia teórica a flexión del miembro del cordón en el segmento especial.

Pnt = resistencia teórica a tracción de los miembros diagonales en el segmento especial = 0

Pnc = resistencia teórica a compresión de los miembros diagonales en el segmento especial = 0

Ry = factor de modificación de la tensión cedente mínima.

El espacio entre los cordones en el segmento especial no debe exceder $0.04E_r/F_y$, donde E_r es el radio de giro de los elementos individuales.

5.2.2.1 Modelado con Vigas Vierendeel

Estructuras de pórtico con segmento especial de viga Vierendeel. A pesar de utilizar la misma configuración y disposición de los sistemas estructurales, se realiza una variación en la longitud del segmento especial de viga Vierendeel, siendo este de 1m y 2m. La altura de los montantes es de 1,4 m cumpliendo con los requerimientos del segmento especial, específicamente con la relación largo/ alto que debe estar entre los límites 0.67 y 1.5 antes mencionados. Además de variar las longitudes de los pórticos, con el fin de observar su comportamiento ante las sollicitaciones generadas por el mismo.

5.2.2.1.1 Segmento especial de 1 metro de longitud

Se presenta la disposición de las columnas, dirección de las mismas y de las losas colocadas, así como la configuración de los sistemas estructurales. (Ver figura 24 y 25)

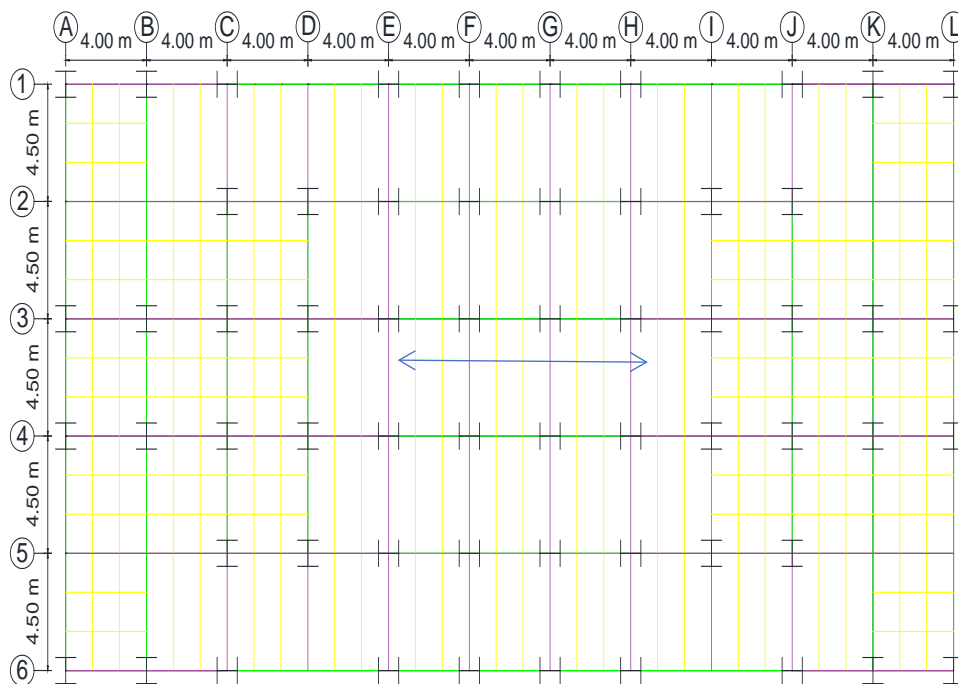


Figura 24. Planta de techo de la edificación con panel Vierendeel 1m.

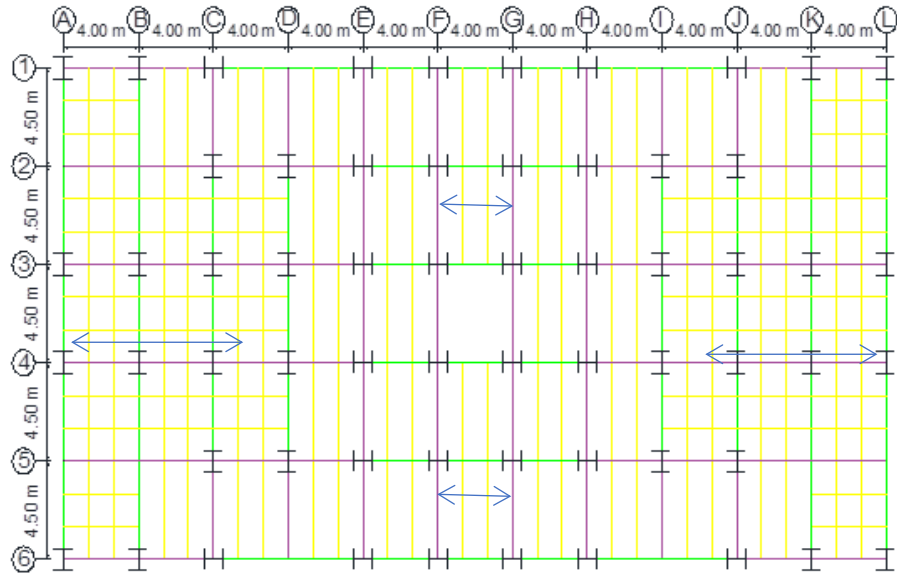


Figura 25. Planta del entrespado de la edificación con panel Vierendeel 1m.

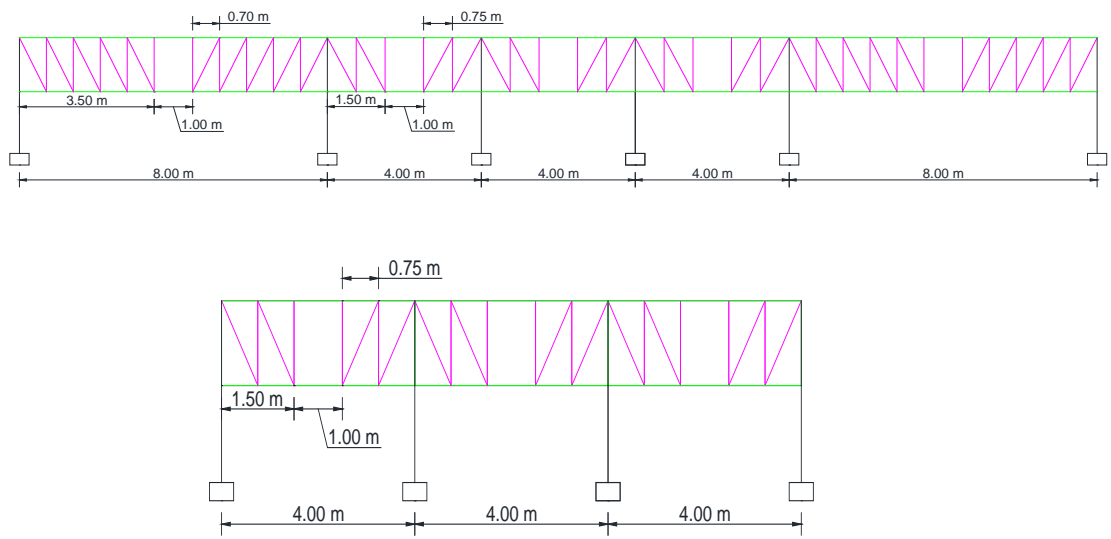


Figura 26. Configuración de los pórticos con viga reticulada y el segmento especial Vierendeel en la dirección X.

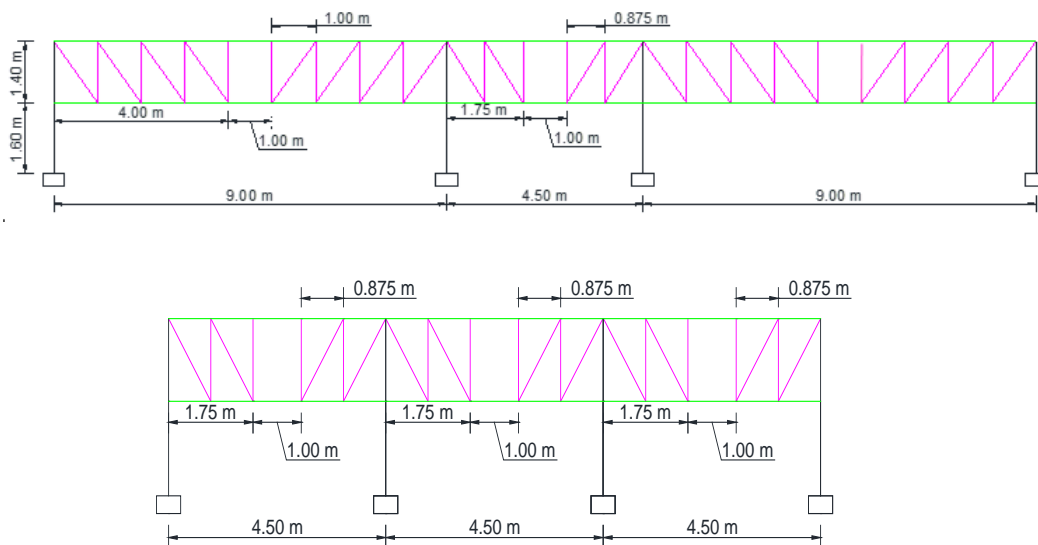


Figura 27. Configuración de los pórticos con viga reticulada y el segmento especial Vierendeel en la dirección Y.

En las siguientes tablas se muestran los perfiles que se utilizaron en cada uno de los modelados de los pórticos con viga reticulada con segmento especial de viga Vierendeel de 1m de longitud.

Modelo de la edificación de 2 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE340B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE220A
—	Montantes y diagonales	2L60x8/10
—	Correas	IPE 220

Tabla 9. Perfilería utilizada en la estructura con panel Vierendeel 1m de 2 pisos.

Modelado de la edificación de 4 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE340B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE240A
—	Montantes y diagonales	2L70x10/10
—	Correas	IPE 220

Tabla 10. Perfilería utilizada en la estructura con panel Vierendeel 1m de 4 pisos.

Modelo de la edificación de 6 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE400B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE280A
—	Montantes y diagonales	2L90x10/12
—	Correas	IPE 220

Tabla 11. Perfilería utilizada en la estructura con panel Vierendeel 1m de 6 pisos.

Modelo de edificación de 8 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE600B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE320A
—	Montantes y diagonales	2L120x11/15
—	Correas	IPE 240

Tabla 12. Perfilería utilizada en la estructura con panel Vierendeel 1m de 8 pisos.

Modelado de edificación de 10 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE1000B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE360A
—	Montantes y diagonales	2L200x18/12
—	Correas	IPE 270

Tabla 13. Perfilería utilizada en la estructura con panel Vierendeel 1m de 10 pisos.

5.2.2.1.2 Segmento especial de 2 metro de longitud

En esta estructura los perfiles que se utilizaron en cada uno de los modelados de los pórticos con viga reticulada con Segmento especial de Vierendeel de 2 m de longitud se muestran en las siguientes tablas a continuación. Se presenta la disposición de las columnas, dirección de las mismas y de las losas colocadas, así como la configuración de los sistemas estructurales.

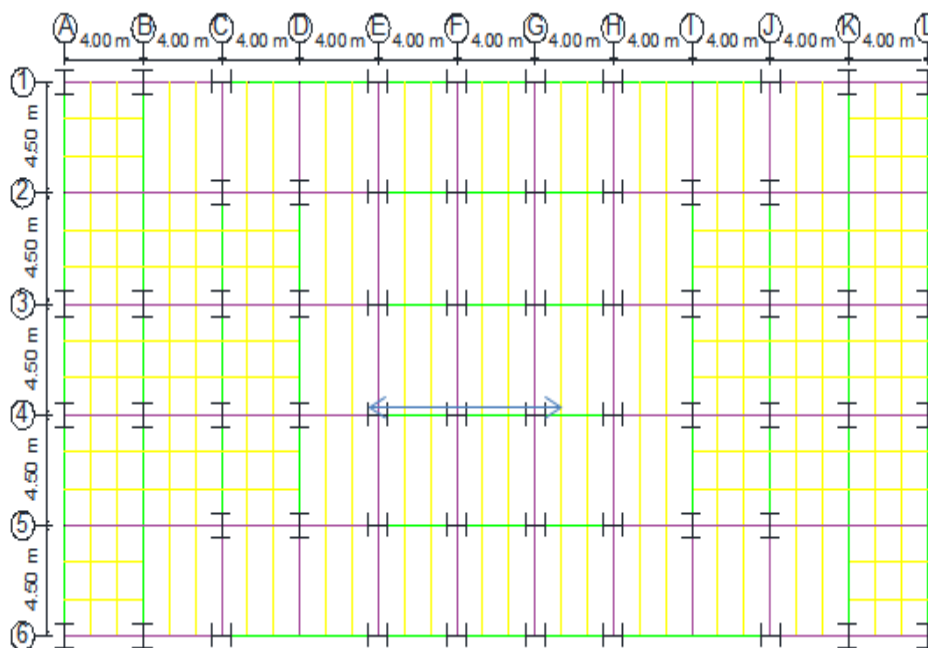


Figura 28. Planta de techo de la edificación con panel Vierendeel 2m.

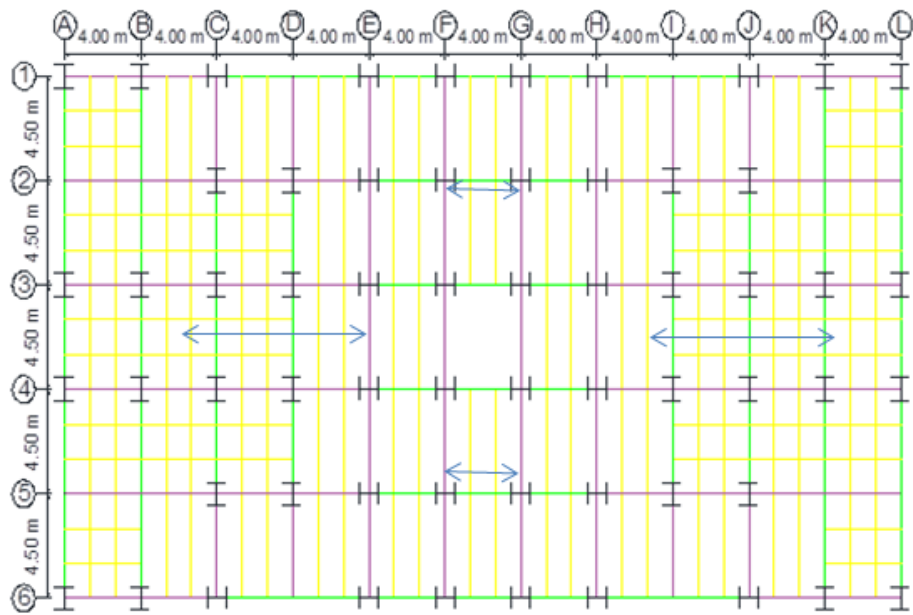


Figura 29. Planta de entrespiso de la edificación con panel Vierendeel de 2m.

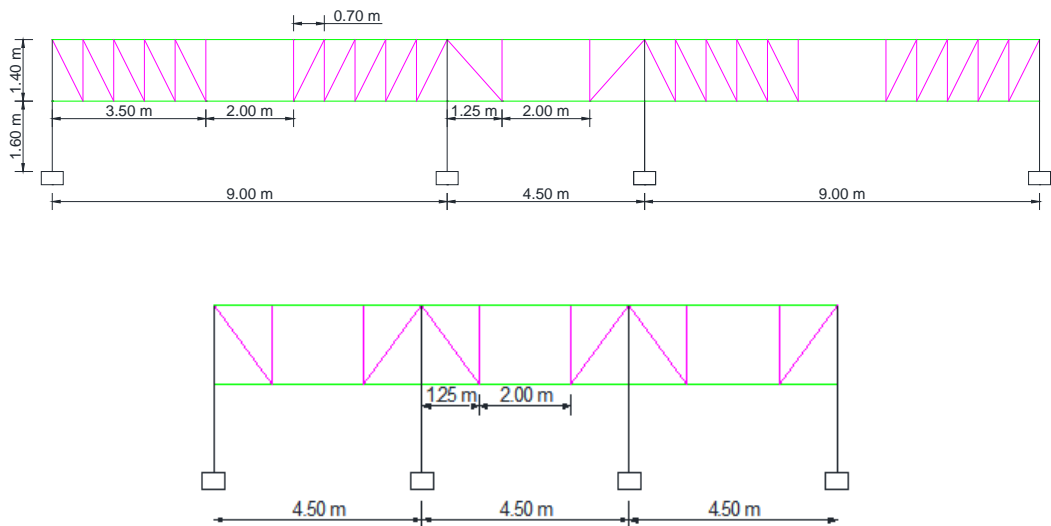


Figura 30. Configuración de los pórticos con viga reticulada y el segmento especial Vierendeel en la dirección Y.

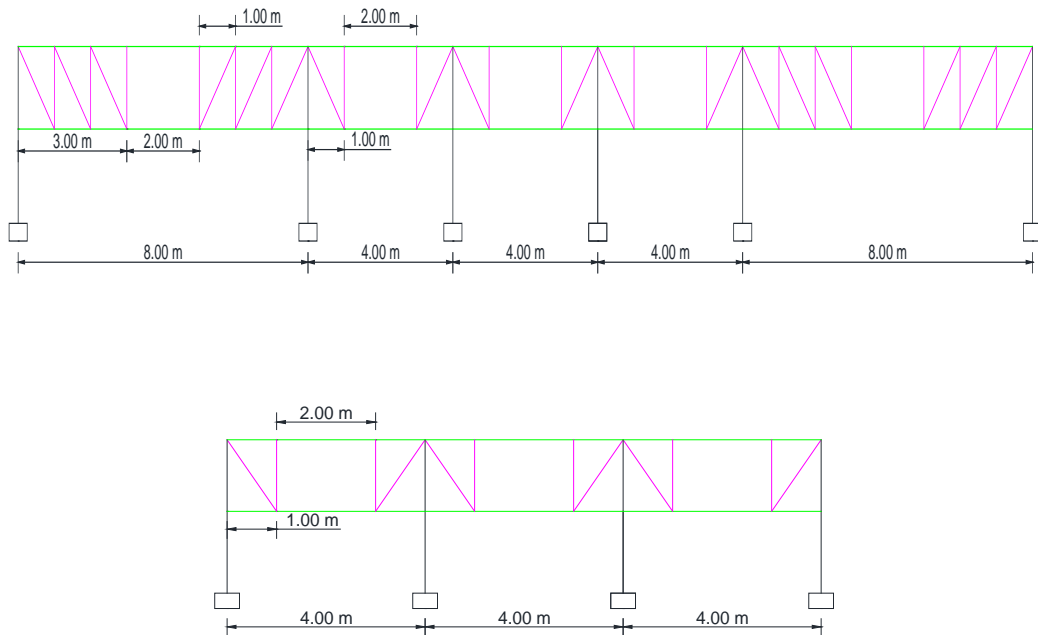


Figura 31. Configuración de los pórticos con viga reticulada y segmento especial Vierendeel en la dirección X

Modelo de la edificación de 2 pisos.

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE340B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE220A
—	Montantes y diagonales	2L60x8/10
—	Correas	IPE 220

Tabla 14. Perfilería utilizada en la estructura con panel Vierendeel 2m de 2 pisos.

Modelado de la edificación de 4 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE340B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE240A
—	Montantes y diagonales	2L80x12/12
—	Correas	IPE 220

Tabla 15. Perfilería utilizada en la estructura con panel Vierendeel 2m de 4 pisos.

Modelo de la edificación de 6 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE450B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE260A
—	Montantes y diagonales	2L120x11/12
—	Correas	IPE 220

Tabla 16. Perfilería utilizada en la estructura con panel Vierendeel 2m de 6 pisos.

Modelo de edificación de 8 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE650B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE320A
—	Montantes y diagonales	2L180x20/12
—	Correas	IPE 220

Tabla 17. Perfilería utilizada en la estructura con panel Vierendeel 2m de 8 pisos.

Modelado de edificación de 10 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE1000B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE360A
—	Montantes y diagonales	2L200x18/12
—	Correas	IPE 270

Tabla 18. Perfilería utilizada en el modelado con panel Vierendeel 2m de 10 pisos.

5.2.3 Modelo híbrido

El modelo es una combinación de los modelados expuestos anteriormente, siendo la configuración de los sistemas estructurales de la siguiente manera: en el eje Y se colocaron los pórticos de viga reticulada con el segmento especial Vierendeel de 1m y 2m; variando la longitud para su estudio y en el eje X se encuentran el SMF.

5.2.3.1 Segmento especial de 1 metro de longitud

Se presenta la disposición de las columnas, dirección de las mismas y de las losas colocadas, así como la configuración de los sistemas estructurales.

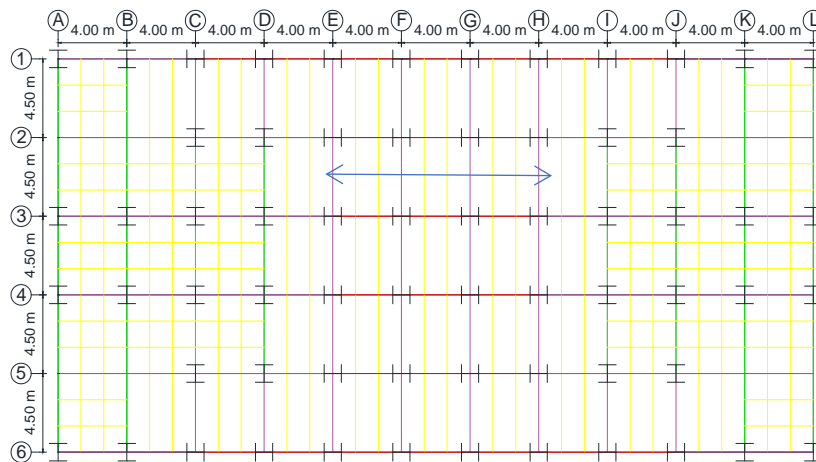


Figura 32. Planta de techo de la edificación híbrida con panel Vierendeel 1m.

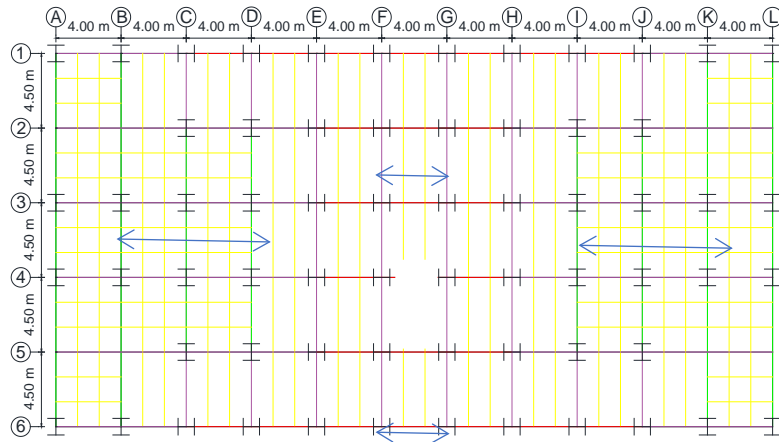


Figura 33. Planta de entrespiso de la edificación híbrida con panel Vierendeel 1m.

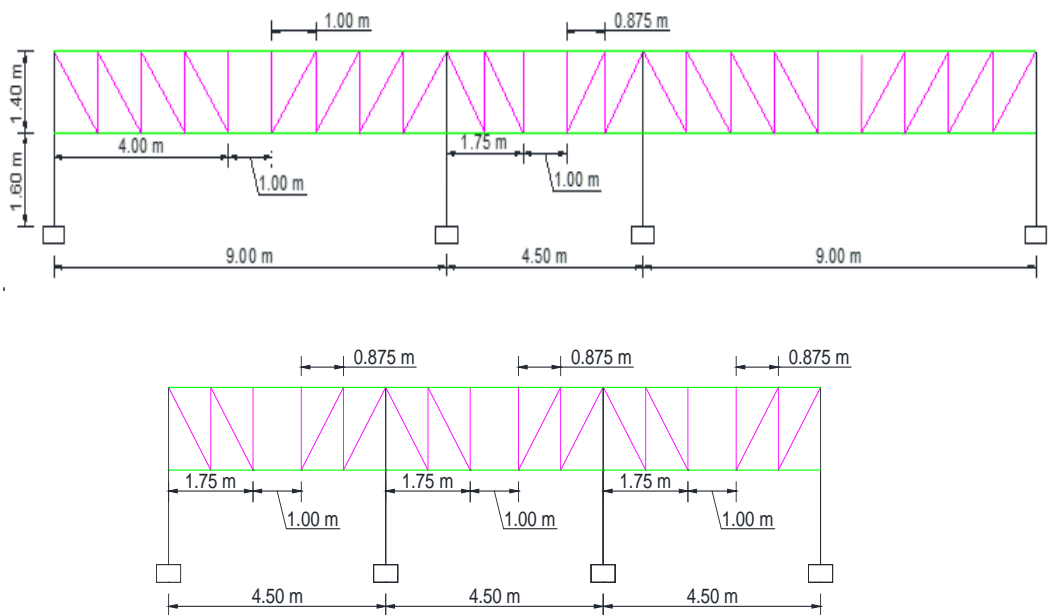


Figura 34. Configuración de los pórticos con viga reticulada y el segmento especial Vierendeel en la dirección Y.

A continuación, se exponen los perfiles que se utilizaron en cada uno de los modelados híbridos con la viga Vierendeel de 1m.

Modelo de la edificación de 2 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE340B
—	Vigas SMF	IPE 300
—	Vigas OMF	IPE 270
—	Cordones	HE220A
—	Montantes y diagonales	2L60x8/10
—	Correas	IPE 220

Tabla 19. Perfilería utilizada en la estructura híbrida con panel Vierendeel 1m de 2 pisos.

Modelado de la edificación de 4 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE360B
—	Vigas SMF	IPE 360
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE240A
—	Montantes y diagonales	2L70x10/10
—	Correas	IPE 220

Tabla 20. Perfilería utilizada en la estructura híbrida con panel Vierendeel 1m de 4 pisos.

Modelo de la edificación de 6 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE550B
—	Vigas SMF	IPE 360
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE260A
—	Montantes y diagonales	2L90x10/12
—	Correas	IPE 240

Tabla 21. Perfilería utilizada en la estructura híbrida con panel Vierendeel 1m de 6 pisos.

Modelo de edificación de 8 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE900B
—	Vigas SMF	IPE360
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE320A
—	Montantes y diagonales	2L120x11/15
—	Correas	IPE 240

Tabla 22. Perfilería utilizada en la estructura híbrida con panel Vierendeel 1m de 8 pisos.

Modelado de edificación de 10 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE900B
—	Vigas SMF	IPE360
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE360A
—	Montantes y diagonales	2L200x18/12
—	Correas	IPE 270

Tabla 23. Perfilería utilizada en la estructura híbrida con panel Vierendeel 1m de 10 pisos.

5.2.1 Segmento especial de 2 metros de longitud

Se presenta la disposición de las columnas, dirección de las mismas y de las losas colocadas, así como la configuración de los sistemas estructurales.

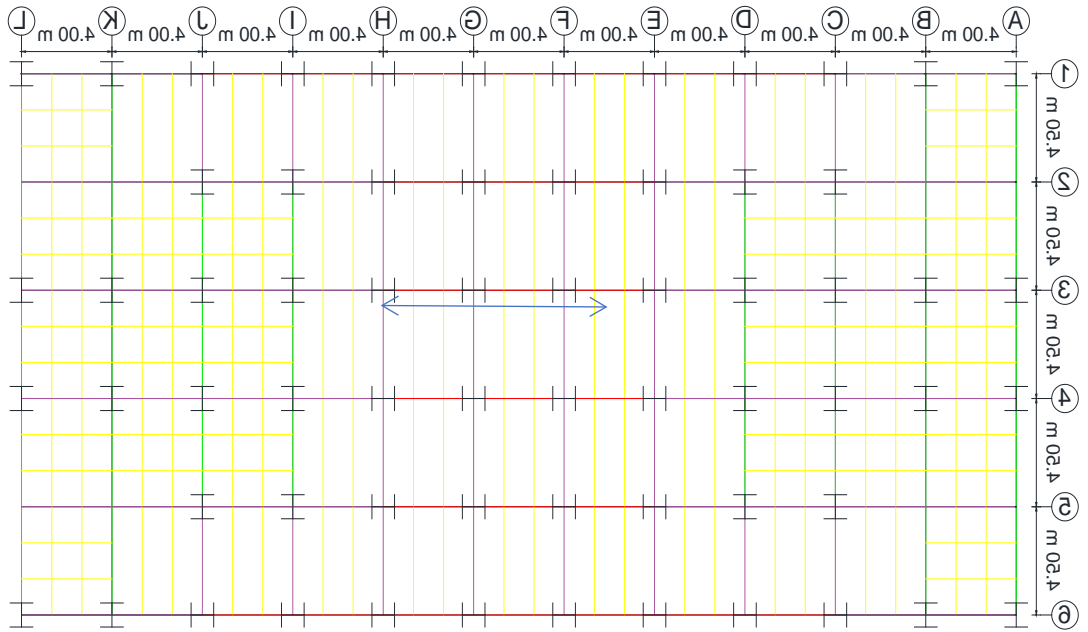


Figura 35. Planta de techo de la edificación híbrida con panel Vierendeel 2m.

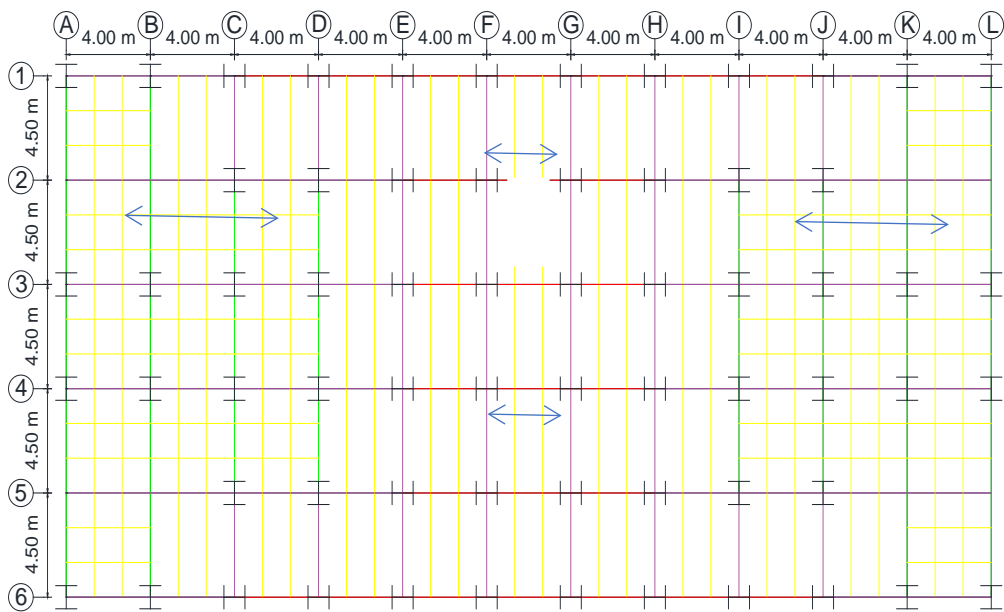


Figura 36. Planta de entrepiso de la edificación híbrida con panel Vierendeel 2m.

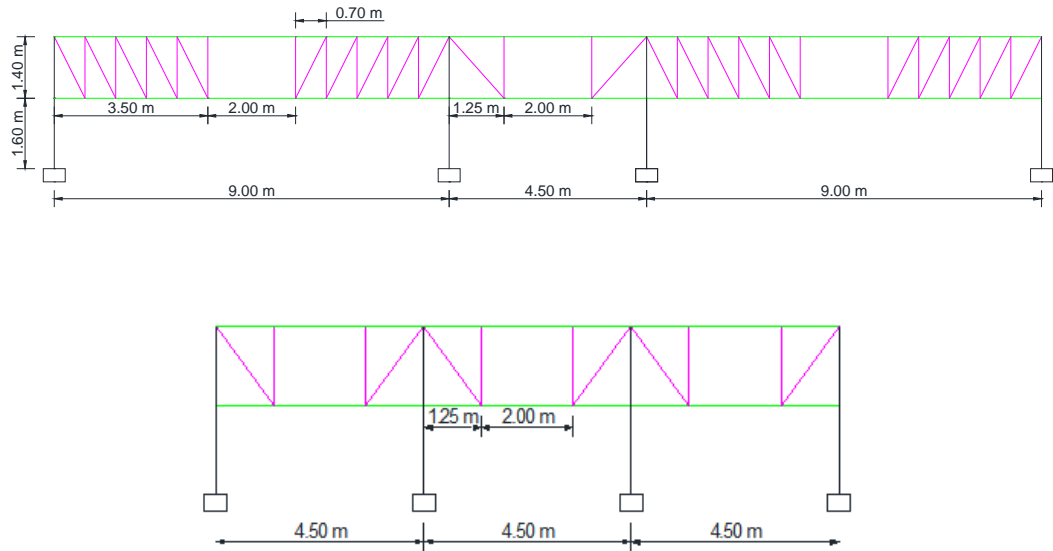


Figura 37. Configuración de los pórticos con viga reticulada y el segmento especial Vierendeel en la dirección Y.

A continuación, se exponen los perfiles que se utilizaron en cada uno de los modelados híbridos con la viga Vierendeel de 2m.

Modelo de la edificación de 2 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE340B
—	Vigas SMF	IPE 330
—	Vigas OMF	IPE 300
—	Cordones	HE220A
—	Montantes y diagonales	2L60x8/10
—	Correas	IPE 220

Tabla 24. Perfilería utilizada en la estructura híbrida con panel Vierendeel 2m de 2 pisos.

Modelado de la edificación de 4 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE340B
—	Vigas SMF	IPE 360
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE240A
—	Montantes y diagonales	2L80x12/12
—	Correas	IPE 220

Tabla 25. Perfilería utilizada en la estructura híbrida con panel Vierendeel 2m de 4 pisos.

Modelo de la edificación de 6 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE600B
—	Vigas SMF	IPE 330
—	Vigas OMF	IPE 300
—	Cordones	HE260A
—	Montantes y diagonales	2L120x11/12
—	Correas	IPE 220

Tabla 26. Perfilería utilizada en la estructura híbrida con panel Vierendeel 2m de 6 pisos.

Modelo de edificación de 8 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE800B
—	Vigas SMF	IPE360
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE320A
—	Montantes y diagonales	2L120x11/15
—	Correas	IPE 240

Tabla 27. Perfilería utilizada en la estructura híbrida con panel Vierendeel 2m de 8 pisos.

Modelado de edificación de 10 pisos

ELEMENTO		PERFIL UTILIZADO
—	Columnas	HE900B
—	Vigas OMF	IPE 330
—	Cordones	HE360A
—	Montantes y diagonales	2L200x18/12
—	Correas	IPE 270
—		

Tabla 28. Perfilería utilizada en la estructura híbrida con panel Vierendeel 1m de 10 pisos.

5.3 Estimar los efectos de la acción sísmica en los sistemas estructurales planteados mediante modelos matemáticos en software de última generación

5.3.1 Características generales del modelo

Las estructuras son de diferentes pisos 2, 4, 6, 8, 10 con el fin de obtener mayor data para la comparación; poseen forma rectangular, cuentan con un mismo tipo de planta, cuya longitud de mayor dimensión es de 44 metros siendo está orientada al eje horizontal, con 11 tramos de 4 metros cada uno; y 5 tramos de 4.5 metros que divide la dimensión restante orientada al eje vertical, que cuenta con una longitud de 22.5 metros en total. La altura de entrepiso es de 3 metros. Incluyen escaleras, las cuales están centralizadas en la edificación, no obstante, carecen de acceso al techo.

5.3.2 Cargas aplicadas

Las cargas en servicio determinadas para la modelación, se calcularon a partir de las consideraciones de la norma COVENIN 2002-88, donde se asume que las edificaciones estudiadas son de carácter educacional, hecho relevante a la hora de estimar la carga variable a utilizar, por otro lado para las cargas permanentes de entrepiso se tomó en consideración un sobrepiso de mortero de cemento con 3 cm de espesor, un acabado de granito de 2 cm de espesor y la tabiquería; por otro lado, las cargas permanentes del techo están compuestas por un manto asfáltico de 5 mm

de grosor y un sobrepiso de mortero con 5 cm de espesor. Las cargas totales utilizadas están expuestas en la tabla 4.

Entrepiso	Carga permanente ($\frac{kg}{m^2}$)	Carga Variable ($\frac{kg}{m^2}$)
	270.5	300
Techo	Carga permanente ($\frac{kg}{m^2}$)	Carga Variable ($\frac{kg}{m^2}$)
	113.5	100

Tabla 29. Tabla de cargas sobre la estructura.

En la totalidad de los modelados se utilizó para las losas de entrepiso y techo, una losacero calibre 22 con espesor de 0.70 mm y altura de 12 cm; los conectores de corte cuentan con una altura de 7 cm y con el diámetro de $\frac{3}{4}$ ". La losa en cuestión no fue diseñada, sino se consideró apta para soportar las cargas de servicio dispuestas en la edificación.

El acero a utilizar para todos los elementos es del tipo ASTM A36. Se utilizan perfiles tipo I, tipo H y doble ángulo, escogidos del catálogo Hierrobeco.

- Resistencia nominal de cedencia $F_y = 2530 \frac{kg}{cm^2}$
- Esfuerzo último del acero $F_u = 4080 \frac{kg}{cm^2}$
- Módulo de elasticidad $E = 2.1 \times 10^6 \frac{kg}{cm^2}$
- Densidad $\rho = 7850 \frac{kg}{cm^3}$
- Factor de modificación de la tensión cedente $R_y = 1.5$

5.3.3 Parámetros sísmicos

El método que se implementó en este trabajo de investigación es el método de análisis dinámico espacial de superposición modal con tres grados de libertad por nivel del capítulo 9, más específicamente sección 9.6 de la COVENIN-MINDUR 1756-2001.

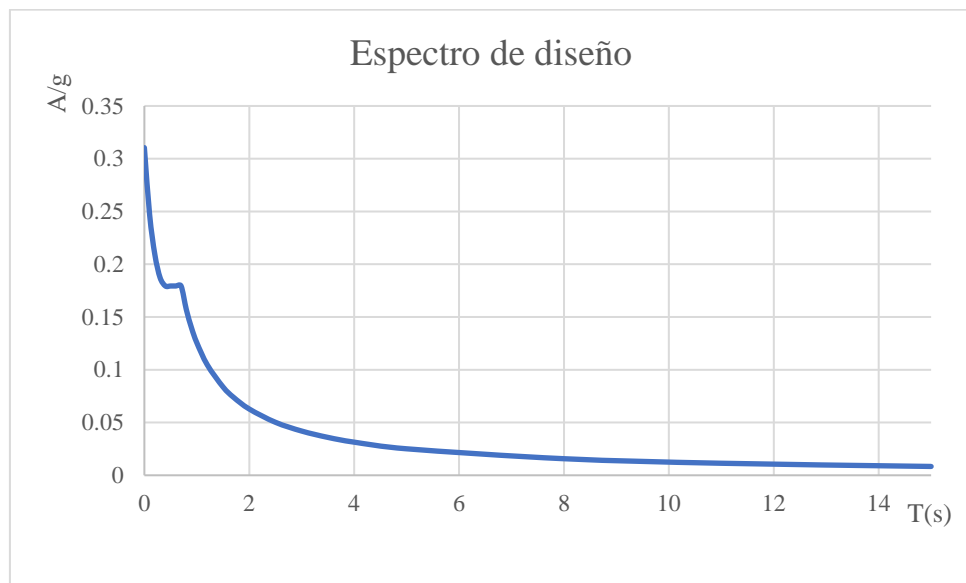
DEFINICIÓN DE PARÁMETROS SÍSMICOS SEGÚN COVENIN 1756-2001		
Zona Sísmica:	5	Zona sísmica según la ubicación (Tabla 4.1)
Ao:	0,3	Coefficiente de aceleración horizontal (Tabla 4.1)
Forma Espectral:	S2	Forma espectral tipificada de los terrenos de fundación (Tabla 5.1)
:	0,9	Factor de corrección del Ao (Tabla 5.1)
T*(Seg):	0,7	Máx. período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor constante (Tabla 7.1).
	2,6	Factor de magnificación promedio (Tabla 7.1).
p:	1	Exponente que define la rama descendente del espectro. Tabla 7.1
Grupo:	B1	Clasificación según el uso de la edificación. (Sección 6.1)
:	1,15	Factor de importancia (Tabla 6.1).
Nivel de Diseño:	ND3	Nivel de diseño de la estructura (Tabla 6.2)
Tipo:	I	Tipo de sistema estructural resistente a sismo. Sección 6.3.1
Material:	Acero	Material utilizado en los elementos de la edificación
R:	4,5	Factor de reducción de respuesta (Artículo 6.4.1).*

*A pesar de ser un artículo para las estructuras irregulares, se toma en cuenta como factor de seguridad por si la estructura a futuro presentara alguna irregularidad.

Tabla 30. Definición de parámetros sísmicos según COVENIN 1756-2001 utilizados en el estudio.

Este método toma en cuenta el acoplamiento de las vibraciones traslacionales y torsionales de la edificación y considera tres grados de libertad para cada nivel. Más adelante, se expone cómo se llevó a cabo la realización de este método con cada uno de los modelados estudiados, siendo suficiente demostración con uno de ellos, por cada sistema estructural.

Una vez dibujado la edificación en el programa de última generación, se procedió a definir el espectro de diseño (Gráfica 1) a utilizar a partir de los parámetros de diseño anteriormente expuestos en la Tabla 30.



Gráfica 1. Espectro de diseño.

La masa participativa o fuente de masa de la estructura está definida según la sección 7.1, que para nuestra estructura de uso educacional se utiliza el apartado d) de la norma, el cual considera el 100% de la carga permanente y un 50% de la carga variable.

5.3.4 Valores de diseño

Luego, se definió el número de modos de vibración para el análisis dinámico, junto con las formas modales asociados a dichos modos; estos últimos no son más que la representación de la deformada de la estructura cuando vibra en cierto modo. El número de modos se tomará como el mayor de los siguientes valores:

- i) $N_3 = 3 \times N_1$, donde N_1 es el número de pisos de la edificación, y el 3 representa el número de grados de libertad por nivel.

Siendo para la edificación escogida $N_1 = 4$, dando como resultado $N_3 = 3 \times (4) = 12$ modos de vibración a analizar.

- ii) $N_3 =$ Número de modos que garantice que la sumatoria de las masas participativas de los primeros N modos exceda el noventa por ciento (90%) de la masa total del edificio.

Para nuestro análisis, se tomó el valor descrito en i), con el fin de realizar un análisis más complejo y observar todos los modos de vibración de la estructura.

5.3.5 Combinación de efectos

Las estructuras deberán diseñarse para la acción simultánea de las dos componentes sísmicas horizontales. En los miembros estructurales, cada sollicitación debida a una componente sísmica horizontal, incluidos los efectos de la torsión accidental, se combinará con la misma sollicitación debida a la componente sísmica ortogonal, de acuerdo con uno de los criterios de combinación del artículo 8,6 de la COVENIN 1756-2001. En este caso, se utilizó el apartado a) La raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las sollicitaciones correspondientes a cada dirección del sismo., tomando como criterio que es la combinación mayor de las opciones.

5.3.6 Torsión adicional

Los efectos de la componente rotacional del terreno y de las incertidumbres en la ubicación de centros de masa y rigidez, se incluyen en el diseño añadiendo a los resultados del análisis dinámico, las sollicitaciones más desfavorables que resulten de aplicar estáticamente sobre la edificación los momentos torsores, tomando en cuenta una excentricidad accidental de un 6% para dichos momentos.

A continuación, se presentan los ejemplos demostrativos de la aplicación de la norma mencionados anteriormente, donde se tomó como muestra el modelado de 4 pisos SMF, el modelado con panel Vierendeel de 1m de 4 pisos y el modelado de híbrido con panel Vierendeel de 2m de 4 pisos; esto para mantener la uniformidad además de exponer la variedad de las respuestas sísmicas obtenidas. La siguiente tabla fue utilizada para los 3 modelados escogidos

ESTIMACIÓN DEL PERIODO FUNDAMENTAL		
$T_a = C_t H_n^{0,75}$		Sección 9.3.2.2 COVENIN 1756-2001
Ct:	0,08	Edificio de Acero
Hn:	12	Altura total del edificio en metros
T = Ta:	0,516	Para edificación Tipo I
Periodo entre los cuales cambia la curva del espectro de diseño		
T:	0,516	Periodo fundamental obtenido
T+:	0,35	Periodo característico de variación de respuesta dúctil
T*:	0,7	Valor obtenido anteriormente (Tabla 30)

Tabla 31. Definición del periodo fundamental según COVENIN 1756-2001.

5.3.7 Ejemplo de aplicación del Método de Análisis Dinámico Espacial de Superposición Modal con 3 Grados de Libertad por Nivel en modelados de las estructuras

A continuación, se presentan tres ejemplos uno con cada tipo de estructura, para conocer la aplicación del método de análisis de superposición modal en cada modelo.

5.3.7.1 Modelado de la estructura SMF de 4 pisos

En cada dirección, el corte basal V_0 deducido de la combinación modal deberá compararse con el calculado según la Sección 9.3.1 con un período $T = 1.6 T_a$, el

cual se denota aquí por $V_{omín}$. Cuando V_o sea menor que $V_{omín}$, los valores para el diseño deberán multiplicarse por $V_{omín}/V_o$.

FUERZA CORTANTE BASAL MÍNIMA (Sección 9.3.1 con $T = 1.6 T_a$)			
$V_{omín}$			
N:	4		Número de Niveles.
W:	2642097,46		Peso total de la edificación por encima del nivel de base en Kg.
	0,91	$\mu_1 = 1,4 \left(\frac{N+9}{2N+12} \right)$	El mayor de ambos valores.
	0,7868	$\mu_2 = 0,8 + \frac{1}{20} \left(\frac{T}{T}-1 \right)$	
1,6 T_a:	0,8253	Periodo fundamental para la obtención de Ad en el espectro de diseño.	
Ad:	0,152168	Ordenada del espectro de diseño definida para el período $T = 1.6 T_a$, obtenida de la Gráfica 1.	
$V_{omín}$ (Kg):	365859,8908		

Tabla 32. Fuerza cortante basal mínima (Sección 9.3.1 con $T = 1.6 T_a$) según COVENIN 1756-2001.

CHEQUEO DE LOS CORTES BASALES Y DERIVA INELÁSTICA			
Los cortantes basales obtenidos del programa de última generación (Kg)			
Dirección X	245620	Ambos son menores que el $V_{omín}$.	$V_{omín}/V_o = 1,4895$
Dirección Y	245620		
Luego de ser multiplicados por el factor $V_{omín}/V_o$, el corte basal máx. para ambas direcciones es:			
$V_{omáx}$:	365860	$V_{omáx} > V_o$	O.K.
:	0,003569	Deriva elástica máx de la estructura dada por el programa.	
$i = 0.8 \cdot R^*$		Deriva inelástica, siendo R el factor de reducción de respuesta.	
$i < 0,015$		Debe ser menor que 0,015 (Tabla 10,1) COVENIN 1756-2001	
0,01284 < 0,015			O.K.

**Debe realizarse con todas las derivas, pero para fines prácticos se hizo con el mayor, con el criterio que, si cumple con el máximo, así será con todos.

Tabla 33. Chequeo de los cortes basales y deriva inelástica según COVENIN 1756-2001.

Por último, se chequea si el coeficiente sísmico cumple con la normativa.

VERIFICACIÓN DEL COEFICIENTE SÍSMICO MÍNIMO (COVENIN 1756 SECCIÓN 7.1)			
Debe cumplirse la siguiente relación			
$\frac{V_o}{W}$		$\frac{\alpha A_o}{R}$	Sección 7.1 COVENIN 1756-2001
$\frac{V_o}{W}$:	0,1385	$\frac{\alpha A_o}{R}$:	0,076
			O.K.

Tabla 34. Verificación del coeficiente sísmico mínimo según COVENIN 1756-2001.

5.3.7.2 Modelado de la estructura con Vierendeel de 1m de 4 pisos

En cada dirección, el corte basal V_o deducido de la combinación modal deberá compararse con el calculado según la Sección 9.3.1 con un período $T = 1.6 T_a$, el cual se denota aquí por $V_{omín}$. Cuando V_o sea menor que $V_{omín}$, los valores para el diseño deberán multiplicarse por $V_{omín}/V_o$.

FUERZA CORTANTE BASAL MÍNIMA (Sección 9.3.1 con $T = 1.6 T_a$)			
$V_{omín}$:			
N:	4	Número de Niveles.	
W:	2741648,71	Peso total de la edificación por encima del nivel de base en Kg.	
1:	0,91	$\mu_1 = 1,4 \left(\frac{N+9}{2(N+12)} \right)$	El el escogido por ser el mayor de ambos valores.
2:	0,7868	$\mu_2 = 0,8 + \frac{1}{20} \left(\frac{T}{T} - 1 \right)$	
1,6 T_a:	0,8253	Periodo fundamental para la obtención de A_d en el espectro de diseño.	
A_d:	0,152168	Ordenada del espectro de diseño definida para el período $T = 1.6 T_a$, obtenida de la Gráfica 1.	
$V_{omín}$ (Kg):	379645,078		

Tabla 35. Fuerza cortante basal mínima (Sección 9.3.1 con T = 1.6 Ta) según COVENIN 1756-2001.

CHEQUEO DE LOS CORTES BASALES Y DERIVA INELÁSTICA			
Los cortantes basales obtenidos del programa de última generación (Kg)			
Dirección X	420621	Ambos son mayores que el $V_{omín}$.	
Dirección Y	420621		
Siendo el corte basal máximo			
$V_{omáx}$:	420621	$V_{omáx} > V_o$	O.K.
máx:	0,001849	Deriva elástica máx de la estructura dada por el programa.	
$i = 0.8 \cdot R^*$		Deriva inelástica, siendo R el factor de reducción de respuesta.	
$i < 0,015$		Debe ser menor que 0,015 (Tabla 10,1) COVENIN 1756-2001	
0,00665 < 0,015			O.K.

**Debe realizarse con todas las derivas, pero para fines prácticos se hizo con el mayor, con el criterio que, si cumple con el máximo, así será con todos.

Tabla 36. Chequeo de los cortes basales y deriva inelástica según COVENIN 1756-2001.

Por último, se chequea si el coeficiente sísmico cumple con la normativa.

VERIFICACIÓN DEL COEFICIENTE SÍSMICO MÍNIMO (COVENIN 1756 SECCIÓN 7.1)			
Debe cumplirse la siguiente relación			
	$\frac{V_o}{W}$	$\frac{\alpha A_o}{R}$	Sección 7.1 COVENIN 1756-2001
$\frac{V_o}{W} :$	0,1534	$\frac{\alpha A_o}{R} :$	0,076
			O.K.

Tabla 37. Verificación del coeficiente sísmico mínimo según COVENIN 1756-2001.

5.3.7.3 Modelado híbrido con Vierendeel de 2m de 4 pisos

En cada dirección, el corte basal V_o deducido de la combinación modal deberá compararse con el calculado según la Sección 9.3.1 con un período $T = 1.6 T_a$, el cual se denota aquí por $V_{omín}$. Cuando V_o sea menor que $V_{omín}$, los valores para el diseño deberán multiplicarse por $V_{omín}/V_o$.

FUERZA CORTANTE BASAL MÍNIMA (Sección 9.3.1 con $T = 1.6 T_a$)			
$V_{omín}$:			
N:	4		Número de Niveles.
W:	1919564,54		Peso total de la edificación por encima del nivel de base en Kg.
1:	0,91	$\mu_1 = 1,4 \left(\frac{N + 9}{2(N + 12)} \right)$	El mayor de ambos valores.
2:	0,7868	$\mu_2 = 0,8 + \frac{1}{20} \left(\frac{T}{T} - 1 \right)$	
1,6 T_a:	0,8253	Periodo fundamental para la obtención de Ad en el espectro de diseño.	
Ad:	0,152168	Ordenada del espectro de diseño definida para el período $T = 1.6 T_a$, obtenida de la Gráfica 1.	
$V_{omín}$ (Kg):	265808,39		

Tabla 38. Fuerza cortante basal mínima (Sección 9.3.1 con $T = 1.6 T_a$) según COVENIN 1756-2001.

CHEQUEO DE LOS CORTES BASALES Y DERIVA INELÁSTICA			
Los cortantes basales obtenidos del programa de última generación (Kg)			
Dirección X	260132	Menor que el $V_{omín}$; $V_{omín}/V_o = 1,0218$	
Dirección Y	280118	Es mayor a $V_{omín}$	
Luego de ser multiplicado por el factor $V_{omín}/V_o$, el corte basal máx. es:			
$V_{omáx}$:	280118	$V_{omáx} > V_o$	O.K.
máx:	0,003453	Deriva elástica máx de la estructura dada por el programa.	
$i = 0.8 \cdot R^*$		Deriva inelástica, siendo R el factor de reducción de respuesta.	
$i < 0,015$		Debe ser menor que 0,015 (Tabla 10,1) COVENIN 1756-2001	
0,01243 < 0,015			O.K.

**Debe realizarse con todas las derivas, pero para fines prácticos se hizo con el mayor, con el criterio que si cumple con el máximo, así será con todos.

Tabla 39. Chequeo de los cortes basales y deriva inelástica según COVENIN 1756-2001.

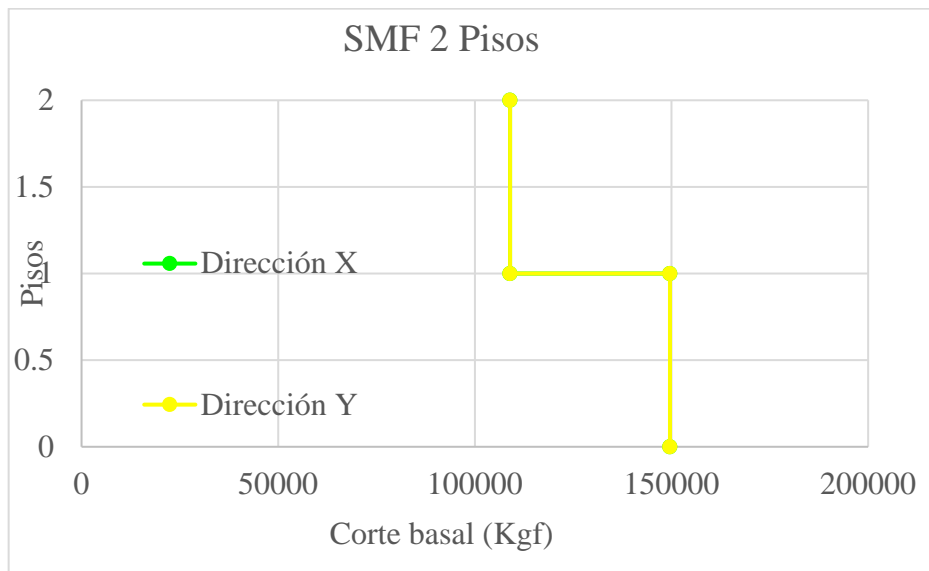
Por último, se chequea si el coeficiente sísmico cumple con la normativa.

VERIFICACIÓN DEL COEFICIENTE SÍSMICO MÍNIMO (COVENIN 1756 SECCIÓN 7.1)			
Debe cumplirse la siguiente relación			
$\frac{V_o}{W}$	$\frac{\alpha A_o}{R}$	Sección 7.1 COVENIN 1756-2001	
$\frac{V_o}{W}$:	0,1385	$\frac{\alpha A_o}{R}$:	0,076
			O.K.

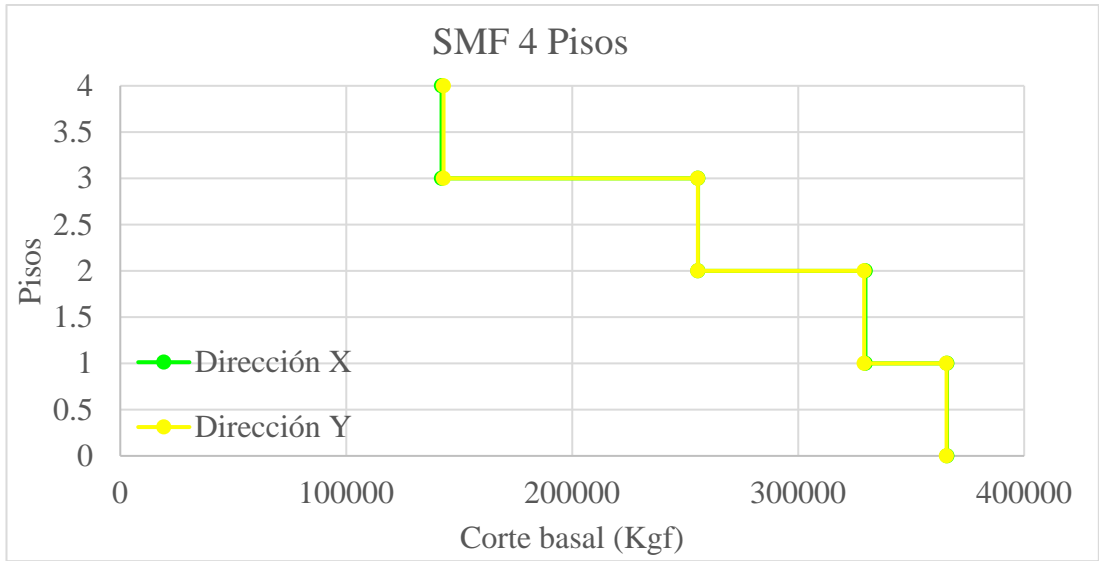
Tabla 40. Verificación del coeficiente sísmico mínimo según COVENIN 1756-2001.

5.3.8 Resultados de los efectos sísmicos del software de última generación

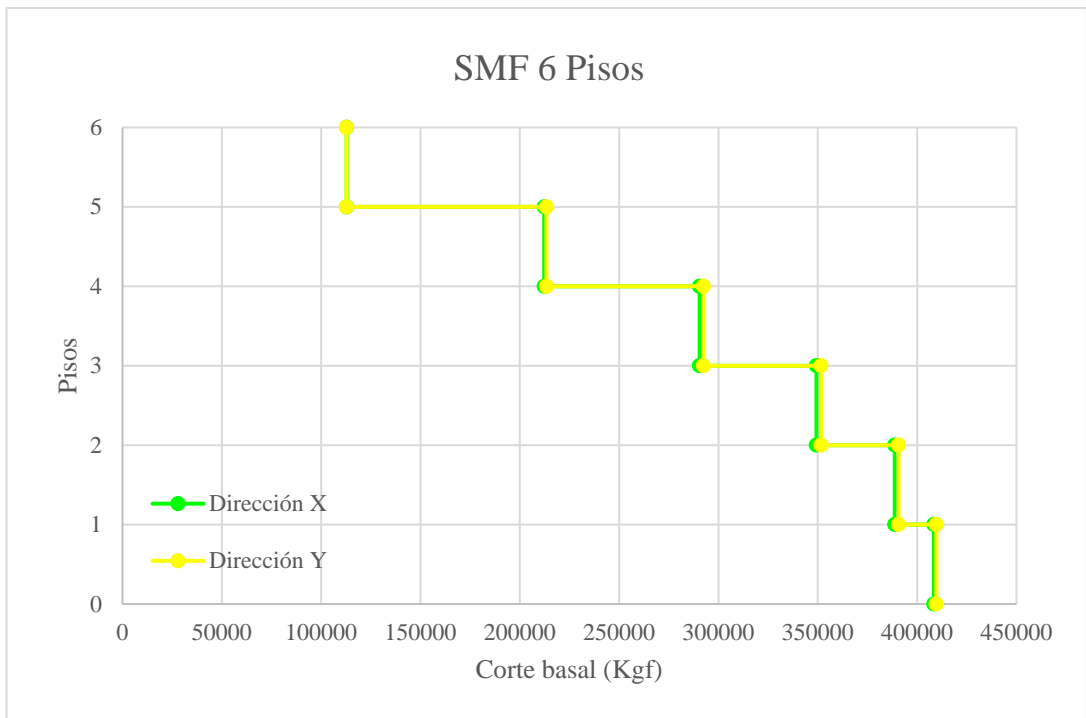
5.3.8.1 Corte basal



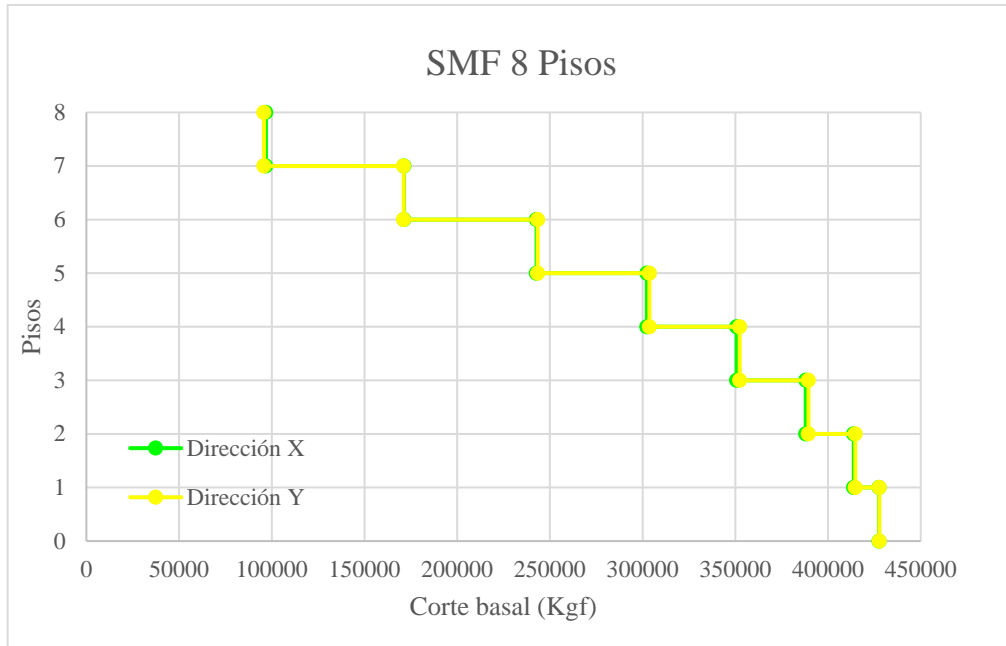
Gráfica 2. Gráfica de resultados de corte basal SMF 2 pisos.



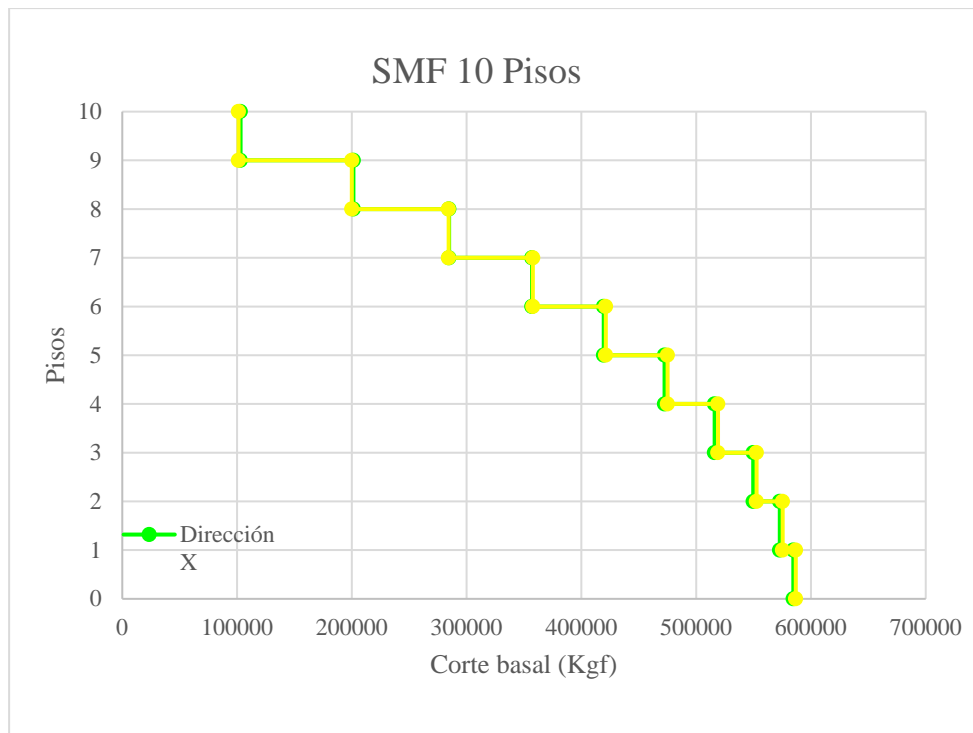
Gráfica 3. Gráfica de resultados de corte basal SMF 4 pisos.



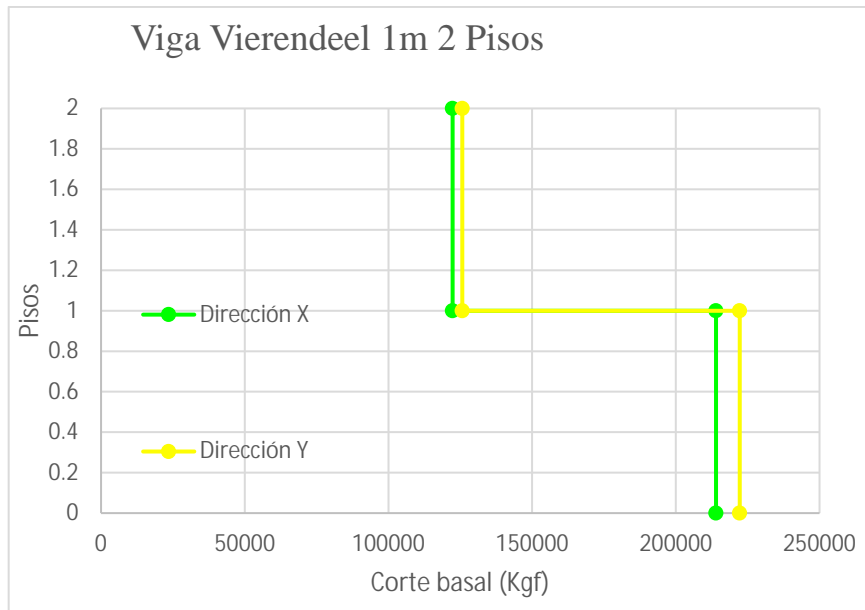
Gráfica 4. Gráfica de resultados de corte basal SMF 6 pisos.



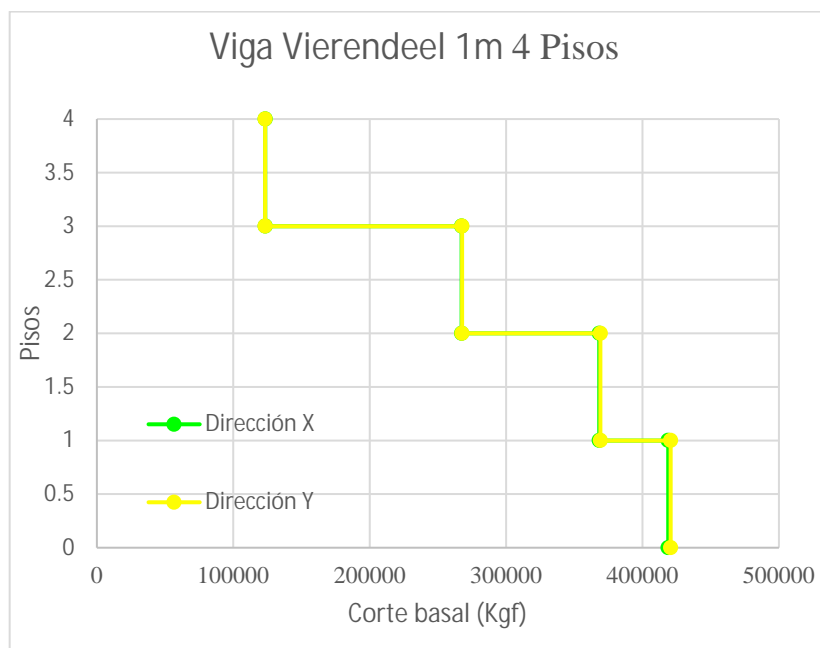
Gráfica 5. Gráfica de resultados de corte basal SMF 8 pisos.



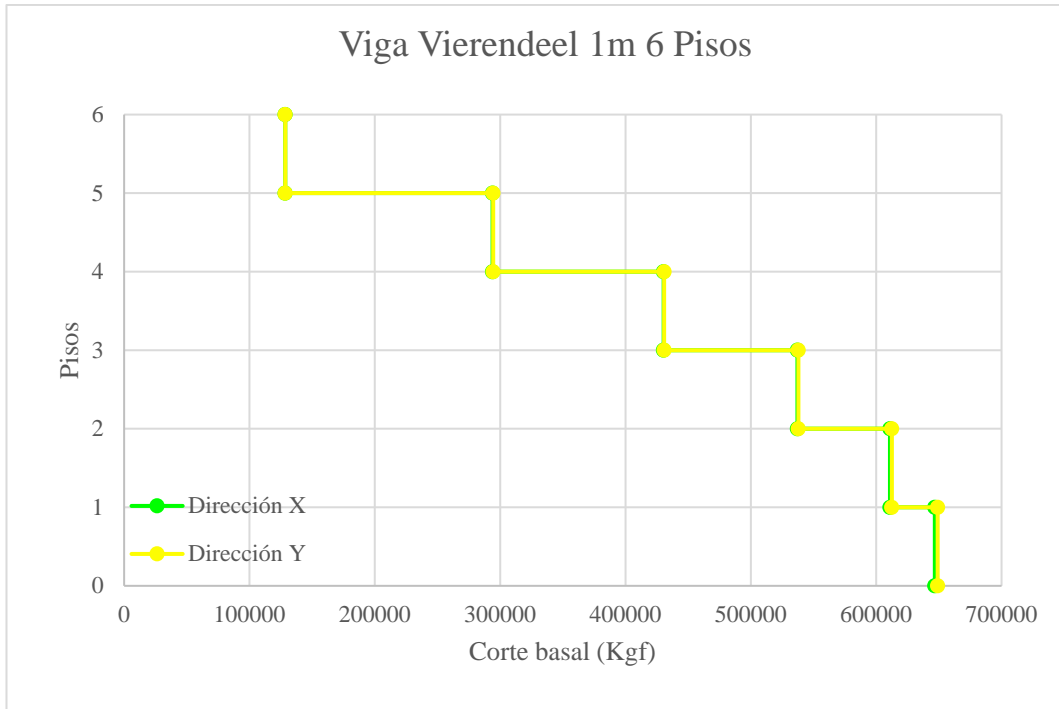
Gráfica 6. Gráfica de resultados de corte basal SMF 10 pisos.



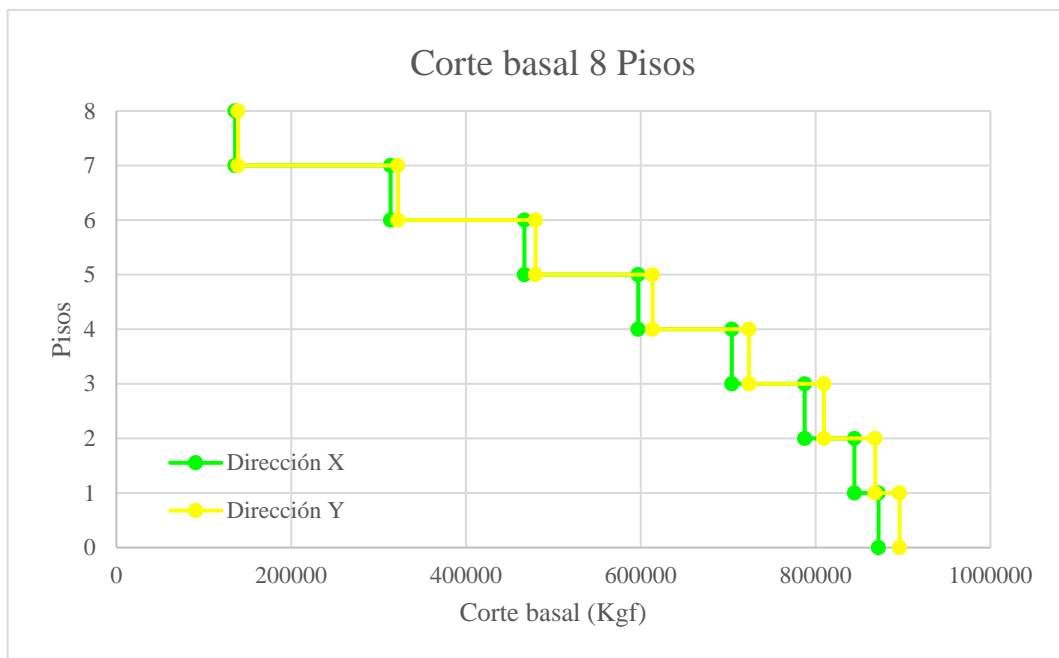
Gráfica 7. Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 1m 2 pisos.



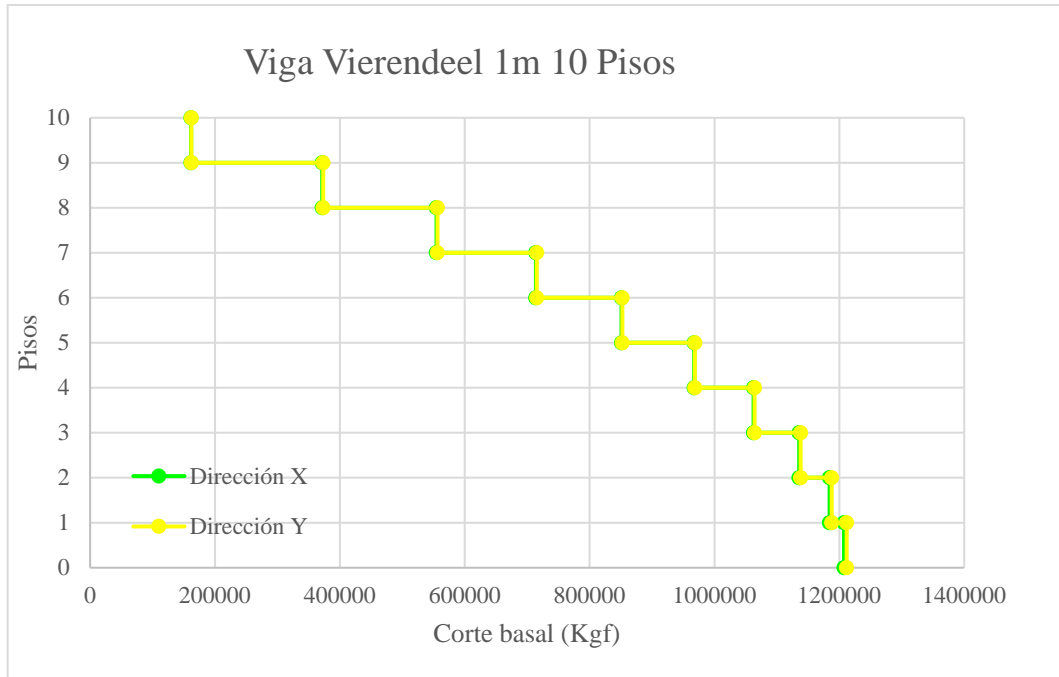
Gráfica 8. Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 1m 4 pisos.



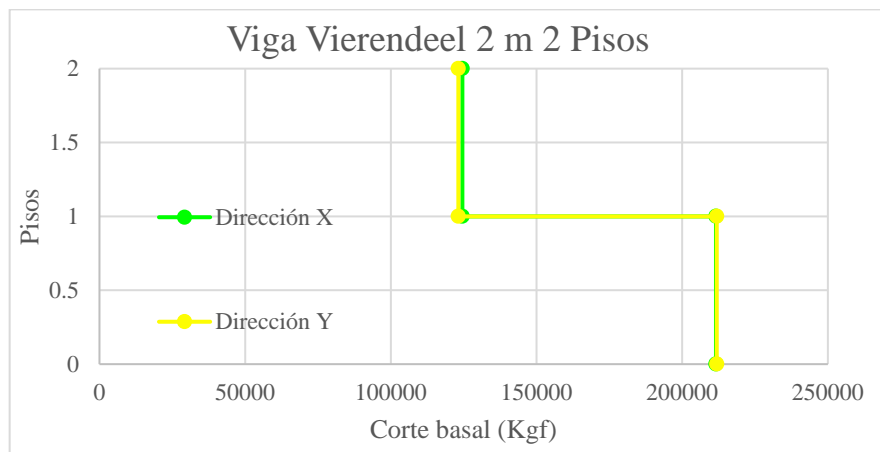
Gráfica 9. Gráfica Tabla de resultados de corte basal con Vierendeel 1m 6 pisos.



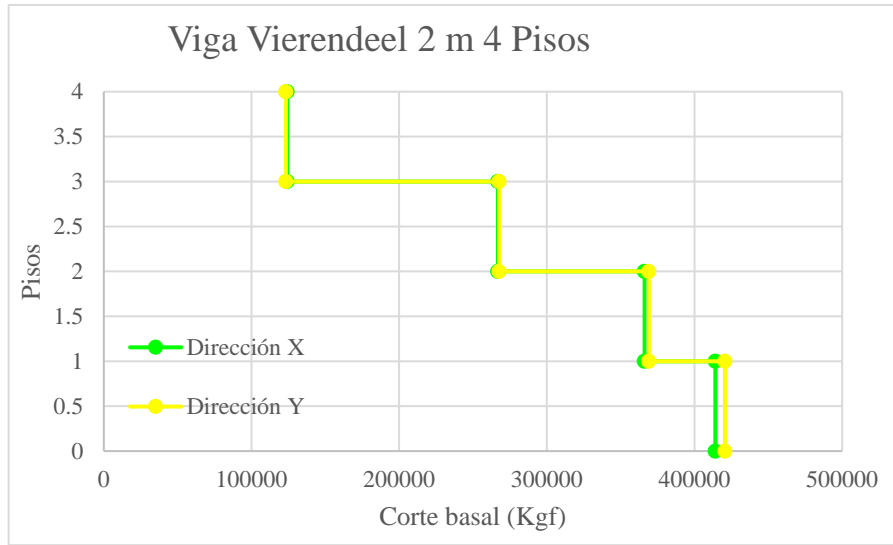
Gráfica 10. Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 1m 8 pisos.



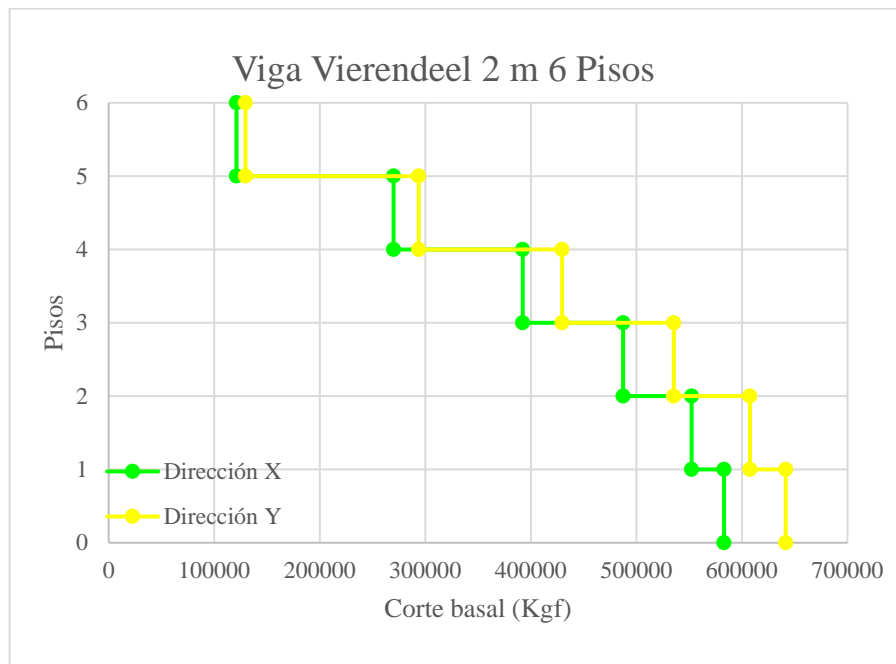
Gráfica 11. Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 1m 10 pisos.



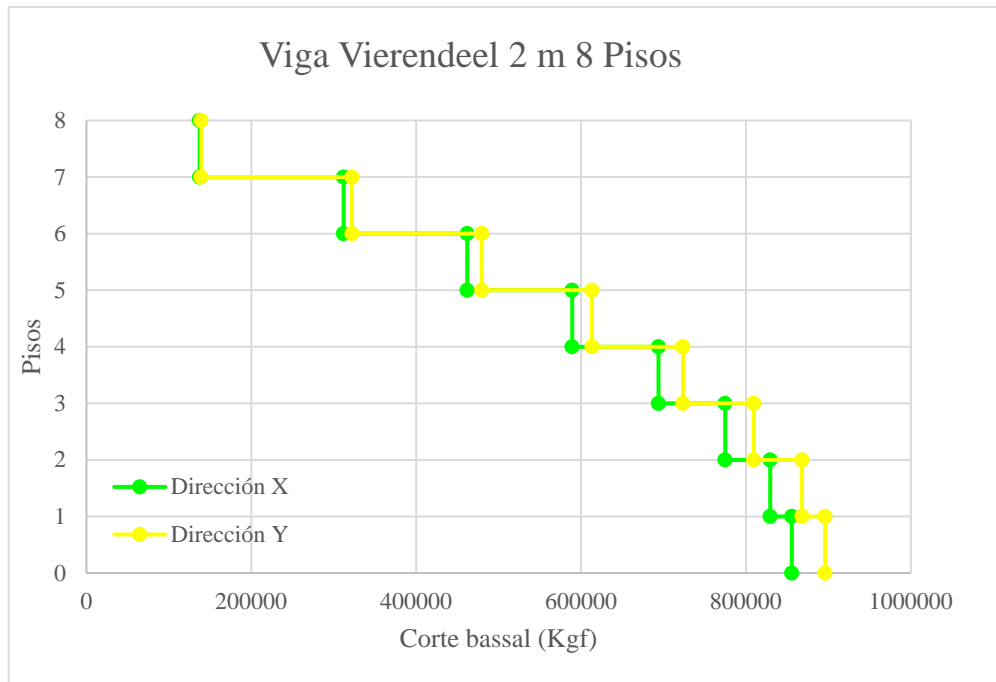
Gráfica 12. Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 2m 2 pisos.



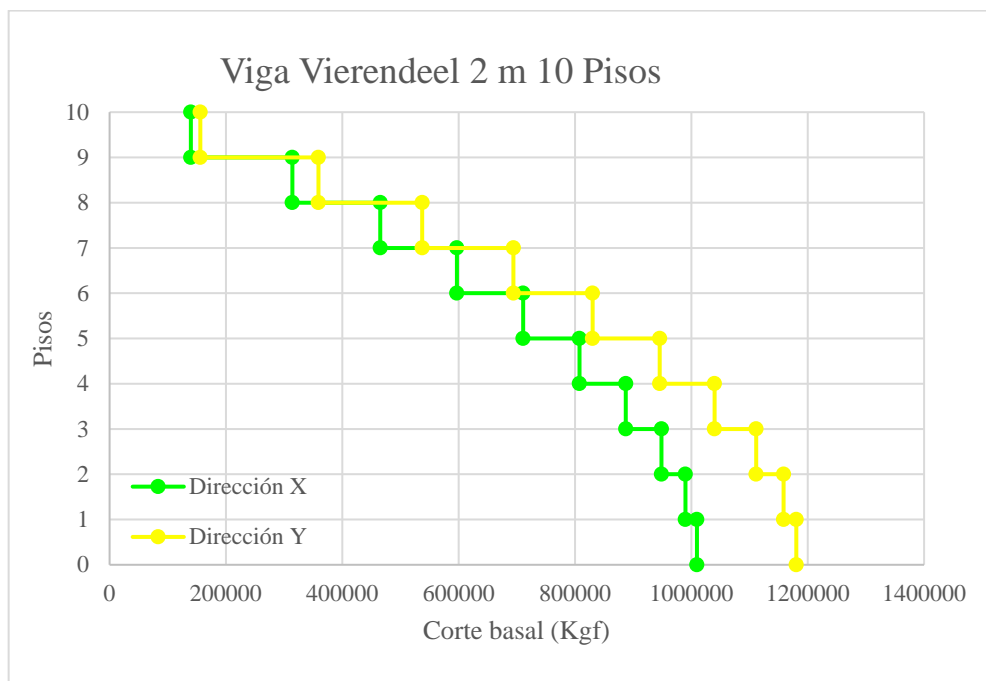
Gráfica 13. Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 2m 4 pisos.



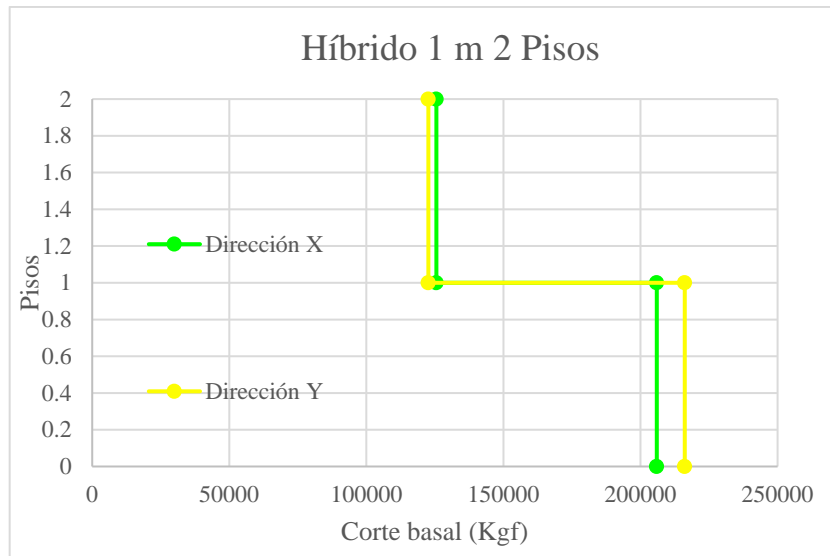
Gráfica 14. Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 2m 6 pisos.



Gráfica 15. Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 2m 8 pisos.



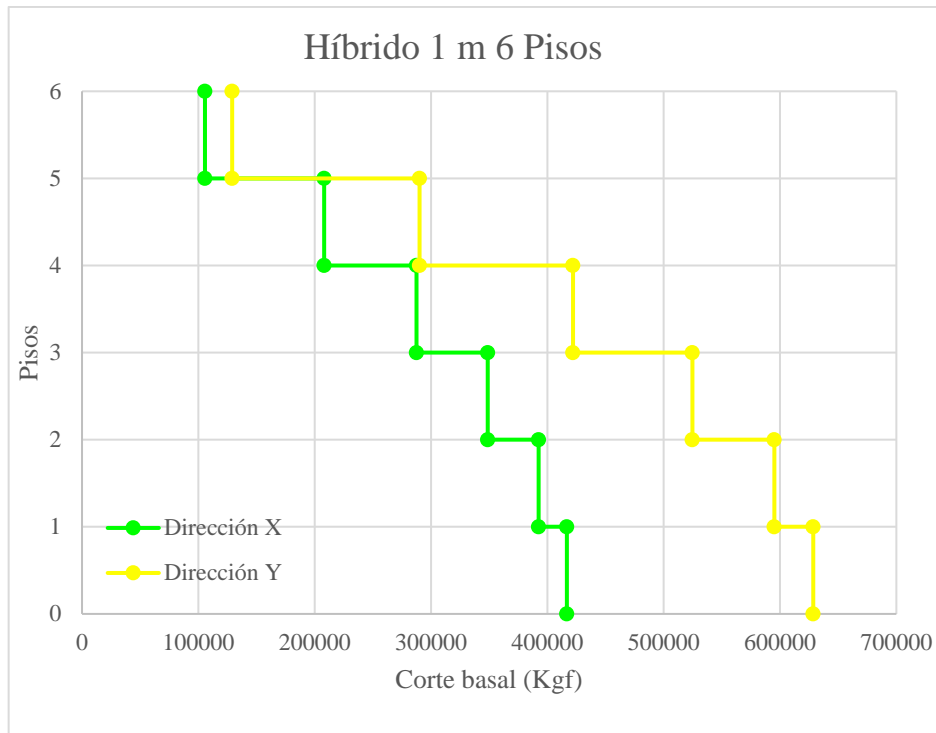
Gráfica 16. Gráfica de resultados de corte basal con Vierendeel 2m 10 pisos.



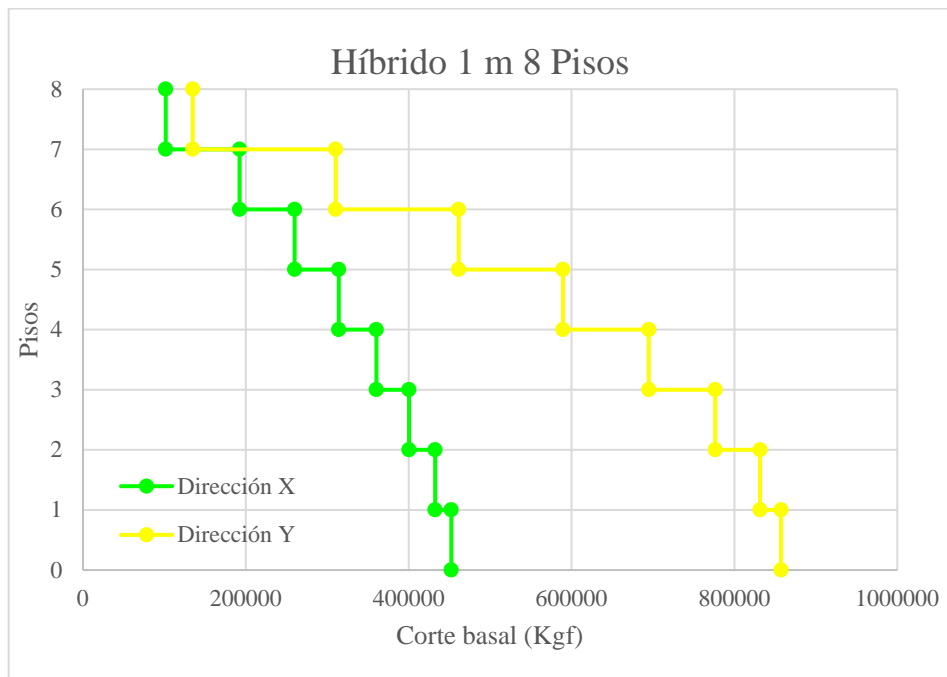
Gráfica 17. Gráfica de resultados de corte basal híbrido 1 m 2 pisos.



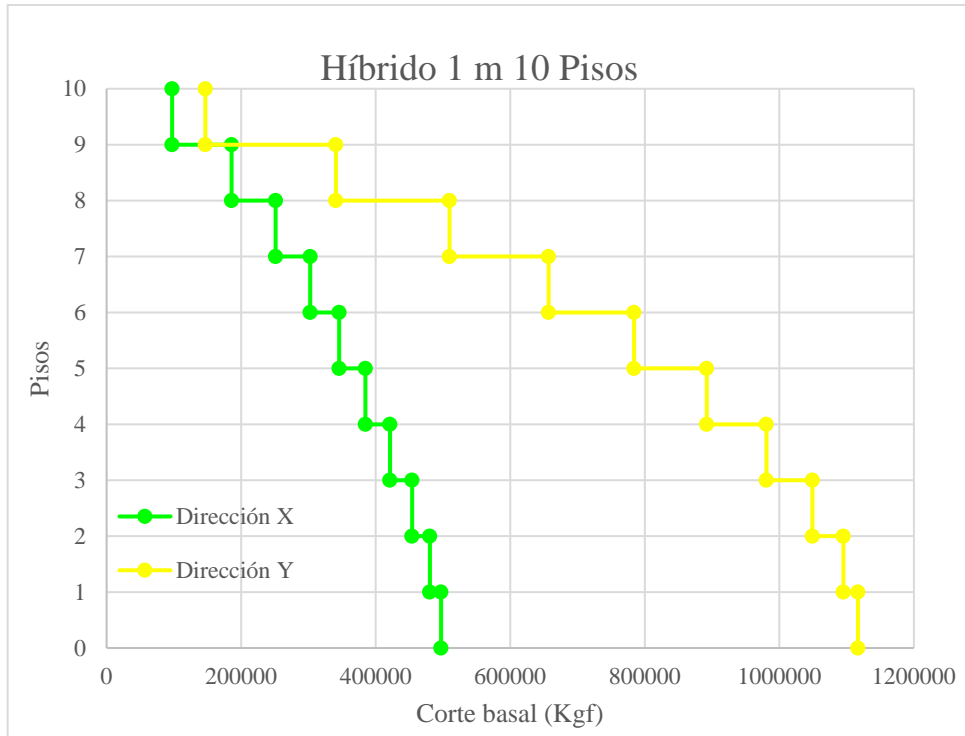
Gráfica 18. Gráfica de resultados de corte basal híbrido 1 m 4 pisos.



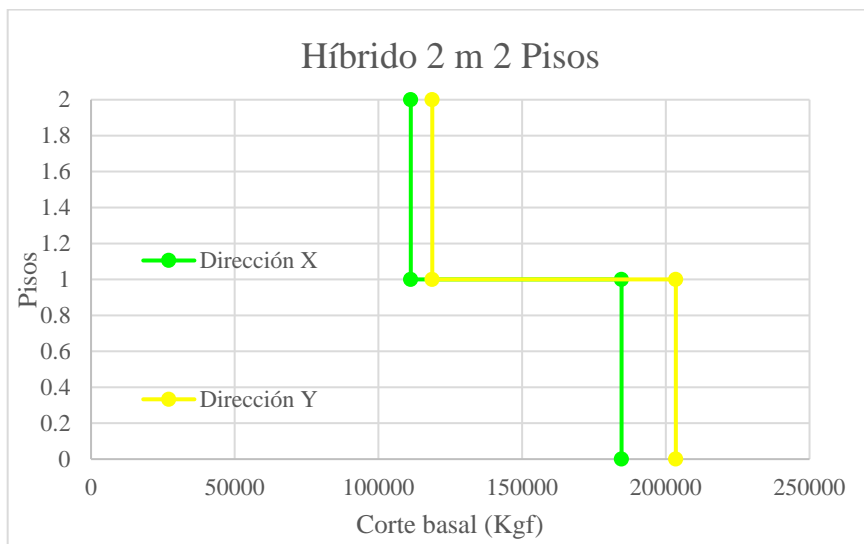
Gráfica 19. Gráfica de resultados de corte basal híbrido 1 m 6 pisos.



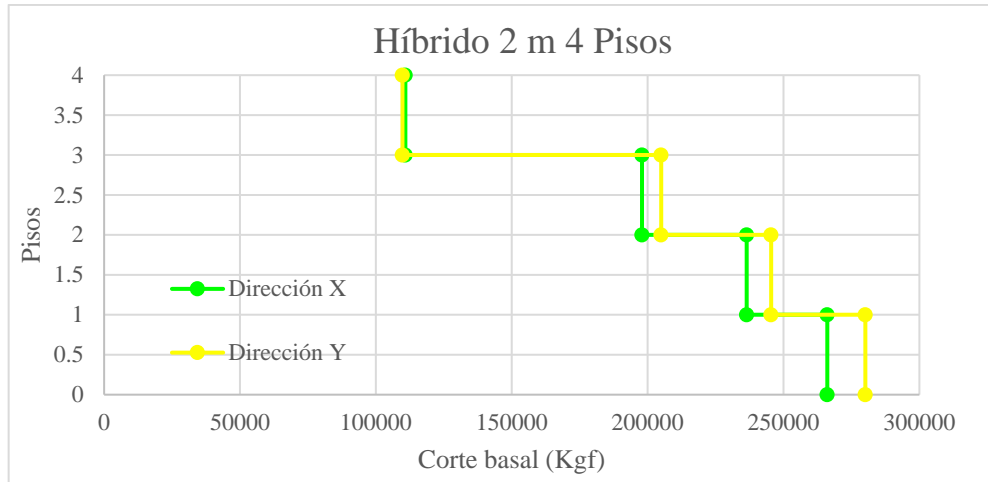
Gráfica 20. Gráfica de resultados de corte basal híbrido 1 m 8 pisos.



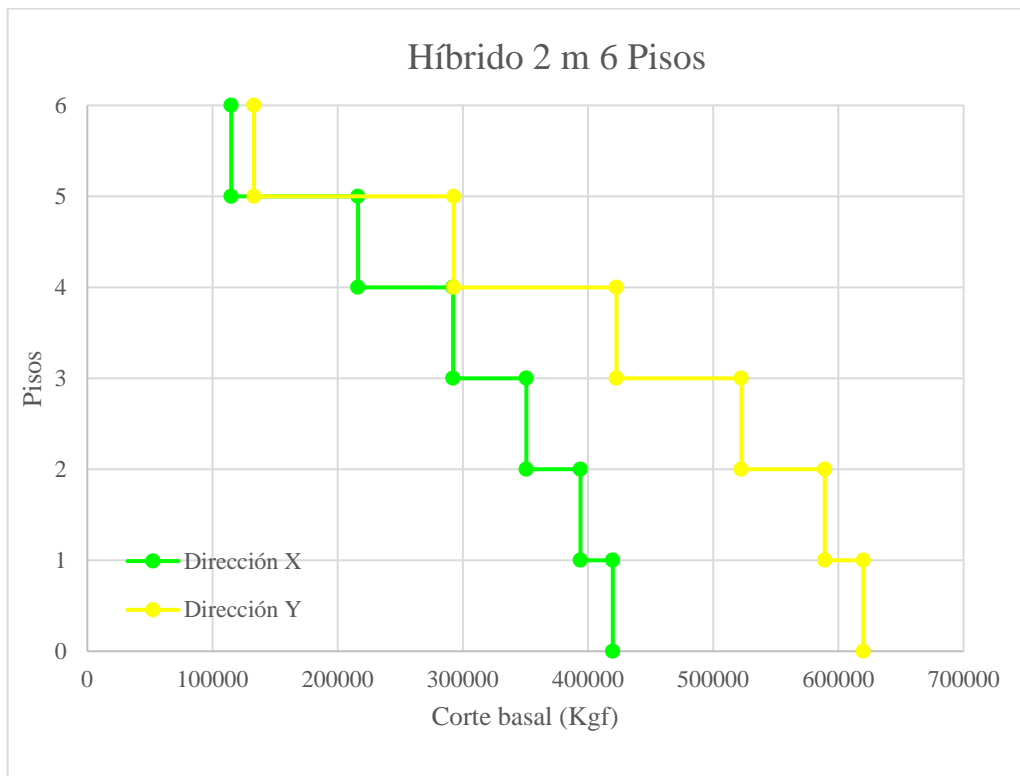
Gráfica 21. Gráfica de resultados de corte basal híbrido 1 m 10 pisos.



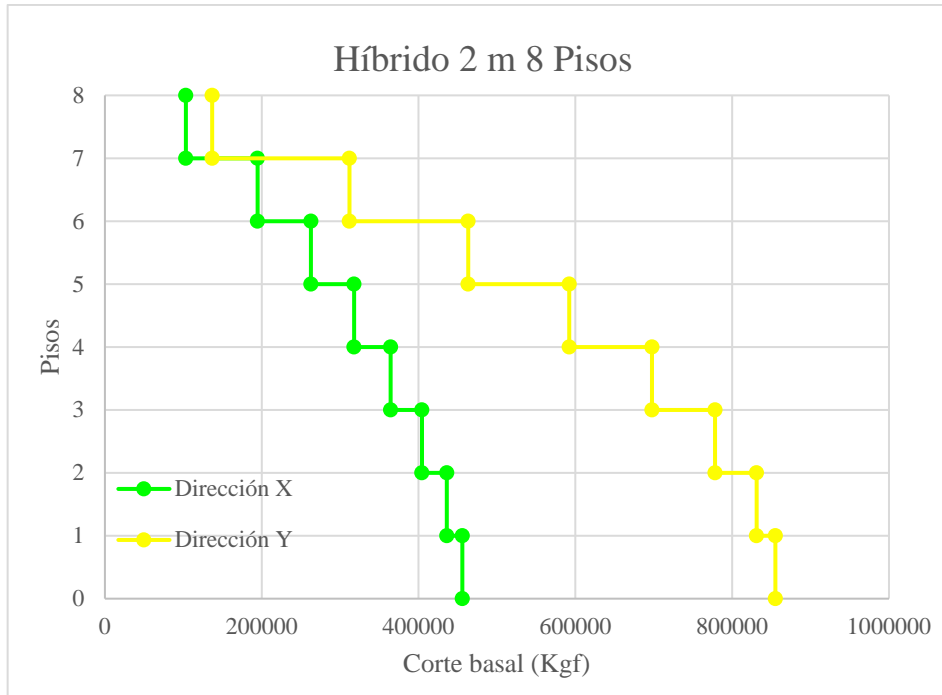
Gráfica 22. Gráfica de resultados de corte basal híbrido 2 m 2 pisos.



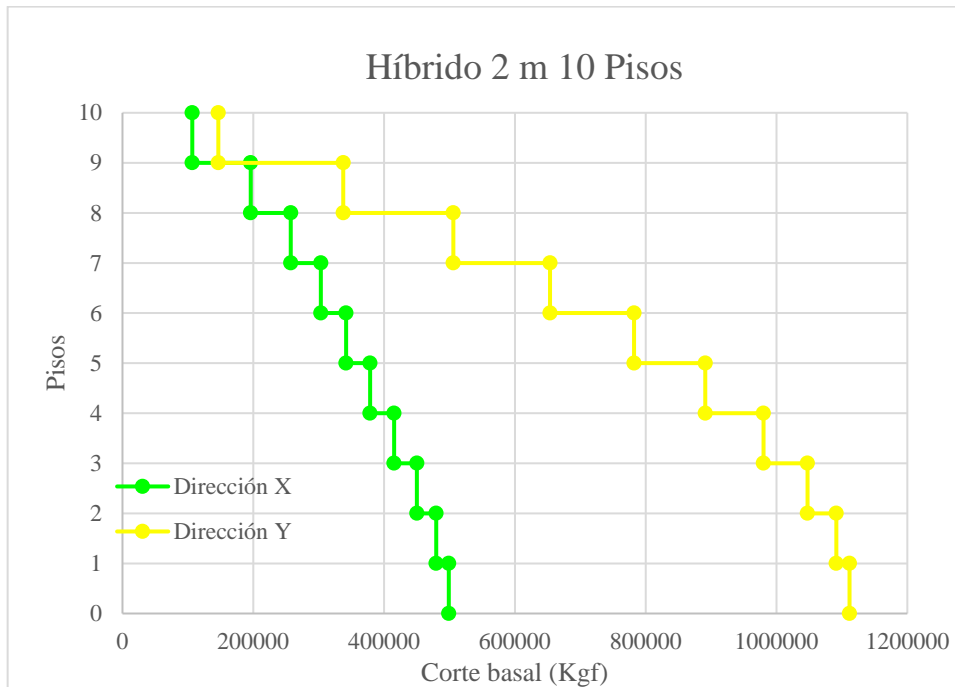
Gráfica 23. Gráfica de resultados de corte basal híbrido 2 m 4 pisos.



Gráfica 24. Gráfica de resultados de corte basal híbrido 2 m 6 pisos.

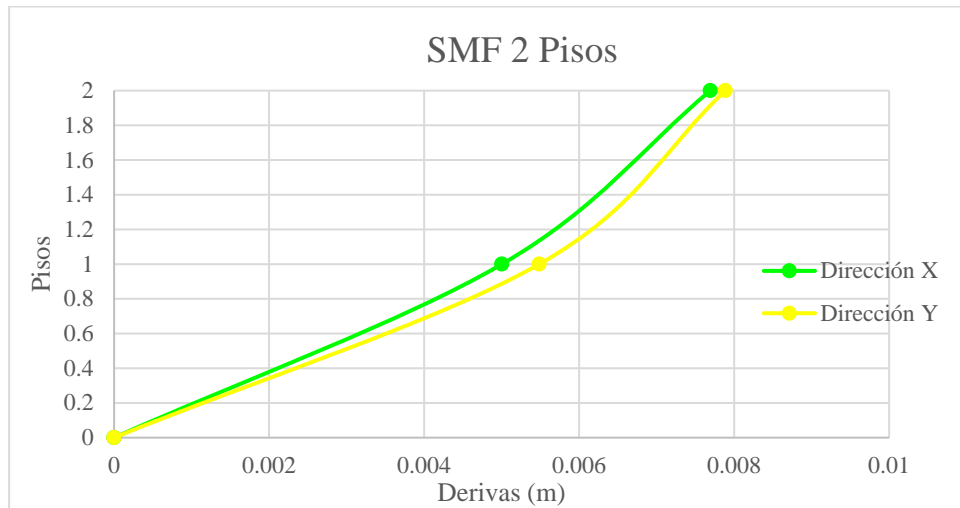


Gráfica 25. Gráfica de resultados de corte basal híbrido 2 m 8 pisos.

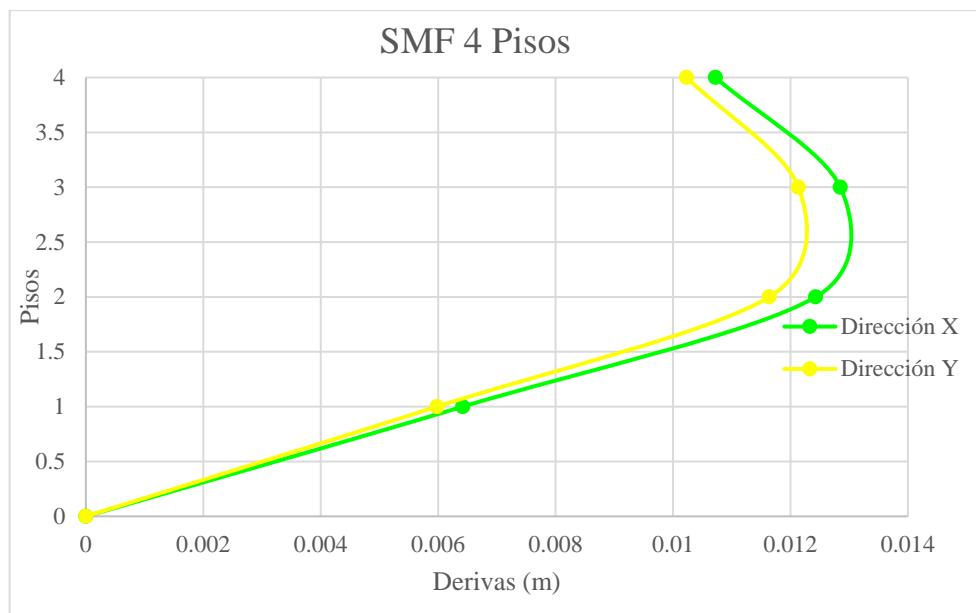


Gráfica 26. Gráfica de resultados de corte basal híbrido 2 m 10 pisos.

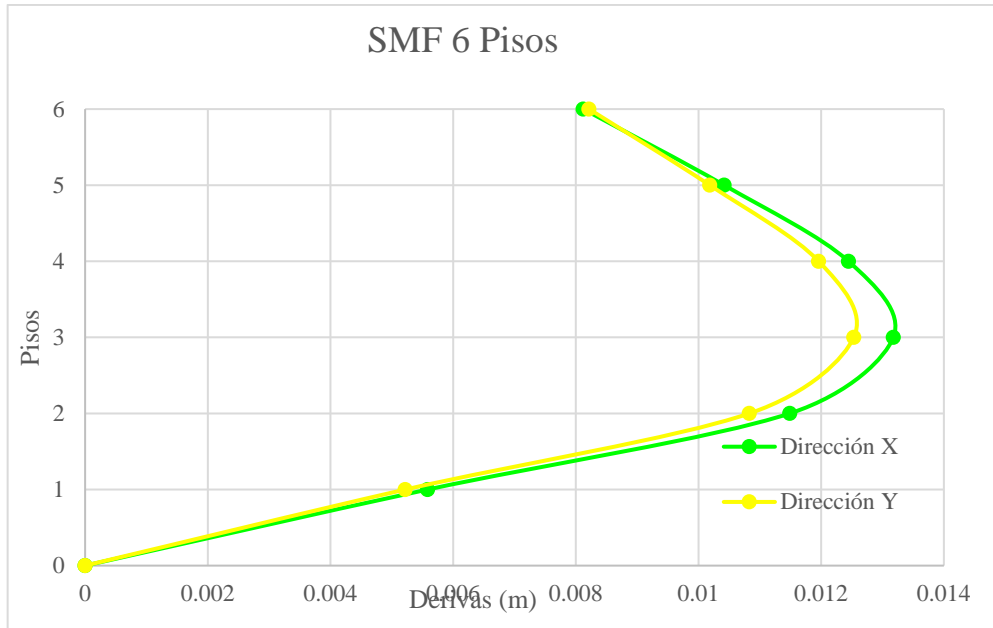
5.3.8.2 Derivas



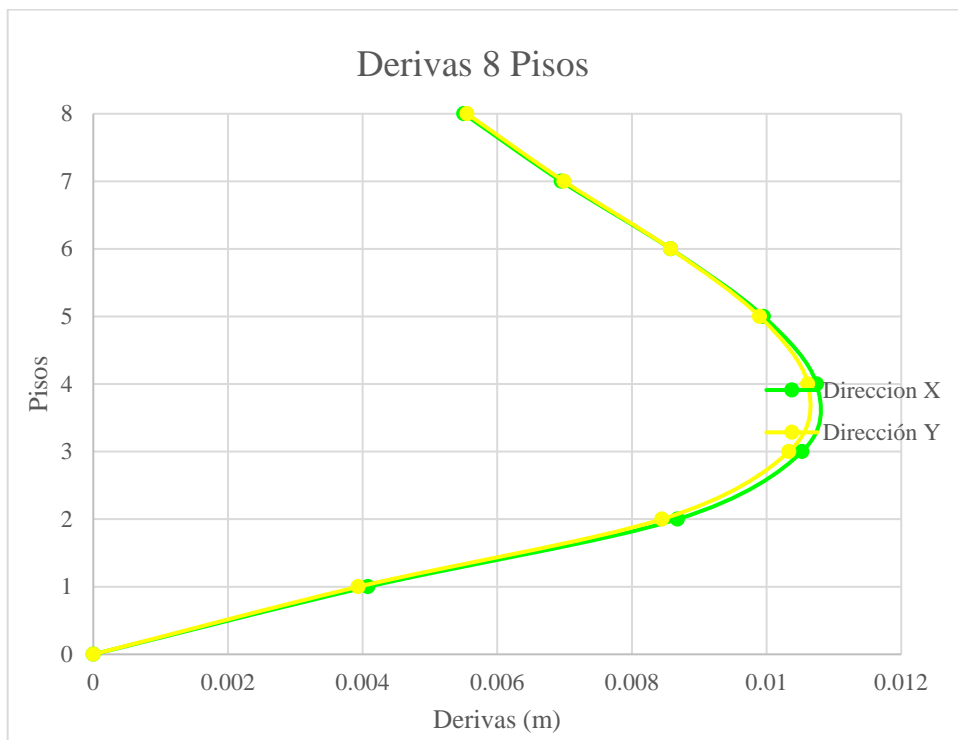
Gráfica 27. Gráfica de resultados de derivas SMF 2 pisos.



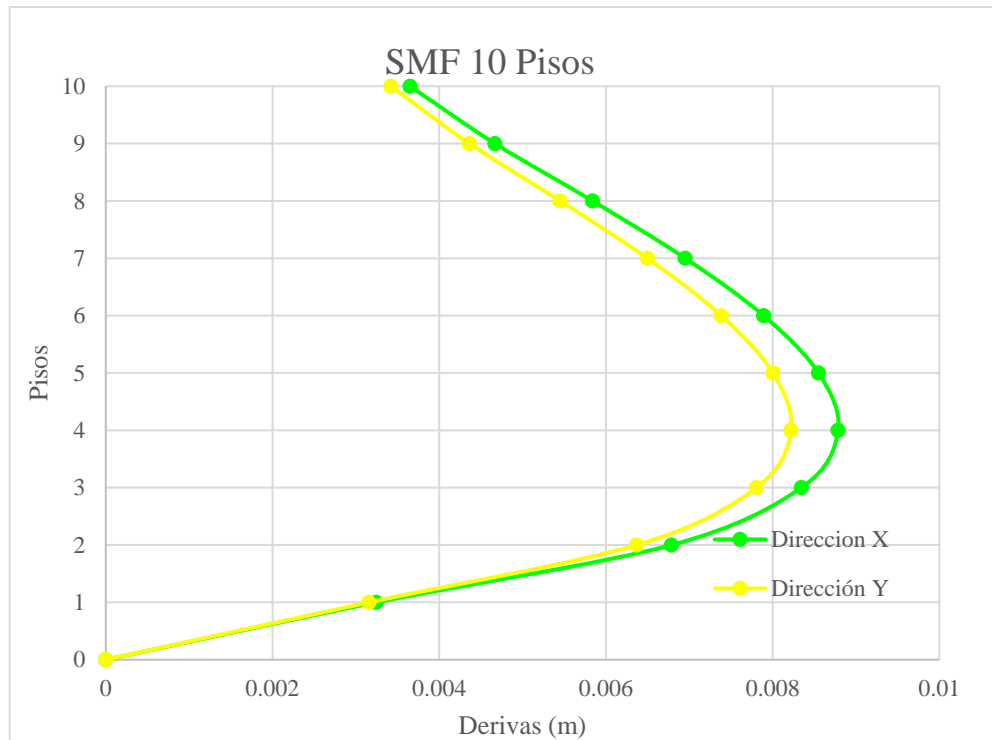
Gráfica 28. Gráfica de resultados de derivas SMF 4 pisos.



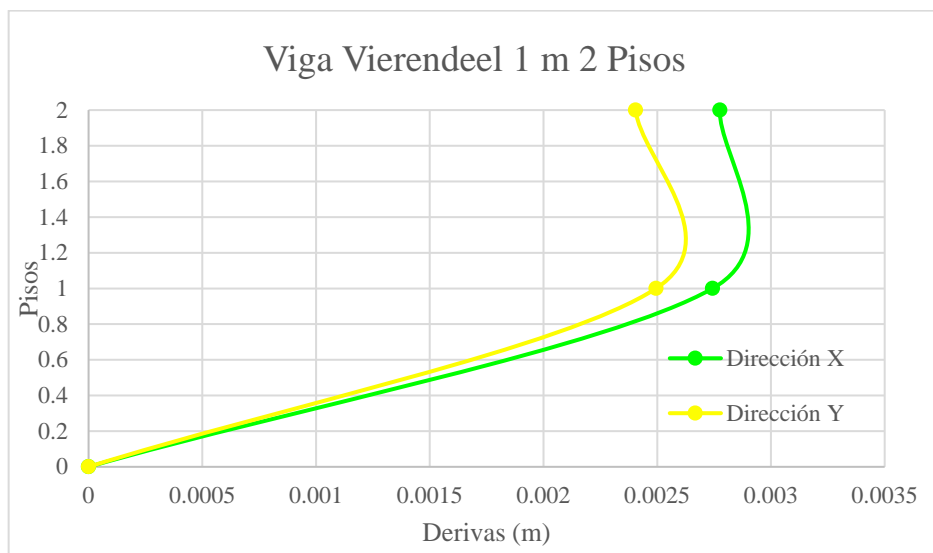
Gráfica 29. Gráfica de resultados de derivas SMF 6 pisos.



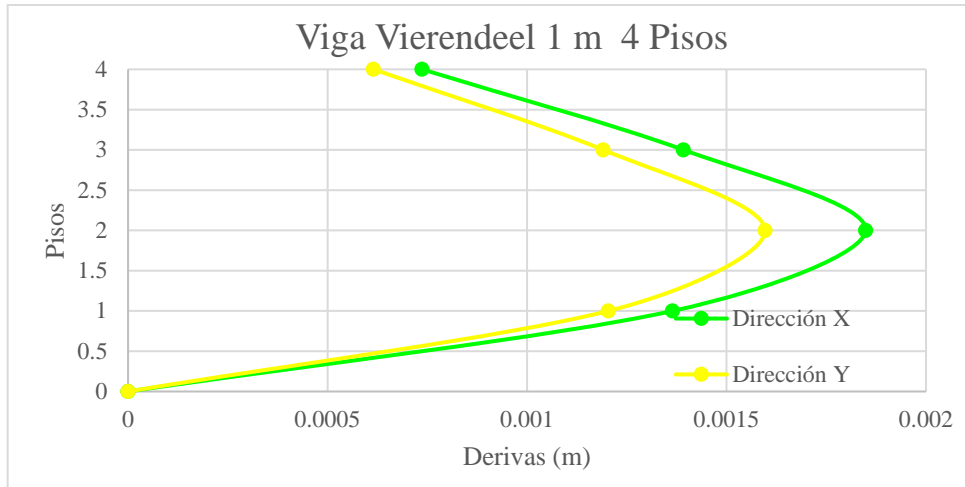
Gráfica 30. Gráfica de resultados de derivas SMF 8 pisos.



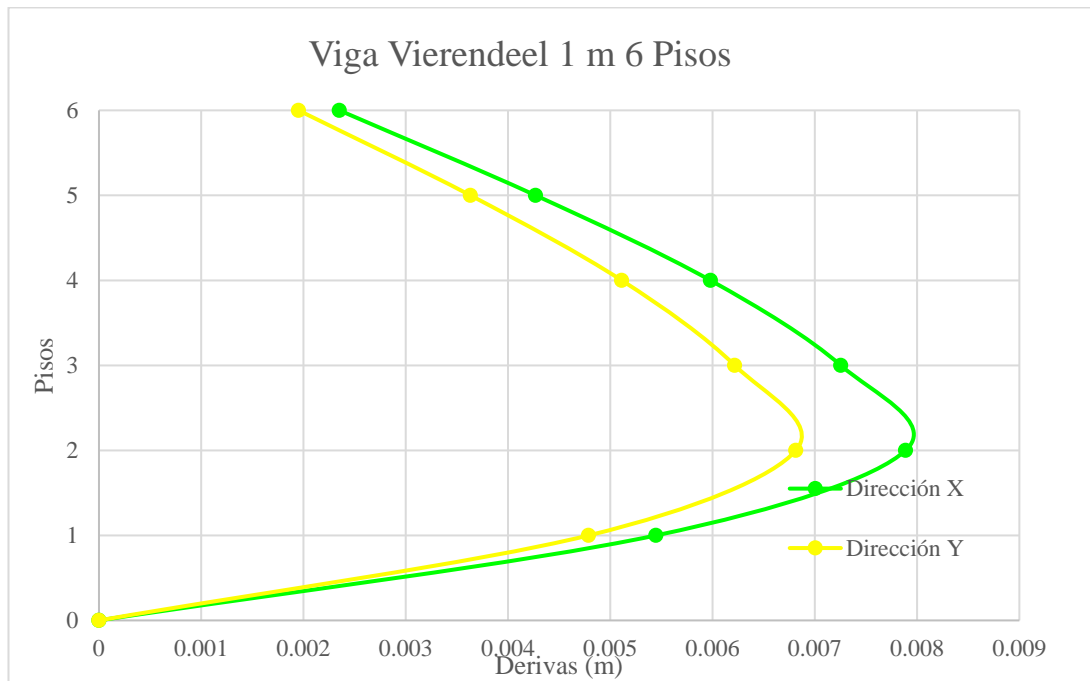
Gráfica 31. Gráfica de resultados de derivas SMF 10 pisos.



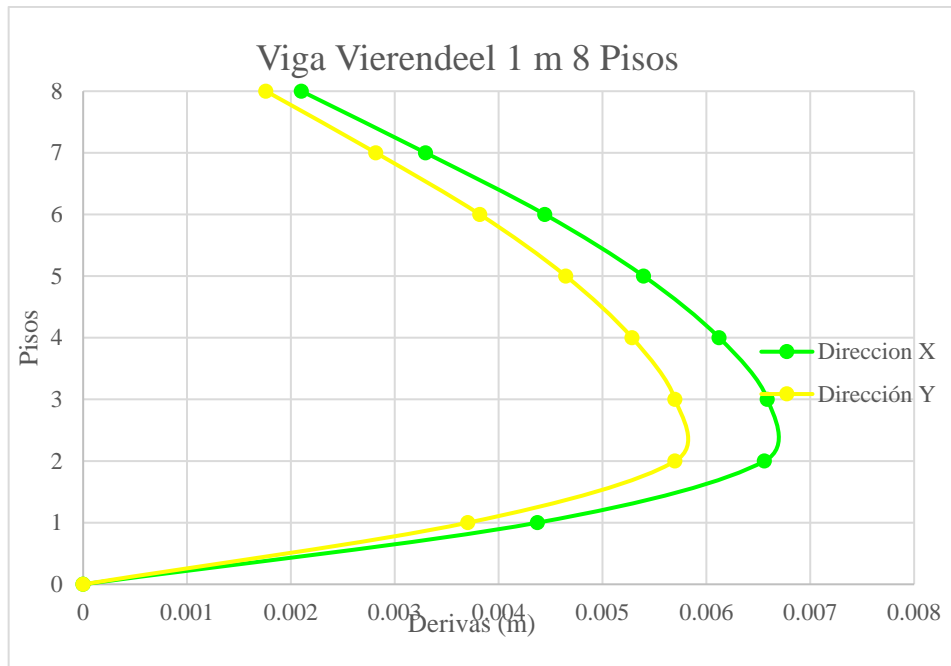
Gráfica 32. Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 1m 2 pisos.



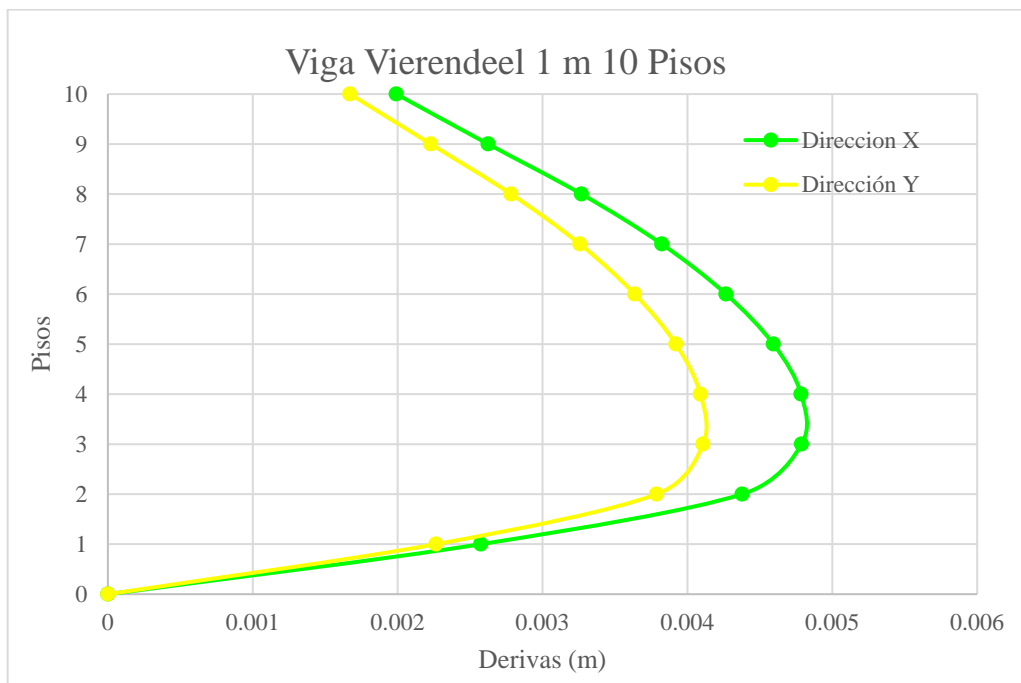
Gráfica 33. Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 1m 4 pisos.



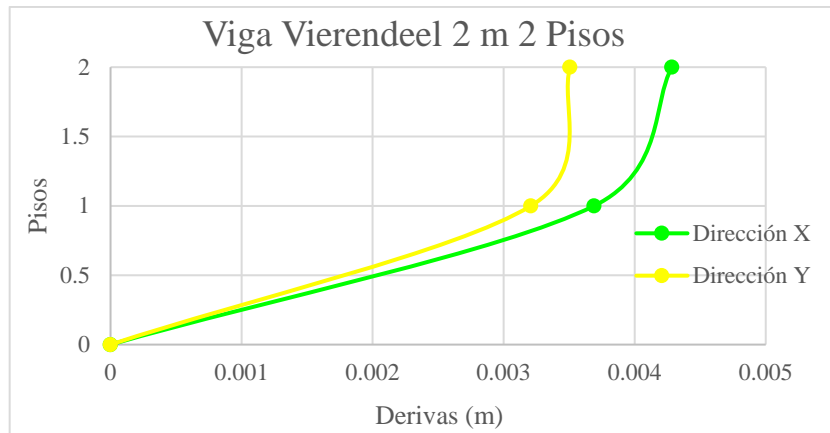
Gráfica 34. Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 1m 6 pisos.



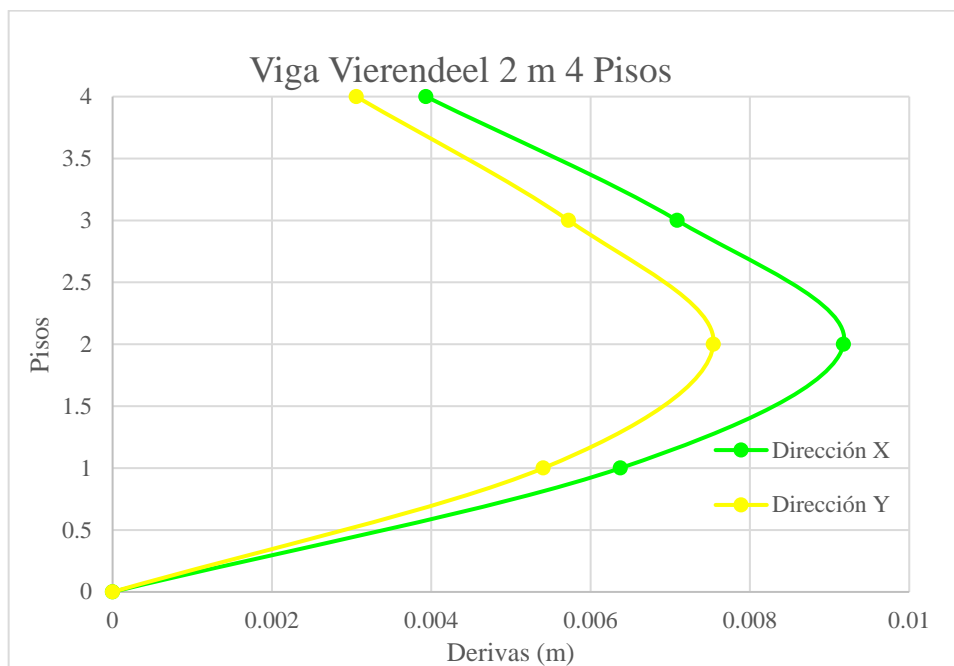
Gráfica 35. Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 1m 8 pisos.



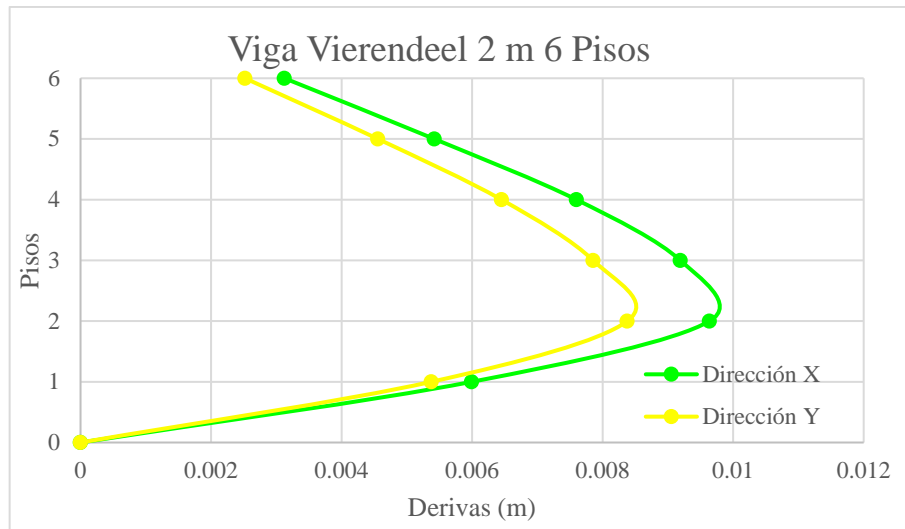
Gráfica 36. Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 1m 10 pisos.



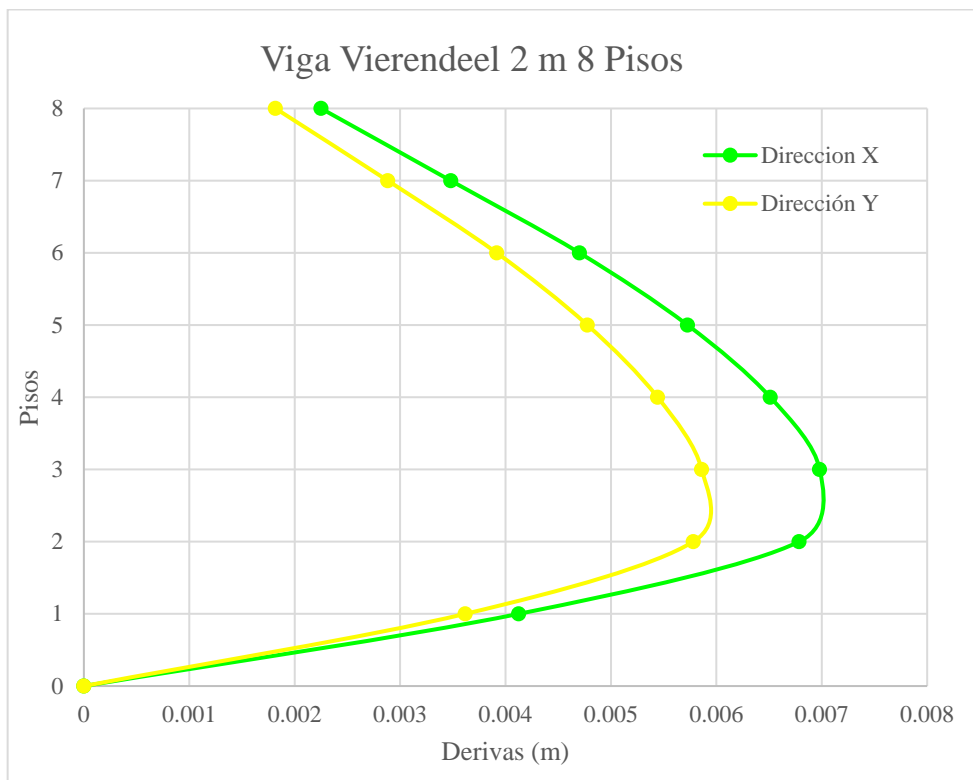
Gráfica 37. Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 2 m 2 pisos.



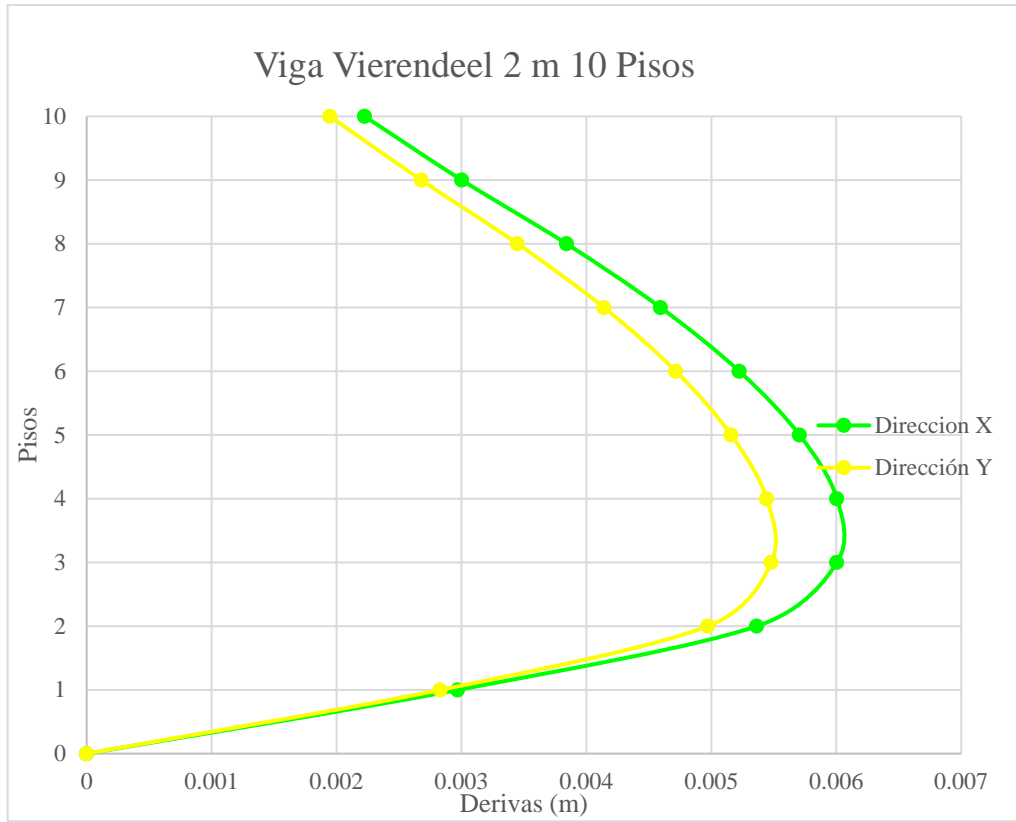
Gráfica 38. Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 2 m 4 pisos.



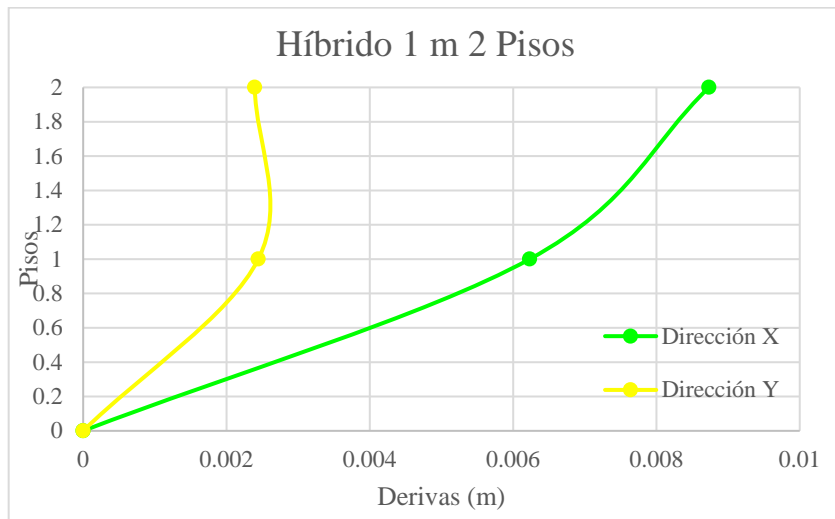
Gráfica 39. Gráfica de resultados de derivas con Viendeel 2 m 6 pisos.



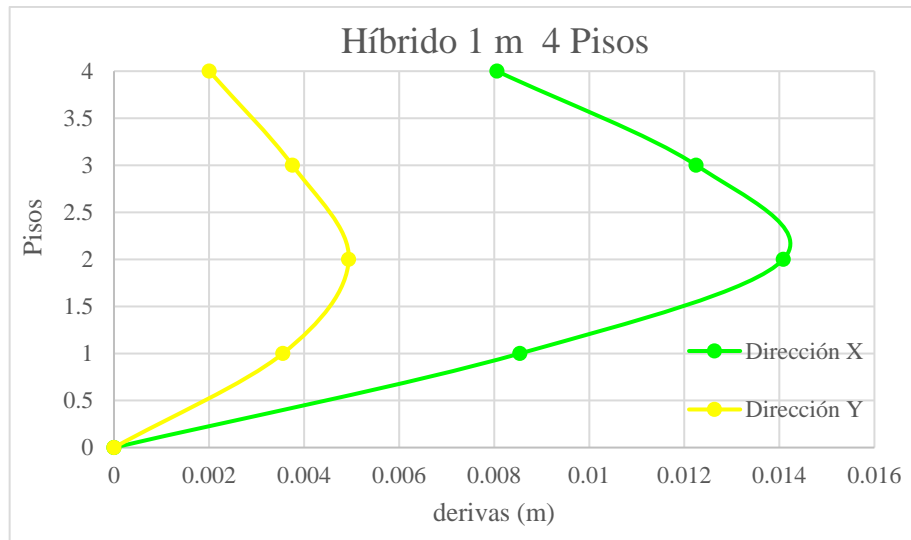
Gráfica 40. Gráfica de resultados de derivas con Viendeel 2 m 8 pisos.



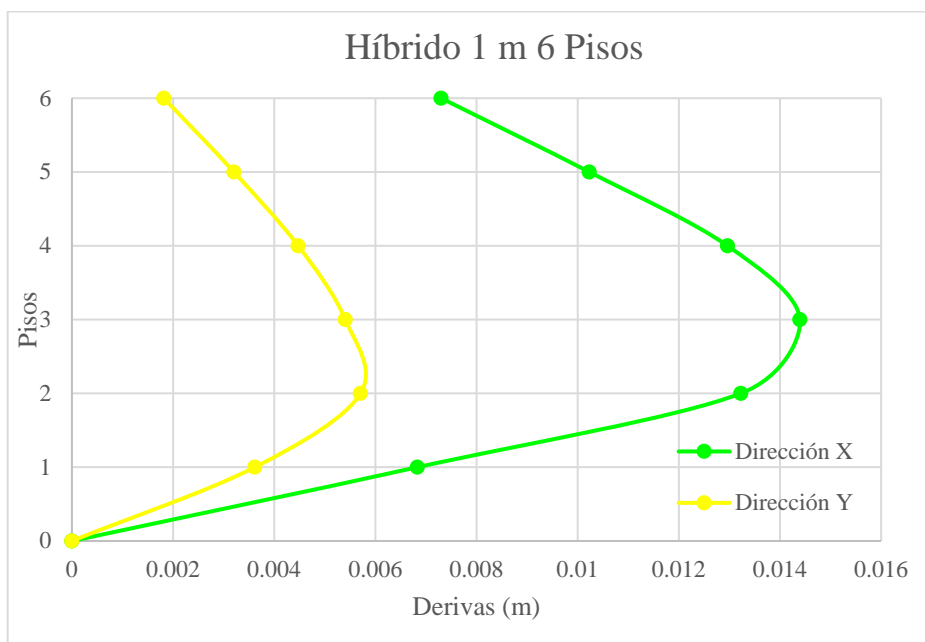
Gráfica 41. Gráfica de resultados de derivas con Vierendeel 2 m 10 pisos.



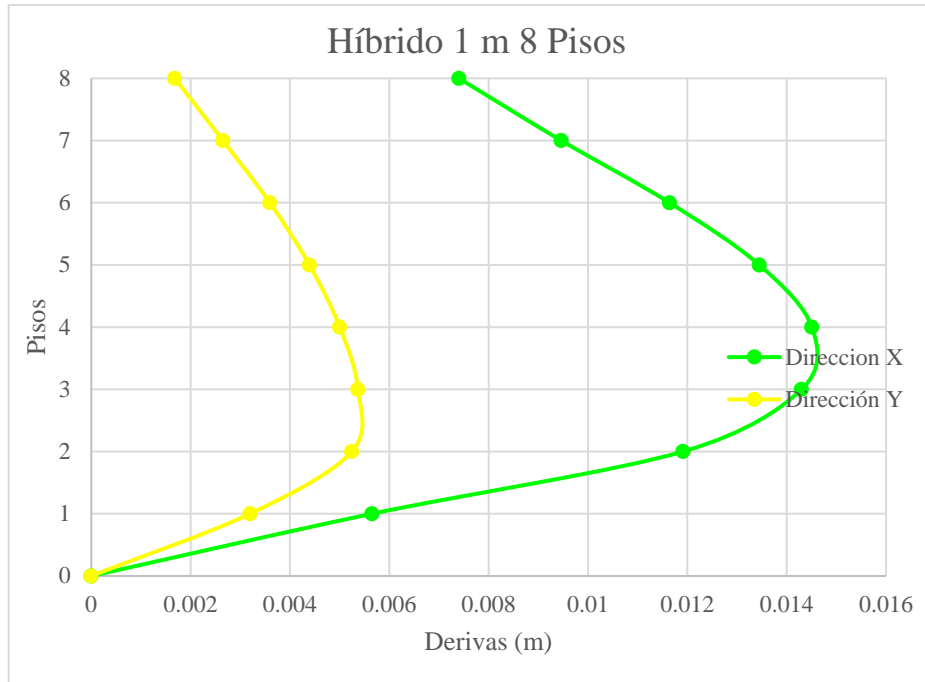
Gráfica 42. Gráfica de resultados de derivas híbrido 1 m 2 pisos.



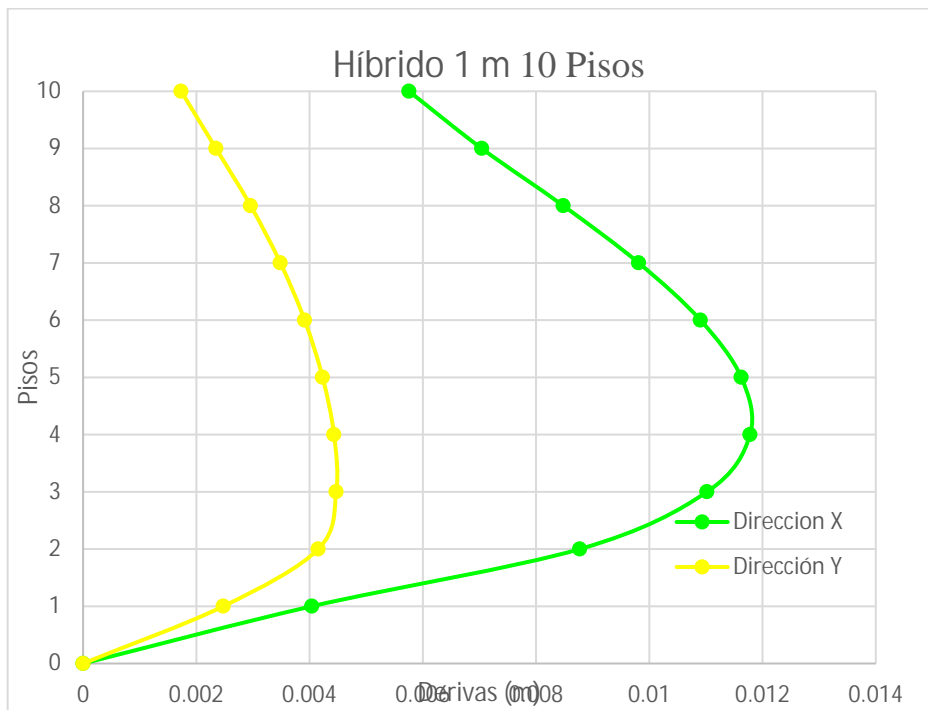
Gráfica 43. Gráfica de resultados de derivas híbrido 1 m 4 pisos.



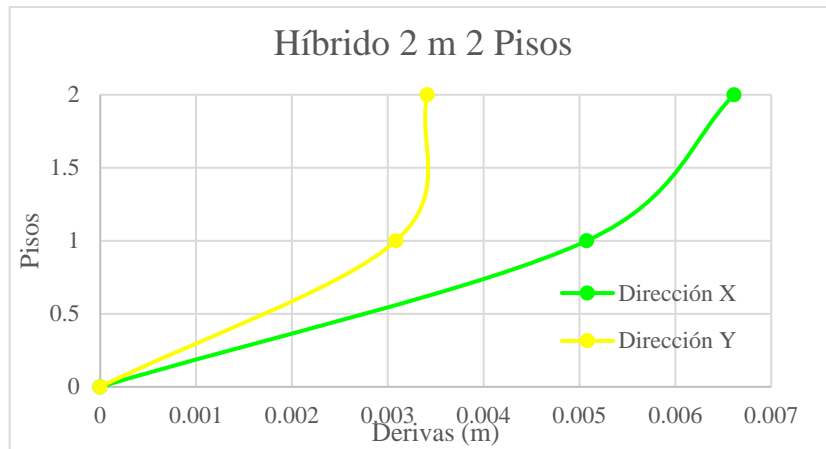
Gráfica 44. Gráfica de resultados de derivas híbrido 1 m 6 pisos.



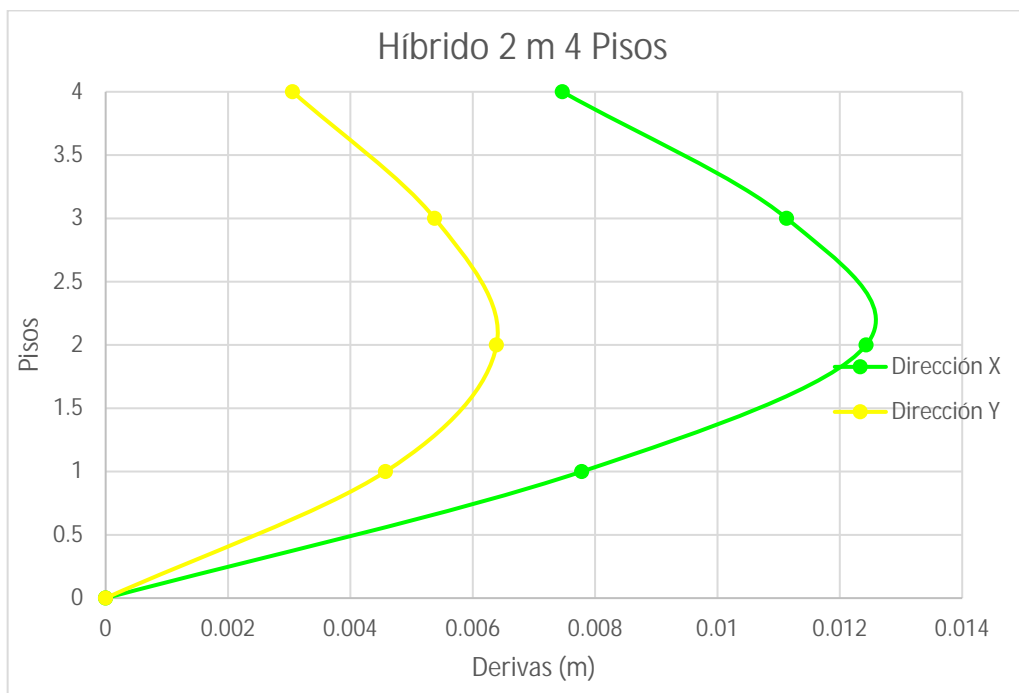
Gráfica 45. Gráfica de resultados de derivas híbrido 1 m 8 pisos.



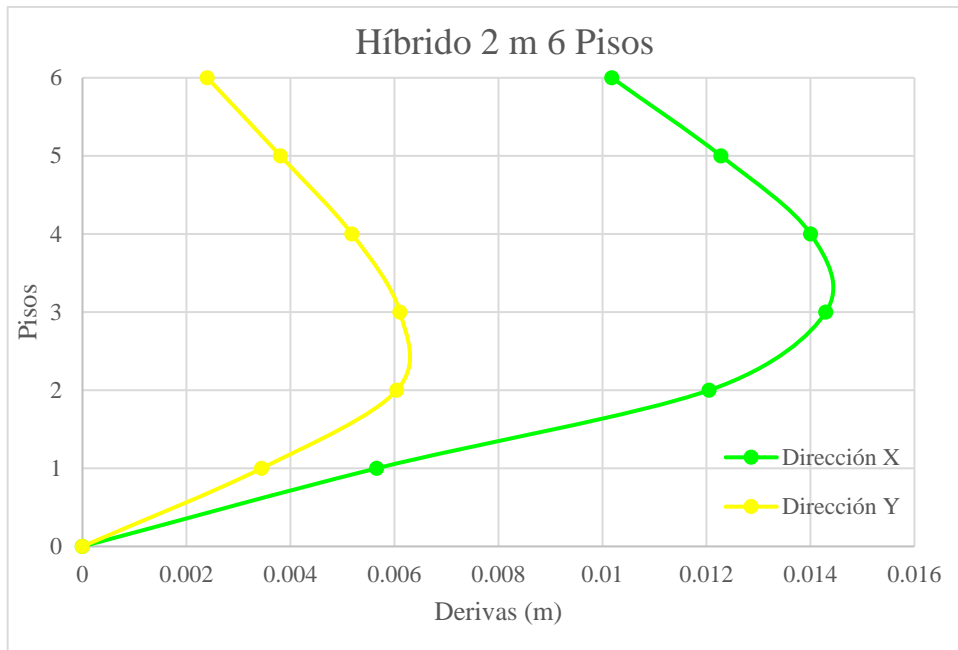
Gráfica 46. Gráfica de resultados de derivas híbrido 1 m 10 pisos.



Gráfica 47. Gráfica de resultados de derivas híbrido 2 m 2 pisos.

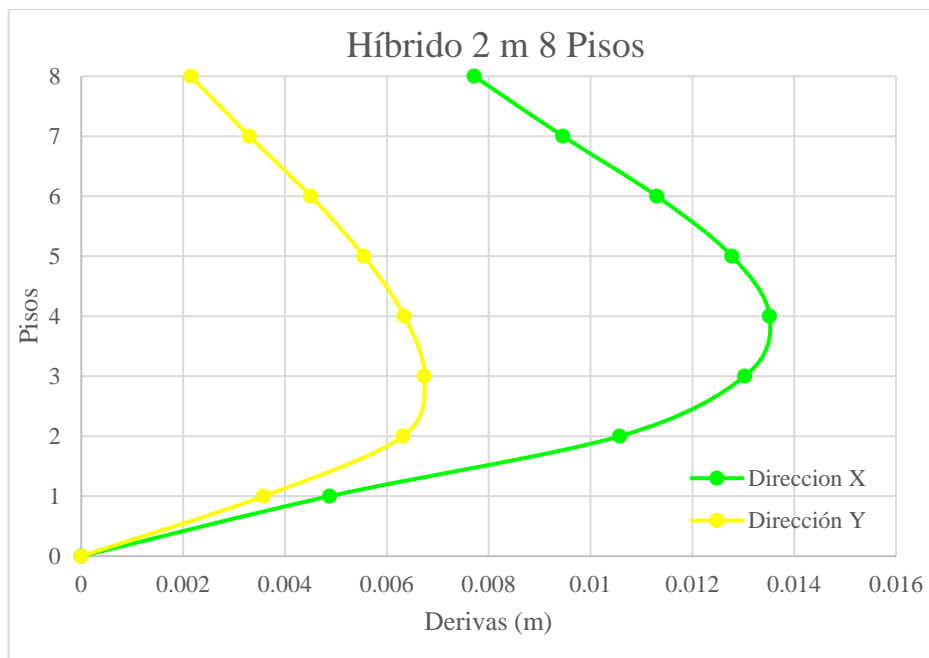


Gráfica 48. Gráfica de resultados de derivas híbrido 2 m 4 pisos.

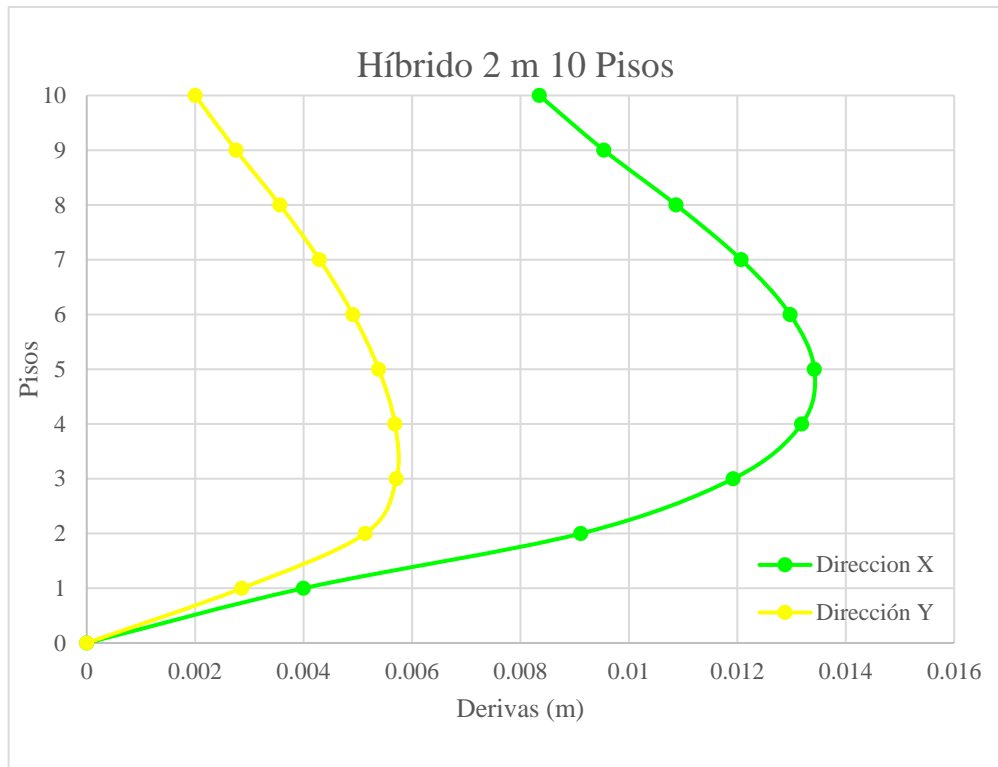


Gráfica 49. Gráfica de resultados de derivas híbrido 2 m 6 pisos.

50 GRÁFICA DE RESULTADOS DE DERIVAS HÍBRIDO 2 M 8 PISOS.

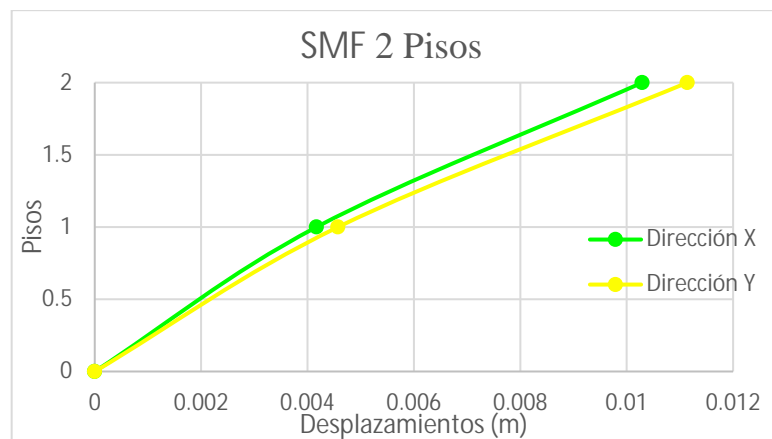


Gráfica 50. Gráfica de resultados de derivas híbrido 2 m 8 pisos.

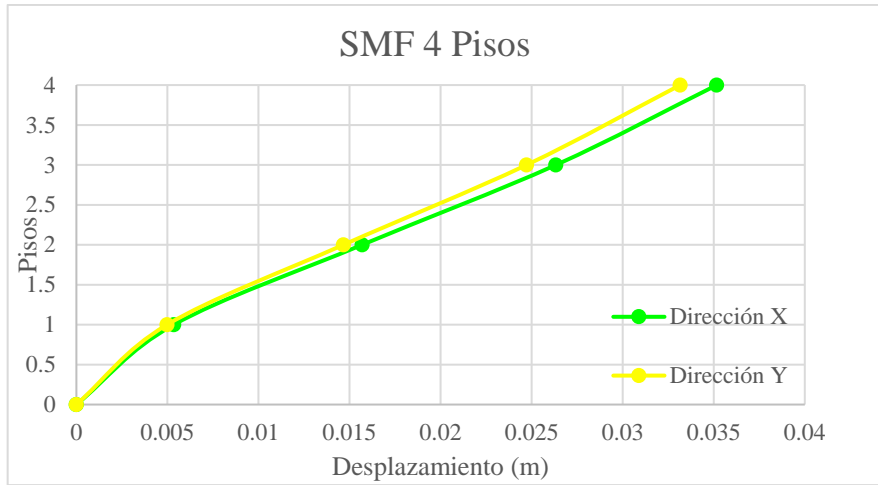


Gráfica 51. Gráfica de resultados de derivas híbrido 2 m 10 pisos.

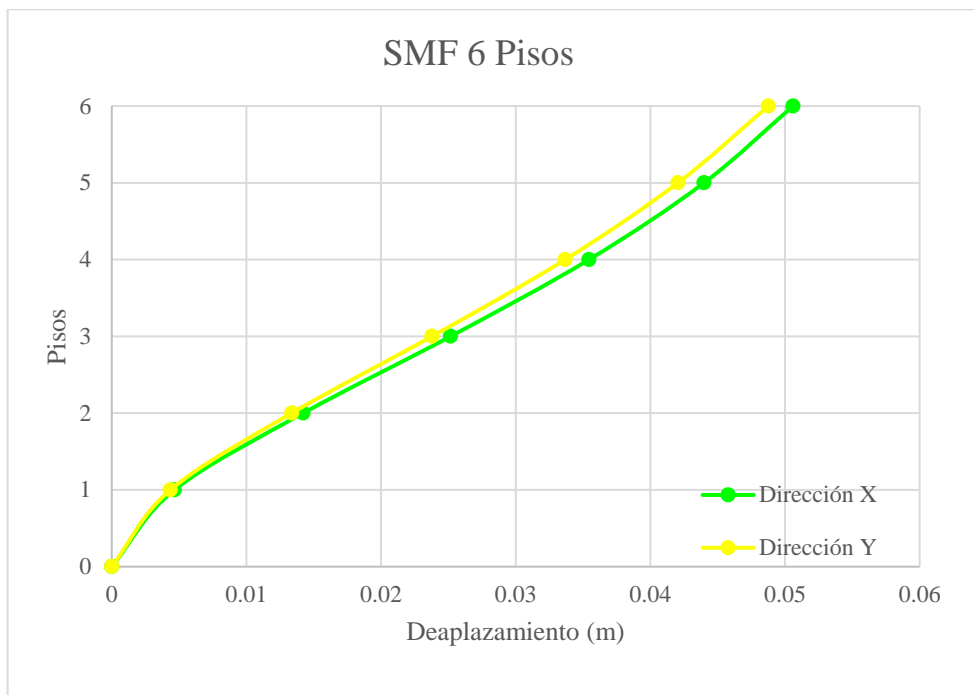
5.3.8.3 Desplazamiento máximo



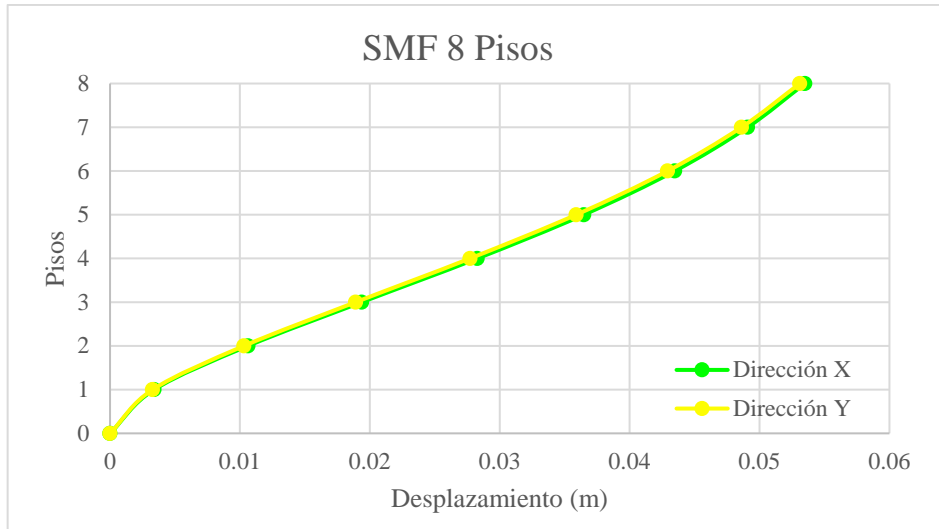
Gráfica 52. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo SMF de 2 pisos.



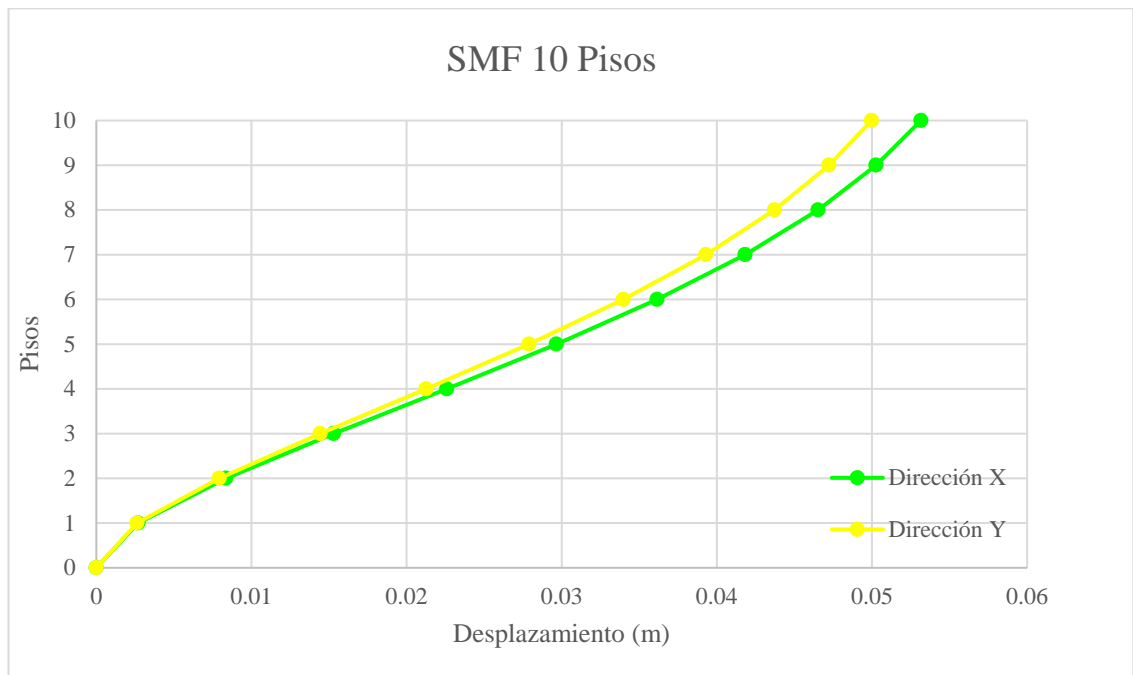
Gráfica 53. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo SMF de 4 pisos.



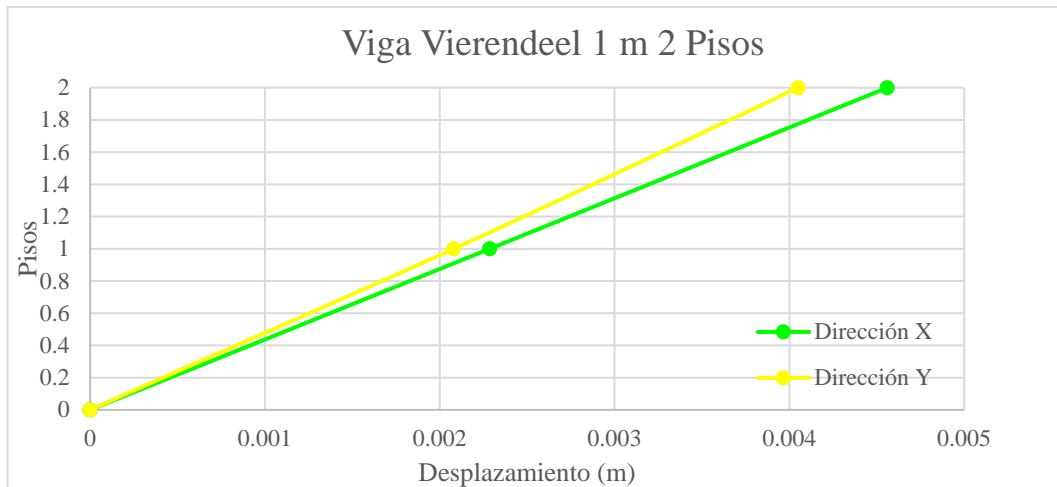
Gráfica 54. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo SMF de 6 pisos.



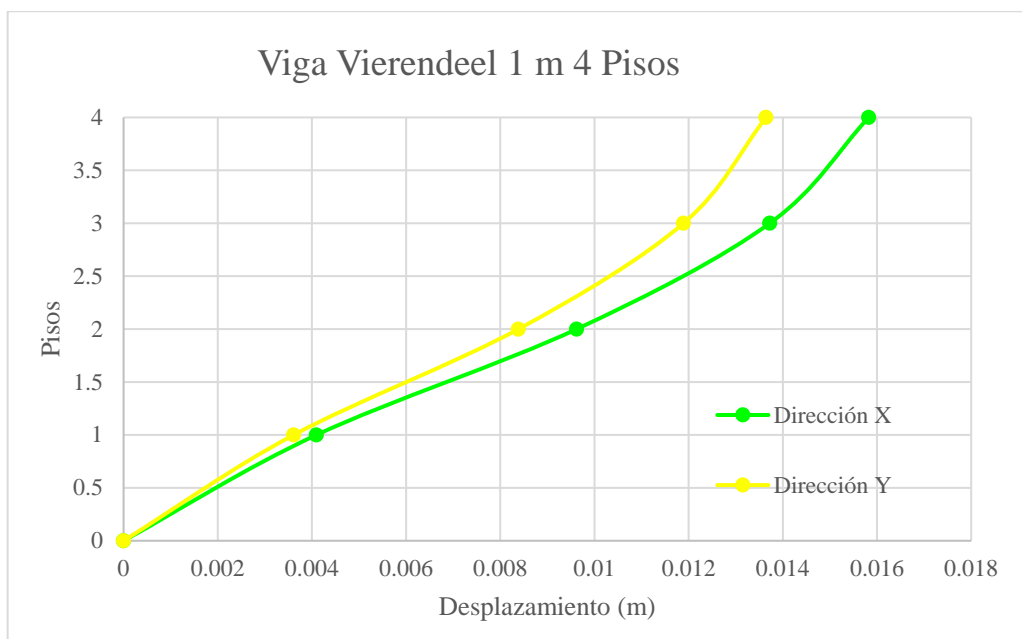
Gráfica 55. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo SMF de 8 pisos.



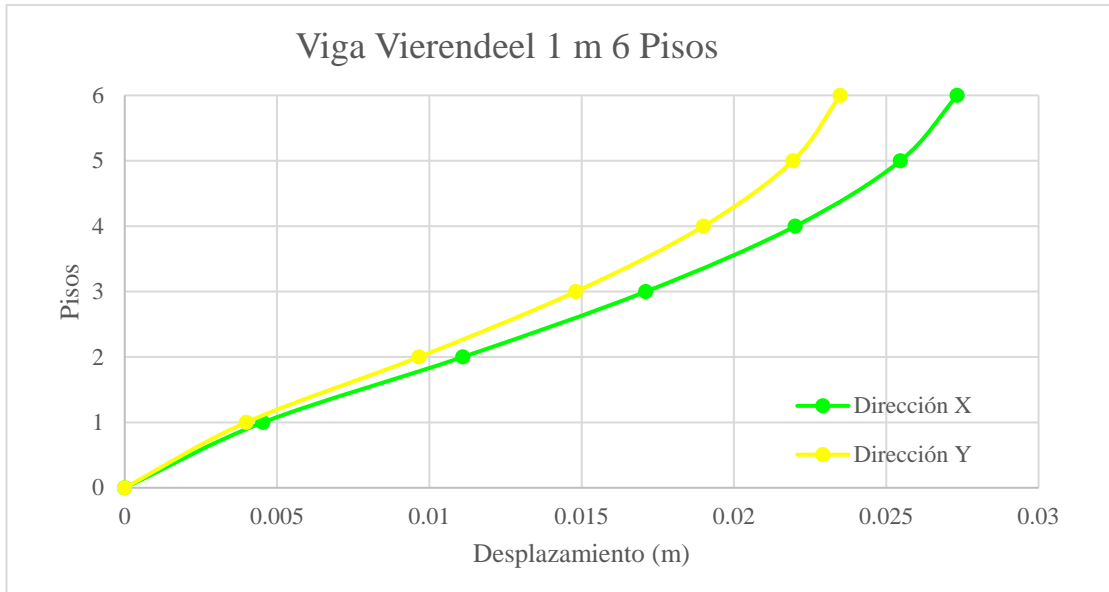
Gráfica 56. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo SMF de 4 pisos.



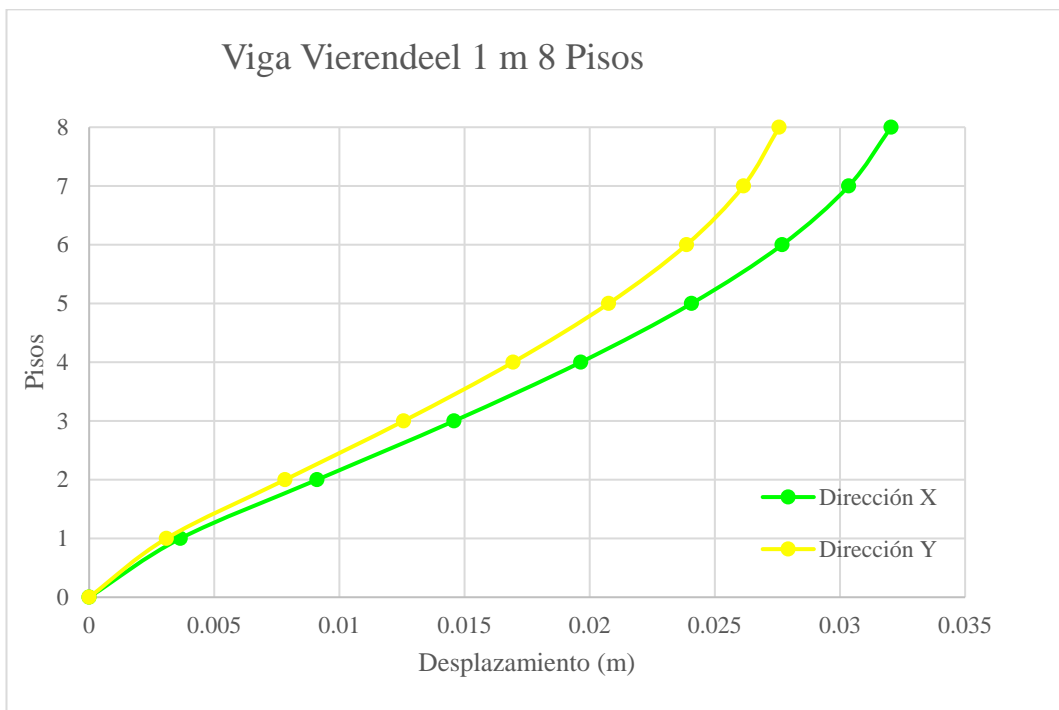
Gráfica 57. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo con Viga Vierendeel 1m de 2 pisos.



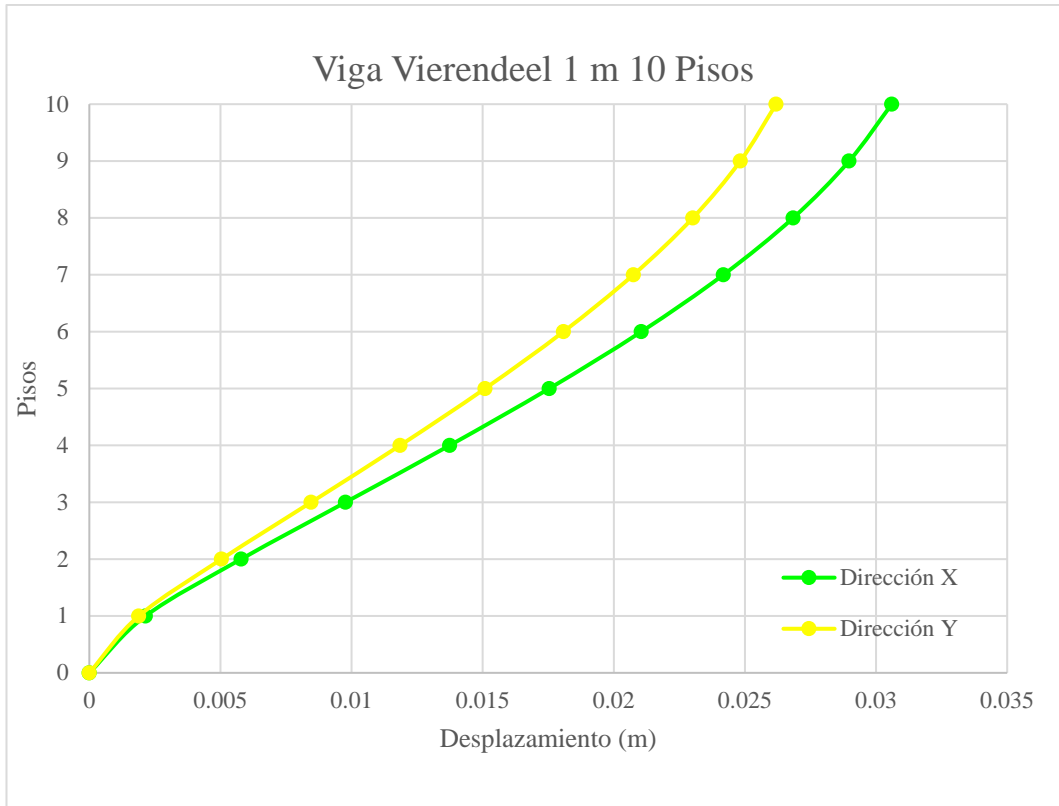
Gráfica 58. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo con Viga Vierendeel 1m de 4 pisos.



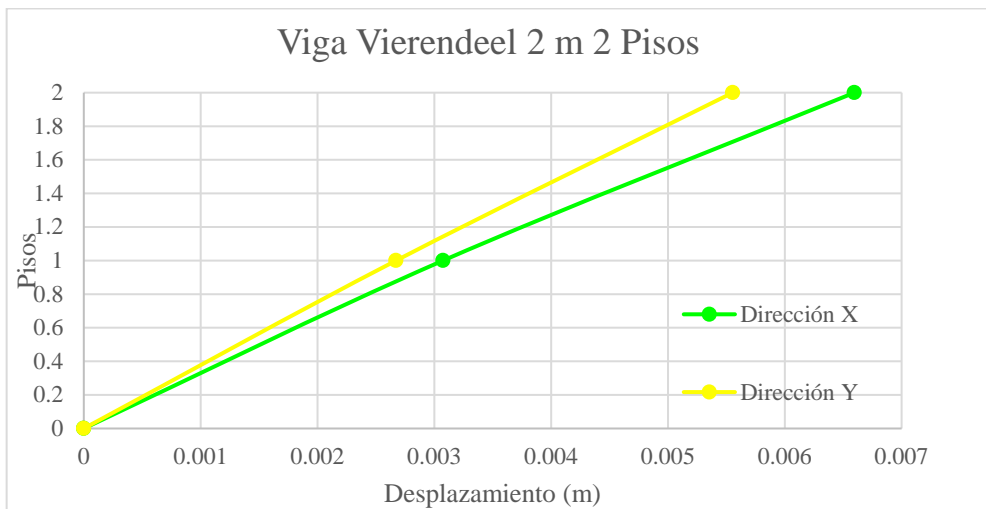
Gráfica 59. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo con Viga Vierendeel 1m de 6 pisos.



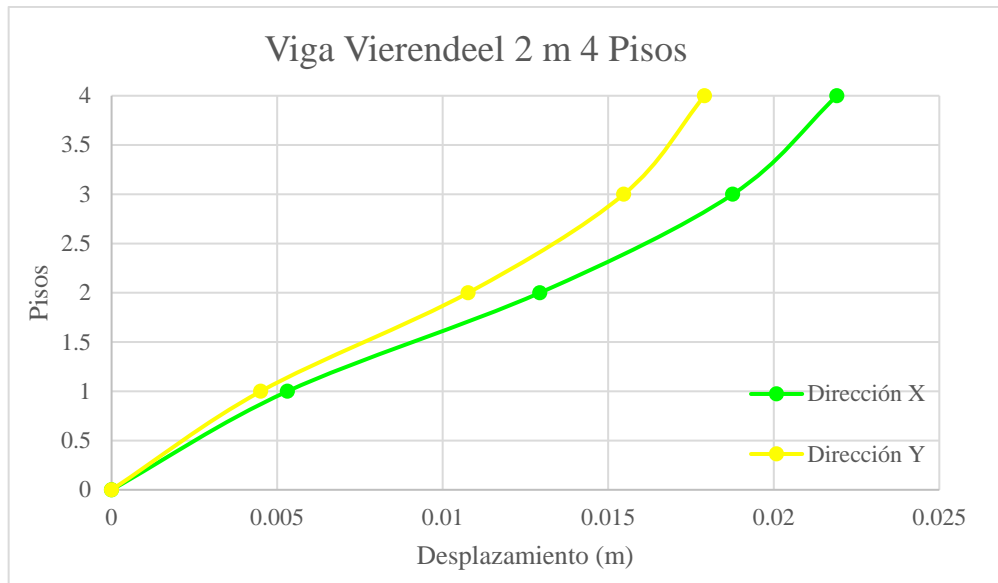
Gráfica 60. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo con Viga Vierendeel 1m de 8 pisos.



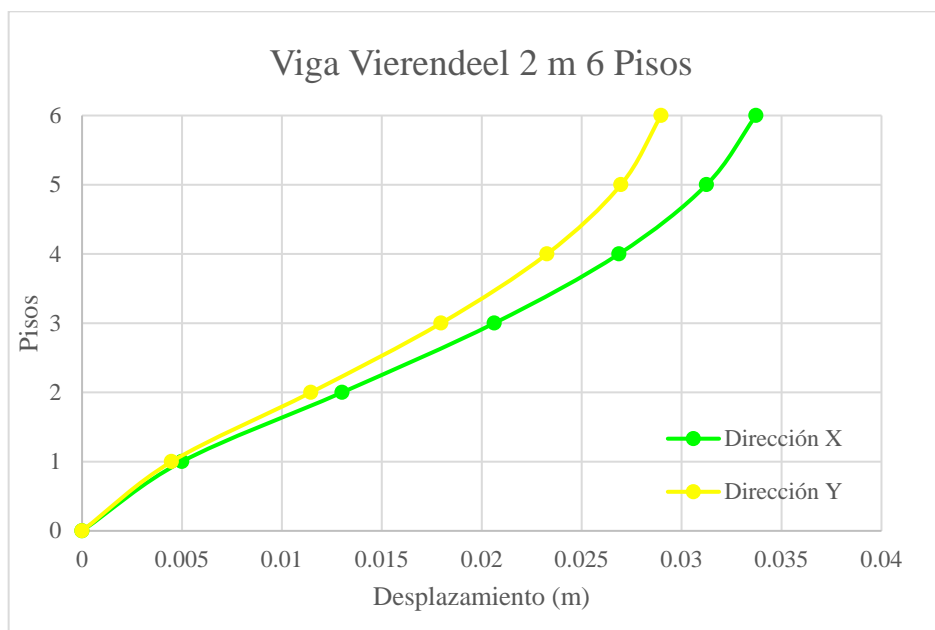
Gráfica 61. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo con Viga Vierendeel 1m de 10 pisos.



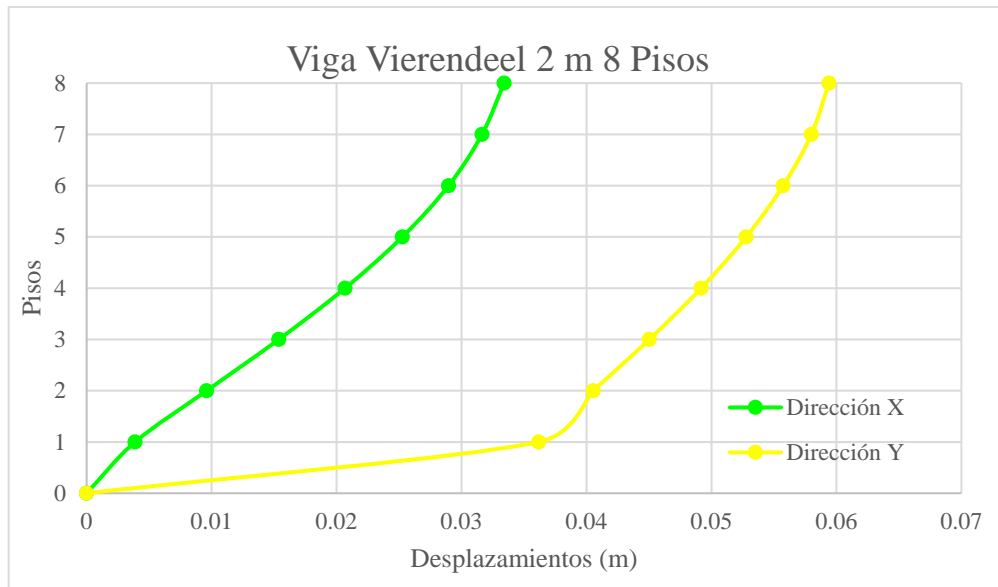
Gráfica 62. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo con Viga Vierendeel 2m de 2 pisos.



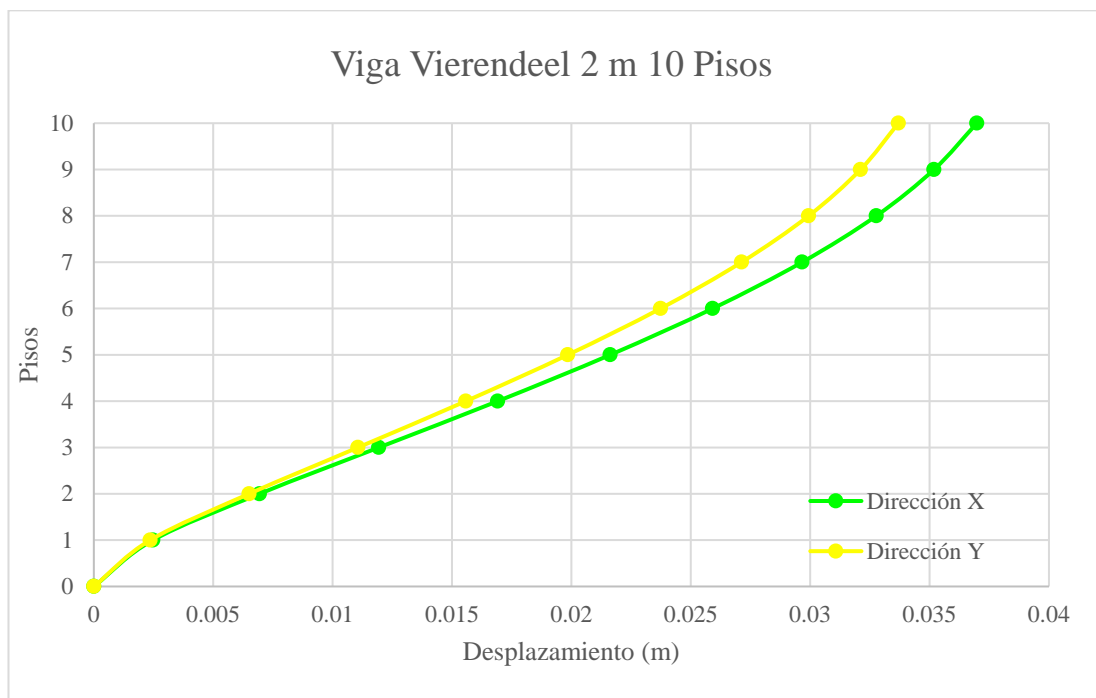
Gráfica 63. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo con Viga Vierendeel 2m de 4 pisos.



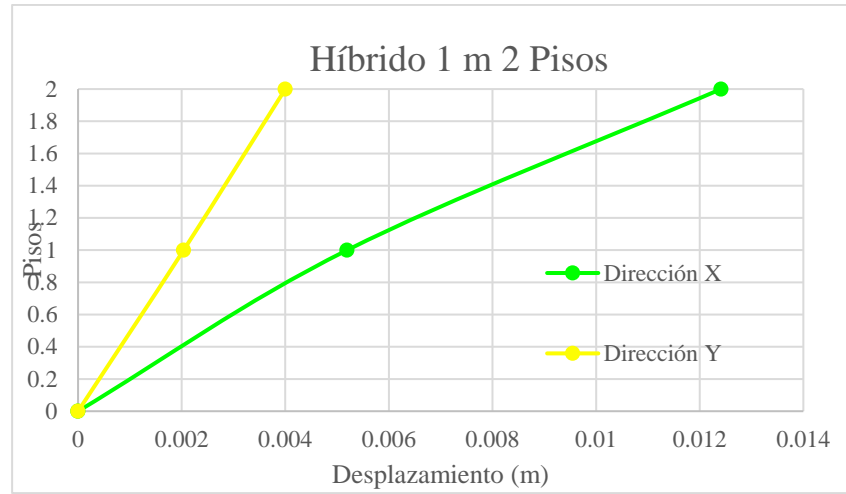
Gráfica 64. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo con Viga Vierendeel 2m de 6 pisos.



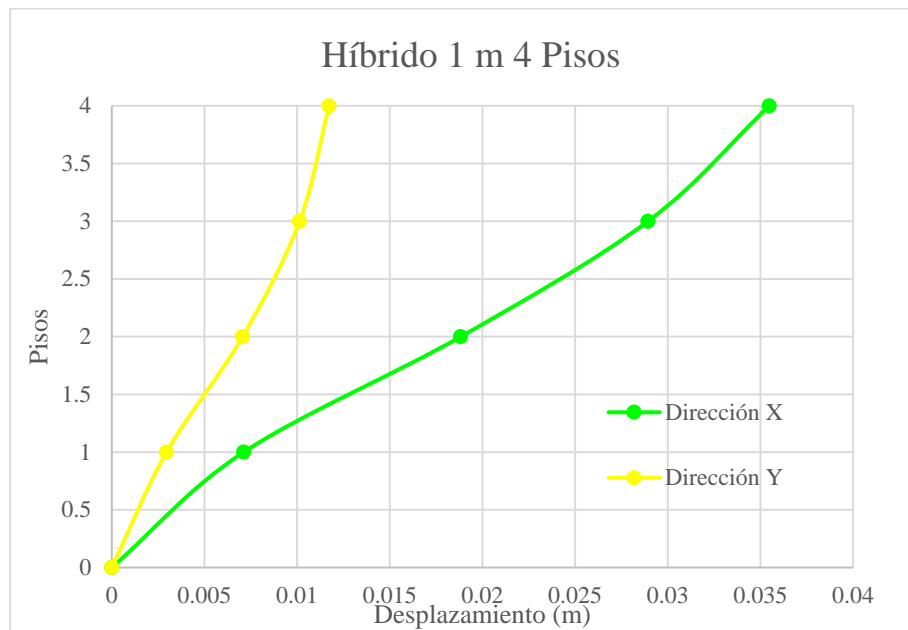
Gráfica 65. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo con Viga Viere de 2m de 8 pisos.



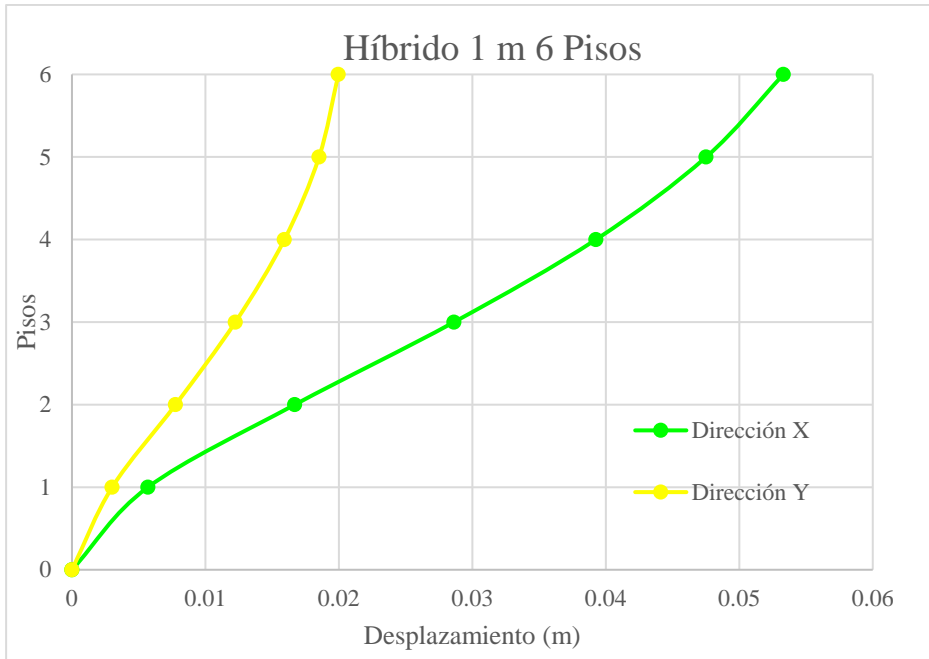
Gráfica 66. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo con Viga Viere de 2m de 10 pisos.



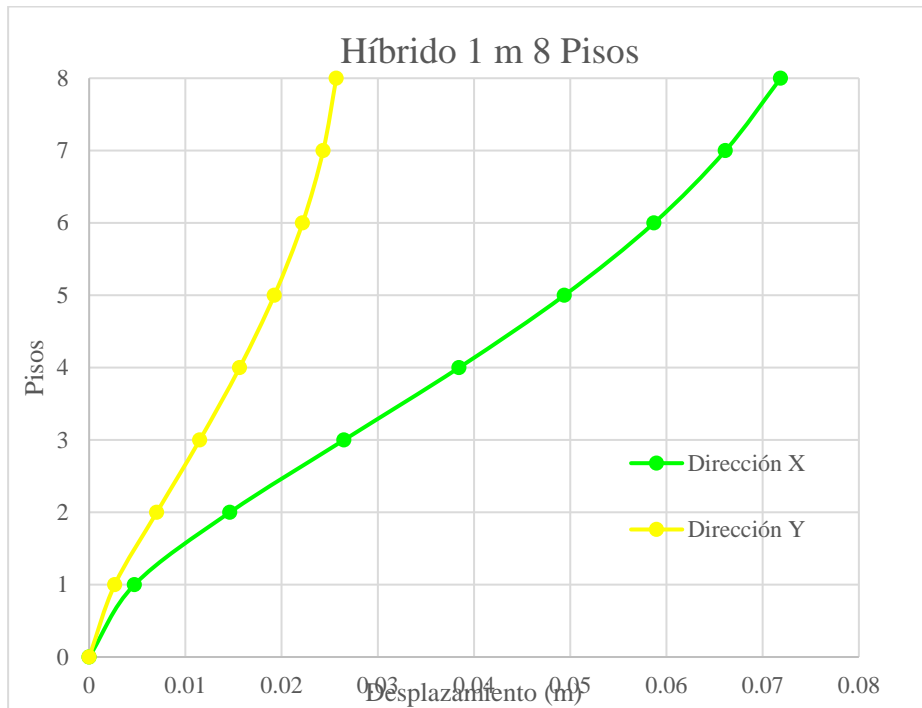
Gráfica 67. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo híbrido de 1 m de 2 pisos.



Gráfica 68. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo híbrido de 1 m de 4 pisos.



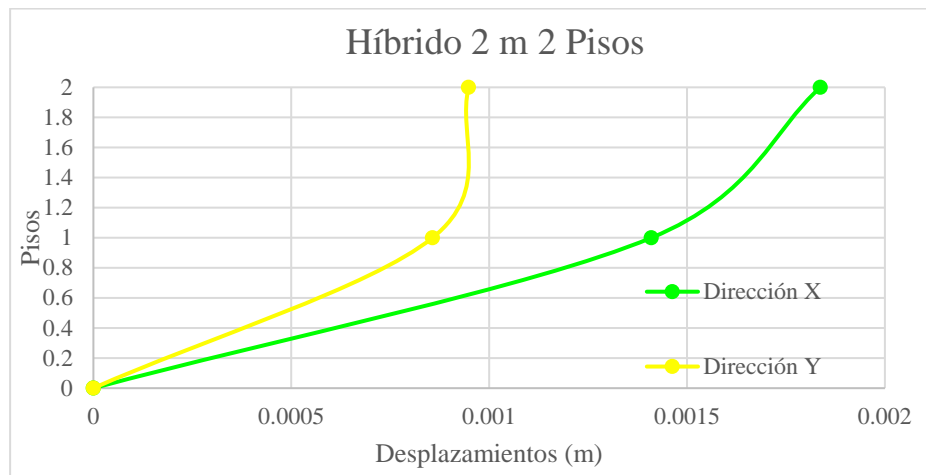
Gráfica 69. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo híbrido de 1 m de 6 pisos.



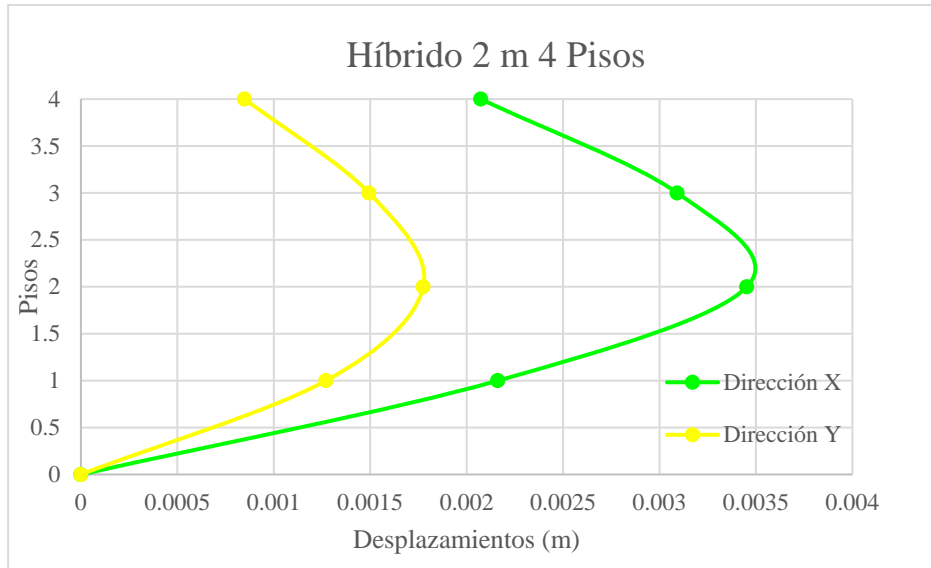
Gráfica 70. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo híbrido de 1 m de 8 pisos.



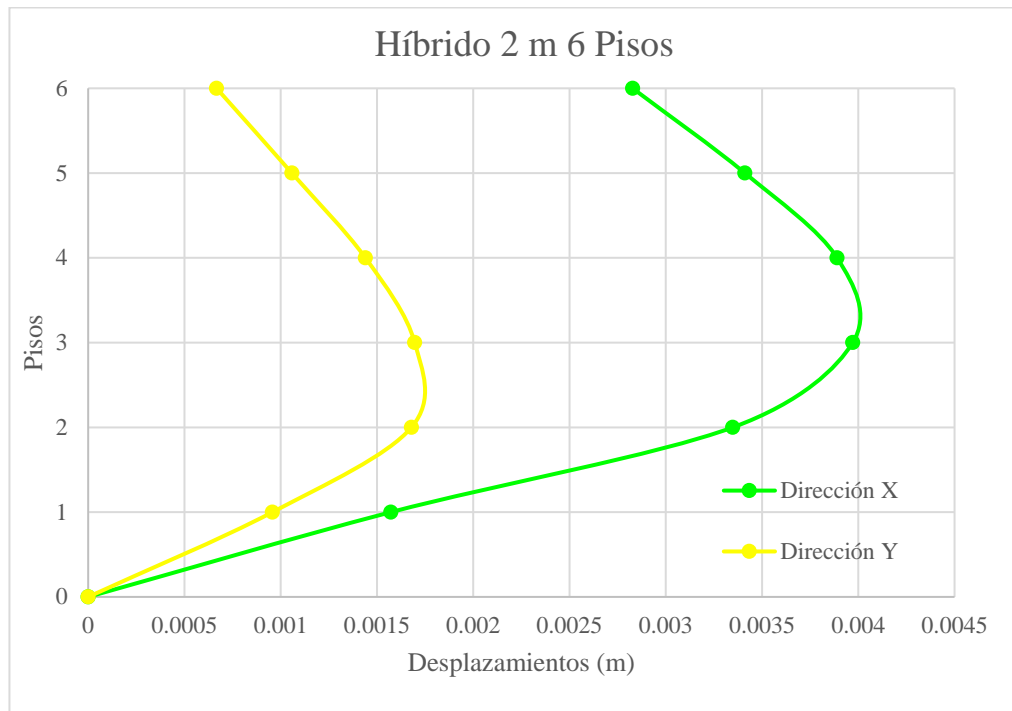
Gráfica 71. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo híbrido de 1 m de 10 pisos.



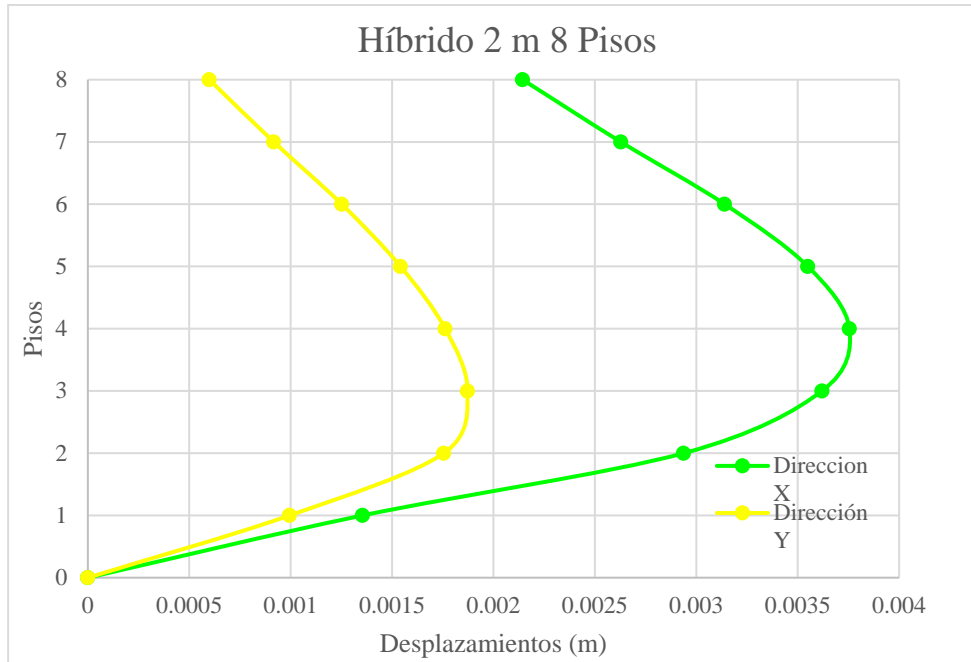
Gráfica 72. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo híbrido de 2 m de 2 pisos.



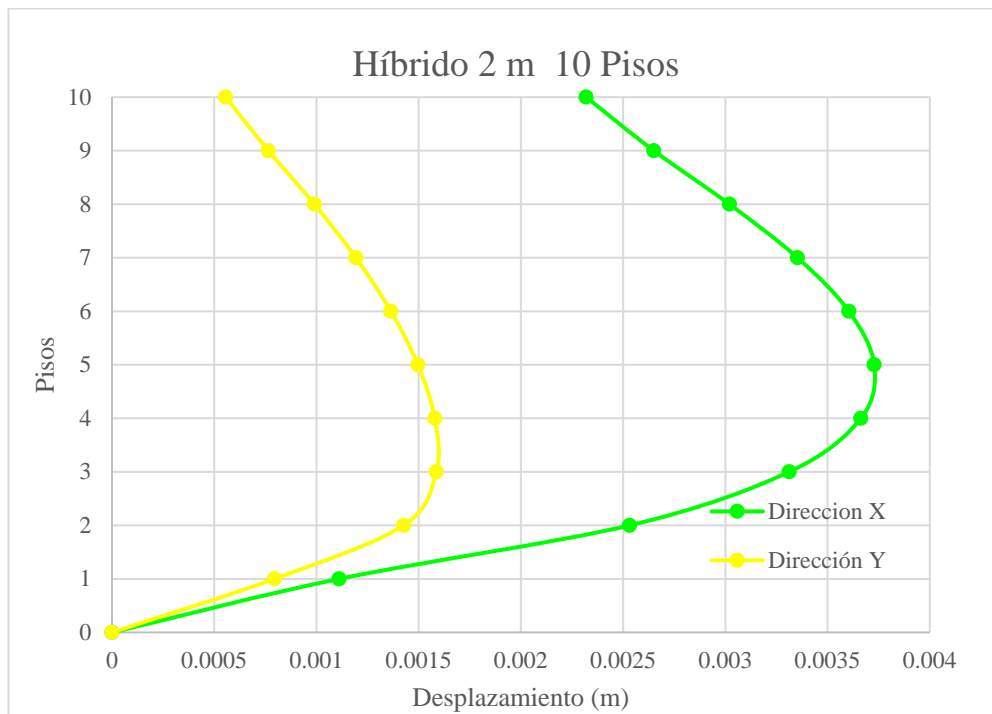
Gráfica 73. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo híbrido de 2 m de 4 pisos.



Gráfica 74. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo híbrido de 2 m de 6 pisos.



Gráfica 75. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo híbrido de 2 m de 8 pisos.



Gráfica 76. Gráfica de resultados de desplazamiento máximo híbrido de 2 m de 10 pisos.

5.4 Efectuar el análisis comparativo entre los sistemas estructurales

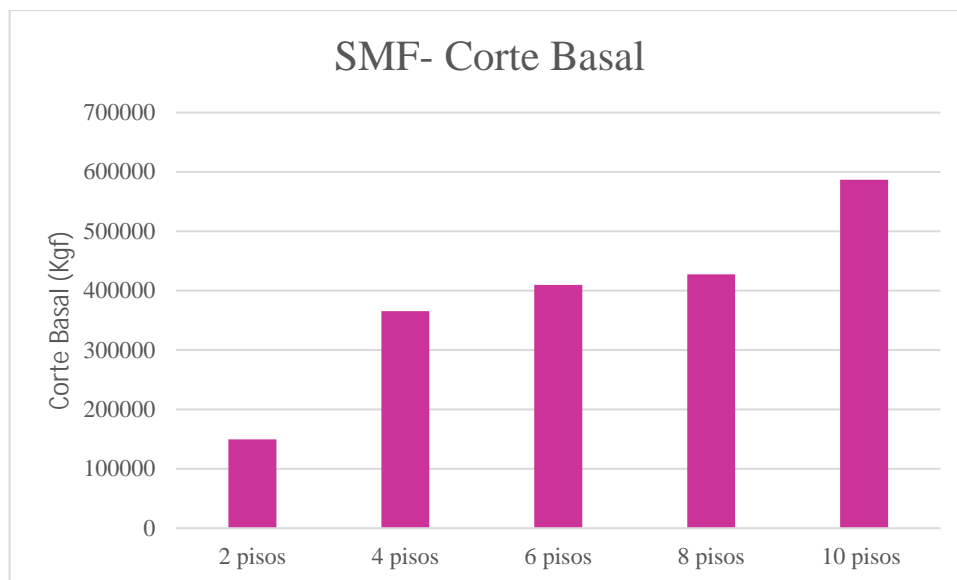
En el siguiente análisis comparativo se pretende demostrar la eficiencia de los paneles Vierendeel dentro de los sistemas resistentes a momento, realizando los siguientes modelados mostrados a continuación, donde se observa completa simetría y uniformidad en las estructuras para así poder determinar con mayor eficiencia entre todos los modelados, el corte basal, las derivas y los desplazamientos máximos.

5.4.1 Gráficos comparativos entre pisos

5.4.1.1 Gráfico comparativo de corte basal en sistema SMF

SMF	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Vo (Kg)	149602,9	365669,5	409662,3	427701	586766,3

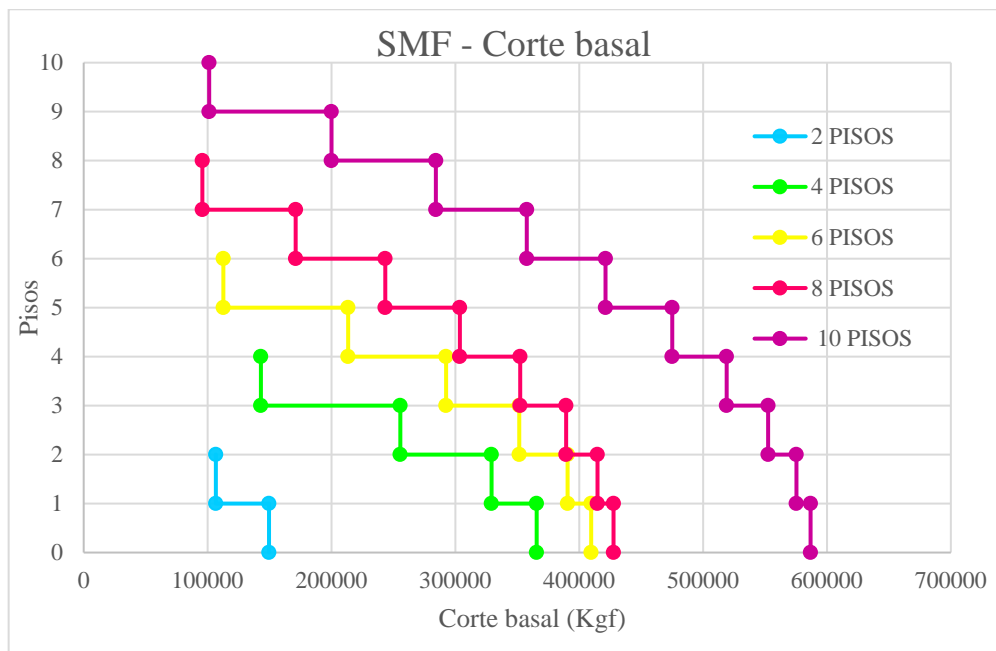
Tabla 43. Tabla de cortes basales por pisos del sistema SMF en barras.



Gráfica 77. Comparación de corte basal por pisos del sistema SMF en barras.

SMF									
CORTE BASAL									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y
2	106689.24	4	143049.7	6	112745.45	8	95790.16	10	101298.8
1	106689.24	3	143049.7	5	112745.45	7	95790.16	9	101298.8
1	149602.9	3	255594.12	5	213425.18	7	171124.69	9	200000.85
0	149602.9	2	255594.12	4	213425.18	6	171124.69	8	200000.85
		2	329229.12	4	292532.48	6	243445.35	8	284326.73
		1	329229.12	3	292532.48	5	243445.35	7	284326.73
		1	365663.47	3	351600.15	5	303667.25	7	357733.65
		0	365663.47	2	351600.15	4	303667.25	6	357733.65
				2	390647.95	4	352358.45	6	421262.56
				1	390647.95	3	352358.45	5	421262.56
				1	409662.28	3	389446.11	5	475091.18
				0	409662.28	2	389446.11	4	475091.18
						2	414716.25	4	518996.29
						1	414716.25	3	518996.29
						1	427701.06	3	552556.26
						0	427701.06	2	552556.26
								2	575312.69
								1	575312.69
								1	586766.29
								0	586766.29

Tabla 44. Tabla de cortes basales por pisos del sistema SMF en dispersión.



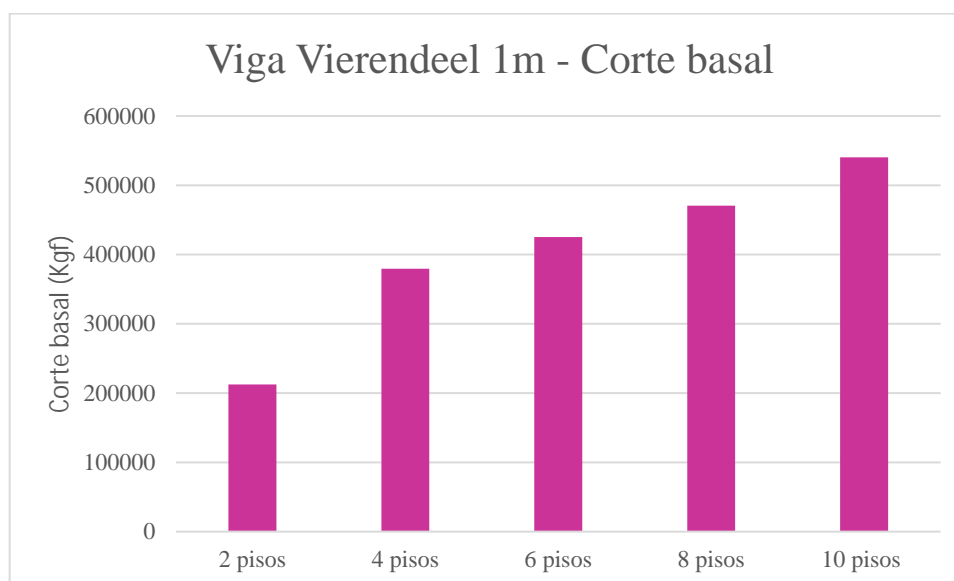
Gráfica 78. Comparación de corte basal por pisos del sistema SMF en dispersión.

En la siguiente gráfica se muestra los cortes basales de los modelados SMF, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 10 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 74.5% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor corte basal. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 27.11%; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 4.22%; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 10.73% y por último se observa una diferencia porcentual de 59.08% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.2 Gráfico comparativo de corte basal con panel Vierendeel 1m

VIGA VIERENDEEL 1m	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Vo (Kg)	222238,4	420620,6	649036	896113,3	1211753

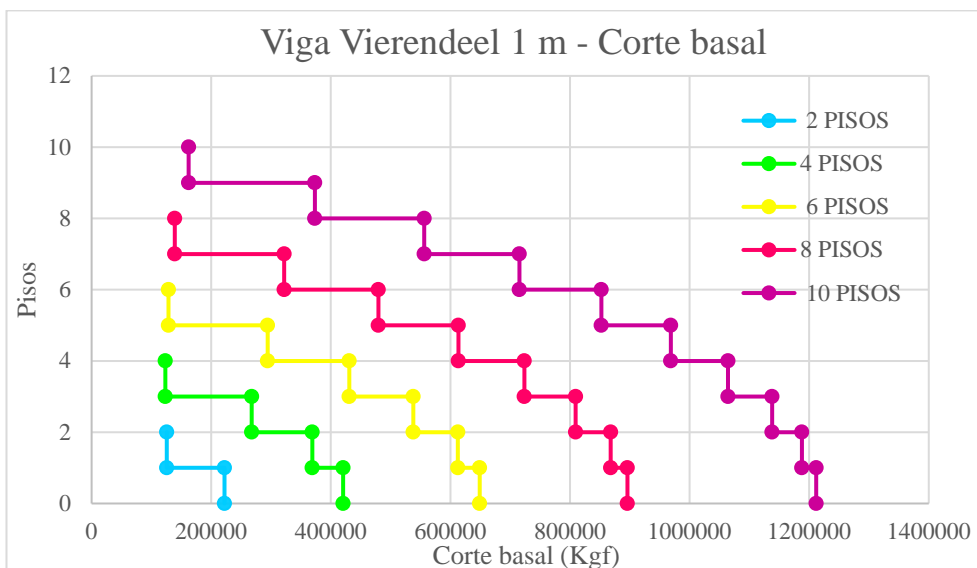
Tabla 45. Tabla de cortes basales por pisos del sistema con panel Vierendeel 1m en barras.



Gráfica 79. Comparación de corte basal por pisos del sistema con panel Vierendeel 1m en barras.

VIERENDEEL 1 m									
CORTE BASAL									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y
2	125698.12	4	123321.88	6	128567.84	8	139089.69	10	162239.1
1	125698.12	3	123321.88	5	128567.84	7	139089.69	9	162239.1
1	222238.39	3	267701.35	5	294382.25	7	322134.64	9	373281.73
0	222238.39	2	267701.35	4	294382.25	6	322134.64	8	373281.73
		2	369109.79	4	430868.78	6	479591.26	8	556344.66
		1	369109.79	3	430868.78	5	479591.26	7	556344.66
		1	420620.58	3	537886.5	5	613403.63	7	715361.75
		0	420620.58	2	537886.5	4	613403.63	6	715361.75
				2	612467.62	4	723755.93	6	852386.36
				1	612467.62	3	723755.93	5	852386.36
				1	649035.98	3	809516.39	5	968645.03
				0	649035.98	2	809516.39	4	968645.03
						2	868082.25	4	1064278.79
						1	868082.25	3	1064278.79
						1	896113.26	3	1138093.81
						0	896113.26	2	1138093.81
								2	1187821.47
								1	1187821.47
								1	1211752.91
								0	1211752.91

Tabla 46. Tabla de cortes basales por pisos del sistema con panel Vierendeel 1m en dispersión.



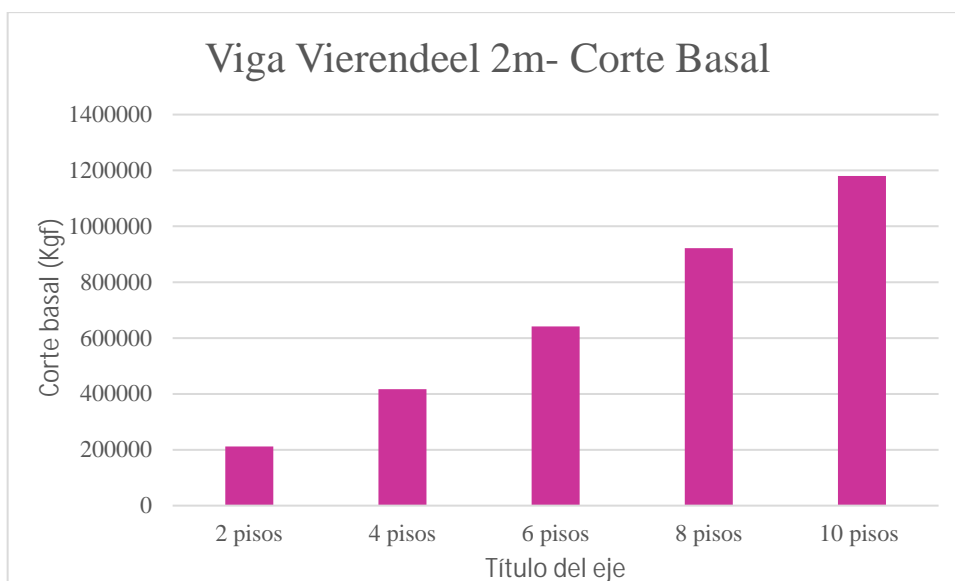
Gráfica 80. Comparación de corte basal por pisos del sistema con panel Vierendeel 1m en dispersión.

En la siguiente gráfica se muestra los cortes basales de los modelados con panel Vierendeel de 1 m, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 10 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 81.66% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor corte basal. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 26.05%; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 27.57%; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 35.19% y por último se observa una diferencia porcentual de 47.16% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.3 Gráfico comparativo de corte basal con panel Vierendeel 2m

VIGA VIERENDEEL 2m	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Vo (Kg)	211857.4	416957.8	641464.77	921837.4	1180371

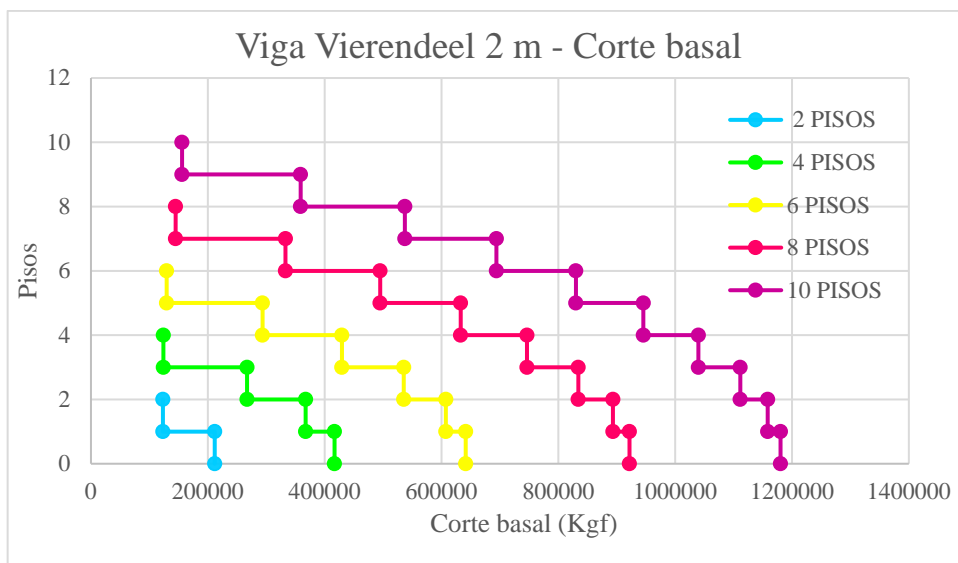
Tabla 45. Tabla de cortes basales por pisos del sistema con panel Vierendeel 2m en barras.



Gráfica 81. Comparación de corte basal por pisos del sistema con panel Vierendeel 2m en barras.

VIERENDEEL 2 m									
CORTE BASAL									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y
2	123178.38	4	123997.42	6	129583.99	8	144896.58	10	155959.99
1	123178.38	3	123997.42	5	129583.99	7	144887.12	9	155959.99
1	211857.36	3	267315.67	5	293764.57	7	332961.39	9	358897.86
0	211857.36	2	267315.67	4	293764.57	6	332951.94	8	358897.86
		2	367482.3	4	429569.76	6	495030.77	8	537367.89
		1	367482.3	3	429569.76	5	495022.1	7	537367.89
		1	416957.77	3	535421.01	5	632874.28	7	694151.45
		0	416957.77	2	535421.01	4	632866.87	6	694151.45
				2	607571.95	4	746393.2	6	830171.02
				1	607571.95	3	746387.43	5	830171.02
				1	641464.67	3	834167.31	5	945586.86
				0	641464.67	2	834163.43	4	945586.86
						2	893553.33	4	1039802.21
						1	893551.45	3	1039802.21
						1	921837.46	3	1111413.97
						0	921837.44	2	1111413.97
								2	1158517.62
								1	1158517.62
								1	1180370.98
								0	1180370.98

Tabla 46. Tabla de cortes basales por pisos del sistema con panel Vierendeel 2m en dispersión.



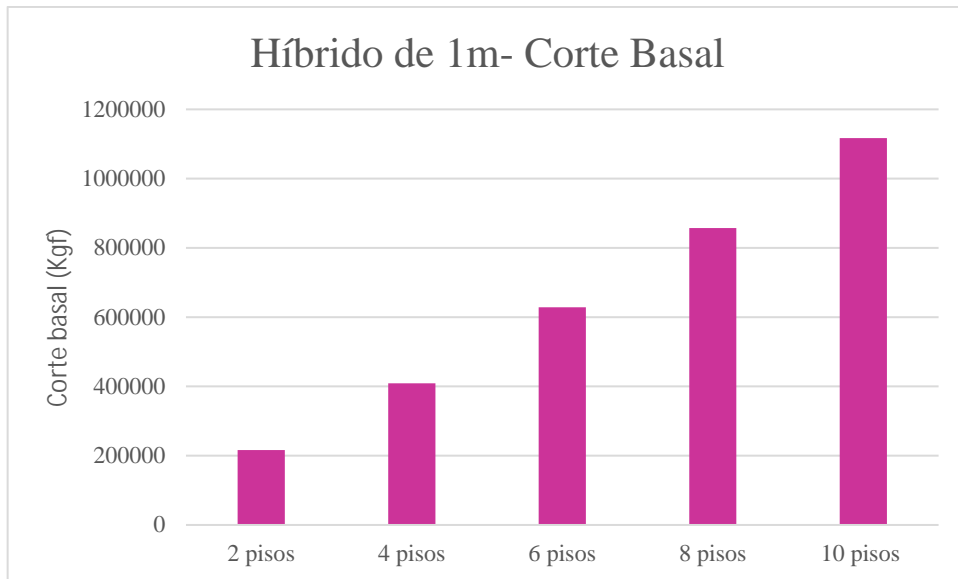
Gráfica 82. Comparación de corte basal por pisos del sistema con panel Vierendeel 2m en dispersión.

En la siguiente gráfica se muestra los cortes basales de los modelados con panel Vierendeel de 2 m, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 10 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 82.05% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor corte basal. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 21.9%; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 30.41%; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 34.99% y por último se observa una diferencia porcentual de 49.19% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.4 Gráfico comparativo de corte basal en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m

HÍBRIDO 1m	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Vo (Kg)	216141.3	409230	628557	857203	1116920.7

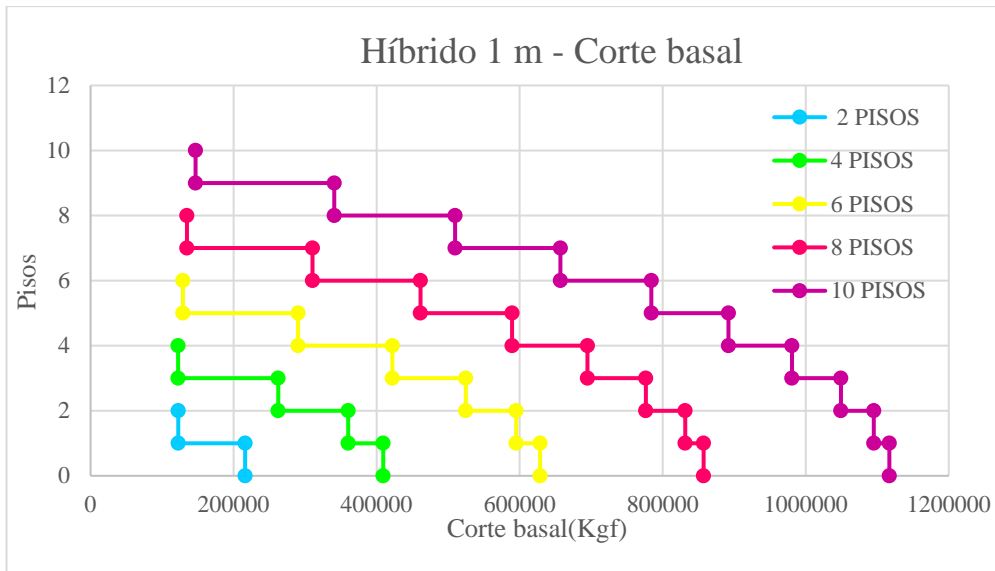
Tabla 47. Tabla de cortes basales por pisos del sistema híbrido con Vierendeel 1m en barras.



Gráfica 83. Comparación de corte basal por pisos del sistema híbrido con panel Vierendeel 1m en barras.

HÍBRIDO 1 m									
CORTE BASAL									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y
2	122621.67	4	122379.9	6	129063.26	8	134778.6	10	146803.17
1	122621.67	3	122379.9	5	129063.26	7	134778.6	9	146803.17
1	216141.27	3	262413.5	5	290192.23	7	310331.4	9	340806.52
0	216141.27	2	262413.5	4	290192.23	6	310331.4	8	340806.52
		2	360223.6	4	422047.34	6	461297.9	8	509774.56
		1	360223.6	3	422047.34	5	461297.9	7	509774.56
		1	409229.8	3	524629.16	5	589433.1	7	656986.77
		0	409229.8	2	524629.16	4	589433.1	6	656986.77
				2	595121.78	4	694865.1	6	784108.89
				1	595121.78	3	694865.1	5	784108.89
				1	628557.3	3	776421	5	892048.17
				0	628557.3	2	776421	4	892048.17
						2	831520.1	4	980793.18
						1	831520.1	3	980793.18
						1	857203.4	3	1049217.48
						0	857203.4	2	1049217.48
								2	1095241.34
								1	1095241.34
								1	1116920.72
								0	1116920.72

Tabla 48. Tabla de cortes basales por pisos del sistema híbrido con Vierendeel 1m en dispersión.



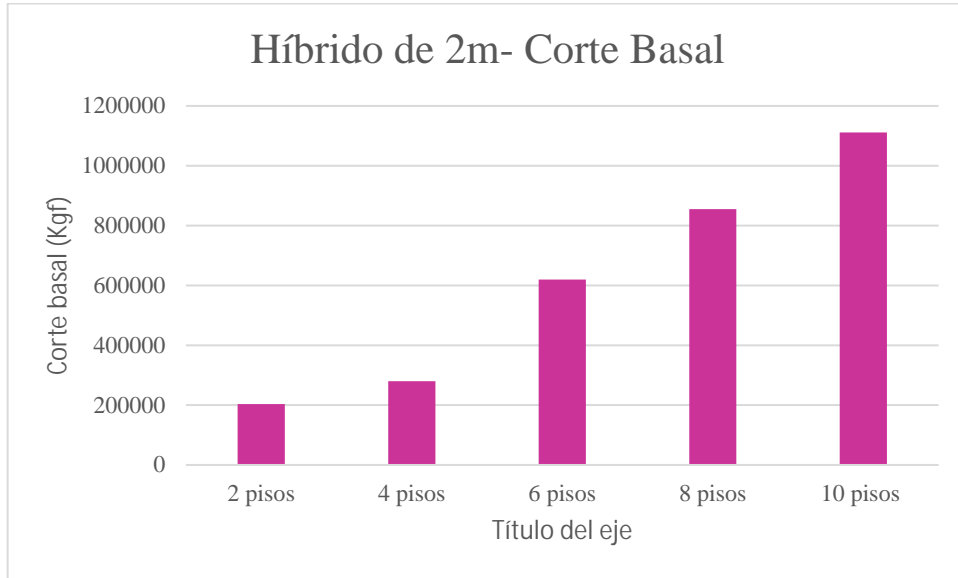
Gráfica 84. Comparación de corte basal por pisos del sistema híbrido con panel Vierendeel 1m en dispersión.

En la siguiente gráfica se muestra los cortes basales de los modelados híbridos con panel Vierendeel de 1 m, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 10 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 80.65% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor corte basal. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 23.25%; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 26.67%; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 34.89% y por último se observa una diferencia porcentual de 47.18% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.5.1.6 Gráfico comparativo de corte basal en sistema híbrido con panel Vierendeel

HÍBRIDO 2m	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Vo (Kg)	203483.1	280117.9	619927	855135	1111607

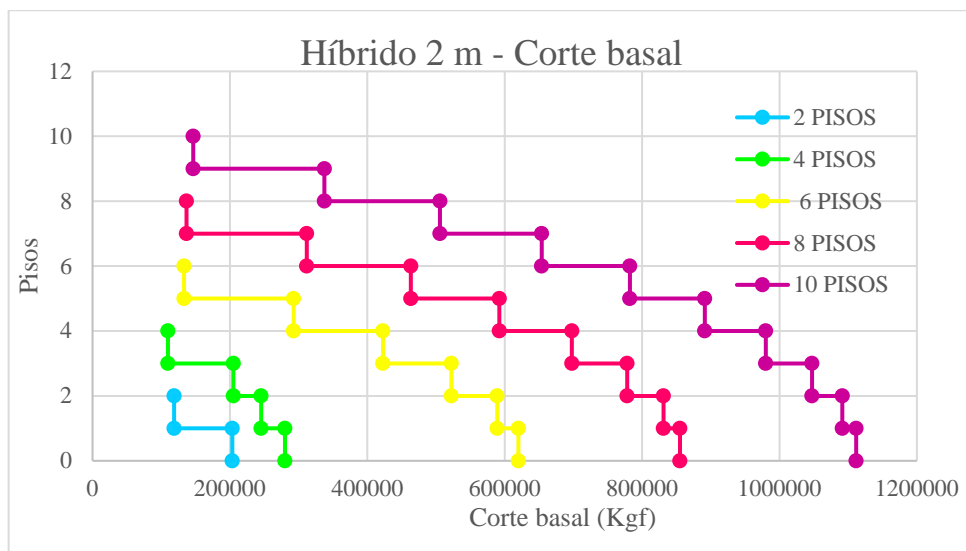
Tabla 49. Tabla de cortes basales por pisos del sistema híbrido con Vierendeel 2m en barras.



Gráfica 85. Comparación de corte basal por pisos del sistema híbrido con panel Vierendeel 2m en barras.

HÍBRIDO 2 m									
CORTE BASAL									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y	PISO	Y
2	118736.44	4	109783.18	6	133189.37	8	136786.23	10	146571.19
1	118736.44	3	109783.18	5	133189.37	7	136786.23	9	146571.19
1	203483.053	3	204985.52	5	292764.03	7	311863.92	9	337598.45
0	203483.053	2	204985.52	4	292764.03	6	311863.92	8	337598.45
		2	245447.18	4	422684.63	6	463343.69	8	505818.29
		1	245447.18	3	422684.63	5	463343.69	7	505818.29
		1	280117.87	3	522410.93	5	592231.62	7	653768.96
		0	280117.87	2	522410.93	4	592231.62	6	653768.96
				2	589091.25	4	697764.82	6	782213.27
				1	589091.25	3	697764.82	5	782213.27
				1	619927.02	3	778189.29	5	891183.32
				0	619927.02	2	778189.29	4	891183.32
						2	831136.95	4	980021.55
						1	831136.95	3	980021.55
						1	855135.03	3	1047364.16
						0	855135.03	2	1047364.16
								2	1091465.42
								1	1091465.42
								1	1111606.51
								0	1111606.51

Tabla 50. Tabla de cortes basales por pisos del sistema híbrido con Vierendeel 2m en dispersión.



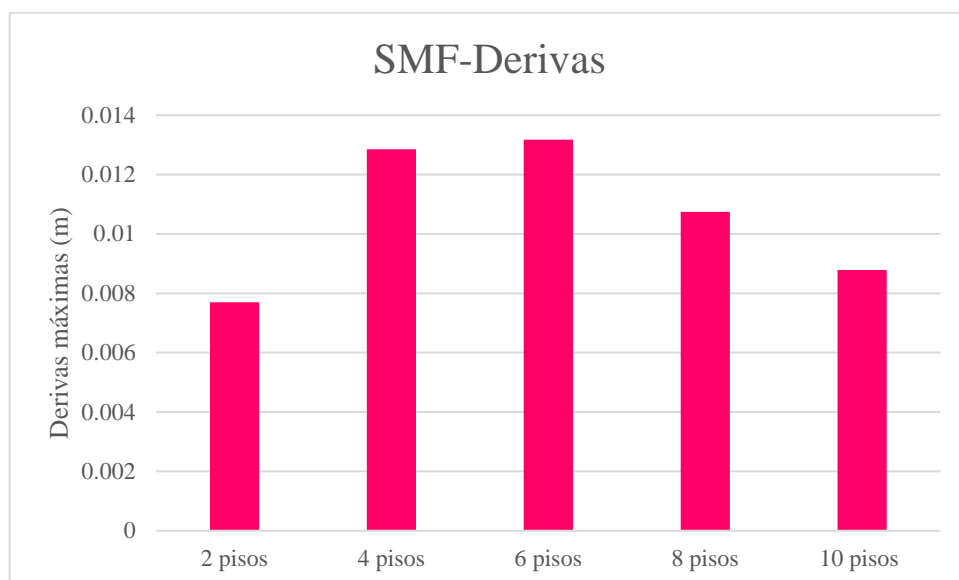
Gráfica 86. Comparación de corte basal por pisos del sistema híbrido con panel Vierendeel 2m en dispersión.

En la siguiente gráfica se muestra los cortes basales de los modelados híbridos con panel Vierendeel de 2 m, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 10 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 81.69% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor corte basal. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 23.07%; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 27.5%; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 54.81% y por último se observa una diferencia porcentual de 27.36% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.6 Gráfico comparativo de derivas inelásticas en sistema SMF

SMF	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Derivas máximas (m)	0.007693	0.0128484	0.013176	0.0107424	0.008784

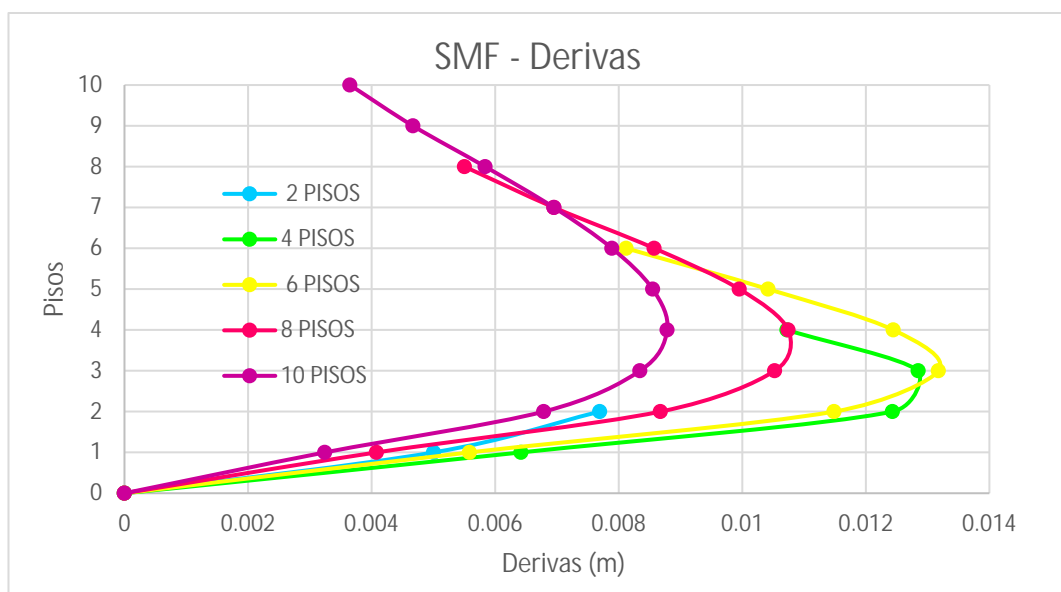
Tabla 51. Tabla de derivas inelásticas por pisos en sistema SMF en barras.



Gráfica 87. Comparación de derivas inelásticas por pisos en sistema SMF en barras.

SMF									
DERIVAS									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X
2	0.0076932	4	0.0107244	6	0.0081216	8	0.0055044	10	0.0036504
1	0.005004	3	0.0128484	5	0.0104184	7	0.0069516	9	0.0046692
0	0	2	0.0124308	4	0.0124452	6	0.0085752	8	0.0058392
		1	0.0064188	3	0.013176	5	0.009954	7	0.0069516
		0	0	2	0.0114876	4	0.0107424	6	0.0078912
				1	0.0055836	3	0.0105264	5	0.00855
				0	0	2	0.008676	4	0.008784
						1	0.0040788	3	0.0083448
						0	0	2	0.006786
								1	0.0032436
								0	0

Tabla 52. Tabla de derivas inelásticas por pisos en sistema SMF en dispersión.



Gráfica 88. Comparación de derivas inelásticas por pisos en sistema SMF en dispersión.

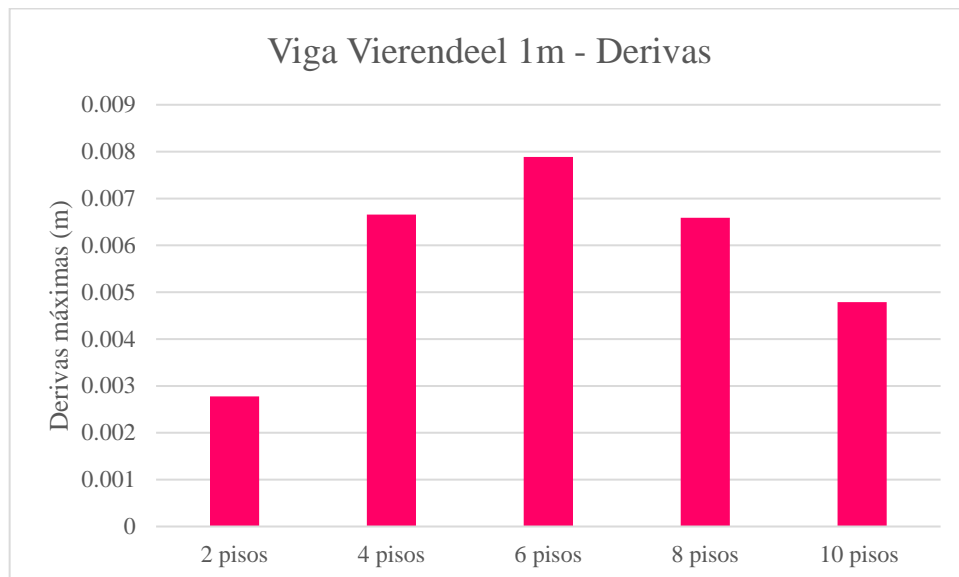
En la siguiente gráfica se muestra las derivas inelásticas de los modelados SMF, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 6 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 41.61% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor deriva. Entre el modelado

de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 18.23%; siendo el mayor de ambos el modelado de 8 pisos; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 18.47%; siendo el mayor de ambos el modelado de 6 pisos; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 2.486% y por último se observa una diferencia porcentual de 40.12% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.5.1.8 Gráfico comparativo de derivas inelásticas con panel Vierendeel 1m

VIGA VIERENDEEL 1m	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Derivas máximas (m)	0.0027756	0.0066564	0.0078876	0.006588	0.004788

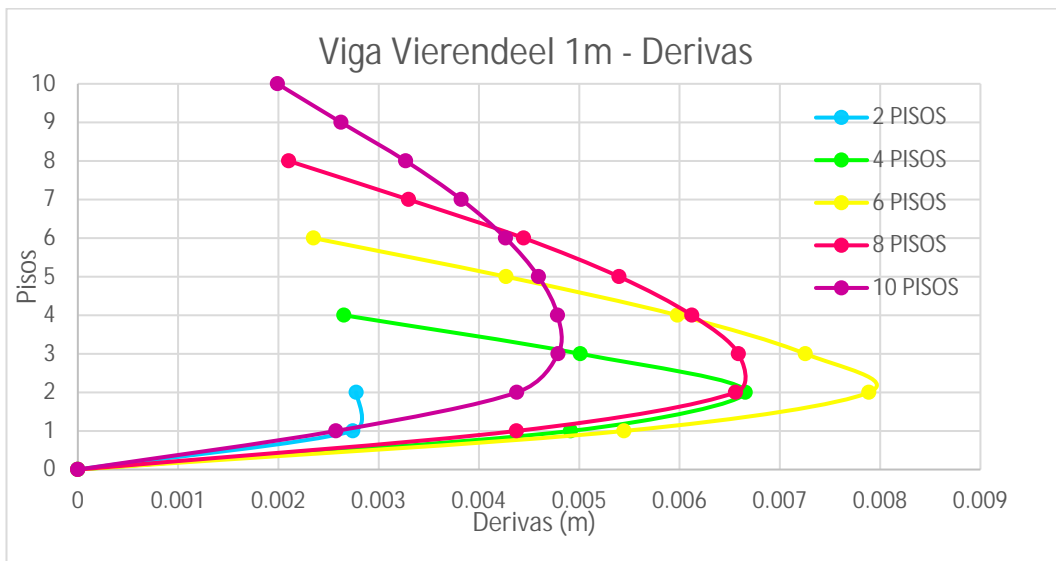
Tabla 53. Tabla de derivas inelásticas por pisos con panel Vierendeel 1m en barras.



Gráfica 89. Comparación de derivas inelásticas por pisos con panel Vierendeel 1m en barras.

VIERENDEEL 1 m									
DERIVAS									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X
2	0.002776	4	0.002653	6	0.002351	8	0.002102	10	0.001991
1	0.002743	3	0.005011	5	0.00427	7	0.003298	9	0.002624
0	0	2	0.006656	4	0.00598	6	0.004446	8	0.003269
		1	0.004914	3	0.007254	5	0.005396	7	0.003823
		0	0	2	0.007888	4	0.006124	6	0.004266
				1	0.005447	3	0.006588	5	0.004594
				0	0	2	0.006559	4	0.004784
						1	0.004374	3	0.004788
						0	0	2	0.004378
								1	0.002574
								0	0

Tabla 54. Tabla de derivas inelásticas por pisos con panel Vierendeel 1m en dispersión.



Gráfica 90. Comparación de derivas inelásticas por pisos con panel Vierendeel 1m en dispersión.

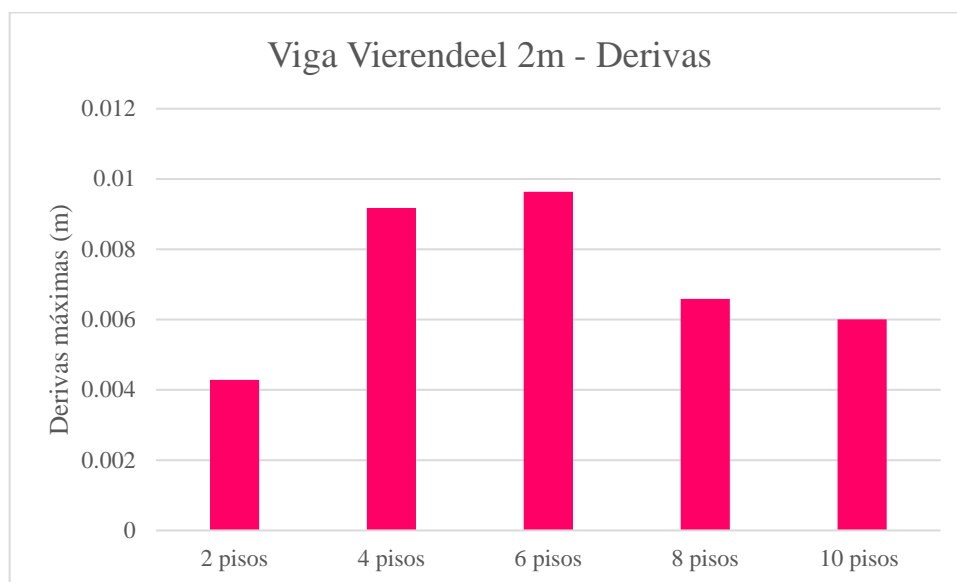
En la siguiente gráfica se muestra las derivas inelásticas de los modelados con panel Vierendeel de 1 m, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 6 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 64.81% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor

deriva. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 27.32%; siendo el mayor de ambos el modelado de 8 pisos; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 16.47%; siendo el mayor de ambos el modelado de 6 pisos; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 15.61% y por último se observa una diferencia porcentual de 58.3% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.8 Gráfico comparativo de derivas inelásticas con panel Vierendeel 2m

VIGA VIERENDEEL 2m	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Derivas máximas (m)	0.004284	0.0091764	0.0096372	0.00698	0.006

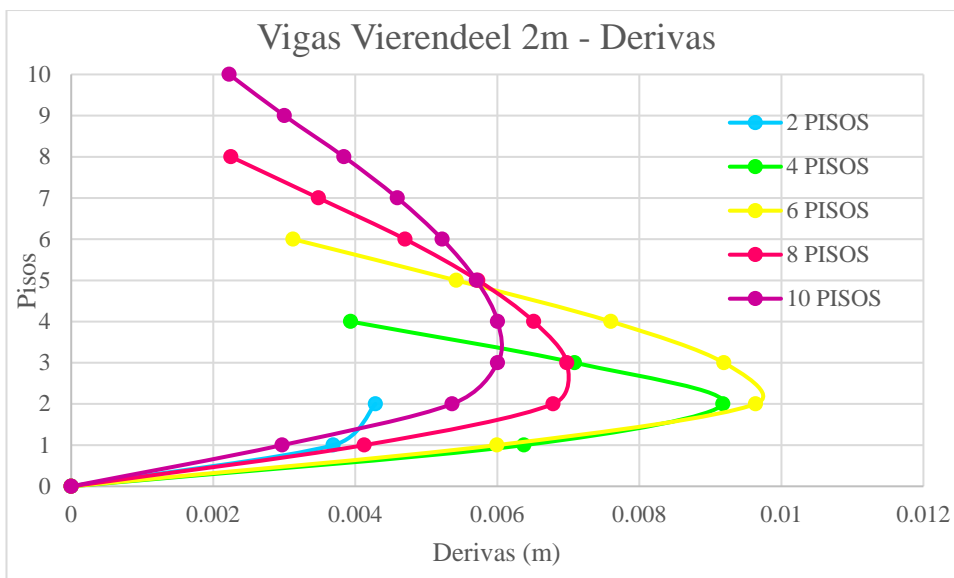
Tabla 55. Tabla de derivas inelásticas por pisos con panel Vierendeel 2m en barras.



Gráfica 91. Comparación de derivas inelásticas por pisos con panel Vierendeel 2m en barras.

VIERENDEEL 2 m									
DERIVAS									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X
2	0.004284	4	0.003935	6	0.003125	8	0.00225	10	0.0022248
1	0.00369	3	0.007088	5	0.005422	7	0.003481	9	0.0030024
0	0	2	0.009176	4	0.0076	6	0.004702	8	0.0038412
		1	0.006376	3	0.009191	5	0.005728	7	0.0045936
		0	0	2	0.009637	4	0.006512	6	0.0052236
				1	0.005994	3	0.00698	5	0.005706
				0	0	2	0.006786	4	0.0060048
						1	0.004126	3	0.0060048
						0	0	2	0.005364
								1	0.00297
								0	0

Tabla 56. Tabla de derivas inelásticas por pisos con panel Vierendeel 2m en dispersión.



Gráfica 92. Comparación de derivas inelásticas por pisos con panel Vierendeel 2m en dispersión.

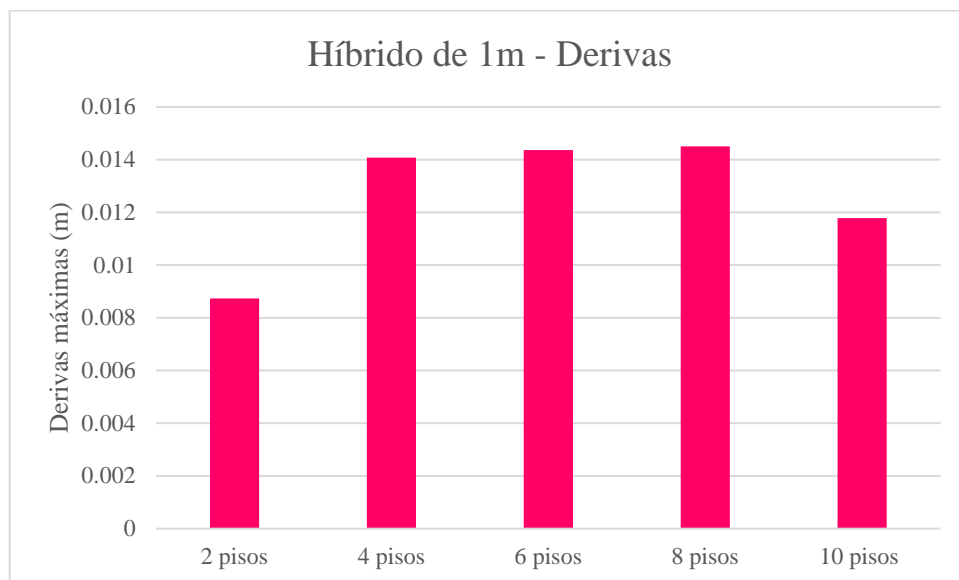
En la siguiente gráfica se muestra las derivas inelásticas de los modelados con panel Vierendeel de 2 m, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 6 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 55.54% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor deriva. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 14.04%;

siendo el mayor de ambos el modelado de 8 pisos; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 27.57%; siendo el mayor de ambos el modelado de 6 pisos; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 4.78% y por último se observa una diferencia porcentual de 53.31% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.9 Gráfico comparativo de derivas inelásticas en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m

HÍBRIDO 1M	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Derivas máximas (m)	0.008733	0.01408	0.014364	0.0145	0.011779

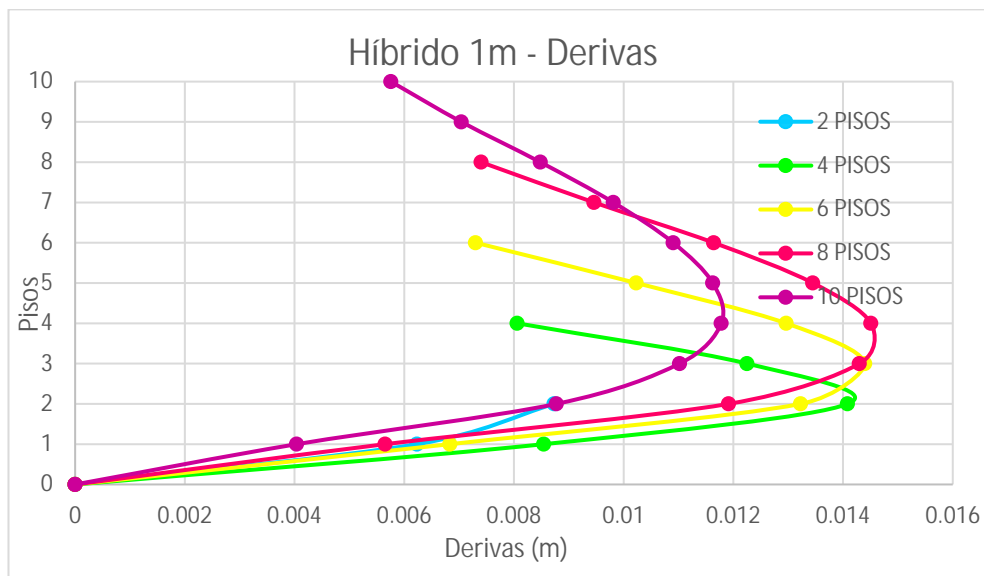
Tabla 57. Tabla de derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m en barras.



Gráfica 93. Comparación de derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m en barras.

HÍBRIDO 1 m									
DERIVAS									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X
2	0.0087336	4	0.00806	6	0.007301	8	0.007402	10	0.0057564
1	0.0062316	3	0.012251	5	0.010231	7	0.009461	9	0.0070416
0	0	2	0.014083	4	0.012964	6	0.011642	8	0.0084816
		1	0.008543	3	0.014396	5	0.01345	7	0.0098136
		0	0	2	0.013226	4	0.014508	6	0.0109044
				1	0.006833	3	0.014299	5	0.0116244
				0	0	2	0.011912	4	0.0117792
						1	0.005652	3	0.0110196
						0	0	2	0.0087732
								1	0.0040392
								0	0

Tabla 58. Tabla de derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m en dispersión.



Gráfica 94. Comparación de derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m en dispersión.

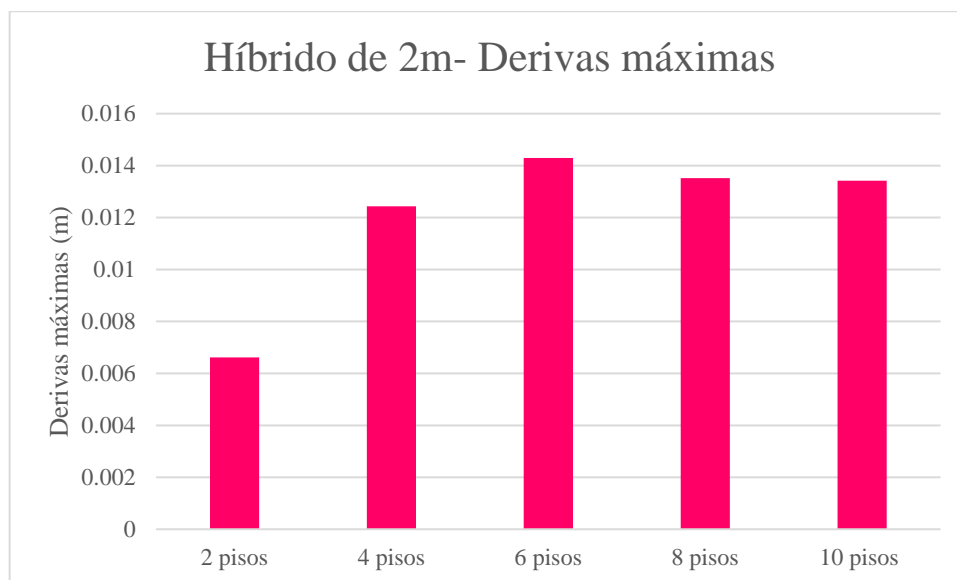
En la siguiente gráfica se muestra las derivas inelásticas de los modelados híbridos con panel Vierendeel de 1 m, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 8 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 39.77% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el

de menor deriva. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 18.76%; siendo el mayor de ambos el modelado de 8 pisos; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia imperceptible de 0.94%; siendo el mayor de ambos el modelado de 8 pisos; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 1.977% y por último se observa una diferencia porcentual de 37.97% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.10 Gráfico comparativo de derivas inelásticas en sistema híbrido con panel Vierendeel 2m

HÍBRIDO 2m	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Derivas máximas (m)	0.0066132	0.01243	0.0142956	0.013518	0.01342

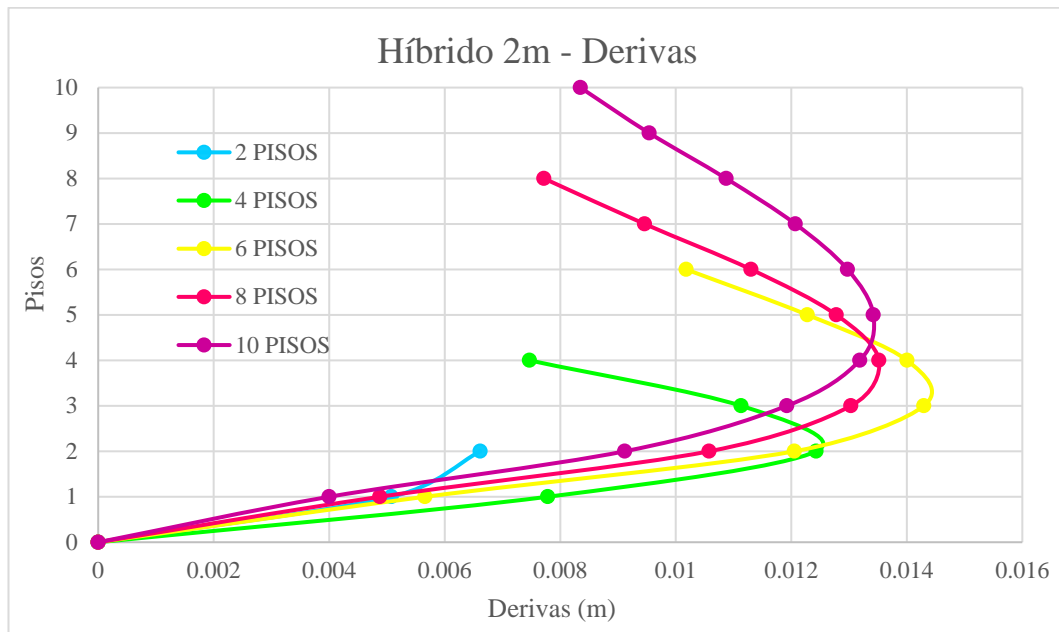
Tabla 59. Tabla de derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 2m en barras.



Gráfica 95. Comparación de derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 2m en barras.

HÍBRIDO 2 m									
DERIVAS									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X
2	0.0066132	4	0.0074664	6	0.0101808	8	0.0077184	10	0.0083484
1	0.005076	3	0.0111312	5	0.0122796	7	0.0094608	9	0.00954
0	0	2	0.0124308	4	0.014004	6	0.011304	8	0.010872
		1	0.0077832	3	0.0142956	5	0.01278	7	0.0120708
		0	0	2	0.0120528	4	0.013518	6	0.0129744
				1	0.0056592	3	0.013032	5	0.0134208
				0	0	2	0.0105768	4	0.0131868
						1	0.004878	3	0.0119232
						0	0	2	0.0091152
								1	0.0039996
								0	0

Tabla 60. Tabla de derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 2m en dispersión.



Gráfica 96. Comparación de derivas inelásticas por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 2m en dispersión.

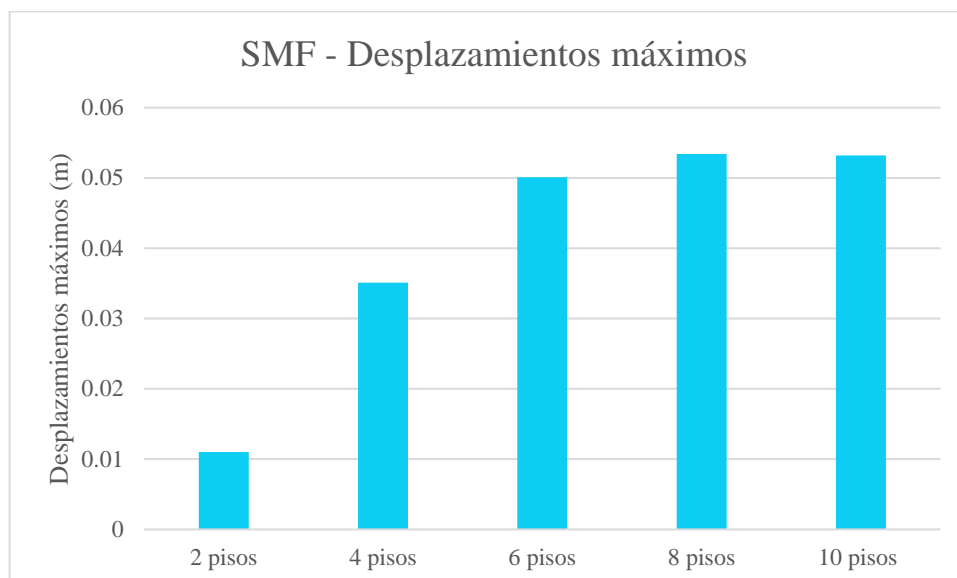
En la siguiente gráfica se muestra las derivas inelásticas de los modelados híbridos con panel Vierendeel de 2 m, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 6 pisos, arrojando una

diferencia porcentual de 53.74% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor deriva. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia imperceptible de 0.72%; siendo el mayor de ambos el modelado de 8 pisos; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 5.44%; siendo el mayor de ambos el modelado de 6 pisos; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 13.016% y por último se observa una diferencia porcentual de 46.79% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.11 Gráfico comparativo de desplazamientos máximos en sistema SMF

SMF	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Desplazamiento máximo (m)	0.011	0.0351	0.0501	0.0534	0.0532

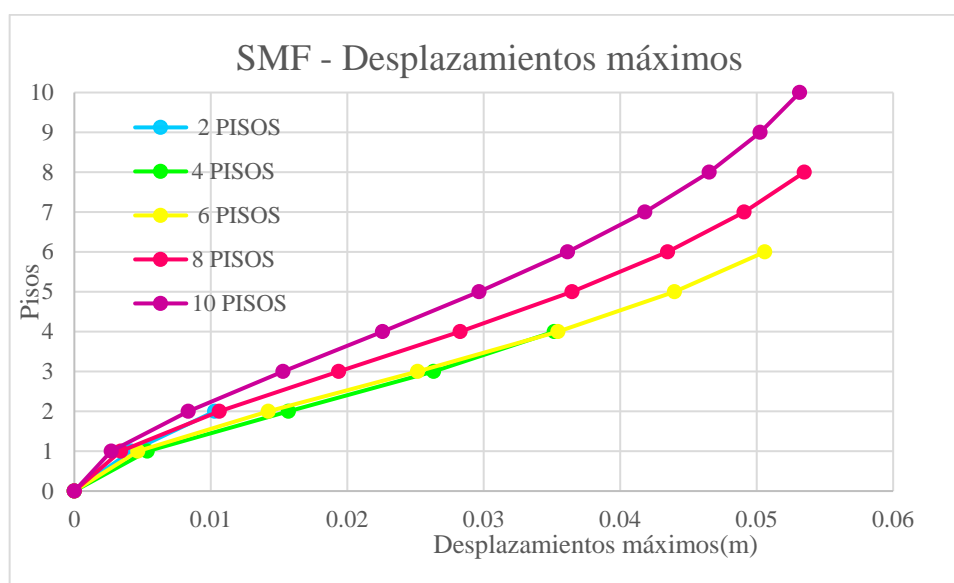
Tabla 61. Tabla de los desplazamientos máximos por pisos en el sistema SMF en barras.



Gráfica 97. Comparación de desplazamientos máximos por pisos en el sistema SMF en barras.

SMF									
DESPLAZAMIENTO MÁXIMO									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X
2	0.010291	4	0.035168	6	0.050595	8	0.053492	10	0.053158
1	0.004169	3	0.026335	5	0.043986	7	0.049084	9	0.050259
0	0	2	0.015694	4	0.035447	6	0.043473	8	0.046529
		1	0.00535	3	0.025163	5	0.036474	7	0.041817
		0	0	2	0.014218	4	0.028276	6	0.036149
				1	0.004653	3	0.019376	5	0.029661
				0	0	2	0.010624	4	0.022591
						1	0.003398	3	0.015298
						0	0	2	0.008355
								1	0.002704
								0	0

Tabla 62. Tabla de los desplazamientos máximos por pisos en el sistema SMF en dispersión.



Gráfica 98. Comparación de desplazamientos máximos por pisos en el sistema SMF en dispersión.

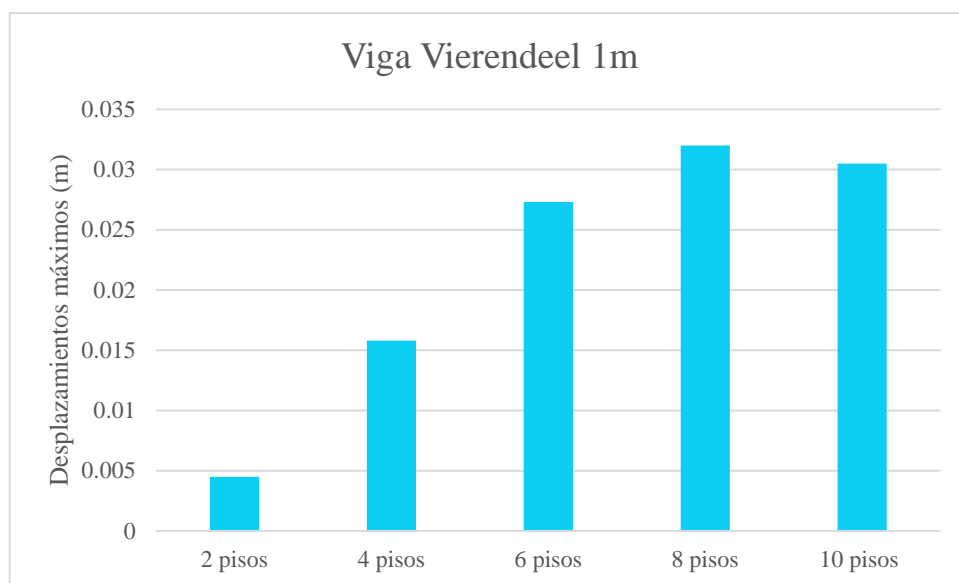
En la siguiente gráfica se muestra los desplazamientos máximos de los modelados SMF, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 8 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 80.76% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor desplazamiento. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia

imperceptible de 0.62%; siendo el mayor de ambos el modelado de 8 pisos; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 5.42%; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 30.49% y por último se observa una diferencia porcentual de 70.74% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.12 Gráfico comparativo de desplazamientos máximos con panel Vierendeel 1m

VIGA VIERENDEEL 1M	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Desplazamiento máximo (m)	0.0045	0.0158	0.0273	0.032	0.0305

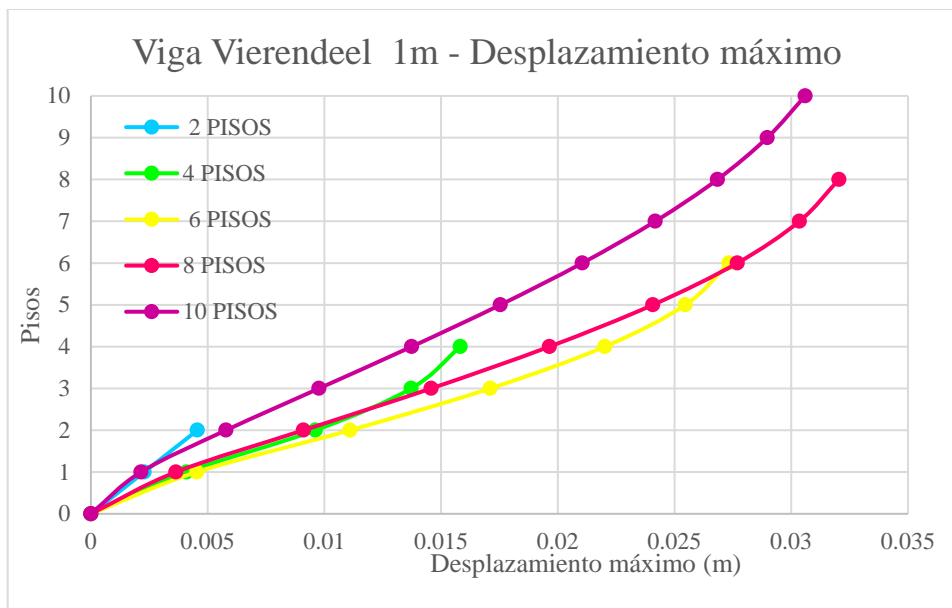
Tabla 63. Tabla de los desplazamientos máximos por pisos con panel Vierendeel 1m en barras.



Gráfica 99. Comparación de desplazamientos máximos por pisos con panel Vierendeel 1m en barras.

VIERENDEEL 1m									
DESPLAZAMIENTO MÁXIMO									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X
2	0.00456	4	0.015825	6	0.027333	8	0.032042	10	0.030599
1	0.002286	3	0.013723	5	0.025464	7	0.03035	9	0.028972
0	0	2	0.009622	4	0.022013	6	0.02769	8	0.026839
		1	0.004096	3	0.017107	5	0.024072	7	0.024178
		0	0	2	0.011101	4	0.019643	6	0.02105
				1	0.004538	3	0.014579	5	0.017539
				0	0	2	0.009108	4	0.013742
						1	0.003645	3	0.009771
						0	0	2	0.00579
								1	0.002144
								0	0

Tabla 64. Tabla de los desplazamientos máximos por pisos con panel Vierendeel 1m en dispersión.



Gráfica 100. Comparación de desplazamientos máximos por pisos con panel Vierendeel 1m en dispersión.

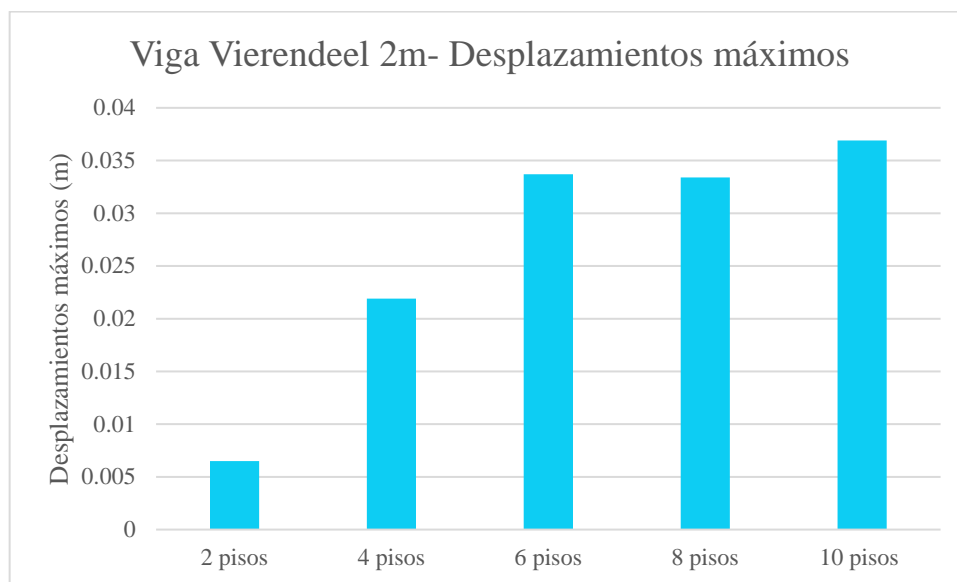
En la siguiente gráfica se muestra los desplazamientos máximos de los modelados con panel Vierendeel de 1 m, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 8 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 85.77% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el

de menor desplazamiento. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 4.5%; siendo el mayor de ambos el modelado de 8 pisos; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 14.69%; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 42.10% y por último se observa una diferencia porcentual de 71.185% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.13 Gráfico comparativo de desplazamientos máximos con panel Vierendeel 2m

VIGA VIERENDEEL 2M	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Desplazamiento máximo (m)	0.0065	0.0219	0.0337	0.0334	0.0369

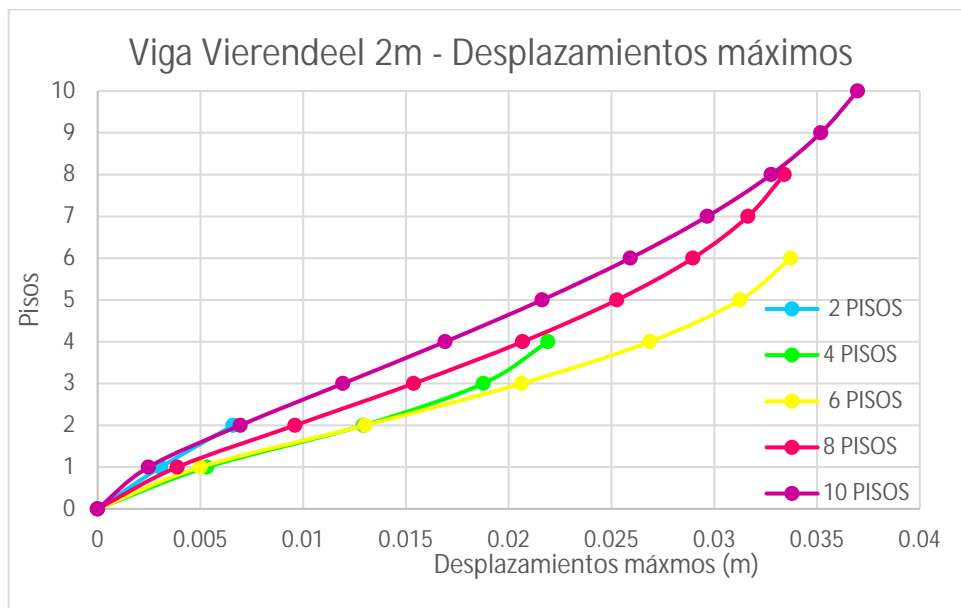
Tabla 65. Tabla de los desplazamientos máximos por pisos con panel Vierendeel 2m en barras.



Gráfica 101. Comparación de desplazamientos máximos por pisos con panel Vierendeel 2m en barras.

VIERENDEEL 2m									
DESPLAZAMIENTO MÁXIMO									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X	PISO	X
2	0.006596	4	0.021909	6	0.03372	8	0.033408	10	0.036979
1	0.003075	3	0.018762	5	0.031247	7	0.03164	9	0.035185
0	0	2	0.012936	4	0.026866	6	0.028965	8	0.032769
		1	0.005313	3	0.020629	5	0.025269	7	0.029662
		0	0	2	0.013015	4	0.020679	6	0.025917
				1	0.004995	3	0.015375	5	0.021627
				0	0	2	0.009605	4	0.016914
						1	0.003878	3	0.011934
						0	0	2	0.006941
								1	0.002474
								0	0

Tabla 66. Tabla de los desplazamientos máximos por pisos con panel Vierendeel 2m en dispersión.



Gráfica 102. Comparación de desplazamientos máximos por pisos con panel Vierendeel 2m en dispersión.

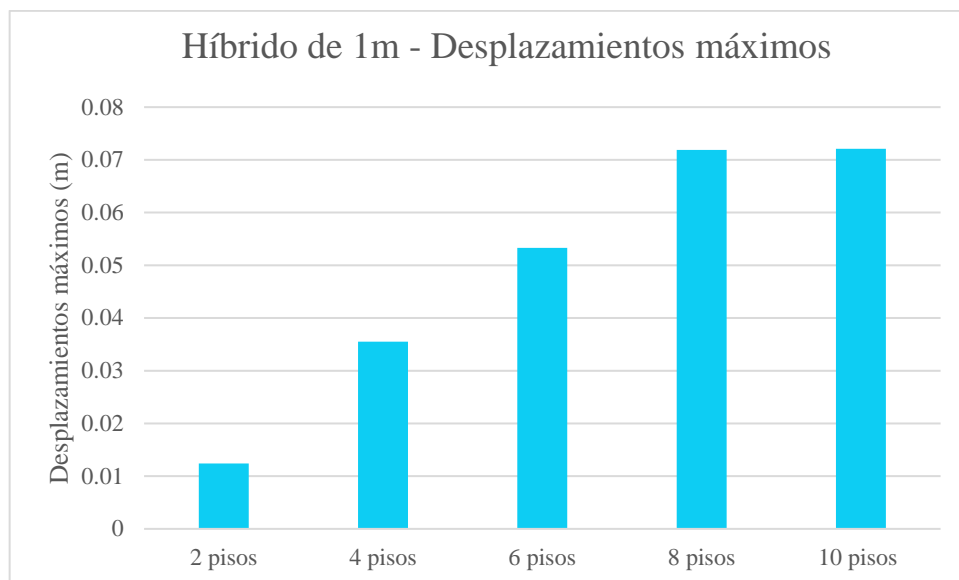
En la siguiente gráfica se muestra los desplazamientos máximos de los modelados con panel Vierendeel de 2 m, comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 10 pisos, arrojando una

diferencia porcentual de 82.16% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor desplazamiento. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 9.66%; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia imperceptible de 0.925%; siendo el desplazamiento de la estructura de 6 pisos el de mayor desplazamiento de los dos; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 35.026% y por último se observa una diferencia porcentual de 69.89% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.14 Gráfico comparativo de derivas inelásticas en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m

HÍBRIDO 1M	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Desplazamiento máximo (m)	0,0124	0.0355	0.0533	0.0719	0.0721

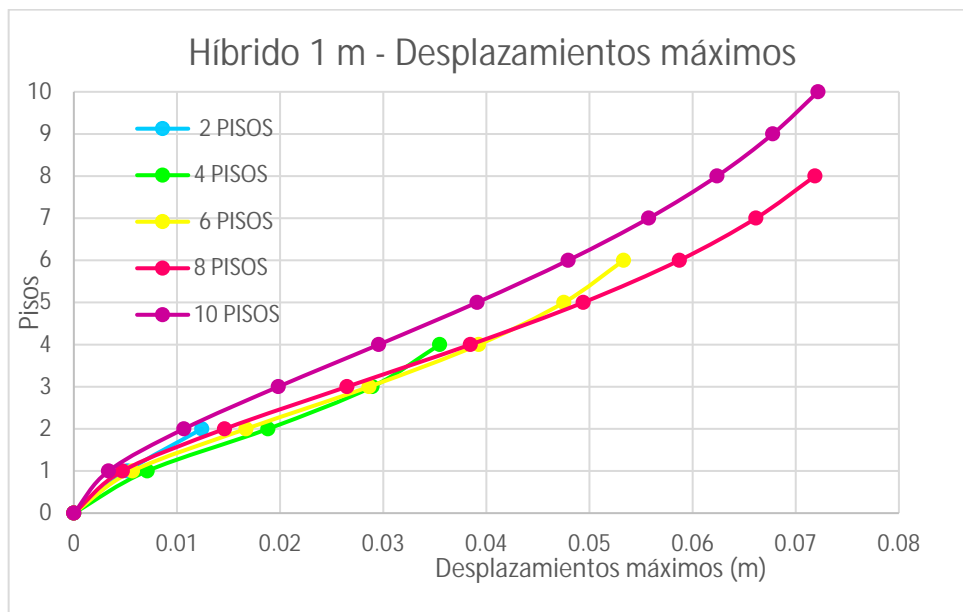
Tabla 67. Tabla de los desplazamientos máximos por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m en barras.



Gráfica 103. Comparación de desplazamientos máximos por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m en barras.

HÍBRIDO 1m									
DESPLAZAMIENTO MÁXIMO									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
2	0.012411	4	0.035476	6	0.053311	8	0.07187	10	0.072162
1	0.005194	3	0.028934	5	0.047519	7	0.066136	9	0.067774
0	0	2	0.01883	4	0.039261	6	0.058716	8	0.062371
		1	0.00712	3	0.028627	5	0.049399	7	0.055747
		0	0	2	0.016701	4	0.038449	6	0.047932
				1	0.005694	3	0.026492	5	0.0391
				0	0	2	0.014626	4	0.029565
						1	0.004711	3	0.019825
						0	0	2	0.010669
								1	0.003366
								0	0

Tabla 68. Tabla de los desplazamientos máximos por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m en dispersión.



Gráfica 104. Comparación de desplazamientos máximos por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 1m en dispersión.

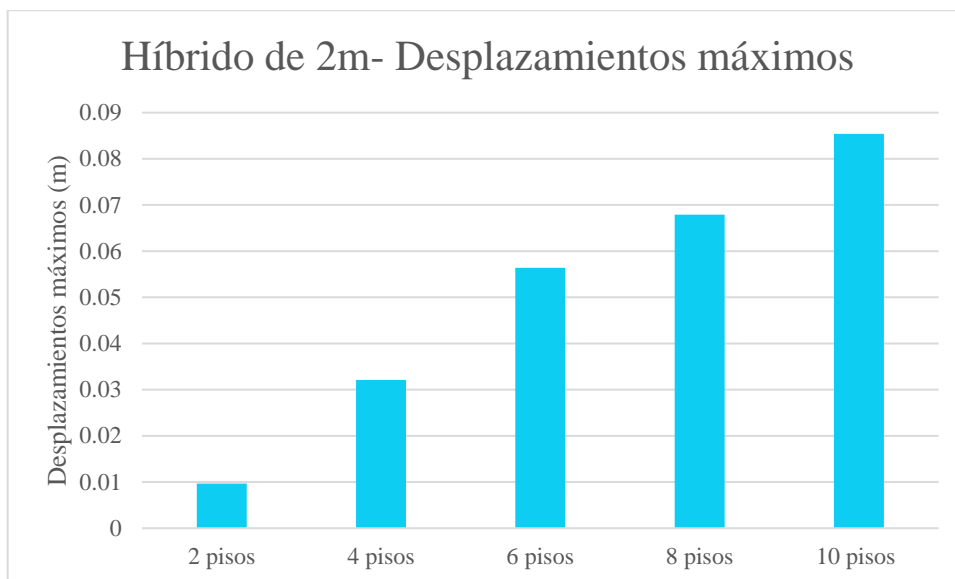
En la siguiente gráfica se muestra los desplazamientos máximos de los modelados híbridos con panel Vierendeel de 1m, comparándose entre sí se puede

observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 10 pisos, arrojando una diferencia porcentual de 82.8% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor desplazamiento. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia imperceptible de 0.41%; entre el modelado 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 25.82%; entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 33.45% y por último se observa una diferencia porcentual de 65.02% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.1.15 Gráfico comparativo de derivas inelásticas en sistema híbrido con panel Vierendeel 2m

HÍBRIDO 2M	2 PISOS	4 PISOS	6 PISOS	8 PISOS	10 PISOS
Desplazamiento máximo (m)	0.00968	0.0321	0.0564	0.0679	0.0854

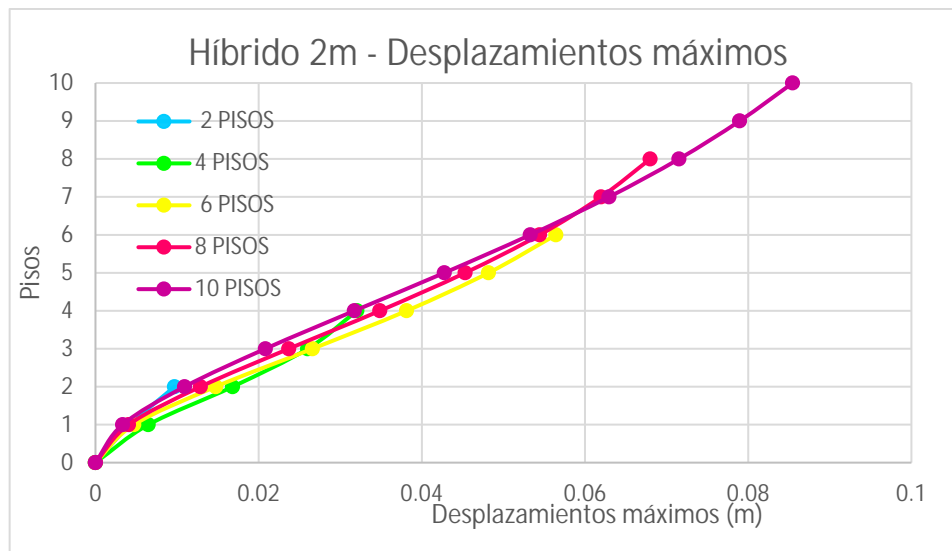
Tabla 69. Tabla de los desplazamientos máximos por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 2m en barras.



Gráfica 105. Comparación de desplazamientos máximos por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 2m en barras.

HÍBRIDO 2m									
DESPLAZAMIENTO MÁXIMO									
2 PISOS		4 PISOS		6 PISOS		8 PISOS		10 PISOS	
2	0.009687	4	0.032063	6	0.05644	8	0.067997	10	0.085448
1	0.00423	3	0.026008	5	0.048174	7	0.061965	9	0.078954
0	0	2	0.016816	4	0.038143	6	0.054438	8	0.071521
		1	0.006485	3	0.026603	5	0.045313	7	0.062952
		0	0	2	0.014745	4	0.034858	6	0.053291
				1	0.004715	3	0.023696	5	0.042756
				0	0	2	0.012875	4	0.031735
						1	0.00407	3	0.020826
						0	0	2	0.01092
								1	0.003332
								0	0

Tabla 70. Tabla de los desplazamientos máximos por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 2m en dispersión.



Gráfica 106. Comparación de desplazamientos máximos por pisos en sistema híbrido con panel Vierendeel 2m en dispersión.

En la siguiente gráfica se muestran los desplazamientos máximos de los modelados con panel Vierendeel de 2m comparándose entre sí se puede observar que el valor máximo entre ellos lo obtiene el modelado de 10 pisos, arrojando una

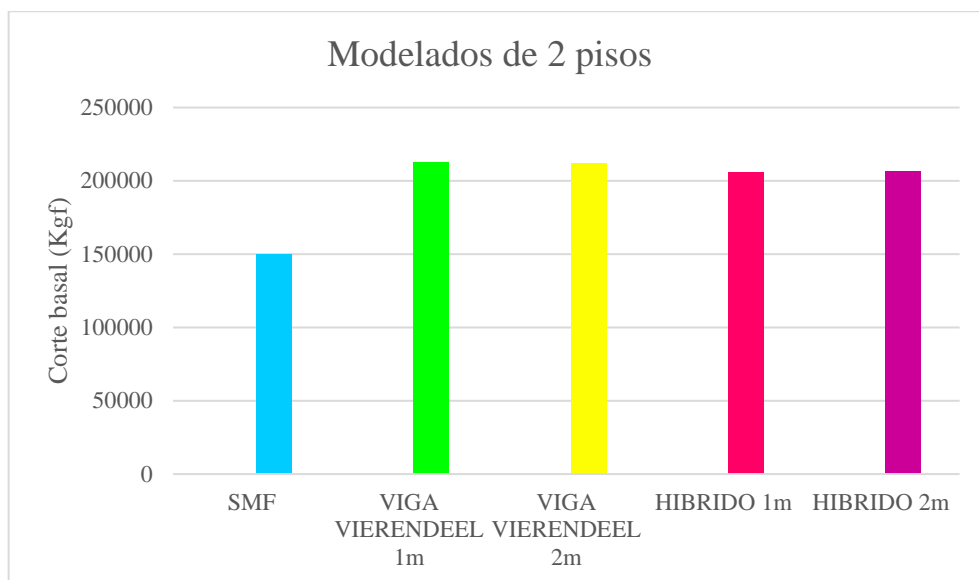
diferencia porcentual de 88.67% con el modelado de 2 pisos; siendo este último el de menor desplazamiento. Entre el modelado de 10 pisos y el de 8 pisos hay una diferencia de 20.42%; entre el modelado de 8 pisos y el de 6 pisos hay una diferencia de 13.466%, entre la estructura de 6 pisos con la de 4 pisos hay una diferencia de 28.45% y por último se observa una diferencia porcentual de 69.84% entre el modelado de 4 pisos y el modelado de 2 pisos.

5.4.2 Gráficos comparativos entre los modelados

5.4.2.1 Gráficos comparativos de corte basal entre los sistemas de 2 pisos

2 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Vo (Kg)	149575.15	212566.062	211595.219	205786.033	206331.205
W(Kg)	866236.09	1231035.99	1225413.54	1191770.74	1194928

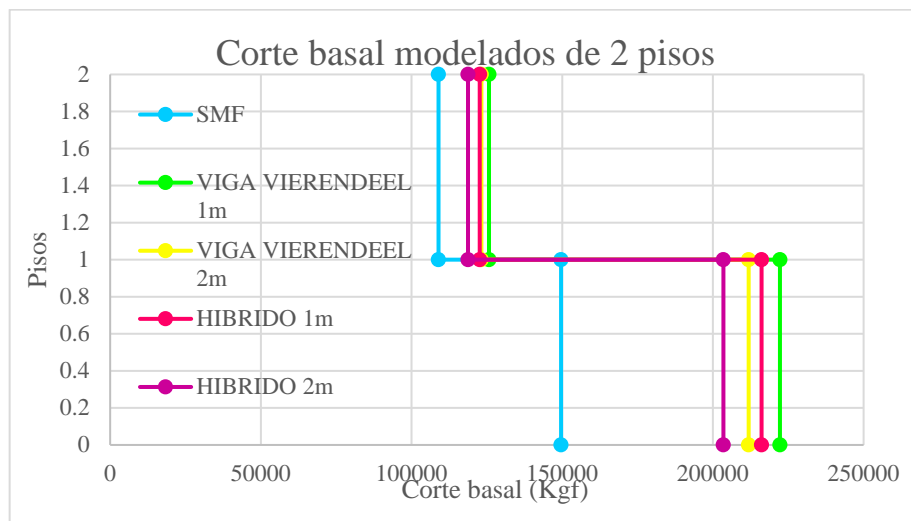
Tabla 71. Tabla de cortes basales y peso de cada modelado de 2 pisos.



Gráfica 107. Comparación de corte basal en modelados de 2 pisos en barras.

2 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
2	108951.08	125698.12	123178.38	122621.67	118736.4401
1	108951.08	125698.12	123178.38	122621.67	118736.4401
1	149616.5	222238.39	211857.36	216141.27	203483.0533
0	149616.5	222238.39	211857.36	216141.27	203483.0533

Tabla 72. Tabla de cortes basales de cada modelado de 2 pisos en dispersión.



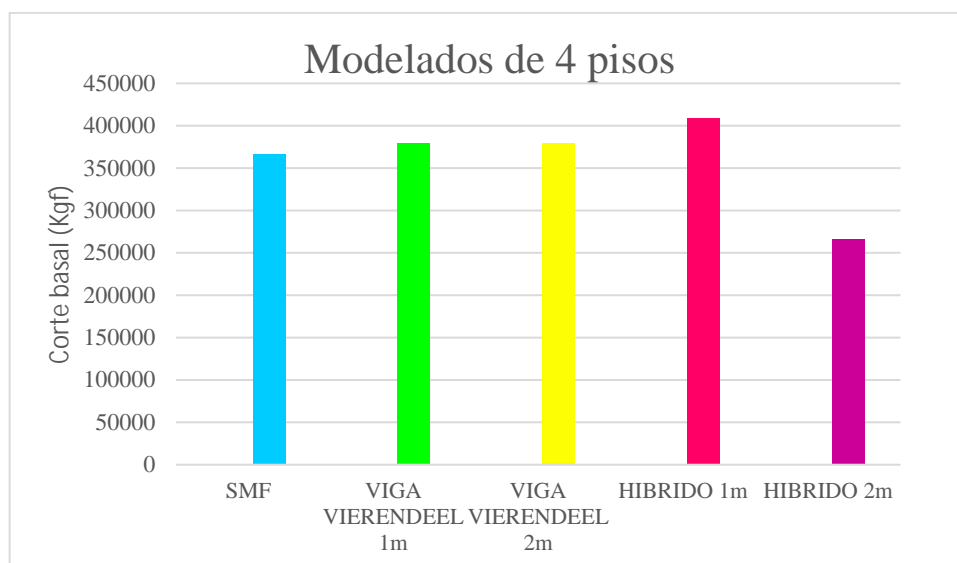
Gráfica 108. Comparación de corte basal en modelados de 2 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el modelo estructural que representa mayor cortante basal en un nivel de 2 pisos siendo este el de la Viga Vierendeel 1m con un porcentaje de 32,67% que cuenta con un peso de 1231035.99 Kg; el modelo que le sigue es la estructura híbrida de 1 m teniendo una variación de 2.74% y un peso de 1191770.74 Kgf donde, el modelo con menor corte basal es el SMF pesando la estructura 866236.09 Kg.

5.4.2.2 Gráficos comparativos de corte basal entre los sistemas de 4 pisos

4 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Vo (Kg)	365859.891	379645.079	379586.189	409230	265808.39
W (Kg)	2642097.46	2741648.71	2750694	265203682	1919564.54

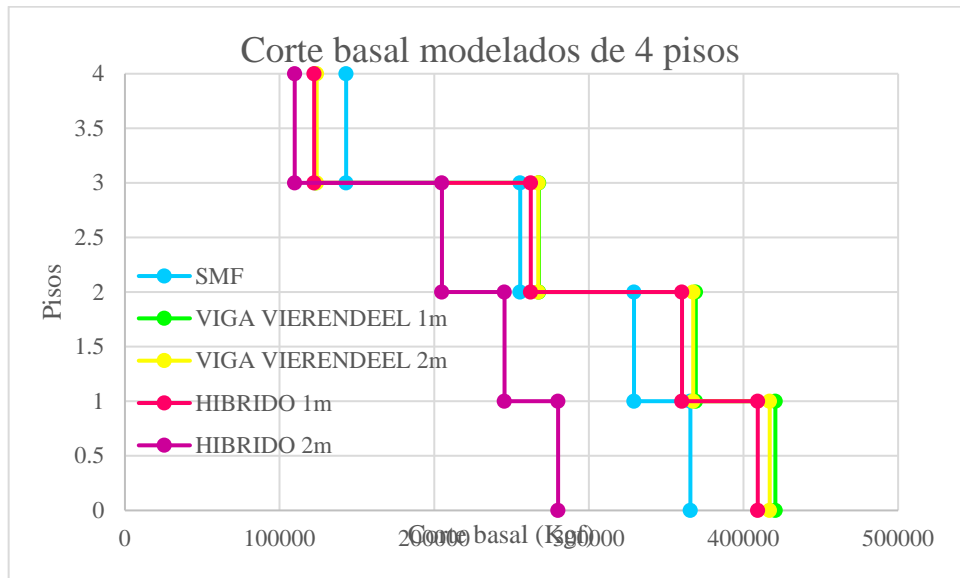
Tabla 73. Tabla de cortes basales de cada modelado de 4 pisos en barras.



Gráfica 109. Comparación de corte basal en modelados de 4 pisos en barras.

4 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
4	143049.7	123321.88	123997.42	122379.94	109783.18
3	143049.7	123321.88	123997.42	122379.94	109783.18
3	255594.12	267701.35	267315.67	262413.49	204985.52
2	255594.12	267701.35	267315.67	262413.49	204985.52
2	329229.12	369109.79	367482.3	360223.55	245447.18
1	329229.12	369109.79	367482.3	360223.55	245447.18
1	365663.47	420620.58	416957.77	409229.81	280117.87
0	365663.47	420620.58	416957.77	409229.81	280117.87

Tabla 74. Tabla de cortes basales de cada modelado de 4 pisos en dispersión.



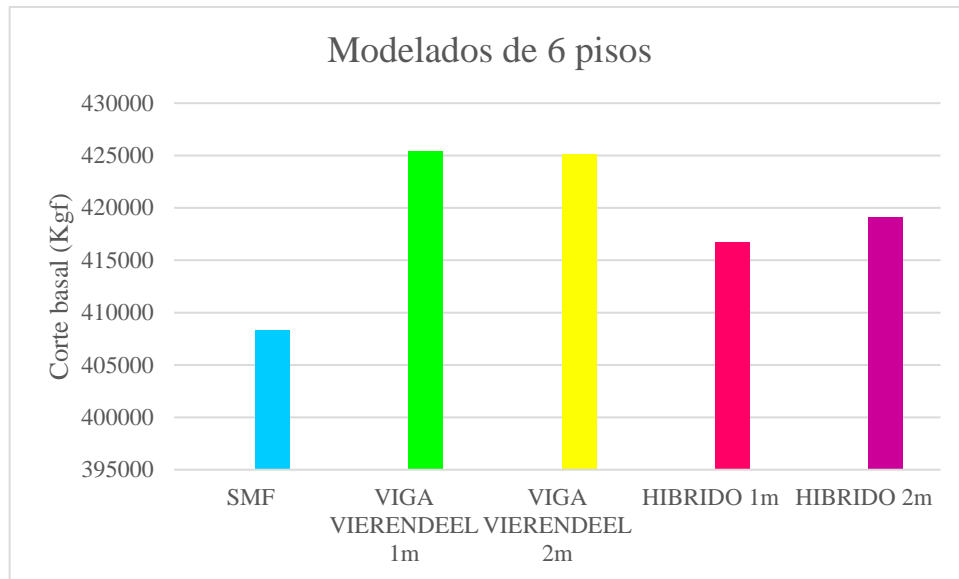
Gráfica 110. Comparación de corte basal en modelados de 4 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el modelo estructural que representa mayor cortante basal en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo el modelado que representa mayor cortante basal en las estructuras de 4 pisos el de Viga Vierendeel 1m con un porcentaje de 15% pesando 2741648.71 Kg; el modelo que le sigue es la estructura con Viga Vierendeel de 2 m teniendo una variación imperceptible de 0.87% donde la estructura pesa 2750694 Kg, el modelo con menor corte basal es el híbrido de 2m que cuenta con un peso de 109783.18 Kg.

5.4.2.3 Gráficos comparativos de corte basal entre los sistemas de 6 pisos

6 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Vo (Kg)	408358.45	425399.172	425152.765	416746.625	419145.357
W (Kg)	4156974.53	4330444.3	4327935.95	4242363.8	4236231.59

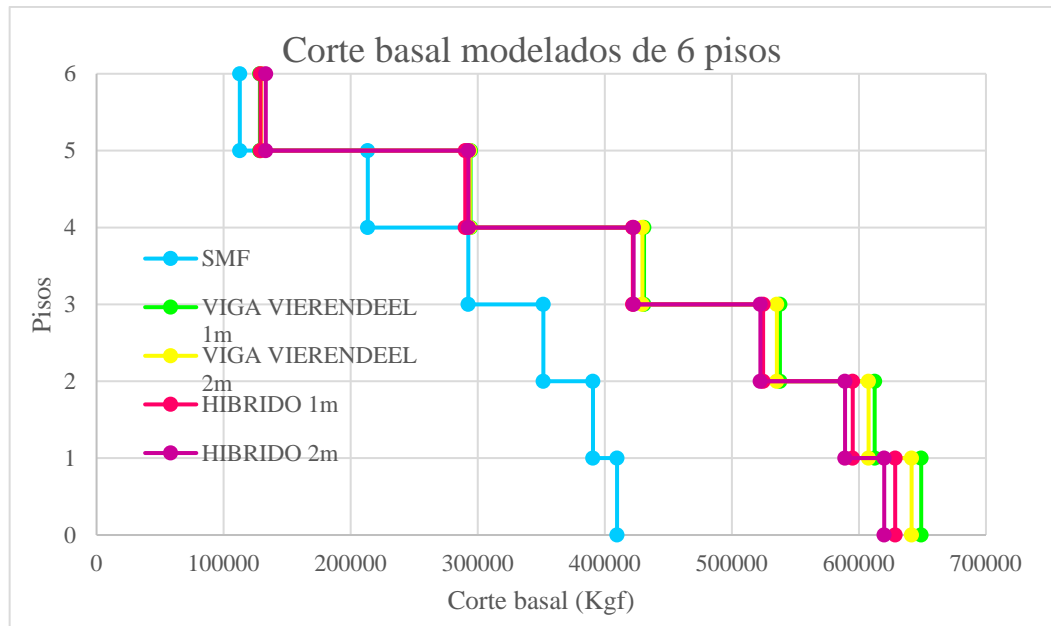
Tabla 75. Tabla de cortes basales de cada modelado de 6 pisos en barras.



Gráfica 111. Comparación de corte basal en modelados de 6 pisos en barras.

6 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
6	112745.45	128567.84	129583.99	129063.26	133189.37
5	112745.45	128567.84	129583.99	129063.26	133189.37
5	213425.18	294382.25	293764.57	290192.23	292764.03
4	213425.18	294382.25	293764.57	290192.23	292764.03
4	292532.48	430868.78	429569.76	422047.34	422684.63
3	292532.48	430868.78	429569.76	422047.34	422684.63
3	351600.15	537886.5	535421.01	524629.16	522410.93
2	351600.15	537886.5	535421.01	524629.16	522410.93
2	390647.95	612467.62	607571.95	595121.78	589091.25
1	390647.95	612467.62	607571.95	595121.78	589091.25
1	409662.28	649035.98	641464.67	628557.3	619927.02
0	409662.28	649035.98	641464.67	628557.3	619927.02

Tabla 76. Tabla de cortes basales de cada modelado de 6 pisos en dispersión.



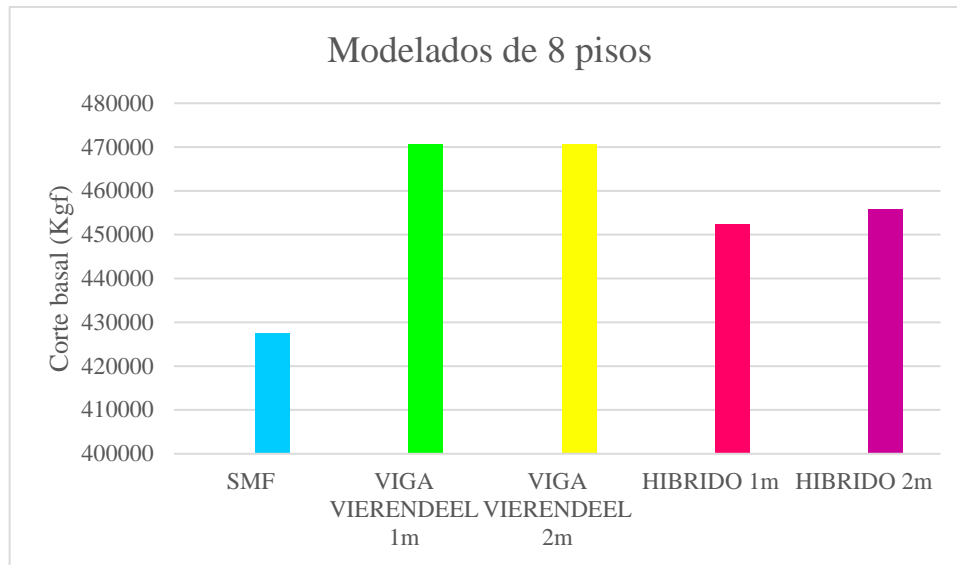
Gráfica 112. Comparación de corte basal en modelados de 6 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el modelo estructural que representa mayor cortante basal en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo el modelado que representa mayor cortante basal en las estructuras de 6 pisos el de Viga Vierendeel 1m con un porcentaje de 36.88% pesando 4330444.3 Kg; el modelo que le sigue es la estructura con Viga Vierendeel de 2 m teniendo una variación mínima de 1.16% donde cuenta con un peso de 4327935.95 Kg, el modelo con menor corte basal es el híbrido de 2m pesando 4156974.53 Kg.

5.4.2.4 Gráficos comparativos de corte basal entre los sistemas de 8 pisos

8 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Vo (Kg)	427543.398	470537.67	470537.67	452299.425	455842.175
W (Kg)	5559166.85	6118196.12	6118196.12	5881052.17	5927117.01

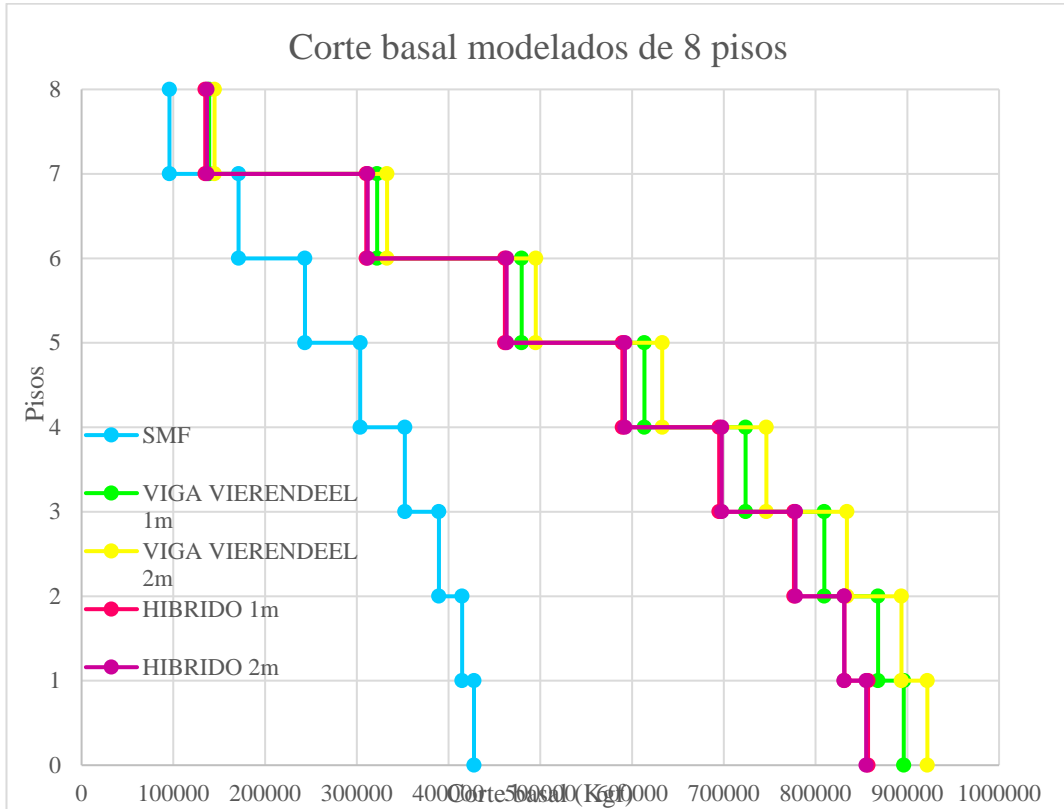
Tabla 77. Tabla de cortes basales de cada modelado de 8 pisos en barras.



Gráfica 113. Comparación de corte basal en modelados de 8 pisos en barras.

8 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
8	95790.16	139089.69	144896.58	134778.6	136786.23
7	95790.16	139089.69	144887.12	134778.6	136786.23
7	171124.69	322134.64	332961.39	310331.35	311863.92
6	171124.69	322134.64	332951.94	310331.35	311863.92
6	243445.35	479591.26	495030.77	461297.92	463343.69
5	243445.35	479591.26	495022.1	461297.92	463343.69
5	303667.25	613403.63	632874.28	589433.05	592231.62
4	303667.25	613403.63	632866.87	589433.05	592231.62
4	352358.45	723755.93	746393.2	694865.09	697764.82
3	352358.45	723755.93	746387.43	694865.09	697764.82
3	389446.11	809516.39	834167.31	776421.02	778189.29
2	389446.11	809516.39	834163.43	776421.02	778189.29
2	414716.25	868082.25	893553.33	831520.13	831136.95
1	414716.25	868082.25	893551.45	831520.13	831136.95
1	427701.06	896113.26	921837.46	857203.43	855135.03
0	427701.06	896113.26	921837.44	857203.43	855135.03

Tabla 78. Tabla de cortes basales de cada modelado de 8 pisos en dispersión.



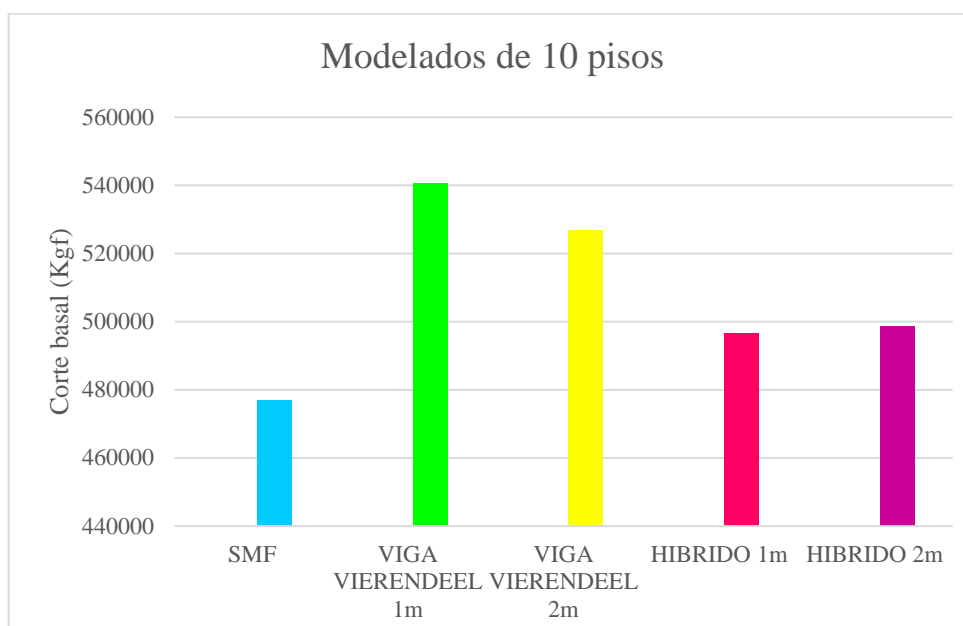
Gráfica 114. Comparación de corte basal en modelados de 8 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el modelo estructural que representa mayor cortante basal en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo el sistema que representa mayor cortante basal en las estructuras de 8 pisos el de Viga Vierendeel 2m con un porcentaje de 53.6% contando con un peso de 6118196.12 Kgf; el modelo que le sigue es la estructura con Viga Vierendeel de 1 m teniendo una leve variación de 2.79% donde presenta un peso de 6118196.12 Kg, el modelo con menor corte basal es el SMF tiene un peso de 5559166.85 Kg.

5.4.2.5 Gráficos comparativos de corte basal entre los sistemas de 5 pisos

10 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Vo (Kg)	476831.288	540479.742	526762.674	496436.568	498635.593
W (Kg)	7494859.89	8495289.72	8279684.1	7803016.74	7837581.13

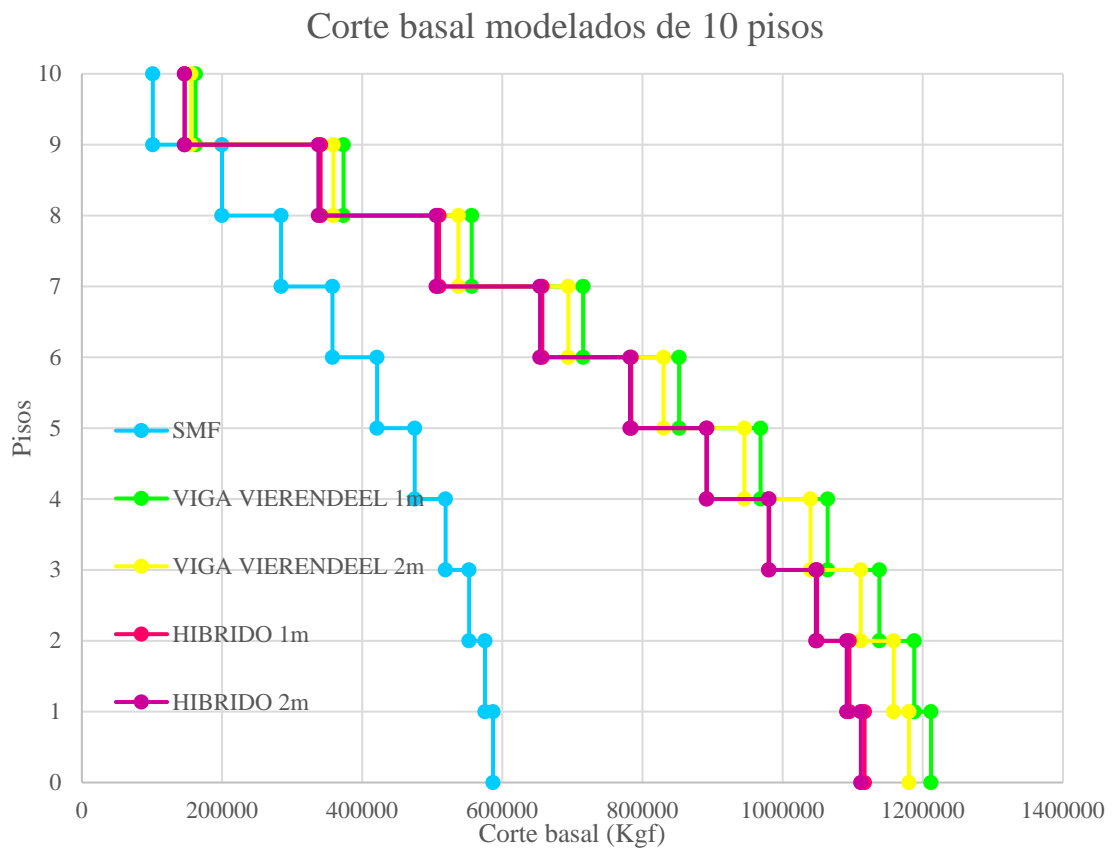
Tabla 79. Tabla de cortes basales de cada modelado de 10 pisos en barras.



Gráfica 115. Comparación de corte basal en modelados de 10 pisos en barras.

10 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
10	101298.8	162239.1	155959.99	146803.17	146571.19
9	101298.8	162239.1	155959.99	146803.17	146571.19
9	200000.85	373281.73	358897.86	340806.52	337598.45
8	200000.85	373281.73	358897.86	340806.52	337598.45
8	284326.73	556344.66	537367.89	509774.56	505818.29
7	284326.73	556344.66	537367.89	509774.56	505818.29
7	357733.65	715361.75	694151.45	656986.77	653768.96
6	357733.65	715361.75	694151.45	656986.77	653768.96
6	421262.56	852386.36	830171.02	784108.89	782213.27
5	421262.56	852386.36	830171.02	784108.89	782213.27
5	475091.18	968645.03	945586.86	892048.17	891183.32
4	475091.18	968645.03	945586.86	892048.17	891183.32
4	518996.29	1064278.79	1039802.21	980793.18	980021.55
3	518996.29	1064278.79	1039802.21	980793.18	980021.55
3	552556.26	1138093.81	1111413.97	1049217.48	1047364.16
2	552556.26	1138093.81	1111413.97	1049217.48	1047364.16
2	575312.69	1187821.47	1158517.62	1095241.34	1091465.42
1	575312.69	1187821.47	1158517.62	1095241.34	1091465.42
1	586766.29	1211752.91	1180370.98	1116920.72	1111606.51
0	586766.29	1211752.91	1180370.98	1116920.72	1111606.51

Tabla 80. Tabla de cortes basales de cada modelado de 10 pisos en dispersión.



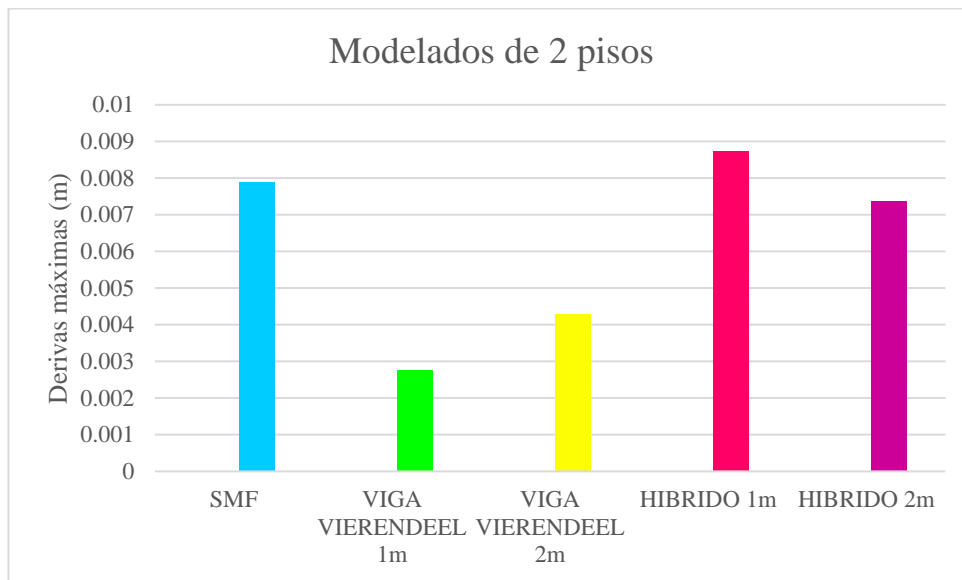
Gráfica 116. Comparación de corte basal en modelados de 10 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el modelo estructural que representa mayor cortante basal en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo el modelo que representa mayor cortante basal en las estructuras de 10 pisos el de Viga Vierendeel 1m con un porcentaje de 51,57% contando con un peso de 8495289.72 Kgf; el modelo que le sigue es la estructura con Viga Vierendeel de 2 m teniendo una leve variación de 2.58% donde presenta un peso de 8279684.1Kg, el modelo con menor corte basal es el SMF tiene un peso de 7494859.89 Kg.

5.4.2.6 Gráficos comparativos de derivas inelásticas entre los sistemas de 2 pisos

2 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Derivas máximas (m)	0.007884	0.0027756	0.004284	0.0087336	0.0073656

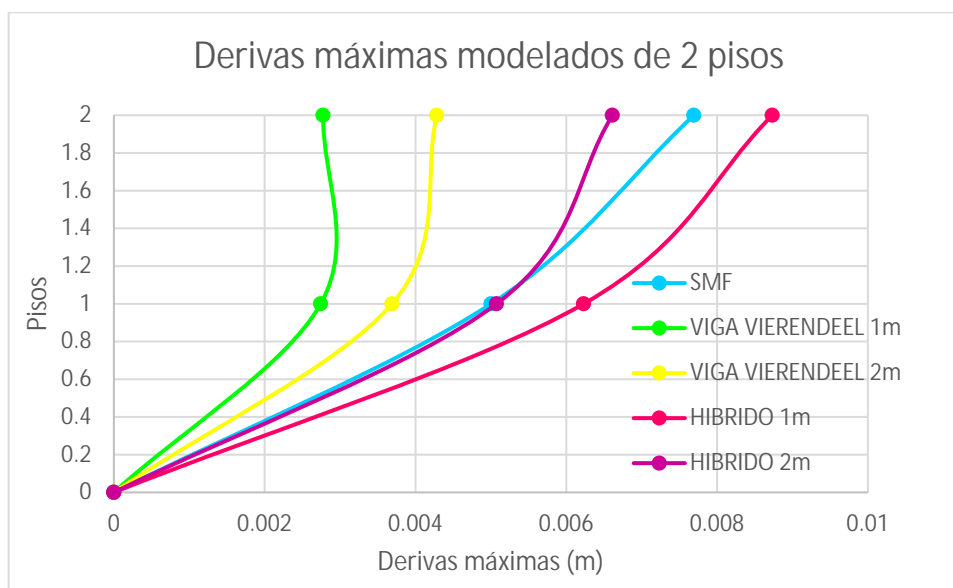
Tabla 81. Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 2 pisos en barras.



Gráfica 117. Comparación de derivas en modelados de 2 pisos en barras.

2 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
2	0.0076932	0.0027756	0.004284	0.0087336	0.0066132
1	0.005004	0.0027432	0.00369	0.0062316	0.005076
0	0	0	0	0	0

Tabla 82. Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 2 pisos en dispersión.



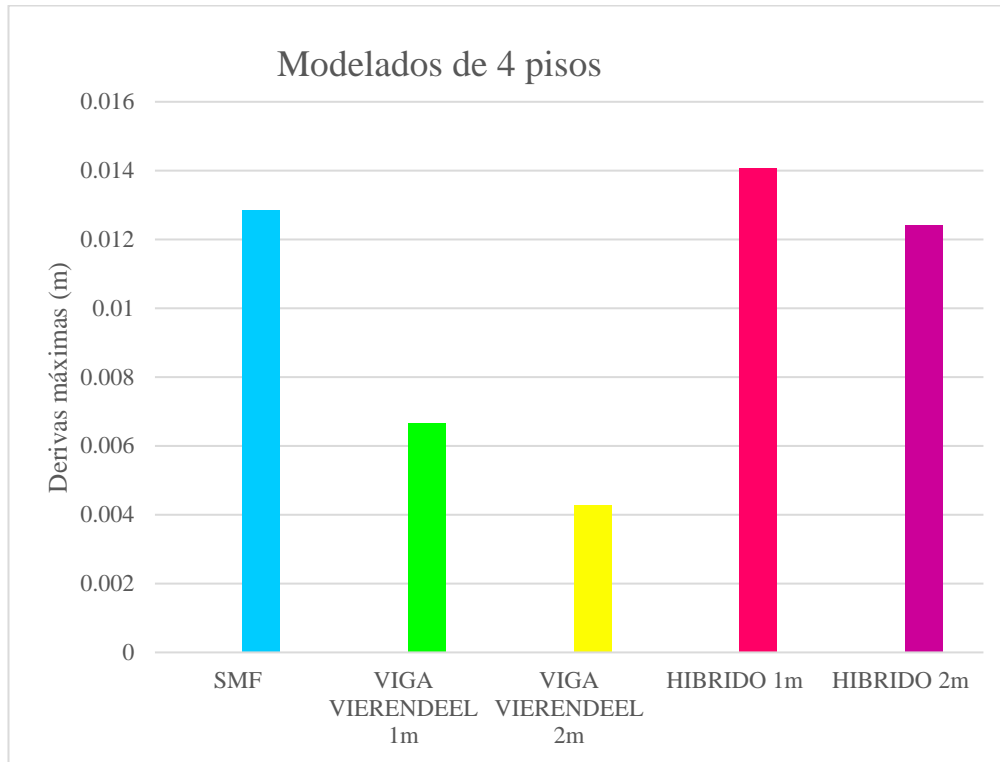
Gráfica 97. Comparación de derivas en modelados de 2 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el sistema estructural que representa mayor deriva inelástica en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo los sistemas estructurales de 2 niveles, presentando el desplazamiento lateral que tiene mayor presencia el modelado híbrido 1m con un porcentaje de desplazamiento lateral de 68.22%; siguiendo con la estructura SMF con 9.73% de diferencia porcentual y la que menor presencia de deriva inelástica es el modelo estructural con Viga Vierendeel 1m.

5.4.2.7 Gráficos comparativos de derivas inelásticas entre los sistemas de 4 pisos

4 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Derivas máximas (m)	0.0128484	0.0066564	0.004284	0.0140832	0.0124308

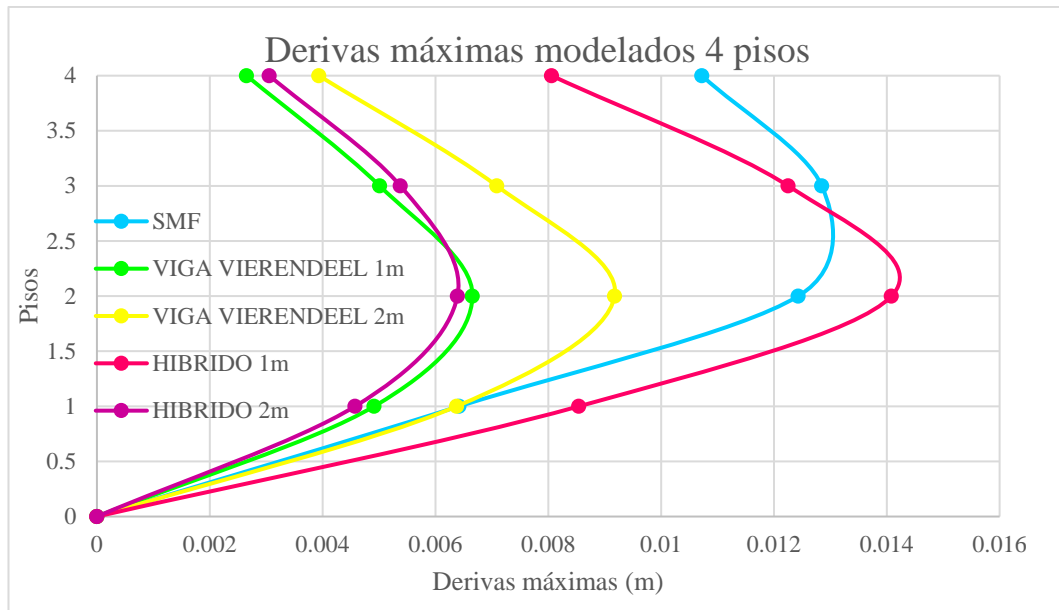
Tabla 83. Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 4 pisos en barras.



Gráfica 118. Comparación de derivas en modelados de 4 pisos en barras.

4 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
4	0.0107244	0.0026532	0.0039348	0.0080604	0.0030564
3	0.0128484	0.0050112	0.0070884	0.0122508	0.0053784
2	0.0124308	0.0066564	0.0091764	0.0140832	0.00639
1	0.0064188	0.004914	0.0063756	0.0085428	0.0045756
0	0	0	0	0	0

Tabla 84. Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 4 pisos en dispersión.



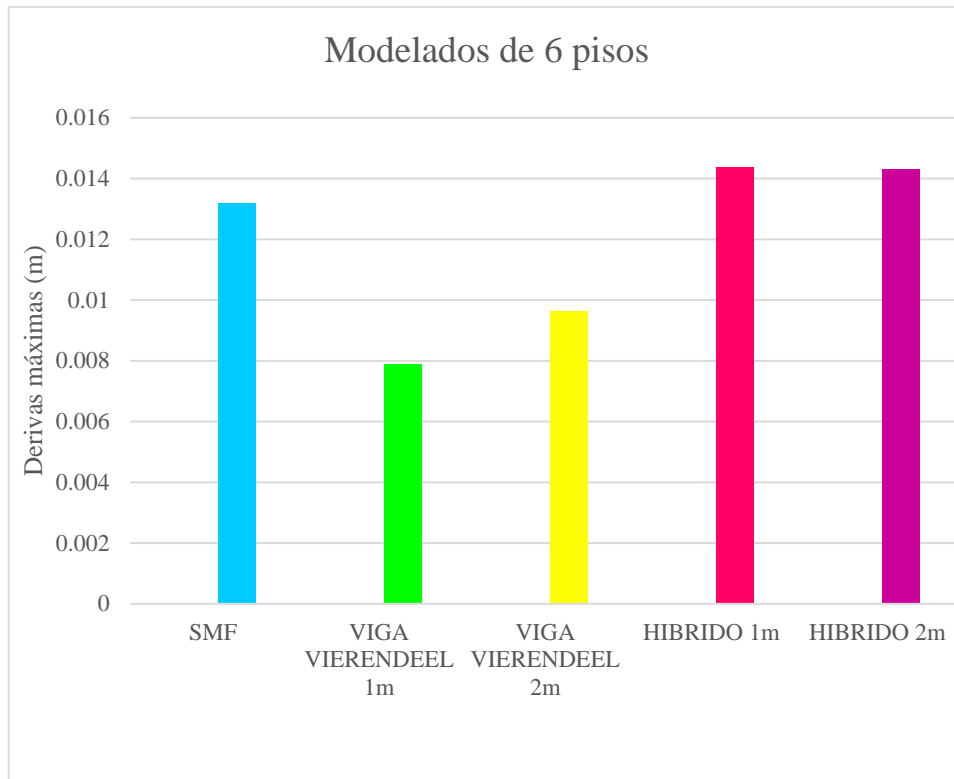
Gráfica 119. Comparación de derivas en modelados de 4 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el sistema estructural que representa mayor deriva inelástica en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo los sistemas estructurales de 4 niveles, presentando el desplazamiento lateral que mayor presencia en el modelado híbrido 1m con un porcentaje de desplazamiento lateral de 52.74%; siguiendo con la estructura SMF con 8.77% de diferencia porcentual y la que menor presencia de deriva inelástica es el modelo estructural con Viga Vierendeel 1m.

5.4.2.8 Gráficos comparativos de derivas inelásticas entre los sistemas de 2 pisos

6 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Derivas máximas (m)	0.013176	0.0078876	0.0096372	0.014364	0.0142956

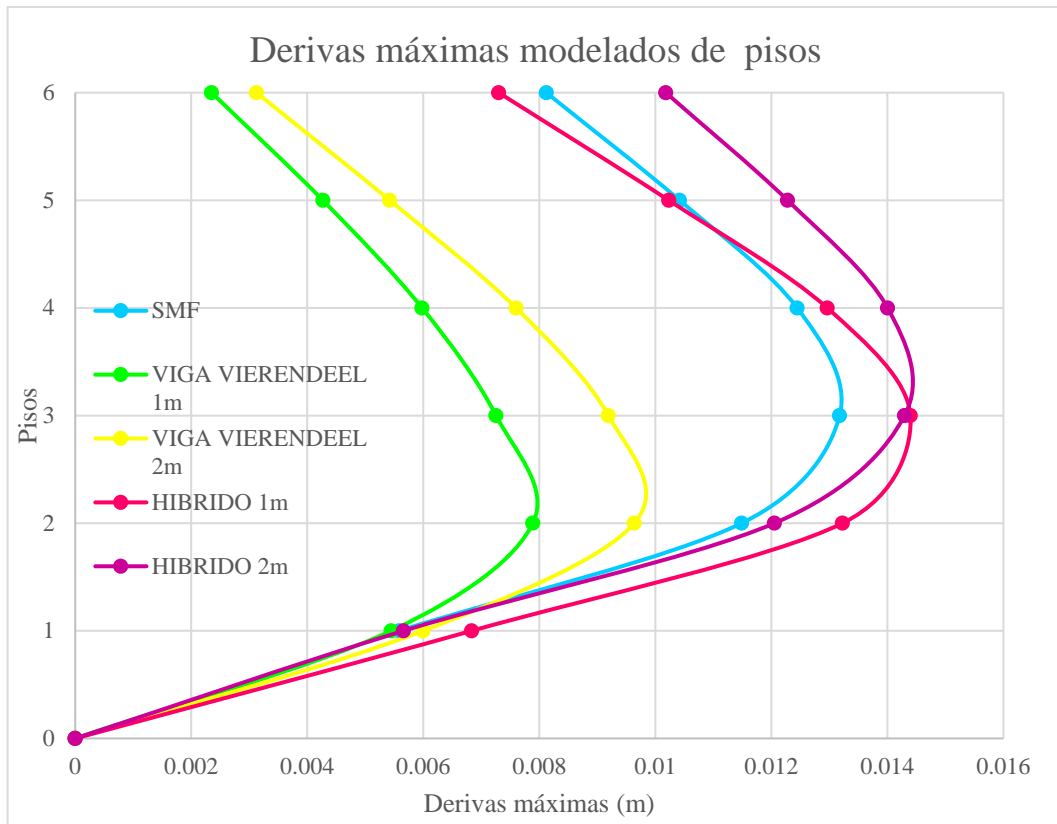
Tabla 85. Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 6 pisos en barras.



Gráfica 120. Comparación de derivas en modelados de 6 pisos.

6 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
6	0.0081216	0.0023508	0.0031248	0.0073008	0.0101808
5	0.0104184	0.0042696	0.0054216	0.0102312	0.0122796
4	0.0124452	0.0059796	0.0075996	0.0129636	0.014004
3	0.013176	0.007254	0.0091908	0.0143964	0.0142956
2	0.0114876	0.0078876	0.0096372	0.0132264	0.0120528
1	0.0055836	0.0054468	0.005994	0.0068328	0.0056592
0	0	0	0	0	0

Tabla 86. Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 6 pisos en dispersión.



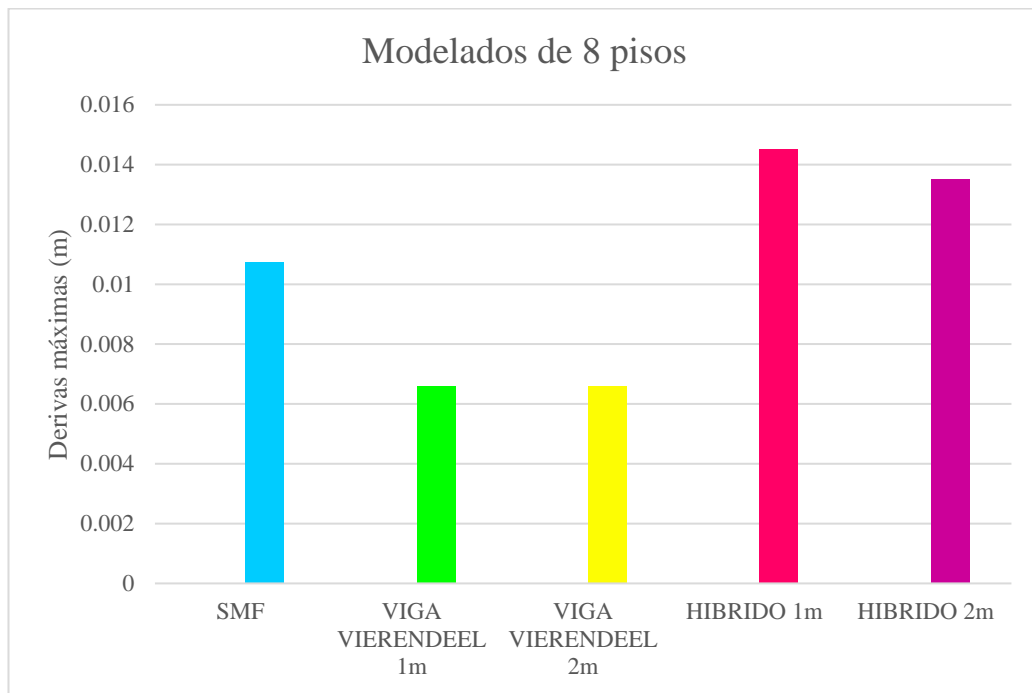
Gráfica 121. Comparación de derivas en modelados de 6 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el sistema estructural que representa mayor deriva inelástica en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo los sistemas estructurales de 6 niveles, presentando el desplazamiento lateral que tiene mayor presencia en el modelado híbrido 1m con un porcentaje de desplazamiento lateral de 45.09%; siguiendo con la estructura híbrido 2 m con una diferencia insignificante de 0.47% y la que menor presencia de deriva inelástica es el modelo estructural con Viga Vierendeel 1m.

5.4.2.9 Gráficos comparativos de derivas inelásticas entre los sistemas de 8 pisos

8 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Derivas máximas (m)	0.011	0.006588	0.006588	0.014508	0.013518

Tabla 87. Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 8 pisos en barras.

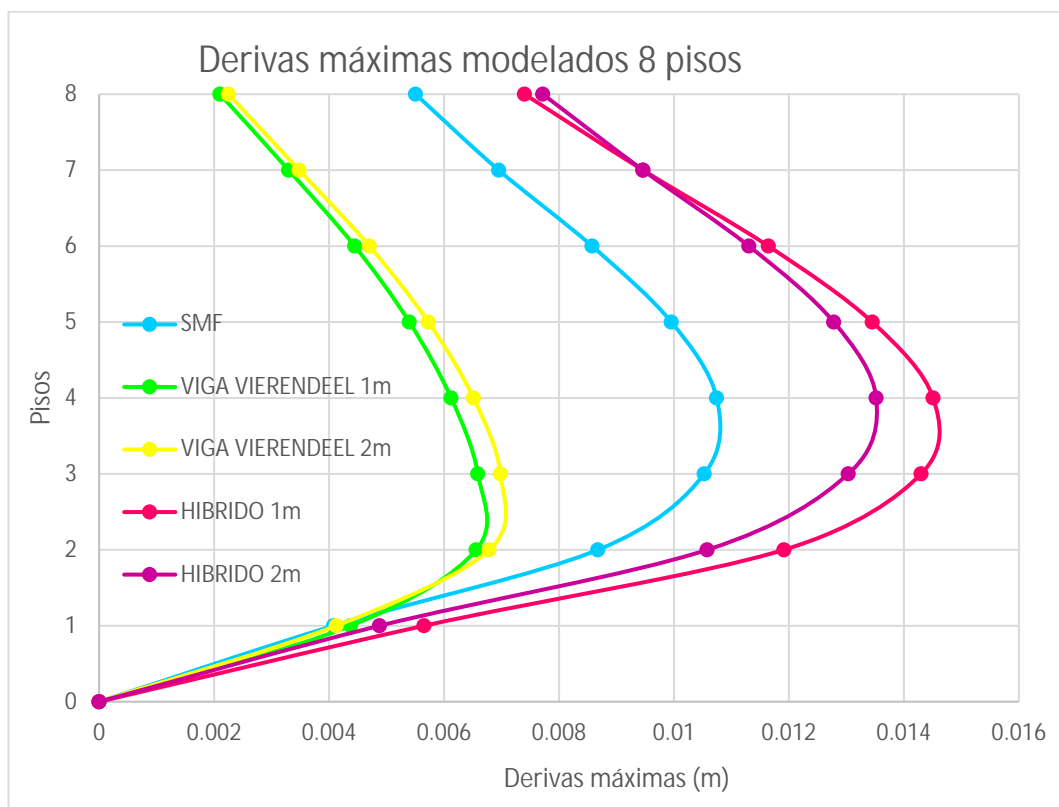


Gráfica 122. Comparación de derivas en modelados de 8 pisos

8 PISOS	SMF				
----------------	------------	--	--	--	--

		VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
8	0.0055044	0.0021024	0.00225	0.0074016	0.0077184
7	0.0069516	0.0032976	0.0034812	0.0094608	0.0094608
6	0.0085752	0.004446	0.0047016	0.0116424	0.011304
5	0.009954	0.0053964	0.0057276	0.0134496	0.01278
4	0.0107424	0.0061236	0.0065124	0.014508	0.013518
3	0.0105264	0.006588	0.0069804	0.0142992	0.013032
2	0.008676	0.0065592	0.006786	0.0119124	0.0105768
1	0.0040788	0.004374	0.0041256	0.005652	0.004878
0	0	0	0	0	0

Tabla 88. Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 8 pisos en barras.



Gráfica 123. Comparación de derivas en modelados de 8 pisos en dispersión.

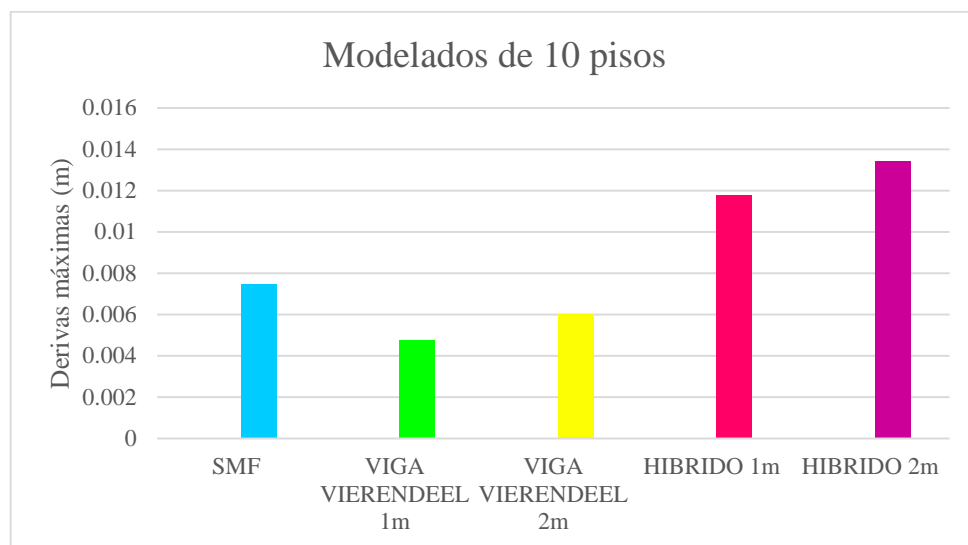
En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el sistema estructural que representa mayor deriva inelástica en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo los sistemas estructurales de 8

niveles, presentando el desplazamiento lateral que tiene mayor presencia en el modelo híbrido 1m con un porcentaje de desplazamiento lateral de 54.59%; siguiendo con la estructura híbrido 2 m con una diferencia de 6.82% y las de menor presencia de derivas inelásticas son los modelados con Viga Vierendeel 1m y 2 m que son semejantes.

5.4.2.10 Gráficos comparativos de derivas inelásticas entre los sistemas de 10 pisos

10 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Derivas máximas (m)	0.0074808	0.004788	0.0060048	0.0117792	0.0134208

Tabla 89. Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 10 pisos en barras.

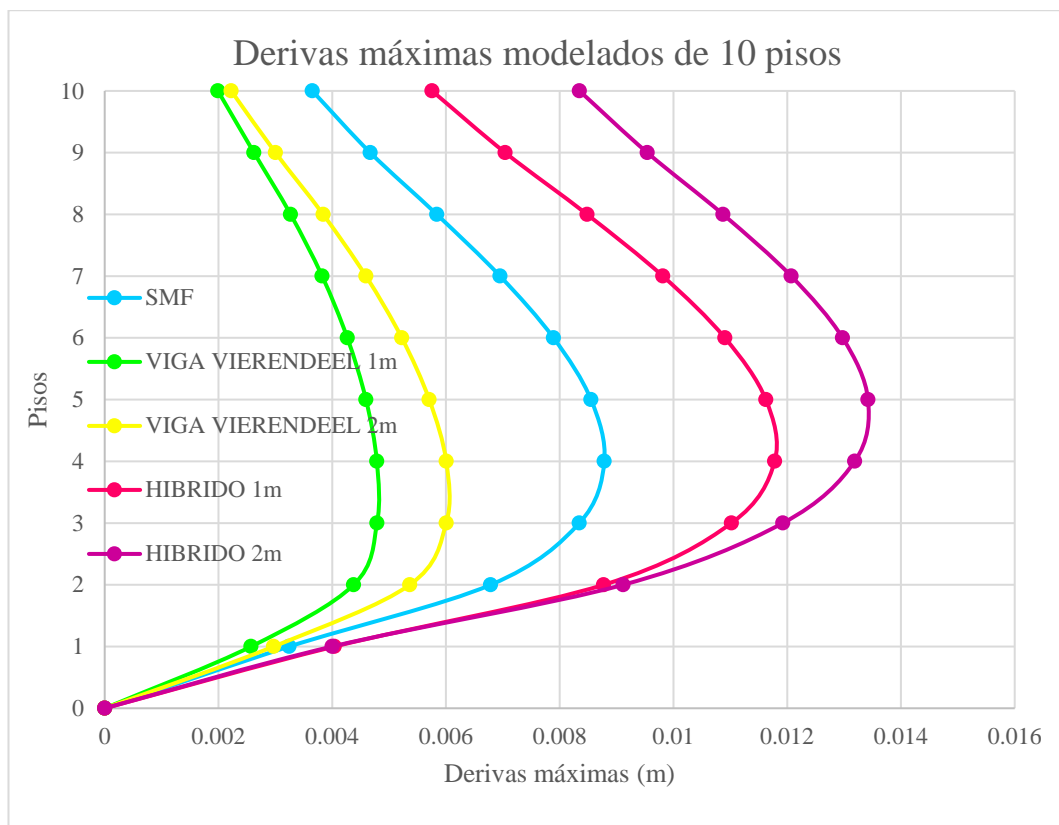


Gráfica 124. Comparación de derivas en modelados de 10 pisos en barras.

10 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
----------	-----	--------------------	--------------------	------------	------------

10	0.0036504	0.0019908	0.0022248	0.0057564	0.0020016
9	0.0046692	0.0026244	0.0030024	0.0070416	0.002754
8	0.0058392	0.0032688	0.0038412	0.0084816	0.003564
7	0.0069516	0.0038232	0.0045936	0.0098136	0.0042948
6	0.0078912	0.004266	0.0052236	0.0109044	0.0049104
5	0.00855	0.0045936	0.005706	0.0116244	0.0053856
4	0.008784	0.0047844	0.0060048	0.0117792	0.0056844
3	0.0083448	0.004788	0.0060048	0.0110196	0.0057096
2	0.006786	0.0043776	0.005364	0.0087732	0.0051372
1	0.0032436	0.002574	0.00297	0.0040392	0.002862
0	0	0	0		0

Tabla 90. Tabla de derivas inelásticas de cada modelado de 10 pisos en dispersión.



Gráfica 125. Comparación de derivas en modelados de 10 pisos en dispersión.

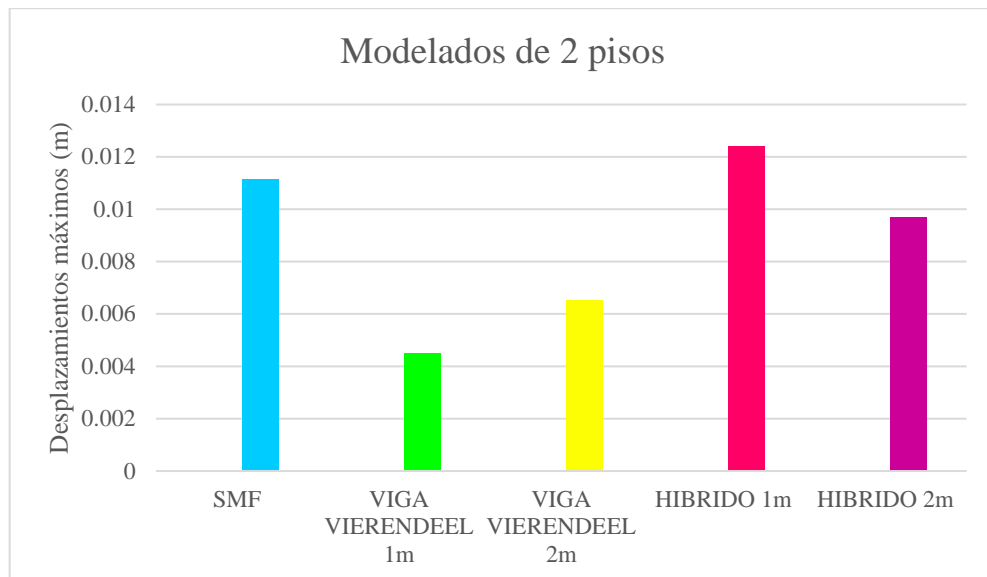
En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el sistema estructural que representa mayor deriva inelástica en las

diferentes estructuras de un mismo nivel siendo los sistemas estructurales de 10 niveles, presentando el desplazamiento lateral que tiene mayor presencia en el modelo híbrido 2m con un porcentaje de desplazamiento lateral de 64.32%; siguiendo con la estructura híbrido 1 m con una diferencia de 12.23% y las de menor presencia de derivas inelásticas son los modelados con Viga Vierendeel 1m.

5.4.2.11 Gráficos comparativos de los desplazamientos máximos entre los sistemas de 2 pisos

2 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Desplazamiento máximo (m)	0.011	0.0045	0.0065	0.0124	0.00968

Tabla 91. Tabla de los desplazamientos máximos de cada modelado de 2 pisos en barras.

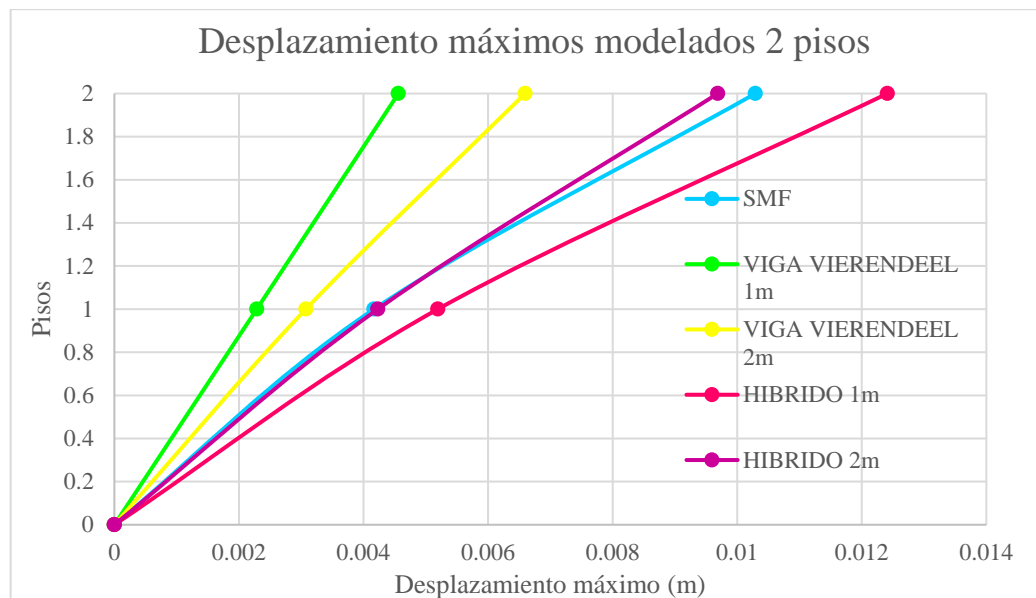


Gráfica 126. Comparación de los desplazamientos máximos en modelados de 2 pisos en barras.

PISOS	SMF				
-------	-----	--	--	--	--

		VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
2	0.010291	0.00456	0.006596	0.012411	0.009687
1	0.004169	0.002286	0.003075	0.005194	0.00423
0	0	0	0	0	0

Tabla 92. Tabla de los desplazamientos máximos de cada modelado de 2 pisos en dispersión.



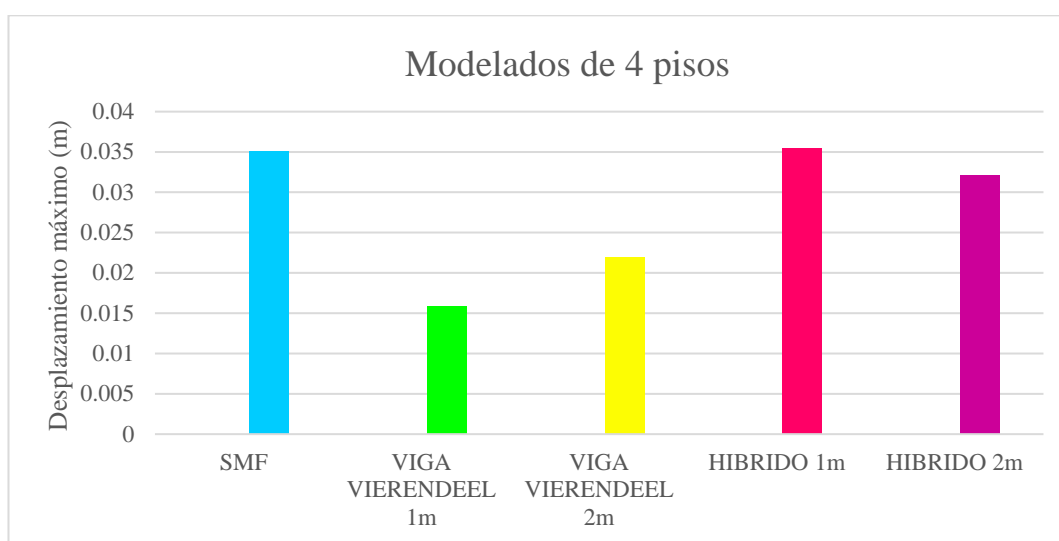
Gráfica 127. Comparación de los desplazamientos máximos en modelados de 2 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el sistema estructural que representa mayor desplazamiento en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo los sistemas estructurales de 2 niveles, presentando el desplazamiento máximo de 2 pisos en el sistema híbrido de 1m teniendo una variación porcentual de 63.71%; siguiendo el modelado de SMF con un 11.29% y el modelo con menor desplazamiento máximo es la viga Vierendeel 1m.

5.4.2.12 Gráficos comparativos de los desplazamientos máximos entre los sistemas de 4 pisos

4 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Desplazamiento máximo (m)	0.0351	0.0158	0.0219	0.0355	0.0321

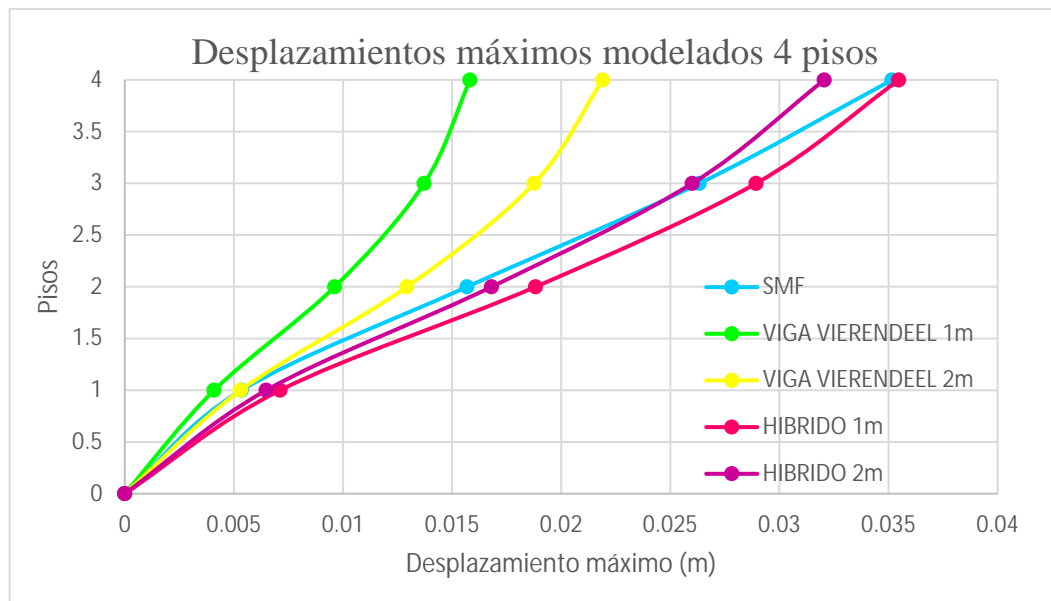
Tabla 93. Tabla de los desplazamientos máximos de cada modelado de 4 pisos en barras.



Gráfica 128. Comparación de los desplazamientos máximos en modelados de 4 pisos en barras.

4 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
4	0.035168	0.015825	0.021909	0.035476	0.032063
3	0.026335	0.013723	0.018762	0.028934	0.026008
2	0.015694	0.009622	0.012936	0.01883	0.016816
1	0.00535	0.004096	0.005313	0.00712	0.006485
0	0	0	0	0	0

Tabla 94. Tabla de los desplazamientos máximos de cada modelado de 4 pisos en dispersión.



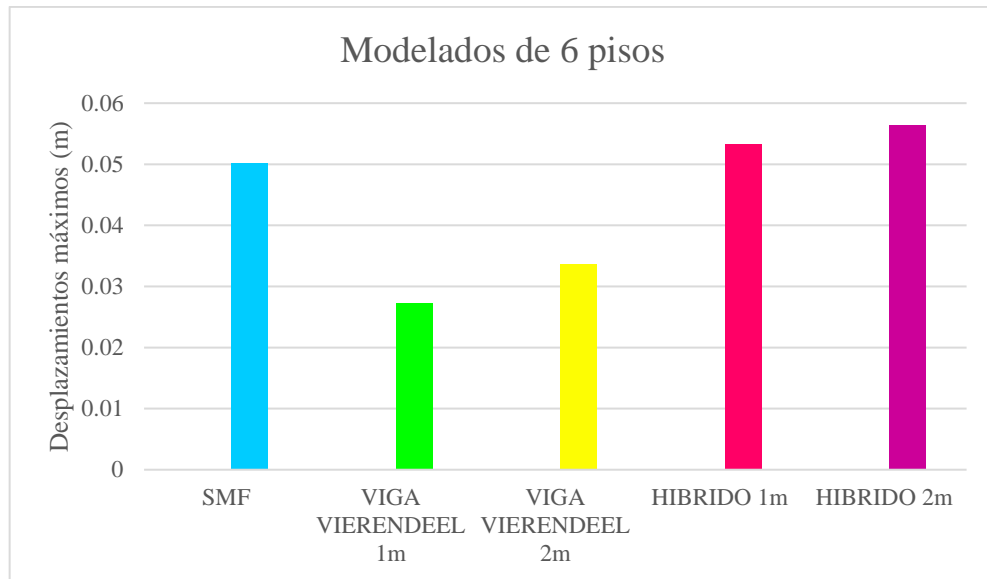
Gráfica 129. Comparación de los desplazamientos máximos en modelados de 4 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el sistema estructural que representa mayor desplazamiento en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo los sistemas estructurales de 4 niveles, presentando el desplazamiento máximo de 4 pisos en el sistema híbrido de 1m teniendo una variación porcentual de 55.49%; siguiendo el modelado de SMF con una leve diferencia 1.12% y el modelo con menor desplazamiento máximo es la viga Vierendeel 1m.

5.4.2.13 Gráficos comparativos de los desplazamientos máximos entre los sistemas de 6 pisos

6 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Desplazamiento máximo (m)	0.0501	0.0273	0.0337	0.0533	0.0564

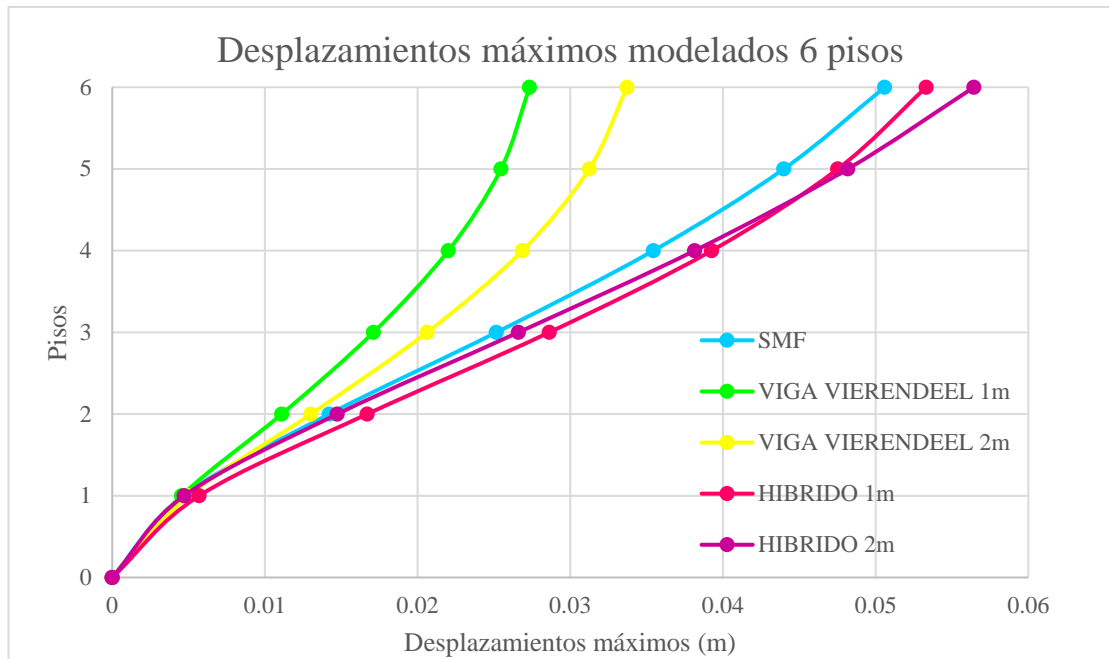
Tabla 95. Tabla de los desplazamientos máximos de cada modelado de 6 pisos en barras.



Gráfica 130. Comparación de los desplazamientos máximos en modelados de 6 pisos en barras.

6 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
6	0.050595	0.027333	0.03372	0.053311	0.05644
5	0.043986	0.025464	0.031247	0.047519	0.048174
4	0.035447	0.022013	0.026866	0.039261	0.038143
3	0.025163	0.017107	0.020629	0.028627	0.026603
2	0.014218	0.011101	0.013015	0.016701	0.014745
1	0.004653	0.004538	0.004995	0.005694	0.004715
0	0	0	0	0	0

Tabla 96. Tabla de los desplazamientos máximos de cada modelado de 6 pisos en dispersión.



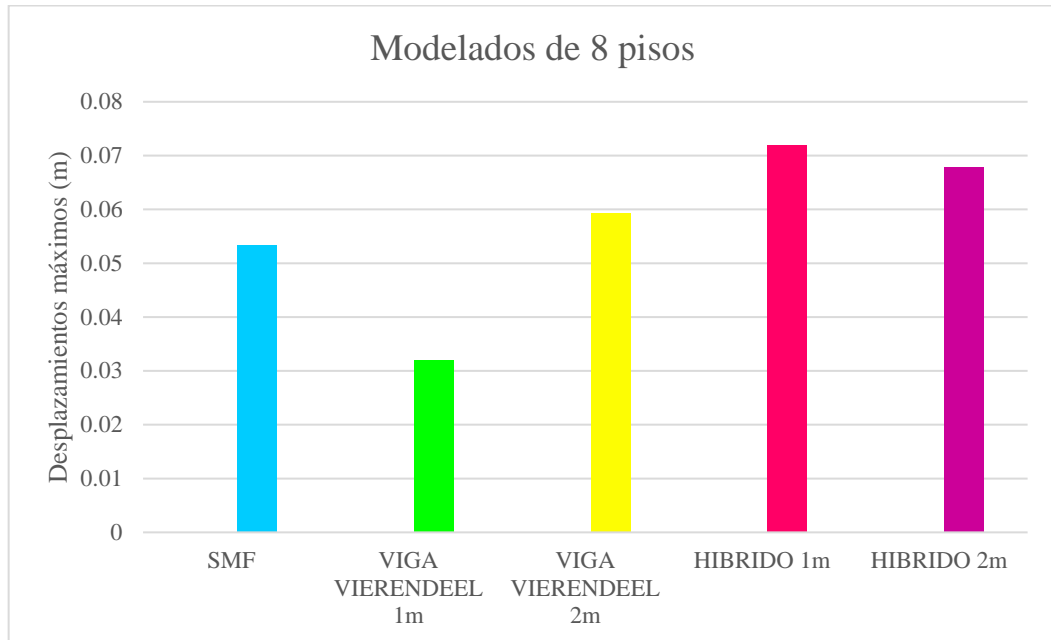
Gráfica 131. Comparación de los desplazamientos máximos en modelados de 6 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el sistema estructural que representa mayor desplazamiento en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo los sistemas estructurales de 6 niveles, presentando el desplazamiento máximo de 6 pisos en el sistema híbrido de 2m teniendo una diferencia de porcentaje de 51.59%; siguiendo el modelado de SMF con un 5.49% y el modelo con menor desplazamiento máximo es la viga Vierendeel 1m.

5.4.2.14 Gráficos comparativos de los desplazamientos máximos entre los sistemas de 8 pisos

8 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Desplazamiento máximo (m)	0.0534	0.032	0.0594	0.0719	0.0679

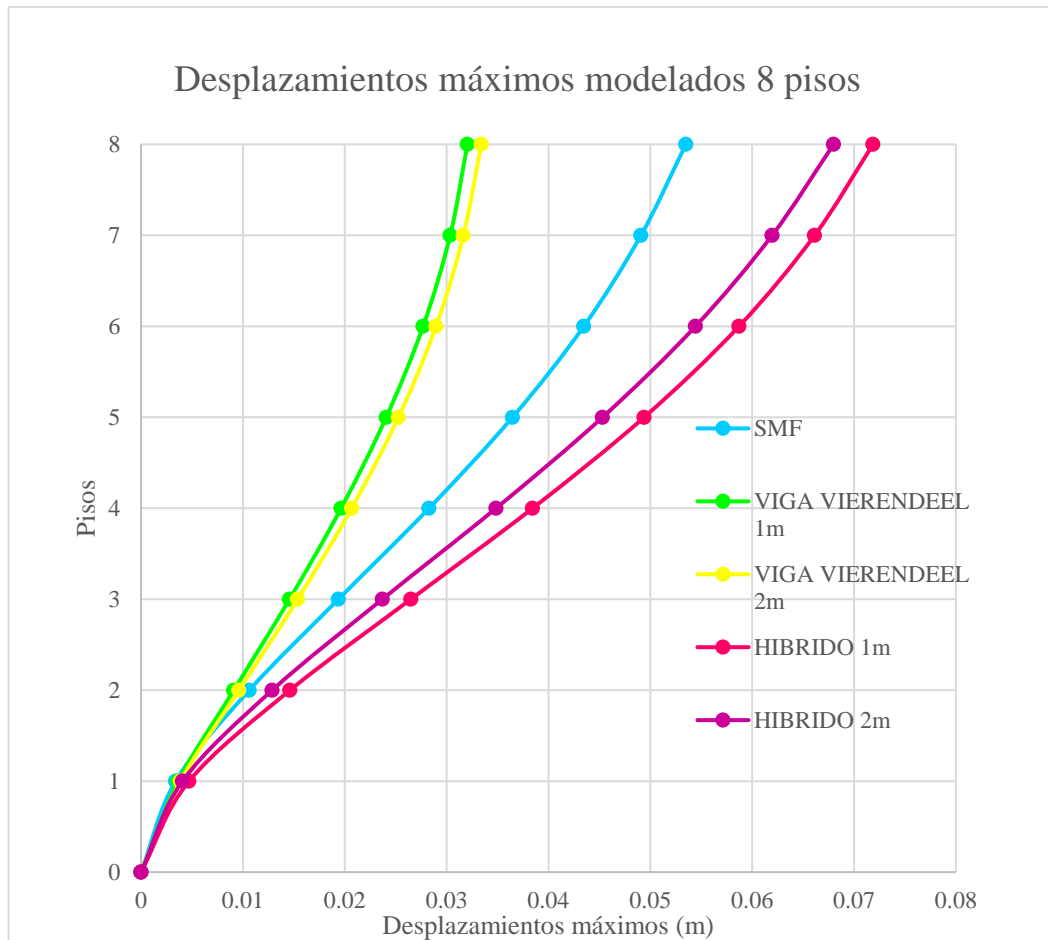
Tabla 97. Tabla de los desplazamientos máximos de cada modelado de 8 pisos en barras.



Gráfica 132. Comparación de los desplazamientos máximos en modelados de 8 pisos en barras.

8 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
8	0.053492	0.032042	0.033408	0.07187	0.067997
7	0.049084	0.03035	0.03164	0.066136	0.061965
6	0.043473	0.02769	0.028965	0.058716	0.054438
5	0.036474	0.024072	0.025269	0.049399	0.045313
4	0.028276	0.019643	0.020679	0.038449	0.034858
3	0.019376	0.014579	0.015375	0.026492	0.023696
2	0.010624	0.009108	0.009605	0.014626	0.012875
1	0.003398	0.003645	0.003878	0.004711	0.00407
0	0	0	0	0	0

Tabla 98. Tabla de los desplazamientos máximos de cada modelado de 8 pisos en dispersión.



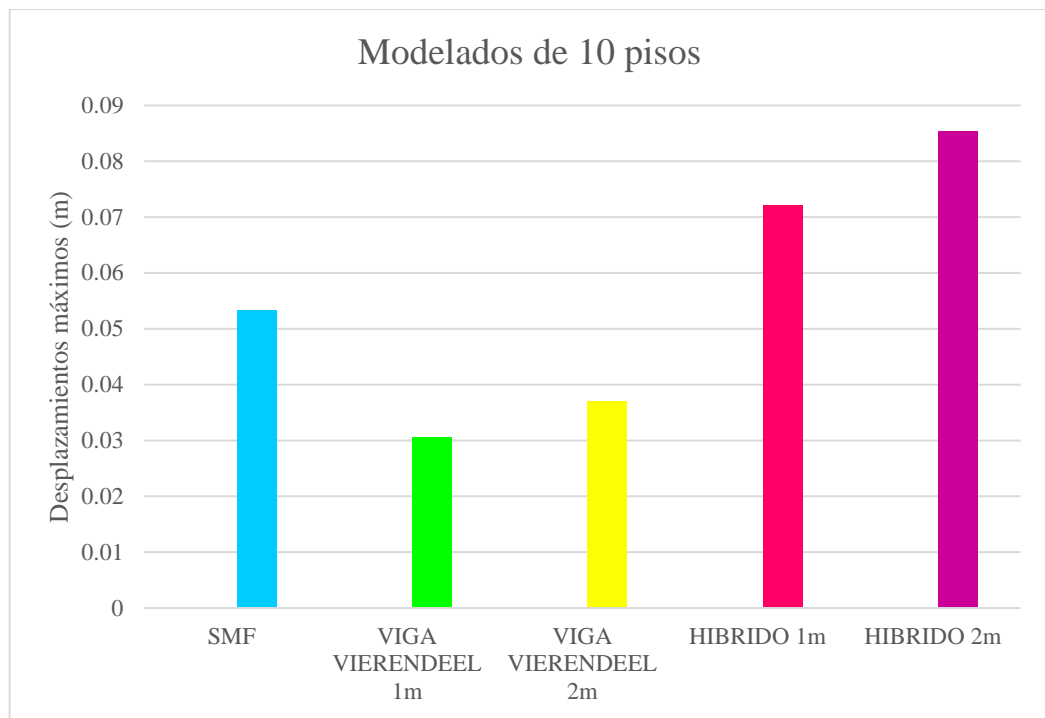
Gráfica 133. Comparación de los desplazamientos máximos en modelados de 8 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el sistema estructural que representa mayor desplazamiento en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo los sistemas estructurales de 8 niveles, presentando el desplazamiento máximo de 8 pisos en el sistema híbrido de 1m obteniendo un porcentaje de 55.5% de desplazamiento máximo; siguiendo el modelado híbrido 2m con un 5.52% y el modelo con menor desplazamiento máximo es la viga Vierendeel 1m.

5.4.2.15 Gráficos comparativos de los desplazamientos máximos entre los sistemas de 10 pisos

10 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HÍBRIDO 1m	HÍBRIDO 2m
Desplazamiento máximo (m)	0.0532	0.0305	0.0369	0.0721	0.0854

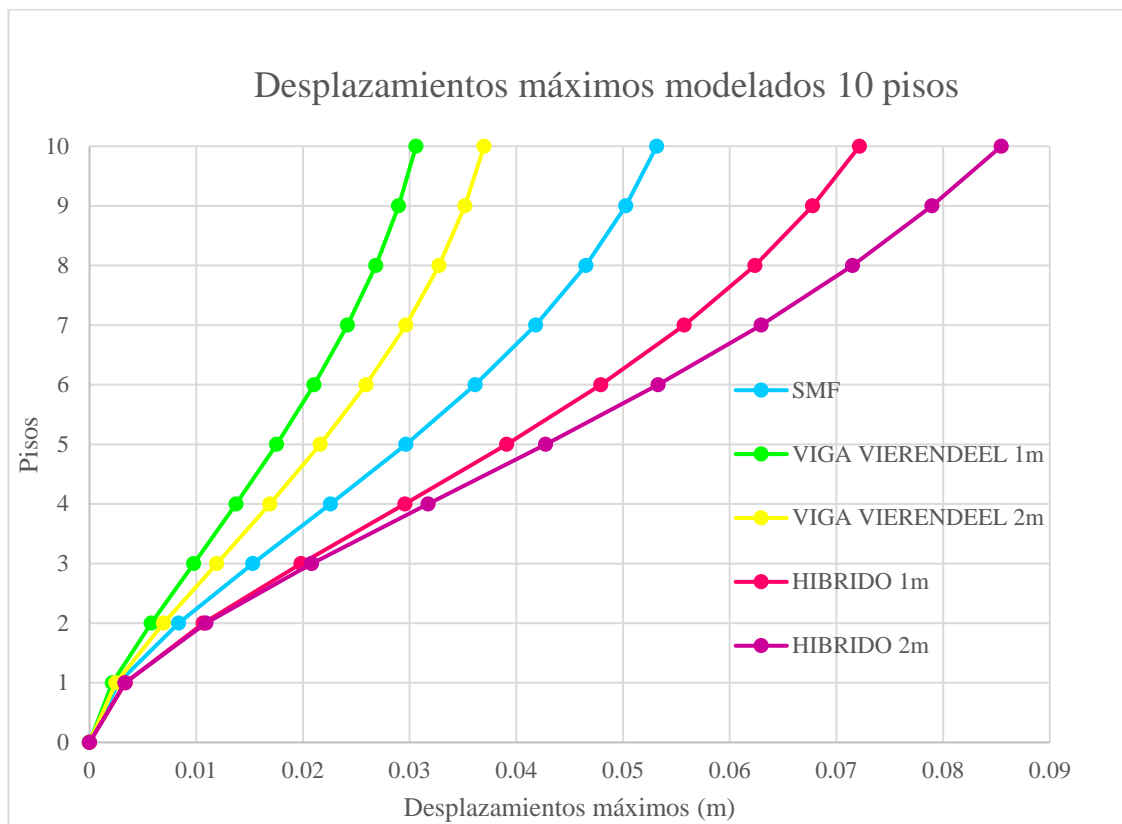
Tabla 99. Tabla de los desplazamientos máximos de cada modelado de 10 pisos en barras.



Gráfica 134. Comparación de los desplazamientos máximos en modelados de 10 pisos en barras.

10 PISOS	SMF	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
10	0.053158	0.030599	0.036979	0.072162	0.085448
9	0.050259	0.028972	0.035185	0.067774	0.078954
8	0.046529	0.026839	0.032769	0.062371	0.071521
7	0.041817	0.024178	0.029662	0.055747	0.062952
6	0.036149	0.02105	0.025917	0.047932	0.053291
5	0.029661	0.017539	0.021627	0.0391	0.042756
4	0.022591	0.013742	0.016914	0.029565	0.031735
3	0.015298	0.009771	0.011934	0.019825	0.020826
2	0.008355	0.00579	0.006941	0.010669	0.01092
1	0.002704	0.002144	0.002474	0.003366	0.003332

Tabla 100. Tabla de los desplazamientos máximos de cada modelado de 10 pisos en dispersión.



Gráfica 135. Comparación de los desplazamientos máximos en modelados de 10 pisos en dispersión.

En la gráfica se muestran los modelos de un mismo nivel, dando como resultado el sistema estructural que representa mayor desplazamiento en las diferentes estructuras de un mismo nivel siendo los sistemas estructurales de 2 niveles, presentando el desplazamiento máximo de 2 pisos en el sistema híbrido de 2m teniendo una variación porcentual de 64.28%; siguiendo el modelo híbrido de 1m teniendo una diferencia de desplazamiento de un 15.54% y el modelo con menor desplazamiento máximo es la viga Vierendeel 1m.

CONCLUSIONES

- Los pórticos especiales a momento consisten en un sistema rectangular de vigas y columnas que resiste momento y corte durante un evento sísmico, este sistema presenta dos variantes con un segmento especial, donde en este trabajo de investigación se utilizó como preferencia las vigas Vierendeel, ya que, permitió una mayor flexibilidad y libertad arquitectónica dentro del panel actuando también como un tramo dúctil que disipa la energía a través de deformaciones inelásticas.
- la metodología de diseño establecida para cumplir los mínimos requerimientos de la norma AISC 341-10, para realizar el diseño de SMF y de vigas Vierendeel con el fin de observar el comportamiento ante las solicitaciones generadas por ellos mismos, en los cuales, se representa principalmente para la realización de los modelos SMF fue el criterio columna fuerte/viga débil que se cumple empleando la relación de momentos en los nodos siendo estos mayor a 1 y para el diseño de viga Vierendeel, por norma la altura de los montantes no debe ser mayor a 1.8 m, siendo la de los modelados a comparar 1.4 m ambas cumpliendo específicamente con la relación ancho/ espesor para miembros de alta ductilidad.
- Los resultados obtenidos de la respuesta sísmica de cortes basales, derivas y desplazamientos máximos, indican que el mayor cortante basal fue en las estructuras con vigas Vierendeel de 1m con un promedio porcentual de 34% sobre los demás sistemas, el mayor desplazamiento lateral fue el sistema híbrido de 1m con un promedio de 55% con respecto a las demás estructuras, y por último el desplazamiento máximo también lo

obtuvo el sistema híbrido de 1m con una diferencia del 58.23% con respecto a las demás.

· Al agrupar los modelados por sistema estructural y comparar la respuesta sísmica al variar la altura de dichos modelados, se pudo concluir que:

Entre todos los sistemas estructurales, los modelados de SMF presentaron pequeñas diferencias de cortes basales entre modelos sucesivos, mientras que los sistemas estructurales restantes, tuvieron diferencias similares entre los modelados consecutivos, siendo un promedio de 26.62% la diferencia porcentual. Al comparar el corte basal de esta forma, se puede declarar que el incremento de la altura en una edificación del mismo sistema estructural conlleva a un incremento proporcional de dicho corte basal, ya que este en parte, depende del peso de la edificación.

Las derivas inelásticas de los modelados híbridos con panel Vierendeel de 2 m, comparándose entre sí, arrojaron diferencias muy pequeñas, seguido por el conjunto de modelados con panel Vierendeel de 2m, lo que demuestra la poca deriva que se forma en estos sistemas estructurales con dicha longitud del panel.

Las derivas inelásticas máximas, ocurren entre el 3er y 4to piso en la mayoría de los conjuntos de modelados, siendo más específico, en los modelados SMF y los híbridos, tanto de 1m como de 2m. En cuanto a las estructuras con viga Vierendeel de 1m y 2 m, las máximas derivas inelásticas tienden a ocurrir en los primeros 2 pisos.

Los valores de derivas máximas fueron del modelado de 6 pisos en 4 de los 5 sistemas estructurales analizados, quedando por fuera de esta similitud las edificaciones híbridas con panel Vierendeel de 1m; pudiendo observar que estas estructuras están muy próximas al límite dispuesta por la norma COVENIN 1756-2001 en la tabla 10.1, pudiendo ser más susceptibles a posibles daños tanto en elementos no estructurales como estructurales.

Todos los conjuntos de modelados coincidieron con que las estructuras con mayor desplazamiento fueron los de mayor altura, evidenciando en general una relación proporcional entre el incremento de la altura con el incremento del desplazamiento máximo.

Los sistemas estructurales de mayor cortante basal son los modelos con viga Vierendeel de 1m en los niveles de 2, 4, 8 y 10 teniendo un promedio de 34% de cortante basal sobre los demás sistemas; el otro modelo que tuvo protagonismo fue el de viga Vierendeel de 2m. Siendo los modelados de mayor peso los de viga Vierendeel; y el sistema con menor corte basal es el SMF en los pisos 2, 8 y 10 y el otro es el modelo híbrido de 2m. Para mayor comprensión se muestra una variación porcentual de los cortes basales.

Corte basal variación porcentual (%)														
Modelado de 2 pisos					Modelado de 4 pisos					Modelado de 6 pisos				
SISTEMA	VIGA VIEREND EEL 1m	VIGA VIERENDE EEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m	SISTEMA	VIGA VIEREND EEL 1m	VIGA VIEREND EEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m	SISTEMA	VIGA VIEREND EEL 1m	VIGA VIEREND EEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
SMF	29.63	29.31	27.32	27.51	SMF	36.88	36.14	34.82	33.92	SMF	36.88	36.14	34.82	33.92
VIGA VIERENDEEL 1m	0.46	5.19	2.93		VIGA VIERENDEEL 1m	1.17	3.16	4.48		VIGA VIERENDEEL 1m	1.17	3.16	4.48	
VIGA VIERENDEEL 2m		2.75	2.49		VIGA VIERENDEEL 2m		2.01	3.36		VIGA VIERENDEEL 2m		2.01	3.36	
HIBRIDO 1m					HIBRIDO 1m					HIBRIDO 1m				
0.26					1.37					1.37				
Modelado de 8 pisos					Modelado de 10 pisos									
SISTEMA	VIGA VIEREND EEL 1m	VIGA VIERENDE EEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m	SISTEMA	VIGA VIEREND EEL 1m	VIGA VIEREND EEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m					
SMF	52.27	53.6	50.11	49.98	SMF	51.58	50.29	47.47	47.21					
VIGA VIERENDEEL 1m	2.79	4.34	4.57		VIGA VIERENDEEL 1m	2.59	7.81	8.26						
VIGA VIERENDEEL 2m		7.01	7.24		VIGA VIERENDEEL 2m		5.38	5.82						
HIBRIDO 1m					HIBRIDO 1m									
0.24					0.48									

Los sistemas estructurales de mayor desplazamiento lateral son los híbridos de 1m en los pisos 2, 4, 6 y 8 obteniendo un promedio de 55% de desplazamiento lateral, y en el nivel 10 la deriva inelástica máxima fue en el modelo híbrido de 2m; los que presentan menor deriva fueron los modelos de viga Vierendeel 1m. Para mayor comprensión se muestra una variación porcentual de los desplazamientos laterales.

Derivas variación porcentual (%)														
Modelado de 2 pisos					Modelado de 4 pisos					Modelado de 6 pisos				
SISTEMA	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m	SISTEMA	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m	SISTEMA	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
SMF	64.79	43.66	9.73	6.58	SMF	48.19	28.58	8.77	38.14	SMF	40.14	26.86	8.27	7.83
VIGA VIERENDEEL 1m		35.21	68.22	62.52	VIGA VIERENDEEL 1m		27.46	52.74	19.2	VIGA VIERENDEEL 1m		18.15	45.09	44.82
VIGA VIERENDEEL 2m			30.95	41.84	VIGA VIERENDEEL 2m			34.84	41.59	VIGA VIERENDEEL 2m			32.91	32.59
HIBRIDO 1m					HIBRIDO 1m					HIBRIDO 1m				
15.66					61.81					0.48				
Modelado de 8 pisos					Modelado de 10 pisos									
SISTEMA	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m	SISTEMA	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m					
SMF	38.67	33.02	25.96	20.53	SMF	36	19.73	36.49	44.26					
VIGA VIERENDEEL 1m		5.62	54.59	51.26	VIGA VIERENDEEL 1m		20.26	59.35	64.32					
VIGA VIERENDEEL 2m			51.89	48.38	VIGA VIERENDEEL 2m			49.02	55.26					
HIBRIDO 1m					HIBRIDO 1m									
6.82					12.23									

Los sistemas estructurales que presentaron los desplazamientos máximos fueron los del sistema híbrido de 1m en los niveles 2, 4, y 8, obteniendo un promedio de 58.23% de desplazamientos máximos, en los otros niveles fue el

sistema híbrido de 2m siendo estos pisos 6 y 10; y el que tuvo menos desplazamiento fue el modelo de viga Vierendeel de 1m. Para mayor comprensión se muestra una variación porcentual desplazamientos.

Desplazamientos variación porcentual (%)														
Modelado de 2 pisos					Modelado de 4 pisos					Modelado de 6 pisos				
SISTEMA	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m	SISTEMA	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m	SISTEMA	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m
SMF	59,61	41,65	10,16	13,11	SMF	54,99	37,61	1,13	8,55	SMF	45,51	32,73	6	11,17
VIGA VIERENDEEL 1m	30,77	63,71	53,51		VIGA VIERENDEEL 1m	27,85	55,46	50,78		VIGA VIERENDEEL 1m	18,99	48,78	51,6	
VIGA VIERENDEEL 2m		47,58	32,85		VIGA VIERENDEEL 2m		38,31	31,78		VIGA VIERENDEEL 2m		36,77	40,25	
HIBRIDO 1m			21,94		HIBRIDO 1m			9,58		HIBRIDO 1m			5,5	
Modelado de 8 pisos					Modelado de 10 pisos									
SISTEMA	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m	SISTEMA	VIGA VIERENDEEL 1m	VIGA VIERENDEEL 2m	HIBRIDO 1m	HIBRIDO 2m					
SMF	40,07	37,44	25,73	21,35	SMF	42,67	30,64	26,21	37,7					
VIGA VIERENDEEL 1m	4,21	55,49	52,87		VIGA VIERENDEEL 1m	17,34	57,7	64,29						
VIGA VIERENDEEL 2m		53,54	59,5		VIGA VIERENDEEL 2m		48,82	56,79						
HIBRIDO 1m			5,56		HIBRIDO 1m			15,57						

Por medio de estas comparaciones entre sistemas se ha demostrado que los modelos presentados con las vigas Vierendeel presentan una mejor respuesta sísmica, siendo este más dúctil, y logrando menos desplazamientos laterales en comparación con los otros sistemas.

RECOMENDACIONES

- Para trabajos futuros se podría realizar otro análisis comparativo para observar el comportamiento de las vigas Vierendeel con un segmento más largo, ya que, estas han demostrado ser muy eficientes en el comportamiento sísmico elástico.
- Realizar una comparación entre montantes de perfiles I y montantes de doble ángulo, para determinar la variación del comportamiento bajo la acción sísmica de las vigas reticuladas con el segmento especial.
- Realizar un estudio parecido, donde su variante sea solo modelar y analizar los sistemas estructurales que contengan las vigas Vierendeel, en otras palabras, excluir el SMF, modificando el factor de reducción de respuesta R con el fin de determinar las limitaciones que tengan estos sistemas a partir de la magnitud del sismo aplicado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias bibliográficas

- Crisafulli Francisco J. (2014) Diseño sismorresistente de construcciones de acero. Editorial Alacero. Edición Nro, 4.
- Bozzo Luis M. y Barbat Alex H. (2004) Diseño sismorresistente de edificios. Editorial Reverte. Edición en español.
- ANSI/AISC 341-10 (2010) Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. American Institute of Steel Construction.
- COVENIN 1756:2001 (2001) Edificaciones sismorresistente. Distribución y venta FONDONORMA.
- Tamayo y Tamayo (2003) El proceso de la investigación científica. (4ta edición). Editorial Limusa
- Sabino Carlos (1996) El Proceso de Investigación. Caracas, Venezuela. Editorial Panapo
- Arias G. Fidas (2006) El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica (5ta Edición) Caracas, Venezuela. Editorial Episte-me.
- Falcón y Herrera (2005) Análisis del dato estadístico. Universidad Bolivariana de Venezuela. Guía didáctica.

Referencias electrónicas

- Aceros Otero (1980) Disponible en: -----
http://www.acerosotero.cl/planchas_acero_carbono_astm_a36.html
- Guía de estudio: Viga Vierendeel (2008) [Documento en línea] Disponible en: <http://www.tallerdnc.com.ar/index.php/niveles/plan-v/nivel-iii/descargas/category/23-guias-de-estudio?download=89%3Aguia-5>

· Arquitectura en acero (2010) Patrocinado por Alacero.
<http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/vigas-de-celosia>

· Universidad Nacional de Ingeniería. (2012) **Estudio del comportamiento sísmico lineal y no lineal de pórticos metálicos resistentes a momento**. Autor: Nelson R. Pareja [Documento en línea] Disponible en:
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1399/1/pareja_sn.pdf

· Universidad Católica Andrés Bello (2012) **Evaluación del comportamiento sismorresistente del módulo 1 del hospital central “Jose Gregorio Hernandez”**. Autor: Yvonne Seijas Corrales [Documento en línea] Disponible en:
<http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAS7578.pdf>

