

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



INFLUENCIA DE LAS NORMAS E.030-2003 Y E.030-2018
EN EL DISEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE
CONCRETO ARMADO DE DIFERENTES ALTURAS

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

Bach. ZAPATA HERNANDEZ, DAVID

Asesor: Mg. Ing. ARANA VÁSQUEZ, VÍCTOR ERNESTO

LIMA-PERÚ

2019

DEDICATORIA

A todas las personas que me motivan
y apoyan para lograr mis objetivos y
ser una mejor persona.

AGRADECIMIENTO

A mis asesores, Dr. Ing. Javier Piqué y Mg. Ing. Víctor Arana por su paciencia, motivación y por el apoyo constante que me brindaron en mi investigación. Además, a todos los que apoyaron directa o indirectamente en la culminación de mi tesis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	3
1.1 Marco situacional.....	3
1.2 Problema	3
1.3 Importancia	3
1.4 Objetivo.....	4
1.5 Metodología	5
1.6 Estudios anteriores	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1 Normas E.030-2003 y E.030-2018	7
2.1.1 Factor de zona, “Z”	7
2.1.2 Factor de suelo, “S”	8
2.1.3 Factor de amplificación sísmica, “C”	9
2.1.4 Factor de uso, “U”.....	10
2.1.5 Sistemas estructurales y factor de reducción, “R”	10
2.1.6 Factores de irregularidad.....	11
2.1.7 Análisis estático	12
2.1.8 Análisis dinámico.....	13
2.1.9 Desplazamientos laterales	13
2.1.10 Redundancia.....	13
2.1.11 Cimentaciones.....	13
2.2 Métodos de análisis sísmico.....	14
2.2.1 Análisis modal espectral	15
2.2.2 Combinación modal	15
2.2.3 Espectro de diseño	16
2.3 Predimensionamiento.....	16
2.4 Método de diseño estructural	17
2.5 Norma E.060-2009.....	17
2.6 Norma E.020-2006.....	17
2.7 Programas utilizados en el análisis, diseño y metrado de materiales.....	18

2.7.1	ETABS 2016	18
2.7.2	SAFE 2016.....	18
2.7.3	Excel 2013	18
CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS DE LAS EDIFICACIONES A		
ESTUDIAR.....		19
3.1	Hipótesis de análisis.....	19
3.2	Parámetros sísmicos	20
3.3	Materiales, suelo de soporte y cargas.....	20
3.4	Elevación y planta general, planta del primer nivel de las edificaciones	22
3.4.1	Elevación general de las edificaciones de muros estructurales	24
3.4.2	Planta general de las edificaciones de muros estructurales	25
3.4.3	Plantas del último piso de todas las edificaciones	26
3.4.4	Cimentaciones de las edificaciones	34
CAPÍTULO IV: VARIABLES EN ESTUDIO DE LAS ESTRUCTURAS.....		
4.1	Variación de la altura	42
4.2	Sistema estructural	42
4.3	Norma técnica E.030.....	43
CAPÍTULO V: ANÁLISIS SÍSMICO.....		
5.1	Análisis estático	44
5.1.1	Periodo fundamental	44
5.1.2	Fuerza cortante estática total en la base	44
5.1.3	Distribución de la fuerza estática en altura	44
5.2	Análisis dinámico.....	52
5.2.1	Espectro de respuesta	52
5.2.2	Periodos, modos de vibración y masas efectivas	54
5.2.3	Fuerza cortante dinámica total en la base	55
5.2.4	Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura	55
5.2.5	Desplazamientos laterales	63
5.3	Cumplimiento de las normativas.....	70
5.3.1	Cumplimiento del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima....	70
5.3.2	Cumplimiento de los desplazamientos laterales relativos admisibles	70
5.3.3	Cumplimiento del factor de seguridad del momento de volteo	71
CAPÍTULO VI: DISEÑO ESTRUCTURAL.....		
6.1	Adaptación del ETABS y SAFE a la norma E.060-2009	72

6.2	Consideraciones del diseño y armado propuesto	76
6.3	Diseño de un ejemplar de viga	77
6.4	Diseño de un ejemplar de columna	80
6.5	Diseño de un ejemplar de muro estructural	82
6.6	Diseño de un ejemplar de zapata aislada	86
CAPÍTULO VII: METRADOS Y COSTOS DE LOS MATERIALES		89
7.1	Consideraciones para el metrado de los materiales	89
7.2	Metrado en los ejemplares diseñados.....	90
7.3	Precio de los materiales.....	91
7.4	Metrado en los elementos estructurales	91
7.5	Costos de los materiales en los elementos estructurales	95
CAPITULO VIII: EVALUACIÓN DE RESULTADOS		99
8.1	Comparación de las fuerzas estáticas.....	99
8.2	Comparación de la fuerza cortante dinámica total en la base	107
8.3	Comparación del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima	109
8.4	Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas.....	111
8.5	Comparación de los desplazamientos laterales.....	119
8.6	Comparación del factor de seguridad del momento de volteo.....	127
8.7	Comparación de la demanda del acero de refuerzo en los elementos estructurales	129
8.7.1	Comparación de la demanda del acero de refuerzo en vigas	129
8.7.2	Comparación de la demanda del acero de refuerzo en columnas	131
8.7.3	Comparación de la demanda del acero de refuerzo en muros	133
8.7.4	Comparación de la demanda del acero de refuerzo en zapatas.....	135
8.7.5	Comparación de la demanda del acero de refuerzo total	137
8.8	Comparación del costo de los materiales en los elementos estructurales	139
8.8.1	Comparación del costo del material de acero de refuerzo en vigas	139
8.8.2	Comparación del costo del material de acero de refuerzo en columnas	141
8.8.3	Comparación del costo del material de acero de refuerzo en muros	143
8.8.4	Comparación del costo del material de acero de refuerzo en zapatas.....	145
8.8.5	Comparación del costo del material de acero de refuerzo total	147
8.8.6	Comparación del costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo.....	149
CONCLUSIONES		151

RECOMENDACIONES	153
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
ANEXOS.....	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1, Comparación de Zonas Sísmicas según normas.....	8
Figura 2, Elevación general en M5, M10, M15 y M20	24
Figura 3, Planta general en M5, M10, M15 y M20	25
Figura 4, Planta del último piso en D5	26
Figura 5, Planta del último piso en D10	27
Figura 6, Planta del último piso en D15	28
Figura 7, Planta del último piso en D20	29
Figura 8, Planta del último piso en M5.....	30
Figura 9, Planta del último piso en M10.....	31
Figura 10, Planta del último piso en M15.....	32
Figura 11, Planta del último piso en M20.....	33
Figura 12, Cimentación en D5	34
Figura 13, Cimentación en D10	35
Figura 14, Cimentación en D15	36
Figura 15, Cimentación en D20	37
Figura 16, Cimentación en M5	38
Figura 17, Cimentación en M10	39
Figura 18, Cimentación en M15	40
Figura 19, Cimentación en M20	41
Figura 20, Distribución de la fuerza estática en altura en edificios duales en la dirección X.....	48
Figura 21, Distribución de la fuerza estática en altura en edificios duales en la dirección Y	49
Figura 22, Distribución de la fuerza estática en altura en edificios de muros estructurales en la dirección X.....	50
Figura 23, Distribución de la fuerza estática en altura en edificios de muros estructurales en la dirección Y	51
Figura 24, Espectro de respuesta regular dual para ambas normas	53
Figura 25, Espectro de respuesta regular de muros estructurales para ambas normas ...	54
Figura 26, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en edificios duales en la dirección X.....	59
Figura 27, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en edificios duales en	

la dirección Y	60
Figura 28, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en edificios de muros estructurales en la dirección X	61
Figura 29, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en edificios de muros estructurales en la dirección Y	62
Figura 30, Desplazamientos laterales en edificios duales en la dirección X	66
Figura 31, Desplazamientos laterales en edificios duales en la dirección Y	67
Figura 32, Desplazamientos laterales en edificios de muros estructurales en la dirección X.....	68
Figura 33, Desplazamientos laterales en edificios de muros estructurales en la dirección Y	69
Figura 34, Preferencias de diseño para vigas y columnas en ETABS	72
Figura 35, Preferencias de diseño para los muros estructurales en ETABS.....	73
Figura 36, Tipo de diseño sísmico para vigas y columnas en ETABS	74
Figura 37, Factores de reducciones en SAFE	75
Figura 38, Recubrimiento en SAFE.....	76
Figura 39, Ejemplar de viga y demanda de acero por flexión	77
Figura 40, Valores máximos de las demandas de acero por flexión, corte y torsión en viga.....	78
Figura 41, Calculo del armado por flexión en viga	78
Figura 42, Calculo del armado por corte en viga.....	78
Figura 43, Armado de ejemplar de viga	79
Figura 44, Demanda de acero por flexocompresión en columna	80
Figura 45, Demanda de acero por flexocompresión y corte en columna	80
Figura 46, Calculo del acero por flexocompresión y corte en columna	81
Figura 47, Armado de ejemplar de columna.....	81
Figura 48, Ejemplar de muro estructural	82
Figura 49, Armado para cumplir con la demanda de flexocompresión en muro estructural.....	83
Figura 50, Cumplimiento de la demanda sobre capacidad en muro estructural	83
Figura 51, Amplificación del cortante en muro estructural	84
Figura 52, Longitud de confinamiento en muro estructural	84
Figura 53, Armado de ejemplar de muro estructural	85
Figura 54, Ejemplar de zapata aislada del ejemplar de la columna	86

Figura 55, Presiones actuantes de la zapata aislada, cargas de gravedad y con sismo respectivamente.....	86
Figura 56, Punzonamiento de la zapata aislada	87
Figura 57, Cortante de la zapata aislada	87
Figura 58, Refuerzo longitudinal por flexión y refuerzo mínimo en cantidad de barras	88
Figura 59, Comparación de las fuerzas estáticas en D5	99
Figura 60, Comparación de las fuerzas estáticas en M5.....	100
Figura 61, Comparación de las fuerzas estáticas en D10	101
Figura 62, Comparación de las fuerzas estáticas en M10.....	102
Figura 63, Comparación de las fuerzas estáticas en D15	103
Figura 64, Comparación de las fuerzas estáticas en M15.....	104
Figura 65, Comparación de las fuerzas estáticas en D20	105
Figura 66, Comparación de las fuerzas estáticas en M20.....	106
Figura 67, Comparación de la fuerza cortante dinámica total en la base en edificios duales	107
Figura 68, Comparación de la fuerza cortante dinámica total en la base en edificios de muros estructurales.....	108
Figura 69, Comparación del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima en edificios duales.....	109
Figura 70, Comparación del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima en edificios de muros estructurales.....	110
Figura 71, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en D5	111
Figura 72, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en M5.....	112
Figura 73, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en D10	113
Figura 74, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en M10.....	114
Figura 75, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en D15	115
Figura 76, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en M15.....	116
Figura 77, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en D20	117
Figura 78, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en M20.....	118
Figura 79, Comparación de los desplazamientos laterales en D5.....	119
Figura 80, Comparación de los desplazamientos laterales en M5	120
Figura 81, Comparación de los desplazamientos laterales en D10.....	121
Figura 82, Comparación de los desplazamientos laterales en M10.....	122

Figura 83, Comparación de los desplazamientos laterales en D15.....	123
Figura 84, Comparación de los desplazamientos laterales en M15.....	124
Figura 85, Comparación de los desplazamientos laterales en D20.....	125
Figura 86, Comparación de los desplazamientos laterales en M20.....	126
Figura 87, Comparación del factor de seguridad del momento de volteo en edificios duales	127
Figura 88, Comparación del factor de seguridad del momento de volteo en edificios de muros estructurales.....	128
Figura 89, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en vigas en edificios duales	129
Figura 90, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en vigas en edificios de muros estructurales.....	130
Figura 91, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en columnas en edificios duales.....	131
Figura 92, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en columnas en edificios de muros estructurales.....	132
Figura 93, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en muros en edificios duales	133
Figura 94, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en muros en edificios de muros estructurales.....	134
Figura 95, Comparación del acero de refuerzo en zapatas en edificios duales	135
Figura 96, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en zapatas en edificios de muros estructurales.....	136
Figura 97, Comparación de la demanda del acero de refuerzo total en edificios duales	137
Figura 98, Comparación de la demanda del acero de refuerzo total en edificios de muros estructurales	138
Figura 99, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en vigas en edificios duales.....	139
Figura 100, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en vigas en edificios de muros estructurales	140
Figura 101, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en columnas en edificios duales	141
Figura 102, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en columnas en	

edificios de muros estructurales	142
Figura 103, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en muros en edificios duales	143
Figura 104, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en muros en edificios de muros estructurales	144
Figura 105, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en zapatas en edificios duales	145
Figura 106, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en zapatas en edificios de muros estructurales	146
Figura 107, Comparación del costo del material de acero de refuerzo total en edificios duales	147
Figura 108, Comparación del costo del material de acero de refuerzo total en edificios de muros estructurales	148
Figura 109, Comparación del costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo en edificios duales	149
Figura 110, Comparación del costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo en edificios de muros estructurales.....	150
Figura 111, Base de datos del repositorio de tesis de la PUCP	156
Figura 112, Histograma de áreas en planta de la categoría de 5 pisos	157
Figura 113, Histograma de longitud mayor en planta de la categoría de 5 pisos	157
Figura 114, Histograma de longitud menor en planta de la categoría de 5 pisos	158
Figura 115, Histograma de altura de entrepiso de la categoría de 5 pisos.....	158
Figura 116, Histograma de altura total de la categoría de 5 pisos	159
Figura 117, Histograma de áreas en planta de la categoría de 10 pisos	159
Figura 118, Histograma de longitud mayor de la categoría de 10 pisos.....	160
Figura 119, Histograma de longitud menor de la categoría de 10 pisos.....	160
Figura 120, Histograma de altura de entrepiso de la categoría de 10 pisos.....	161
Figura 121, Histograma de altura total de la categoría de 10 pisos	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1, Factores de zona, normas E.030-2003 y E.030-2018	8
Tabla 2, Parámetros del suelo, norma E.030-2003	9
Tabla 3, Perfiles del suelo, norma E.030-2018	9
Tabla 4, Parámetros del suelo, norma E.030-2018	9
Tabla 5, Porcentaje para definir el sistema estructural en estructuras de C.A.....	10
Tabla 6, Coeficiente de reducción “R” E.030-2003	11
Tabla 7, Coeficiente básico de reducción “R ₀ ” E.030-2018.....	11
Tabla 8, Parámetros sísmicos E.030-2003	20
Tabla 9, Parámetros sísmicos E.030-2018.....	20
Tabla 10, Peso del tabique de metros lineales a metros cuadrados	22
Tabla 11, Cargas consideradas para los modelos matemáticos	22
Tabla 12, Resumen de análisis estadístico.....	23
Tabla 13, Características de las edificaciones a estudiar	23
Tabla 14, Dimensiones de elementos estructurales en D5.....	26
Tabla 15, Dimensiones de elementos estructurales en D10.....	27
Tabla 16, Dimensiones de elementos estructurales en D15.....	28
Tabla 17, Dimensiones de elementos estructurales en D20.....	29
Tabla 18, Dimensiones de elementos estructurales en M5	30
Tabla 19, Dimensiones de elementos estructurales en M10.....	31
Tabla 20, Dimensiones de elementos estructurales en M15	32
Tabla 21, Dimensiones de elementos estructurales en M20.....	33
Tabla 22, Densidad estructural de los edificios a estudiar.....	34
Tabla 23, Dimensiones de cimentación en D5	34
Tabla 24, Dimensiones de cimentación en D10	35
Tabla 25, Dimensiones de cimentación en D15	36
Tabla 26, Dimensiones de cimentación en D20	37
Tabla 27, Dimensiones de cimentación en M5	38
Tabla 28, Dimensiones de cimentación en M10.....	39
Tabla 29, Dimensiones de cimentación en M15	40
Tabla 30, Dimensiones de cimentación en M20.....	41
Tabla 31, Porcentaje de columnas y muros estructurales de edificios a estudiar	43
Tabla 32, Periodo fundamental de vibración de los edificios a estudiar	44

Tabla 33, Fuerza cortante estática total en la base de los edificios a estudiar	44
Tabla 34, Distribución de la fuerza estática en altura en D5	44
Tabla 35, Distribución de la fuerza estática en altura en D10	45
Tabla 36, Distribución de la fuerza estática en altura en D15	45
Tabla 37, Distribución de la fuerza estática en altura en D20	46
Tabla 38, Distribución de la fuerza estática en altura en M5	46
Tabla 39, Distribución de la fuerza estática en altura en M10	46
Tabla 40, Distribución de la fuerza estática en altura en M15	47
Tabla 41, Distribución de la fuerza estática en altura en M20	47
Tabla 42, Espectro de respuesta regular dual y de muros estructurales de ambas normas	52
Tabla 43, Periodos, modos y masas efectivas de edificios a estudiar.....	54
Tabla 44, Fuerza cortante dinámica total en la base de edificios a estudiar	55
Tabla 45, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en D5.....	55
Tabla 46, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en D10.....	55
Tabla 47, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en D15.....	56
Tabla 48, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en D20.....	56
Tabla 49, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en M5	56
Tabla 50, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en M10	57
Tabla 51, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en M15	57
Tabla 52, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en M20	58
Tabla 53, Desplazamientos laterales en D5	63
Tabla 54, Desplazamientos laterales en D10	63
Tabla 55, Desplazamientos laterales en D15	63
Tabla 56, Desplazamientos laterales en D20	64
Tabla 57, Desplazamientos laterales en M5	64
Tabla 58, Desplazamientos laterales en M10	64
Tabla 59, Desplazamientos laterales en M15	65
Tabla 60, Desplazamientos laterales en M20	65
Tabla 61, Cumplimiento del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima	70
Tabla 62, Cumplimiento de los desplazamientos laterales relativos admisibles	70
Tabla 63, Cumplimiento del factor de seguridad del momento de volteo	71
Tabla 64, Longitud de desarrollo de ganchos estándar en tracción	89
Tabla 65, Factor de conversión de metros a kilogramos para el acero de refuerzo.....	89

Tabla 66, Metrado de un ejemplar de viga	90
Tabla 67, Metrado de un ejemplar de columna	90
Tabla 68, Metrado de un ejemplar de muro estructural	90
Tabla 69, Metrado de un ejemplar de zapata aislada	90
Tabla 70, Precio de los materiales de concreto, acero y ladrillo de techo	91
Tabla 71, Metrado en vigas en edificios duales	91
Tabla 72, Metrado en vigas en edificios de muros estructurales	91
Tabla 73, Metrado en columnas en edificios duales	92
Tabla 74, Metrado en columnas en edificios de muros estructurales	92
Tabla 75, Metrado en muros en edificios duales	92
Tabla 76, Metrado en muros en edificios de muros estructurales	93
Tabla 77, Metrado en zapatas en edificios duales	93
Tabla 78, Metrado en zapatas en edificios de muros estructurales	93
Tabla 79, Metrado en losas aligeradas y maciza	94
Tabla 80, Metrado en todos los elementos estructurales en edificios duales	94
Tabla 81, Metrado en todos los elementos estructurales en edificios de muros estructurales	94
Tabla 82, Ratios del acero con respecto al concreto en los elementos estructurales en edificios duales	95
Tabla 83, Ratios del acero con respecto al concreto en los elementos estructurales en edificios de muros estructurales	95
Tabla 84, Costos de los materiales en vigas en edificios duales	95
Tabla 85, Costos de los materiales en vigas en edificios de muros estructurales	96
Tabla 86, Costos de los materiales en columnas en edificios duales	96
Tabla 87, Costos de los materiales en columnas en edificios de muros estructurales	96
Tabla 88, Costos de los materiales en muros en edificios duales	96
Tabla 89, Costos de los materiales en muros en edificios de muros estructurales	97
Tabla 90, Costos de los materiales en zapatas en edificios duales	97
Tabla 91, Costos de los materiales en zapatas en edificios de muros estructurales	97
Tabla 92, Costos de los materiales en losas aligeradas y macizas	97
Tabla 93, Costos de los materiales en todos los elementos estructurales en edificios duales	98
Tabla 94, Costos de los materiales en todos los elementos estructurales en edificios de muros estructurales	98

RESUMEN

El Perú se encuentra en una región sísmica, esos efectos naturales causan grandes pérdidas económicas, humanas y un gran retraso como desarrollo del país. Por tal motivo, se hacen investigaciones con fines de mejorar las normativas para mitigar estos daños. En tal sentido, la presente investigación titulada: “Influencia de las normas E.030-2003 y E.030-2018 en el diseño sísmico de edificaciones de concreto armado de diferentes alturas” plantea como objetivo evaluar la influencia de las normas E.030-2003 y E.030-2018 en la respuesta sísmica, diseño estructural y costos.

Para esta investigación las edificaciones ficticias duales y de muros estructurales de 5, 10, 15 y 20 pisos se evalúan con las normas E.030-2003 y E.030-2018, y se mantienen constante las dimensiones de los elementos estructurales. Se logra comparar las siguientes variables: la fuerza cortante dinámica total en la base, el factor de amplificación de la fuerza cortante mínima, los desplazamientos laterales, el factor de seguridad del momento de volteo, la demanda del acero de refuerzo y el costo del material de acero de refuerzo en las vigas, columnas, muros y zapatas.

Como principal resultado, la respuesta sísmica en las variables analizadas como la fuerza cortante dinámica total en la base, los desplazamientos laterales, entre otros; presentan decrementos del 12.0% e incrementos hasta 12.5% de la comparación de la norma E.030-2018 con respecto a la norma E.030-2003 de todos los edificios evaluados. Además, la demanda del acero de refuerzo en el diseño estructural y su costo en cada elemento estructural por edificio, presentan incrementos de hasta 21.5% y 7.6% respectivamente. Finalmente, en la demanda del acero de refuerzo y el costo del material de acero de refuerzo, se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios de 5, 10 y 15 pisos, pero solo en los edificios de 20 pisos, no se presentan cambios.

Palabras claves: Influencia en la altura, Análisis Sísmico, Diseño Estructural, Costos, Comparación de normas sismorresistentes E.030.

ABSTRACT

Peru is in a seismic region, these natural effects cause great economic, human losses and a great delay as the country's development. For this reason, investigations are carried out to improve regulations to mitigate these damages. In this regard, this research entitled: "Influence of Standards E.030-2003 and E.030-2018 in the Seismic Design of reinforced concrete buildings of different heights" aims to assess the influence of E.030 standards - 2003 and E.030-2018 in seismic response, structural design and costs.

For this investigation the dual fictitious buildings and structural walls of 5, 10, 15 and 20-story are evaluated with standards E.030-2003 and E.030-2018, and the dimensions of the structural elements are kept constant. It is possible to compare the following variables: the total dynamic shear force at the base, the amplification factor of the minimum shear force, the lateral displacements, the safety factor of the turning moment, the demand of the reinforcing steel and the cost of the material of reinforcement steel in the beams, columns, walls and footings.

As a main result, the seismic response in the analyzed variables such as the total dynamic shear force at the base, the lateral displacements, among others; show decreases of 12.0% and increases up to 12.5% of the comparison of the standard E.030-2018 with respect to the standard E.030-2003 of all buildings evaluated. In addition, the demand for reinforcement steel in structural design and its cost in each structural element per building, show increases of up to 21.5% and 7.6% respectively. Finally, in the demand for reinforcing steel and the cost of reinforcing steel material, a tendency to reduce is identified as the height increases in 5, 10 and 15-story buildings, but only in 20-story buildings, there are no changes.

Keywords: Influence in height, Seismic Analysis, Structural Design, Costs, Comparison of seismic standards E.030.

INTRODUCCIÓN

El Perú por ser un país con alta actividad sísmica, en el transcurrir de los años y debido a los diversas investigaciones en el área de la ingeniería civil en los diferentes países del mundo y también en el Perú, además de haber experimentado sismos de diferentes magnitudes e intensidades; hace necesario mantener actualizada la norma técnica de edificación E.030 diseño sismorresistente.

Mediante edificaciones ficticias de 5, 10, 15 y 20 pisos (13,5; 27; 40,5m; 54 metros de altura respectivamente) con 2 sistema estructurales, duales y de muros estructurales, sin presentar irregularidades, se pretender cuantificar los cambios que se podrían atribuir por la actualización de la norma técnica E.030 tanto en la respuesta sísmica como en el diseño estructural y costos.

La investigación consta de VIII capítulos estructuralmente interrelacionados en forma secuencial, como son:

Capítulo I, trata sobre el planteamiento del problema, incluyendo el marco situacional, problema, importancia, objetivo general y objetivos específicos, metodología y estudios anteriores.

Capítulo II, corresponde al marco teórico, donde se detalla las modificaciones entre normas, métodos utilizados, conceptos sobre el diseño estructural, disposiciones adicionales de otras nomas locales y programas utilizados.

Capítulo III, se exponen las características de las edificaciones a evaluar como los parámetros sísmicos, materiales, elevación y planta típica, dimensiones de los elementos estructurales y consideraciones que se tomaron en cuenta en el modelo matemático.

Capítulo IV, se detalla las variables de las estructuras.

Capítulo V, está destinado al análisis sísmico de las edificaciones según las normas técnicas E.030-2003 y E.030-2018.

Capítulo VI, está conformado por el diseño estructural de un ejemplar típico de cada elemento estructural.

Capítulo VII, corresponde a los metrados y costos de los materiales de las edificaciones según las normas técnicas E.030-2003 y E.030-2018.

Capítulo VIII, se expone la evaluación de resultados de las múltiples comparaciones realizadas.

Finalmente las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación, esperando que ésta sea un antecedente para futuros estudios respecto a las normas sismorresistentes de edificaciones de concreto armado con diferentes sistemas estructurales e irregularidades.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1 Marco situacional

La margen occidental de Latinoamérica es caracterizada por ser una de las regiones con la más alta actividad sísmica en el mundo, perteneciente al área conocida como el Cinturón de Fuego. El Perú se encuentra en esta región y la actividad sísmica con mayor relevancia está relacionada al proceso de subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana, dando origen a terremotos de gran magnitud con relativa frecuencia.

Frente a numerosos eventos sísmicos en el Perú, se han realizado diversos estudios ingenieriles y geofísicos a partir de los cuales surgió la primera norma sísmica peruana en el año 1964; posteriormente la profesión de ingeniería civil constantemente entra en actualizaciones por los diversos ensayos de laboratorio, nuevas metodologías, lecciones aprendidas de sismos históricos e investigaciones que permiten comprender mejor el comportamiento de las edificaciones que son afectadas por los eventos sísmicos, lo cual lleva continuamente a la actualización de la norma técnica E.030. Presentándose así en los años 1968, 1970, 1977, 1997, 2003, 2014, 2016 y la norma vigente en el 2018.

1.2 Problema

La norma E.030 del 2018 presenta diferencias en relación a la del 2003; como por ejemplo: en el factor de zona, suelo, uso, amplificación sísmica y reducción, el valor mínimo de la relación C/R, en los valores independientes para las irregularidades en planta y altura, en la distribución de la fuerza sísmica en altura, el valor del factor de seguridad del momento de volteo, etcétera. Por lo tanto, se hace indispensable evaluar el impacto que tendrá ésta, con respecto a las edificaciones de concreto armado con características que traten de englobar las estructuras existentes de Lima.

1.3 Importancia

En los últimos años las construcciones en el Perú han tenido un crecimiento significativo en el crecimiento económico peruano, específicamente en los sectores inmobiliarios y comerciales. Por esta razón se debe conocer las diferencias que existen entre ambas normas para así tener una idea general sobre la vulnerabilidad sísmica de las estructuras particularmente ubicadas en la zona 4.

El presente trabajo de investigación es de importancia debido a que su desarrollo, permite evaluar el impacto de la norma técnica E.030-2018 en la respuesta sísmica, diseño estructural y costos para que de esta manera se obtengan resultados y conocer hasta que número de pisos o cuantos metros de altura en un edificio de concreto armado de ciertas características evidencia cambios que puedan atribuirse al cambio de norma.

Así mismo, esta investigación ha permitido incrementar los conocimientos sobre la nueva coyuntura en el Perú con respecto a las normas y tener información fidedigna de referencia sobre las edificaciones evaluadas; finalmente, la investigación se convertirá en un antecedente para que próximos investigadores extiendan estos estudios en las demás variables de la norma sismorresistente y otros tipos de edificaciones.

1.4 Objetivo

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la influencia de las normas E.030-2003 y E.030-2018 en la respuesta sísmica, diseño estructural y costos en los elementos estructurales de edificaciones ficticias de concreto armado con dos sistemas estructurales, duales y de muros estructurales, de 5, 10, 15 y 20 pisos (13,5; 27,0; 40,5m; 54,0 metros de altura respectivamente), cumpliendo paralelamente con otras normas locales (E.020-2006, E.060-2009).

1.4.2. Objetivos específicos

Objetivo específico 1

Evaluar la respuesta sísmica en la fuerza cortante dinámica total en la base, el factor de amplificación de la fuerza cortante mínima, los desplazamientos laterales y el factor de seguridad del momento de volteo de las 16 edificaciones a estudiar.

Objetivo específico 2

Evaluar la demanda del acero de refuerzo en el diseño estructural en las vigas, columnas, muros y zapatas de las 16 edificaciones a estudiar.

Objetivo específico 3

Evaluar el costo del material de acero de refuerzo en las vigas, losas aligeradas, losas macizas, columnas, muros y zapatas de las 16 edificaciones a estudiar.

1.5 Metodología

El trabajo de investigación parte de la revisión bibliográfica con la lectura de tesis que abordan los temas de comparación de normas, libros con contenido sobre análisis sísmico y diseño estructural, así como manuales para la mejor comprensión y manejo óptimo de los programas empleados para la ejecución de los modelos matemáticos y las normativas peruanas del cual nos presentan criterios mínimos para el proyecto.

En función de los conocimientos recopilados, se propusieron los modelos matemáticos con ciertas características. Todos los cálculos adquiridos del ETABS y SAFE se trabajaron mediante hojas de cálculo en Excel que facilitaron en gran medida el diseño estructural y el metrado de materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo.

Con todos los resultados obtenidos se concluyó la tesis realizando las comparaciones según las variables planteadas, dando lugar a las conclusiones y recomendaciones.

1.6 Estudios anteriores

Quispe (2015) en su tesis arribó a las siguientes conclusiones:

Diseñar un edificio de 5 pisos y con una ubicación en el distrito de surquillo con esta nueva norma E.030-2014 que muy pronto entrará en vigencia presenta reducciones muy pequeñas solo en el caso de las cimentaciones a la hora de calcular las secciones de concreto y cantidad de acero en comparación al que se realiza con la actual norma E.030-2003, las variación en las demandas sísmicas son muy pequeñas, reduciendo aproximadamente en un 0.70% el presupuesto de obras de concreto armado para un edificio con estas características y de periodo corto.

La modificación de los parámetros en su metodología de cálculo se ha simplificado, las nuevas restricción en la forma de calcular el coeficiente final es más estricto con la incorporación de correcciones por irregularidad en planta y altura que mejoran el comportamiento sísmico de la edificación, también hacen la incorporación de una nueva zona sísmica y su factor de 0.45 que amplifica la cortante estática y dinámica, se ha notado que la nueva norma no pretende reforzar más la edificación, sino que pretende mejorar su configuración y comportamiento estructural ante una amenaza sísmica así como mejorará su

interpretación para su correcta aplicación en los diseños (p.260).

Aranguren (2011) en su tesis concluye lo siguiente:

Las variaciones del costo del cambio de normatividad sismo resistente están vinculadas a consideraciones de configuración de la edificación y parámetros sísmicos. De esta forma edificaciones irregulares deben ser diseñadas con valores de R menores y esto produce un aumento de la fuerza sísmica para el diseño de los elementos de resistencia sísmica, lo cual aumenta los costos de la estructura. Adicionalmente el cambio de los parámetros derivados de la actualización de la Microzonificación Sísmica de Bogotá afecta el costo de la estructura del proyecto, los espectros de diseño son menores a los prescritos según la Microzonificación Sísmica de Bogotá asociada a la NSR-98, por lo que el costo de la estructura disminuye en este caso.

La aplicación de la actualización de la norma sismo resistente no presentó un cambio significativo en los costos del sistema de resistencia sísmica en las edificaciones estudiadas. Una de las posibles causas de la diferencia de la variación teórica de los cambios en relación a la variación real de los costos, es la aplicación de aspectos constructivos considerados en el despiece de los elementos.

No existe un sobre costo, ni tampoco un ahorro considerable en los costos derivados del cambio de norma sismo resistente. Los costos se mantienen en un rango de variación, de tal forma que no se le debe atribuir a la norma ni beneficio ni perjuicio para la industria de la construcción. Sin embargo se reclama un análisis juicioso previo al desarrollo de un proyecto, evaluando alternativas que a través del diseño arquitectónico con criterios de sismorresistencia, ofrezca la misma seguridad pero la mayor economía en los costos de la construcción. Esto puede lograrse a través de consideraciones de redundancia y control de irregularidades (p. 81).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Normas E.030-2003 y E.030-2018

Ambas normativas sismorresistentes presentan las consideraciones mínimas que se deben aplicar para el desarrollo del análisis sísmico en estructuras de edificios por diseñar, en el reforzamiento de estructuras existentes y en la reparación de las dañadas por el evento sísmico.

La actualización de la normativa E.030 empezó con el proyecto de norma E.030-2014 que reemplazó a la norma E.030-2003 y entró en discusión pública a nivel nacional. Posterior a ello, entró en vigencia la norma E.030-2016 y de ésta, se realizaron ciertas modificaciones que finalmente fue sustituida por la actual norma E.030-2018.

Comparando la norma E.030-2003 y E.030-2018 existen algunos incrementos de valores como el factor de zona, inclusión de nuevos criterios como la limitación de los sistemas de transferencias, incursión a la protección sísmica para edificaciones esenciales A1, etcétera. Del cual se presentarán en los siguientes incisos.

2.1.1 Factor de zona, “Z”

La norma vigente presenta una nueva zona sísmica, además de integrar dentro de la Zona 2 un área de la Zona 3 tal como se muestra en la figura 1 y tabla 1. También, en su anexo respectivo indican todos los distritos pertenecientes a cada zona.

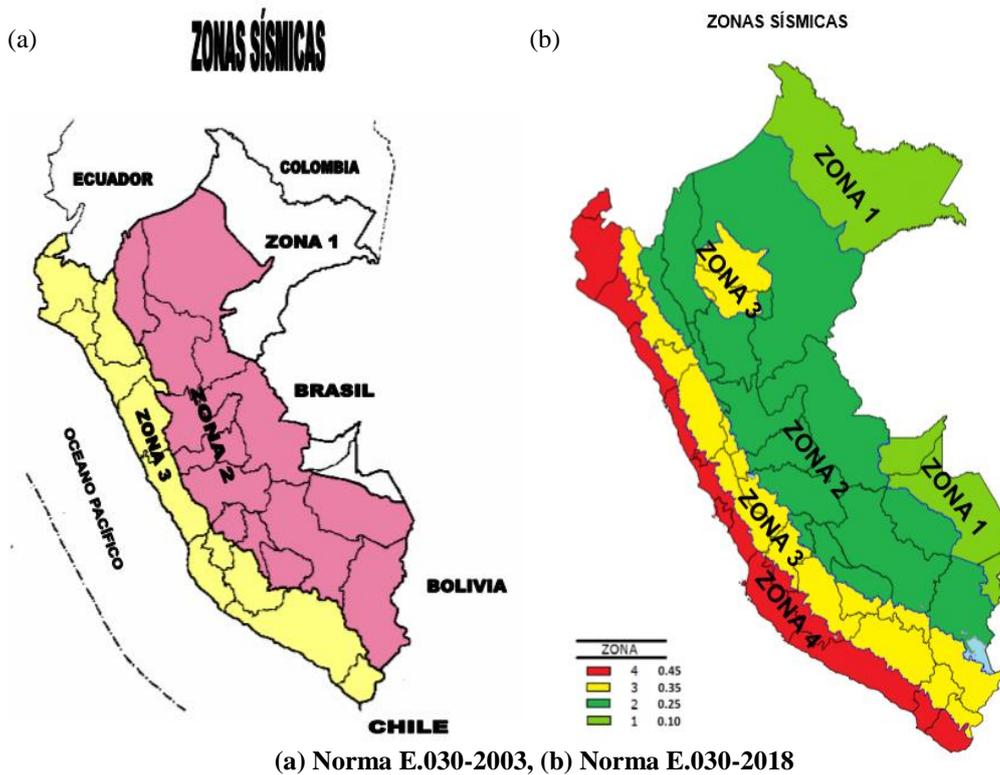


Figura 1, Comparación de Zonas Sísmicas según normas
Fuente: MVCS. Norma E.030-2003, Norma E.030-2018

Tabla 1, Factores de zona, normas E.030-2003 y E.030-2018

FACTORES DE ZONA		FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z	ZONA	Z
3	0,4	4	0,45
2	0,3	3	0,35
1	0,15	2	0,25
		1	0,10

Fuente: MVCS. Norma E.030-2003, Norma E.030-2018

2.1.2 Factor de suelo, "S"

La norma E.030-2018 nos presenta dos nuevos términos, S_0 y T_L , que son variables para la construcción del espectro de respuesta. En las tablas 2, 3 y 4 se presentan los parámetros de suelos de ambas normas.

Tabla 2, Parámetros del suelo, norma E.030-2003

Parámetros del Suelo			
Tipo	Descripción	T _P (s)	S
S ₁	Roca o suelo muy rígido	0,4	1,0
S ₂	Suelos intermedios	0,6	1,2
S ₃	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	0,9	1,4
S ₄	Condiciones excepcionales	*	*

(*) Los valores de T_P y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S₃.

Fuente: MVCS. Norma E.030-2003

Tabla 3, Perfiles del suelo, norma E.030-2018

Perfiles del Suelo	
Tipo	Descripción
S ₀	Roca Dura
S ₁	Roca o Suelo Muy Rígido
S ₂	Suelos Intermedios
S ₃	Suelos Blandos
S ₄	Condiciones excepcionales (*)

(*) Los valores de S, T_P y T_L para este caso serán establecidos por el EMS.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4, Parámetros del suelo, norma E.030-2018

	Factor de Suelo				Periodos "T _P " y T _L "				
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	Perfiles de Suelo				
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10					
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20	T _P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40	T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00					

Fuente: MVCS. Norma E.030-2018

2.1.3 Factor de amplificación sísmica, "C"

El término T_L disminuye el espectro de diseño para edificaciones de periodos largos, lo que no se consideraba en la norma anterior.

Para la norma E.030-2003:

$$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right) \leq 2,5$$

Para la norma E.030-2018:

$$T < T_P, \quad C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L, \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L, \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$$

2.1.4 Factor de uso, “U”

Las tablas de “Categoría de las Edificaciones” para las normas en estudio incluyen la categorización de las estructuras en: esenciales, importantes, comunes y menores; para las cuales los factores de uso permanecen con los mismos valores para ambas normas.

Aunque, la norma vigente ahora exige el uso de la protección sísmica en los establecimientos del Sector Salud catalogados en A1, que es un nuevo aspecto considerado para mitigar los daños por el evento sísmico y asegurar que aún permanezcan en un nivel de comportamiento operativo.

2.1.5 Sistemas estructurales y factor de reducción, “R”

Se presentan cambios en los porcentajes de la fuerza cortante total en la base que absorben los muros y pórticos para definir el sistema estructural de estructuras de concreto armado que se muestra en la tabla 5.

Tabla 5, Porcentaje para definir el sistema estructural en estructuras de C.A.

Sistema Estructural	E.030-2003	E.030-2018
Pórticos	80% Vb < ΣCol	80% Vb < ΣCol
Dual	20% Vb < ΣMuros < 80% Vb, Diseño de pórticos por lo menos con el 25% Vb.	20% Vb < ΣMuros < 70% Vb, Diseño de pórticos por lo menos con el 30% Vb.
Muros estructurales	80% Vb < ΣMuros	70% Vb < ΣMuros

Fuente: Elaboración propia

También dan a conocer más sistemas estructurales de estructuras de acero consistentes con la ASCE/SEI 7-10 como: Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF), Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF), Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF), etcétera. La tabla 6 y 7 se muestran los sistemas estructurales y su coeficiente de reducción de ambas normas.

Tabla 6, Coeficiente de reducción “R” E.030-2003

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente de Reducción, R
Acero	
Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos.	9,5
Otras estructuras de acero:	
Arriostres Excéntricos.	6,5
Arriostres en Cruz.	6,0
Concreto Armado	
Pórticos ⁽¹⁾ .	8
Dual ⁽²⁾ .	7
De muros estructurales ⁽³⁾ .	6
Muros de ductilidad limitada ⁽⁴⁾ .	4
Albañilería Armada o Confinada ⁽⁵⁾ .	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: MVCS. Norma E.030-2003

Tabla 7, Coeficiente básico de reducción “R₀” E.030-2018

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción, R ₀
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: MVCS. Norma E.030-2018

2.1.6 Factores de irregularidad

La actual norma cuenta ahora con Irregularidades Extremas que se refleja en una tabla de restricciones según su categoría y la zona del proyecto. También se ha agregado la Irregularidad de Resistencia - Piso Débil y Sistemas no Paralelos.

Además, se ha incluido valores independientes para cada tipo de irregularidad en altura y en planta, valores que oscilan entre 0,50 a 0,90.

En la norma E.030-2003 era suficiente la existencia de una sola irregularidad sea en altura o en planta y el factor de reducción se multiplicaba por 0,75; ahora las irregularidades en altura y en planta se conocen como Factores de Irregularidad I_a e I_p respectivamente y para obtener el factor de reducción se usa la siguiente ecuación:

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

2.1.7 Análisis estático

El cálculo de la fuerza cortante total en la base para ambas normas no ha variado, pero si el valor mínimo de la relación C/R, y son los siguientes:

$$V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P$$

Para la norma E.030-2003:

$$\frac{C}{R} \geq 0,125$$

Para la norma E.030-2018:

$$\frac{C}{R} \geq 0,11$$

En cambio, ahora para calcular la distribución de fuerza sísmica en altura se ha retirado la fuerza F_a y se ha incluido una variable k que es un factor exponencial y esta en función del periodo fundamental de vibración.

Para la norma E.030-2003:

Si T es mayor que 0,7 segundos, se considerará una fuerza concentrada F_a que se aplicará en la parte superior de la estructura

$$F_a = 0,07 \cdot T \cdot V \leq 0,15 \cdot V$$

$$F_i = \frac{P_i \cdot h_i}{\sum_{j=1}^n P_j \cdot h_j} \cdot (V - F_a)$$

Para la norma E.030-2018:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

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

- a) Para T menor o igual a 0,5 segundos: $k = 1,0$.
 b) Para T mayor que 0,5 segundos: $k = (0,75 + 0,5T) \leq 2,0$.

Para la determinación del periodo fundamental de vibración se sigue considerando la misma fórmula y el método alternativo con la misma jerarquía en ambas normativas. Aunque, ahora se ha especificado que valores de C_T le corresponde a los sistemas estructurales de estructuras de acero.

2.1.8 Análisis dinámico

El método considerado para ambas normas es el Análisis Modal Espectral y aplicándolo para un sismo horizontal y vertical simultáneamente en las dos direcciones ortogonales de manera independiente si son estructuras regulares, para estructural irregulares se supondrá una dirección que resulte más desfavorable para el diseño estructural.

Con respecto a la combinación modal solo presenta una modificación en la jerarquía de los métodos, siendo para la E.030-2018 como primer método la combinación cuadrática completa (CQC) y como método alternativo el promedio ponderado de la suma de los valores absolutos (ABSSUM) y la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS).

2.1.9 Desplazamientos laterales

El criterio sigue siendo el mismo con respecto a las estructuras regulares al multiplicar los desplazamientos obtenidos del análisis lineal y elástico por $0,75R$ para determinar los desplazamientos laterales, pero para las estructuras irregulares tenemos una exigencia mayor en la vigente norma con un multiplicador de $0,85R$.

2.1.10 Redundancia

Ambas normas mencionan que cuando un elemento vertical, sea muro o pórtico, absorbe 30% o más de la fuerza cortante del entrepiso deberá ser diseñado por el 125% de dicha fuerza.

2.1.11 Cimentaciones

La E.030-2018 especifica una reducción de las fuerzas sísmicas para las presiones

actuantes al suelo, este factor es de 0,8. Para este mismo criterio, la E.030-2003 no detalla específicamente en la misma norma un valor correspondiente aunque la E.060-2009 detalla un valor de 0,8; predominando éste en los últimos años.

Considerando ahora el momento de volteo, tenemos una variación en el factor de seguridad para la anterior y la actual norma de 1,5 y 1,2 respectivamente.

2.2 Métodos de análisis sísmico

Dentro del diseño sismorresistente, se han desarrollado métodos como el análisis estático y el análisis dinámico, uno más complejo que el otro pero con el fin de presentar resultados que representen mejor las fuerzas sísmicas.

El objetivo del análisis sísmico es determinar los efectos sísmicos en los elementos estructurales, así como las deformaciones de la edificación representando las fuerzas que se generan por el movimiento sísmico mediante las fuerzas laterales aplicadas en los entrepisos.

El análisis estático está en función únicamente del peso y los parámetros sísmicos correspondientes, representando así fuerzas estáticas equivalentes en una distribución triangular o curva. Además, cuando un proyecto presenta irregularidades que generan fuerzas internas particulares en cada elemento, no le es posible cuantificar dichas fuerzas mediante el análisis estático.

Mientras que el análisis dinámico tiene en consideración la distribución de masas, la rigidez, el amortiguamiento, los grados de libertad, la excitación sísmica por el movimiento de la base, entre otros aspectos; permitiendo representar cualquier tipo de irregularidad presente en el proyecto. Entonces, dentro del análisis dinámico tenemos la ecuación diferencial de movimiento para un sistema de varios grados de libertad que representa a una estructura real, la ecuación es:

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = -MI\ddot{u}_G(t)$$

Donde \ddot{U}, \dot{U}, U son vectores de aceleración, velocidad y desplazamiento de los n grados de libertad, M, C, K son matrices de masas, amortiguamiento y rigidez, I representa un vector cuyos elementos son iguales a la unidad y $\ddot{u}_G(t)$ es la aceleración del sismo.

Con el fin de poder resolver el sistema de ecuaciones diferenciales se desarrollaron

diversos métodos y uno de ellos es conocido como el análisis modal, que es el más utilizado para conocer la respuesta sísmica en las estructuras. Este método permite desacoplar los n grados de libertad a n ecuaciones de movimiento de un grado de libertad, siendo la solución resolver un número determinado de n ecuaciones de movimiento para obtener las fuerzas sísmicas validándolo como suficiente cuando cumple un porcentaje de masa efectiva definido por las normas locales. Tenemos la ecuación modal de movimiento:

$$U = \sum_{i=1}^n a_{i(t)} \Gamma_i X_i$$

$$\ddot{a}_{i(t)} + 2\beta\omega_i \dot{a}_{i(t)} + \omega_i^2 a_{i(t)} = -\ddot{u}_g(t); \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Donde $a_{i(t)}$ es un factor de participación dinámica, Γ_i es un factor de participación estática y X_i es una forma de modo, todos para cada modo de vibración “ i ”.

2.2.1 Análisis modal espectral

El análisis modal se puede resolver de dos formas, una es mediante el análisis tiempo-historia y el otro por el análisis modal espectral. Este último método mencionado está en función de las n ecuaciones de movimiento de un grado de libertad y de un espectro de respuesta definido según las normas locales, su ecuación es:

$$Y_i = S_{di} \Gamma_i X_i$$

$$S_{di} = \frac{S_{ai}}{\omega_i^2}$$

Donde S_{di} es el valor leído del espectro de desplazamiento, S_{ai} es el valor leído del espectro de pseudo-aceleración y Y_i es la respuesta modal, todos para cada modo de vibración “ i ”.

2.2.2 Combinación modal

Superponer los valores absolutos de las respuestas máximas modales sería un método muy conservador para el análisis sísmico ya que dichas respuestas alcanzan sus valores máximos en diferentes instantes de tiempo.

El objetivo de la combinación modal es aproximar la respuesta máxima modal obtenida

por el análisis modal espectral a la respuesta máxima predicha por el análisis tiempo-historia.

Los principales métodos aplicados en el Perú son la combinación cuadrática completa (CQC) y el promedio ponderado de la suma de los valores absolutos (ABSSUM) y la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS).

Cabe recalcar que la SRSS es un excelente método solo para estructuras con frecuencias naturales muy separadas, mientras que la CQC es aplicable a la mayoría de estructuras. Cuando las frecuencias naturales son muy separadas aplicando la CQC, los coeficientes ρ_{in} son muy pequeños y así la CQC se reduce a la SRSS.

2.2.3 Espectro de diseño

Los movimientos del terreno y los efectos que causan a las estructuras pueden caracterizarse mediante el espectro de respuesta; de manera general, éste se construye con un juego de registros de aceleración y la variación del periodo de un sistema de 1GDL, del cual se consigue el espectro de respuesta de desplazamiento y seguidamente aplicando las siguientes fórmulas:

$$S_v = S_d \omega$$

$$S_a = S_d \omega^2$$

Se calculan los espectros de respuesta de pseudo-velocidad y pseudo-aceleración. Los espectros de respuesta de pseudo-aceleración son definidos por las normas locales y es un aspecto fundamental para la aplicación del análisis modal espectral.

2.3 Predimensionamiento

El predimensionamiento es una primera iteración de las dimensiones mínimas de los elementos estructurales de manera general y con ello poder hacer un primer modelo matemático de cualquier proyecto.

Por lo tanto, el predimensionamiento para los elementos estructurales se realizó según los criterios desarrollados en los libros y normas presentados en las referencias bibliográficas.

2.4 Método de diseño estructural

El diseño por resistencia contiene dos aspectos principales que son los factores de cargas y los factores de reducción, el primero es conocido como las cargas mayoradas que amplifican en caso de un eventual aumento de cargas no especificado en el análisis previamente y así evitando la falla de algún elementos estructural por este medio. Las amplificaciones se observan en las combinaciones de diseño que lo establece cada normativa.

Como segundo aspecto son los factores de reducción que disminuyen la capacidad de los elementos estructurales por dos motivos, uno es un control hacia la inexactitud en las propiedades de los materiales y la diferencia que existe en los planos estructurales con la ejecución en obra. El otro motivo, es de una manera orientar a una falla deseable a los elementos estructurales con el fin principal de cumplir la filosofía de evitar el colapso. Los valores de los factores se especifican en cada normativa.

2.5 Norma E.060-2009

La norma peruana de concreto armado tiene un capítulo titulado “Disposiciones Especiales para el Diseño Sísmico” del cual establece criterios adicionales con respecto a las dimensiones y área del acero de refuerzo para todos los elementos estructurales, como por ejemplo: los elementos de borde en los muros estructurales, el refuerzo transversal en la unión viga-columna, espaciamientos reglamentarios más exigentes, criterios que aumentan el refuerzo transversal, el concepto de columna fuerte viga débil, etcétera.

En los otros capítulos especifican consideraciones con respecto a la longitud de desarrollo, flexión, carga axial, cortante, torsión, efecto de esbeltez, control de fisuración, alternancia de carga, entre otros. Todo lo indicado en la norma E.060 son consideraciones mínimas para todos los elementos estructurales que deben cumplir en su totalidad.

2.6 Norma E.020-2006

De la norma de cargas se obtuvo las cargas vivas mínimas repartidas que se deben considerar según el uso de la edificación, además se permite reducir dichas cargas únicamente para el diseño estructural a un valor máximo de un 50%. Aunque no es aplicable para todos los casos y también establece sus limitaciones.

2.7 Programas utilizados en el análisis, diseño y metrado de materiales

Los programas a utilizar son seleccionados por el dominio de éstos y por los resultados confiables que proporcionan.

2.7.1 ETABS 2016

El programa está basado únicamente para el análisis y diseño de edificios. Además, el programa utiliza el método de elementos finitos con elementos frame y shell, aunque para los elementos shell se le debe asignar un enmallado correspondiente para aplicar el método correctamente. Finalmente, en su base de datos tiene incorporado múltiples normas, entre ellas, la norma ACI 318-14 que posteriormente en el capítulo VI se indica las modificaciones correspondientes en las preferencias de diseño para poder adaptarla a la norma E.060-2009.

2.7.2 SAFE 2016

Con SAFE es posible analizar y diseñar la cimentación con el método de elementos finitos y también importar los cálculos provenientes del ETABS. Tiene incorporada la norma ACI 318-14 que posteriormente en el capítulo VI se indica las modificaciones correspondientes en las preferencias de diseño para poder adaptarla a la norma E.060-2009.

2.7.3 Excel 2013

Excel permite facilitar cualquier tipo de cálculo manual debido a su interfaz. Por lo cual se programaron diversas hojas de cálculo para almacenar y comparar todos los datos obtenidos del análisis, diseño y metrado.

CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS DE LAS EDIFICACIONES A ESTUDIAR

3.1 Hipótesis de análisis

- Las propiedades de los elementos estructurales se consideran sin agrietar para el análisis y diseño estructural.
- El tipo de apoyo considerado para las columnas y muros estructurales es el empotramiento perfecto consistente por el suelo rígido y sin presencia de asentamientos diferenciales.
- La altura del primer nivel será medida desde el nivel de piso terminado.
- El tamaño máximo del enmallado de los elementos finitos es de 1 metro.
- Se consideran brazos rígidos para los elementos frame en la unión de viga-columna con un factor de zona rígida de 0,70.
- Se considera la alternancia de carga viva mediante múltiples casos de cargas.
- El periodo fundamental de vibración es calculado por el método alternativo.
- No se utilizó el comando “Insertion Point”, se considera que todas las columnas y muros no tienen ninguna excentricidad.
- El análisis modal espectral se aplicó como lo estipula la E.030, con un sismo horizontal y vertical simultáneamente en las dos direcciones ortogonales de manera independiente.
- En el análisis modal, se utilizaron los Vectores Ritz por ser más efectivo al calcular la respuesta dinámica vertical, por obtener más del 90% de participación de masa en la dirección vertical.
- Se utilizó el método de combinación modal CQC y tipo de combinación direccional SRSS.
- Para el análisis estructural, se consideró los efectos P-Delta como un método alternativo a los Momentos Magnificados.
- Por último, se contempló el uso del comando “Auto Construction Sequence Load Case” para la carga de Peso Propio, con fines de corregir las deformaciones que alteran los resultados en el análisis y diseño de las vigas y columnas.

3.2 Parámetros sísmicos

En las tablas 8 y 9 se indican los parámetros sísmicos y sus valores correspondientes que se utilizan en la aplicación de los edificios a evaluar.

Tabla 8, Parámetros sísmicos E.030-2003

Nomenclatura	Para sistema estructural dual	Para sistema estructural de muros estructurales
Z	0,4	0,4
U	1	1
S	1	1
T _P	0,4	0,4
R	7	6
Irregularidad	No presenta	No presenta
R	7	6
Gravedad (m/s ²)	9,80665	9,80665

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9, Parámetros sísmicos E.030-2018

Nomenclatura	Para sistema estructural dual	Para sistema estructural de muros estructurales
Z	0,45	0,45
U	1	1
S	1	1
T _P	0,4	0,4
T _L	2,5	2,5
R ₀	7	6
I _a , I _b	No presenta	No presenta
R	7	6
Gravedad (m/s ²)	9,80665	9,80665

Fuente: Elaboración propia

En ambas normas se sigue especificando los mismos porcentajes para la estimación del peso que influye en el cálculo de las fuerzas sísmicas, por lo tanto se tiene el 100% de las cargas permanentes y el 25% de las cargas vivas o sobrecarga.

3.3 Materiales, suelo de soporte y cargas

Las características del concreto son las siguientes:

$$\gamma_{concreto} = 2400 \text{ kg/m}^3$$

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

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,15$$

El coeficiente de expansión térmica se mantiene por defecto.

Las características del acero de refuerzo A615 grado 60 uniaxial son las siguientes:

$$\gamma_{acero} = 7850 \text{ kg/m}^3$$

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

$$E_s = 200000 \text{ MPa} \text{ ó } 2039432.43 \text{ kg/cm}^2$$

El coeficiente de expansión térmica y el esfuerzo último se mantienen por defecto.

Las características del suelo de soporte son correspondientes a un Perfil tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos, tratando de representar las zonas que existen en el conglomerado de Lima.

$$\gamma_{suelo} = 2100 \text{ kg/m}^3$$

$$D_f \text{ min} = 1.00 \text{ m}$$

$$q_{admissible} = 4 \text{ kg/cm}^2$$

$$\nu = 0.35$$

$$E_{suelo} = 10000 \text{ ton/m}^2$$

Además, para calcular el coeficiente de balasto se usa la siguiente fórmula:

$$K_{balasto} = \frac{1,3G_{suelo}}{B \cdot (1 - \nu)}$$

Se han considerado las cargas permanentes y vivas. Dentro de las cargas permanentes se tiene el peso propio de los elementos estructurales, el acabado y la tabiquería. La carga viva mínima repartida se obtuvo de la norma E.020-2006.

Por efectos de simplicidad se necesitó representar el peso de la tabiquería a un peso equivalente por metros cuadrados, con un muro tabique con las siguientes características:

$$\gamma_{tabique} = 1500 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Espesor} = 0.15 \text{ m}$$

$$\text{Altura} = 2.40 \text{ m}$$

Se calcula y se obtiene un valor de 540 kg/ml y con ese valor extraemos la carga equivalente de la tabla 10.

Tabla 10, Peso del tabique de metros lineales a metros cuadrados

Peso del Tabique (kg / ml)	Carga Equivalente (kg / m ²)
74 o menos	30
75 a 149	60
150 a 249	90
250 a 399	150
400 a 549	210
550 a 699	270
700 a 849	330
850 a 1000	390

Fuente: San Bartolomé, Á. Análisis de edificios

En resumen, se obtiene la tabla 11 con todas las cargas consideradas para los modelos matemáticos.

Tabla 11, Cargas consideradas para los modelos matemáticos

Nomenclatura	Piso Típico (kg / m ²)	Azotea (kg / m ²)
PP	Peso propio	Peso propio
ACAB	100	100
TAB	210	100
VIVA	250	100

Fuente: Elaboración propia

Además, para la losa aligerada en una dirección con peralte de 25cm se debe adicionar el peso de los ladrillos que sería 110 kg/m².

3.4 Elevación y planta general, planta del primer nivel de las edificaciones

Se recopiló información del Repositorio de Tesis de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), donde se analizó diferentes características de los modelos matemáticos como área en planta, longitud mayor y menor, altura de entrepiso y altura total; y se agruparon según el número de pisos para generar los siguientes histogramas que se presentarán en el anexo, pero la tabla 12 presenta un resumen del análisis estadístico.

Tabla 12, Resumen de análisis estadístico

Grupo de Pisos	Área en planta (m ²)	Longitud menor (m)	Longitud mayor (m)	Altura de entrepiso (m)	Altura total (m)
5	373.53	14.56	27.21	2.74	12.79
10	327.78	15.28	23.43	2.69	18.96

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, con la información de la tabla 12, se hizo una primera interacción con los primeros modelos matemáticos, posteriormente se ajustó las dimensiones de las columnas y muros con fines de cumplir con los sistemas estructurales a estudiar, finalmente se aplicó el método Delphi para cotejar lo planteado con ciertas edificaciones ya existentes y complementar la información faltante para los edificios de 15 y 20 pisos. Las características generales de las edificaciones a estudiar se presentan en la tabla 13.

Tabla 13, Características de las edificaciones a estudiar

Pisos	Área en planta (m ²)	Longitud menor (m)	Longitud mayor (m)	Altura de entrepiso (m)	Altura total (m)
5	340.75	14.50	23.50	2.70	13.50
10	340.75	14.50	23.50	2.70	27.00
15	575.75	23.50	24.50	2.70	40.50
20	575.75	23.50	24.50	2.70	54.00

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se estudian dos tipos de edificaciones con diferentes sistemas estructurales que varían en altura y en planta. Por cuestiones prácticas se asigna a las edificaciones duales y sus pisos como D5, D10, D15 y D20; de la misma forma a las edificaciones de muros estructurales como M5, M10, M15 y M20.

En relación a las reducciones de las columnas, solo se redujo 2,5 centímetros por cada lado para no tener cambios bruscos de sección y conseguir que las cuantías no difieran demasiado entre pisos.

Las plantas de las cimentaciones en todas las edificaciones se presentan en este capítulo, donde se muestra las dimensiones finales cumpliendo con las exigencias de la norma E.060.

3.4.1 Elevación general de las edificaciones de muros estructurales

Se presenta la elevación general de las edificaciones de muros estructurales en la figura 2.

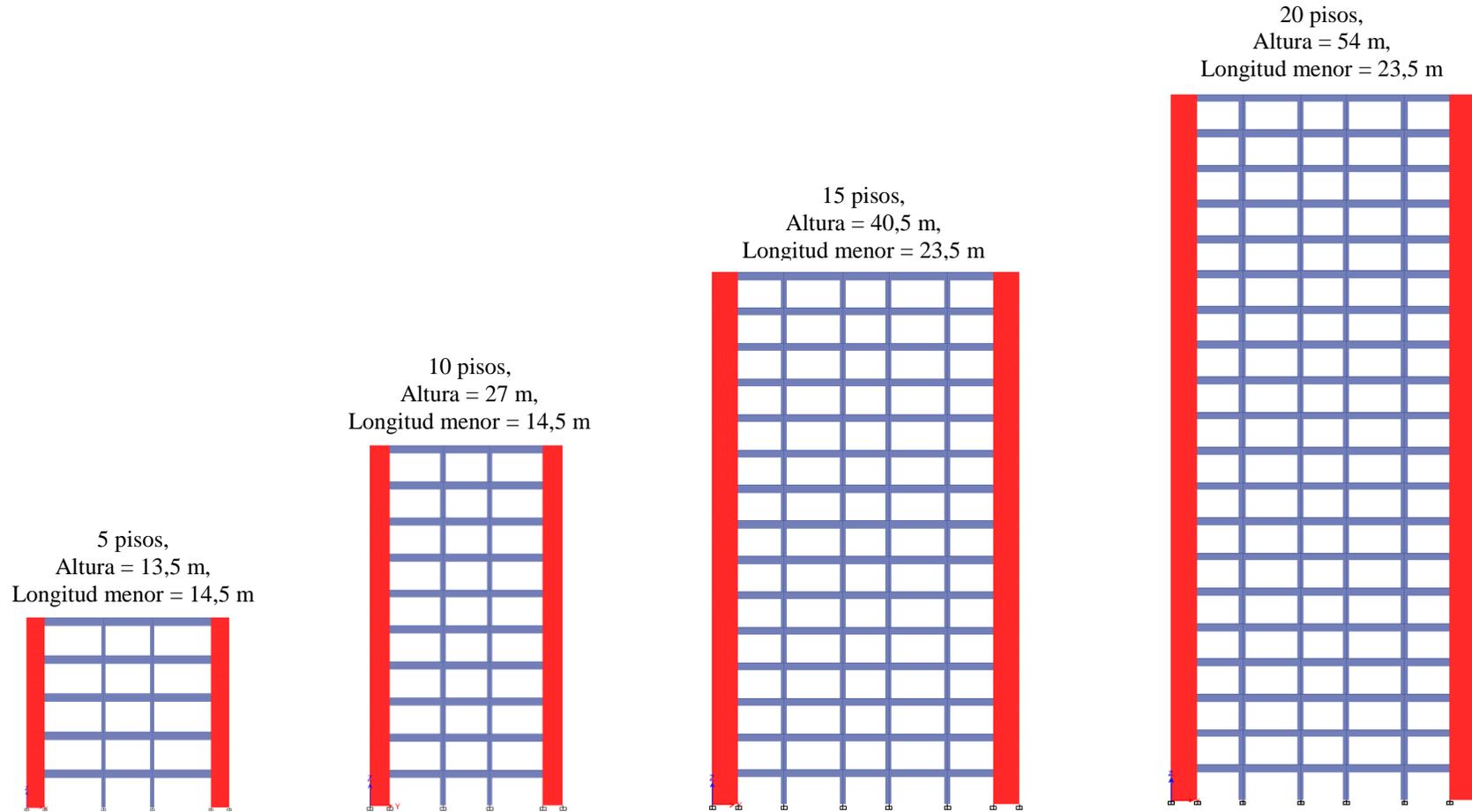


Figura 2, Elevación general en M5, M10, M15 y M20

Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Planta general de las edificaciones de muros estructurales

Se presenta la planta general de las edificaciones de muros estructurales en la figura 3.

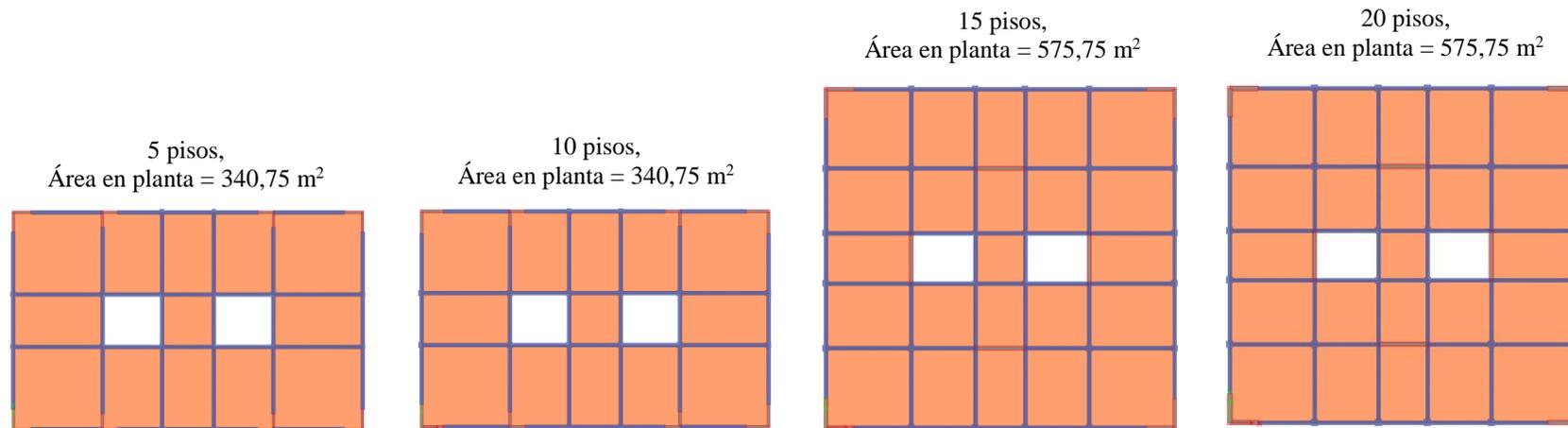


Figura 3, Planta general en M5, M10, M15 y M20

Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Plantas del último piso de todas las edificaciones

Se presenta las plantas del último piso de las edificaciones duales y de muros estructurales de 5, 10, 15 y 20 pisos en las figuras 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11, y tablas 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21. Además, la densidad estructural de todos los edificios se presenta en la tabla 22.

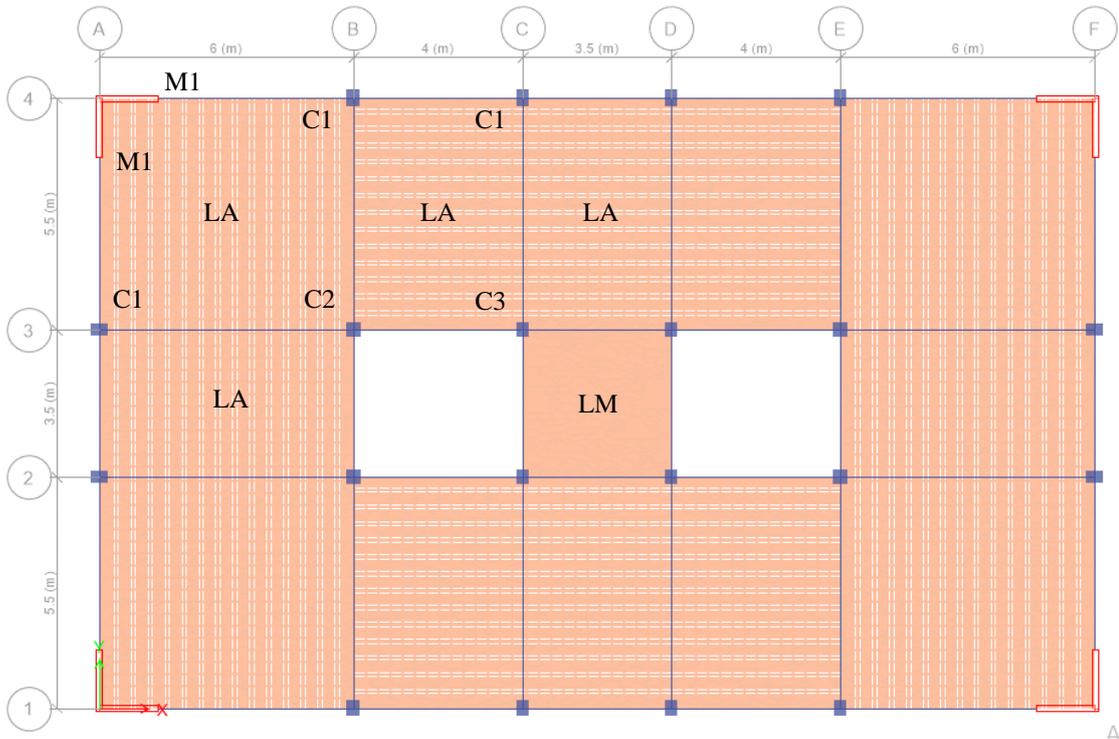


Figura 4, Planta del último piso en D5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14, Dimensiones de elementos estructurales en D5

Columnas (en cm)	Vigas (en cm)	Muros (en cm)	Losa aligerada y maciza (en cm)
C1 - 30x40	V - 25x60	M1 - 15x140	LA - 25
C2 - 35x35			LM - 20
C3 - 30x35			

Fuente: Elaboración propia

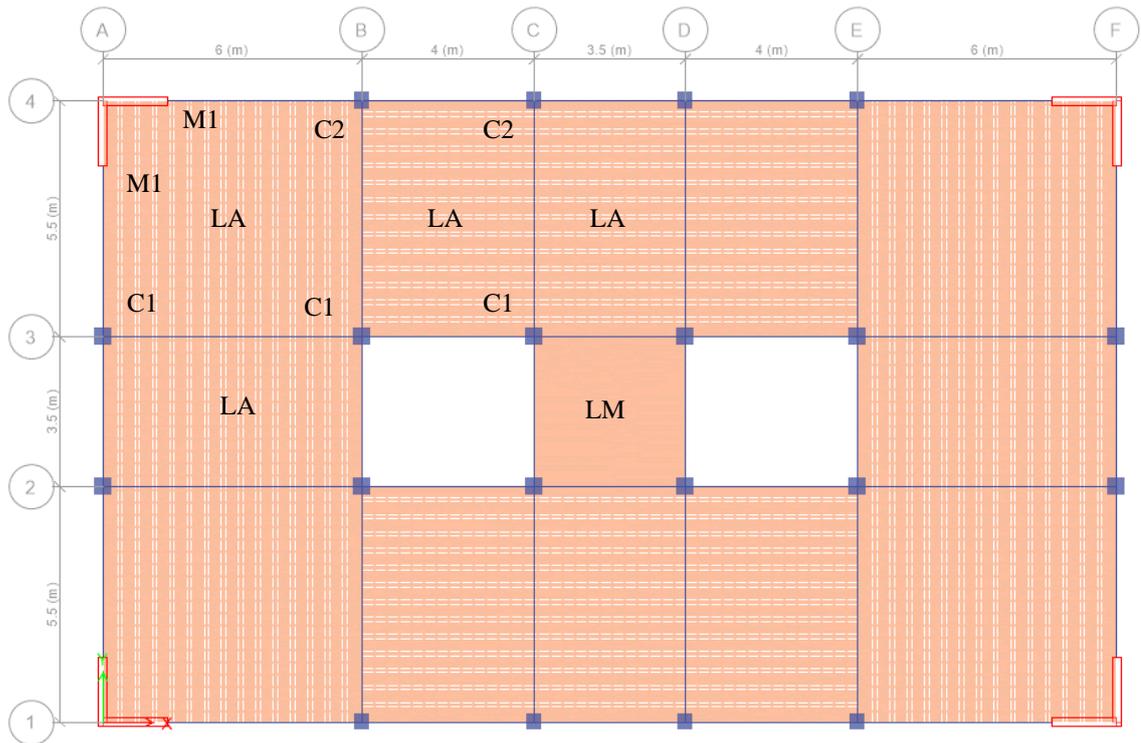


Figura 5, Planta del último piso en D10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15, Dimensiones de elementos estructurales en D10

Columnas (en cm)	Vigas (en cm)	Muros (en cm)	Losa aligerada y maciza (en cm)
C1 - 40x40	V - 25x60	M1 - 20x150	LA - 25
C2 - 35x40			LM - 20

Fuente: Elaboración propia

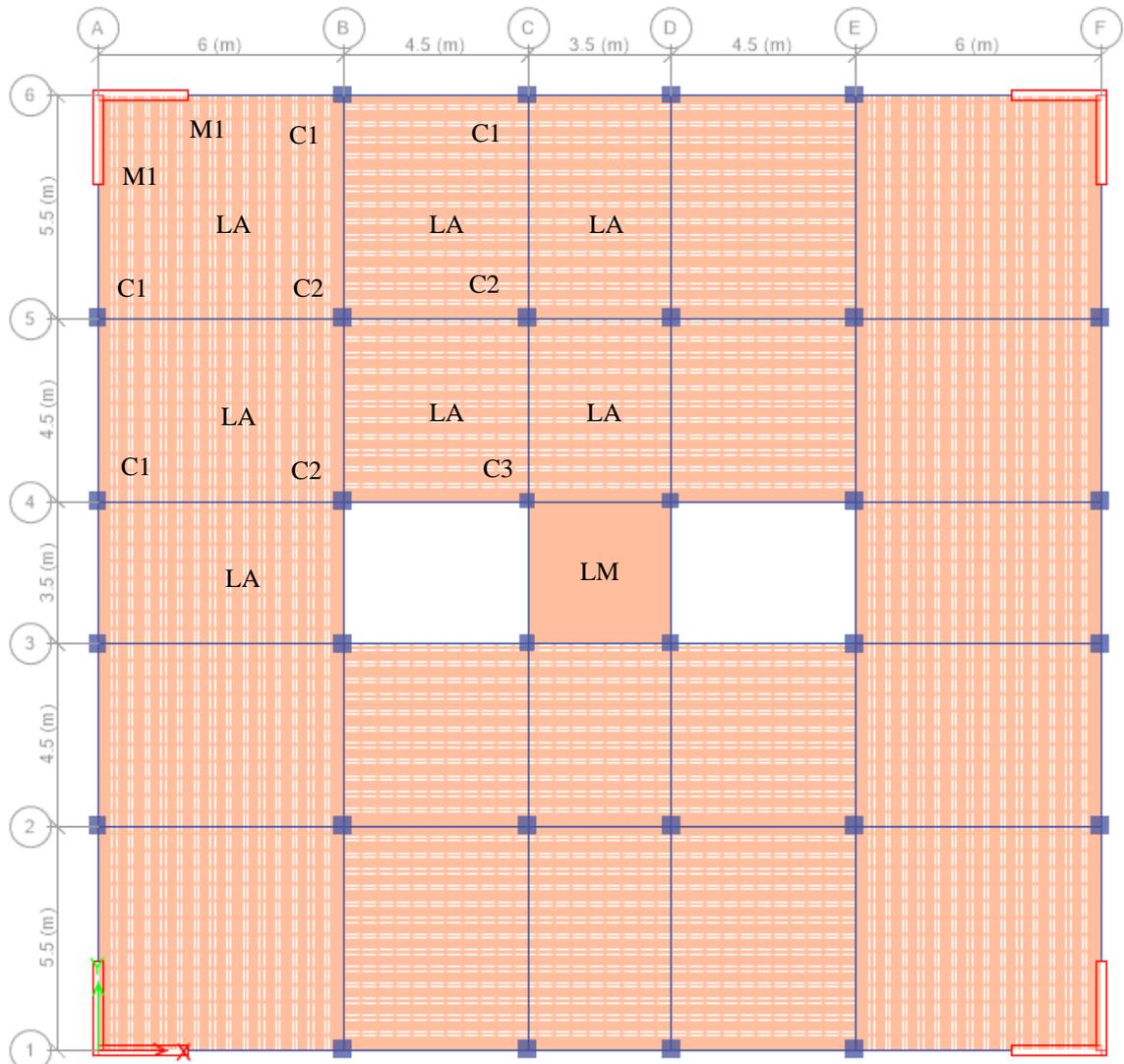


Figura 6, Planta del último piso en D15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16, Dimensiones de elementos estructurales en D15

Columnas (en cm)	Vigas (en cm)	Muros (en cm)	Losa aligerada y maciza (en cm)
C1 - 45x45	V - 25x60	M1 - 25x220	LA - 25
C2 - 50x50 (1er al 10mo piso)			LM - 20
C2 - 45x45 (11vo al 15vo piso)			
C3 - 40x40			

Fuente: Elaboración propia

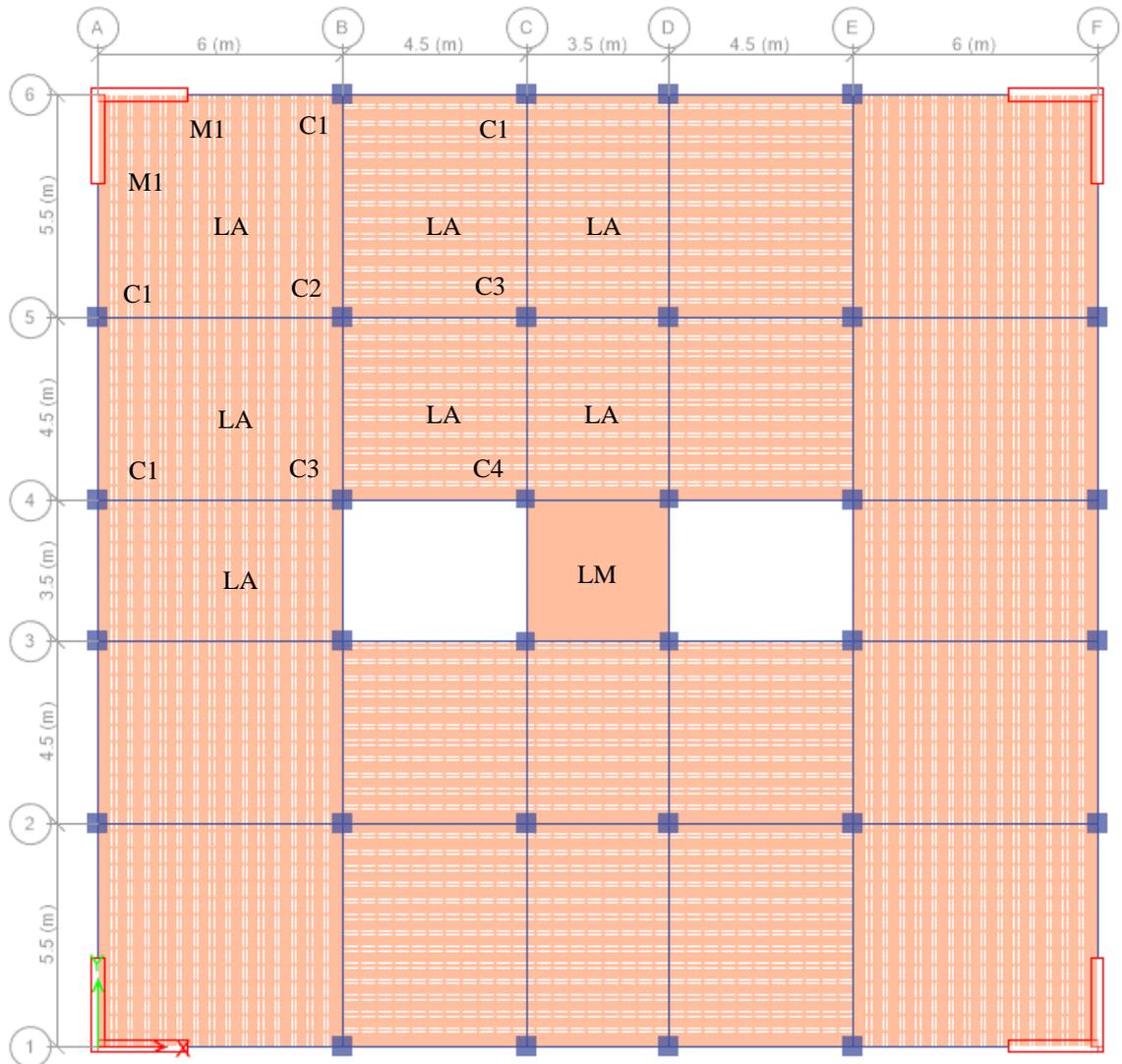


Figura 7, Planta del último piso en D20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17, Dimensiones de elementos estructurales en D20

Columnas (en cm)	Vigas (en cm)	Muros (en cm)	Losa aligerada y maciza (en cm)
C1 - 50x50	V - 25x60	M1 - 30x220	LA - 25
C2 - 60x60 (1er al 5to piso)			LM - 20
C2 - 55x55 (6to al 10mo piso)			
C2 - 50x50 (11vo al 20vo piso)			
C3 - 55x55 (1er al 5to piso)			
C3 - 50x50 (6to al 20vo piso)			
C4 - 45x45			

Fuente: Elaboración propia

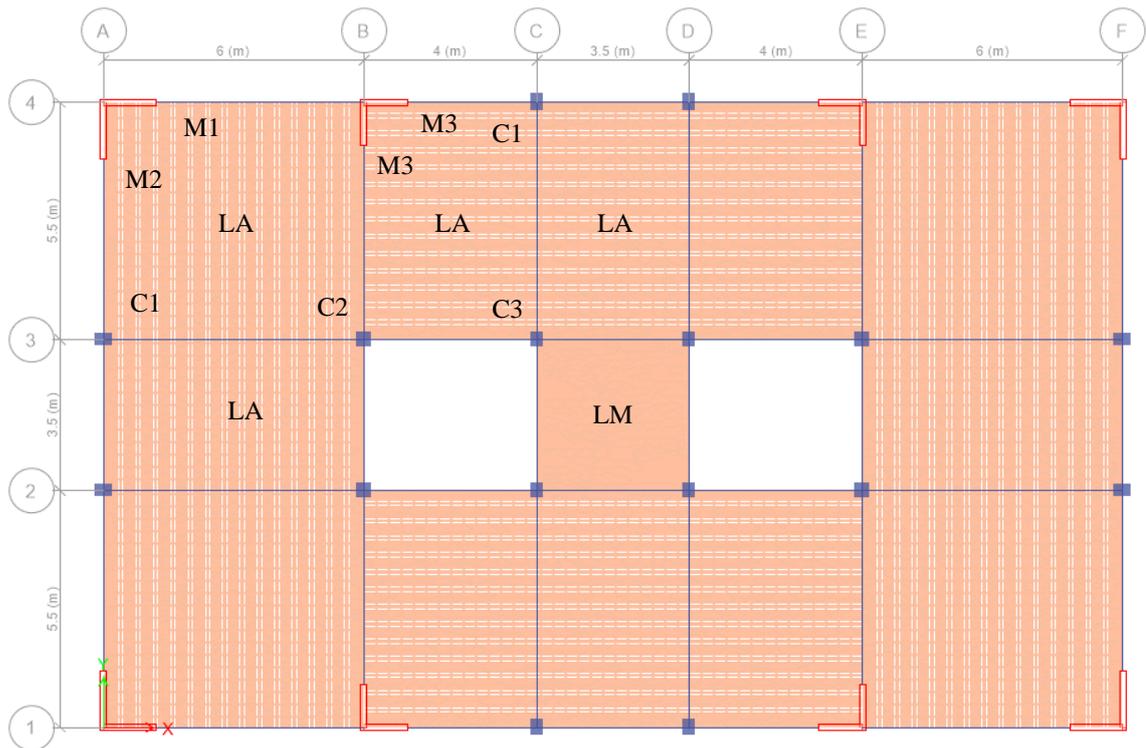


Figura 8, Planta del último piso en M5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18, Dimensiones de elementos estructurales en M5

Columnas (en cm)	Vigas (en cm)	Muros (en cm)	Losa aligerada y maciza (en cm)
C1 - 30x40	V - 25x60	M1 - 15x120	LA - 25
C2 - 35x35		M2 - 15x130	LM - 20
C3 - 30x35		M3 - 15x100	

Fuente: Elaboración propia

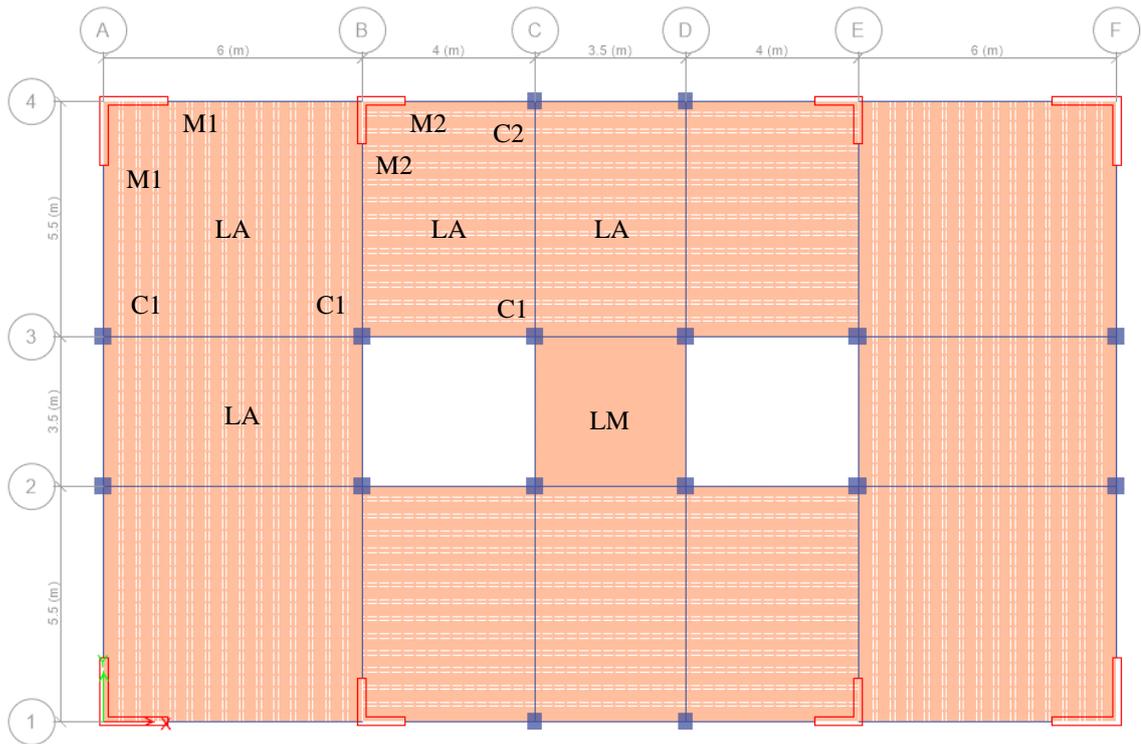


Figura 9, Planta del último piso en M10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19, Dimensiones de elementos estructurales en M10

Columnas (en cm)	Vigas (en cm)	Muros (en cm)	Losa aligerada y maciza (en cm)
C1 - 40x40	V - 25x60	M1 - 20x150	LA - 25
C2 - 35x40		M2 - 20x100	LM - 20

Fuente: Elaboración propia

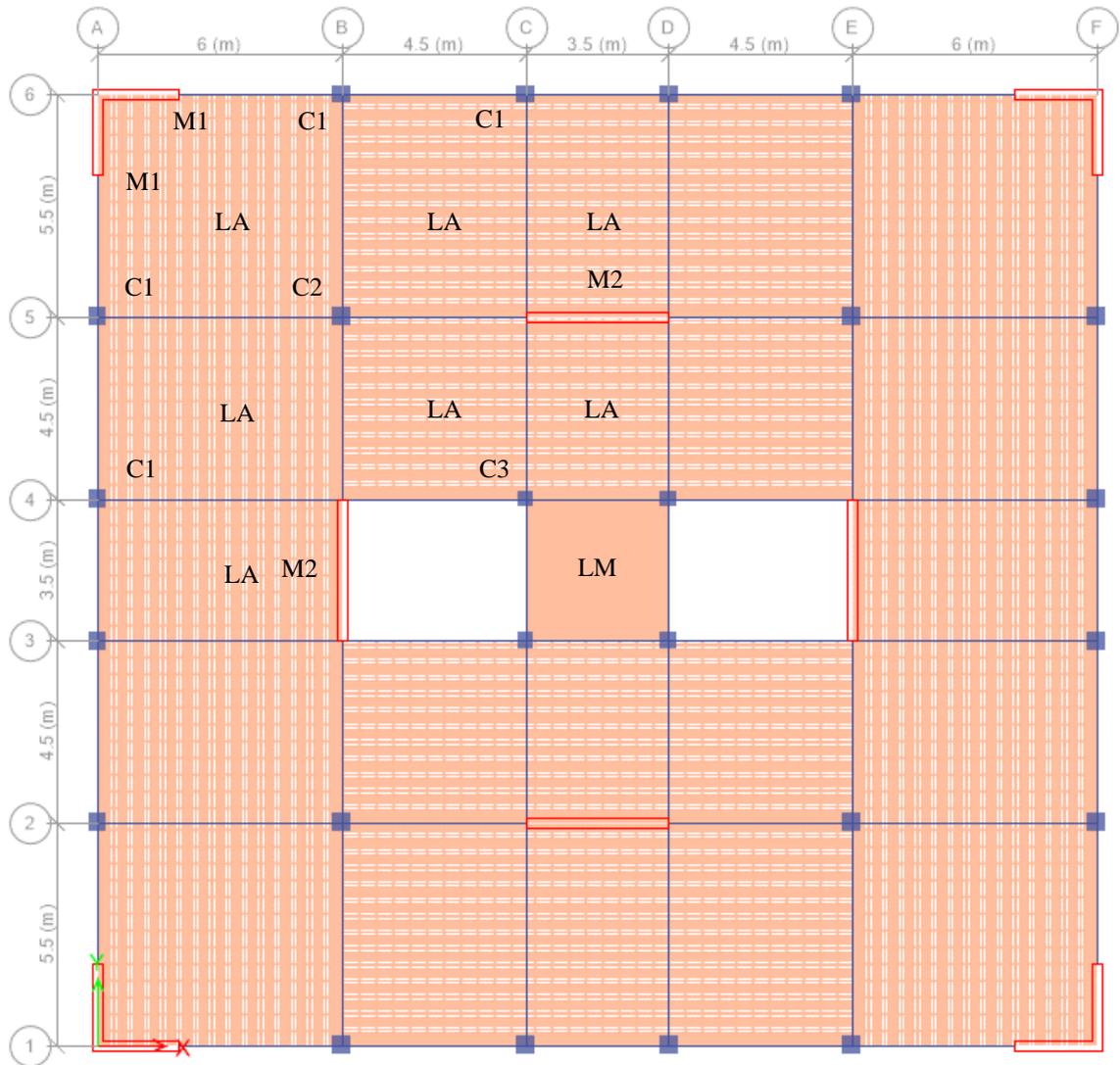


Figura 10, Planta del último piso en M15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20, Dimensiones de elementos estructurales en M15

Columnas (en cm)	Vigas (en cm)	Muros (en cm)	Losa aligerada y maciza (en cm)
C1 - 45x45	V - 25x60	M1 - 25x200	LA - 25
C2 - 50x50 (1er al 10mo piso)		M2 - 25x350	LM - 20
C2 - 45x45 (11vo al 15vo piso)			
C3 - 40x40			

Fuente: Elaboración propia

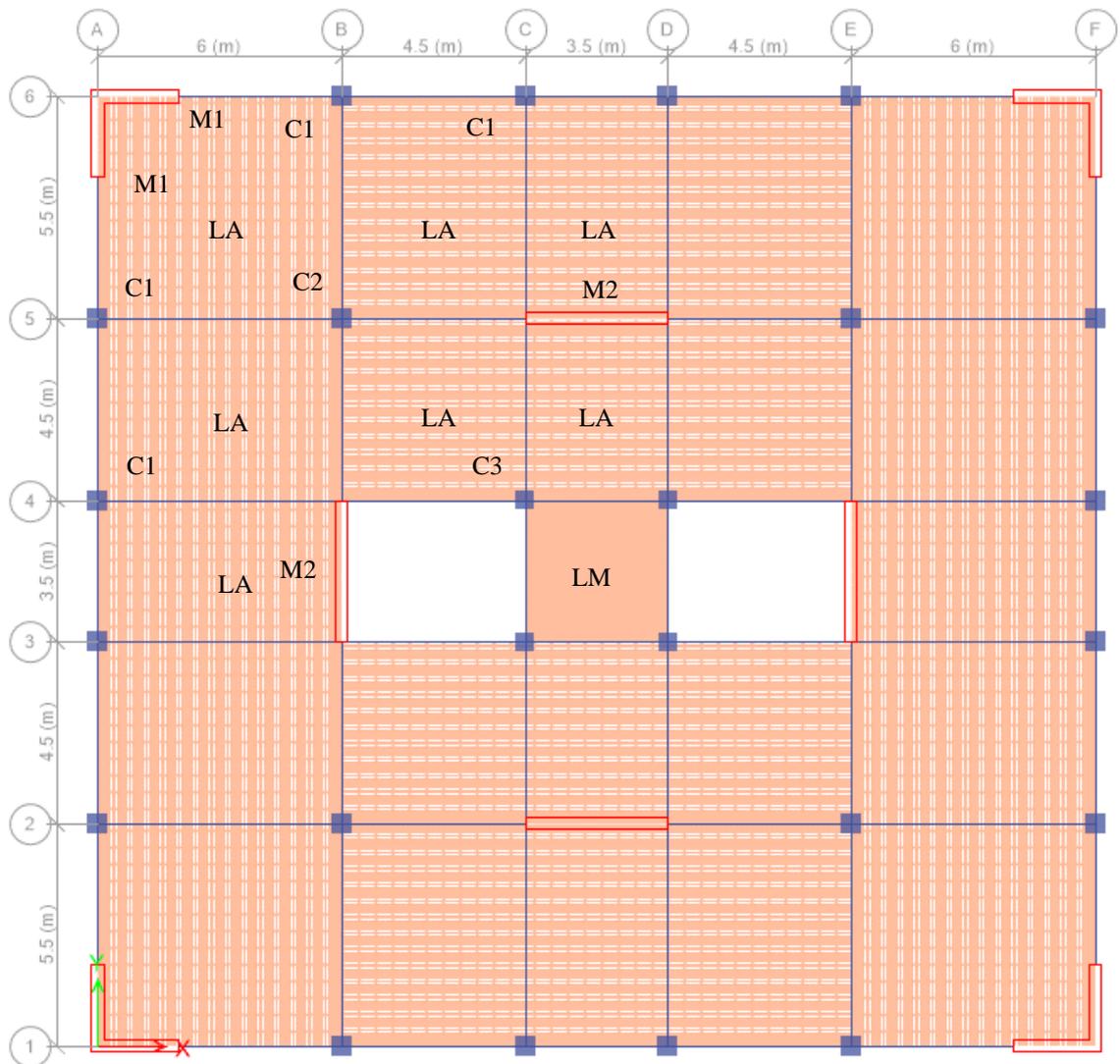


Figura 11, Planta del último piso en M20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21, Dimensiones de elementos estructurales en M20

Columnas (en cm)	Vigas (en cm)	Muros (en cm)	Losa aligerada y maciza (en cm)
C1 - 50x50	V - 25x60	M1 - 30x200	LA - 25
C2 - 60x60 (1er al 5to piso)		M2 - 30x350	LM - 20
C2 - 55x55 (6to al 10mo piso)			
C2 - 50x50 (11vo al 20vo piso)			
C3 - 45x45			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22, Densidad estructural de los edificios a estudiar

Edificios	Área en planta (m ²)	Densidad de columnas		Densidad de muros		Densidad estructural	
		X	Y	X	Y	X	Y
D5	340.75	0.28%	0.55%	0.25%	0.25%	0.53%	0.80%
D10	340.75	0.56%	0.89%	0.35%	0.35%	0.92%	1.24%
D15	575.75	1.19%	1.19%	0.38%	0.38%	1.58%	1.58%
D20	575.75	1.51%	1.51%	0.46%	0.46%	1.96%	1.96%
M5	340.75	0.28%	0.41%	0.39%	0.40%	0.67%	0.81%
M10	340.75	0.56%	0.73%	0.59%	0.59%	1.15%	1.31%
M15	575.75	0.71%	0.71%	0.65%	0.65%	1.36%	1.36%
M20	575.75	0.91%	0.91%	0.78%	0.78%	1.69%	1.69%

Fuente: Elaboración propia

3.4.4 Cimentaciones de las edificaciones

Se presenta las cimentaciones de las edificaciones duales y de muros estructurales de 5, 10, 15 y 20 pisos en las figuras 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19, y tablas 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 y 30.

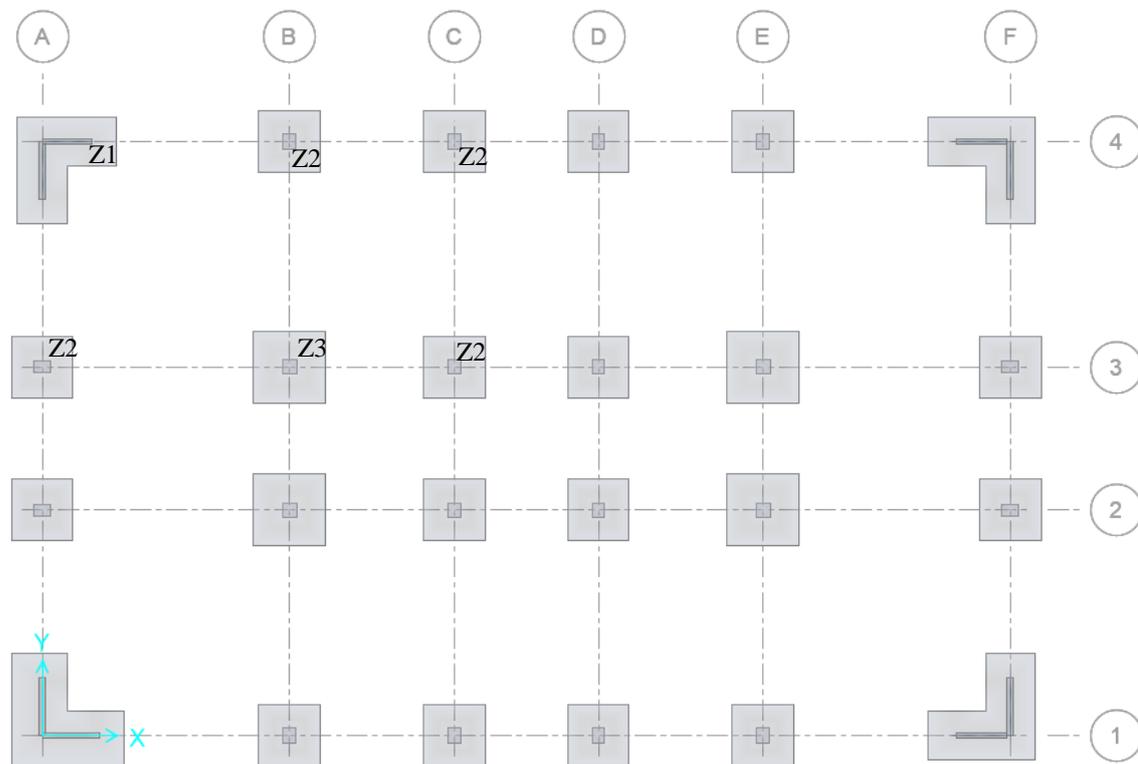


Figura 12, Cimentación en D5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23, Dimensiones de cimentación en D5

Zapatas (en cm)
Z1 - 130x270x55
Z2 - 150x150x55
Z3 - 175x175x55

Fuente: Elaboración propia

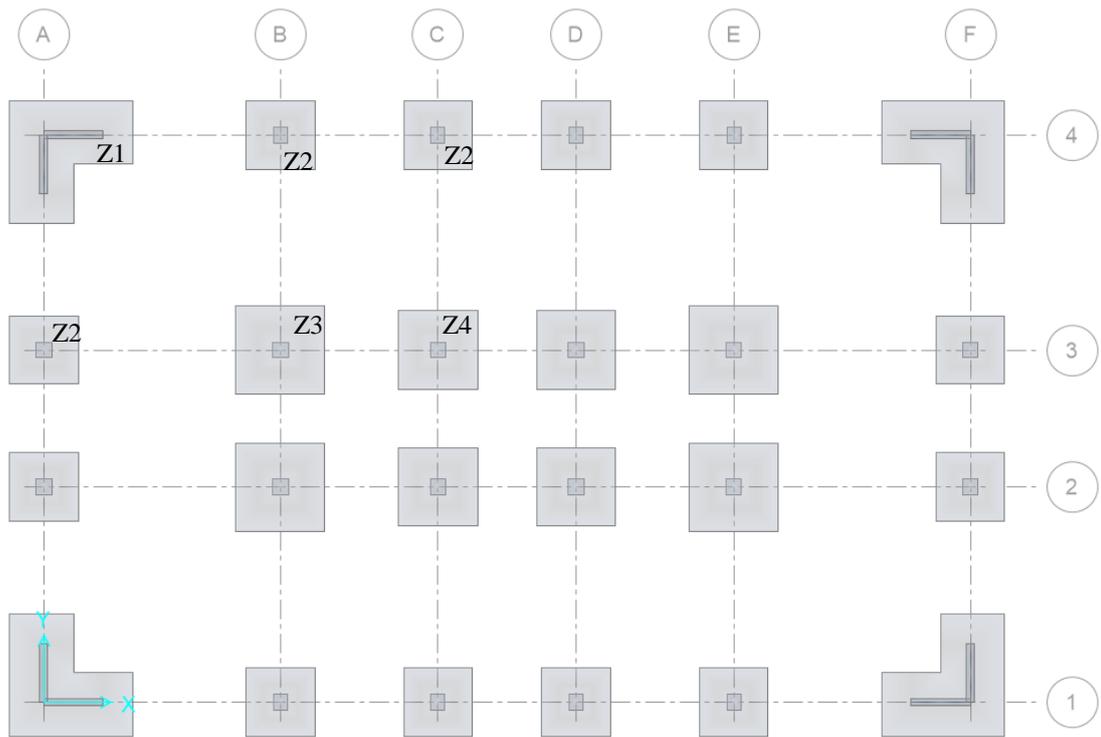


Figura 13, Cimentación en D10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24, Dimensiones de cimentación en D10

Zapatas (en cm)
Z1 - 160x310x55
Z2 - 175x175x55
Z3 - 225x225x55
Z4 - 200x200x55

Fuente: Elaboración propia

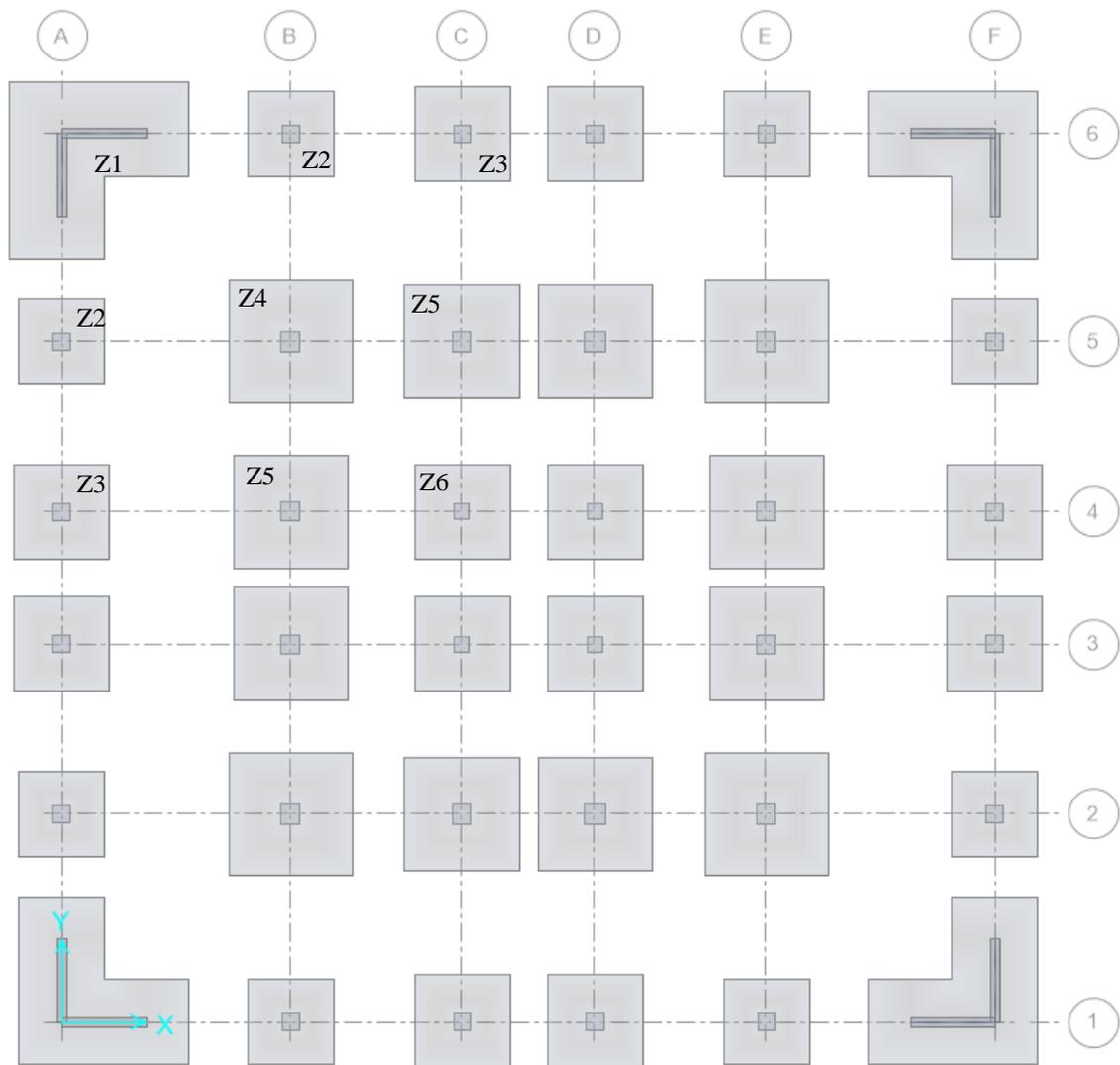


Figura 14, Cimentación en D15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25, Dimensiones de cimentación en D15

Zapatas (en cm)
Z1 - 250x470x90
Z2 - 225x225x70
Z3 - 250x250x70
Z4 - 325x325x80
Z5 - 300x300x80
Z6 - 250x250x70

Fuente: Elaboración propia

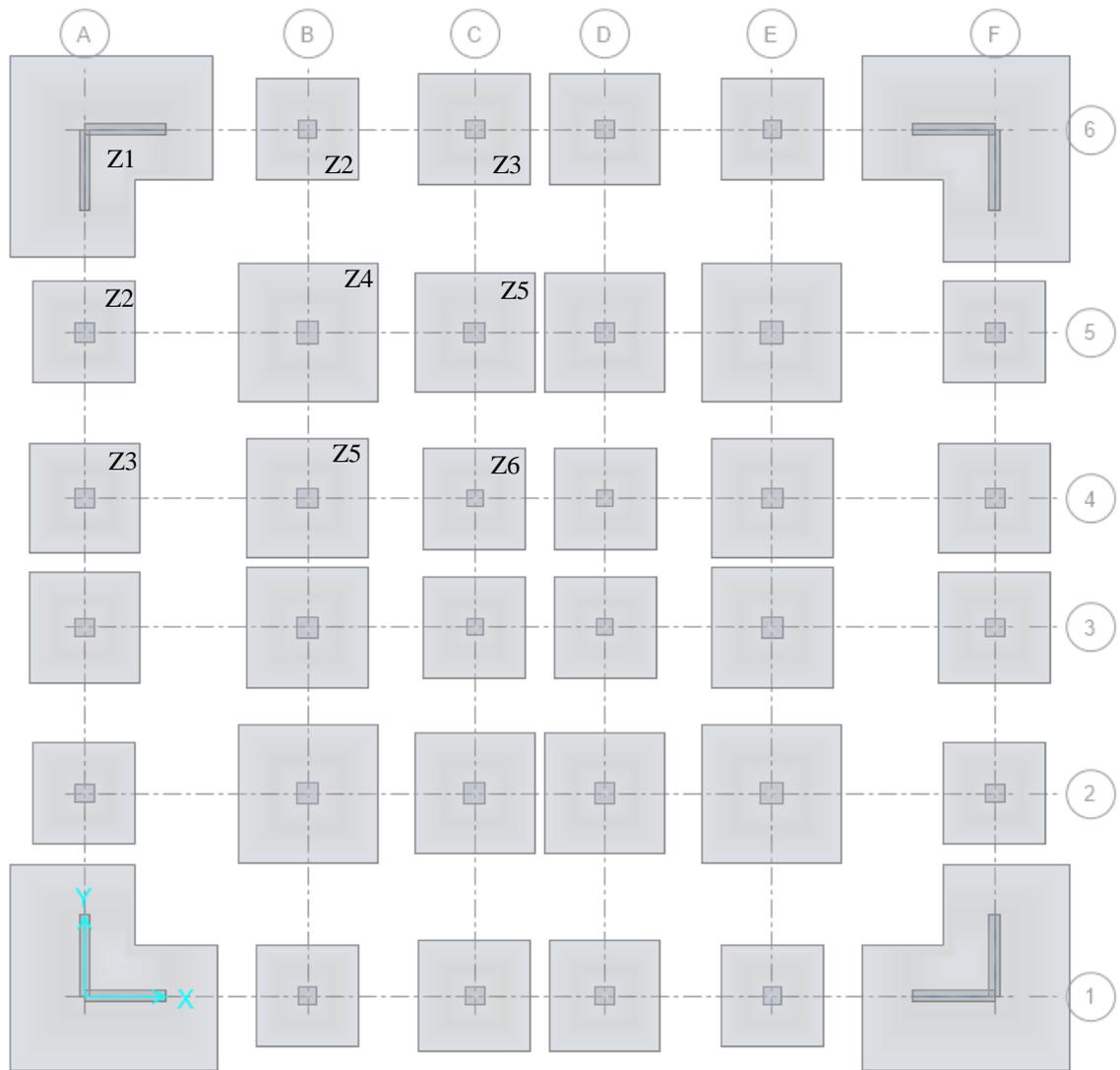


Figura 15, Cimentación en D20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26, Dimensiones de cimentación en D20

Zapatas (en cm)
Z1 - 335x545x100
Z2 - 275x275x70
Z3 - 300x300x70
Z4 - 375x375x100
Z5 - 325x325x90
Z6 - 275x275x80

Fuente: Elaboración propia

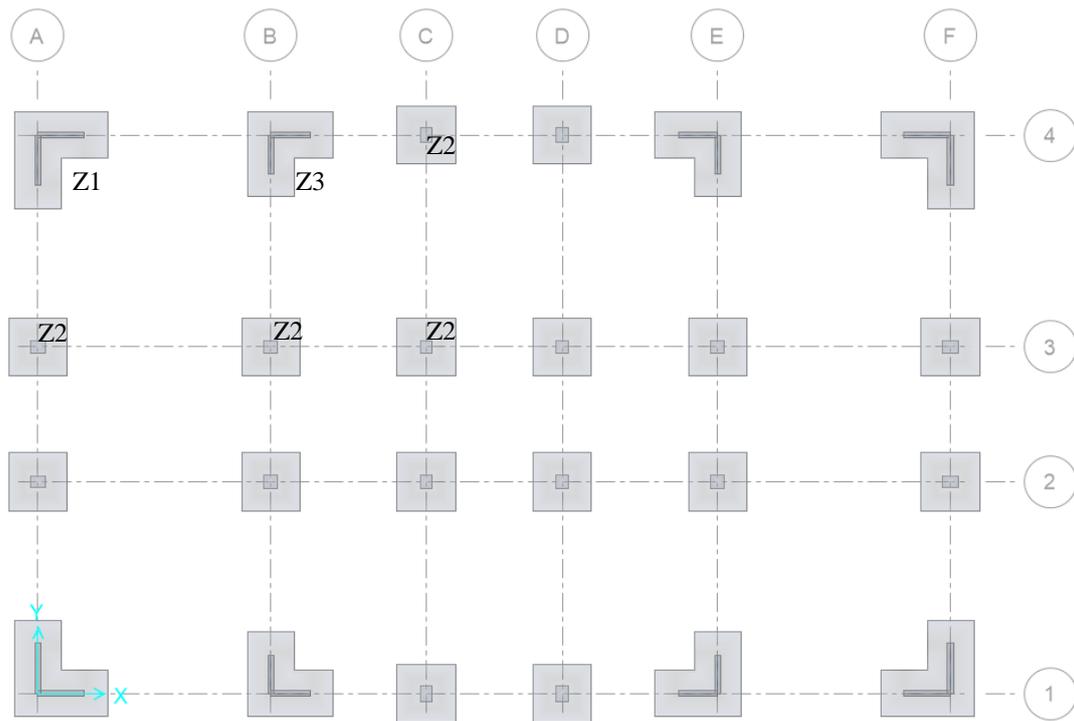


Figura 16, Cimentación en M5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27, Dimensiones de cimentación en M5

Zapatas (en cm)
Z1 - 120x250x55
Z2 - 150x150x55
Z3 - 120x220x55

Fuente: Elaboración propia

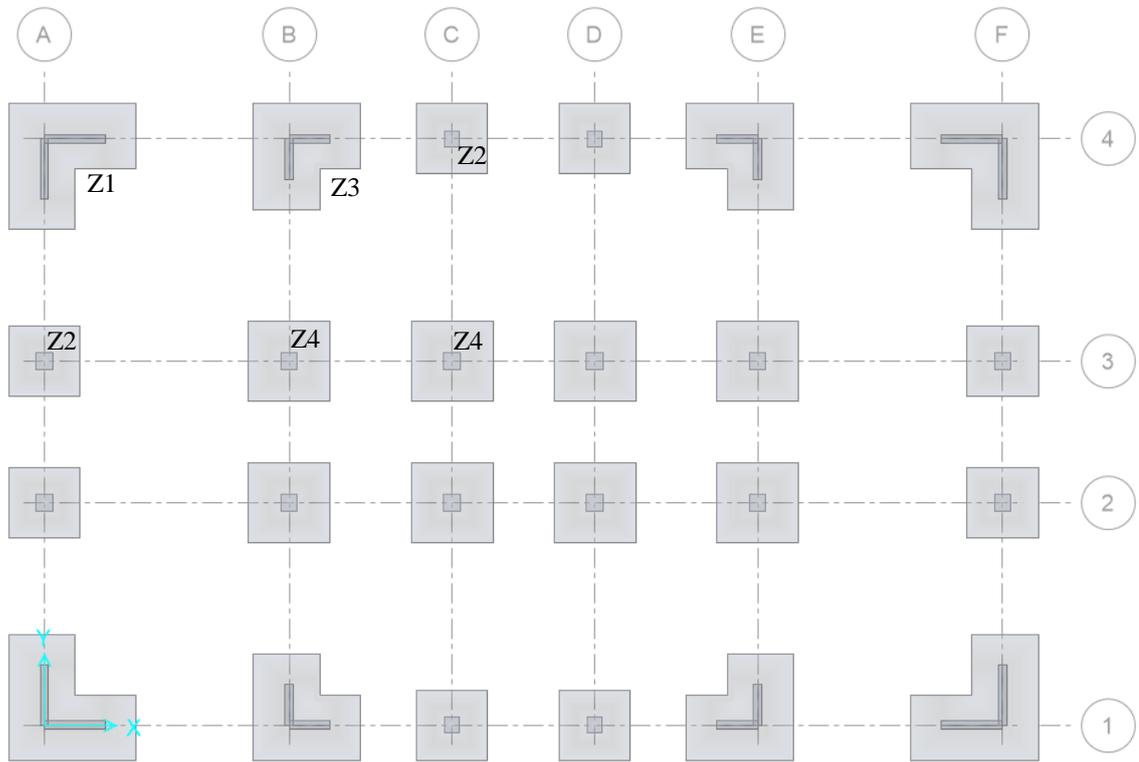


Figura 17, Cimentación en M10

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28, Dimensiones de cimentación en M10

Zapatas (en cm)
Z1 - 160x310x55
Z2 - 175x175x55
Z3 - 162.5x262.5x55
Z4 - 200x200x55

Fuente: Elaboración propia

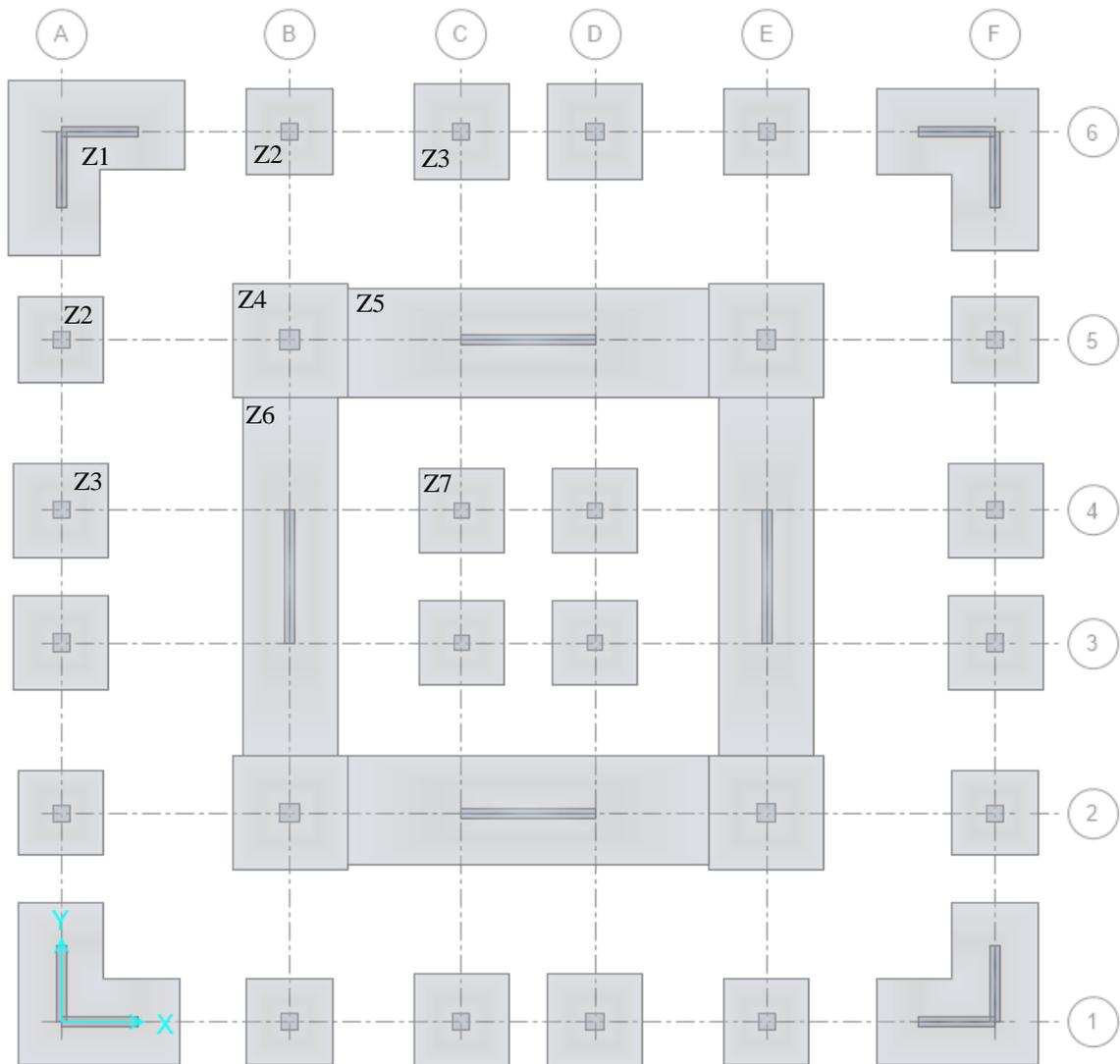


Figura 18, Cimentación en M15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29, Dimensiones de cimentación en M15

Zapatas (en cm)
Z1 - 235x460x90
Z2 - 225x225x70
Z3 - 250x250x70
Z4 - 300x300x80
Z5 - 287.5x950x120
Z6 - 250x950x120
Z7 - 225x225x70

Fuente: Elaboración propia

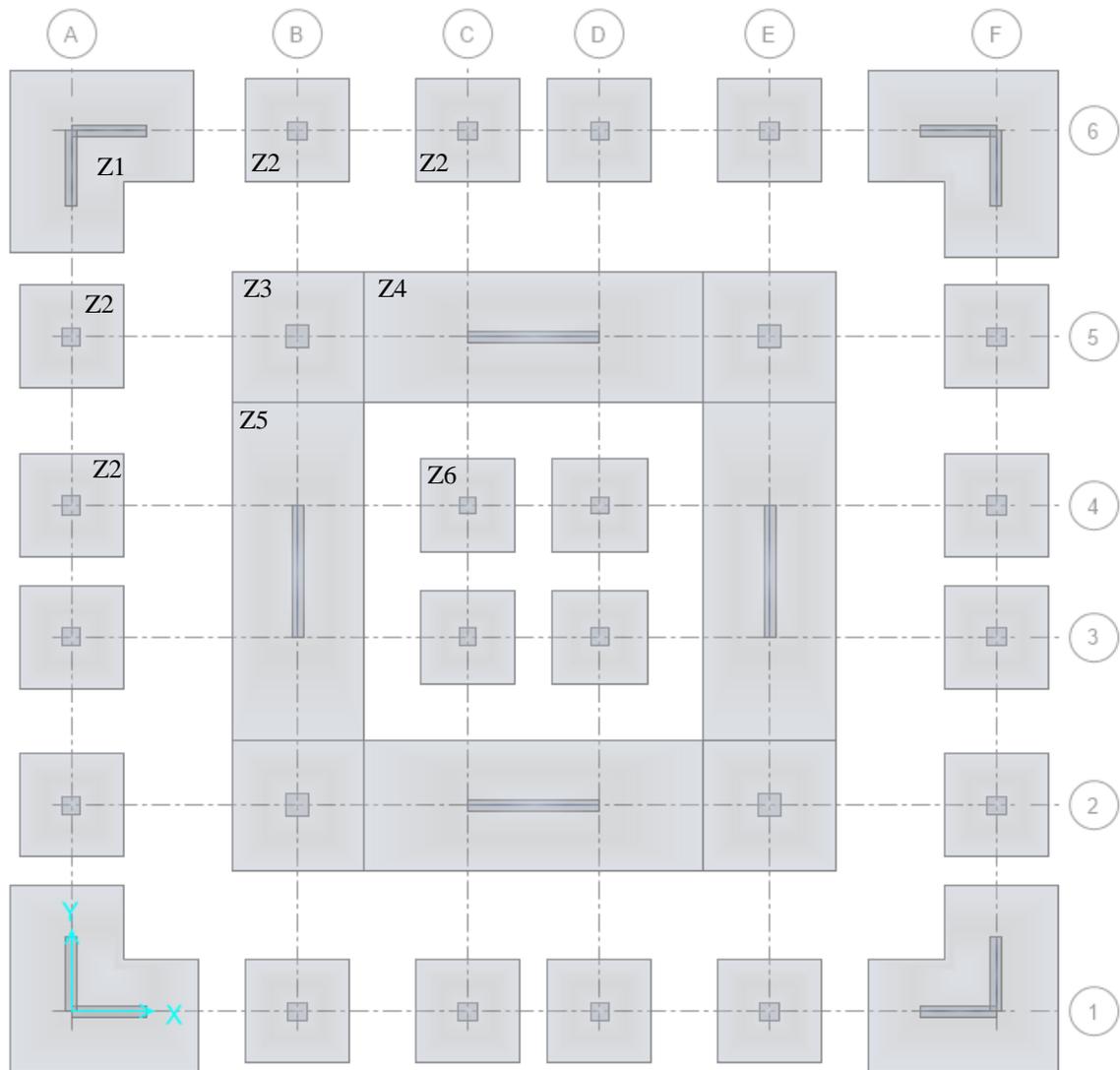


Figura 19, Cimentación en M20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30, Dimensiones de cimentación en M20

Zapatas (en cm)
Z1 - 300x485x90
Z2 - 275x275x70
Z3 - 350x350x90
Z4 - 350x900x140
Z5 - 350x900x140
Z6 - 250x250x70

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: VARIABLES EN ESTUDIO DE LAS ESTRUCTURAS

4.1 Variación de la altura

Ciertamente se cuenta con edificios de gran altura en la ciudad de Lima superando los 100m; por ejemplo, Torre BBVA Continental, Torre Banco de la Nación, Hotel Westin Libertador, etcétera. Incluso, en las próximas décadas se tendrá edificios muchos más altos o definiéndolos como rascacielos.

Por lo tanto, se tiene una primera limitación que la presente tesis no pretende dar una información precisa con respecto a la influencia de grandes alturas comparando la norma E.030-2003 y E.030-2018.

Con lo antes mencionado, se decide definir estructuras con un número de pisos de 5, 10, 15 y 20; la altura mínima es de 13,5 metros y la máxima es de 54 metros. Así representando el promedio de edificios entre bajos, medianos y altos pero omitiendo los de gran altura.

4.2 Sistema estructural

Con el propósito de presentar resultados de acuerdo a los edificios proyectados y construidos a partir del 2009 con la norma E.060-2009 en el territorio peruano, más específicos en la ciudad de Lima, es habitual observar que a medida que se incrementa la altura es necesario colocar más muros estructurales o incrementar sus espesores para así cumplir con las exigencias de la norma E.030.

Típicamente los edificios altos presentan un sistema estructural de muros estructurales y los de menor altura con una pequeña densidad de muros son duales; entonces se seleccionaron estructuras ficticias con los sistemas estructurales mencionados para tratar de reflejar la mayoría de las edificaciones de Lima. Además, se considera solo el uso de cimentación superficial y sin presencia de sótanos.

En la tabla 31 se indican los porcentajes que absorben las columnas y muros de las edificaciones a estudiar para que se defina el sistema estructural; se recalca que estrictamente según cada norma en algunos edificios no cumple con los sistemas estructurales deseados pero por fines académicos se omitirá este hecho ya que los

porcentajes son relativamente cercanos a los límites establecidos por las normas.

Tabla 31, Porcentaje de columnas y muros estructurales de edificios a estudiar

Nomenclatura	Elementos			
	Columnas	Muros	Columnas	Muros
	X	X	Y	Y
D5	34.3%	65.7%	35.2%	64.8%
D10	35.7%	64.3%	35.3%	64.7%
D15	34.6%	65.4%	34.5%	65.5%
D20	35.9%	64.1%	35.8%	64.2%
M5	23.4%	76.6%	25.5%	74.5%
M10	22.9%	77.1%	25.8%	74.2%
M15	18.1%	81.9%	18.3%	81.7%
M20	19.4%	80.6%	19.7%	80.3%

Fuente: Elaboración propia

4.3 Norma técnica E.030

El presente estudio está orientado para edificaciones que se encuentren en la ciudad de lima o localizados en la Zona 4, con uso de oficinas y/o viviendas, cimentado en un suelo rígido y sin presencia de irregularidades.

Para poder cuantificar los cambios en magnitud entre normas se definen las siguientes variables a comparar: la fuerza cortante dinámica total en la base, el factor de amplificación de la fuerza cortante mínima, los desplazamientos laterales y el factor de seguridad del momento de volteo, la distribución en altura de las fuerzas estáticas, la demanda del acero de refuerzo en los elementos estructurales y el costo de la demanda de acero de refuerzo y, adicionalmente, de concreto y ladrillo de techo.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS SÍSMICO

5.1 Análisis estático

Se presentan los resultados obtenidos del periodo fundamental, fuerza cortante estática total en la base y la distribución de la fuerza estática en altura de los modelos matemáticos en las tablas 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 y 41, y en las figuras 20, 21, 22 y 23.

5.1.1 Periodo fundamental

Tabla 32, Periodo fundamental de vibración de los edificios a estudiar

Edificios	X	Y
D5	0.44	0.42
D10	0.80	0.80
D15	1.17	1.15
D20	1.54	1.52
M5	0.39	0.41
M10	0.72	0.76
M15	1.18	1.17
M20	1.57	1.55

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Fuerza cortante estática total en la base

Tabla 33, Fuerza cortante estática total en la base de los edificios a estudiar

Edificios	2003	2018	2003	2018
	X	X	Y	Y
D5	175.9	197.8	181.7	204.4
D10	190.9	227.5	191.7	228.4
D15	377.1	451.1	377.6	457.6
D20	502.1	557.3	502.9	557.3
M5	226.4	254.7	223.6	251.5
M10	254.1	301.0	240.7	285.9
M15	428.9	526.2	435.1	533.1
M20	508.7	566.3	509.5	566.3

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Distribución de la fuerza estática en altura

Tabla 34, Distribución de la fuerza estática en altura en D5

Pisos	2003	2018	2003	2018
	X	X	Y	Y
5	50.4	56.6	52.0	58.5
4	50.2	56.5	51.9	58.4
3	37.7	42.4	38.9	43.8
2	25.1	28.2	25.9	29.2
1	12.6	14.1	13.0	14.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35, Distribución de la fuerza estática en altura en D10

D10	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
10	28.7	36.6	28.9	36.7
9	32.4	40.7	32.6	40.8
8	28.8	35.5	28.9	35.7
7	25.2	30.5	25.3	30.6
6	21.6	25.5	21.7	25.6
5	18.0	20.7	18.1	20.8
4	14.4	16.0	14.5	16.1
3	10.8	11.5	10.9	11.6
2	7.2	7.2	7.2	7.3
1	3.6	3.3	3.6	3.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36, Distribución de la fuerza estática en altura en D15

D15	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
15	39.0	54.0	39.0	54.6
14	45.0	60.9	45.0	61.6
13	41.7	55.2	41.8	55.8
12	38.5	49.6	38.6	50.2
11	35.3	44.1	35.4	44.7
10	32.2	39.0	32.2	39.5
9	29.1	34.0	29.1	34.5
8	25.8	29.0	25.9	29.5
7	22.6	24.3	22.6	24.7
6	19.4	19.8	19.4	20.1
5	16.2	15.5	16.2	15.8
4	12.9	11.5	12.9	11.8
3	9.7	7.8	9.7	8.0
2	6.5	4.6	6.5	4.7
1	3.2	1.8	3.2	1.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37, Distribución de la fuerza estática en altura en D20

D20	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
20	39.1	54.3	39.2	54.1
19	46.3	62.5	46.3	62.3
18	43.8	57.6	43.9	57.4
17	41.4	52.8	41.5	52.7
16	38.9	48.1	39.0	48.0
15	36.5	43.6	36.6	43.6
14	34.1	39.3	34.1	39.3
13	31.6	35.1	31.7	35.1
12	29.2	31.1	29.3	31.1
11	26.8	27.2	26.8	27.3
10	24.4	23.6	24.4	23.6
9	22.0	20.1	22.0	20.2
8	19.5	16.8	19.5	16.9
7	17.1	13.7	17.1	13.8
6	14.6	10.8	14.7	10.9
5	12.2	8.2	12.3	8.3
4	9.8	5.9	9.8	6.0
3	7.4	3.8	7.4	3.9
2	4.9	2.1	4.9	2.1
1	2.5	0.7	2.5	0.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38, Distribución de la fuerza estática en altura en M5

M5	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
5	65.0	73.1	64.2	72.2
4	64.6	72.6	63.8	71.7
3	48.4	54.5	47.8	53.8
2	32.3	36.3	31.9	35.9
1	16.1	18.2	15.9	17.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39, Distribución de la fuerza estática en altura en M10

M10	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
10	38.4	47.8	36.4	45.7
9	43.1	53.1	40.9	50.7
8	38.3	46.6	36.3	44.4
7	33.6	40.2	31.8	38.2
6	28.8	33.8	27.2	32.1
5	24.0	27.7	22.7	26.1
4	19.2	21.6	18.2	20.3
3	14.4	15.7	13.6	14.7
2	9.6	10.0	9.1	9.3
1	4.8	4.6	4.5	4.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40, Distribución de la fuerza estática en altura en M15

M15	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
15	44.7	63.7	45.3	64.4
14	51.2	71.3	51.9	72.0
13	47.5	64.5	48.2	65.2
12	43.9	57.9	44.5	58.6
11	40.2	51.6	40.8	52.2
10	36.6	45.4	37.1	46.0
9	33.0	39.5	33.4	40.0
8	29.3	33.7	29.7	34.2
7	25.6	28.2	26.0	28.6
6	22.0	22.9	22.3	23.3
5	18.3	17.9	18.6	18.3
4	14.7	13.3	14.9	13.6
3	11.0	9.0	11.1	9.2
2	7.3	5.2	7.4	5.4
1	3.7	2.1	3.7	2.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41, Distribución de la fuerza estática en altura en M20

M20	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
20	40.0	55.9	40.1	55.7
19	46.9	63.7	46.9	63.5
18	44.4	58.7	44.5	58.5
17	41.9	53.7	42.0	53.6
16	39.5	49.0	39.5	48.9
15	37.0	44.3	37.1	44.3
14	34.5	39.9	34.6	39.9
13	32.1	35.6	32.1	35.6
12	29.6	31.5	29.6	31.5
11	27.1	27.6	27.2	27.6
10	24.7	23.8	24.7	23.9
9	22.2	20.3	22.2	20.4
8	19.7	16.9	19.8	17.0
7	17.3	13.8	17.3	13.9
6	14.8	10.9	14.8	11.0
5	12.3	8.3	12.4	8.3
4	9.9	5.9	9.9	5.9
3	7.4	3.8	7.4	3.8
2	4.9	2.0	5.0	2.1
1	2.5	0.7	2.5	0.7

Fuente: Elaboración propia

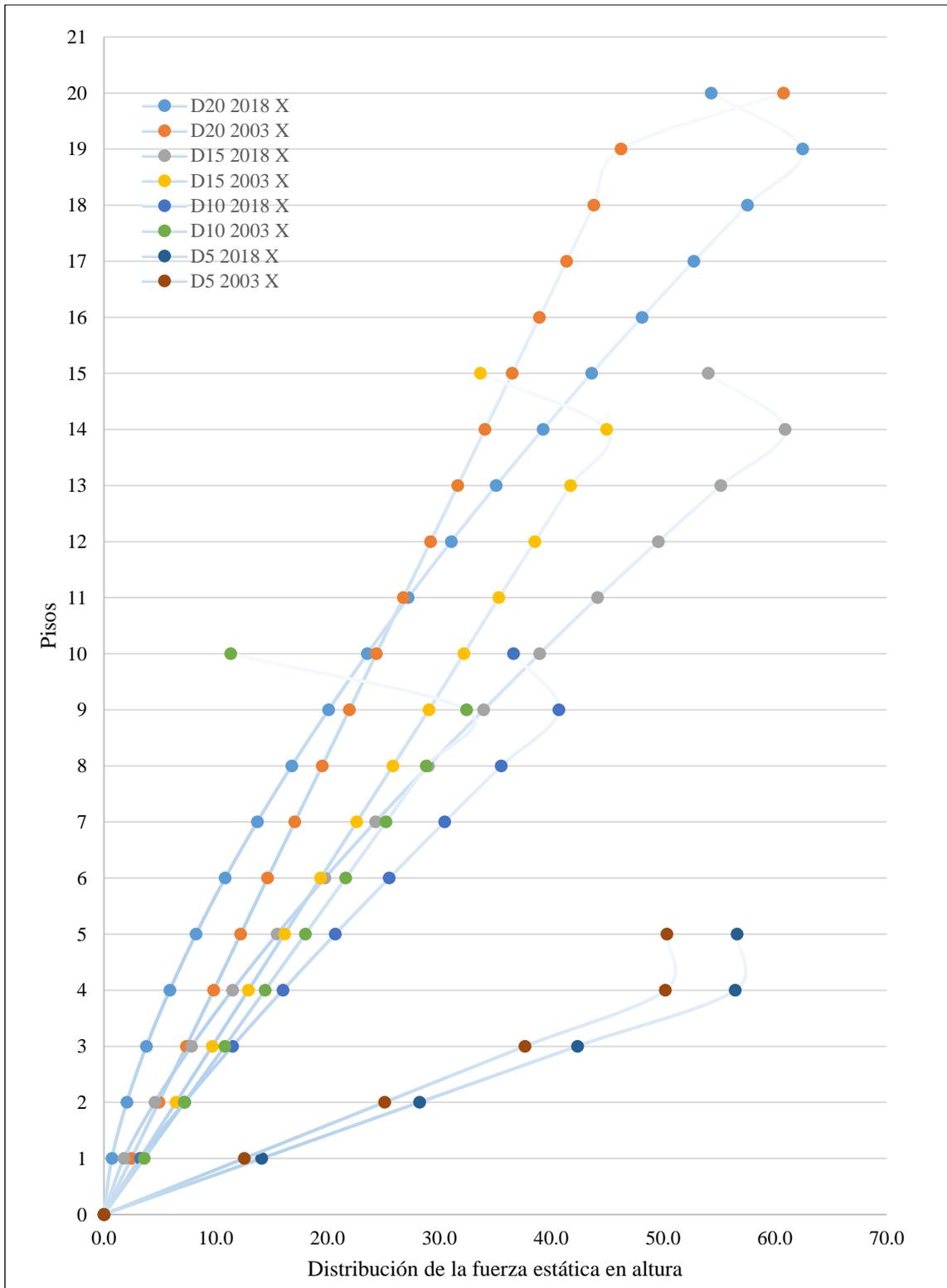


Figura 20, Distribución de la fuerza estática en altura en edificios duales en la dirección X

Fuente: Elaboración propia

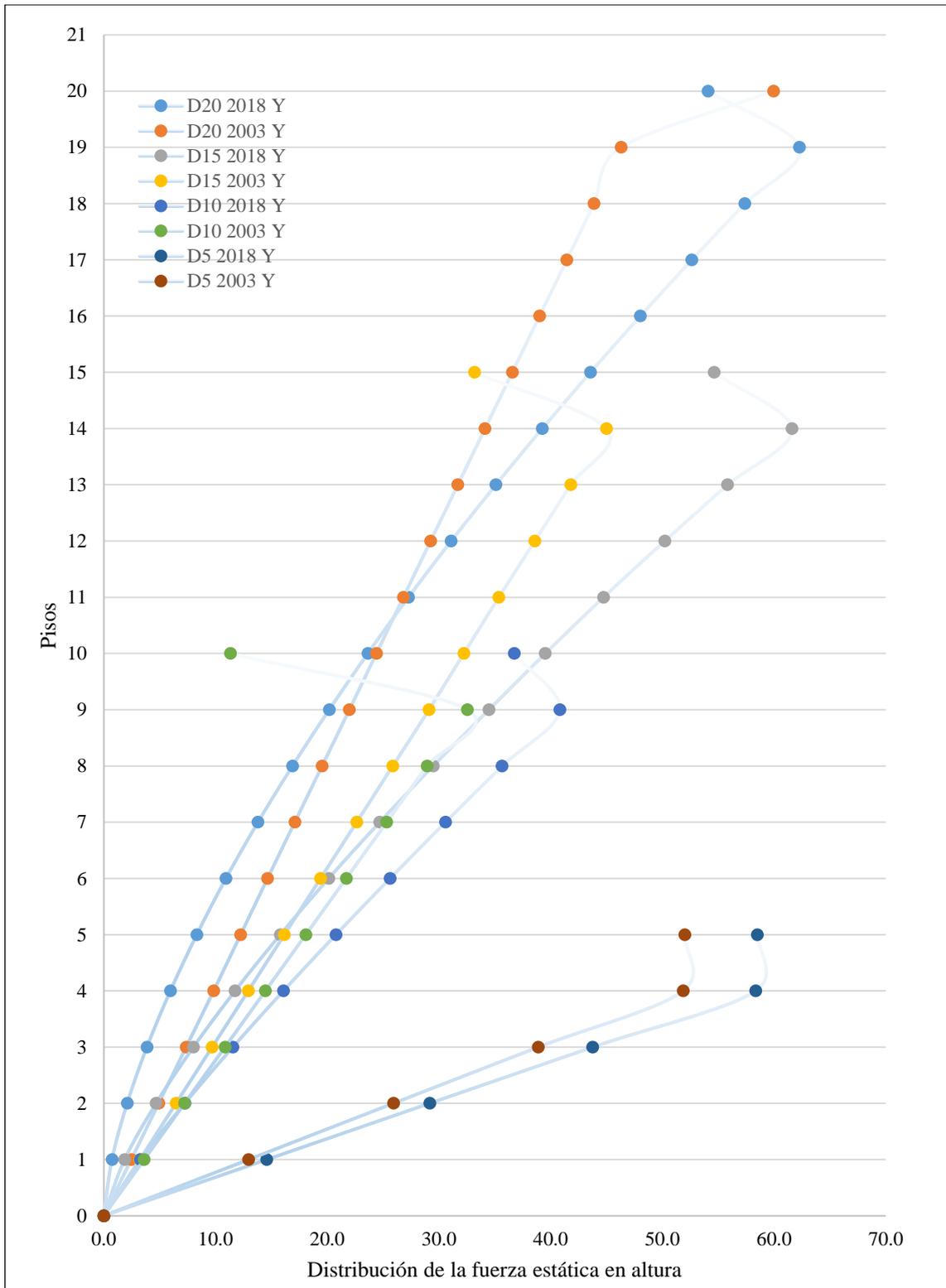


Figura 21, Distribución de la fuerza estática en altura en edificios duales en la dirección Y

Fuente: Elaboración propia

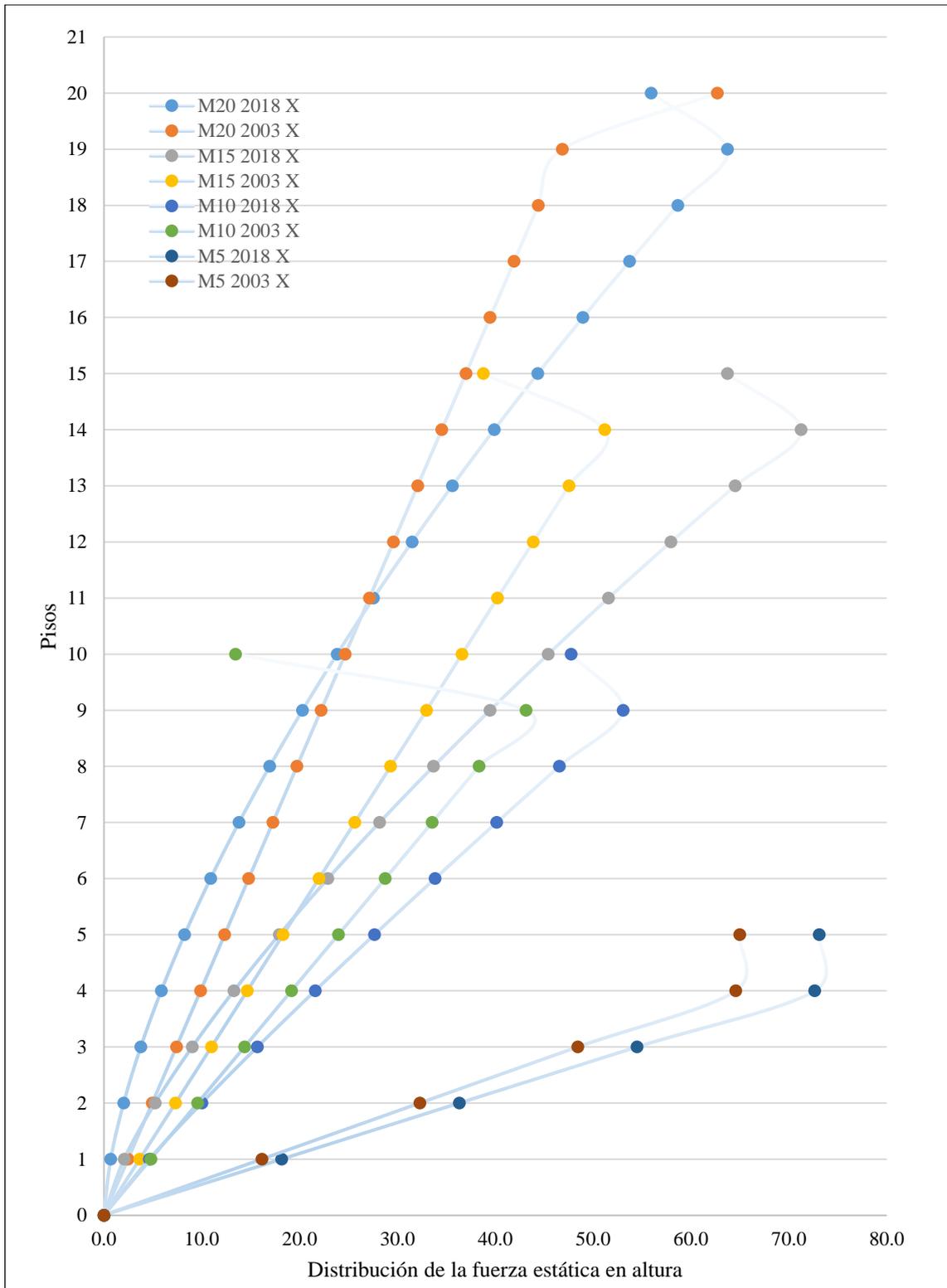


Figura 22, Distribución de la fuerza estática en altura en edificios de muros estructurales en la dirección X
Fuente: Elaboración propia

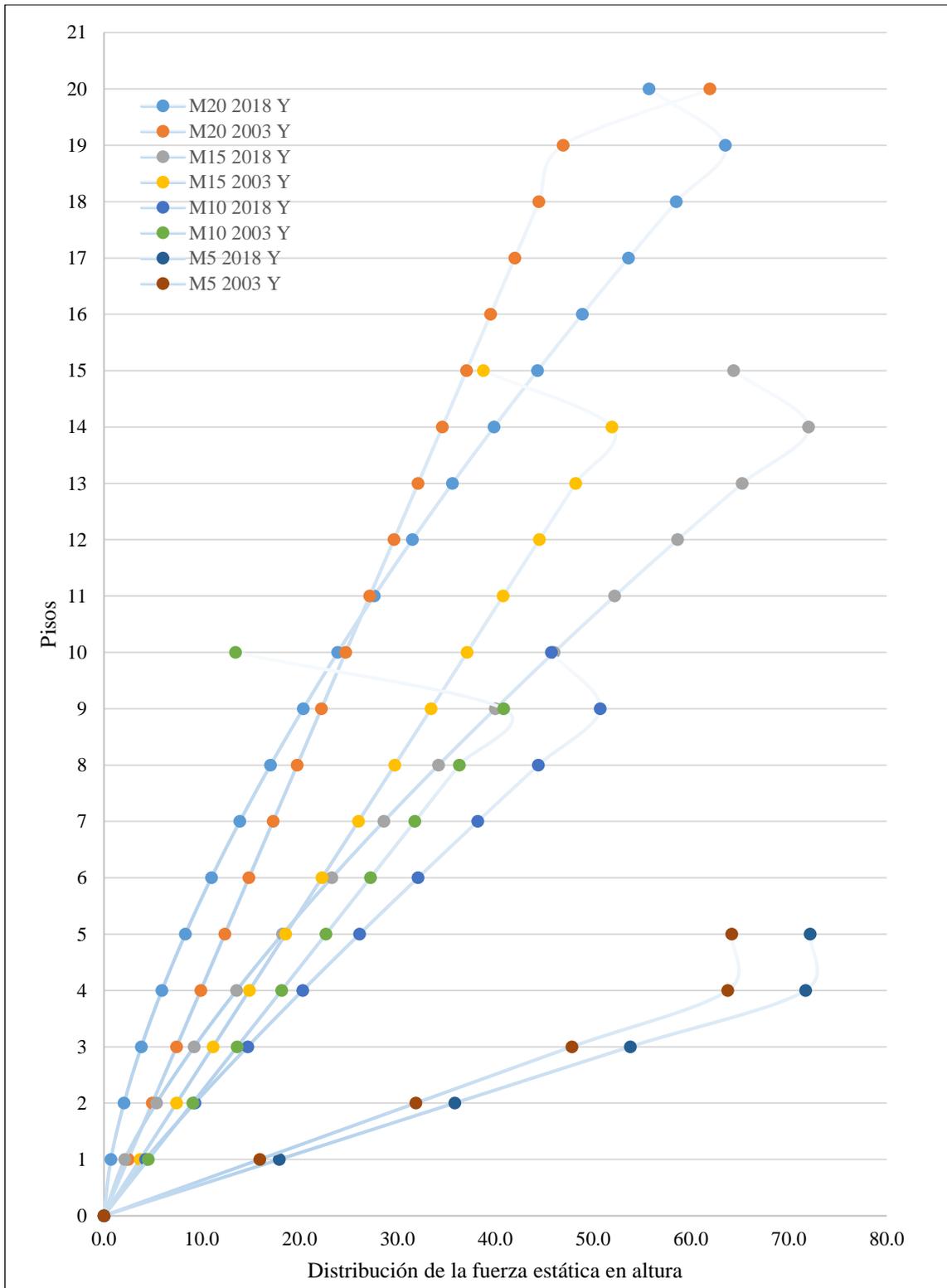


Figura 23, Distribución de la fuerza estática en altura en edificios de muros estructurales en la dirección Y
Fuente: Elaboración propia

5.2 Análisis dinámico

Se presentan los resultados obtenidos, en las direcciones X e Y, los espectros de respuesta, los periodos, modos de vibración y masas efectivas en la tabla 42 y 43 y en la figura 24 y 25. Además, los desplazamientos laterales son valores sin la amplificación hacia la fuerza cortante mínima, mientras que la fuerza cortante dinámica total en la base y la distribución de las fuerzas cortantes dinámicas en altura se presenta con la amplificación correspondiente, los resultados se encuentran en las tablas 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59 y 60, y en las figuras 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 y 33.

5.2.1 Espectro de respuesta

Se presentan los espectros inelásticos de pseudo-aceleraciones con los parámetros sísmicos indicados en las tablas 31. Además, se emplea el mismo espectro de diseño para ambas direcciones predominantes, X e Y, de cada edificación porque mantienen el mismo sistema estructural.

Tabla 42, Espectro de respuesta regular dual y de muros estructurales de ambas normas

T	Regular dual 2003	Regular dual 2018	Regular de muros estructurales 2003	Regular de muros estructurales 2018
	Sa	Sa	Sa	Sa
0.01	1.401	1.577	1.635	1.839
0.10	1.401	1.577	1.635	1.839
0.20	1.401	1.577	1.635	1.839
0.30	1.401	1.577	1.635	1.839
0.40	1.401	1.577	1.635	1.839
0.50	1.121	1.261	1.308	1.472
0.60	0.934	1.051	1.090	1.226
0.70	0.801	0.901	0.934	1.051
0.80	0.701	0.788	0.818	0.920
0.90	0.623	0.701	0.727	0.818
1.00	0.561	0.631	0.654	0.736
1.10	0.510	0.573	0.595	0.669
1.20	0.467	0.526	0.545	0.613
1.30	0.431	0.485	0.503	0.566
1.40	0.400	0.450	0.467	0.526
1.50	0.374	0.420	0.436	0.491
1.60	0.350	0.394	0.409	0.460
1.70	0.330	0.371	0.385	0.433
1.80	0.311	0.350	0.363	0.409
1.90	0.295	0.332	0.344	0.387
2.00	0.280	0.315	0.327	0.368
2.20	0.255	0.287	0.297	0.334
2.50	0.224	0.252	0.262	0.294
2.70	0.208	0.216	0.242	0.252

3.00	0.187	0.175	0.218	0.204
3.50	0.160	0.129	0.187	0.150
4.00	0.140	0.099	0.164	0.115
5.00	0.112	0.063	0.131	0.074

Fuente: Elaboración propia

En la figura 20 y 21 se presentan los espectros de respuesta regulares duales y de muros estructurales de ambas normas.

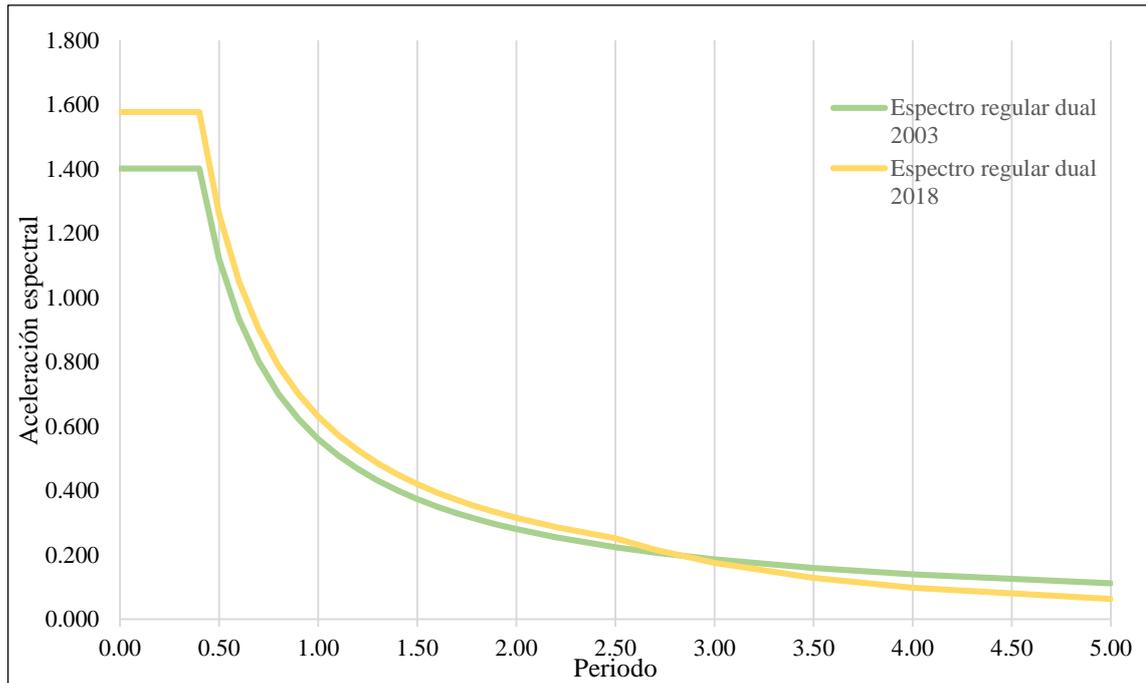


Figura 24, Espectro de respuesta regular dual para ambas normas

Fuente: Elaboración propia

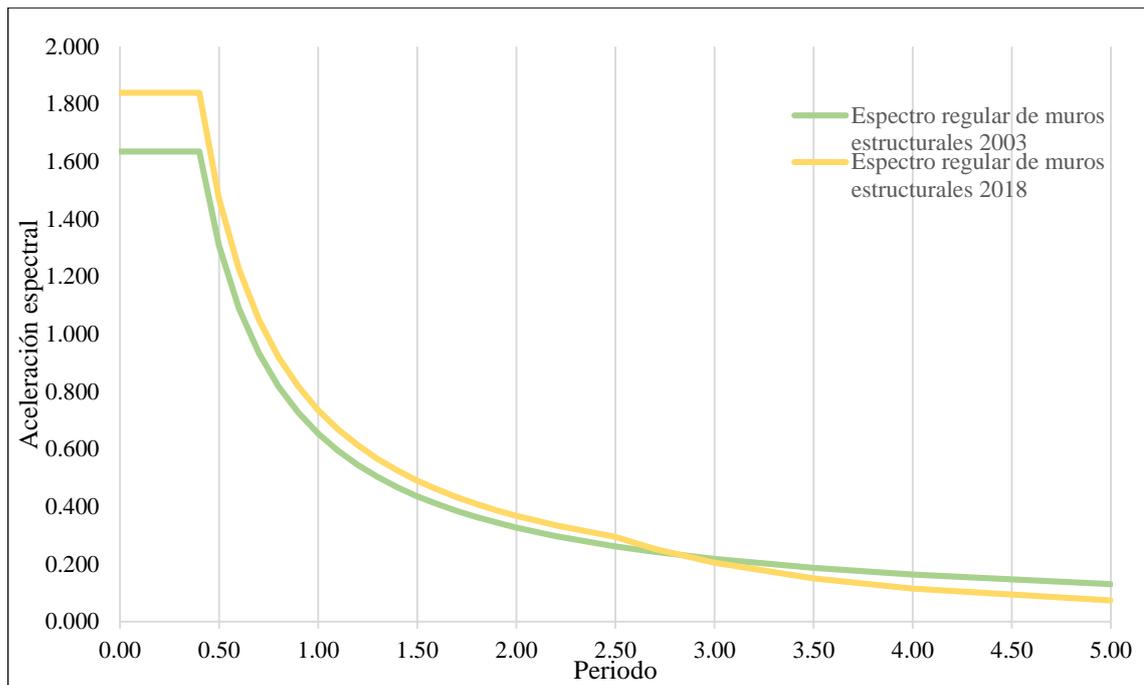


Figura 25, Espectro de respuesta regular de muros estructurales para ambas normas

Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Periodos, modos de vibración y masas efectivas

Tabla 43, Periodos, modos y masas efectivas de edificios a estudiar

Edificios	Periodo		Modos de vibración	Masas efectivas		
	X	Y		UX	UY	UZ
D5	0.511	0.495	15	99.8%	99.8%	95.9%
D10	0.937	0.933	30	99.9%	99.9%	99.2%
D15	1.372	1.353	45	99.9%	99.9%	99.6%
D20	1.809	1.785	60	100.0%	100.0%	99.8%
M5	0.455	0.472	15	99.7%	99.6%	96.6%
M10	0.839	0.883	30	99.8%	99.8%	99.0%
M15	1.388	1.37	45	99.9%	99.9%	99.5%
M20	1.838	1.816	60	99.9%	99.9%	99.7%

Fuente: Elaboración propia

5.2.3 Fuerza cortante dinámica total en la base

Tabla 44, Fuerza cortante dinámica total en la base de edificios a estudiar

Edificios	2003	2018	2003	2018
	X	X	Y	Y
D5	140.8	158.3	145.5	163.5
D10	161.9	182.0	162.5	182.7
D15	328.8	361.1	328.8	366.1
D20	450.5	446.0	450.4	445.8
M5	181.2	203.9	181.3	203.8
M10	214.1	240.9	203.3	228.9
M15	374.4	421.2	379.3	426.3
M20	457.6	453.3	457.8	453.2

Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura

Tabla 45, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en D5

D5	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
5	43.8	49.3	45.0	50.5
4	82.8	93.0	85.4	96.0
3	111.9	125.8	115.6	130.0
2	131.5	147.8	135.9	152.8
1	140.8	158.3	145.5	163.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en D10

D10	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
10	31.5	35.4	32.1	36.0
9	60.1	67.6	60.7	68.3
8	81.8	91.9	82.4	92.7
7	98.9	111.2	99.5	111.8
6	113.4	127.4	113.7	127.8
5	126.3	141.9	126.5	142.2
4	138.3	155.4	138.5	155.7
3	149.0	167.5	149.4	168.0
2	157.5	177.0	158.0	177.6
1	161.9	182.0	162.5	182.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en D15

D15	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
15	54.4	59.8	54.3	60.5
14	103.8	114.0	103.7	115.4
13	140.1	153.8	140.2	156.1
12	167.5	184.0	167.7	186.8
11	188.3	206.8	188.5	209.9
10	204.9	225.1	204.9	228.1
9	219.2	240.7	218.9	243.7
8	232.8	255.6	232.2	258.6
7	246.8	271.0	246.2	274.1
6	262.1	287.8	261.5	291.2
5	278.4	305.7	278.0	309.6
4	295.1	324.0	294.9	328.3
3	310.4	340.9	310.3	345.6
2	322.4	354.0	322.3	358.9
1	328.8	361.1	328.8	366.1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en D20

D20	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
20	62.1	61.5	61.9	61.2
19	119.6	118.4	119.3	118.1
18	162.5	160.9	162.6	161.0
17	196.0	194.0	196.4	194.4
16	222.5	220.3	223.1	220.8
15	244.3	241.8	244.8	242.3
14	262.8	260.2	263.1	260.5
13	279.5	276.7	279.4	276.6
12	295.0	292.1	294.6	291.6
11	309.8	306.7	309.0	305.9
10	324.2	321.0	323.1	319.8
9	338.2	334.8	337.1	333.6
8	352.4	348.9	351.3	347.8
7	367.1	363.5	366.3	362.5
6	382.7	378.9	382.2	378.3
5	399.2	395.3	399.0	394.9
4	415.9	411.8	415.9	411.6
3	431.3	427.1	431.4	426.9
2	443.6	439.2	443.6	439.0
1	450.5	446.0	450.4	445.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 49, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en M5

M5	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
5	54.6	61.4	55.5	62.4
4	105.6	118.8	105.6	118.7
3	144.3	162.3	143.1	161.0
2	169.8	191.0	167.8	188.8
1	181.2	203.9	179.0	201.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en M10

M10	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
10	39.9	44.9	39.7	44.7
9	77.3	87.0	75.3	84.8
8	106.5	119.8	102.7	115.7
7	130.5	146.8	124.6	140.3
6	150.7	169.5	143.1	161.1
5	168.7	189.8	159.5	179.6
4	184.7	207.8	174.7	196.7
3	198.5	223.3	188.0	211.6
2	208.8	234.9	198.1	223.1
1	214.1	240.9	203.3	228.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en M15

M15	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
15	65.9	74.1	66.4	74.7
14	123.1	138.4	124.4	139.8
13	163.9	184.3	166.0	186.5
12	193.7	218.0	196.4	220.8
11	215.9	242.9	218.8	245.9
10	233.2	262.3	236.2	265.5
9	247.9	278.9	251.0	282.1
8	262.5	295.3	265.6	298.5
7	278.3	313.1	281.6	316.5
6	296.1	333.1	299.7	336.8
5	315.5	354.9	319.5	359.1
4	335.1	377.0	339.6	381.7
3	353.3	397.4	358.0	402.4
2	367.1	413.0	372.0	418.1
1	374.4	421.2	379.3	426.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 52, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en M20

M20	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
20	66.9	66.3	66.6	65.9
19	126.4	125.2	126.1	124.8
18	169.7	168.1	169.7	168.0
17	202.6	200.7	203.0	201.0
16	228.5	226.4	229.0	226.7
15	249.6	247.3	250.1	247.6
14	267.5	265.0	267.9	265.2
13	283.7	281.0	283.8	280.9
12	298.9	296.1	298.6	295.6
11	313.4	310.5	313.0	309.8
10	327.5	324.4	326.9	323.6
9	341.6	338.4	341.0	337.5
8	355.9	352.5	355.4	351.8
7	371.2	367.7	370.9	367.2
6	387.6	383.9	387.6	383.7
5	404.9	401.1	405.1	401.0
4	422.4	418.4	422.7	418.4
3	438.3	434.2	438.7	434.2
2	450.7	446.5	451.0	446.4
1	457.6	453.3	457.8	453.2

Fuente: Elaboración propia

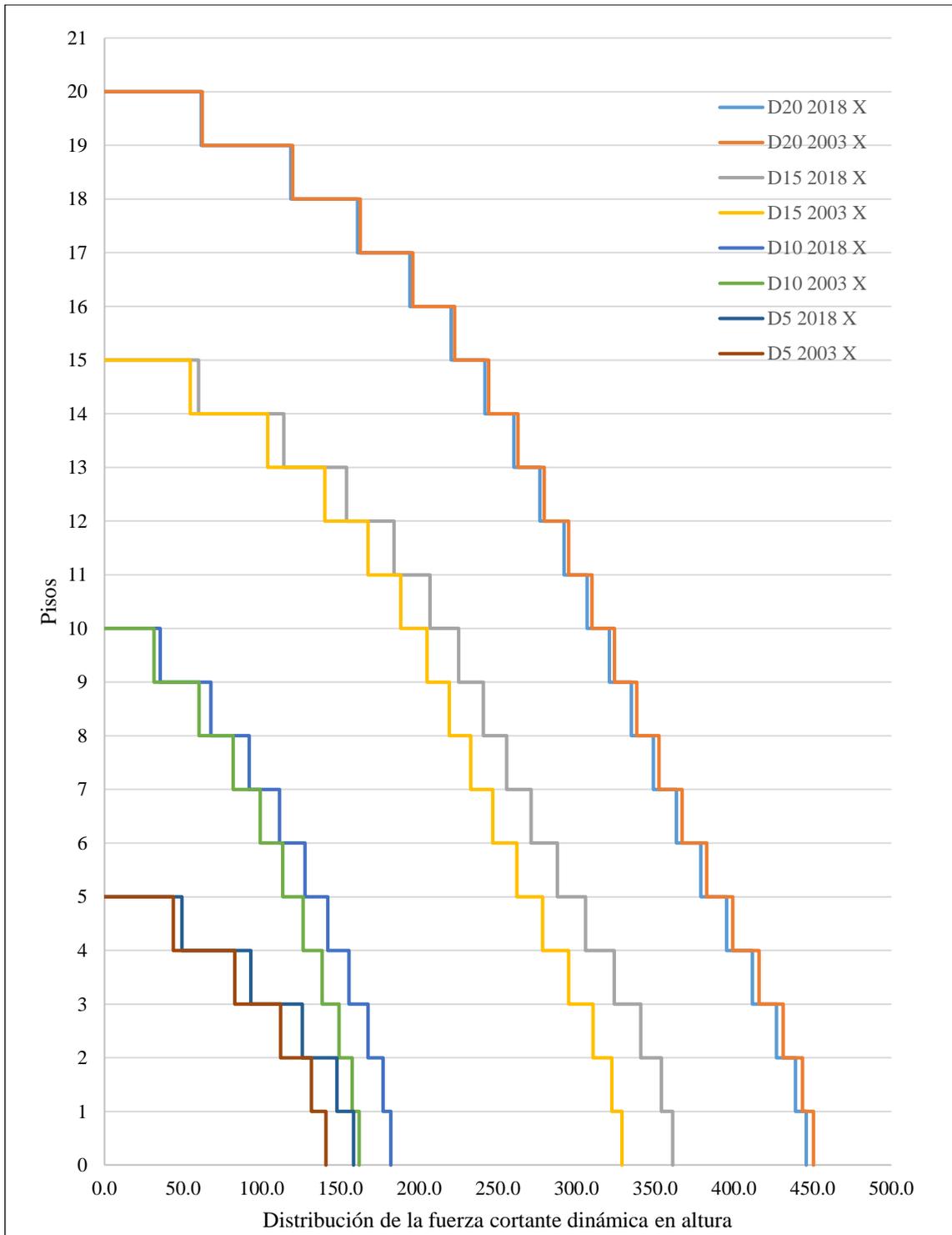


Figura 26, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en edificios duales en la dirección X

Fuente: Elaboración propia

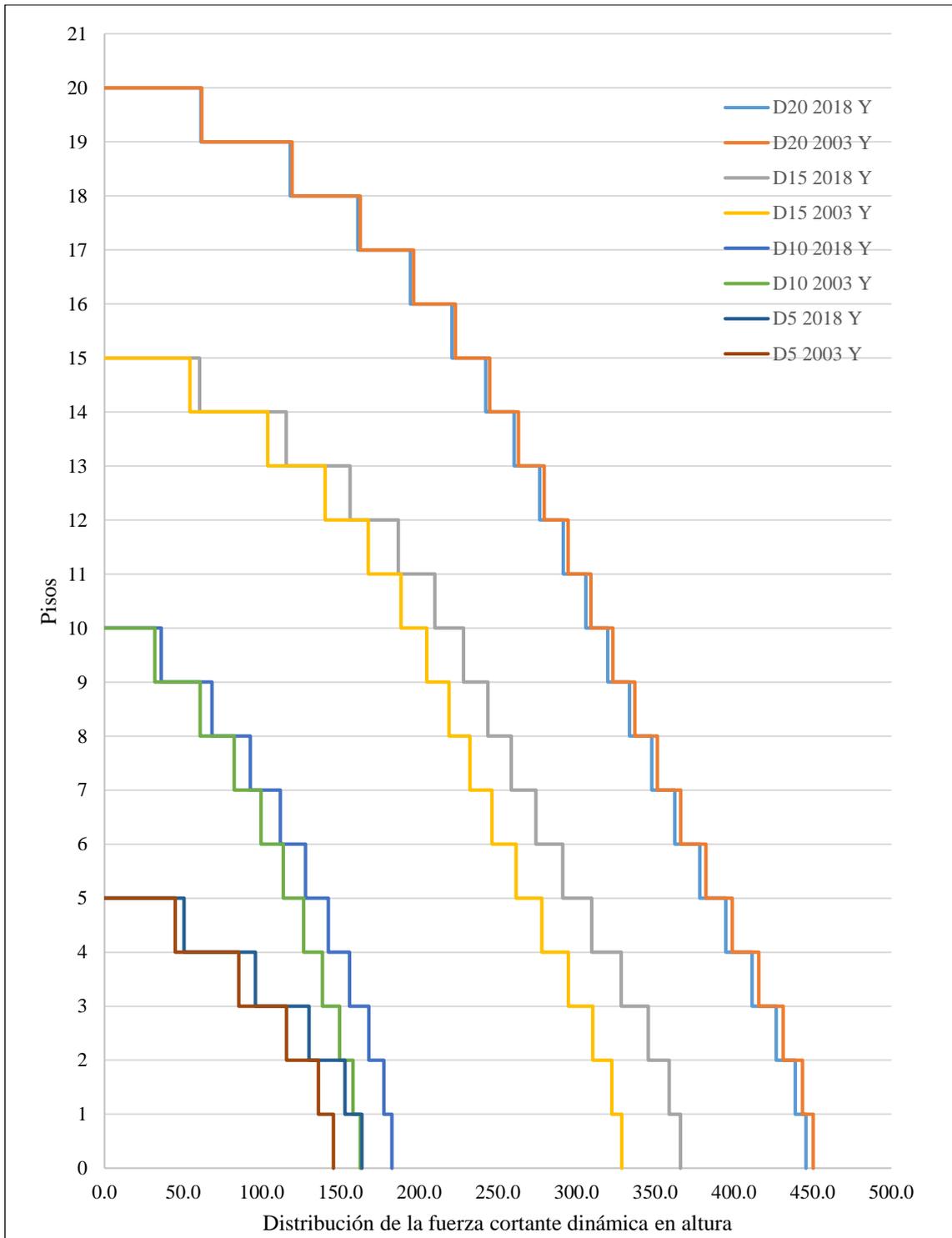


Figura 27, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en edificios duales en la dirección Y
Fuente: Elaboración propia

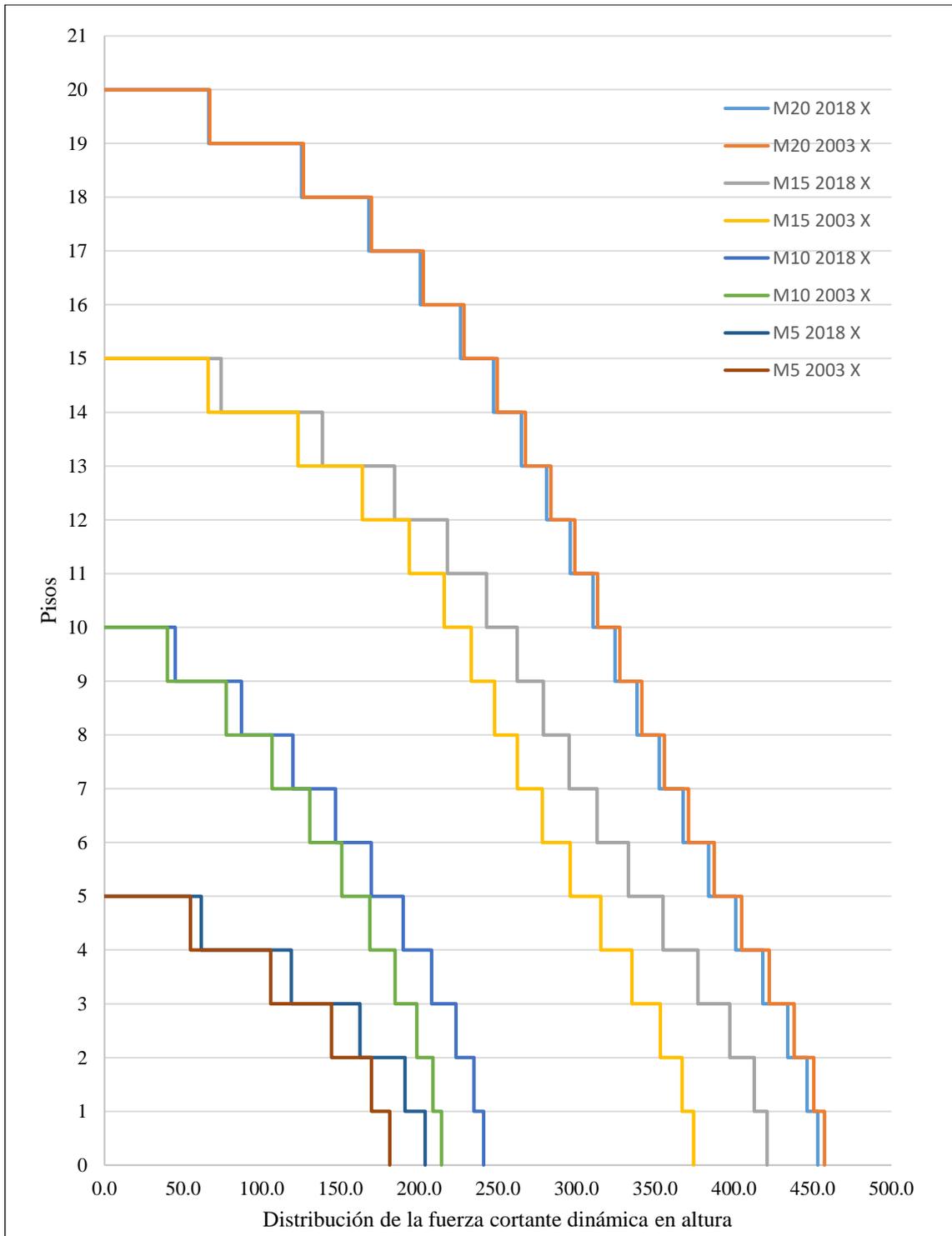


Figura 28, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en edificios de muros estructurales en la dirección X

Fuente: Elaboración propia

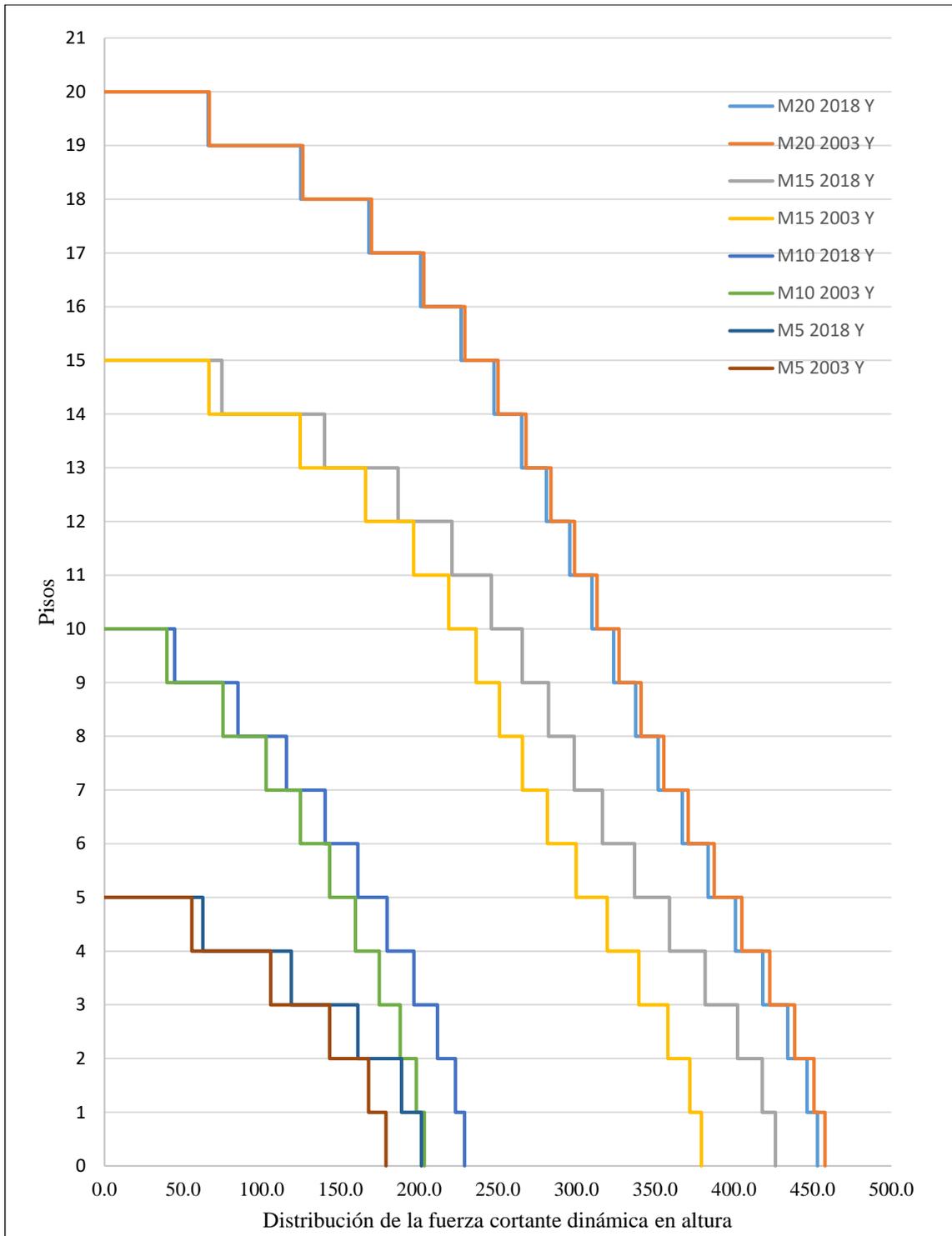


Figura 29, Distribución de la fuerza cortante dinámica en altura en edificios de muros estructurales en la dirección Y

Fuente: Elaboración propia

5.2.5 Desplazamientos laterales

Tabla 53, Desplazamientos laterales en D5

D5	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
5	0.0032	0.0036	0.0033	0.0037
4	0.0043	0.0048	0.0043	0.0049
3	0.0050	0.0056	0.0051	0.0057
2	0.0049	0.0055	0.0050	0.0056
1	0.0029	0.0032	0.0030	0.0033

Fuente: Elaboración propia

Tabla 54, Desplazamientos laterales en D10

D10	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
10	0.0019	0.0022	0.0022	0.0025
9	0.0026	0.0029	0.0029	0.0032
8	0.0032	0.0036	0.0035	0.0040
7	0.0038	0.0043	0.0041	0.0047
6	0.0043	0.0049	0.0046	0.0052
5	0.0048	0.0053	0.0050	0.0057
4	0.0050	0.0056	0.0052	0.0059
3	0.0050	0.0056	0.0052	0.0058
2	0.0043	0.0049	0.0045	0.0050
1	0.0024	0.0027	0.0024	0.0027

Fuente: Elaboración propia

Tabla 55, Desplazamientos laterales en D15

D15	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
15	0.0022	0.0025	0.0022	0.0025
14	0.0027	0.0030	0.0027	0.0030
13	0.0031	0.0035	0.0032	0.0036
12	0.0036	0.0040	0.0036	0.0041
11	0.0039	0.0044	0.0040	0.0045
10	0.0042	0.0047	0.0042	0.0047
9	0.0045	0.0050	0.0044	0.0050
8	0.0047	0.0053	0.0047	0.0052
7	0.0049	0.0055	0.0048	0.0055
6	0.0051	0.0057	0.0050	0.0056
5	0.0051	0.0058	0.0051	0.0057
4	0.0051	0.0057	0.0050	0.0056
3	0.0047	0.0053	0.0046	0.0052
2	0.0039	0.0043	0.0038	0.0043
1	0.0021	0.0023	0.0021	0.0023

Fuente: Elaboración propia

Tabla 56, Desplazamientos laterales en D20

D20	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
20	0.0019	0.0022	0.0020	0.0022
19	0.0023	0.0026	0.0023	0.0026
18	0.0027	0.0030	0.0027	0.0031
17	0.0030	0.0034	0.0031	0.0035
16	0.0034	0.0038	0.0034	0.0038
15	0.0037	0.0041	0.0037	0.0042
14	0.0039	0.0044	0.0040	0.0045
13	0.0042	0.0047	0.0042	0.0047
12	0.0044	0.0049	0.0044	0.0049
11	0.0046	0.0051	0.0045	0.0051
10	0.0047	0.0053	0.0047	0.0053
9	0.0049	0.0055	0.0048	0.0054
8	0.0050	0.0056	0.0049	0.0055
7	0.0051	0.0057	0.0050	0.0056
6	0.0051	0.0058	0.0050	0.0057
5	0.0050	0.0056	0.0049	0.0055
4	0.0048	0.0054	0.0047	0.0053
3	0.0044	0.0049	0.0043	0.0049
2	0.0035	0.0040	0.0035	0.0039
1	0.0018	0.0021	0.0018	0.0021

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57, Desplazamientos laterales en M5

M5	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
5	0.0026	0.0029	0.0032	0.0036
4	0.0036	0.0041	0.0042	0.0047
3	0.0044	0.0050	0.0049	0.0055
2	0.0045	0.0050	0.0048	0.0054
1	0.0027	0.0030	0.0027	0.0031

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58, Desplazamientos laterales en M10

M10	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
10	0.0017	0.0019	0.0021	0.0024
9	0.0023	0.0025	0.0027	0.0030
8	0.0029	0.0032	0.0033	0.0037
7	0.0034	0.0038	0.0039	0.0044
6	0.0039	0.0044	0.0044	0.0049
5	0.0043	0.0048	0.0048	0.0054
4	0.0045	0.0051	0.0050	0.0056
3	0.0044	0.0050	0.0048	0.0055
2	0.0038	0.0043	0.0041	0.0046
1	0.0021	0.0023	0.0022	0.0024

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59, Desplazamientos laterales en M15

M15	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
15	0.0026	0.0029	0.0026	0.0029
14	0.0030	0.0033	0.0030	0.0034
13	0.0034	0.0038	0.0034	0.0038
12	0.0038	0.0042	0.0038	0.0042
11	0.0041	0.0046	0.0041	0.0046
10	0.0044	0.0049	0.0044	0.0049
9	0.0046	0.0052	0.0046	0.0052
8	0.0049	0.0055	0.0048	0.0054
7	0.0050	0.0057	0.0050	0.0056
6	0.0052	0.0058	0.0051	0.0057
5	0.0052	0.0058	0.0051	0.0058
4	0.0050	0.0056	0.0049	0.0055
3	0.0045	0.0050	0.0044	0.0050
2	0.0035	0.0039	0.0035	0.0039
1	0.0017	0.0019	0.0017	0.0019

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60, Desplazamientos laterales en M20

M20	2003	2018	2003	2018
Pisos	X	X	Y	Y
20	0.0023	0.0025	0.0023	0.0026
19	0.0026	0.0029	0.0026	0.0029
18	0.0029	0.0032	0.0029	0.0033
17	0.0032	0.0036	0.0033	0.0037
16	0.0035	0.0040	0.0036	0.0040
15	0.0038	0.0043	0.0039	0.0043
14	0.0041	0.0046	0.0041	0.0046
13	0.0043	0.0049	0.0043	0.0049
12	0.0045	0.0051	0.0045	0.0051
11	0.0047	0.0053	0.0047	0.0053
10	0.0049	0.0055	0.0048	0.0055
9	0.0050	0.0057	0.0050	0.0056
8	0.0051	0.0058	0.0051	0.0057
7	0.0052	0.0059	0.0051	0.0058
6	0.0052	0.0059	0.0051	0.0058
5	0.0050	0.0057	0.0050	0.0057
4	0.0048	0.0054	0.0047	0.0053
3	0.0042	0.0047	0.0042	0.0047
2	0.0032	0.0036	0.0032	0.0036
1	0.0015	0.0017	0.0015	0.0017

Fuente: Elaboración propia

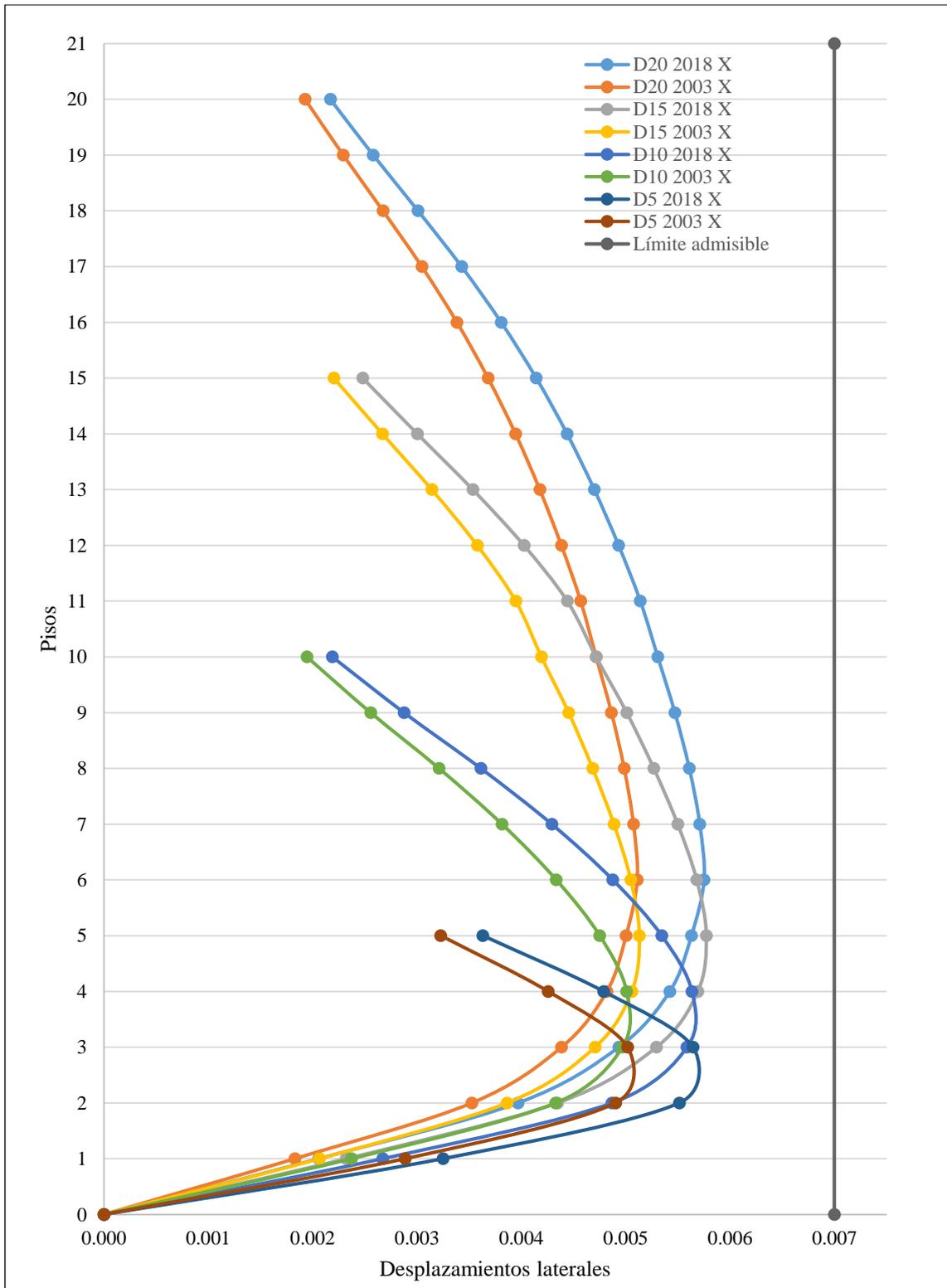


Figura 30, Desplazamientos laterales en edificios duales en la dirección X

Fuente: Elaboración propia

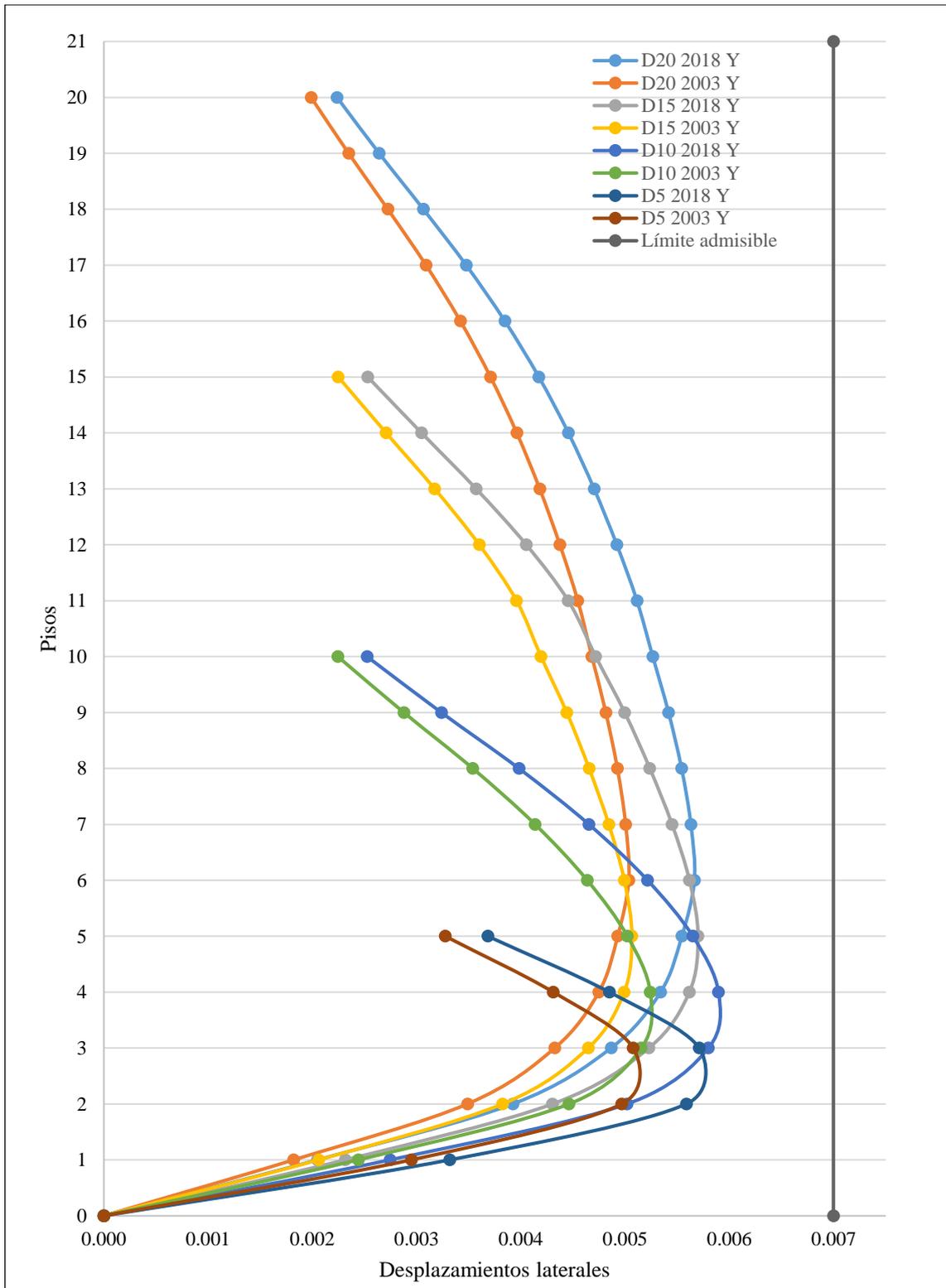


Figura 31, Desplazamientos laterales en edificios duales en la dirección Y

Fuente: Elaboración propia

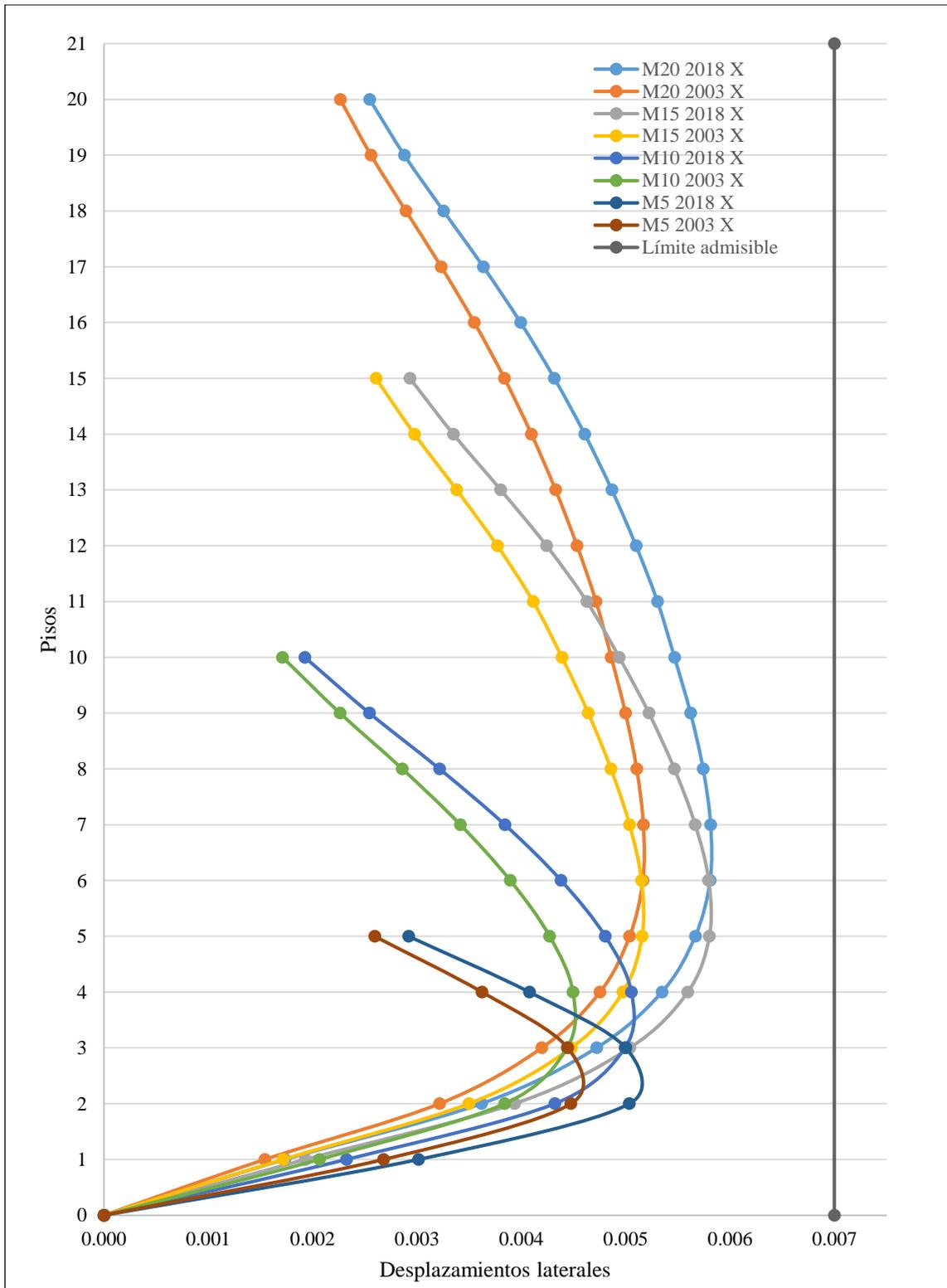


Figura 32, Desplazamientos laterales en edificios de muros estructurales en la dirección X

Fuente: Elaboración propia

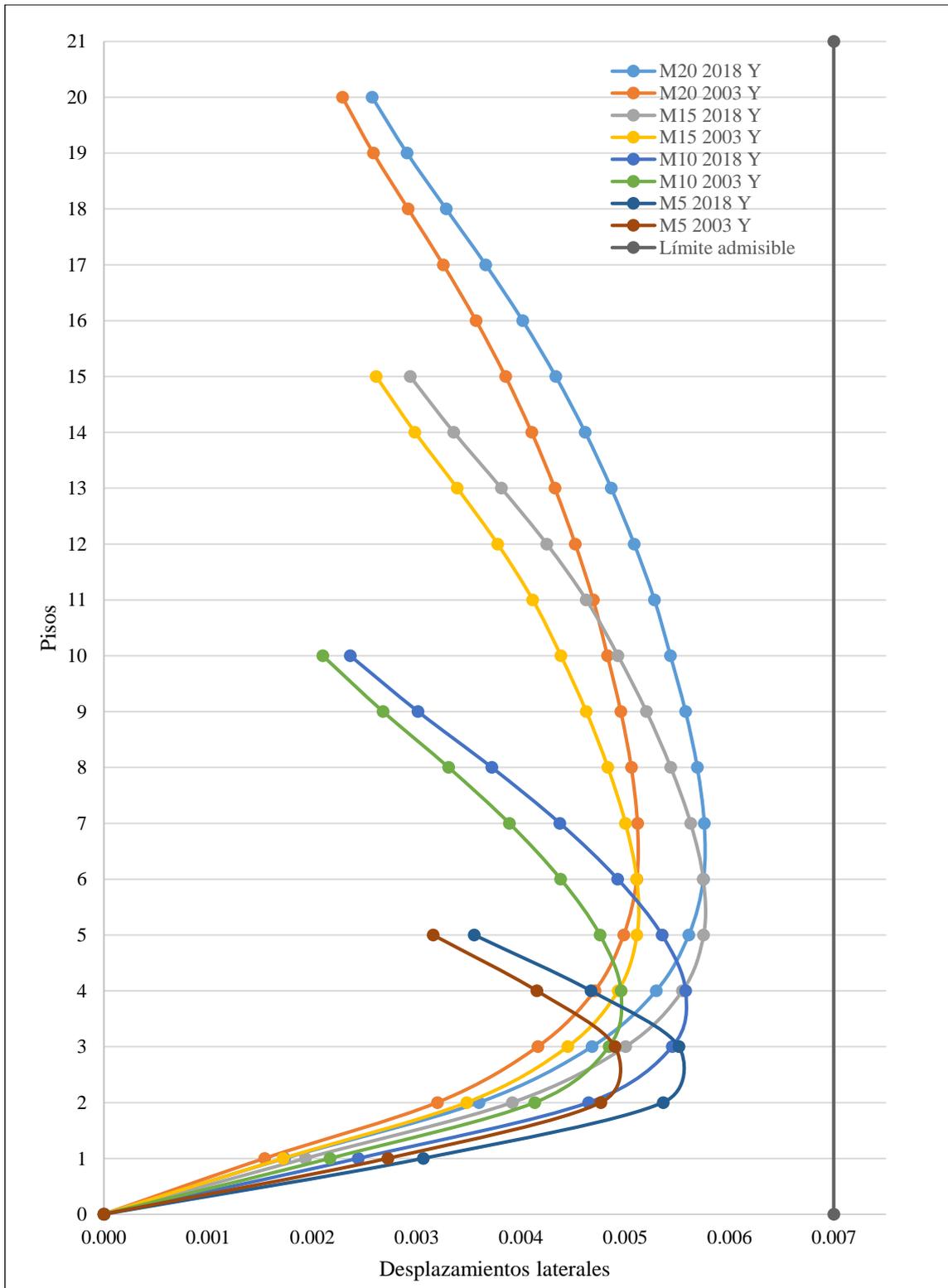


Figura 33, Desplazamientos laterales en edificios de muros estructurales en la dirección Y

Fuente: Elaboración propia

5.3 Cumplimiento de las normativas

Se presenta el cumplimiento de los factores de las fuerzas cortantes mínima, los desplazamientos laterales relativos admisibles y los factores de seguridad del momento de volteo en las tablas 61, 62 y 63.

5.3.1 Cumplimiento del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima

Tabla 61, Cumplimiento del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima

Edificios	2003	2018	2003	2018
	X	X	Y	Y
D5	1.153	1.152	1.152	1.151
D10	1.121	1.120	1.122	1.121
D15	1.090	1.064	1.073	1.062
D20	1.426	1.255	1.406	1.237
M5	1.112	1.112	1.169	1.154
M10	1.135	1.135	1.134	1.135
M15	1.062	1.062	1.061	1.060
M20	1.239	1.091	1.224	1.077

Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Cumplimiento de los desplazamientos laterales relativos admisibles

Tabla 62, Cumplimiento de los desplazamientos laterales relativos admisibles

Edificios	2003	2018	2003	2018
	X	X	Y	Y
D5	0.0050	0.0056	0.0051	0.0057
D10	0.0050	0.0056	0.0052	0.0059
D15	0.0051	0.0058	0.0051	0.0057
D20	0.0051	0.0058	0.0050	0.0057
M5	0.0045	0.0050	0.0049	0.0055
M10	0.0045	0.0051	0.0050	0.0056
M15	0.0052	0.0058	0.0051	0.0058
M20	0.0052	0.0059	0.0051	0.0058

Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Cumplimiento del factor de seguridad del momento de volteo

Tabla 63, Cumplimiento del factor de seguridad del momento de volteo

Edificios	2003	2018	2003	2018
	X	X	Y	Y
D5	5.742	5.109	10.309	9.172
D10	5.214	4.639	10.018	8.913
D15	8.850	8.059	8.732	7.843
D20	6.801	6.869	6.706	6.775
M5	4.684	4.163	8.391	7.556
M10	4.226	3.757	8.273	7.347
M15	7.710	6.854	7.511	6.683
M20	6.597	6.667	6.507	6.581

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI: DISEÑO ESTRUCTURAL

6.1 Adaptación del ETABS y SAFE a la norma E.060-2009

Se modificaron parámetros para el diseño estructural de las vigas, columnas y muros estructurales para adaptarla a la norma E.060-2009.

Como se observa en la figura 34, se modificaron los valores de los ítems 07, 09, 11, 13, 14 y 16 de las preferencias de diseño para las vigas y columnas.

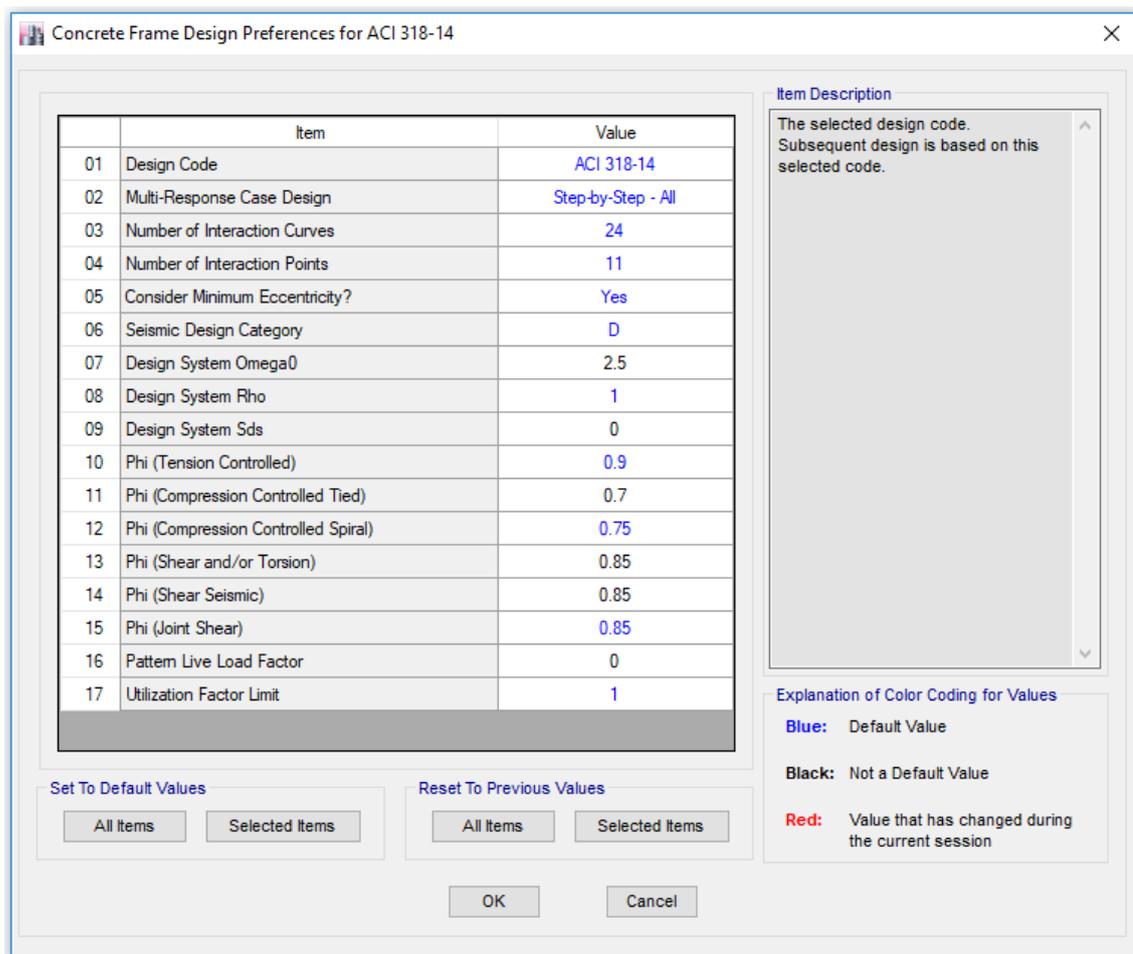


Figura 34, Preferencias de diseño para vigas y columnas en ETABS

Fuente: Elaboración propia

Design System Omega0 (07) es un factor de amplificación adicional hacia las fuerzas sísmicas correspondientes de las combinaciones de diseño, este factor está relacionado al cálculo del refuerzo transversal según las disposiciones especiales de la norma E.060.

Design System Sds (09) es una variable derivada del ASCE/SEI 7-10 asociado a las fuerzas sísmicas verticales, se considera un valor de cero porque dichas fuerzas son consideradas en los modelos matemáticos.

Los ítems 11, 13 y 14, que son los factores de reducción, se modificaron según la norma E.060.

Además, Pattern Live Load Factor (16) se colocó un valor de 0 para desactivar el comando porque en los modelos matemáticos se toma en consideración la alternancia de carga viva.

Como se observa en la figura 35, se modificaron los valores de los ítems 06, 08, 10, 11 y 12 de las preferencias de diseño para los muros estructurales.

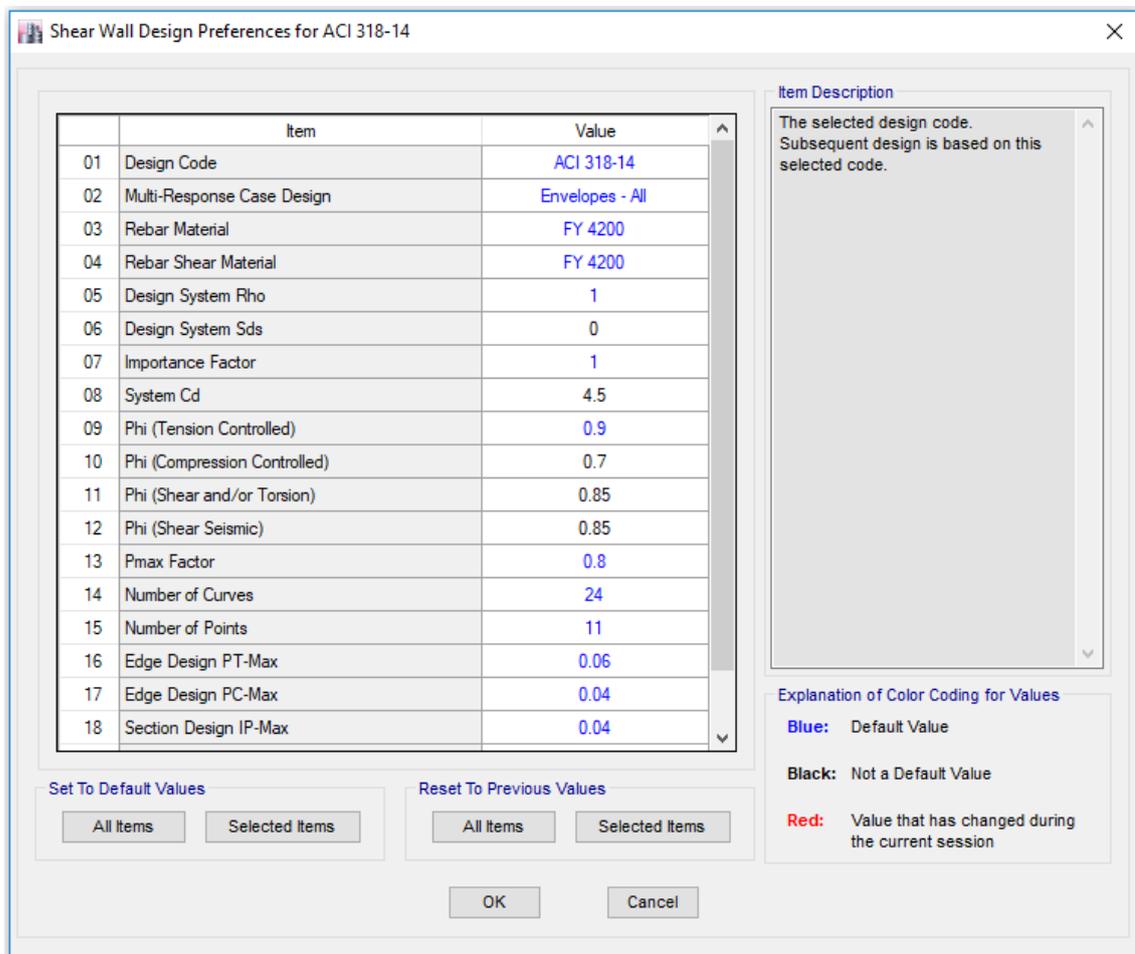


Figura 35, Preferencias de diseño para los muros estructurales en ETABS

Fuente: Elaboración propia

Con los ítems 06, 10, 11 y 12 se aplicaron los mismos criterios considerados para las vigas y columnas.

System Cd (08) es un factor derivado del ASCE/SEI 7-10 que se interpreta como el factor de reducción, R, que es definida por la norma de diseño sismorresistente; este factor está relacionado a los desplazamientos laterales.

En la figura 36, se define el tipo de diseño sísmico para las vigas y columnas según el sistema estructural sea Sway Intermediate para Muros Estructurales o Dual Tipo I, o Sway Special para Dual Tipo II respectivamente, porque existen diferentes criterios considerados para cada tipo y se refleja al momento de presentar los resultados del diseño estructural. Para este trabajo de investigación y según lo correspondiente a los cortantes absorbidos por columnas y muros en los edificios duales y de muros estructurales, el tipo de diseño sísmico será Sway Intermediate, así como lo establece la norma E.060.

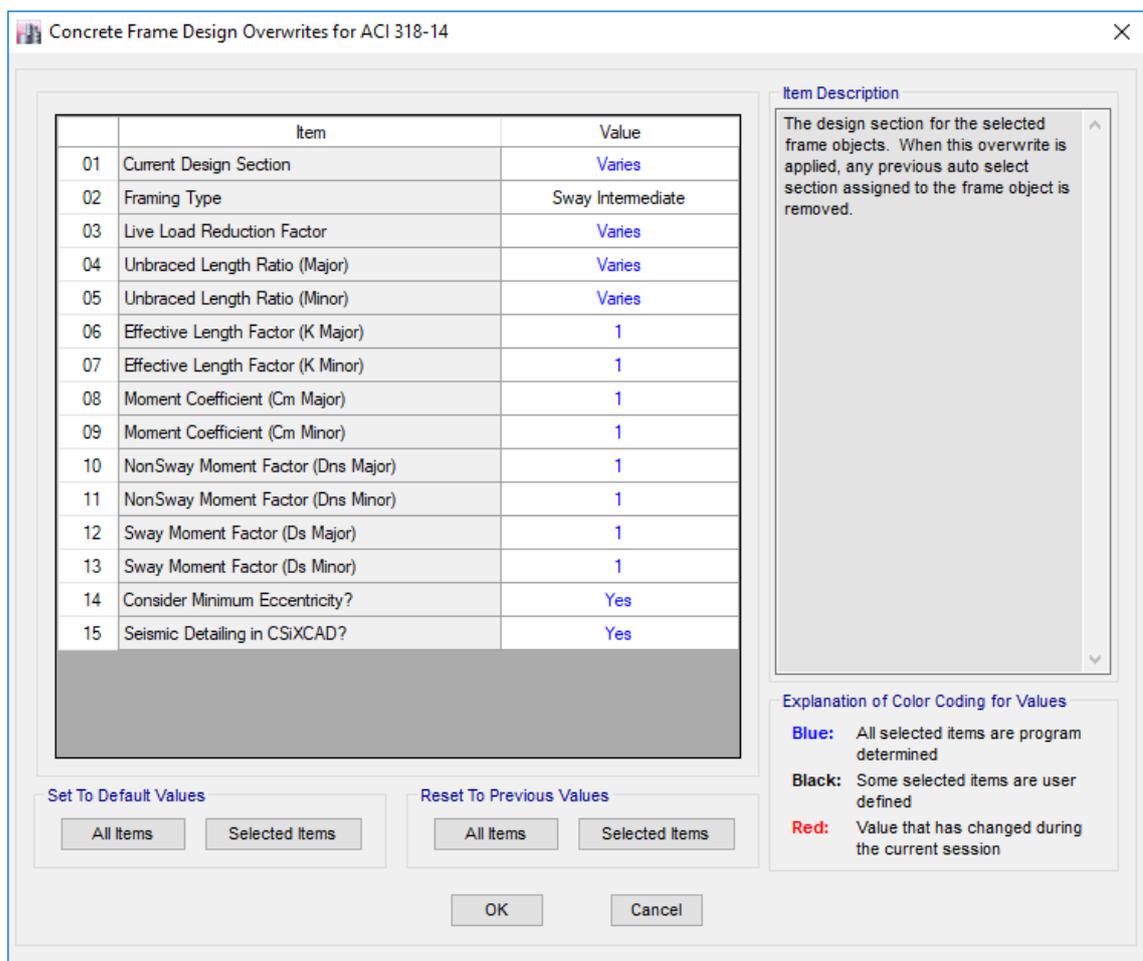


Figura 36, Tipo de diseño sísmico para vigas y columnas en ETABS

Fuente: Elaboración propia

En la figura 37, se modificaron los factores de reducción seleccionados como se indicaron para ETABS 2016.

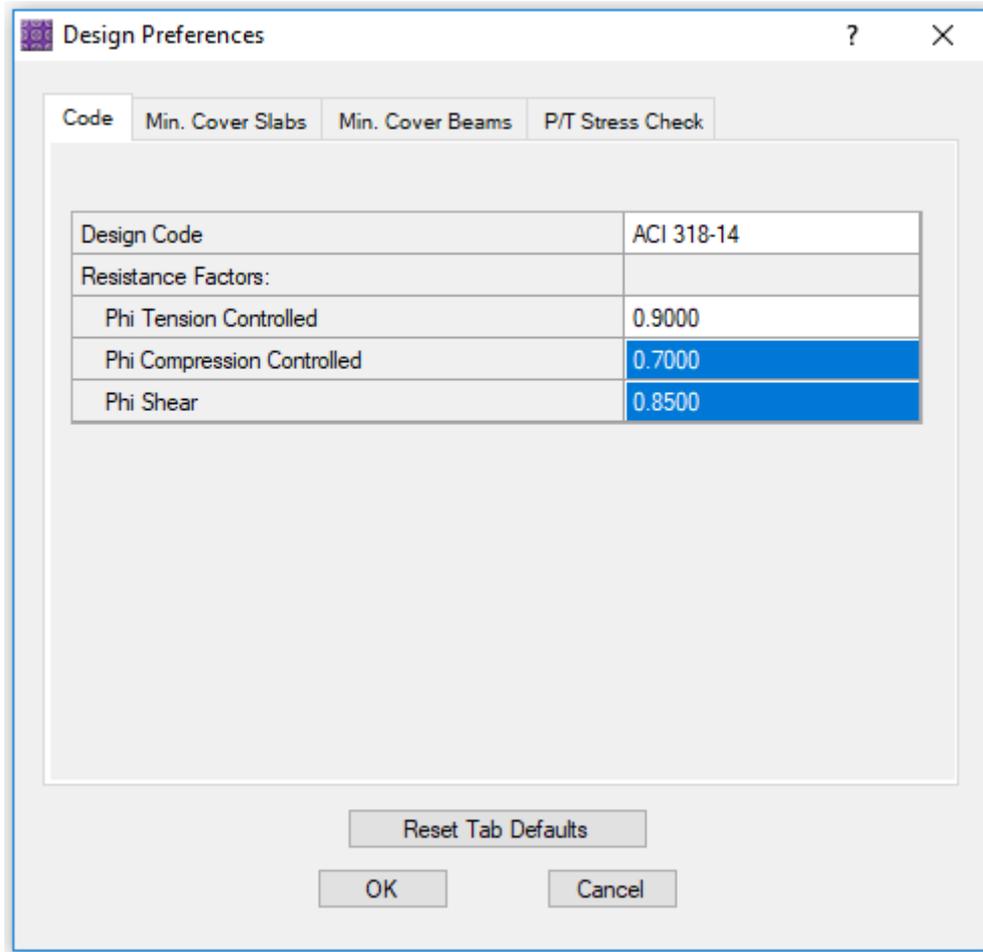


Figura 37, Factores de reducciones en SAFE

Fuente: Elaboración propia

En la figura 38, las zapatas que tienen contacto permanente con el suelo, se les considera un recubrimiento libre de 7 centímetros, por lo tanto, se modificó para éstas el valor del clear cover top y bottom.

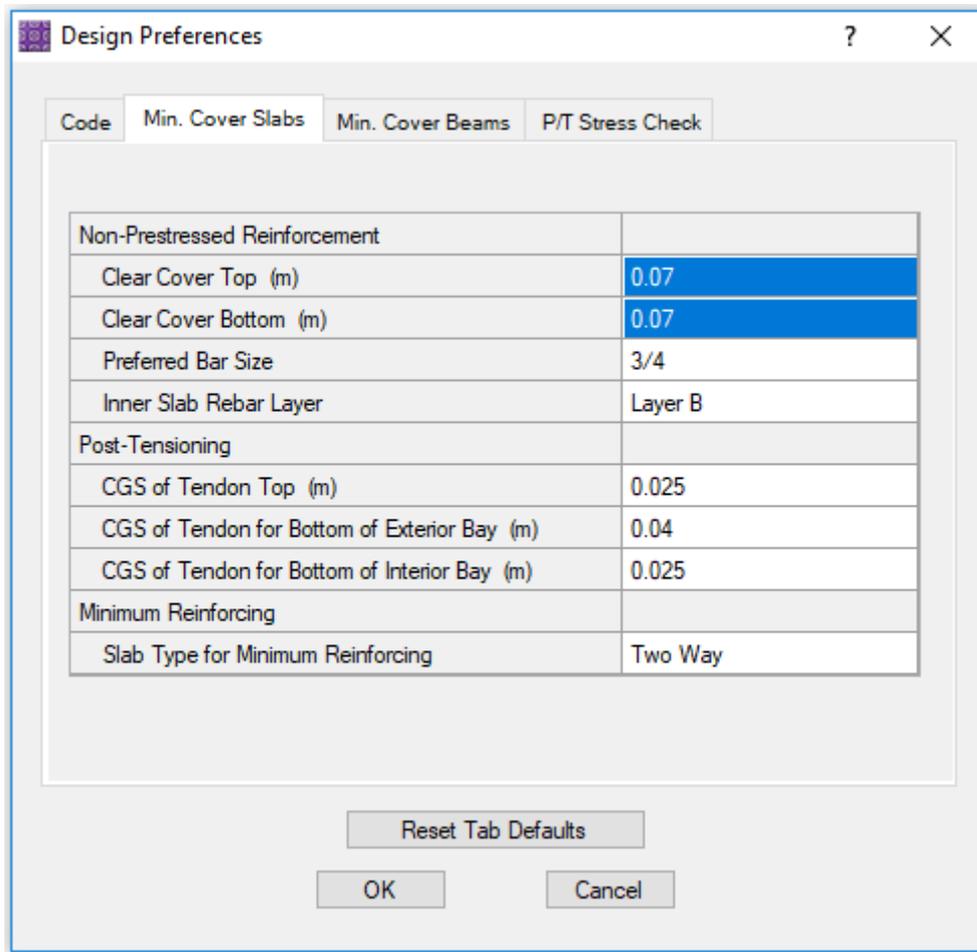


Figura 38, Recubrimiento en SAFE

Fuente: Elaboración propia

6.2 Consideraciones del diseño y armado propuesto

- Para el cálculo del diseño se considera la reducción de carga viva establecida en la norma E.020, ésta se adapta en el software ETABS mediante la norma ASCE7-10.
- Para las vigas que pertenecen a cada grupo de pisos típicos, se seleccionaron aquellas que presentaban las mayores demandas de acero de refuerzo y de ellas se diseñó y colocó como diseño único un armado propuesto.
- Las edificaciones no presentan irregularidades y son simétricas, por lo tanto a las columnas de ejes simétricos se les asignaron un tipo de columna porque presentan una demanda de acero de refuerzo igual y se diseñaron los tipos de columnas por piso.

- Las pautas que se dieron para las columnas se consideraron para los muros.
- Para los elementos verticales la cantidad de varillas longitudinales del piso inferior siempre será mayor a la del piso superior.
- Para todos los elementos estructurales cuando exista una reducción del diámetro de varilla será con una diferencia de 1/8".
- El espaciamiento en centímetros de los estribos en vigas, columnas y muros, se calculó con un múltiplo inferior de 2,5.
- El espaciamiento en centímetros en el refuerzo horizontal en muros, se calculó con un múltiplo inferior de 2,5.
- El espaciamiento en centímetros en el refuerzo longitudinal en zapatas, se calculó con un múltiplo inferior de 2,5.
- Se consideró para todos los elementos estructurales al momento de diseñar, una relación de Demanda sobre Capacidad de un valor igual o menor a 0,90.

6.3 Diseño de un ejemplar de viga

Del modelo M15 diseñado con la norma E.030-2018, la figura 39 muestra la viga de 1er grupo de vigas típicas, de los 5 primeros pisos, entre los ejes B y 1-2. La viga tiene una sección de 25x60 centímetros.

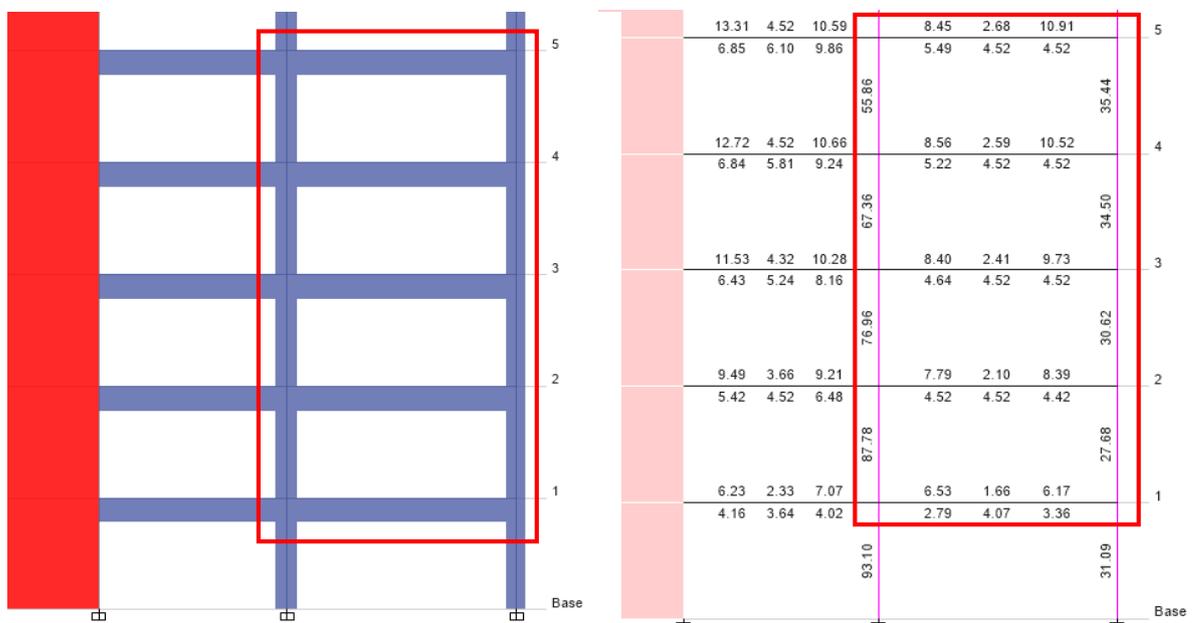


Figura 39, Ejemplar de viga y demanda de acero por flexión

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 43 se presenta el armado propuesta del diseño ejemplar de viga cumpliendo satisfactoriamente con la norma de concreto armado.

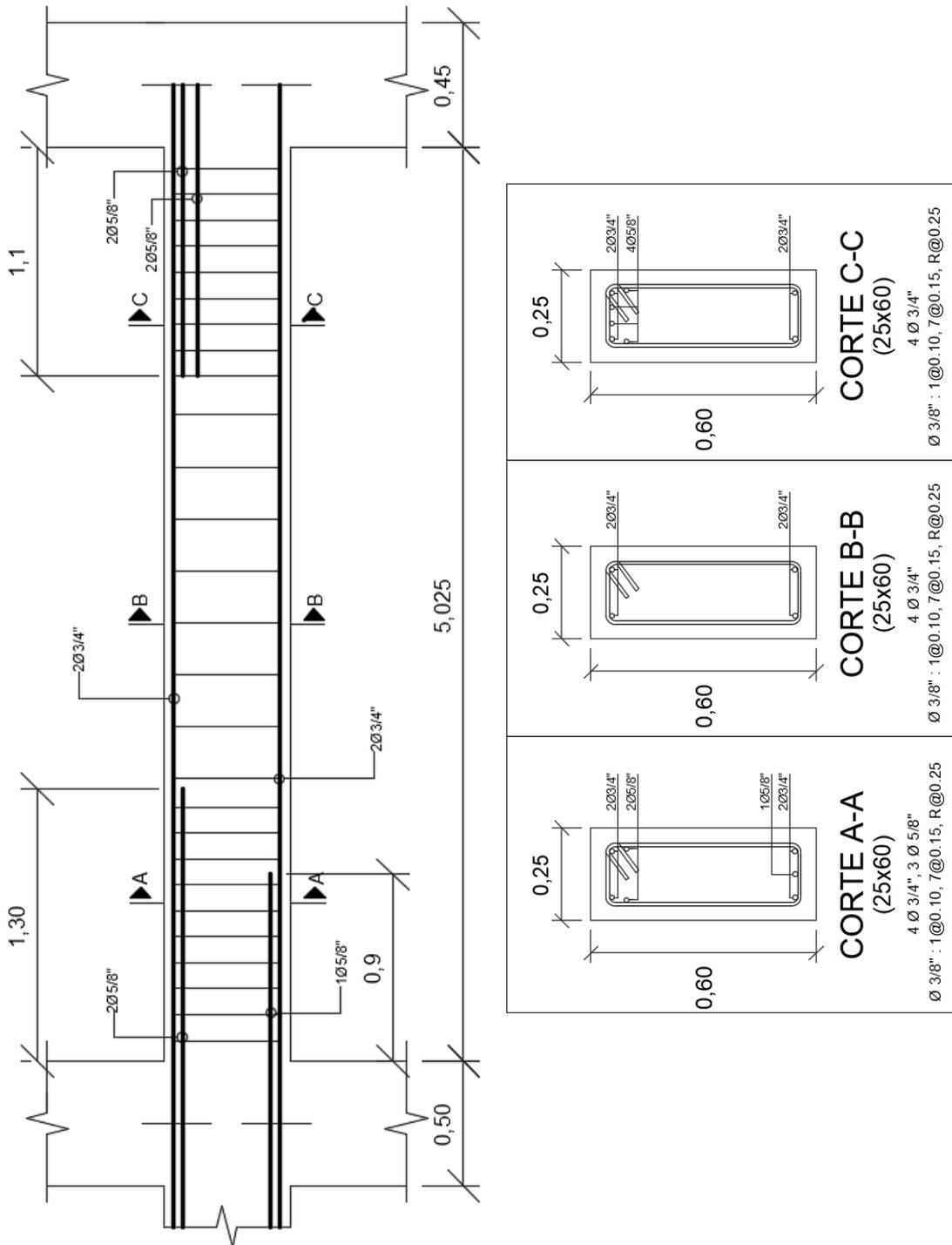


Figura 43, Armado de ejemplar de viga

Fuente: Elaboración propia

6.4 Diseño de un ejemplar de columna

Del modelo M15 diseñado con la norma E.030-2018, se selecciona la columna del primer nivel entre los ejes B y 6. La columna tiene una sección de 45x45 centímetros.

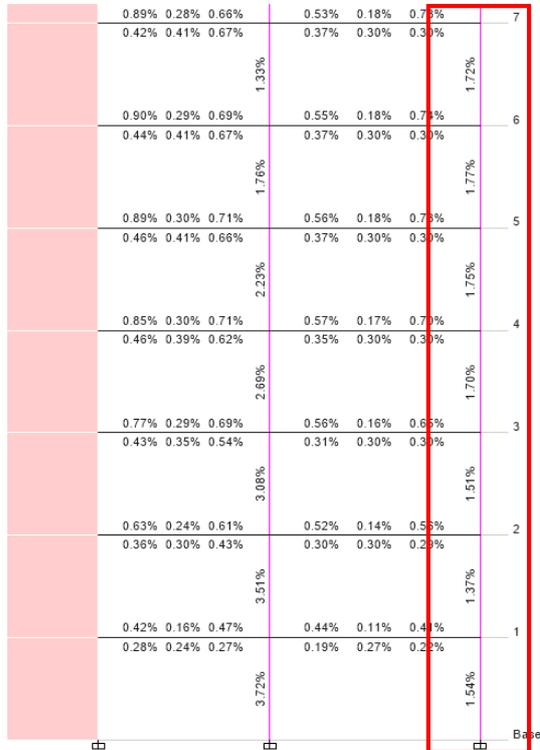


Figura 44, Demanda de acero por flexocompresión en columna

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 44, que la máxima demanda de acero por flexocompresión se encuentra ubicada en el piso 7, posteriormente se extrae las solicitaciones por flexocompresión y corte, y se presenta en la figura 45.

As %	1.77%
C Av / s MAJOR (cm)	0.0377
C Av / s MINOR (cm)	0.0377

Figura 45, Demanda de acero por flexocompresión y corte en columna

Fuente: Elaboración propia

En la figura 46 se coloca el armado para cumplir en la flexocompresión con una demanda sobre capacidad de 0,90 y a la vez se presenta la distribución en altura por corte.

L entrepiso (m)	2.70		As %	1.77%	
Lu (m)	2.10		C Av / s MAJOR (cm)	0.0377	
h col (cm)	45		C Av / s MINOR (cm)	0.0377	
b col (cm)	45				
FLEXOCOMPRESIÓN					
Colocar el doble x lado	Esquina	Interior X (b)	Interior Y (h)		
	4	4	6		
	3/4	3/4	3/4		
As % requerida	1.77%	As colocada			
Cuantía colocada	1.97%	39.90	CORTANTE		
Acero suficiente? D/C	0.90		Tipo	4	5
Cumple?	ok		∅ estribo principal	3/8	3/8
	Lado x (b) 3	Lado y (h) 2			
Ancho/Largo mínimo	29.5	35.4	# ramales total	3	3
Ancho suficiente? D/C	0.66	0.79			
Cumple?	ok	ok	Ash total	2.85	2.85
S real	11.7	9.3	Distribución	1@5 + 5@10 + 5R@17.5 + 1@5 + 5@10	
S real D/C	0.78	0.62			
S máx?	ok	ok			

Figura 46, Calculo del acero por flexocompresión y corte en columna

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, en la figura 47 se presenta el armado propuesto para el diseño de la columna ejemplar.

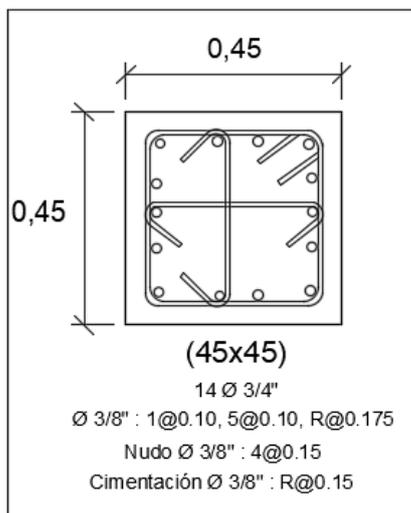


Figura 47, Armado de ejemplar de columna

Fuente: Elaboración propia

6.5 Diseño de un ejemplar de muro estructural

Del modelo M20 diseñado considerando la norma E.030-2018, se selecciona el muro del primer nivel del eje A como se muestra en la figura 48. De sección de 25x350 centímetros.

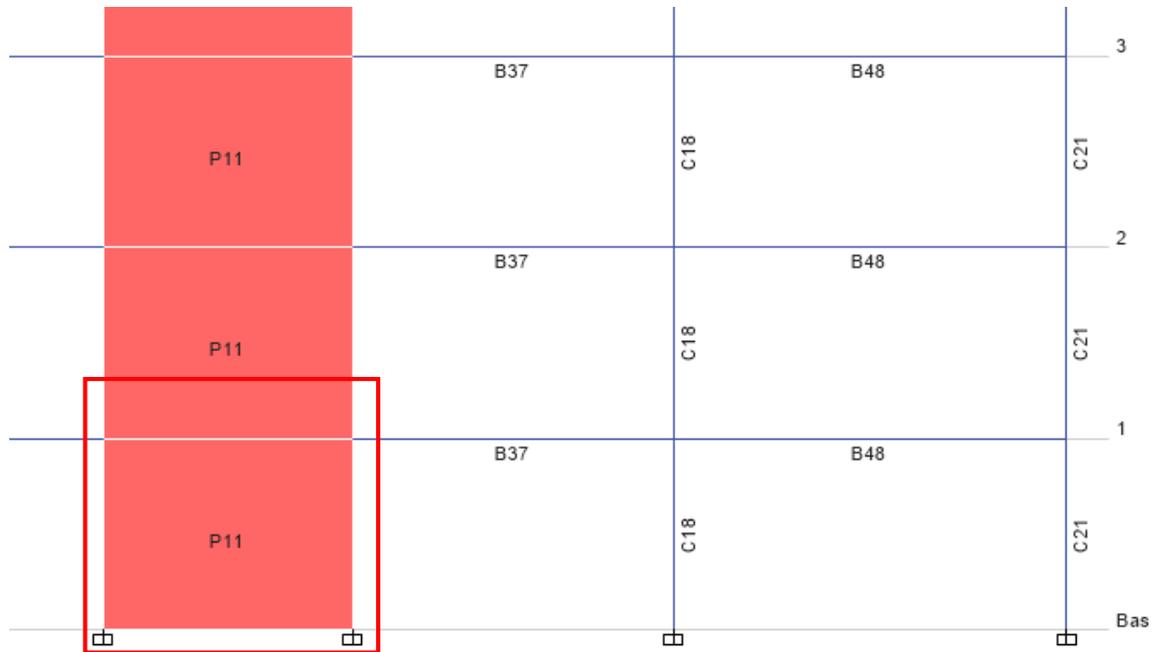


Figura 48, Ejemplar de muro estructural

Fuente: Elaboración propia

En los extremos de los muros se debe concentrar refuerzo longitudinal por brindar una mayor ductilidad al elemento en comparación a un refuerzo distribuido en toda su longitud. La longitud que concentra el refuerzo será el máximo valor entre el 10% de la longitud del muro y 2 veces el espesor del muro. Por lo tanto, con un armado tentativo de refuerzo longitudinal se empieza un proceso iterativo hasta cumplir con el diseño por flexocompresión como se muestra en la figura 49.

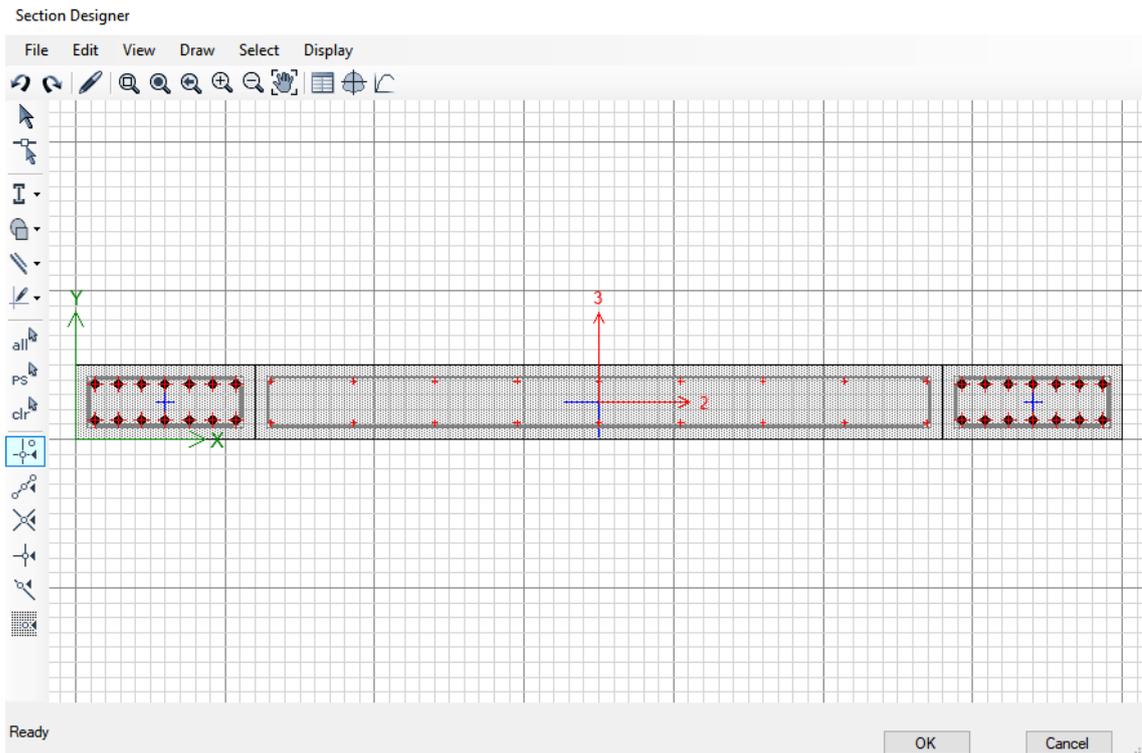


Figura 49, Armado para cumplir con la demanda de flexocompresión en muro estructural

Fuente: Elaboración propia

Dada la conformidad de la demanda sobre capacidad como se observa en la figura 50.

Flexural Design for P, M₃ and M₂

Station	D/C	Flexural	P _u tonf	M _{u2} tonf-m	M _{u3} tonf-m
Top	0.758	0. U1	927.7151	1.5328	-9.5269
Bottom	0.852	0. U2 Y	886.6293	-1.3904	559.4317

Figura 50, Cumplimiento de la demanda sobre capacidad en muro estructural

Fuente: Elaboración propia

Se continúa con el diseño por corte cumpliendo con la amplificación adicional que exige la norma E.060. Del armado colocado para cumplir con la flexocompresión, del diagrama de interacción, se interpola la carga última relacionada con la combinación que tiene el máximo cortante y como observamos en la figura 51, cumplimos con la demanda colocando 2 barras de 1/2" cada 17.5cm.

CORTANTE					
Límite de disposici	5.40	Ø horizontal	1/2		
# Piso?	5.40	colocado @	17.5		
Suficiente?	Conforme				
Mn	1311.68	Datos extraídos del Diagrama de Iteración con ETABS sin Phi			
Mn/Mua	2.32				
Vu diseño	211.26		Pu (tonf)	1063.0	
ØVn max (tonf)	280.23	5	Pn	Mn	
Vu < ØVn max	ok	6	1,103.92	1,283.27	
			819.74	1,480.60	
ØVn	238.0		Mn	1311.68	
D/C	0.89	X sin Ø, Curve #0 y #180	Curve #1 0 deg		
Vu < ØVn max	ok		Point	P tonf	M2 tonf-m
			1	1747.33	0.00
			2	1747.33	0.00
			3	1576.03	0.00
			4	1351.50	0.00
			5	1103.92	0.00
			6	819.74	0.00
			7	598.30	0.00
			8	415.94	0.00
			9	207.26	0.00
		10	-98.97	0.00	
		11	-649.91	0.00	

Figura 51, Amplificación del cortante en muro estructural

Fuente: Elaboración propia

Y de la figura 52, se define la longitud de confinamiento según las combinaciones de diseño y dicha longitud deberá ser estribada, en este caso, por la gran carga axial que tiene, toda la longitud del muro será confinada porque más de la mitad del muro según el diagrama de esfuerzos, está en compresión.

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)									
Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u tonf	M _u tonf-m	Stress Comp tonf/m ²	Stress Limit tonf/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	2.40002	0. U2 X	898.5678	17.7481	989.88	420	2.75002	0.77778
Top-Right	Leg 1	2.40002	0. U2 X	898.5678	17.7481	1059.42	420	2.75002	0.77778
Bottom-Left	Leg 1	2.41717	0. U2 X	903.7097	23.7342	986.31	420	2.76717	0.77778
Bottom-Right	Leg 1	2.41717	0. U2 X	903.7097	23.7342	1079.31	420	2.76717	0.77778

Figura 52, Longitud de confinamiento en muro estructural

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta el armado del muro diseñado en la figura 53.

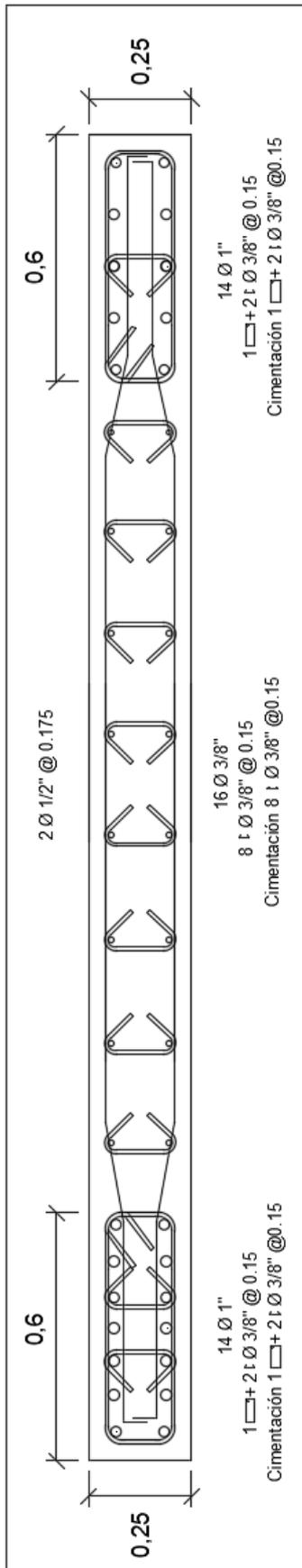


Figura 53, Armado de ejemplar de muro estructural

Fuente: Elaboración propia

6.6 Diseño de un ejemplar de zapata aislada

Del modelo M15, se diseña la zapata que está conectada con el ejemplar de columna anteriormente diseñado. De sección de 225x225x70 centímetros como lo muestra la figura 54.

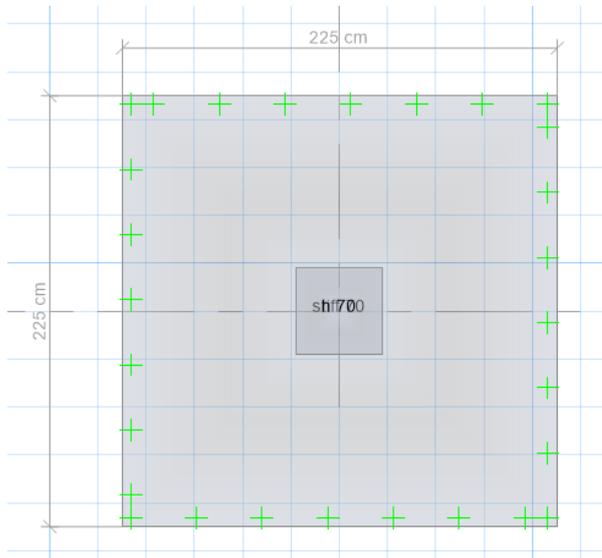


Figura 54, Ejemplar de zapata aislada del ejemplar de la columna

Fuente: Elaboración propia

En la figura 55 se observa que la zapata aislada tiene presiones relativamente uniformes debido a su ubicación y la presión máxima debido a la envolvente de las cargas de servicio y fuerzas sísmicas es de 3.827 y 4.517 kg/cm² siendo inferior al tercio superior de la capacidad del suelo. Por lo tanto, son satisfactorias las dimensiones de 2.25x2.25 metros.

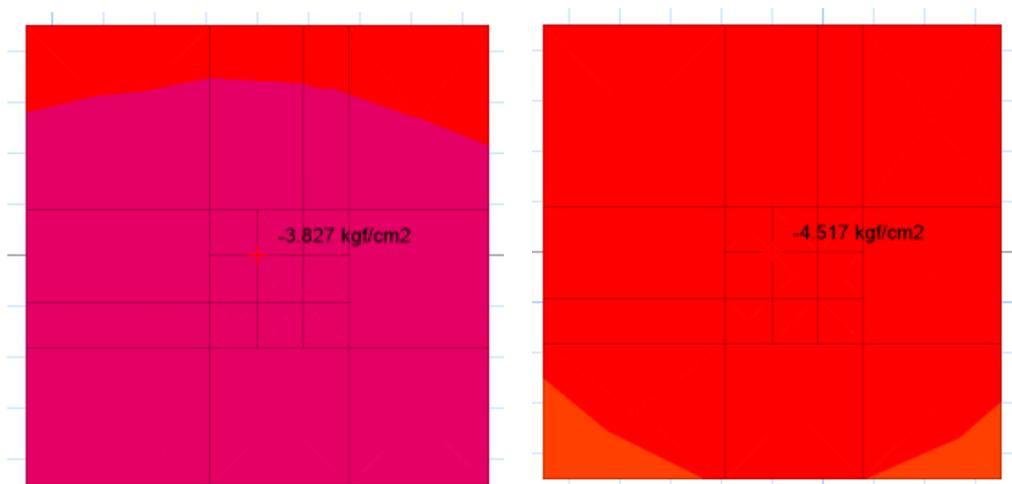


Figura 55, Presiones actuantes de la zapata aislada, cargas de gravedad y con sismo respectivamente

Fuente: Elaboración propia

Se verifica si el espesor de la zapata satisface el cortante por punzonamiento. La figura 56 muestra una demanda entre capacidad menor a 1 con un espesor de zapata de 0,70 metros, no se puede reducir la zapata porque la columna tiene barras de 3/4" y éstas deben cumplir su longitud de anclaje con el espesor de la zapata.

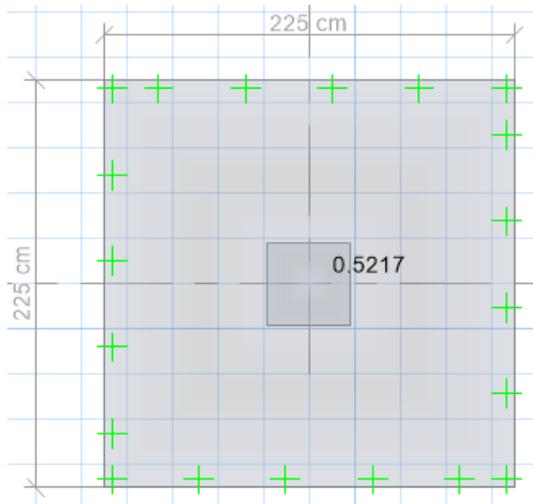


Figura 56, Punzonamiento de la zapata aislada

Fuente: Elaboración propia

Se verifica que la cortante medida desde la cara de la columna más el peralte efectivo en cada dirección de la zapata no sea mayor a la capacidad de corte de la zapata. Se cumple el criterio mencionado porque, en la figura 57, el cortante máximo actuante es 80 tonf y la capacidad es de 92 tonf.

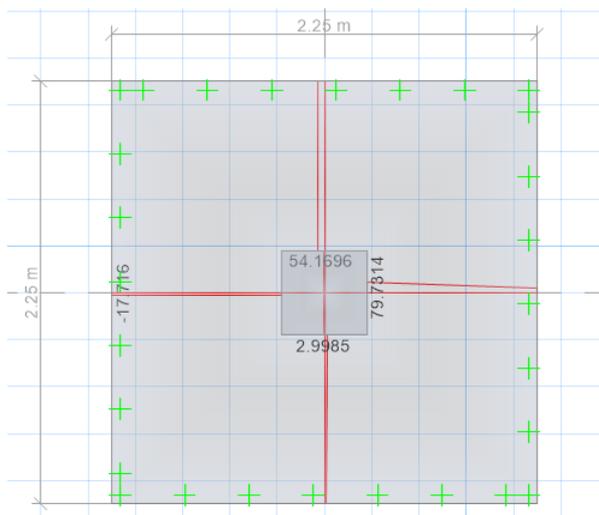


Figura 57, Cortante de la zapata aislada

Fuente: Elaboración propia

La figura 58 muestra una demanda por flexión en cantidad de barras debido a la envolvente de las combinaciones de diseño y el refuerzo mínimo, para satisfacer dicha demanda será suficiente espaciar las varillas de 3/4" cada 0,225 metros.

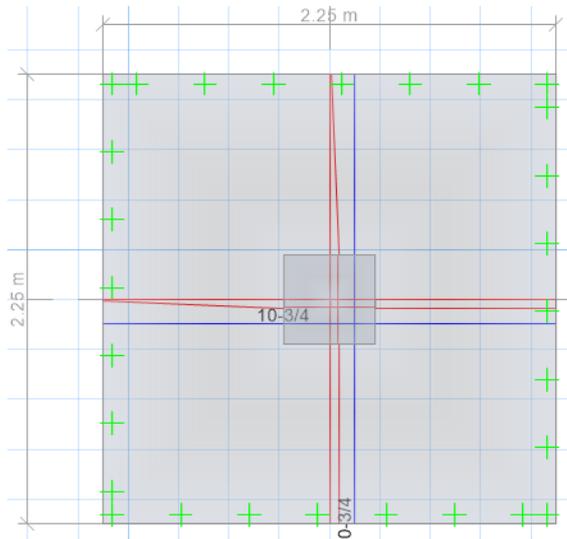


Figura 58, Refuerzo longitudinal por flexión y refuerzo mínimo en cantidad de barras

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VII: METRADOS Y COSTOS DE LOS MATERIALES

7.1 Consideraciones para el metrado de los materiales

- No se consideró ningún tipo de empalmes ni grifado de varillas.
- Las varillas longitudinales de las vigas con un extremo continuo, terminarán con un gancho estándar que se extenderá hasta tener contacto con las varillas longitudinales de las columnas o muros.
- Se consideró para los estribos, ganchos estándar y grapas suplementarias todo lo relacionado a la longitud del extremo libre y diámetro mínimo de doblez estipulado en la norma E.060. El valor de la longitud del extremo libre en centímetros se calculó con un múltiplo superior de 0,50.
- Se cumple todo lo indicado en la norma E.060 con respecto al corte de las varillas longitudinales de las vigas que no sean necesarias por cálculo y en metros se calculó con un múltiplo superior de 0,10.
- El refuerzo central longitudinal por torsión cuando no sea necesario por cálculo se extenderá hasta la mitad de la luz libre, un valor conservador y cumpliendo con lo indicado en la norma de concreto armado.

Las tablas 64 y 65 corresponden a las longitudes de desarrollo de gancho estándar en tracción y los factores de conversión de metros a kilogramos según los diámetros del acero de refuerzo.

Tabla 64, Longitud de desarrollo de ganchos estándar en tracción

Diámetro	Ldg (m)
3/8"	0.21
1/2"	0.28
5/8"	0.35
3/4"	0.41
1"	0.55

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65, Factor de conversión de metros a kilogramos para el acero de refuerzo

Diámetro	Kg/ml
3/8"	0.560
1/2"	0.994
5/8"	1.552
3/4"	2.235
1"	3.973

Fuente: Elaboración propia

7.2 Metrado en los ejemplares diseñados

La viga, columna, muro estructural y zapata diseñados en el capítulo VI, se metran y se presentan los resultados obtenidos en las tablas 66, 67, 68 y 69.

Tabla 66, Metrado de un ejemplar de viga

Elemento estructural	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (kg)	Acero de refuerzo transversal (kg)
Viga	0.75	66.28	23.22

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67, Metrado de un ejemplar de columna

Elemento estructural	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (kg)	Acero de refuerzo transversal (kg)
Columna	0.55	84.57	33.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68, Metrado de un ejemplar de muro estructural

Elemento estructural	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (kg)	Acero de refuerzo transversal (kg)
Muro	2.36	306.75	167.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69, Metrado de un ejemplar de zapata aislada

Elemento estructural	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (kg)
Zapata	3.54	94.42

Fuente: Elaboración propia

7.3 Precio de los materiales

Se presenta los precios de los materiales de concreto, acero y ladrillo de techo en la tabla 70.

Tabla 70, Precio de los materiales de concreto, acero y ladrillo de techo

Precio de los materiales	Unidad	Precio
Acero corrugado $f'y=4200$ (G-60) Precio promedio	T	S/2,888.45
Ladrillo hueco 20X30X30 Pirámide	MLL	S/1,950.00
Concreto pre-mezclado C/Cemento Tipo I $f'c= 210$ kg/cm ² H57 Slump 4" - 6" (*)	M3	S/238.00
Concreto pre-mezclado C/Cemento Tipo I $f'c= 210$ kg/cm ² H67 Slump 6" - 8" (**)	M3	S/247.00

(*) Concreto para elementos horizontales (vigas, losas, cimentaciones)

(**) Concreto para elementos verticales (columnas, muros)

Fuente: Revista COSTOS, Edición 301 (Setiembre, 2019)

7.4 Metrado en los elementos estructurales

Se presentan los metrados y ratios de acero sobre concreto en las vigas, columnas, muros y zapatas en los edificios duales y de muros estructurales en las tablas 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82 y 83.

Tabla 71, Metrado en vigas en edificios duales

Edificios	Concreto (m ³)	Acero de refuerzo longitudinal (ton)	Acero de refuerzo transversal (ton)
D5 - 2003	118.80	7.47	3.99
D10 - 2003	233.70	16.85	7.80
D15 - 2003	550.80	47.73	18.81
D20 - 2003	726.90	78.93	27.37
D5 - 2018	118.80	8.04	4.02
D10 - 2018	233.70	18.06	7.85
D15 - 2018	550.80	51.10	19.28
D20 - 2018	726.90	78.93	27.37

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72, Metrado en vigas en edificios de muros estructurales

Edificios	Concreto (m ³)	Acero de refuerzo longitudinal (ton)	Acero de refuerzo transversal (ton)
M5 - 2003	115.20	7.71	3.93
M10 - 2003	225.00	17.48	7.64
M15 - 2003	540.30	52.60	19.56
M20 - 2003	714.30	79.28	27.15
M5 - 2018	115.20	8.40	3.93
M10 - 2018	225.00	18.33	7.70

M15 - 2018	540.30	55.57	20.17
M20 - 2018	714.30	79.28	27.15

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73, Metrado en columnas en edificios duales

Edificios	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (ton)	Acero de refuerzo transversal (ton)
D5 - 2003	33.61	5.51	3.15
D10 - 2003	84.51	10.39	6.60
D15 - 2003	276.45	38.82	16.81
D20 - 2003	443.12	68.74	25.20
D5 - 2018	33.61	6.54	3.29
D10 - 2018	84.51	12.62	6.69
D15 - 2018	276.45	40.54	17.01
D20 - 2018	443.12	68.74	25.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74, Metrado en columnas en edificios de muros estructurales

Edificios	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (ton)	Acero de refuerzo transversal (ton)
M5 - 2003	26.74	5.27	2.55
M10 - 2003	68.94	10.06	5.08
M15 - 2003	172.55	23.89	10.80
M20 - 2003	327.52	42.68	18.57
M5 - 2018	26.74	6.17	2.66
M10 - 2018	68.94	11.60	5.31
M15 - 2018	172.55	26.12	11.12
M20 - 2018	327.52	42.68	18.57

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75, Metrado en muros en edificios duales

Edificios	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (ton)	Acero de refuerzo transversal (ton)
D5 - 2003	24.02	2.31	1.60
D10 - 2003	66.72	3.83	2.93
D15 - 2003	181.72	7.57	7.31
D20 - 2003	289.34	12.87	12.73
D5 - 2018	24.02	2.60	1.87
D10 - 2018	66.72	4.19	3.32
D15 - 2018	181.72	8.19	7.78
D20 - 2018	289.34	12.87	12.73

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76, Metrado en muros en edificios de muros estructurales

Edificios	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (ton)	Acero de refuerzo transversal (ton)
M5 - 2003	38.61	4.11	2.69
M10 - 2003	111.20	7.36	5.66
M15 - 2003	309.75	15.34	12.45
M20 - 2003	493.20	26.56	20.48
M5 - 2018	38.61	4.33	2.84
M10 - 2018	111.20	7.56	5.83
M15 - 2018	309.75	15.99	12.91
M20 - 2018	493.20	26.56	20.48

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77, Metrado en zapatas en edificios duales

Edificios	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (ton)
D5 - 2003	38.56	1.04
D10 - 2003	60.33	1.66
D15 - 2003	234.35	7.19
D20 - 2003	342.79	11.00
D5 - 2018	38.56	1.07
D10 - 2018	60.33	1.71
D15 - 2018	234.35	7.25
D20 - 2018	342.79	11.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78, Metrado en zapatas en edificios de muros estructurales

Edificios	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (ton)
M5 - 2003	39.07	1.09
M10 - 2003	54.04	2.64
M15 - 2003	287.66	9.23
M20 - 2003	395.66	10.56
M5 - 2018	39.07	1.09
M10 - 2018	54.73	2.87
M15 - 2018	287.66	9.96
M20 - 2018	395.66	10.56

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79, Metrado en losas aligeradas y maciza

Edificios	Concreto (m3)	Acero de refuerzo longitudinal (ton)	Ladrillo de techo (millar)
D5	149.99	6.21	12.38
D10	299.98	12.44	24.76
D15	761.23	36.97	66.48
D20	1014.98	49.48	88.69
M5	149.99	6.21	12.38
M10	299.98	12.44	24.76
M15	761.23	36.97	66.48
M20	1014.98	49.48	88.69

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80, Metrado en todos los elementos estructurales en edificios duales

Edificios	Concreto (m3)	Acero de refuerzo (ton)	Ladrillo de techo (millar)
D5 - 2003	364.98	31.28	12.38
D10 - 2003	745.24	62.50	24.76
D15 - 2003	1987.05	181.2	66.48
D20 - 2003	2817.13	286.33	88.69
D5 - 2018	364.98	33.64	12.38
D10 - 2018	745.24	66.88	24.76
D15 - 2018	1987.05	188.12	66.48
D20 - 2018	2817.13	286.33	88.69

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81, Metrado en todos los elementos estructurales en edificios de muros estructurales

Edificios	Concreto (m3)	Acero de refuerzo (ton)	Ladrillo de techo (millar)
M5 - 2003	369.61	33.56	12.38
M10 - 2003	759.16	68.36	24.76
M15 - 2003	2071.48	180.84	66.48
M20 - 2003	2945.65	274.77	88.69
M5 - 2018	369.61	35.63	12.38
M10 - 2018	759.84	71.64	24.76
M15 - 2018	2071.48	188.81	66.48
M20 - 2018	2945.65	274.77	88.69

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82, Ratios del acero con respecto al concreto en los elementos estructurales en edificios duales

Edificios	Viga (kg/m3)	Columna (kg/m3)	Muro (kg/m3)	Zapata (kg/m3)	Losa aligerada (kg/m3)	Losa maciza (kg/m3)
D5 - 2003	96	258	163	27	40	66
D10 - 2003	105	201	101	28	40	66
D15 - 2003	121	201	82	31	48	66
D20 - 2003	146	212	89	32	48	66
D5 - 2018	100	293	186	28	40	66
D10 - 2018	110	229	113	28	40	66
D15 - 2018	126	208	88	31	48	66
D20 - 2018	146	212	89	32	48	66

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83, Ratios del acero con respecto al concreto en los elementos estructurales en edificios de muros estructurales

Edificios	Viga (kg/m3)	Columna (kg/m3)	Muro (kg/m3)	Zapata (kg/m3)	Losa aligerada (kg/m3)	Losa maciza (kg/m3)
M5 - 2003	101	292	176	28	40	66
M10 - 2003	112	220	117	49	40	66
M15 - 2003	134	201	90	32	48	66
M20 - 2003	149	187	95	27	48	66
M5 - 2018	107	330	186	28	40	66
M10 - 2018	116	245	120	52	40	66
M15 - 2018	140	216	93	35	48	66
M20 - 2018	149	187	95	27	48	66

Fuente: Elaboración propia

7.5 Costos de los materiales en los elementos estructurales

Se presentan los costos de los materiales en las vigas, columnas, muros, zapatas y de todos los elementos estructurales en los edificios duales y de muros estructurales en las tablas 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93 y 94.

Tabla 84, Costos de los materiales en vigas en edificios duales

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)
D5 - 2003	S/28,274	S/33,110
D10 - 2003	S/55,621	S/71,212
D15 - 2003	S/131,090	S/192,199
D20 - 2003	S/173,002	S/307,045
D5 - 2018	S/28,274	S/34,240
D10 - 2018	S/55,621	S/73,978
D15 - 2018	S/131,090	S/199,676
D20 - 2018	S/173,002	S/307,045

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85, Costos de los materiales en vigas en edificios de muros estructurales

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)
M5 - 2003	S/27,418	S/33,632
M10 - 2003	S/53,550	S/72,571
M15 - 2003	S/128,591	S/208,433
M20 - 2003	S/170,003	S/307,412
M5 - 2018	S/27,418	S/35,604
M10 - 2018	S/53,550	S/75,208
M15 - 2018	S/128,591	S/218,768
M20 - 2018	S/170,003	S/307,412

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86, Costos de los materiales en columnas en edificios duales

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)
D5 - 2003	S/8,300	S/25,004
D10 - 2003	S/20,874	S/49,054
D15 - 2003	S/68,283	S/160,657
D20 - 2003	S/109,451	S/271,336
D5 - 2018	S/8,300	S/28,398
D10 - 2018	S/20,874	S/55,793
D15 - 2018	S/68,283	S/166,238
D20 - 2018	S/109,451	S/271,336

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87, Costos de los materiales en columnas en edificios de muros estructurales

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)
M5 - 2003	S/6,605	S/22,592
M10 - 2003	S/17,029	S/43,731
M15 - 2003	S/42,619	S/100,206
M20 - 2003	S/80,896	S/176,936
M5 - 2018	S/6,605	S/25,507
M10 - 2018	S/17,029	S/48,840
M15 - 2018	S/42,619	S/107,564
M20 - 2018	S/80,896	S/176,936

Fuente: Elaboración propia

Tabla 88, Costos de los materiales en muros en edificios duales

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)
D5 - 2003	S/5,934	S/11,295
D10 - 2003	S/16,480	S/19,520
D15 - 2003	S/44,885	S/42,986
D20 - 2003	S/71,468	S/73,971
D5 - 2018	S/5,934	S/12,924
D10 - 2018	S/16,480	S/21,684
D15 - 2018	S/44,885	S/46,118
D20 - 2018	S/71,468	S/73,971

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89, Costos de los materiales en muros en edificios de muros estructurales

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)
M5 - 2003	S/9,537	S/19,645
M10 - 2003	S/27,466	S/37,598
M15 - 2003	S/76,508	S/80,253
M20 - 2003	S/121,820	S/135,877
M5 - 2018	S/9,537	S/20,712
M10 - 2018	S/27,466	S/38,672
M15 - 2018	S/76,508	S/83,473
M20 - 2018	S/121,820	S/135,877

Fuente: Elaboración propia

Tabla 90, Costos de los materiales en zapatas en edificios duales

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)
D5 - 2003	S/9,178	S/2,995
D10 - 2003	S/14,360	S/4,800
D15 - 2003	S/55,775	S/20,772
D20 - 2003	S/81,583	S/31,771
D5 - 2018	S/9,178	S/3,082
D10 - 2018	S/14,360	S/4,946
D15 - 2018	S/55,775	S/20,939
D20 - 2018	S/81,583	S/31,771

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91, Costos de los materiales en zapatas en edificios de muros estructurales

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)
M5 - 2003	S/9,299	S/3,135
M10 - 2003	S/12,861	S/7,618
M15 - 2003	S/68,462	S/26,672
M20 - 2003	S/94,167	S/30,513
M5 - 2018	S/9,299	S/3,135
M10 - 2018	S/13,025	S/8,277
M15 - 2018	S/68,462	S/28,768
M20 - 2018	S/94,167	S/30,513

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92, Costos de los materiales en losas aligeradas y macizas

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)	Ladrillo de techo (soles)
D5	S/35,697	S/17,946	S/24,141
D10	S/71,394	S/35,934	S/48,282
D15	S/181,173	S/106,784	S/129,628
D20	S/241,564	S/142,920	S/172,938
M5	S/35,697	S/17,946	S/24,141
M10	S/71,394	S/35,934	S/48,282
M15	S/181,173	S/106,784	S/129,628
M20	S/241,564	S/142,920	S/172,938

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93, Costos de los materiales en todos los elementos estructurales en edificios duales

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)	Ladrillo de techo (soles)	Total
D5 - 2003	S/87,384	S/90,350	S/24,141	S/201,875
D10 - 2003	S/178,729	S/180,520	S/48,282	S/407,531
D15 - 2003	S/481,206	S/523,398	S/129,628	S/1,134,232
D20 - 2003	S/677,069	S/827,043	S/172,938	S/1,677,049
D5 - 2018	S/87,384	S/97,181	S/24,141	S/208,705
D10 - 2018	S/178,729	S/193,180	S/48,282	S/420,190
D15 - 2018	S/481,206	S/543,363	S/129,628	S/1,154,197
D20 - 2018	S/677,069	S/827,043	S/172,938	S/1,677,049

Fuente: Elaboración propia

Tabla 94, Costos de los materiales en todos los elementos estructurales en edificios de muros estructurales

Edificios	Concreto (soles)	Acero de refuerzo (soles)	Ladrillo de techo (soles)	Total
M5 - 2003	S/88,555	S/96,950	S/24,141	S/209,646
M10 - 2003	S/182,301	S/197,452	S/48,282	S/428,035
M15 - 2003	S/497,354	S/522,348	S/129,628	S/1,149,330
M20 - 2003	S/708,452	S/793,657	S/172,938	S/1,675,047
M5 - 2018	S/88,555	S/102,905	S/24,141	S/215,601
M10 - 2018	S/182,464	S/206,931	S/48,282	S/437,677
M15 - 2018	S/497,354	S/545,358	S/129,628	S/1,172,340
M20 - 2018	S/708,452	S/793,657	S/172,938	S/1,675,047

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VIII: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

8.1 Comparación de las fuerzas estáticas

Se presentan los resultados obtenidos de la comparación de las fuerzas estáticas para cada edificio estudiado, en las direcciones X e Y.

En la figura 59, se observa, en las direcciones X e Y, que en las fuerzas estáticas en D5 presenta un incremento uniforme de aproximadamente 12.50%. La uniformidad existe porque las variables Fa y k no influyen en el cálculo de las fuerzas estáticas según las características del edificio estudiado.

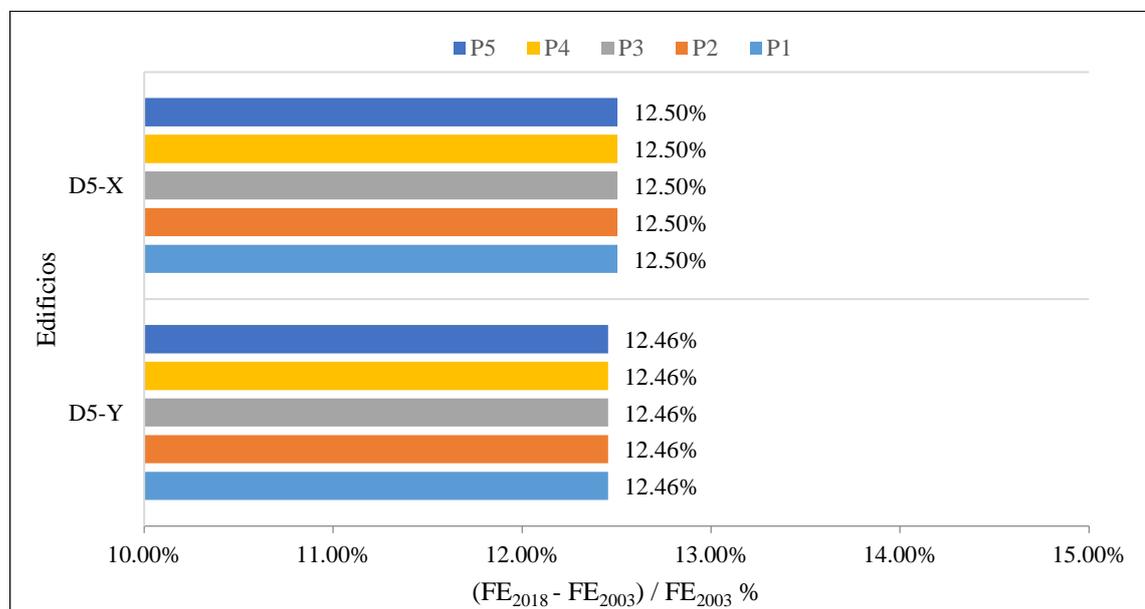


Figura 59, Comparación de las fuerzas estáticas en D5

Fuente: Elaboración propia

En la figura 60, se observa, en las direcciones X e Y, que en las fuerzas estáticas en M5 presenta un incremento uniforme de aproximadamente 12.50%. La uniformidad existe porque las variables Fa y k no influyen en el cálculo de las fuerzas estáticas según las características del edificio estudiado.

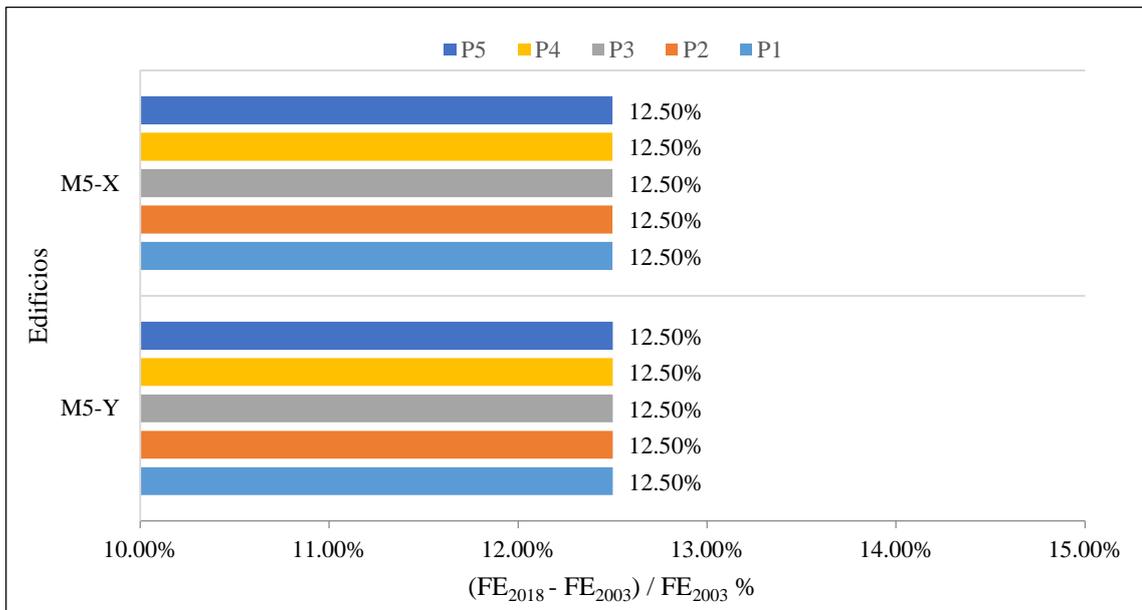


Figura 60, Comparación de las fuerzas estáticas en M5

Fuente: Elaboración propia

En la figura 61, se observa, en las direcciones X e Y, que en las fuerzas estáticas en D10 presenta un decremento del 9.81% e incrementos hasta 25.45% en la distribución en altura de forma curva, pero en el último piso se observa un incremento puntual, en un rango de 223.23% a 224.24%. La distribución en altura de forma curva se debe a la variable exponencial k . Mientras que, en el último piso, el valor de la fuerza F_a es mucho menor al valor obtenido con la E.030-2018.

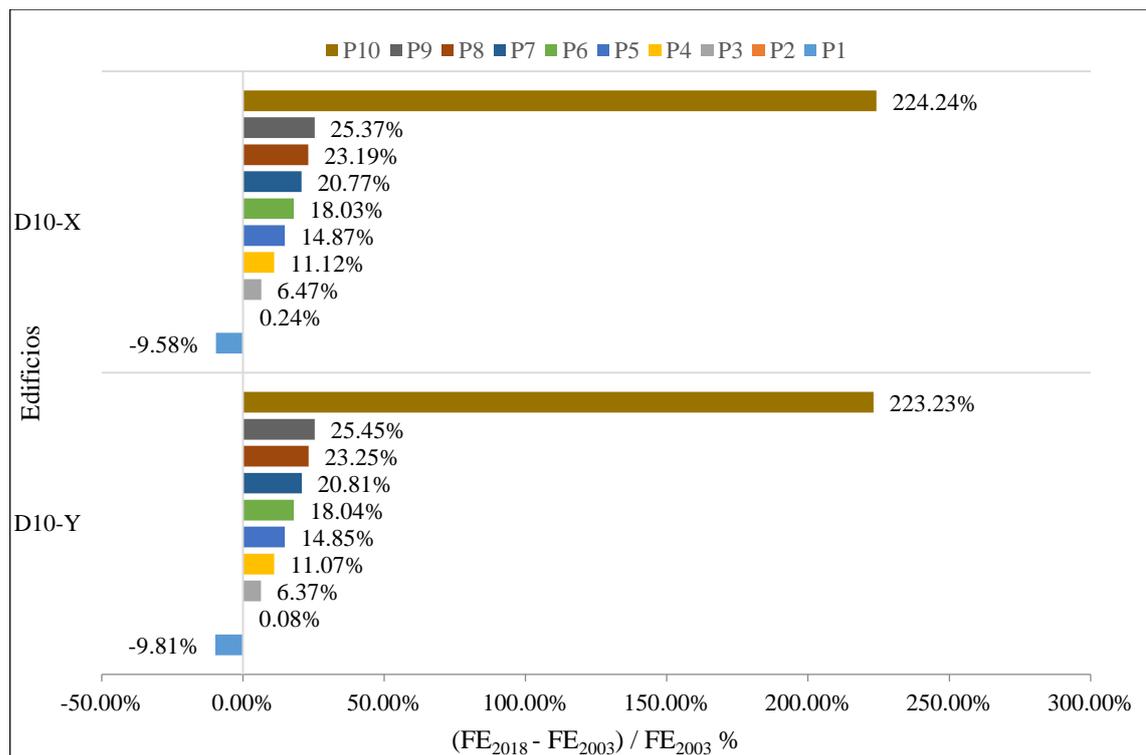


Figura 61, Comparación de las fuerzas estáticas en D10

Fuente: Elaboración propia

En la figura 62, se observa, en las direcciones X e Y, que en las fuerzas estáticas en M10 presenta un decremento del 6.26% e incrementos hasta 24.11% en la distribución en altura de forma curva, pero en el último piso se observa un incremento puntual, en un rango de 240.41% a 255.44%. La distribución en altura de forma curva se debe a la variable exponencial k . Mientras que, en el último piso, el valor de la fuerza Fa es mucho menor al valor obtenido con la E.030-2018.

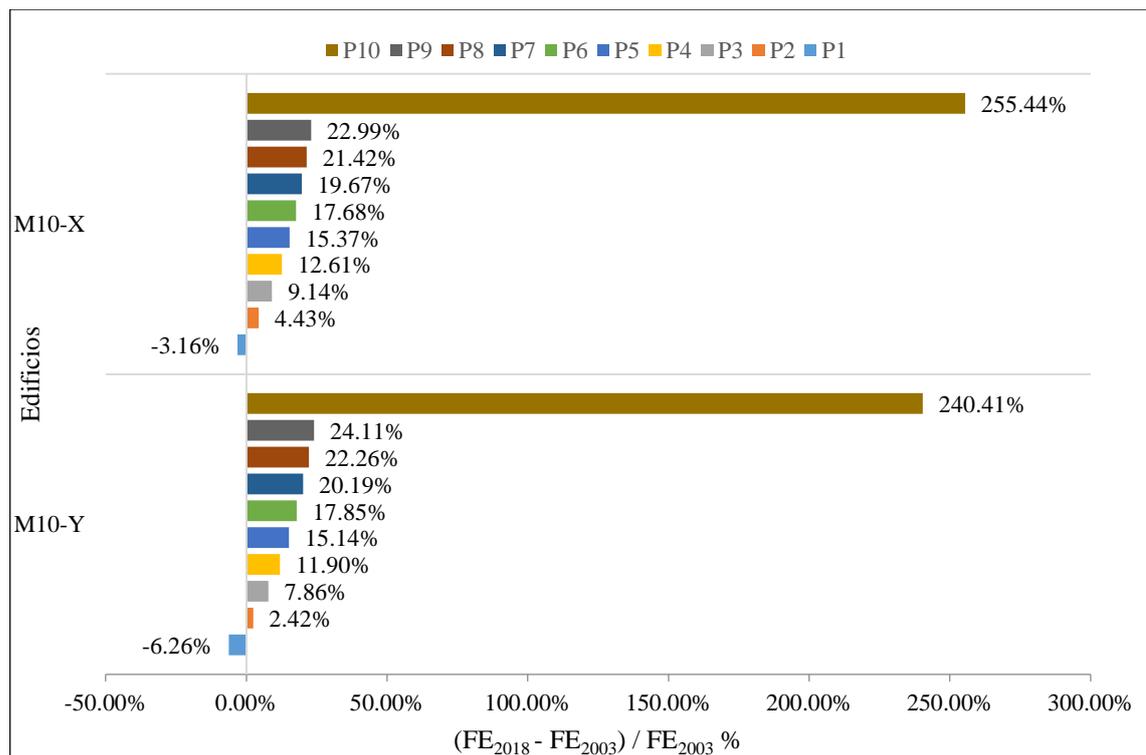


Figura 62, Comparación de las fuerzas estáticas en M10

Fuente: Elaboración propia

En la figura 63, se observa, en las direcciones X e Y, que en las fuerzas estáticas en D15 presenta un decremento del 44.08% e incrementos hasta 36.90% en la distribución en altura de forma curva, pero en el último piso se observa un incremento puntual, en un rango de 60.56% a 64.66%. La distribución en altura de forma curva se debe a la variable exponencial k . Mientras que, en el último piso, el valor de la fuerza Fa es mucho menor al valor obtenido con la E.030-2018.

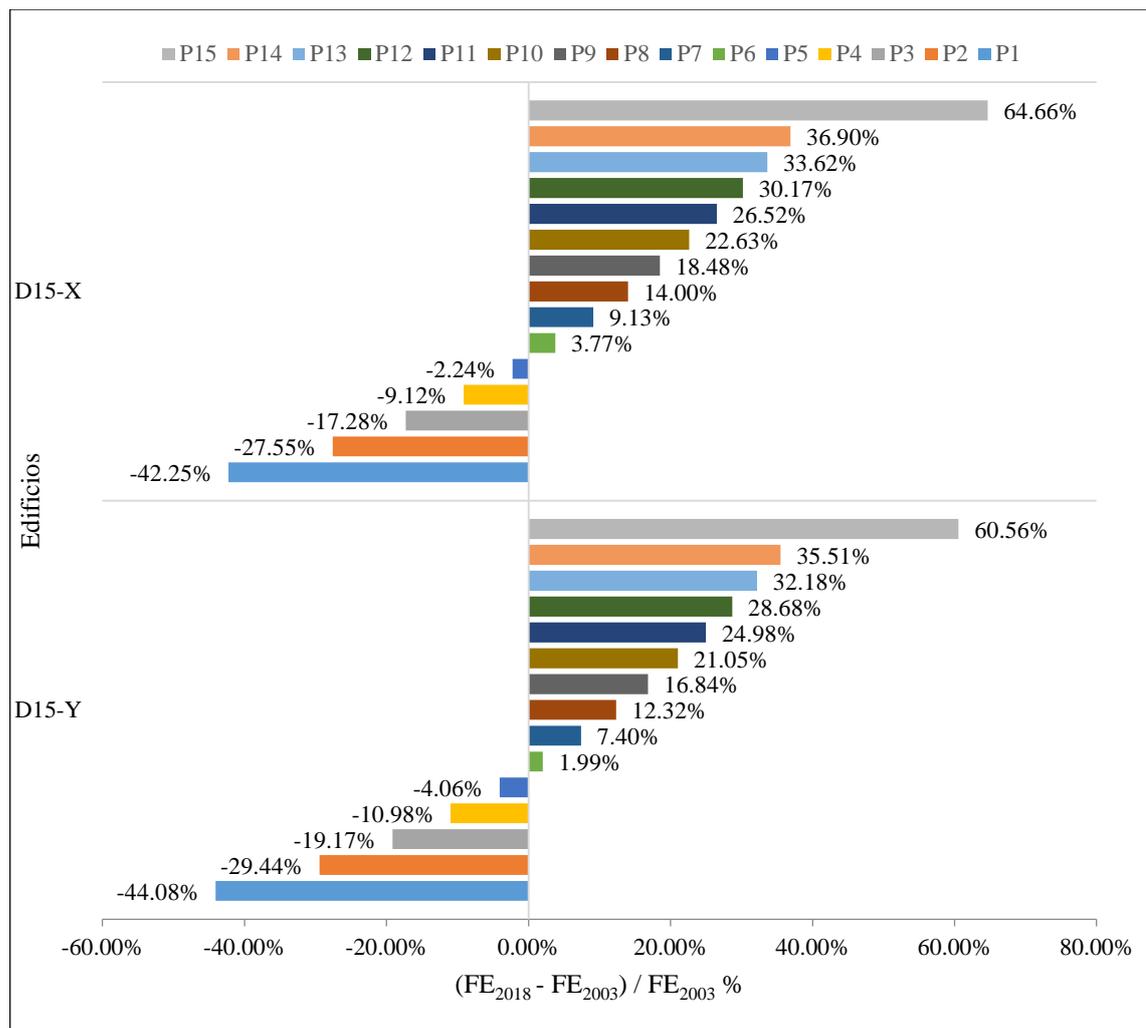


Figura 63, Comparación de las fuerzas estáticas en D15

Fuente: Elaboración propia

En la figura 64, se observa, en las direcciones X e Y, que en las fuerzas estáticas en M15 presenta un decremento del 43.59% e incrementos hasta 39.24% en la distribución en altura de forma curva, pero en el último piso se observa un incremento puntual, en un rango de 64.31% a 65.94%. La distribución en altura de forma curva se debe a la variable exponencial k . Mientras que, en el último piso, el valor de la fuerza F_a es mucho menor al valor obtenido con la E.030-2018.

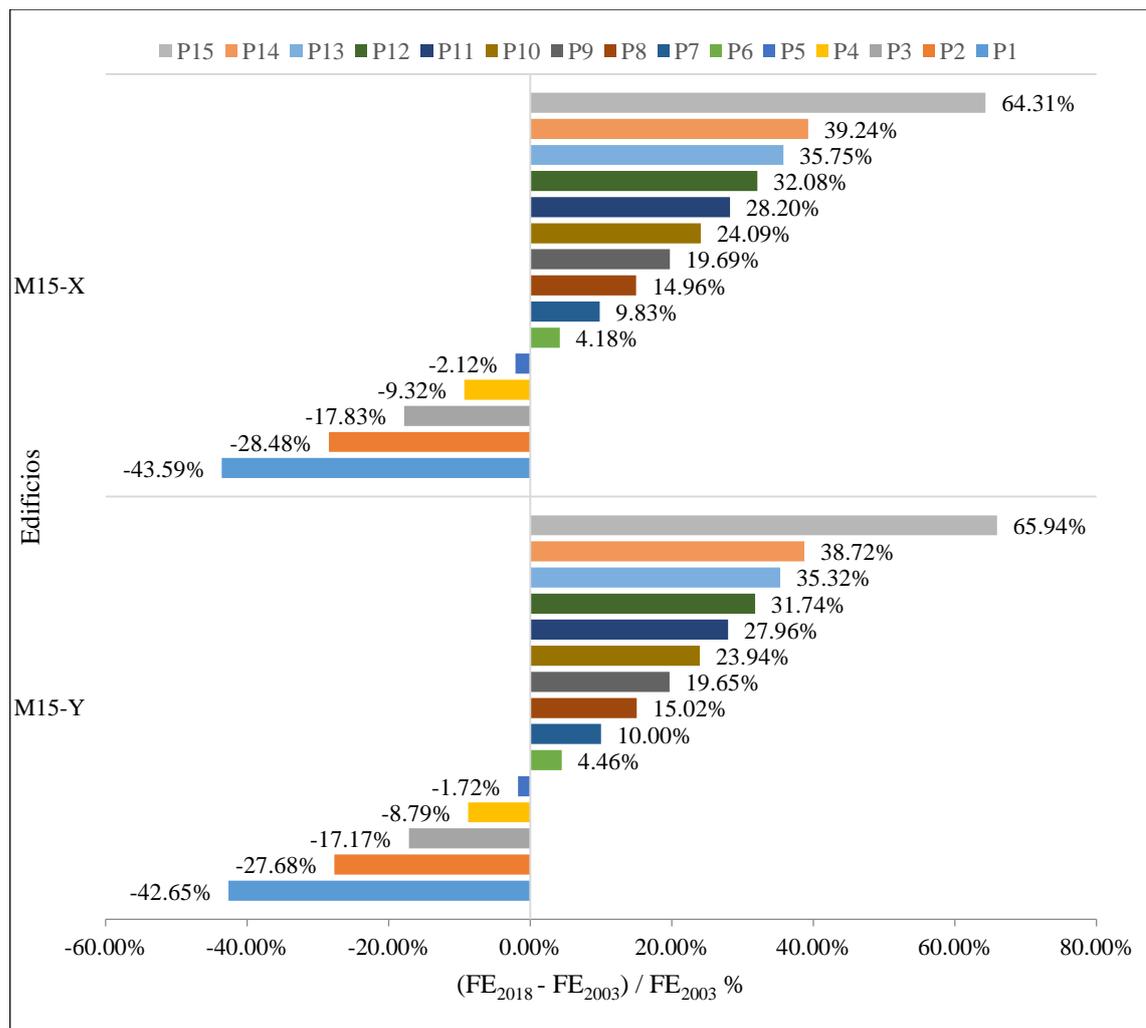


Figura 64, Comparación de las fuerzas estáticas en M15

Fuente: Elaboración propia

En la figura 65, se observa, en las direcciones X e Y, que en las fuerzas estáticas en D20 presenta un decremento del 70.87% e incrementos hasta 35.12% en la distribución en altura de forma curva, pero en el último piso se observa un decremento puntual, en un rango de 10.65% a 9.80%. La distribución en altura de forma curva se debe a la variable exponencial k . Mientras que, en el último piso, el valor de la fuerza F_a es mucho menor al valor obtenido con la E.030-2018.

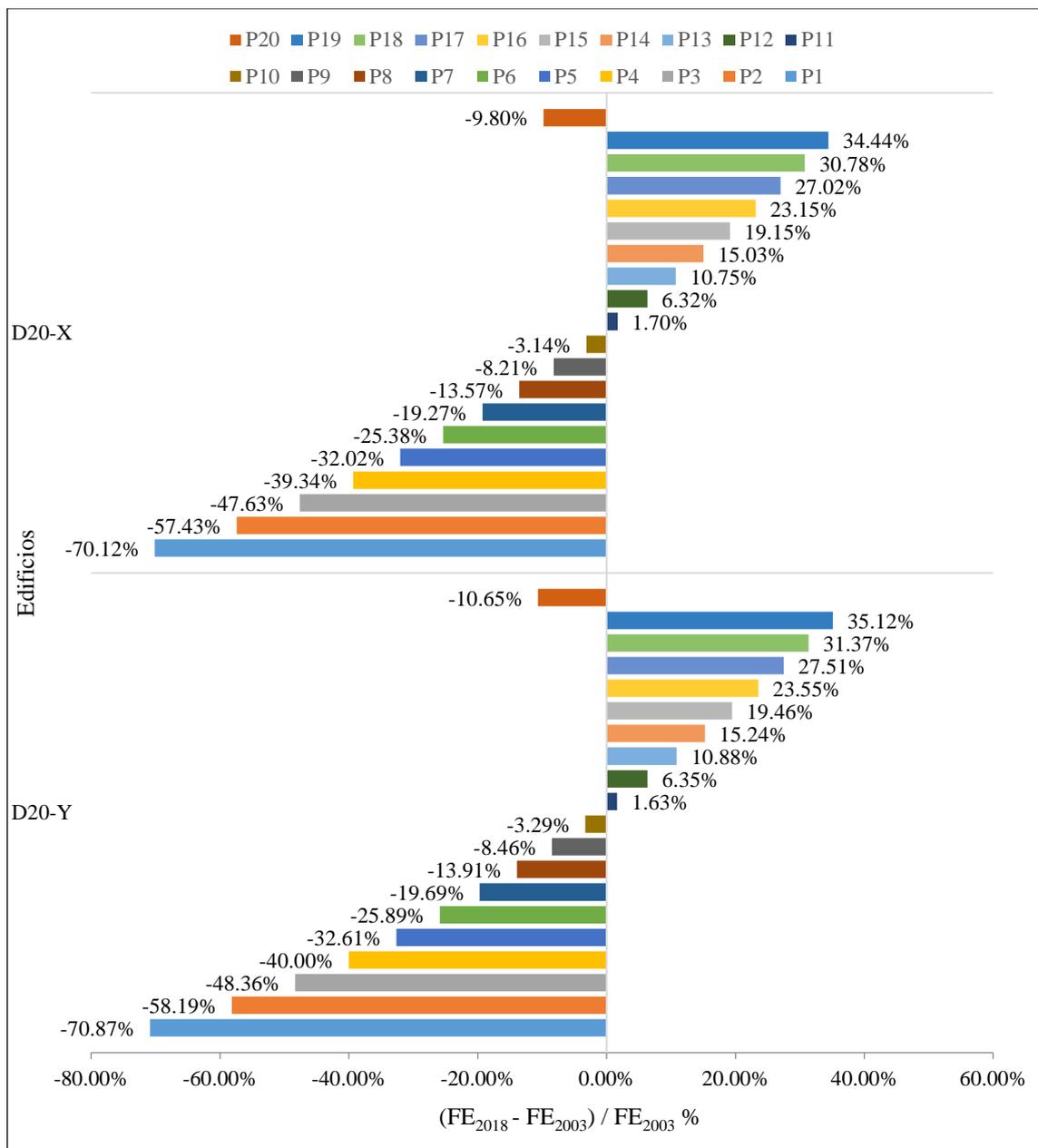


Figura 65, Comparación de las fuerzas estáticas en D20

Fuente: Elaboración propia

En la figura 66, se observa, en las direcciones X e Y, que en las fuerzas estáticas en M20 presenta un decremento del 71.68% e incrementos hasta 35.89% en la distribución en altura de forma curva, pero en el último piso se observa un decremento puntual, en un rango de 10.80% a 10.03%. La distribución en altura de forma curva se debe a la variable exponencial k . Mientras que, en el último piso, el valor de la fuerza F_a es mucho menor al valor obtenido con la E.030-2018.

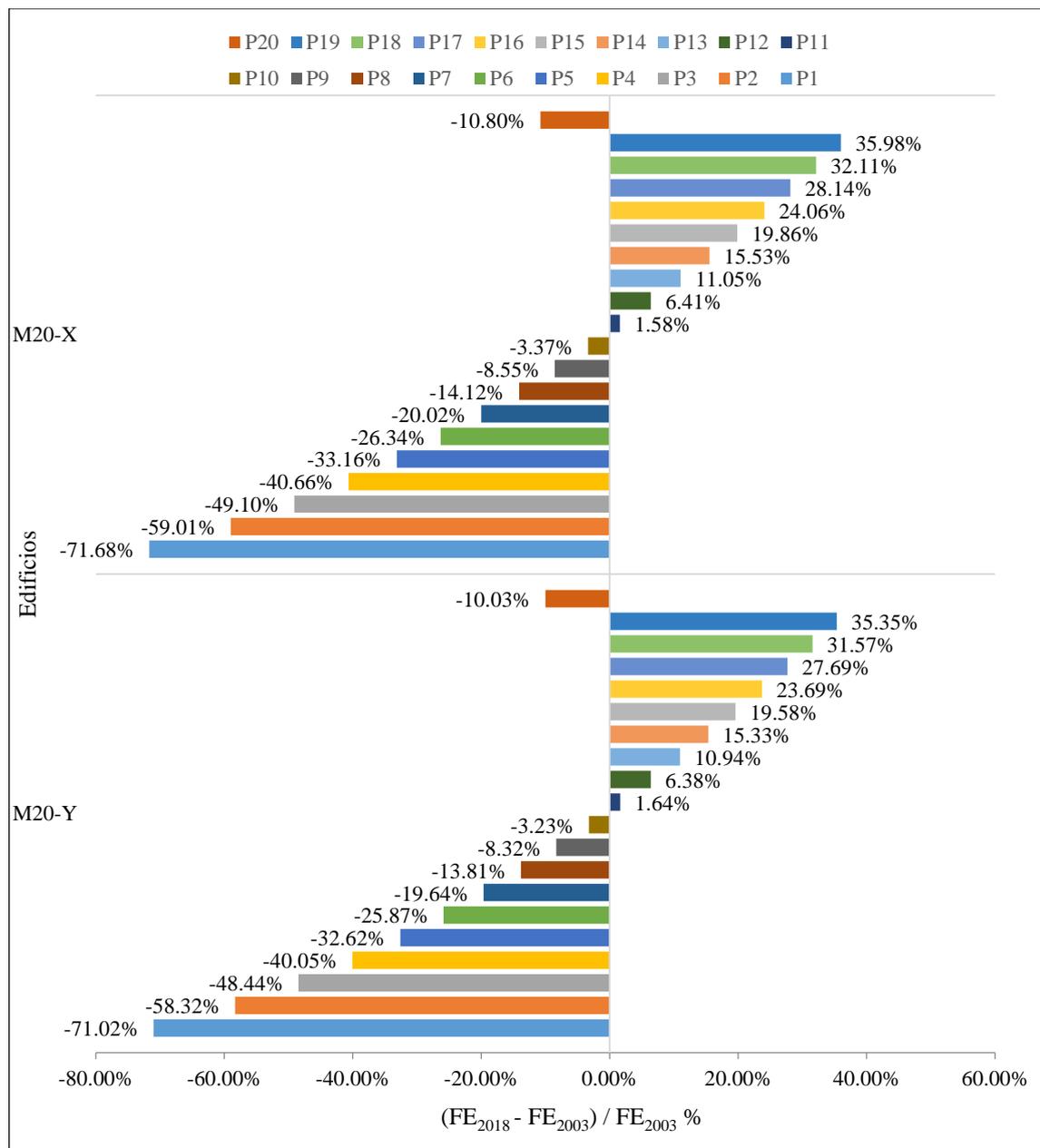


Figura 66, Comparación de las fuerzas estáticas en M20

Fuente: Elaboración propia

8.2 Comparación de la fuerza cortante dinámica total en la base

Se presentan los resultados obtenidos de la comparación de la fuerza cortante dinámica total en la base para cada edificio estudiado, en las direcciones X e Y.

En la figura 67, se observa, en las direcciones X e Y, que la fuerza cortante dinámica total en la base en D5, D10 y D15 presentan incrementos en un rango de 9.8% a 12.4%; mientras que, en D20 presenta un decremento de 1.0%. En D20 existe un decremento debido a la relación C/R, porque el valor de la relación mínima es de 0,125 y 0,11 para la E.030-2003 y E.030-2018 respectivamente, por lo tanto, se obtienen valores semejantes al aplicar ambas normas. Además, existe uniformidad en D5 y D10 porque el valor de la relación C/R no es la mínima, caso contrario sucede en D15 y D20.

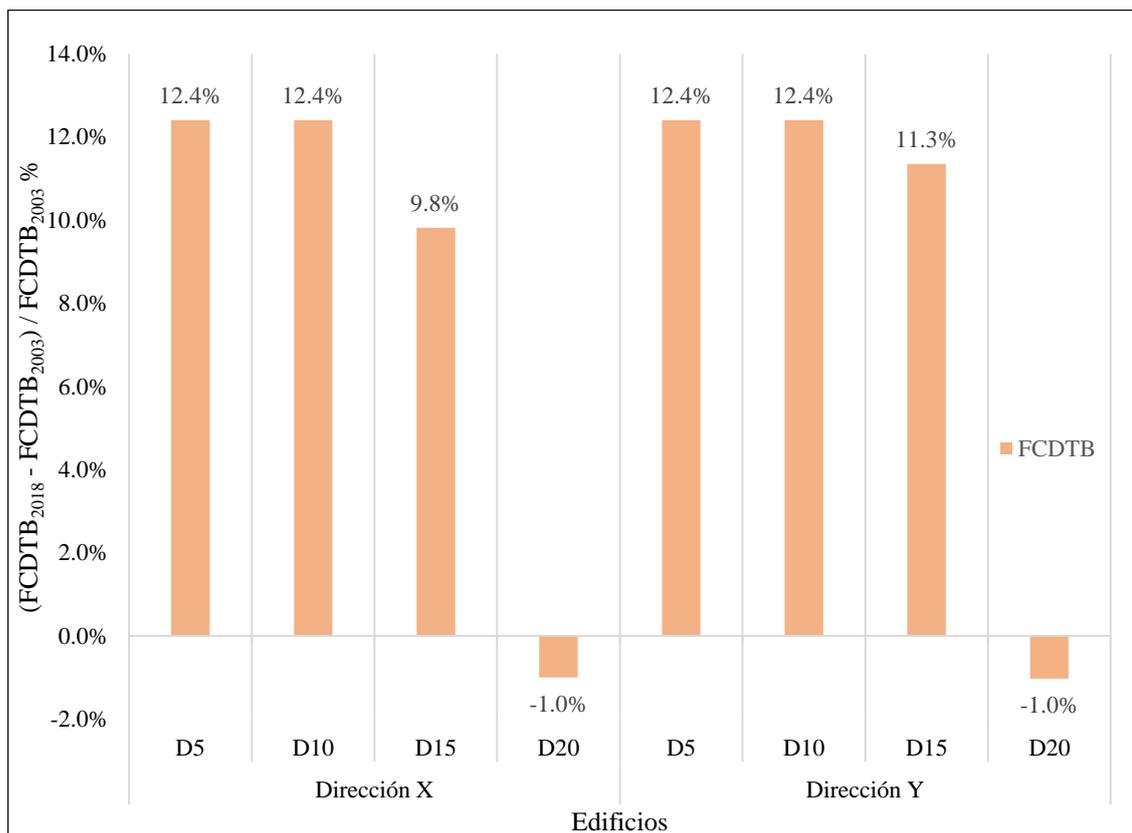


Figura 67, Comparación de la fuerza cortante dinámica total en la base en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 68, se observa, en las direcciones X e Y, que la fuerza cortante dinámica total en la base en M5, M10 y M15 presentan incrementos hasta 12.6%; mientras que, en M20 presenta decrementos del 1.0%. En M20 existe un decremento debido a la relación C/R, porque el valor de la relación mínima es de 0,125 y 0,11 para la E.030-2003 y E.030-2018 respectivamente, por lo tanto, se obtienen valores semejantes al aplicar ambas normas. Además, existe uniformidad en M5, M10 y M15 porque el valor de la relación C/R no es la mínima, caso contrario sucede en M20.

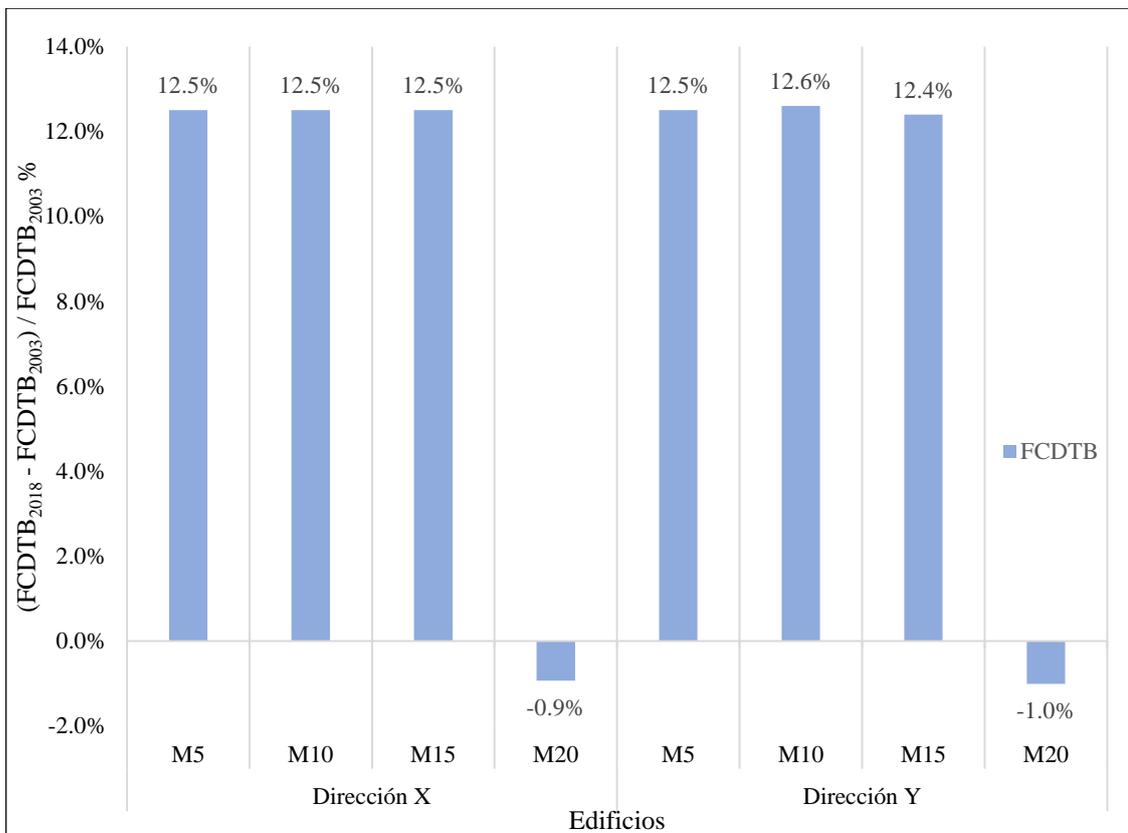


Figura 68, Comparación de la fuerza cortante dinámica total en la base en edificios de muros estructurales
Fuente: Elaboración propia

8.3 Comparación del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima

Se presentan los resultados obtenidos de la comparación del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima para cada edificio estudiado, en las direcciones X e Y.

En la figura 69, se observa, en las direcciones X e Y, que el factor de amplificación de la fuerza cortante mínima en D5 y D10 no presentan cambios significativos; mientras que, en D15 y D20 presentan decrementos en un rango de 12.0% a 1.0%. En D5 y D10 los decrementos no son significativos porque el valor de C/R no es igual a la condición mínima. Aunque, en D15 y D20 se observan cambios significativos debido a la relación mínima de C/R, por lo tanto, el factor de amplificación de la fuerza cortante mínima para la norma E.030-2003 tiene un mayor valor con respecto a la norma vigente.

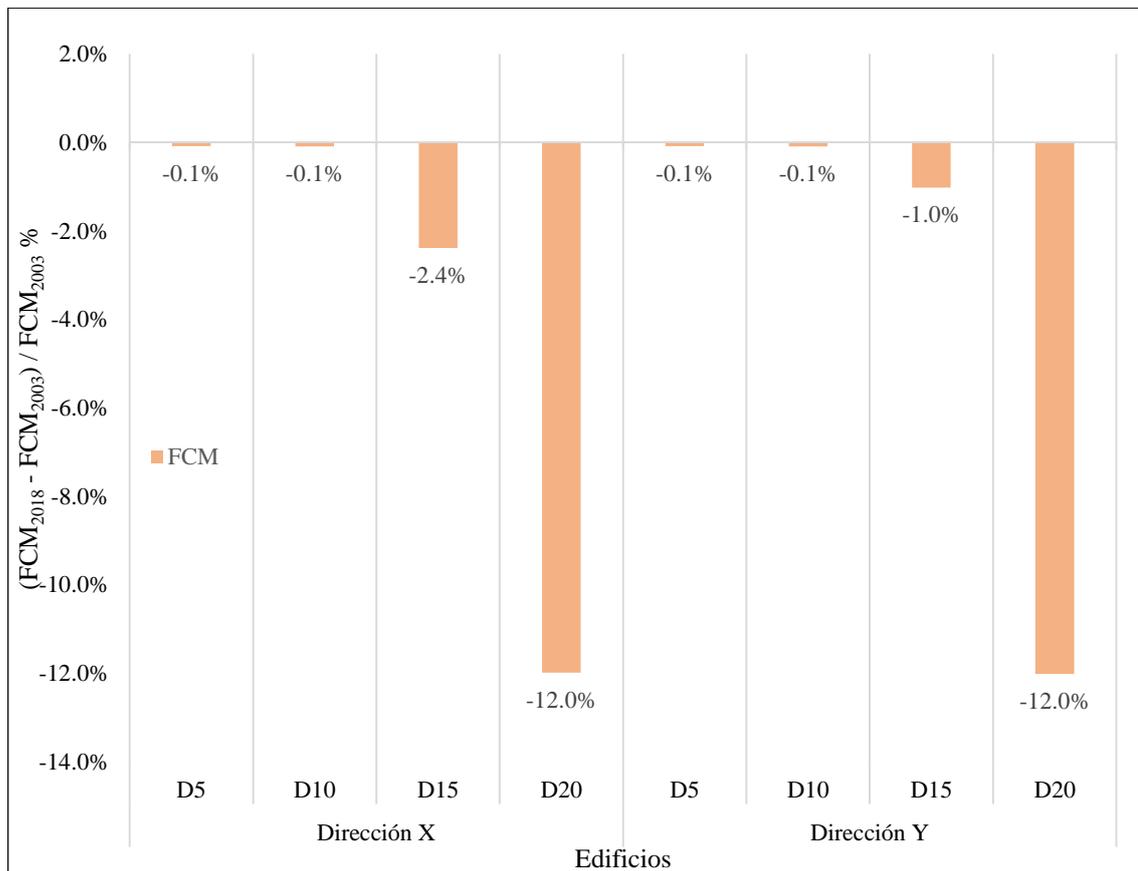


Figura 69, Comparación del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 70, se observa, en las direcciones X e Y, que el factor de amplificación de la fuerza cortante mínima en M5, M10 y M15 no presenta cambios significativos; mientras que, en M20 presentan decrementos del 12.0%. En M5, M10 y M15 los decrementos e incrementos no son significativo porque el valor de C/R no es igual a la condición mínima. Aunque, en M20 se observa un cambio significativo debido a la relación mínima de C/R y el factor de amplificación de la fuerza cortante mínima para la norma E.030-2003 tiene un mayor valor con respecto a la norma vigente.

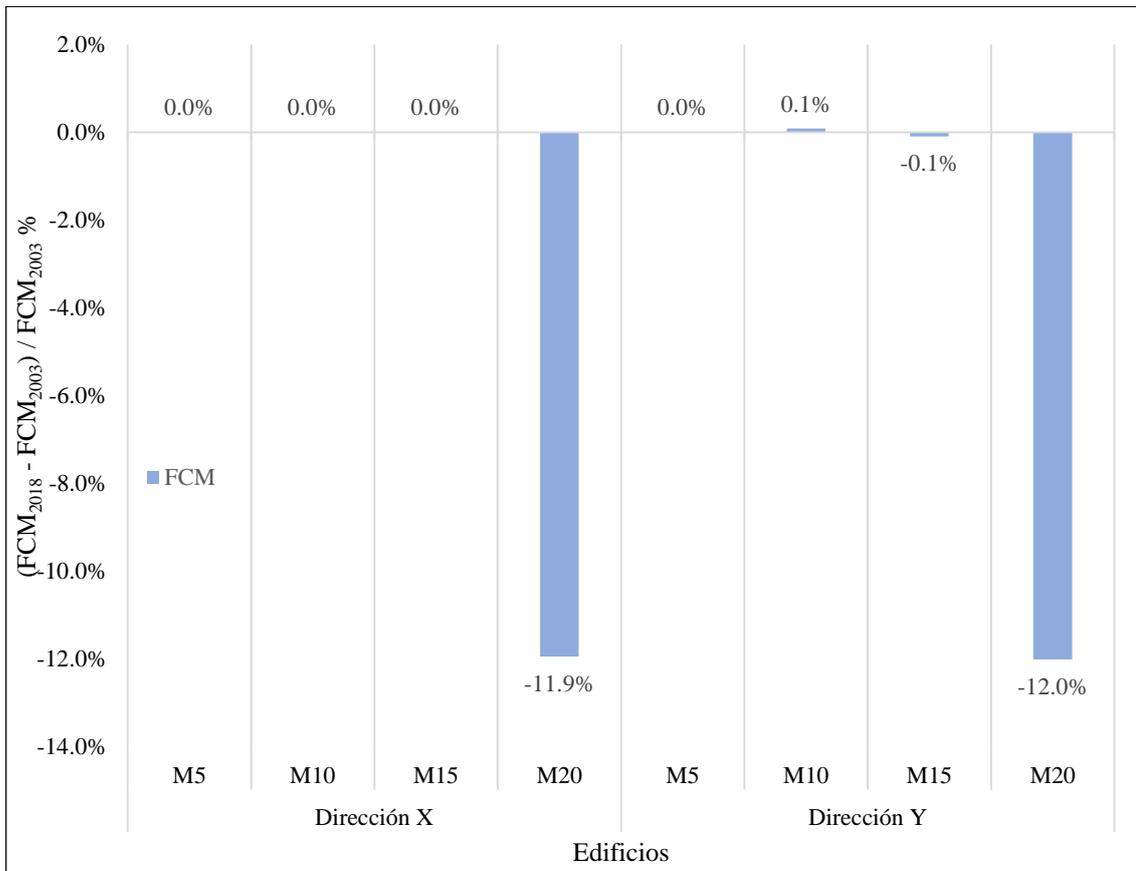


Figura 70, Comparación del factor de amplificación de la fuerza cortante mínima en edificios de muros estructurales

Fuente: Elaboración propia

8.4 Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas

Se presentan los resultados obtenidos de la comparación de las fuerzas cortantes dinámicas para cada edificio estudiado, en las direcciones X e Y.

En la figura 71, se observa, en las direcciones X e Y, que las fuerzas cortantes dinámicas en D5 presenta un incremento uniforme de 12.4%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

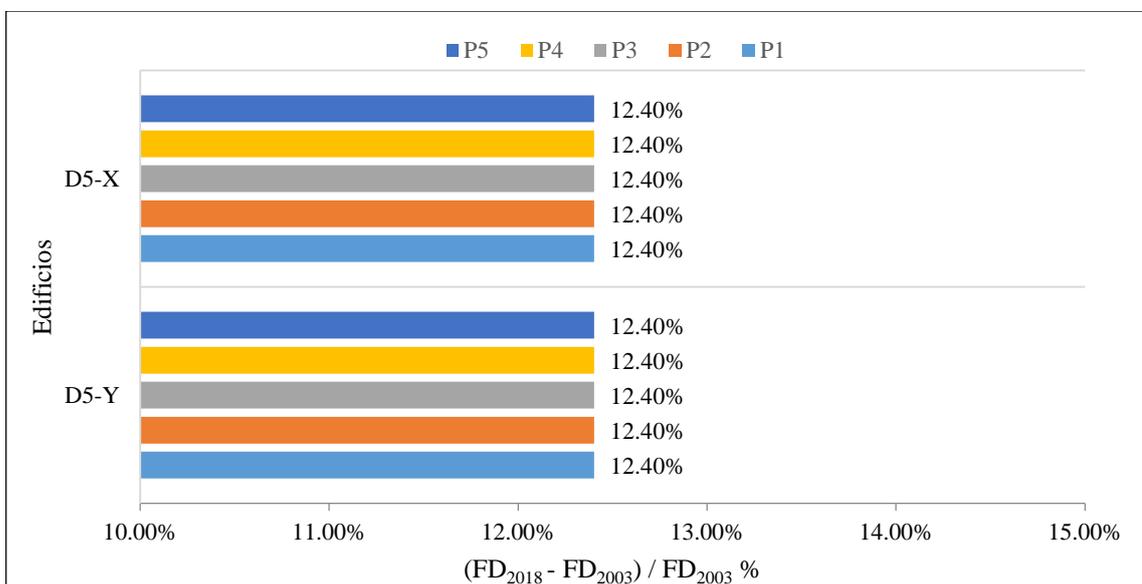


Figura 71, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en D5

Fuente: Elaboración propia

En la figura 72, se observa, en las direcciones X e Y, que las fuerzas cortantes dinámicas en M5 presenta un incremento uniforme de 12.5%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

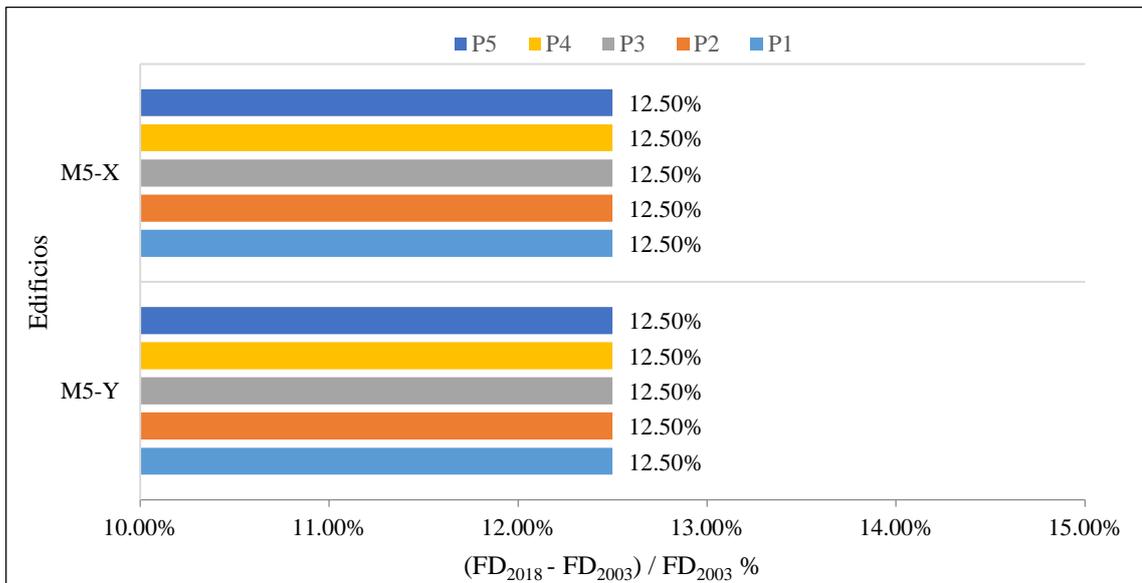


Figura 72, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en M5

Fuente: Elaboración propia

En la figura 73, se observa, en las direcciones X e Y, que las fuerzas cortantes dinámicas en D10 presenta un incremento uniforme de 12.4%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

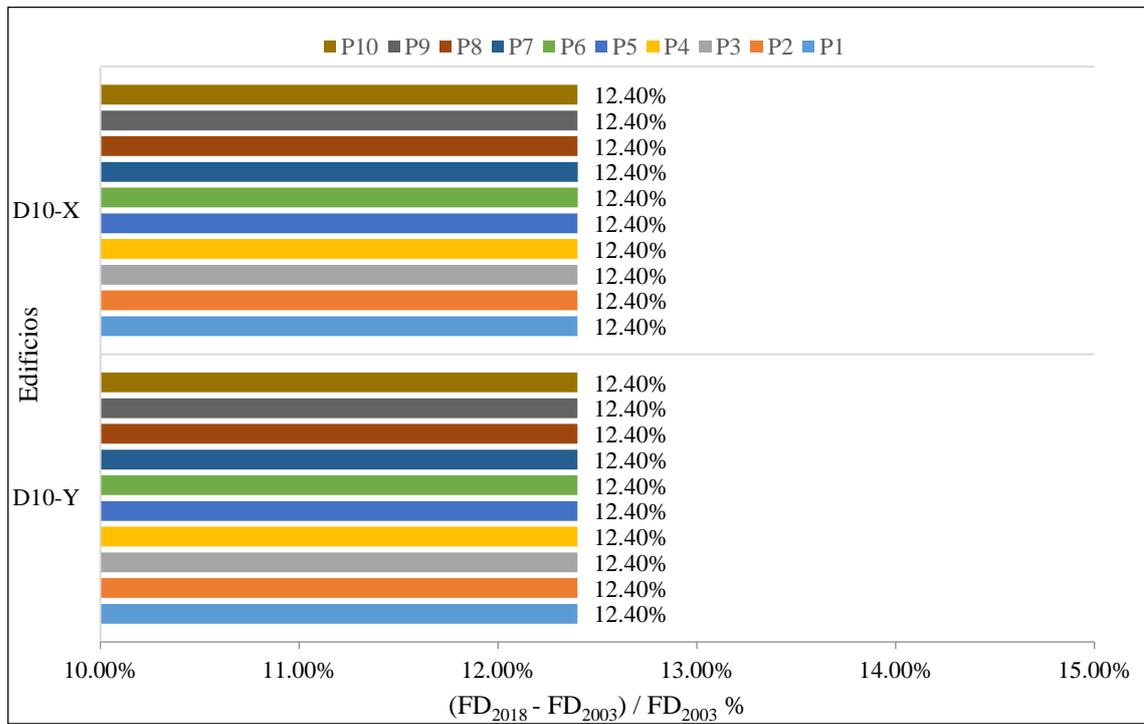


Figura 73, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en D10

Fuente: Elaboración propia

En la figura 74, se observa, en la dirección X e Y, que las fuerzas cortantes dinámicas en M10 presenta un incremento uniforme de 12.5% y 12.6% respectivamente. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

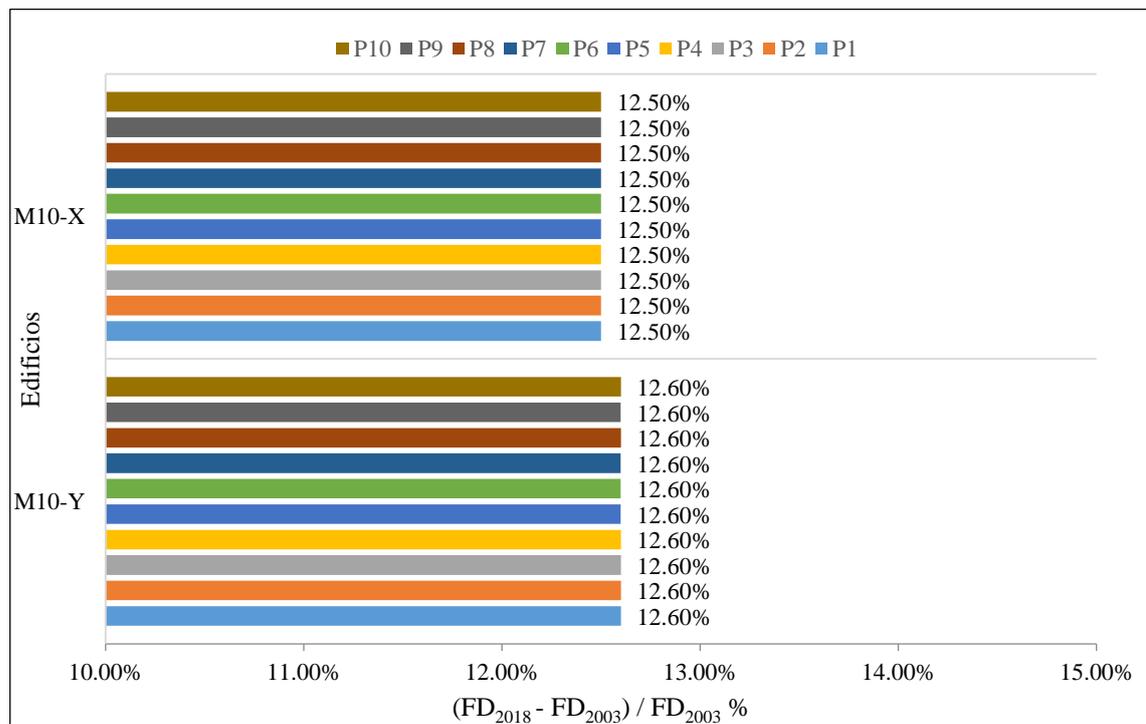


Figura 74, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en M10

Fuente: Elaboración propia

En la figura 75, se observa, en la dirección X e Y, que las fuerzas cortantes dinámicas en D15 presenta un incremento uniforme de 11.35% y 9.82% respectivamente. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

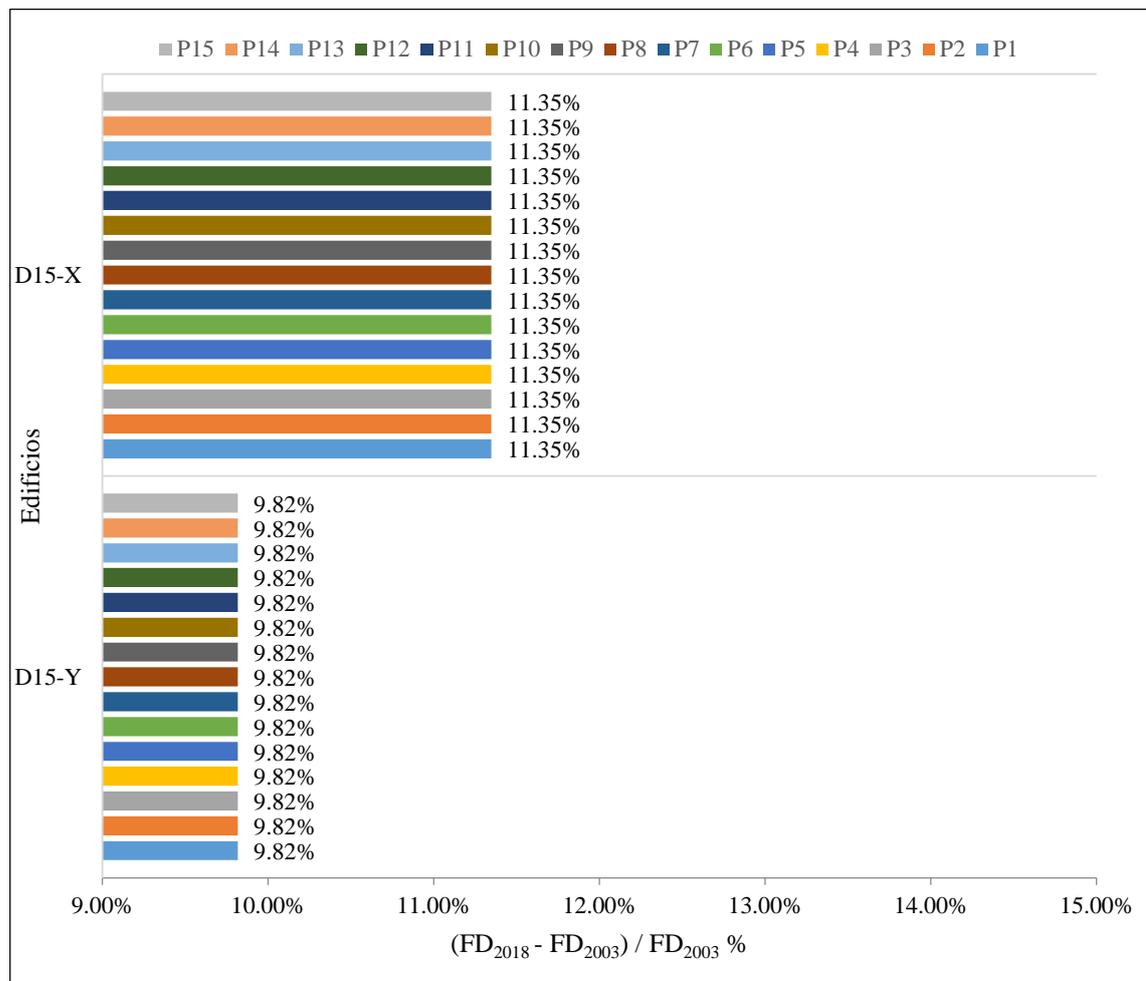


Figura 75, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en D15

Fuente: Elaboración propia

En la figura 76, se observa, en la dirección X e Y, que las fuerzas cortantes dinámicas en M15 presenta un incremento uniforme de 12.50% y 12.39% respectivamente. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

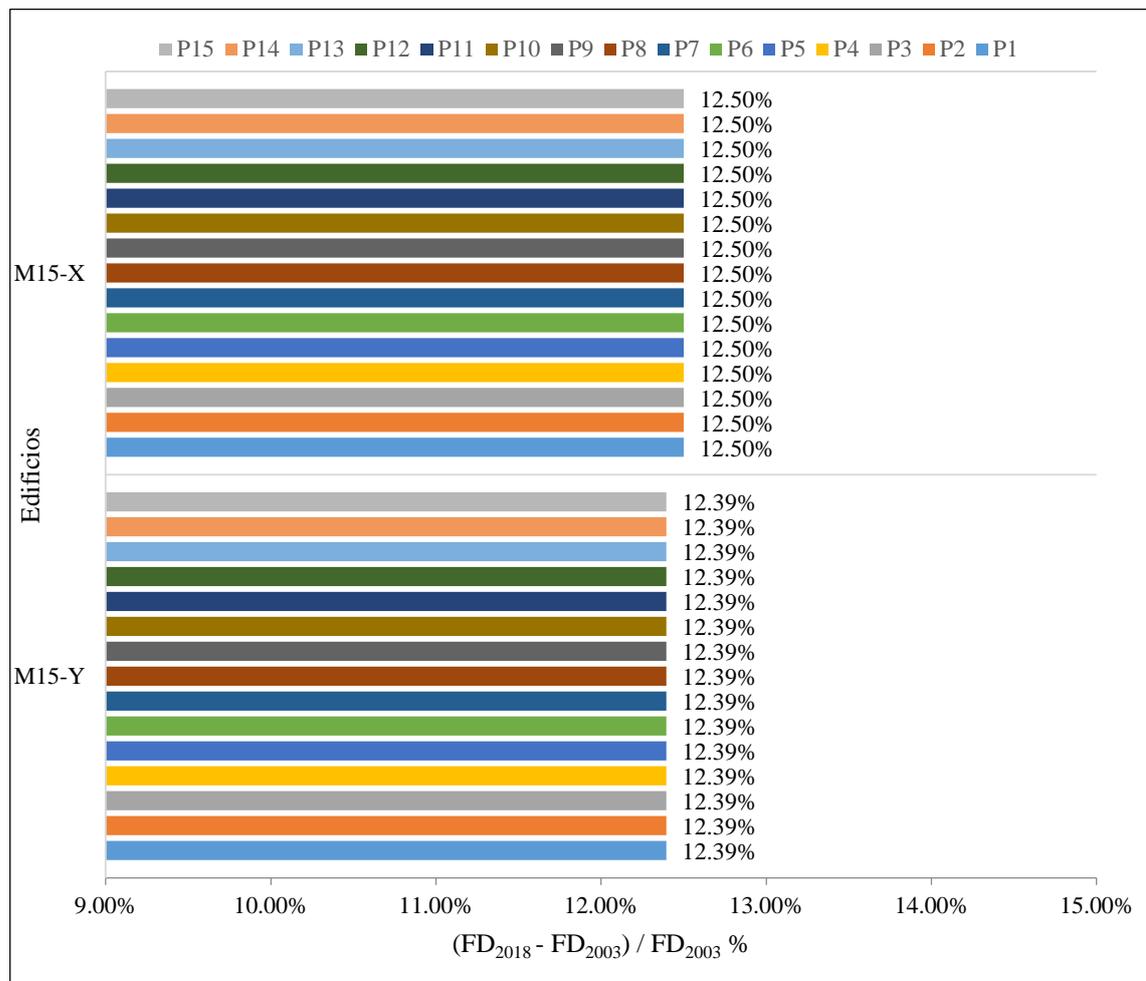


Figura 76, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en M15

Fuente: Elaboración propia

En la figura 77, se observa, en la dirección X e Y, que las fuerzas cortantes dinámicas en D20 presenta un decremento uniforme de 1.02% y 0.99% respectivamente. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

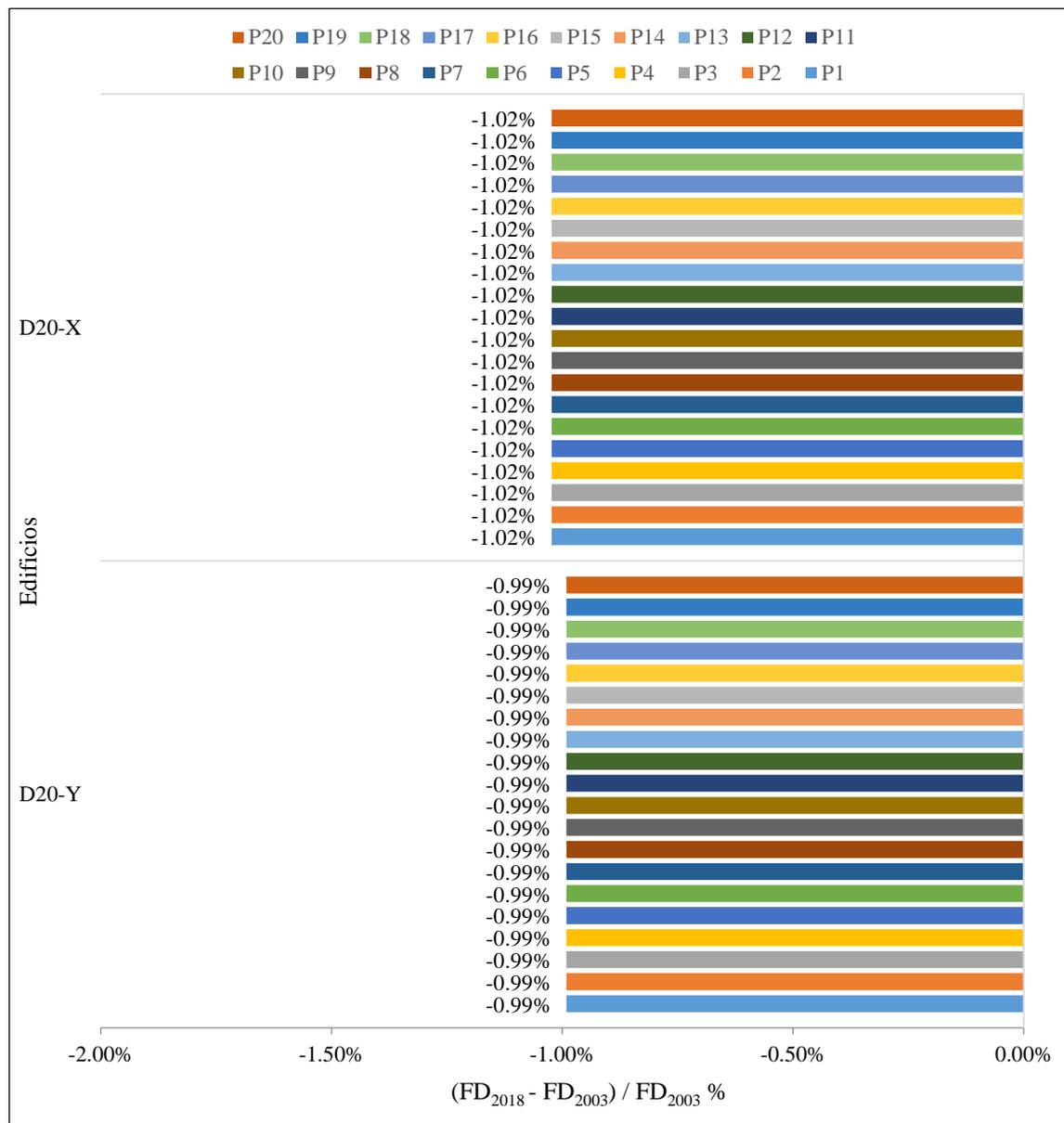


Figura 77, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en D20

Fuente: Elaboración propia

En la figura 78, se observa, en la dirección X e Y, que las fuerzas cortantes dinámicas en M20 presenta un decremento uniforme de 0.94% y 1.01% respectivamente. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

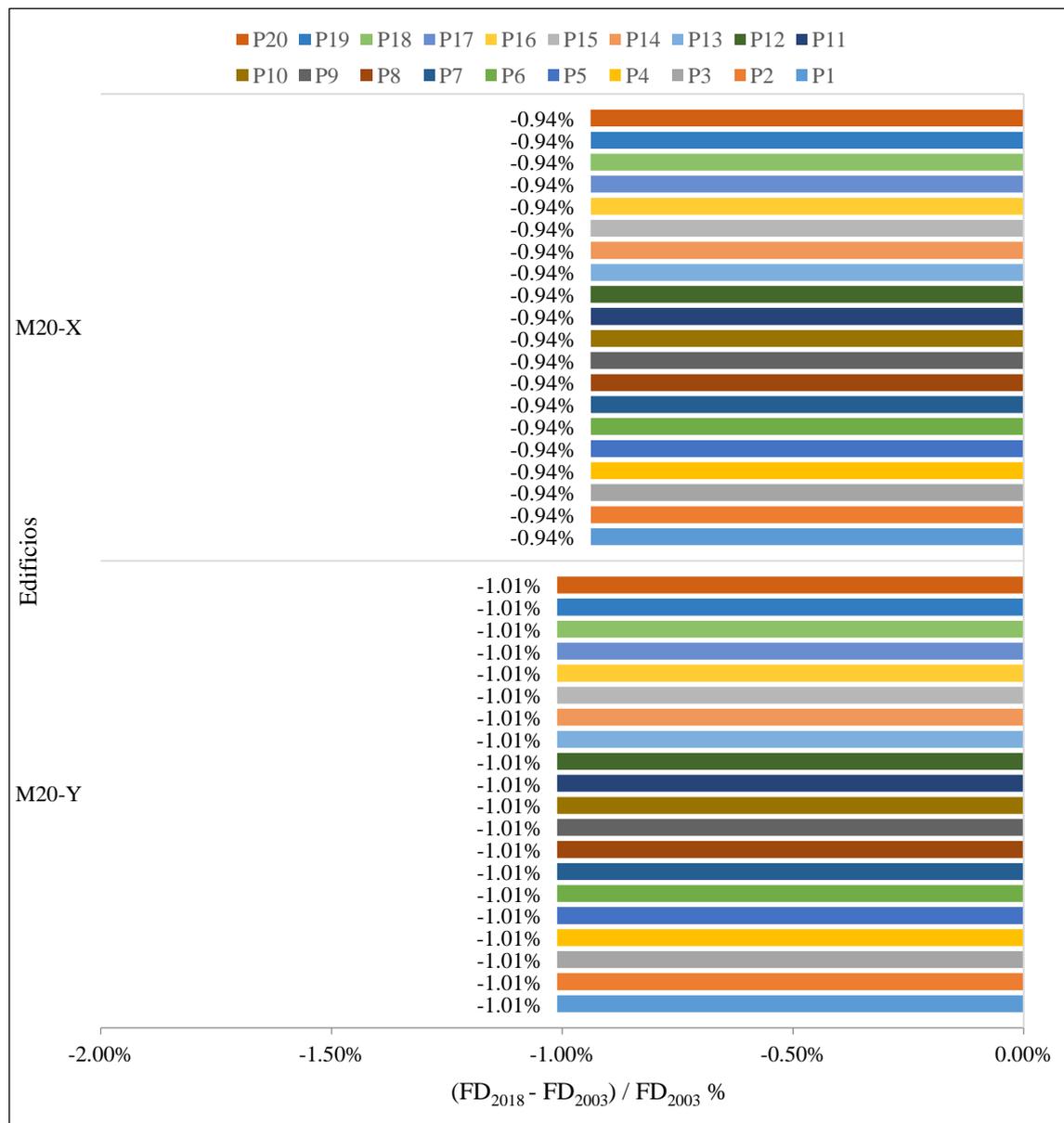


Figura 78, Comparación de las fuerzas cortantes dinámicas en M20

Fuente: Elaboración propia

8.5 Comparación de los desplazamientos laterales

Se presentan los resultados obtenidos de la comparación de los desplazamientos laterales para cada edificio estudiado, en las direcciones X e Y.

En la figura 79, se observa, en las direcciones X e Y, que los desplazamientos laterales en D5 presenta un incremento uniforme de aproximadamente 12.5%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

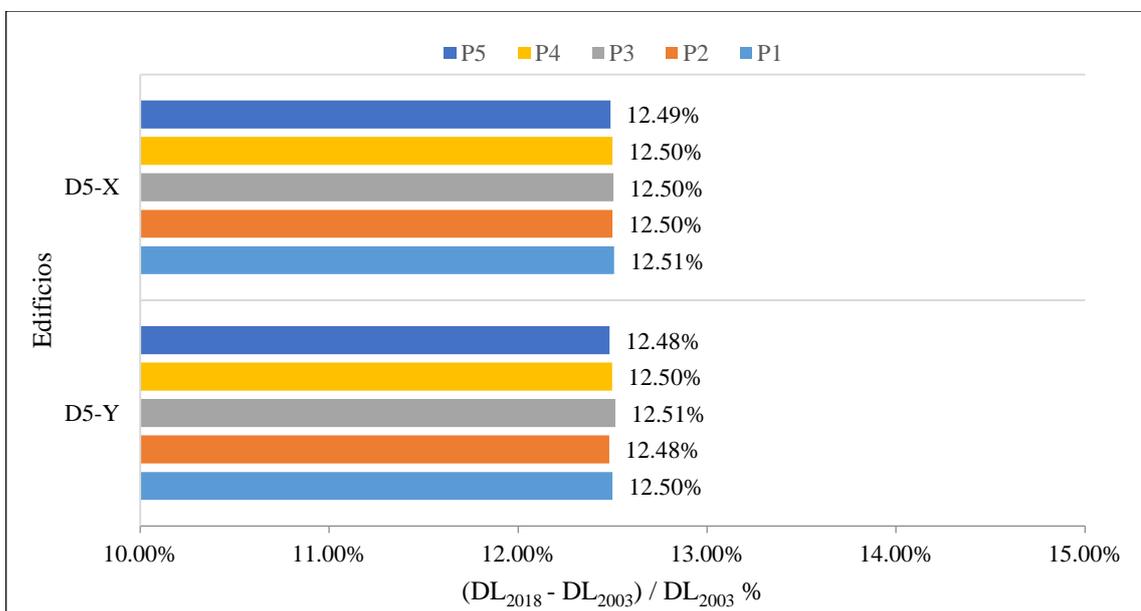


Figura 79, Comparación de los desplazamientos laterales en D5

Fuente: Elaboración propia

En la figura 80, se observa, en las direcciones X e Y, que los desplazamientos laterales en M5 presenta un incremento uniforme de aproximadamente 12.5%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

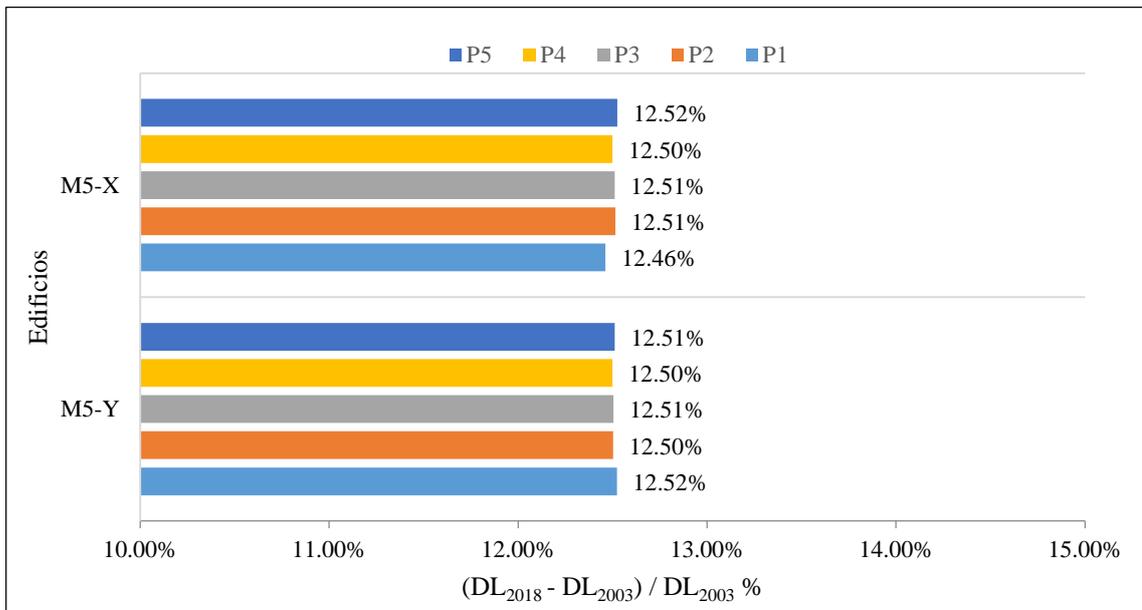


Figura 80, Comparación de los desplazamientos laterales en M5

Fuente: Elaboración propia

En la figura 81, se observa, en las direcciones X e Y, que los desplazamientos laterales en D10 presenta un incremento uniforme de aproximadamente 12.5%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

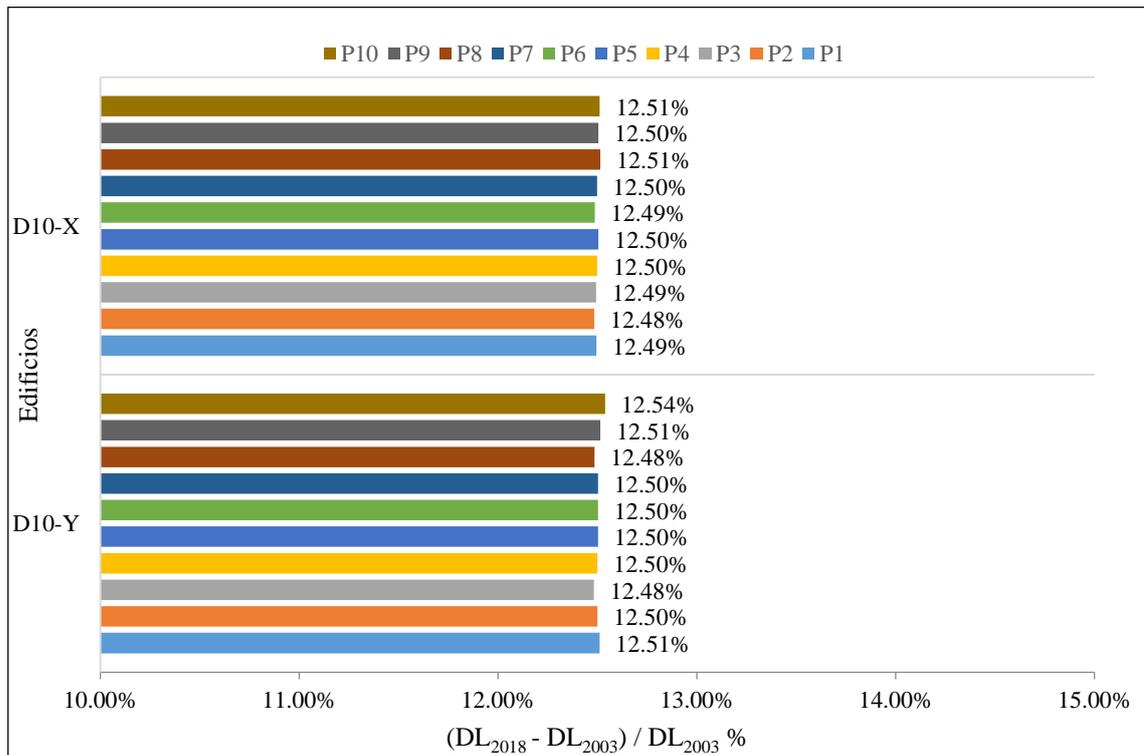


Figura 81, Comparación de los desplazamientos laterales en D10

Fuente: Elaboración propia

En la figura 82, se observa, en las direcciones X e Y, que los desplazamientos laterales en M10 presenta un incremento uniforme de aproximadamente 12.5%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

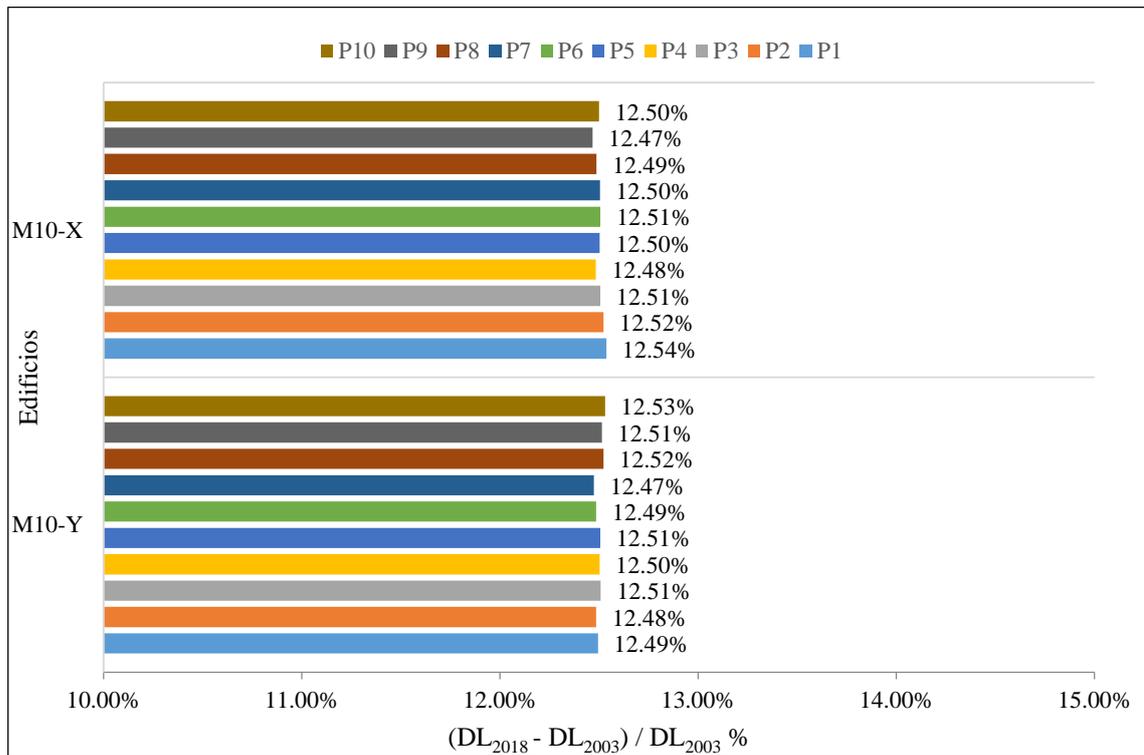


Figura 82, Comparación de los desplazamientos laterales en M10

Fuente: Elaboración propia

En la figura 83, se observa, en las direcciones X e Y, que los desplazamientos laterales en D15 presenta un incremento uniforme de aproximadamente 12.5%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

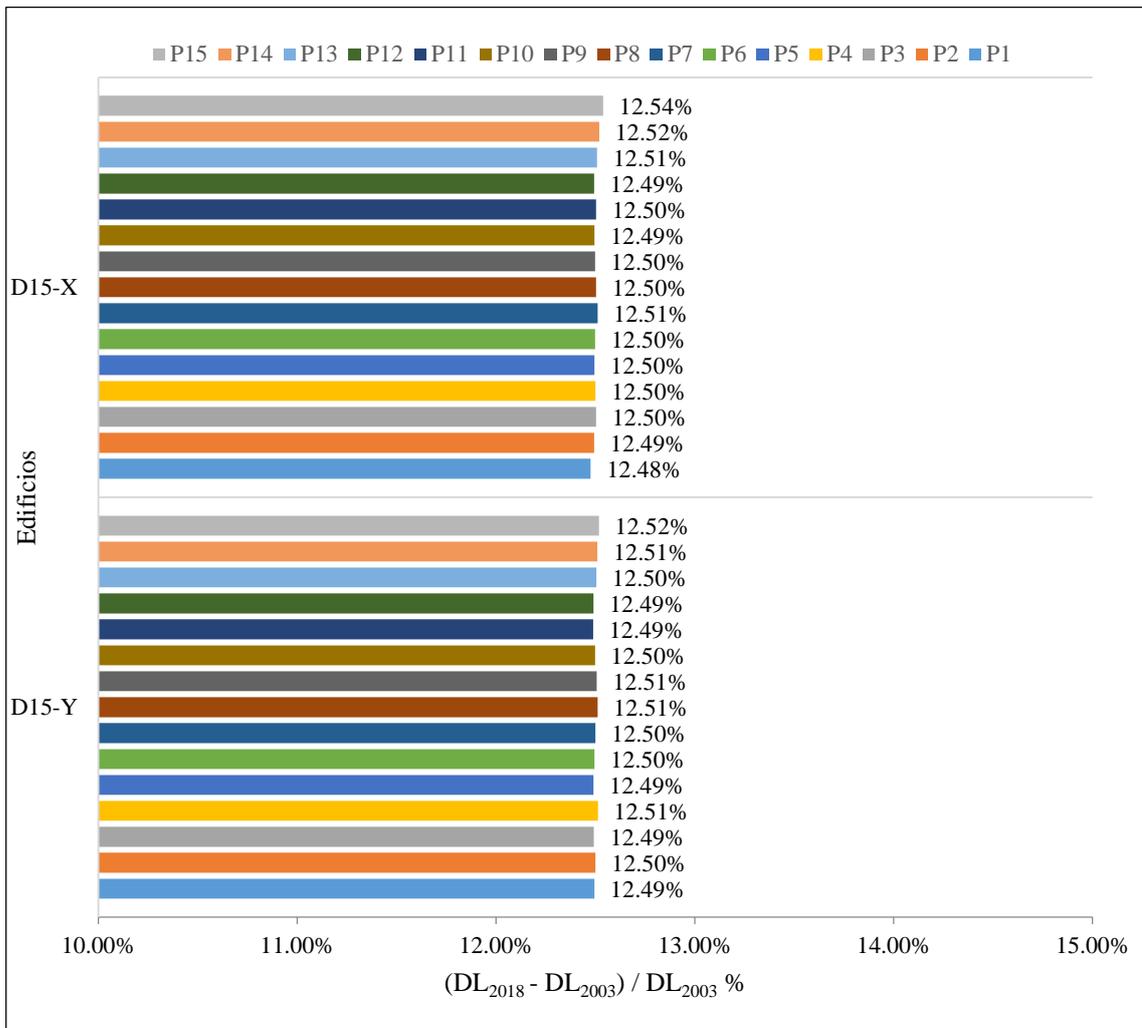


Figura 83, Comparación de los desplazamientos laterales en D15

Fuente: Elaboración propia

En la figura 84, se observa, en las direcciones X e Y, que los desplazamientos laterales en M15 presenta un incremento uniforme de aproximadamente 12.5%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

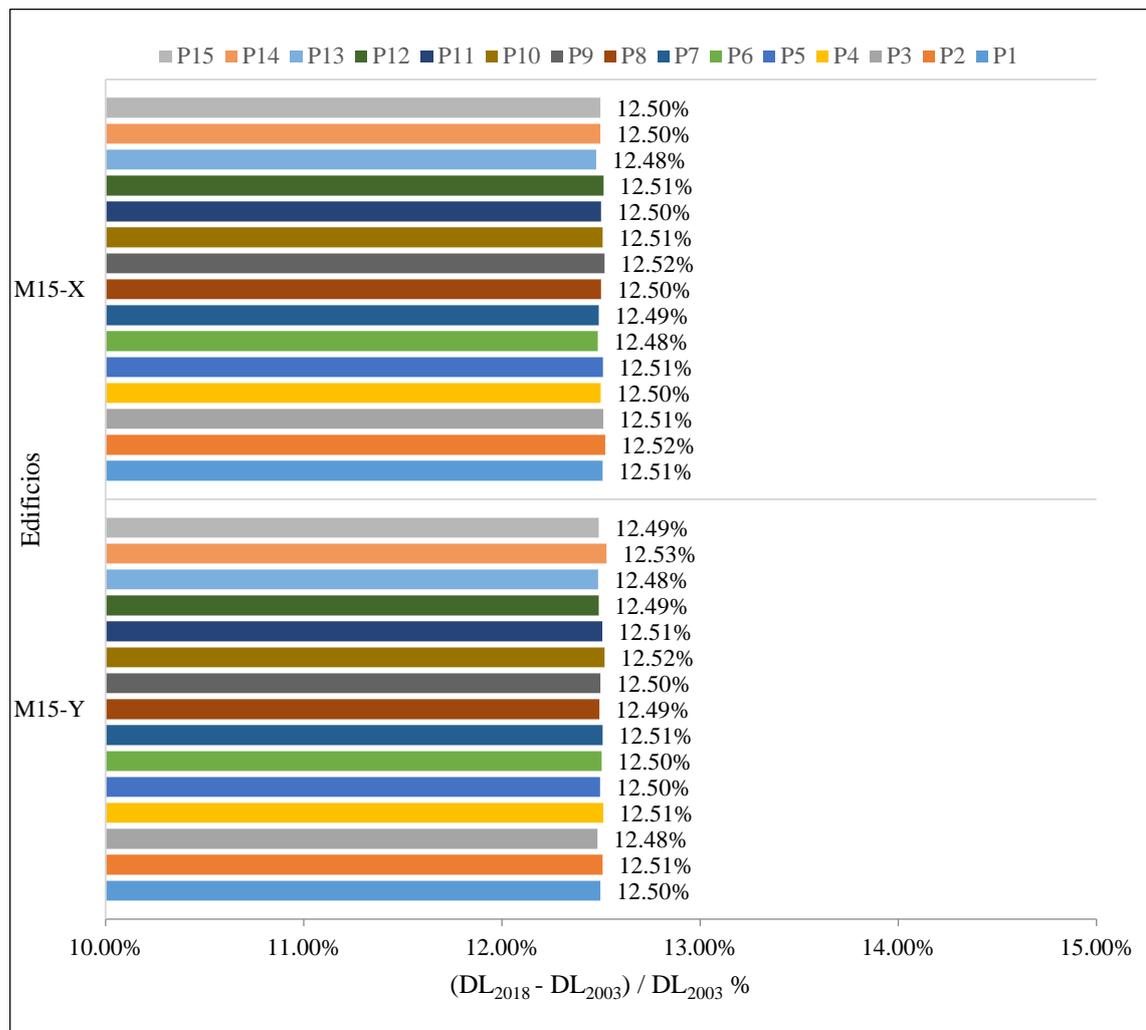


Figura 84, Comparación de los desplazamientos laterales en M15

Fuente: Elaboración propia

En la figura 85, se observa, en las direcciones X e Y, que los desplazamientos laterales en D20 presenta un incremento uniforme de aproximadamente 12.5%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

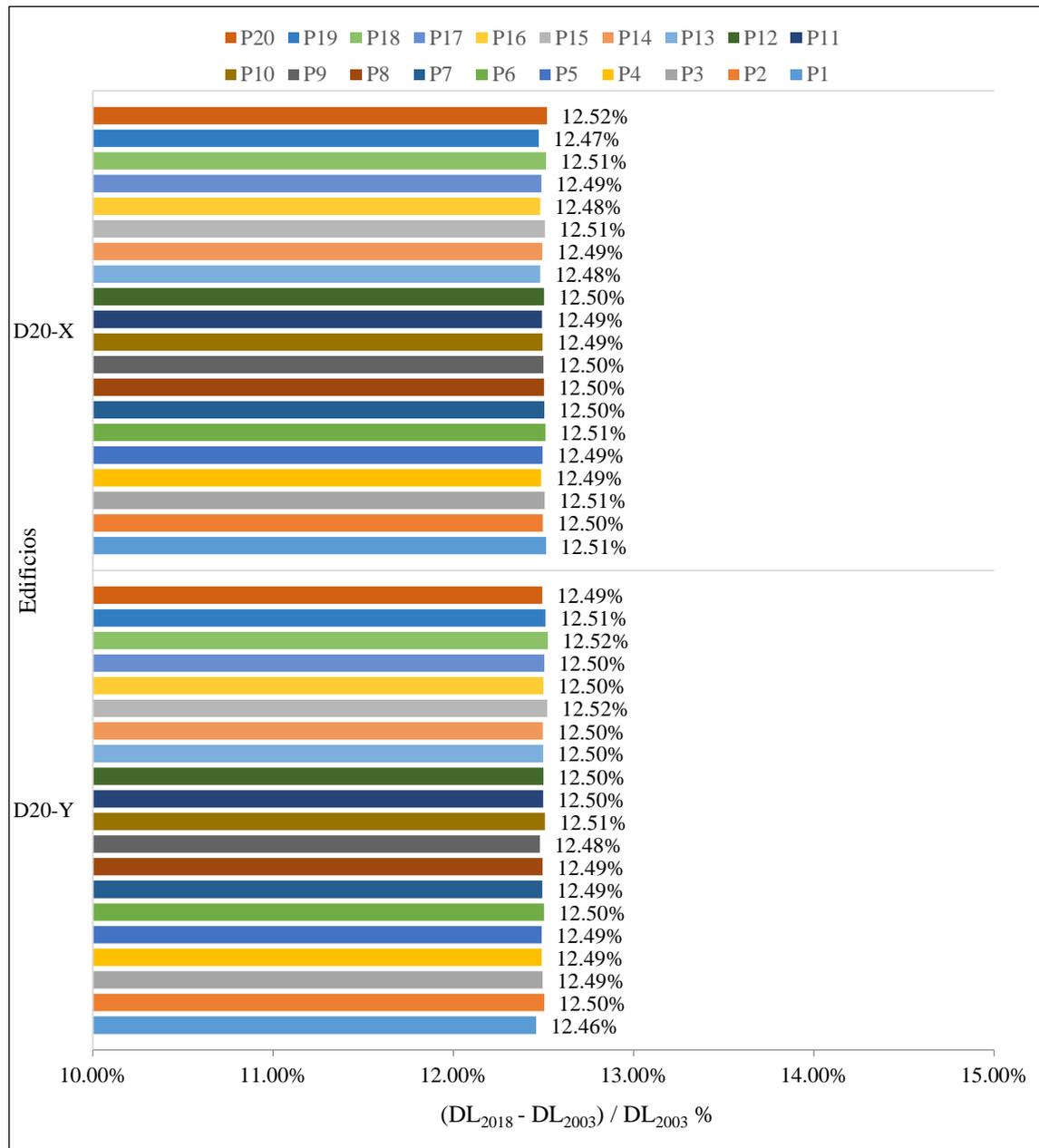


Figura 85, Comparación de los desplazamientos laterales en D20

Fuente: Elaboración propia

En la figura 86, se observa, en las direcciones X e Y, que los desplazamientos laterales en M20 presenta un incremento uniforme de aproximadamente 12.5%. La uniformidad existe porque dentro del análisis dinámico, la única variable que presenta cambios en los modelos matemáticos analizados es el espectro de respuesta.

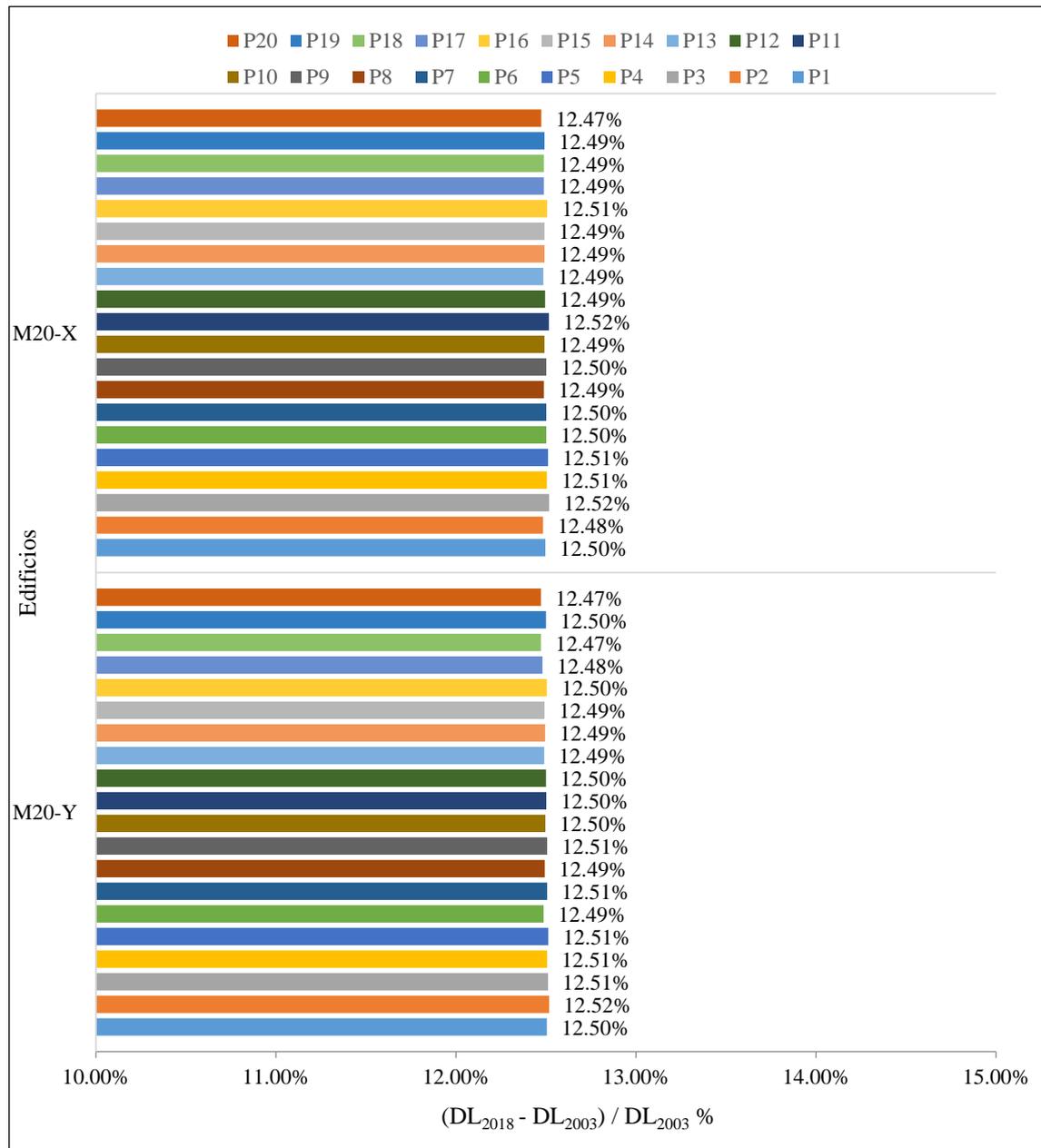


Figura 86, Comparación de los desplazamientos laterales en M20

Fuente: Elaboración propia

8.6 Comparación del factor de seguridad del momento de volteo

Se presentan los resultados obtenidos de la comparación del factor de seguridad del momento de volteo para cada edificio estudiado, en las direcciones X e Y.

En la figura 87, se observa, en las direcciones X e Y, que el factor de seguridad del momento de volteo en D5, D10 y D15 presentan decrementos del 11.0%; mientras que, en D20 presenta un incremento de 1.0%. En D5, D10 y D15 existen decrementos porque la magnitud del momento sísmico con la E.030-2018 es mucho mayor que la obtenida por la anterior norma, caso contrario sucede con D20.

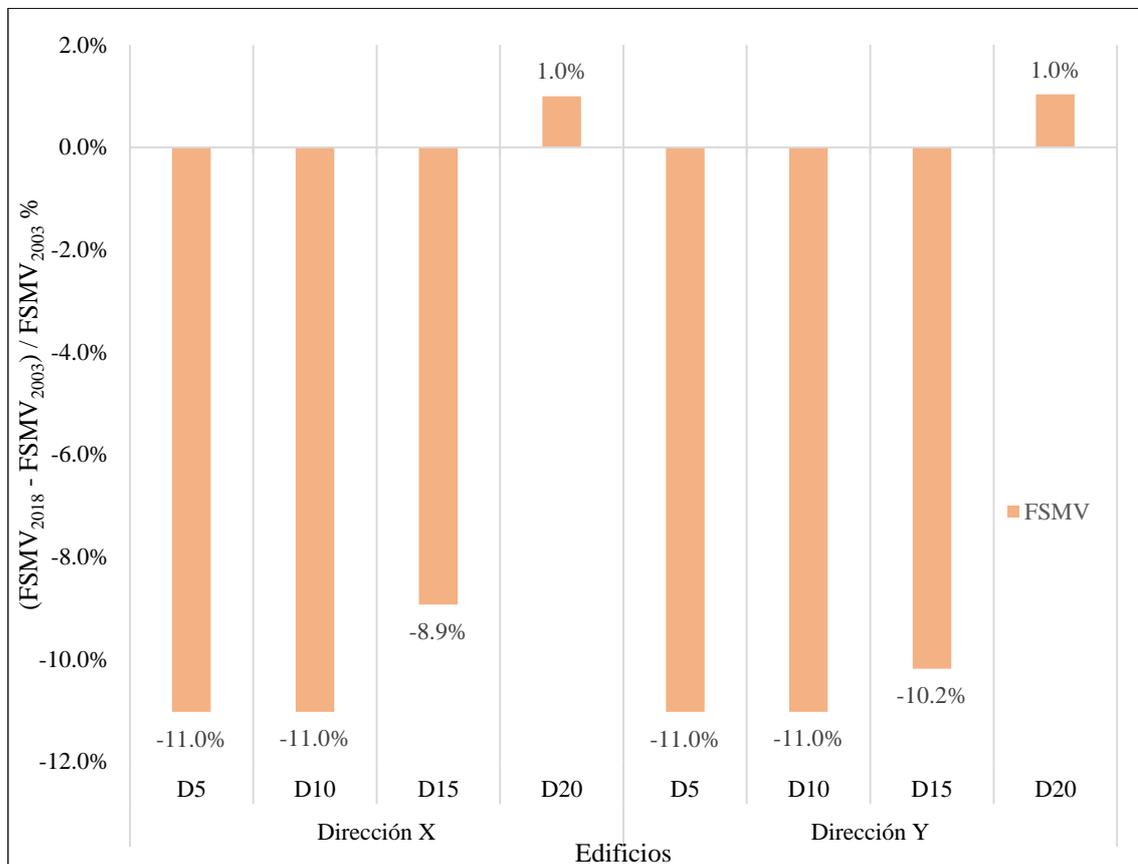


Figura 87, Comparación del factor de seguridad del momento de volteo en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 88, se observa, en las direcciones X e Y, que el factor de seguridad del momento de volteo en M5, M10 y M15 presentan decrementos del 11.2%; mientras que, en M20 presenta un incremento de 1.1%. En M5, M10 y M15 existen decrementos porque la magnitud del momento sísmico con la E.030-2018 es mucho mayor que la obtenida por la anterior norma, caso contrario sucede con M20.

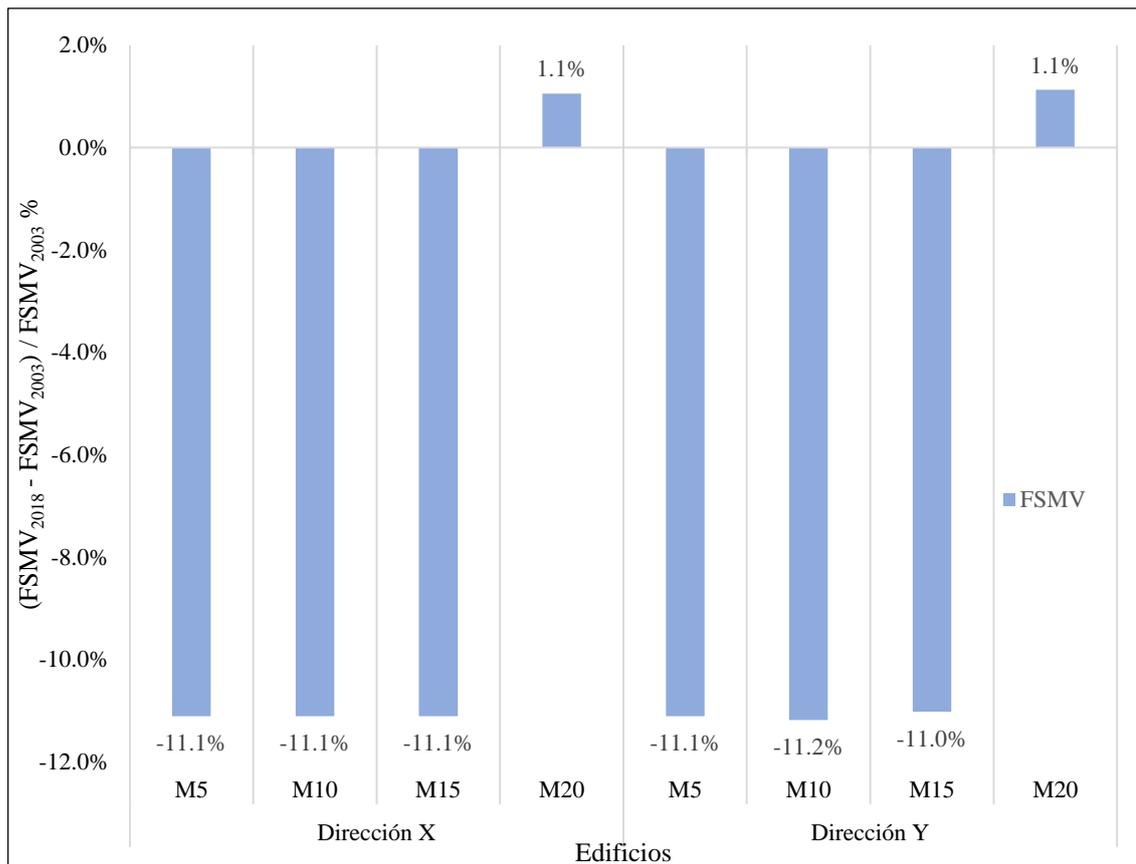


Figura 88, Comparación del factor de seguridad del momento de volteo en edificios de muros estructurales
Fuente: Elaboración propia

8.7 Comparación de la demanda del acero de refuerzo en los elementos estructurales

Se presentan los resultados obtenidos de la comparación de la demanda del acero de refuerzo en cada elemento estructural para cada edificio estudiado. La demanda del acero de refuerzo fue categorizado por refuerzo longitudinal y transversal.

8.7.1 Comparación de la demanda del acero de refuerzo en vigas

En la figura 89, se observa que la demanda del acero de refuerzo longitudinal y transversal en vigas en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 7.6% y 2.5% respectivamente; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor exigencia en las fuerzas sísmicas de la norma vigente, con una mayor influencia en la demanda del acero de refuerzo longitudinal; caso contrario sucede en D20. Por último, en la demanda del acero de refuerzo en vigas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

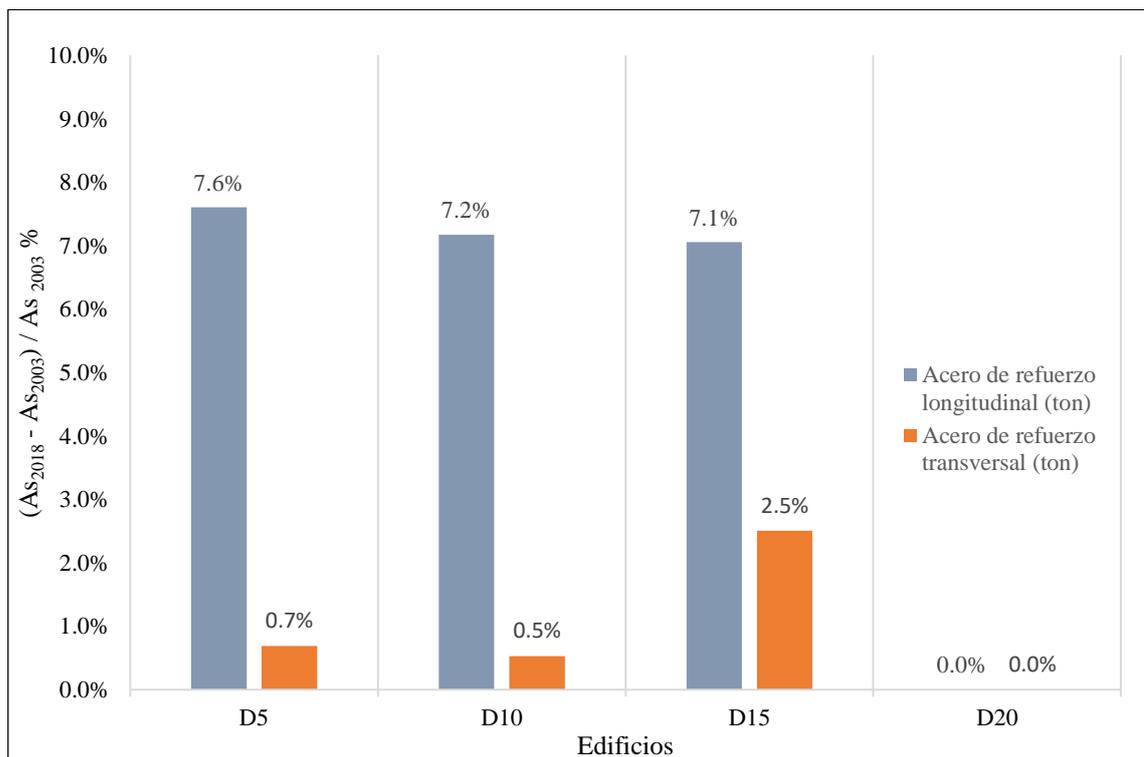


Figura 89, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en vigas en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 90, se observa que la demanda del acero de refuerzo longitudinal y transversal en vigas en M5, M10 y M15 presentan incrementos hasta 8.9% y 3.1% respectivamente; mientras que, en M20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor exigencia en las fuerzas sísmicas de la norma vigente, con una mayor influencia en la demanda del acero de refuerzo longitudinal; caso contrario sucede en M20. Por último, en la demanda del acero de refuerzo en vigas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

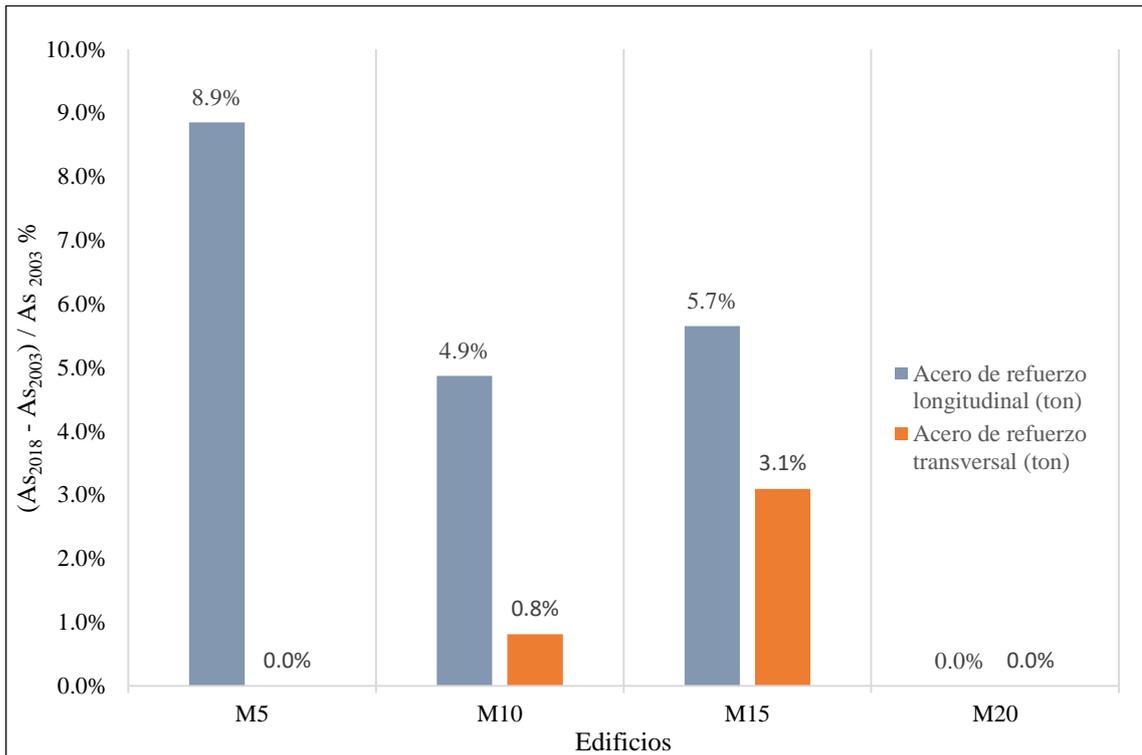


Figura 90, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en vigas en edificios de muros estructurales

Fuente: Elaboración propia

8.7.2 Comparación de la demanda del acero de refuerzo en columnas

En la figura 91, se observa que la demanda del acero de refuerzo longitudinal y transversal en columnas en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 21.5% y 4.4% respectivamente; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor exigencia en las fuerzas sísmicas de la norma vigente, con una mayor influencia en la demanda del acero de refuerzo longitudinal; caso contrario sucede en D20. Por último, en la demanda del acero de refuerzo en columnas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

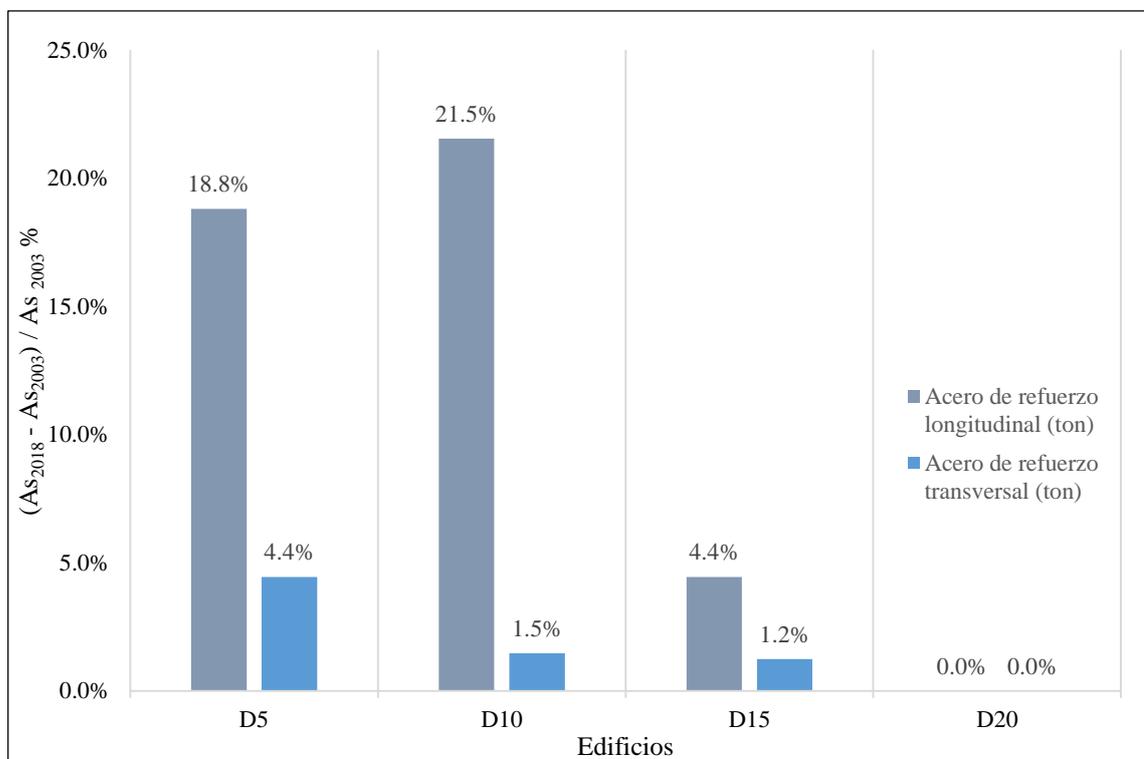


Figura 91, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en columnas en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 92, se observa que la demanda del acero de refuerzo longitudinal y transversal en columnas en M5, M10 y M15 presentan incrementos hasta 16.9% y 4.6% respectivamente; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor exigencia en las fuerzas sísmicas de la norma vigente, con una mayor influencia en la demanda del acero de refuerzo longitudinal; caso contrario sucede en D20. Por último, en la demanda del acero de refuerzo en columnas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

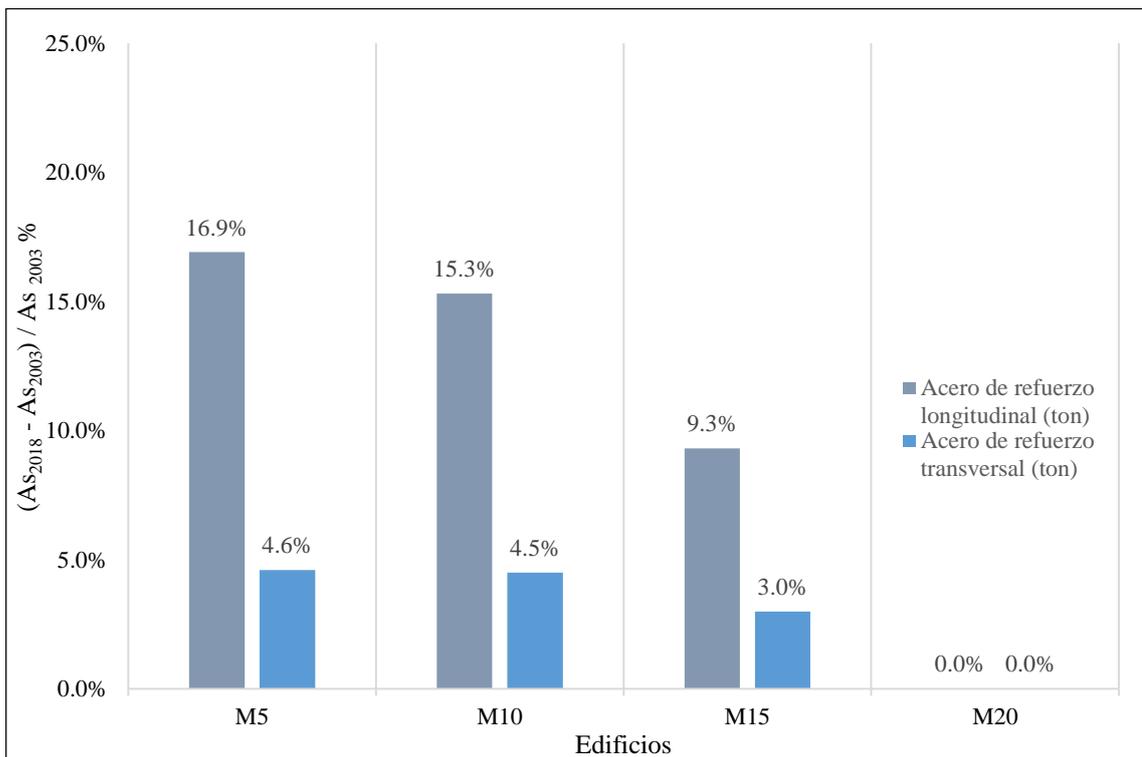


Figura 92, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en columnas en edificios de muros estructurales

Fuente: Elaboración propia

8.7.3 Comparación de la demanda del acero de refuerzo en muros

En la figura 93, se observa que la demanda del acero de refuerzo longitudinal y transversal en muros en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 12.4% y 17.3% respectivamente; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor exigencia en las fuerzas sísmicas de la norma vigente, con una mayor influencia en la demanda del acero de refuerzo transversal; caso contrario sucede en D20. Por último, en la demanda del acero de refuerzo en muros se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

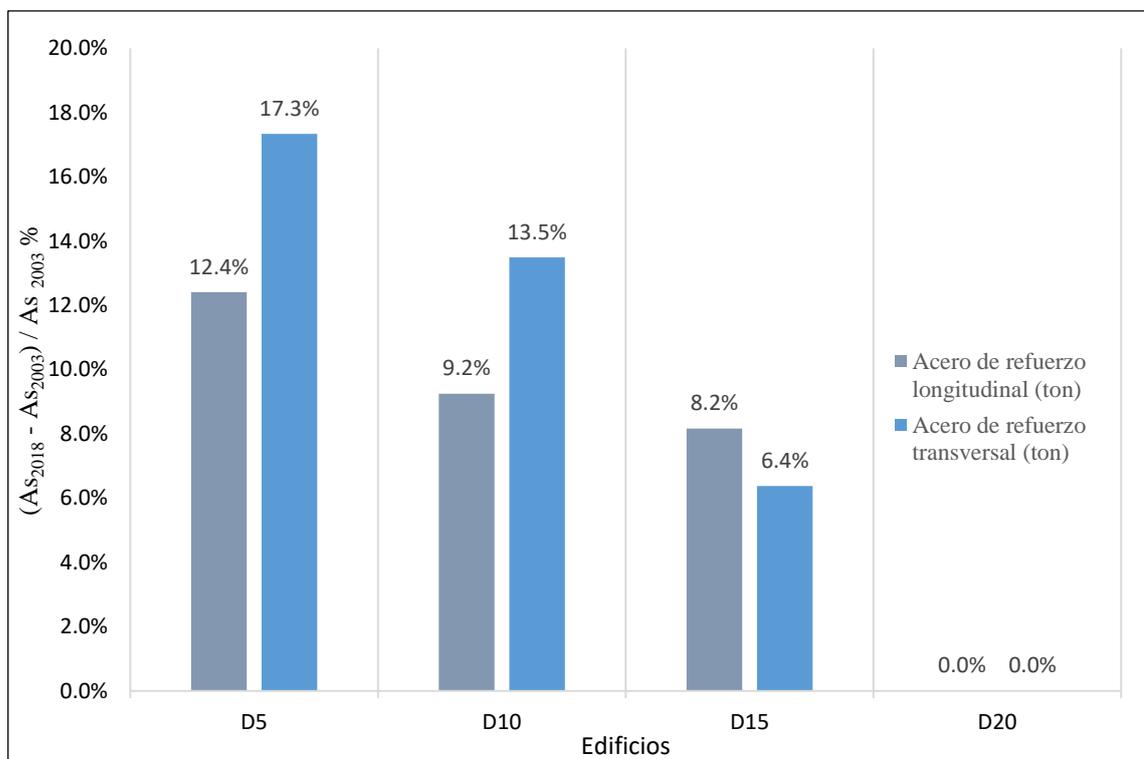


Figura 93, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en muros en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 94, se observa que la demanda del acero de refuerzo longitudinal y transversal en muros en M5, M10 y M15 presentan incrementos hasta 5.4% y 5.6% respectivamente; mientras que, en M20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor exigencia en las fuerzas sísmicas de la norma vigente, con una mayor influencia en la demanda del acero de refuerzo transversal; caso contrario sucede en M20. Por último, en la demanda del acero de refuerzo en muros se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

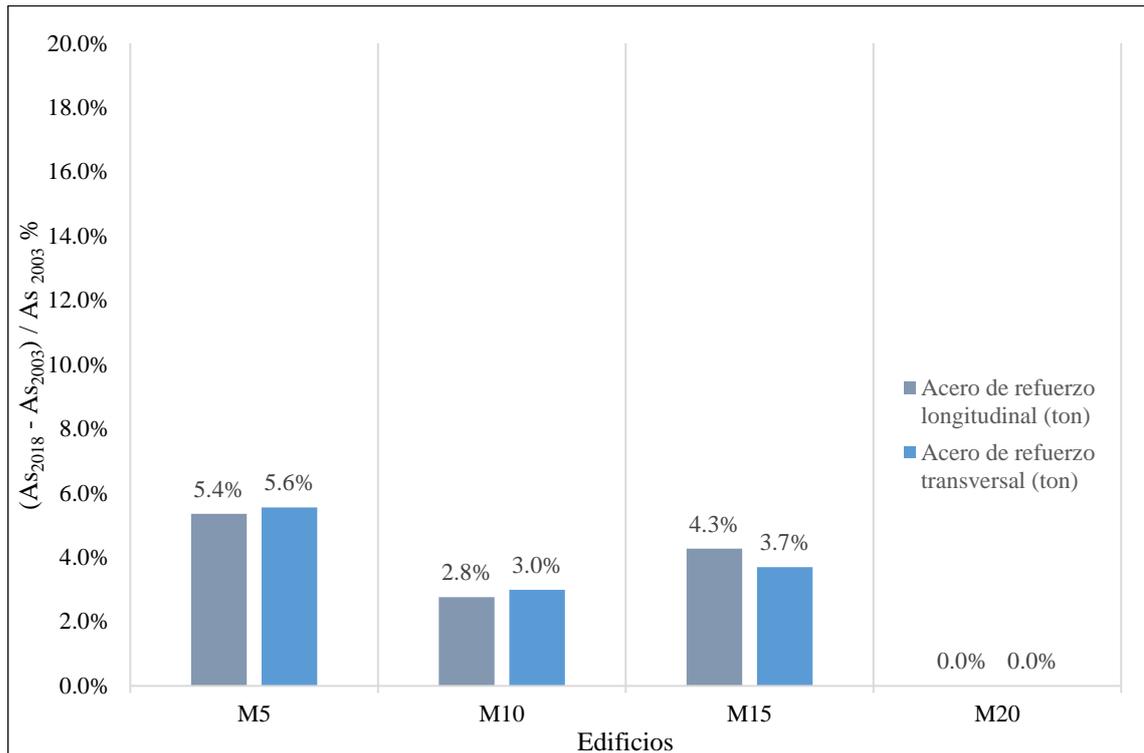


Figura 94, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en muros en edificios de muros estructurales
Fuente: Elaboración propia

8.7.4 Comparación de la demanda del acero de refuerzo en zapatas

En la figura 95, se observa que la demanda del acero de refuerzo longitudinal en zapatas en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 3.1%; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor exigencia en las fuerzas sísmicas de la norma vigente, con una mayor influencia en la demanda del acero de refuerzo longitudinal; caso contrario sucede en D20. Por último, en la demanda del acero de refuerzo en zapatas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

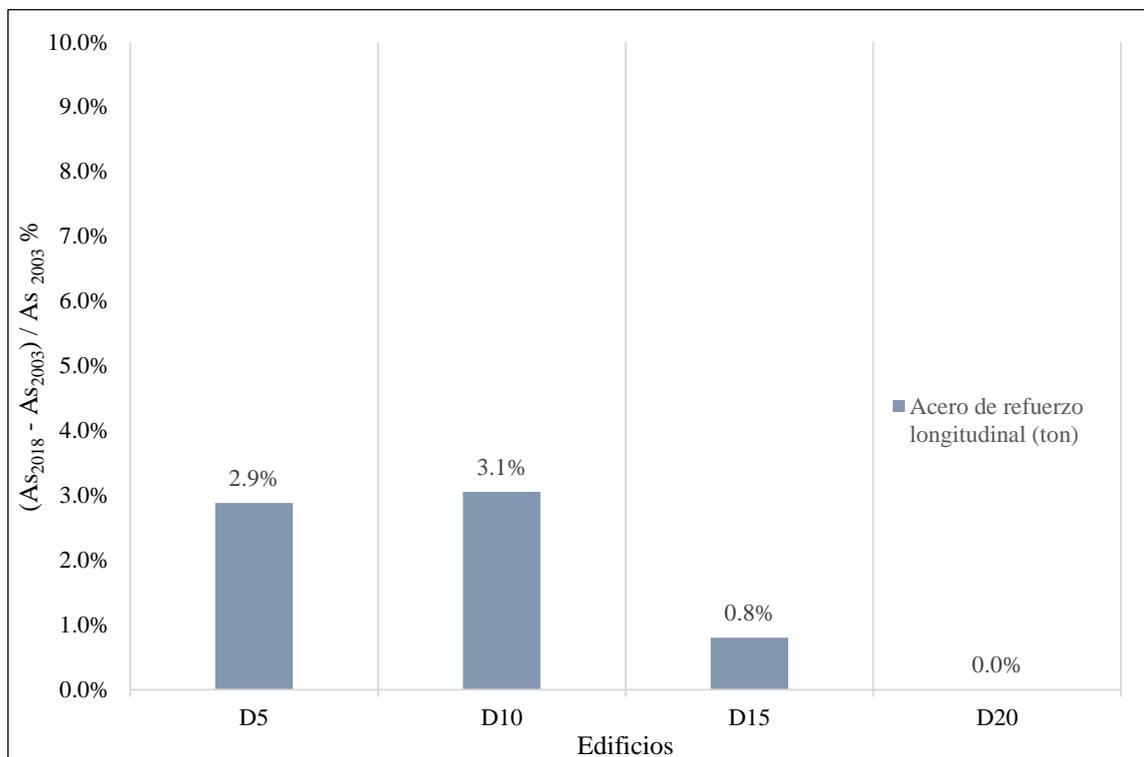


Figura 95, Comparación del acero de refuerzo en zapatas en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 96, se observa que la demanda del acero de refuerzo longitudinal en zapatas en M10 y M15 presentan incrementos hasta 8.6%; mientras que, en M5 y M20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor exigencia en las fuerzas sísmicas de la norma vigente, con una mayor influencia en la demanda del acero de refuerzo longitudinal; caso contrario sucede en M5 y M20. Por último, en la demanda del acero de refuerzo en zapatas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

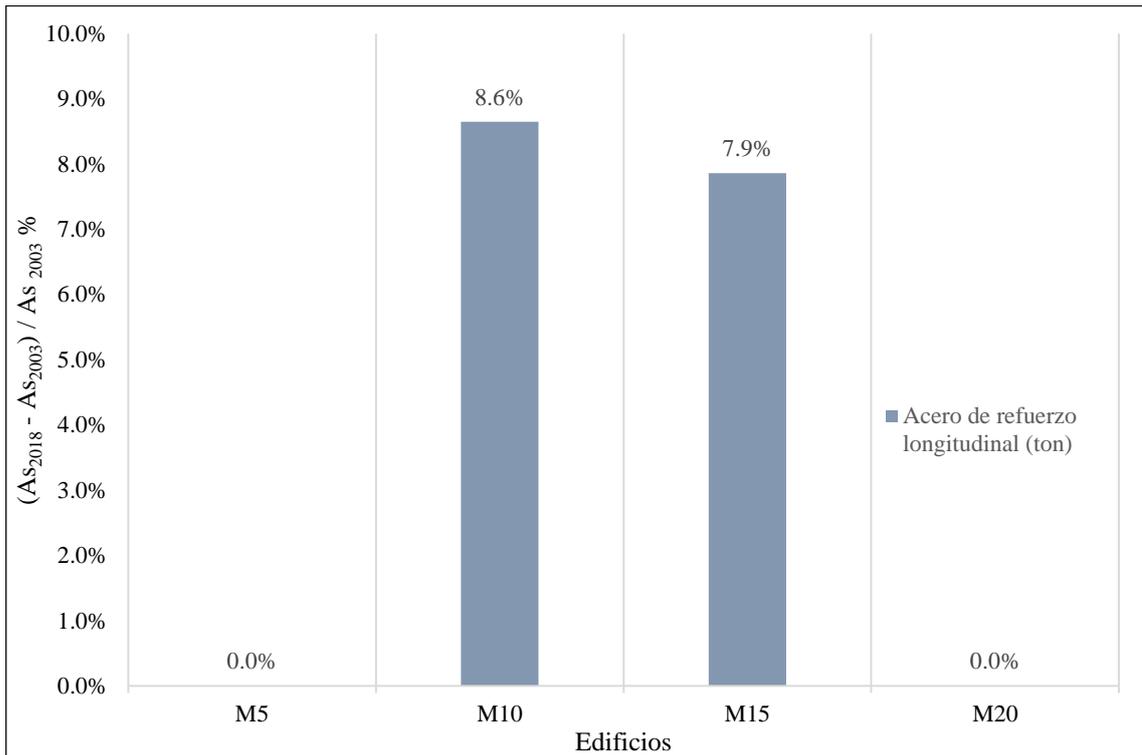


Figura 96, Comparación de la demanda del acero de refuerzo en zapatas en edificios de muros estructurales
Fuente: Elaboración propia

8.7.5 Comparación de la demanda del acero de refuerzo total

Para la comparación de la demanda del acero de refuerzo total, se comparó la sumatoria de todos los aceros de refuerzo para cada edificio, considerando los siguientes elementos estructurales: vigas, losas aligeradas, losas macizas, columnas, muros y zapatas.

En la figura 97, se observa que la demanda del acero de refuerzo total en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 7.6%; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor exigencia en las fuerzas sísmicas de la norma vigente; caso contrario sucede en D20. Por último, en la demanda del acero de refuerzo total se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

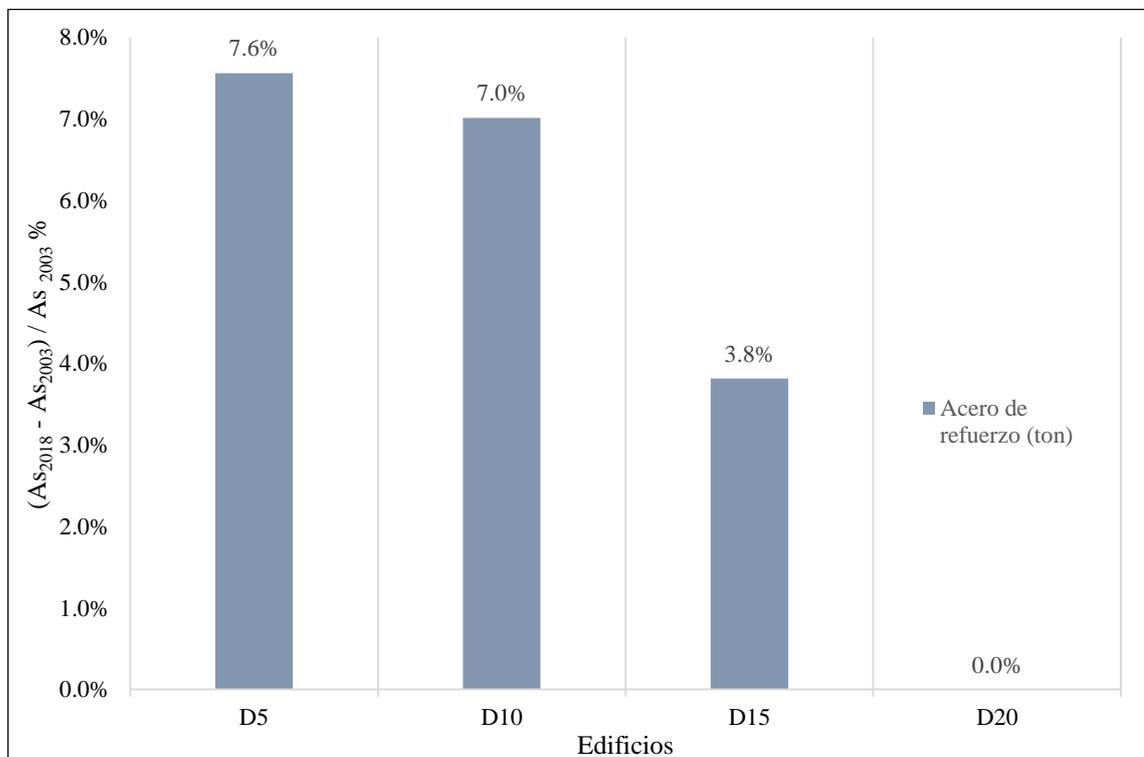


Figura 97, Comparación de la demanda del acero de refuerzo total en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 98, se observa que la demanda del acero de refuerzo total en M5, M10 y M15 presentan incrementos hasta 6.1%; mientras que, en M20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor exigencia en las fuerzas sísmicas de la norma vigente; caso contrario sucede en M20. Por último, en la demanda del acero de refuerzo total se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

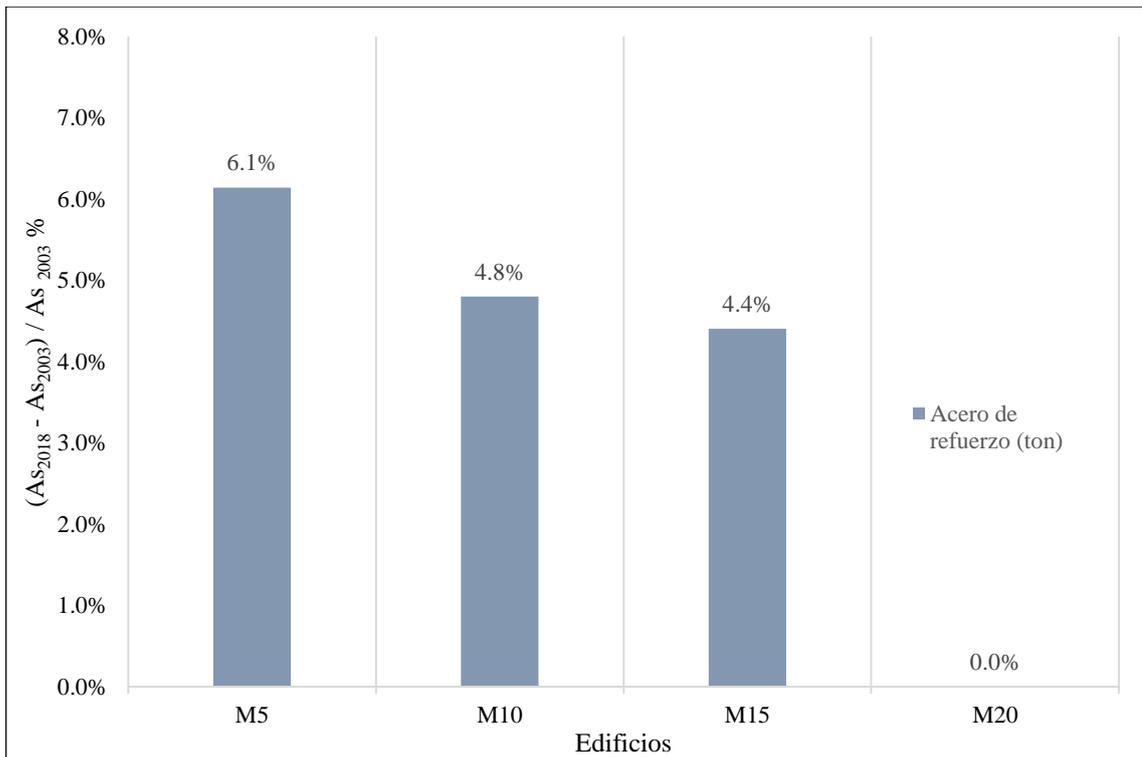


Figura 98, Comparación de la demanda del acero de refuerzo total en edificios de muros estructurales

Fuente: Elaboración propia

8.8 Comparación del costo de los materiales en los elementos estructurales

Se presentan los resultados obtenidos de la comparación del costo del material de acero de refuerzo en cada elemento estructural para cada edificio estudiado.

8.8.1 Comparación del costo del material de acero de refuerzo en vigas

En la figura 99, se observa que el costo del material de acero de refuerzo en vigas en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 5.8%; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en D20. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo en vigas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

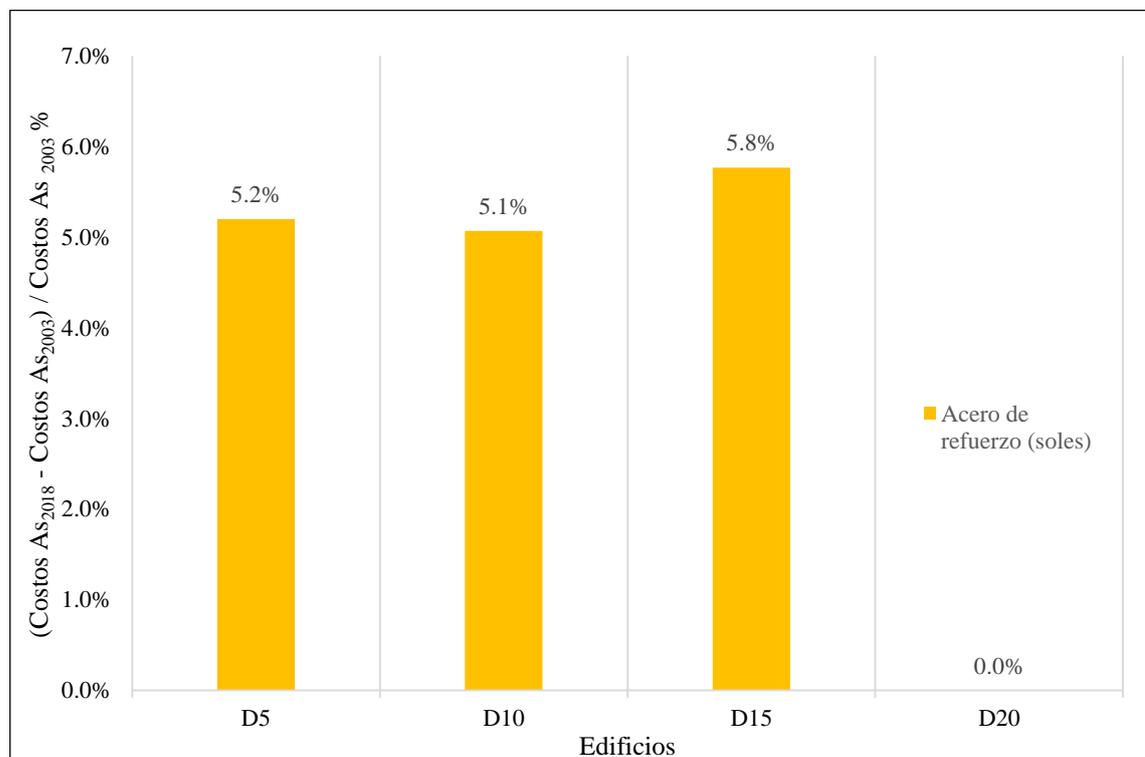


Figura 99, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en vigas en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 100, se observa que el costo del material de acero de refuerzo en vigas en M5, M10 y M15 presentan incrementos hasta 5.9%; mientras que, en M20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en M20. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo en vigas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

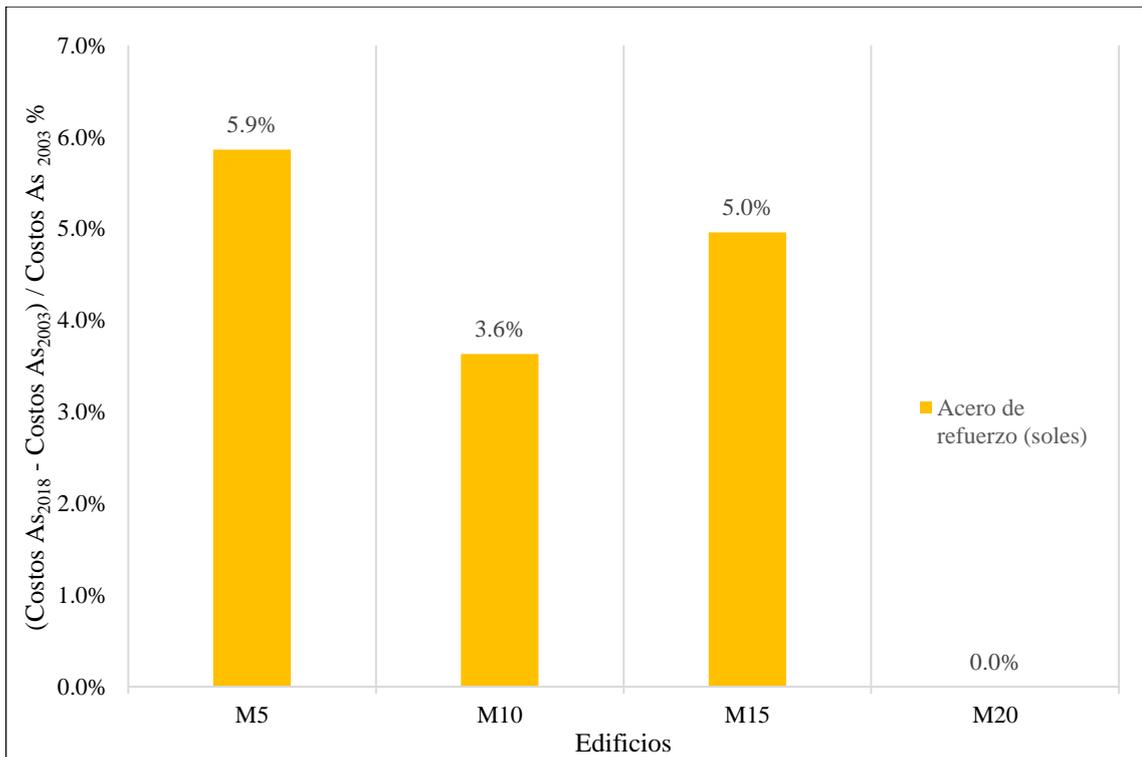


Figura 100, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en vigas en edificios de muros estructurales

Fuente: Elaboración propia

8.8.2 Comparación del costo del material de acero de refuerzo en columnas

En la figura 101, se observa que el costo del material de acero de refuerzo en columnas en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 13.7%; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en D20. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo en columnas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

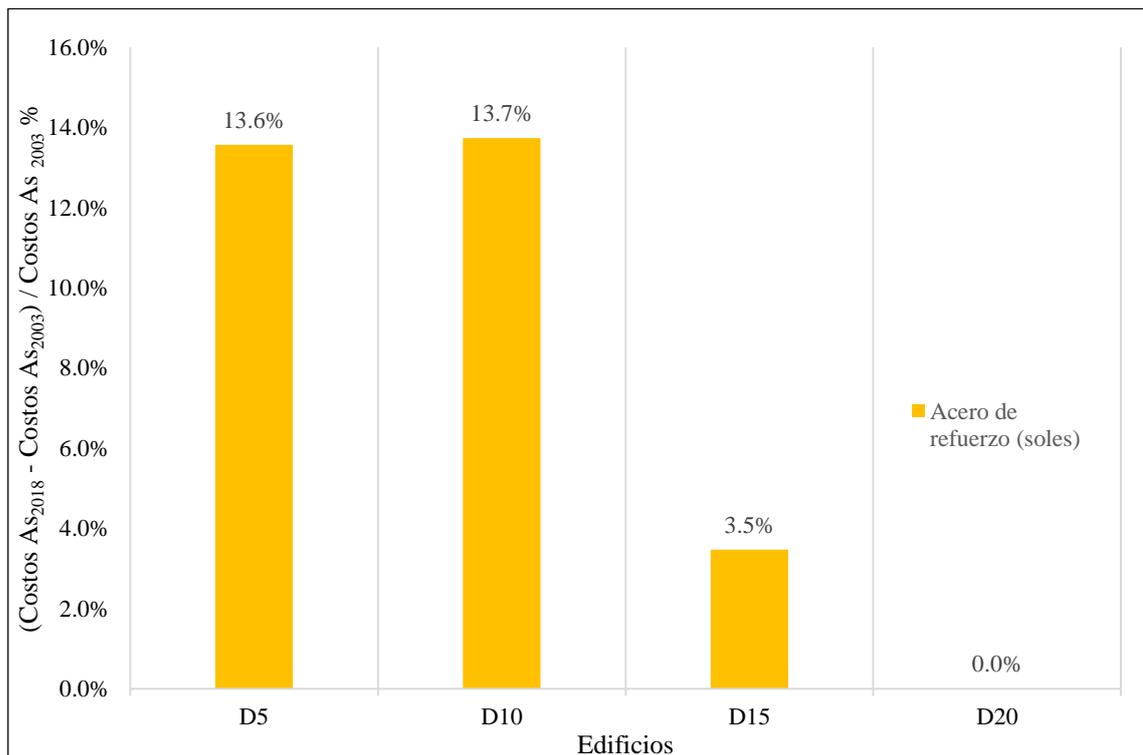


Figura 101, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en columnas en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 102, se observa que el costo del material de acero de refuerzo en columnas en M5, M10 y M15 presentan incrementos hasta 12.9%; mientras que, en M20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en M20. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo en columnas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

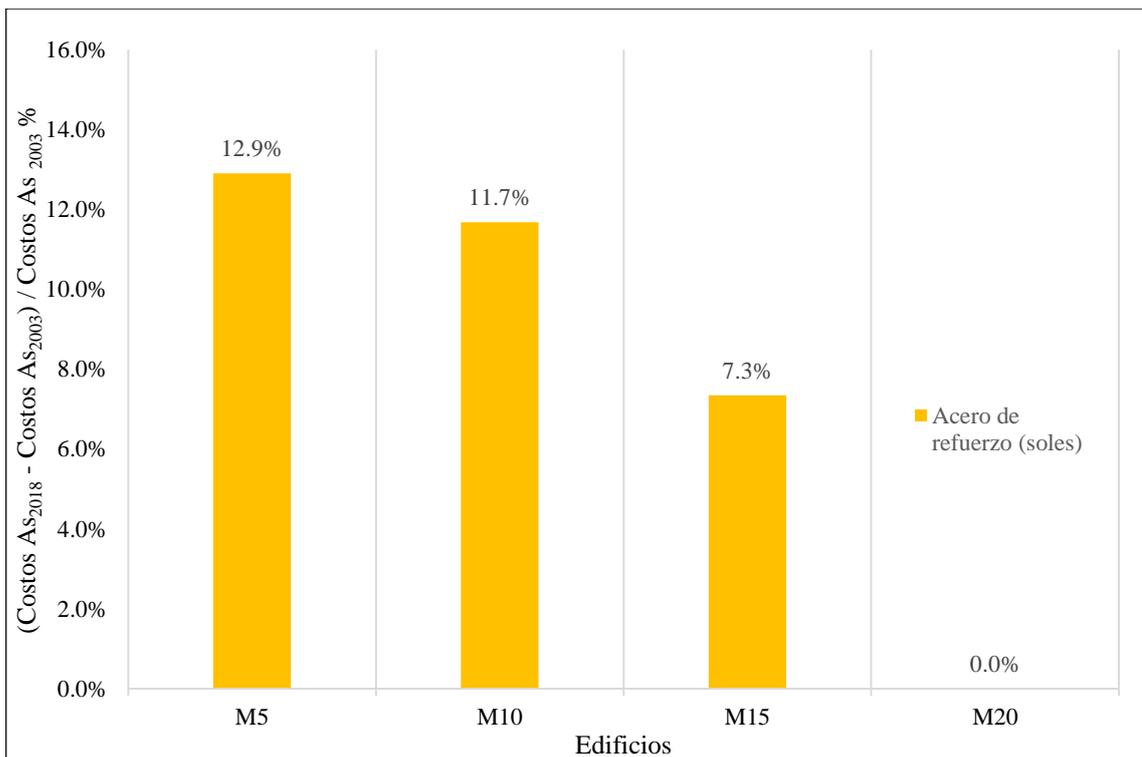


Figura 102, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en columnas en edificios de muros estructurales

Fuente: Elaboración propia

8.8.3 Comparación del costo del material de acero de refuerzo en muros

En la figura 103, se observa que el costo del material de acero de refuerzo en muros en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 14.4%; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en D20. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo en muros se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

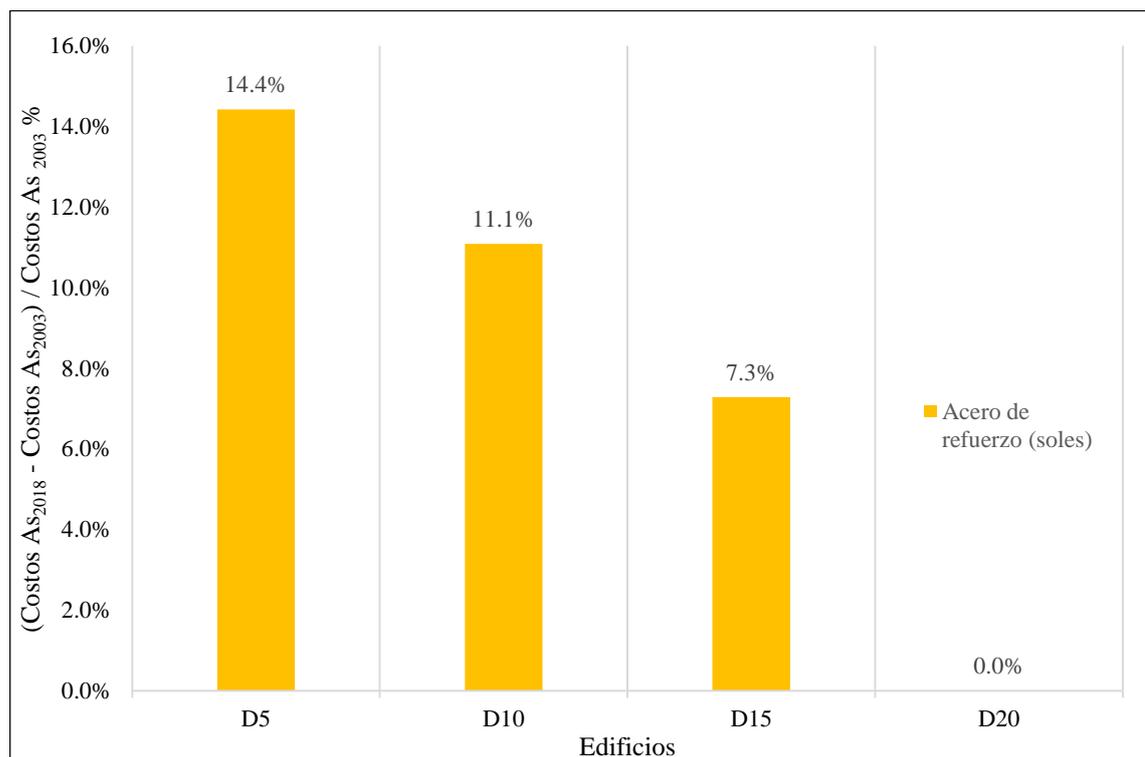


Figura 103, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en muros en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 104, se observa que el costo del material de acero de refuerzo en muros en M5, M10 y M15 presentan incrementos hasta 5.4%; mientras que, en M20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en M20. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo en muros se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

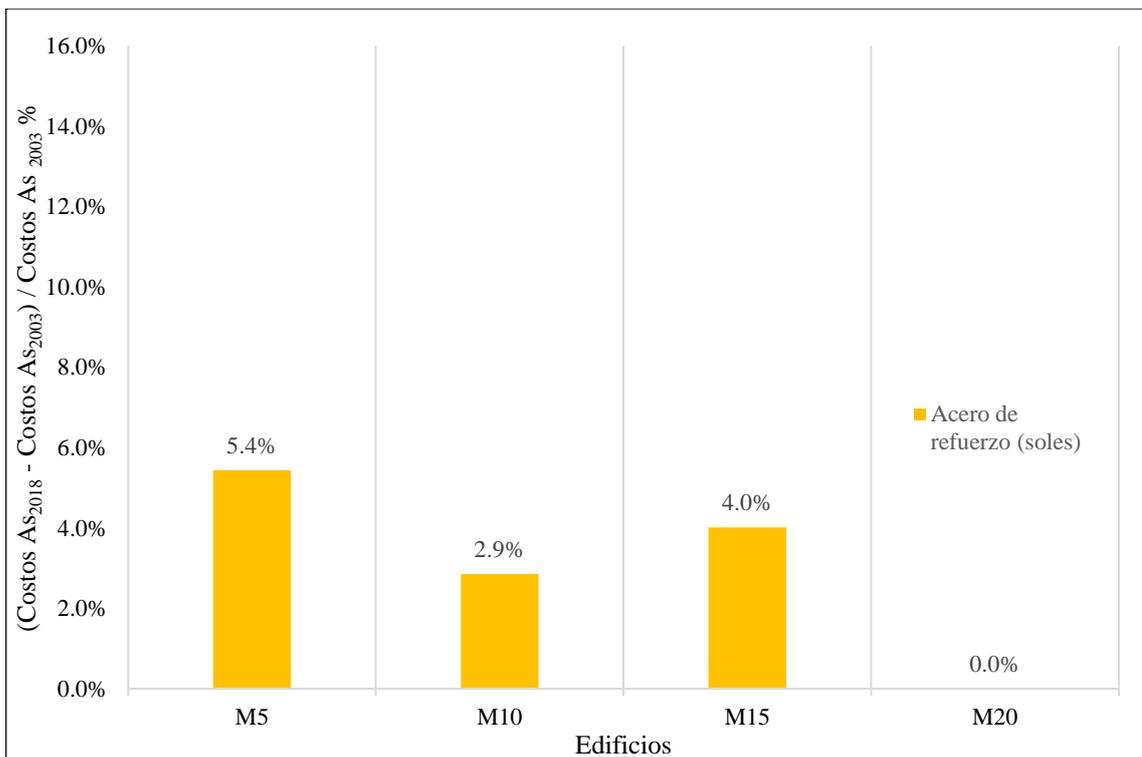


Figura 104, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en muros en edificios de muros estructurales

Fuente: Elaboración propia

8.8.4 Comparación del costo del material de acero de refuerzo en zapatas

En la figura 105, se observa que el costo del material de acero de refuerzo en zapatas en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 3.1%; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en D20. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo en zapatas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

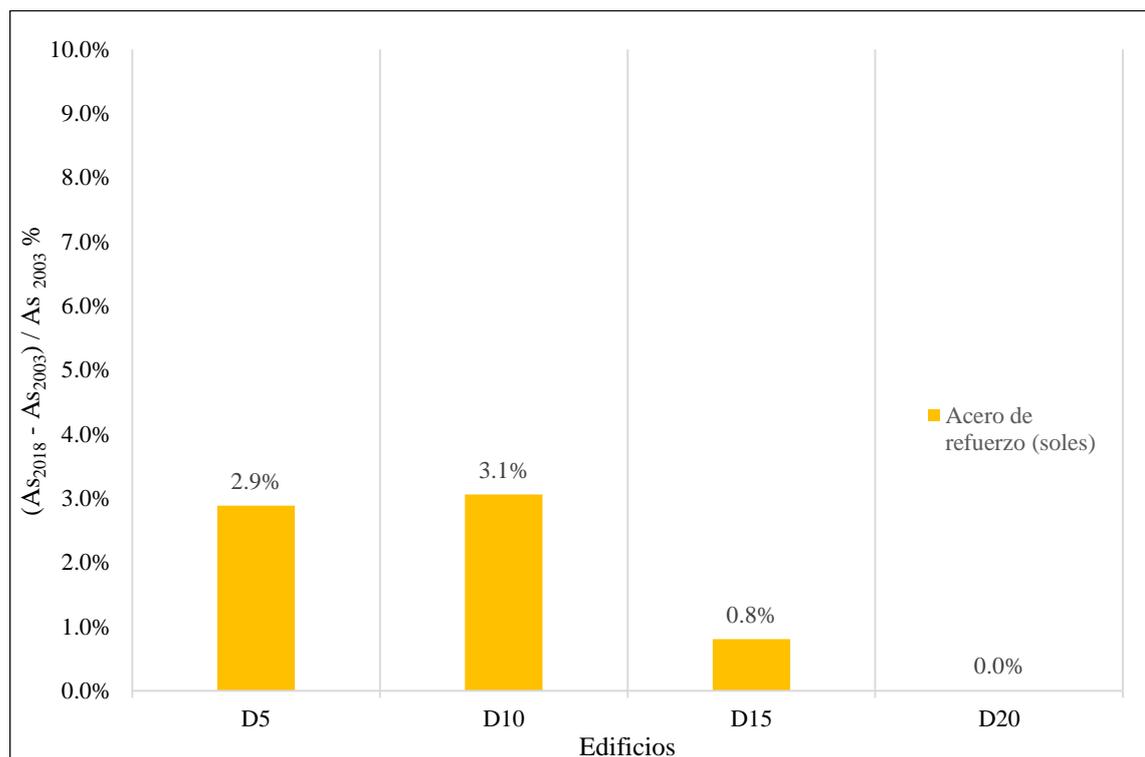


Figura 105, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en zapatas en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 106, se observa que el costo del material de acero de refuerzo en zapatas en M10 y M15 presentan incrementos hasta 8.6%; mientras que, en M5 y M20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en M5 y M20. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo en zapatas se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

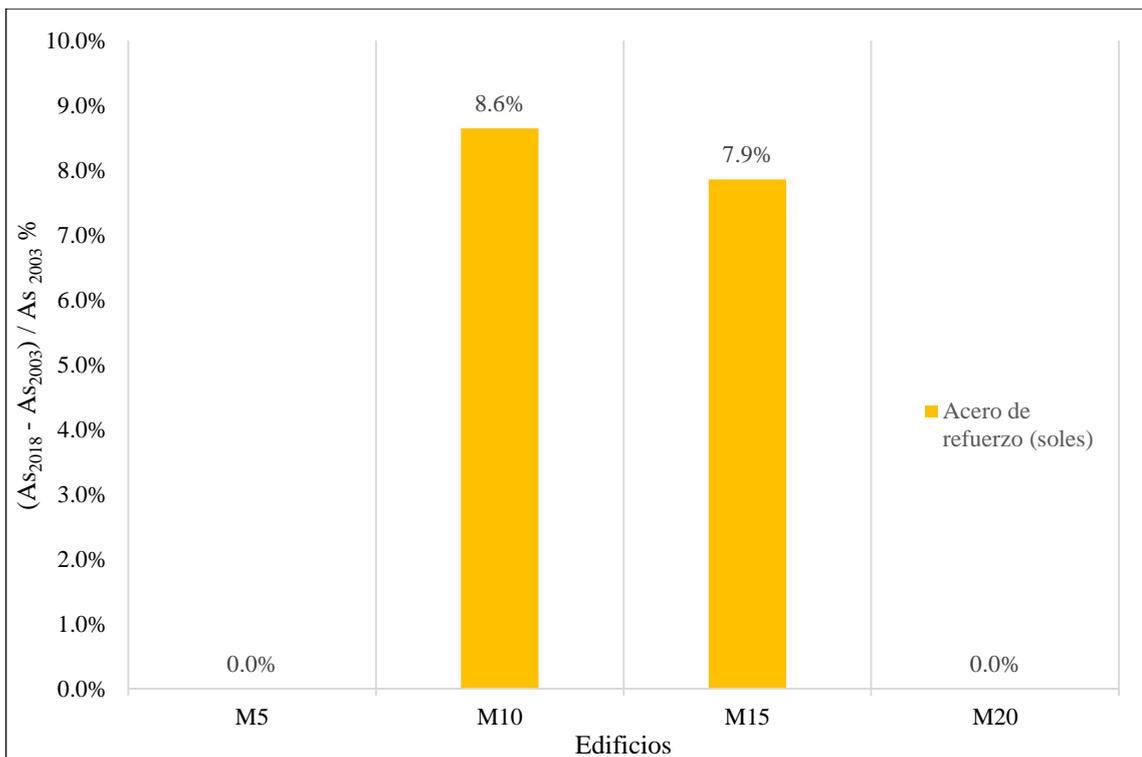


Figura 106, Comparación del costo del material de acero de refuerzo en zapatas en edificios de muros estructurales

Fuente: Elaboración propia

8.8.5 Comparación del costo del material de acero de refuerzo total

Para la comparación del costo del material de acero de refuerzo total, se comparó la sumatoria de todos los aceros de refuerzo para cada edificio, considerando los siguientes elementos estructurales: vigas, losas aligeradas, losas macizas, columnas, muros y zapatas.

En la figura 107, se observa que el costo del material de acero de refuerzo total en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 7.6%; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en D20. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo total se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

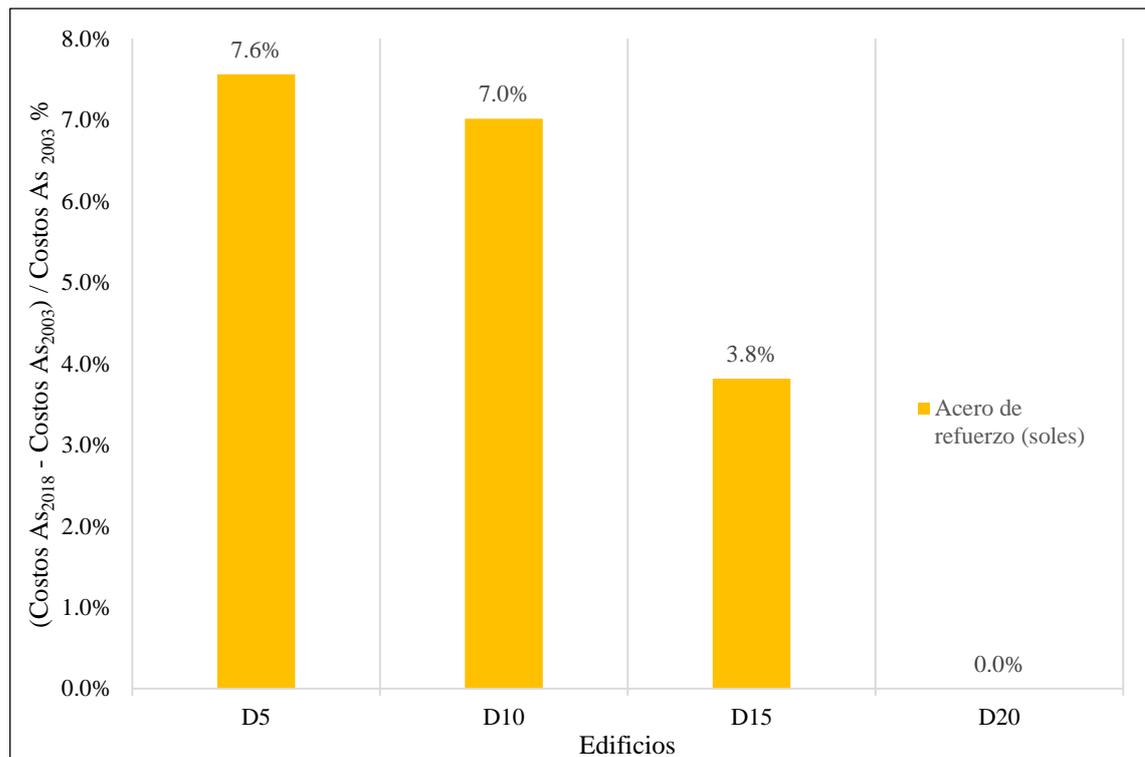


Figura 107, Comparación del costo del material de acero de refuerzo total en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 108, se observa que el costo del material de acero de refuerzo total en M5, M10 y M15 presentan incrementos hasta 6.1%; mientras que, en M20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en M20. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo total se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

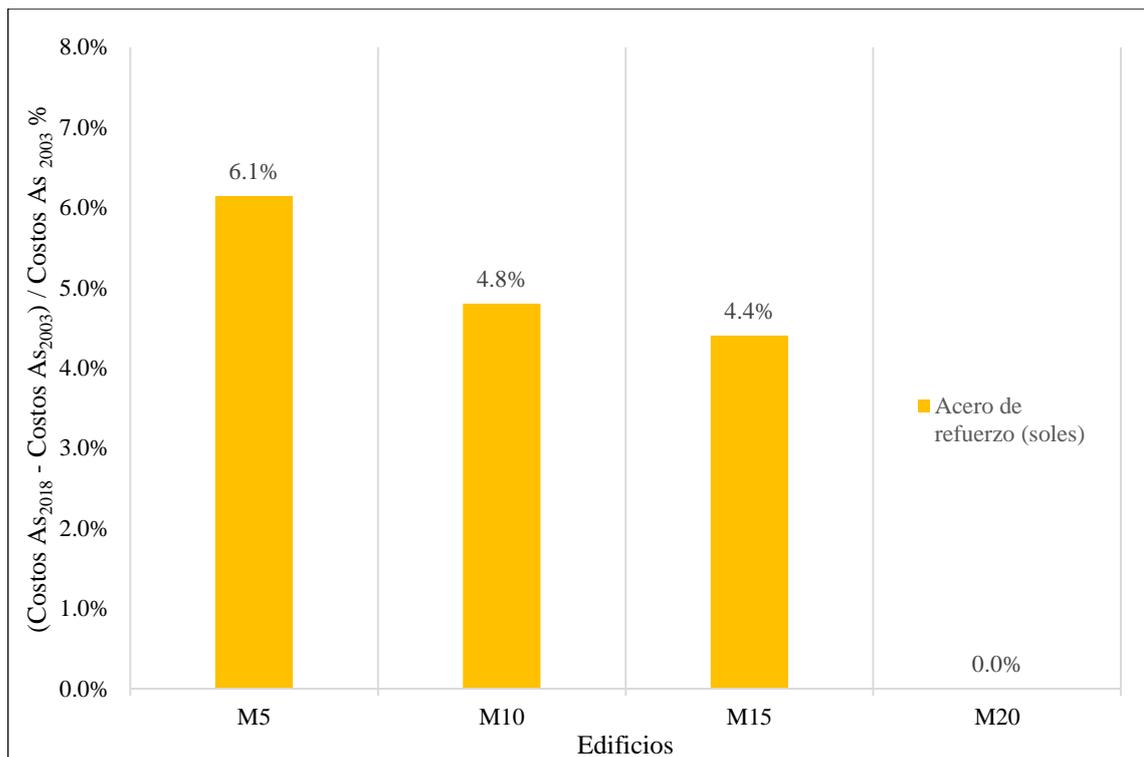


Figura 108, Comparación del costo del material de acero de refuerzo total en edificios de muros estructurales

Fuente: Elaboración propia

8.8.6 Comparación del costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo

Para la comparación del costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo, se comparó la sumatoria de todos los materiales para cada edificio, considerando los siguientes elementos estructurales: vigas, losas aligeradas, losas macizas, columnas, muros y zapatas.

En la figura 109, se observa que el costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo en D5, D10 y D15 presentan incrementos hasta 3.4%; mientras que, en D20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe únicamente a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en D20. Por último, en el costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

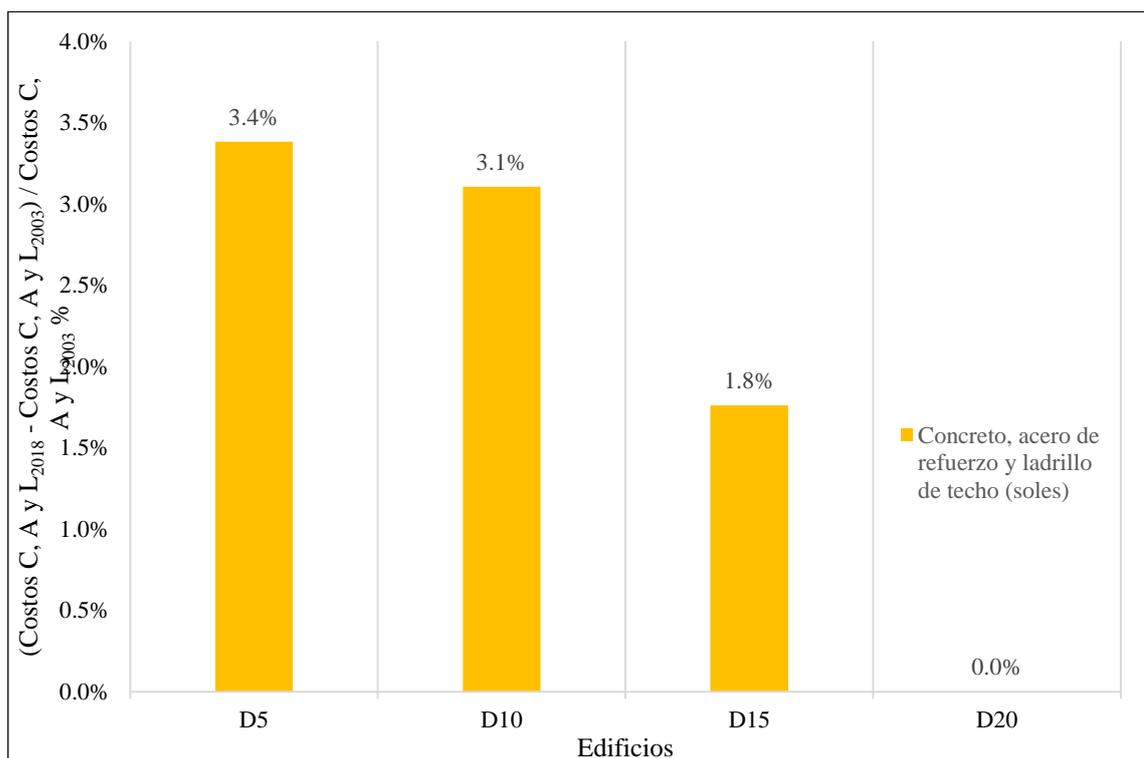


Figura 109, Comparación del costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo en edificios duales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 110, se observa que el costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo en M5, M10 y M15 presentan incrementos hasta 2.8%; mientras que, en M20 no se presenta cambios. El motivo de los incrementos mencionados se debe únicamente a la mayor demanda de acero de refuerzo de la norma vigente; caso contrario sucede en M20. Por último, en el costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios.

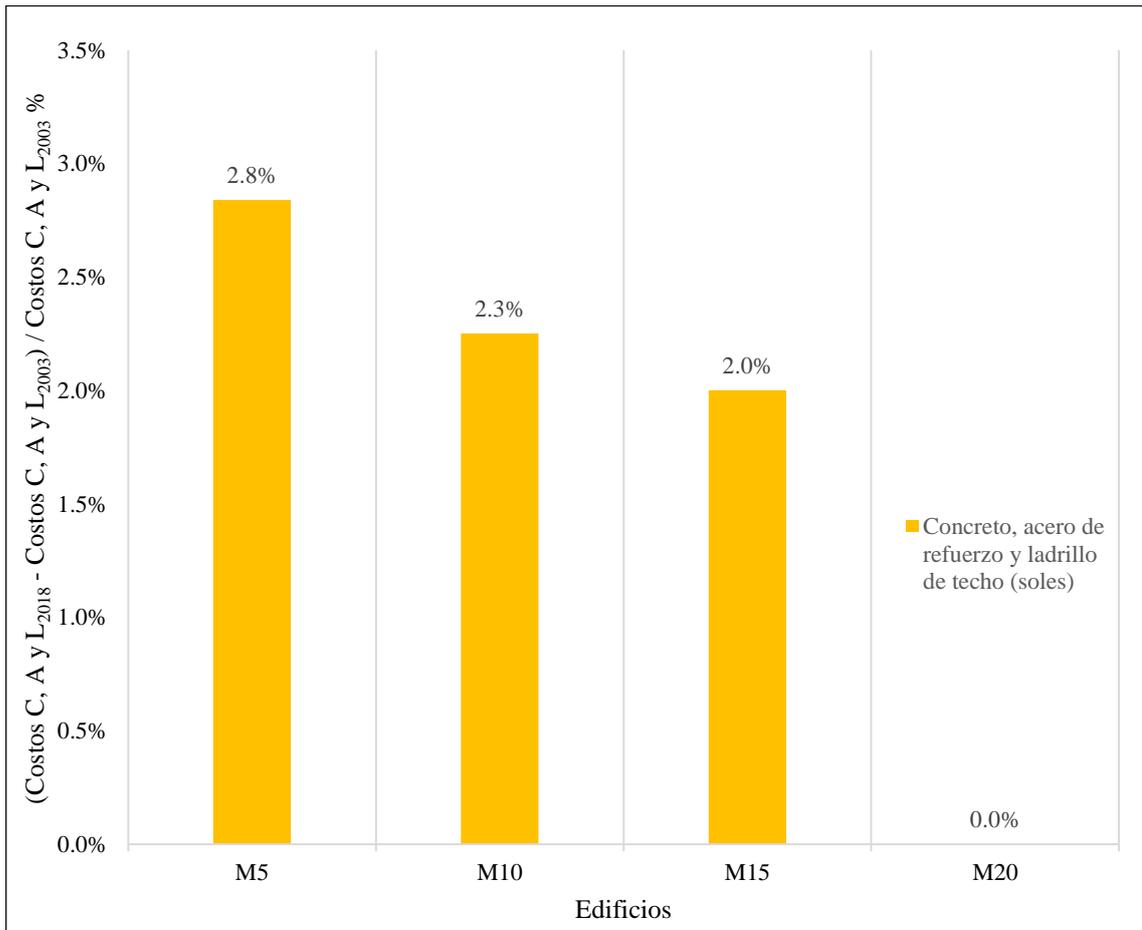


Figura 110, Comparación del costo de los materiales de concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo en edificios de muros estructurales

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

La información presentada en porcentajes es la comparación de los resultados obtenidos con la norma E.030-2018 con respecto a la norma E.030-2003. Además, los edificios duales y de muros estructurales de 5, 10, 15 y 20 pisos se identifican como: D5, D10, D15, D20, M5, M10, M15 y M20.

1. Como principal conclusión, la respuesta sísmica en las variables analizadas como la fuerza cortante dinámica total en la base, el factor de amplificación de la fuerza cortante mínima, los desplazamientos laterales y el factor de seguridad del momento de volteo, presentan decrementos del 12.0% e incrementos hasta 12.5% en todos los edificios estudiados. Además, la demanda del acero de refuerzo en el diseño estructural en cada elemento estructural por edificio, presenta incrementos de hasta 21.5%, y a partir de esto, se aprecia un incremento en el costo del material de acero de refuerzo total por edificio en el orden de 7.6%.
2. En la respuesta sísmica en las variables analizadas como la fuerza cortante dinámica total en la base presenta incrementos de hasta 12.6% en los edificios 5, 10 y 15 pisos, pero presenta un decremento de 1.0% en los edificios de 20 pisos. El factor de amplificación de la fuerza cortante mínima presenta un incremento de hasta 0.1% en D5, D10, M5, M10 y M15, lo cual se considera un incremento no significativo; pero presenta decrementos de hasta 12.0% solo en D15, D20 y M20. Los desplazamientos laterales presentan un incremento de 12.5% en todos los edificios. Por último, el factor de seguridad del momento de volteo presenta decrementos de hasta 11.2% en los edificios de 5, 10 y 15 pisos, pero tiene un decremento de 1.0% en los edificios de 20 pisos.
3. La demanda del acero de refuerzo longitudinal en las vigas, columnas y zapatas por edificio presentan incrementos de hasta 8.9%, 21.5% y 8.6% respectivamente, y para la demanda del acero de refuerzo transversal en muros por edificio, presenta incrementos de hasta 17.3%. Además, con respecto a la demanda del acero de refuerzo total en todos los elementos estructurales por edificio, presenta un incremento de hasta 7.6%. Por último, en la demanda del acero de refuerzo se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los

edificios de 5, 10 y 15 pisos, pero solo en los edificios de 20 pisos, no se presentan cambios.

4. El costo del material de acero de refuerzo en las vigas, columnas, muros y zapatas por edificio presentan incrementos de hasta 5.9%, 13.7%, 14.4% y 8.6% respectivamente. Además, con respecto al costo del material de acero de refuerzo total en todos los elementos estructurales por edificio, presentan incrementos de hasta 7.6%. Por último, en el costo del material de acero de refuerzo se identifica una tendencia a la reducción conforme se incrementa la altura en los edificios de 5, 10 y 15 pisos, pero en los edificios de 20 pisos, no se presentan cambios.
5. El costo de los materiales empleados en los elementos estructurales (concreto, acero de refuerzo y ladrillo de techo) por edificio presentan incrementos desde 1.8% hasta 3.4% en los edificios de 5, 10 y 15 pisos, y solo en los edificios de 20 pisos, no se presentan cambios.
6. No existen cambios significativos en los edificios duales y de muros estructurales que se atribuyan al sistema estructural con respecto a la respuesta sísmica, diseño estructural y costos. Solo se presenta una mayor demanda de acero de refuerzo en los muros en los edificios duales con respecto a los edificios de muros estructurales, y en las zapatas en los edificios de muros estructurales con respecto a los edificios duales.

RECOMENDACIONES

1. Para futuras investigaciones se puede estudiar la influencia de las siguientes variables: factor de zona, factor de suelo, factor de uso, irregularidad en planta y altura, otros sistemas estructurales, calidad del concreto, edificios de gran altura y edificios existentes importantes.
2. Realizar estudios donde se definan edificios representativos que engloben diferentes tipos de edificios existentes en Lima; las características que se buscarían estandarizar serían las siguientes: área en planta, longitud mayor y menor, altura de entrepiso, altura total, regularidad, sistema estructural y densidad estructural.
3. Se recomienda evaluar las estructuras diseñadas con la norma E.030-2003 con respecto al factor de seguridad del momento de volteo, los desplazamientos laterales y la demanda del acero de refuerzo, porque se ha evidenciado incrementos con respecto a la norma E.030-2018 que podrían excederse los límites admisibles.
4. Se sugiere investigar la aplicación de herramientas de otro campo como la Inteligencia Artificial, específicamente con las redes neuronales, con fines automatizar y agilizar los estudios recomendados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranguren, A. (2011). *Análisis Comparativo de las Implicaciones Económicas entre la NSR-98 y NSR-10 (Caso de Estudio en la Ciudad de Bogotá)* (tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/1785>
- Bazán, E. y Meli, R. (2002). *Diseño Sísmico de Edificios*. (4° ed.) México: Limusa Balderas.
- Blanco, A. (1997). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado*. (2° ed.) Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Chopra, A. (2014). *Dinámica de Estructuras*. (4° ed.) México: Pearson Educación.
- Comité ACI 318. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14)*. MI, U.S.A: Farmington Hills.
- COSTOS. (2019). *COSTOS Revista especializada para la construcción (Edición 301)*. Lima, Perú.
- FEMA 356. (2000). *PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS (FEMA 356/November 2000)*. Washington D.C., U.S.A. Recuperado de <http://sharif.edu/~ahmadizadeh/courses/strcontrol/CIE626-2-FEMA-356.pdf>
- Kardestuncer, H. (1980). *Introducción al análisis estructural con matrices*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- McCormac, J. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. (8° ed.) Del Valle, México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma Técnica E.020 Cargas, Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2003). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú. Recuperado de

http://portal.igp.gob.pe/images/documents/ltorres/norma_tecnica_edificaciones.pdf

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma Técnica E.060 Concreto Armado, Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú. Recuperado de <http://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>
- Morales, R. (2012). *Diseño de Concreto Armado*. Lima, Perú: Editorial Hozlo S.A.C.
- Nilson, A. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto*. (12° ed.) Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Ottazzi, G. (2013). *Diseño en Concreto Armado*. (2° ed.) Lima, Perú: Edigrafasa S.R.L.
- Oviedo, R. (2016). *Diseño Sismorresistente de Edificaciones de Concreto Armado*. (2° ed.) Lima, Perú: Servicios Gráficos DAKYNA.
- Piqué, J. y Scaletti, H. (1991). *Análisis sísmico en edificaciones*. (1° ed.) Lima, Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.
- Quispe, F. (2015). *Análisis y Diseño Estructural Comparativo con la Norma Sismoresistente E.030-2014 VS E.030-2003 de un edificio multifamiliar de 5 pisos en el Distrito de Surquillo* (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima.
- San Bartolomé, Á. (1998). *Análisis de edificios*. (1° ed.) Lima, Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://zonadeciviles.com/producto/analisis-de-edificios-estructuras/>
- Vidarte, I. y Yance, V. (2016). *Rigidez Efectiva en el Cálculo de Desplazamiento por Sismo en edificios* (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima.
- Wilson, E. (1995). *Análisis Estático y Dinámico de Estructuras*. (4° ed.) Berkeley, U.S.A. Recuperado de <http://www.csimexico.mx/web/tienda/archivos-digitales/1-archivo-digital-pdf-analisis-estatico-y-dinamico-de-estructuras-en-espanol-ed-wilson/file>

ANEXOS

La figura 111 muestra la base de datos de los edificios del repositorio de la PUCP para realizar el análisis estadístico. Así mismo, se presentan los histogramas de área en planta, longitud mayor, longitud menor, altura de entrepiso y altura total para el grupo de edificios de 5 y 10 pisos en las figuras 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120 y 121.

Autor Edificación	Año	Lugar	SistEstXX	SistEstYY	Regularidad	LongMayor	LongMenor	NúmPisos	AltPisos	AltTotal	Área
Comercial Paucarpata	9	9	Muros	Muros	Regular	22.2	9.7	4	2.7	10.8	216.3
En valle hermoso	9	9	Muros	Muros	Irregular	23.1	11.8	4	2.7	10.8	272.6
Nancy Susana Tan Nozawa	2012	Surco	Muros	Dual	Irregular	21.2	12.2	5	2.65	13.3	258.6
José Mauricio Portocarreiro Guzmán	2008	Miraflores	Muros	Muros	Irregular	19.7	12.3	5	2.7	13.5	219
Jorge Andrea Jaime Meza Gallagos	2014	Surco	Muros	Dual I	Regular	22	11.6	5	3	15	300
José Luis Hurtado Martell	2008	San Miguel	Muros	Muros	Regular	33.2	10.1	3	4	12	335.4
José Jesús Pizarro Loaiza	2011	Magdalena	MDL	MDL	Irregular	18.6	17.5	5	2.43	12.2	325.5
Rodolfo Valentino Granados Sáenz, Jorge Junior López Wong	2012	Chorrillos	MDL	MDL	Irregular	18.7	17.8	5	2.6	13	332.9
José Luis Loayza León, Roberto Fidel Chávez Porras	2015	San Miguel	Muros	Muros	Irregular	29.8	11.8	5	2.65	13.3	349.6
Erik Martín Rivas Valverde, Efraín Marco Salazar Lujan	2015	Miraflores	Muros	Muros	Irregular	30.5	10.2	5	2.65	13.3	311.1
Carlos Alberto Suárez Herrera	2013	Surco	Muros	Muros	Regular	25.6	14.9	5	2.7	13.5	347.8
Victor Hugo Galván Calle, Renzo Noriega Barrueto	2013	San Miguel	Muros	Muros	Regular	22	14	4	3.4	13.6	308
Cristian Junior Quinte Tudela	2014	San Miguel	Muros	Muros	Regular	21	16	4	3.6	14.4	336
Ludwing Benito Retamozo Martínez	2011	San Isidro	Muros	Dual	Irregular	22.3	16.8	5	3.05	15.3	374.6
Jesús Choque Contreras	2010	Surco	Muros	Muros	Regular	35	16	4	2.75	11	450.8
Patricia Clorinda Rodríguez Rodríguez	2007	Miraflores	Muros	Dual	Irregular	21.4	19.3	5	2.72	13.6	413.6
José Antonio Terry Rajkovic	2014	San Miguel	Muros	Muros	Regular	41	10.5	5	2.8	14	428.5
Daniel Andrés Chang Tokushima	2015	San Miguel	Muros	Muros	Irregular	34.3	14.3	4	3.75	15	490.6
Unicentro La Prudencial	9	9	Muros	Muros	Regular	25.6	23.5	4	2.7	10.8	599.1
Edmundo David Pajares Cabrera, Jorge Víctor León Vargas	2010	San Miguel	Muros	Muros	Regular	30.1	17	5	2.8	14	511.7
José Antonio Terry Rajkovic	2014	San Miguel	Muros	Muros	Regular	50.6	10.5	5	2.8	14	528.2
Emilio Rueda Rocca	2008	Surco	Dual	Muros	Regular	27.8	24.8	5	2.8	14	689.4
Escuela Naval	9	Callao	Muros	Muros	Irregular	39.6	23.3	5	2.7	13.5	922.7
Aduanas del Callao	9	Callao	Dual	Dual	Regular	35	35	5	2.7	13.5	1,225.00
Pedro Julio De la Torre Hermoza	2009	Pueblo Libre	Muros	Muros	Regular	19.3	11.5	6	2.7	16.2	198.5
Victor Alvaro Farfan Carneiro	2011	Surco	Muros	Muros	Irregular	11.8	10.2	6	2.7	16.2	120
Miguel Ángel Patiño Salazar	2012	San Isidro	Muros	Muros	Irregular	18.6	9	7	2.85	20	167.4
César Miguel Villegas Gonzales	2010	Jesús María	MDL	MDL	Regular	18.8	14.8	6	2.6	15.6	278.2
Alberto Saúl Sañuza Reyes	2008	Surco	Muros	Muros	Irregular	19.5	12	6	2.7	16.2	216.2
Miguel Ángel Ruiz Palacios, Edward Clarence Campos Campos	2009	San Borja	Muros	Muros	Irregular	19.2	12.3	7	2.55	17.9	236.2
Maria Virginia Villegas Gonzales	2009	Jesús María	MDL	MDL	Irregular	18.6	13.1	7	2.6	18.2	245
Pablo Edgardo Basto Rojas, Wilfredo Torres Calderón	2010	Miraflores	Muros	Muros	Irregular	25.3	15.6	7	2.7	18.9	300
Luis Javier Calua Vázquez, Alejandro Lara Costa	2012	Surquillo	Muros	Muros	Regular	23.1	11	7	2.7	18.9	223
Juan Carlos Donayre Salas	2007	Miraflores	Muros	Muros	Regular	20	15	7	2.8	19.6	300
Fernando Alejandro Morocho Morales	2016	Miraflores	Muros	Muros	Regular	20.5	13.2	7	2.8	19.6	270.6
César Ramírez Guanilo	2009	San Borja	Muros	Muros	Regular	18.7	11	8	2.65	21.2	205.7
Ricardo Araujo - Alvarez Delzado	2011	Miraflores	Muros	Muros	Irregular	24.1	11.8	8	2.7	21.6	235.2
Arnaldo Javier Chávez D'onofrio	2005	Miraflores	Dual	Dual	Regular	99	99	8	2.8	22.4	235
Inmobiliaria Señor de los Milagros	9	9	Muros	Muros	Irregular	18.1	15	9	2.7	24.3	271.5
Frank Roberto Chuquin Montoya	2007	Magdalena	MDL	MDL	Irregular	28	12.3	7	2.42	16.9	344.4
Hilton Joe Maco Sarmiento	2014	Cercado de Lima	MDL	MDL	Irregular	21.2	17.7	7	2.45	17.2	303.5
José Pablo Quinteros Reyes	2008	Miraflores	Muros	Muros	Irregular	18.5	16.5	7	2.6	18.2	303.3
Marco Antonio Torres López, Juan André Madranda Canepa	2008	Miraflores	Muros	Muros	Regular	20.4	18.3	7	2.7	18.9	373.3
Ricardo Javier Acedo Chuquipiondo	2013	Miraflores	Muros	Muros	Regular	26.2	14.5	7	2.75	19.3	364.4
Banco industrial	9	9	Muros	Muros	Irregular	21	15.1	8	2.7	21.6	317.1
Oscar David Chappilliquén Lucio	2006	Miraflores	Muros	Muros	Regular	35	15.3	8	2.8	22.4	372.7
Alvarez Calderon	9	9	Dual	Dual	Irregular	35.1	14.1	6	2.7	16.2	494.2
Anibal Tafur Gutiérrez	2012	Magdalena	Muros	Muros	Regular	26.6	18.2	6	2.7	16.2	484.1
Arnaldo Andrés Gómez Enciso	2016	Pueblo Libre	Muros	Muros	Regular	29.5	14.5	6	3.75	22.5	426.4
Carlos Eduardo Huari Wilson	2010	Miraflores	Muros	Muros	Regular	23	17.1	10	2.57	25.7	400.7
Gian Betto Ildefonso Raymundo	2014	Miraflores	Muros	Muros	Irregular	24	22	6	2.75	16.5	528
Giancarlo Samuel Enrique Aza Santillán	2014	Barranco	Muros	Muros	Irregular	58	26	8	2.7	21.6	560
El parque	9	9	Muros	Muros	Regular	29.6	26.8	6	2.7	16.2	791.8
Hospital María Auxiliadora	9	Villa María del Triunfo	Muros	Muros	Regular	45	22.8	8	2.7	21.6	1,026.0
Multifamiliar Chiavari	9	9	Muros	Muros	Regular	17.4	13.9	15	2.7	40.5	241.9
Comercial Chira	9	9	Muros	Muros	Regular	23.6	15	13	2.7	35.1	353.7
José Antonio Terry Rajkovic	2014	San Miguel	Muros	Muros	Regular	34.4	12.5	12	2.8	33.6	430
Carlos Hernán Canales Quiñones	2006	San Isidro	Muros	Muros	Regular	37.8	15.8	12	2.75	33	597.2
Carlos Hernán Canales Quiñones	2006	San Isidro	Muros	Muros	Irregular	37.8	15.8	12	3	36	597.2
Nicolas Schawartzmann Rivero	2013	Miraflores	Muros	Muros	Regular	48	17.5	11	3.8	41.8	840
Proturesa	9	9	Muros	Muros	Regular	34.1	16.9	18	2.7	48.6	576.3
Torres de Limatambo	9	San Borja	Muros	Muros	Regular	25	25	16	2.7	43.2	625
Contraloría General de la República	9	Jesús María	Muros	Dual	Irregular	44	34	16	2.7	43.2	1,496.0

Figura 111, Base de datos del repositorio de tesis de la PUCP

Fuente: Elaboración propia

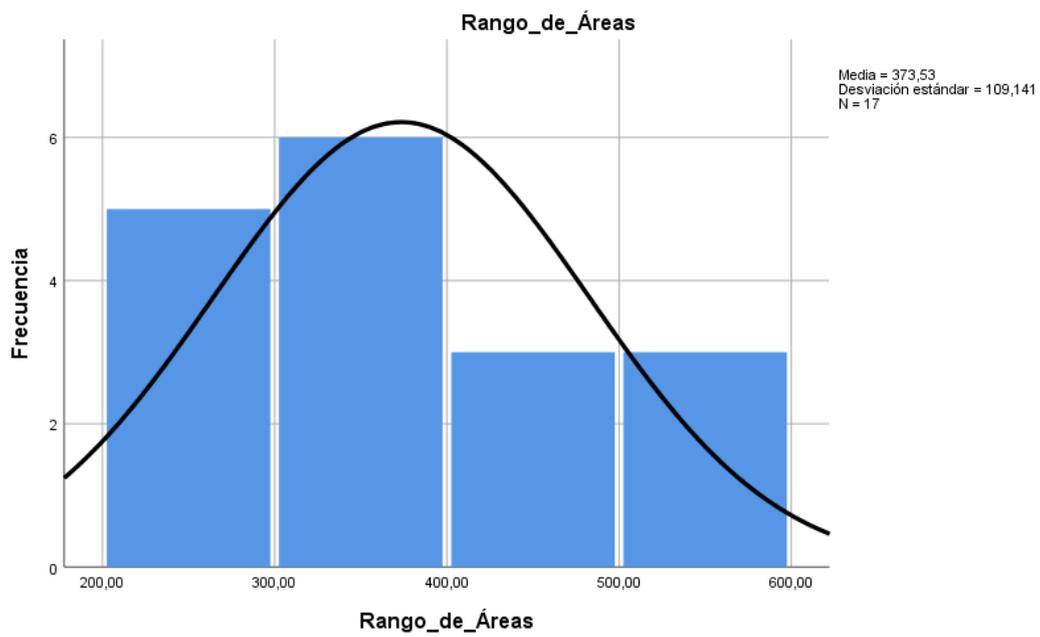


Figura 112, Histograma de áreas en planta de la categoría de 5 pisos
Fuente: Elaboración propia

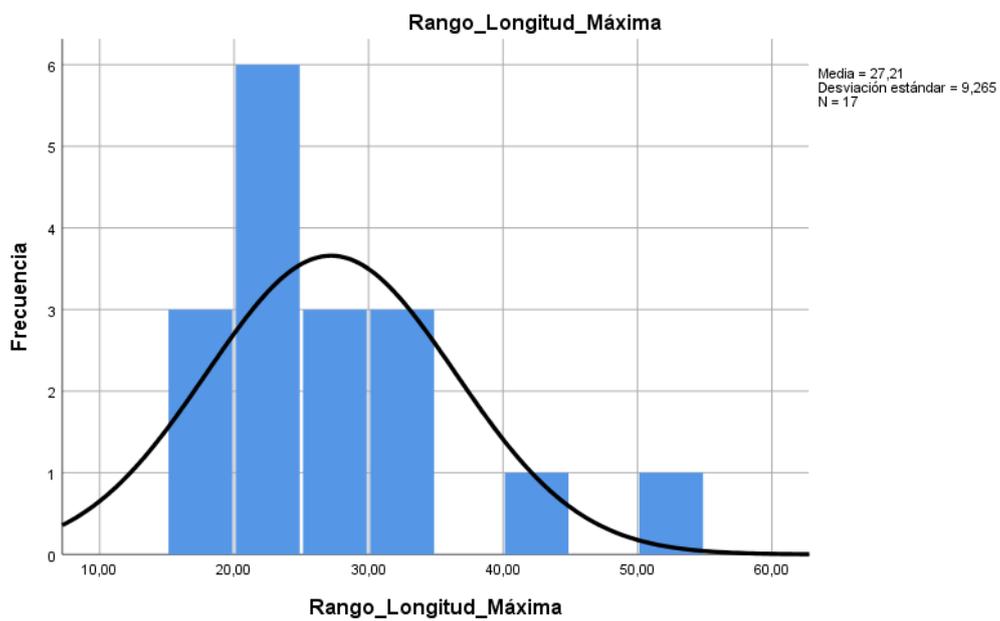


Figura 113, Histograma de longitud mayor en planta de la categoría de 5 pisos
Fuente: Elaboración propia

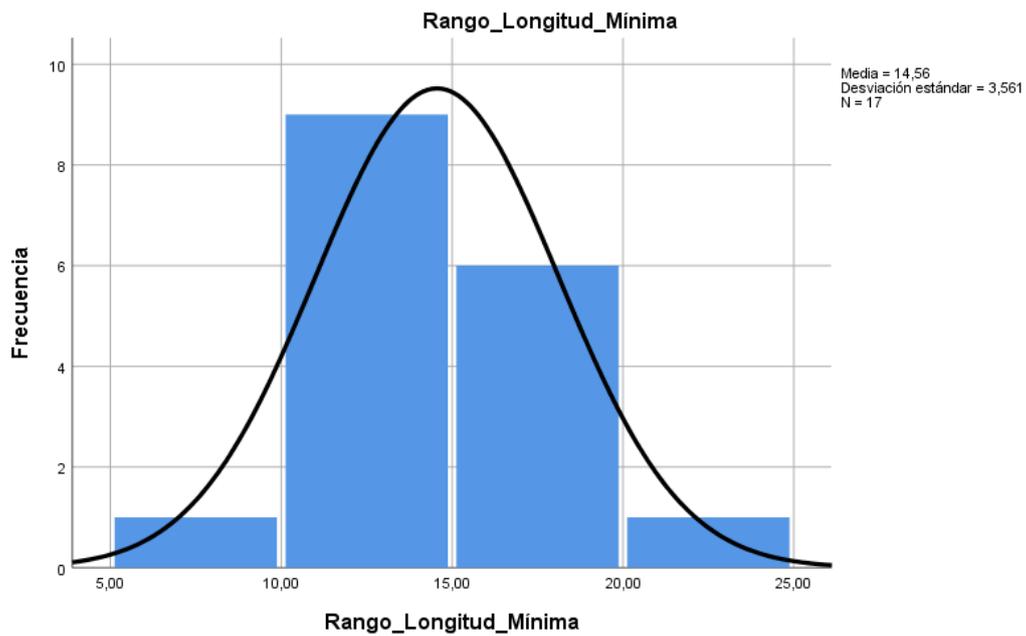


Figura 114, Histograma de longitud menor en planta de la categoría de 5 pisos
Fuente: Elaboración propia

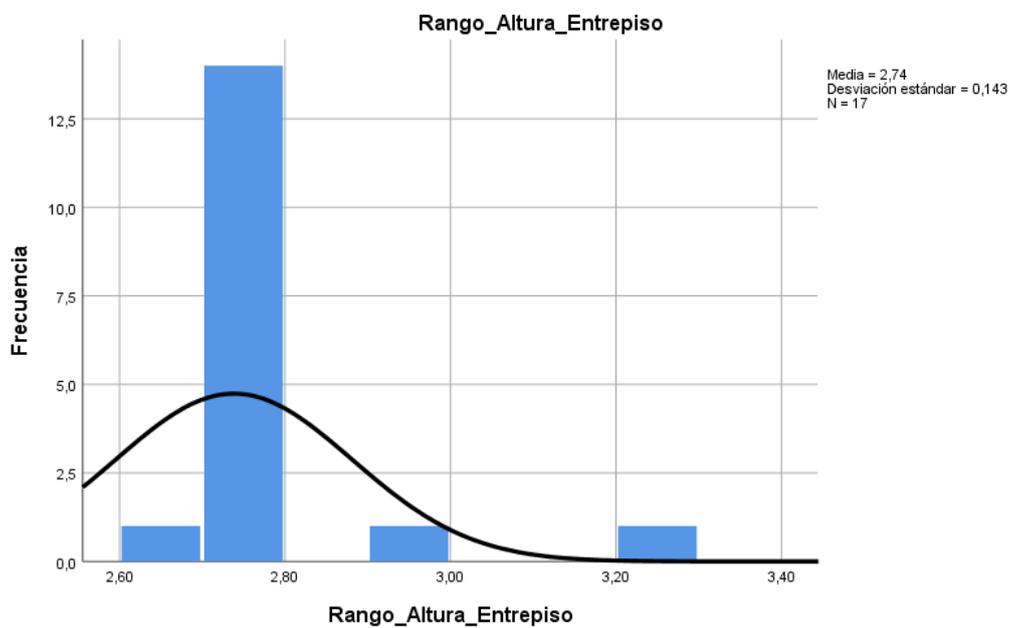


Figura 115, Histograma de altura de entrepiso de la categoría de 5 pisos
Fuente: Elaboración propia

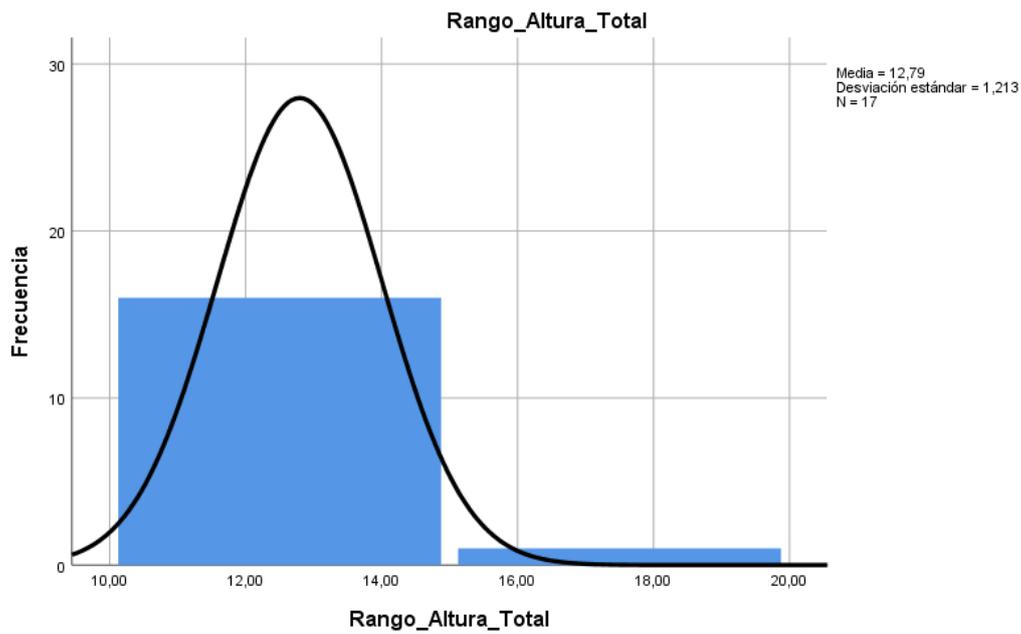


Figura 116, Histograma de altura total de la categoría de 5 pisos
Fuente: Elaboración propia

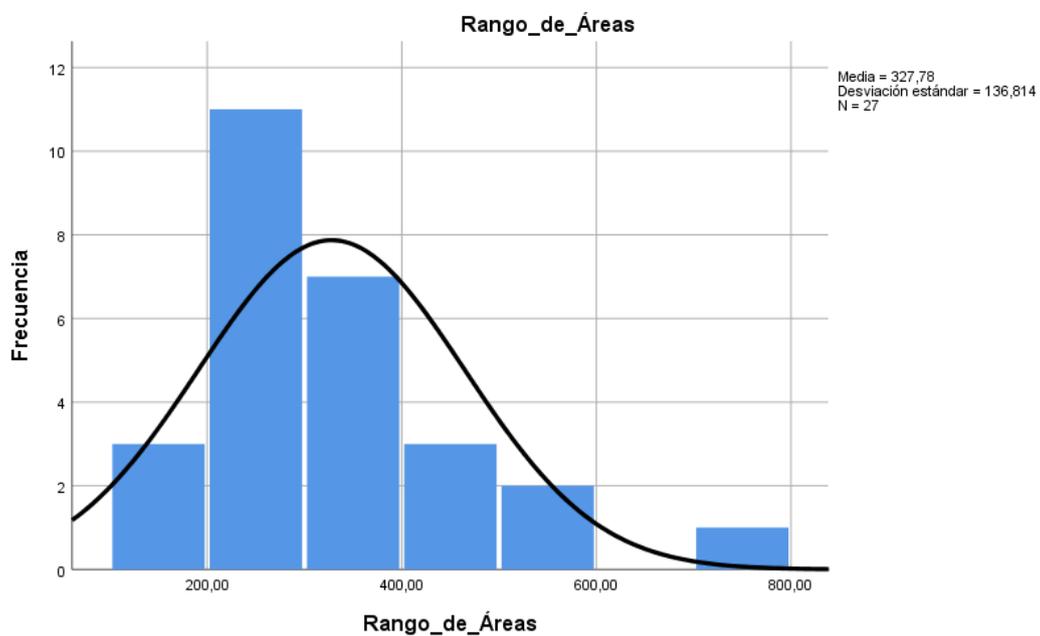


Figura 117, Histograma de áreas en planta de la categoría de 10 pisos
Fuente: Elaboración propia

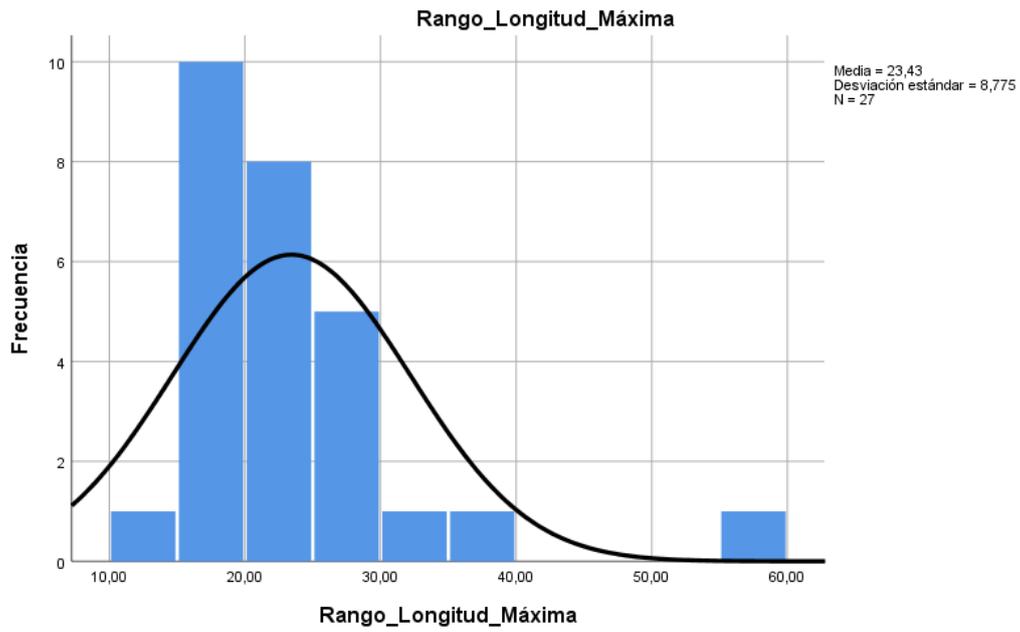


Figura 118, Histograma de longitud mayor de la categoría de 10 pisos
Fuente: Elaboración propia

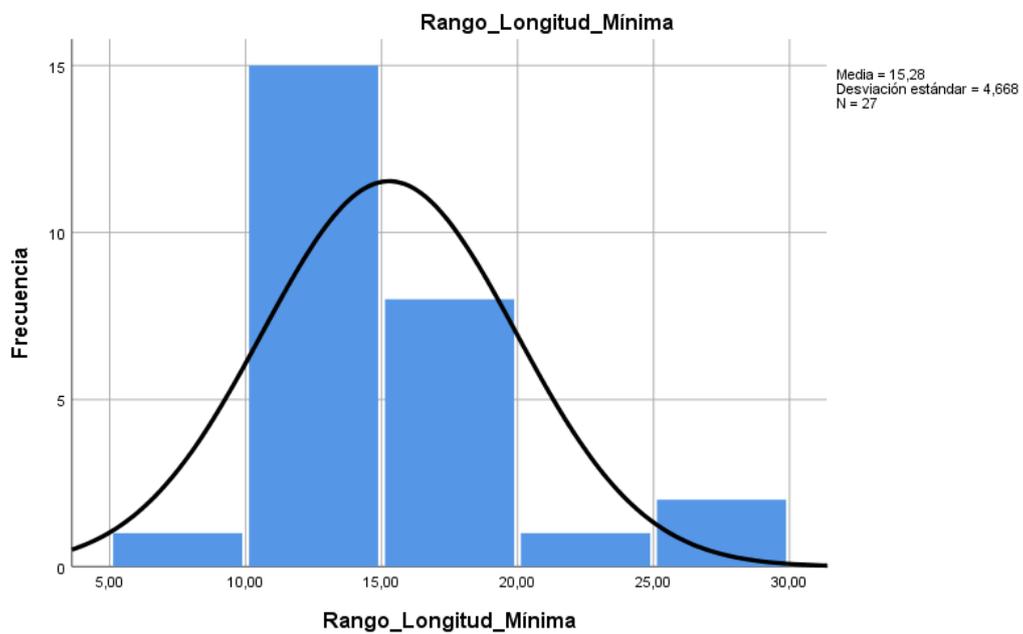


Figura 119, Histograma de longitud menor de la categoría de 10 pisos
Fuente: Elaboración propia

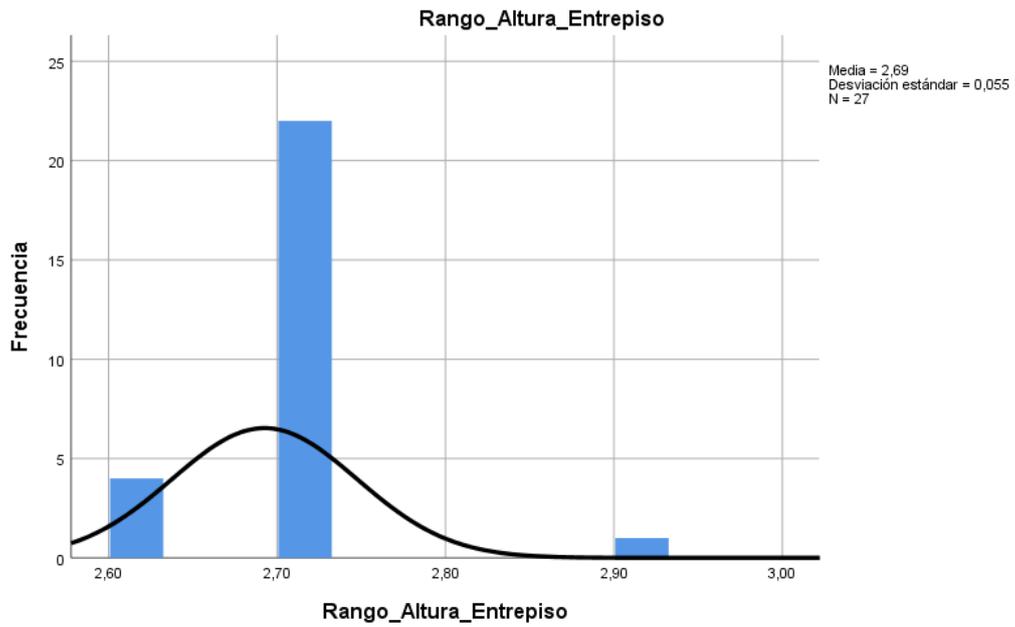


Figura 120, Histograma de altura de entrepiso de la categoría de 10 pisos
Fuente: Elaboración propia

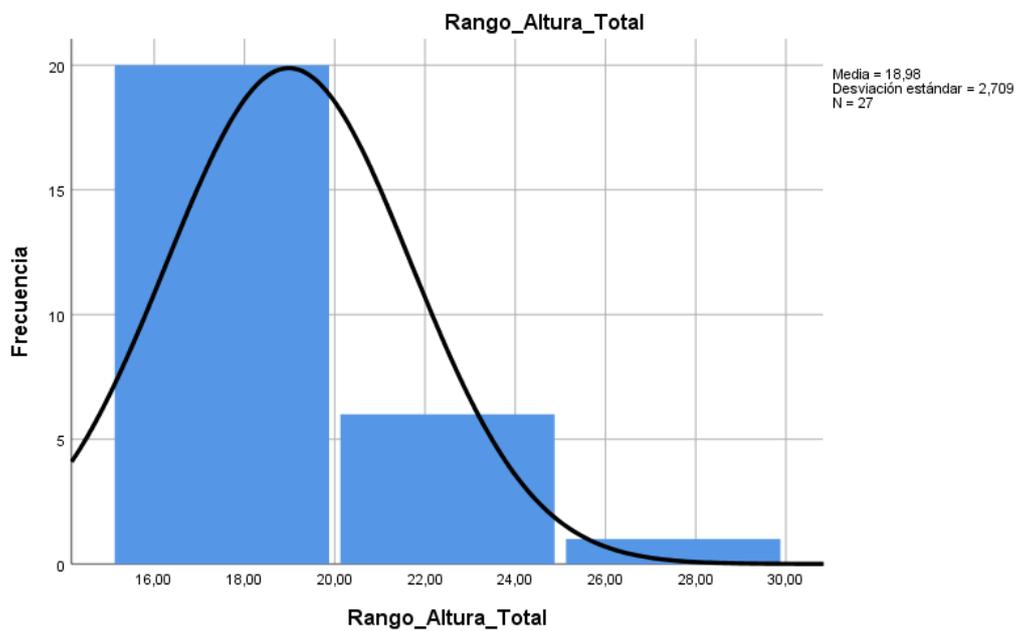


Figura 121, Histograma de altura total de la categoría de 10 pisos
Fuente: Elaboración propia