

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA DEL SISTEMA DE RESISTENCIA  
SISMICA DE UN EDIFICIO DE SIETE PISOS CON Y SIN DISPOSITIVOS DE  
DISIPACIÓN DE ENERGÍA Y SUS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN**

**DANIEL SEBASTIÁN MARTÍNEZ FRANCO  
ERIKA YAZMIN PARRA CASTRO**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C  
2019-1**

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA DEL SISTEMA DE RESISTENCIA  
SISMICA DE UN EDIFICIO DE SIETE PISOS CON Y SIN DISPOSITIVOS DE  
DISIPACIÓN DE ENERGÍA Y SUS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN**

**DANIEL SEBASTIÁN MARTÍNEZ FRANCO**

**ERIKA YAZMIN PARRA CASTRO**

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL  
TÍTULO DE INGENIERÍA CIVIL**

**DIRECTOR DE TESIS DE GRADO**

**JOSE DARIO GAVILANES**

**CO-DIRECTOR DE TESIS DE GRADO**

**FERNANDO PAEZ CRUZ**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**BOGOTÁ D.C**

**2019-1**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>13</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>15</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>20</b>
<b>4. OBJETIVOS.....</b>	<b>22</b>
<b>4.1.OBJETIVO GENERAL .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>22</b>
<b>5. MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>23</b>
<b>5.1 . MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>23</b>
<b>5.1.1. Disipadores de energía.....</b>	<b>23</b>
<b>5.1.2. Tipos de disipadores .....</b>	<b>24</b>
<b>5.1.2.1. Disipadores de energía fluido viscoso.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1.2.2. Disipadores a fricción .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1.2.3. Disipadores visco elástico solidos .....</b>	<b>27</b>
<b>5.1.2.4. Disipadores por flexión ADAS .....</b>	<b>29</b>
<b>5.1.3. Sismos .....</b>	<b>30</b>
<b>5.1.4. Estado actual de la construcción en Colombia de la construcción</b> <b>31</b>	
<b>5.1.5. Nivel de amenaza sísmica en Colombia .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1.6. Tipos de disipadores .....</b>	<b>35</b>
<b>5.1.7. Diseño.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1.7.1. Avalúo de cargas .....</b>	<b>35</b>
<b>5.1.7.2. Cargas muertas.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1.7.3. Cargas vivas .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1.7.4. Combinaciones de carga.....</b>	<b>37</b>
<b>5.2.MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.1. Momento flector .....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.2. Esfuerzo cortante.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.3. Deriva de piso.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2.4. Vulnerabilidad sísmica.....</b>	<b>39</b>
<b>5.2.5. Espectros de respuesta elástica .....</b>	<b>39</b>

5.2.6. Grado de libertad .....	39
5.2.7. Espectro de respuesta inelástica .....	39
5.2.8. Límite de elasticidad .....	39
5.2.9. Cuantía balanceada .....	40
5.2.10. Esbeltez.....	40
5.3.MARCO LEGAL .....	41
5.3.1. Norma sismo resistente colombiana (NSR-10).....	41
6. DISEÑO METODOLOGICO .....	45
6.1.Enfoque .....	45
6.2.Tipo .....	45
6.3.Fases .....	45
6.3.1 FASE I - SELECCIÓN DE TIPO DE DISPOSITIVO DE DISIPACIÓN DE ENERGIA.....	45
6.3.2. FASE II - ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SISMORRESISTENTE	46
6.3.3. FASE III: VIABILIDAD ECONÓMICA.....	46
6.4.INSTRUMENTOS Y MATERIALES.....	46
6.4.1. Software ETABS ® 2016 .....	46
6.5.DISEÑO MUESTRAL .....	47
6.5.1. Población .....	47
6.5.2. Muestra .....	47
6.6.OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	47
6.7.CRONOGRAMA .....	49
6.8.PRESUPUESTO .....	50
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	51
7.1. DEFINICIÓN DE DISPOSITIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA MÁS UTILIZADOS EN COLOMBIA .....	51
7.1.1. DISPOSITIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN COLOMBIA .....	51
7.1.2. Disipadores a fricción sistema PALL.....	51
7.1.2.1. Disipador a fricción cruzados.....	51
7.1.2.2. Disipador a fricción “Por pernos flexionantes” .....	52
7.1.2.3. Disipador de energía Chevron bracing .....	53
7.1.3. Disipadores de fluido viscoso .....	53

7.1.4.	Aisladores sísmicos con núcleo de plomo .....	55
7.2	MATRIZ DE COMPARACION ENTRE DISIPADORES Y AISLADORES DE ENERGIA.....	57
7.3	COMPARACION DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISIPADORES DE ENERGIA .....	62
7.4	DISEÑO DE LA PLANTA FÍSICA DE LA EDIFICACIÓN.....	64
7.4.5	Avalúo de Cargas .....	65
7.4.5.1	Espesor de la placa .....	65
7.4.5.2	Carga Viva .....	65
7.4.5.3	Acabados.....	66
7.4.5.4	Fachada y particiones .....	66
7.4.6	Análisis Sísmico.....	68
7.4.6.1	Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva $A_a$ .....	68
7.4.6.2	Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva $A_v$ .....	69
7.4.6.3	Factor de amplificación de la aceleración en la zona de periodos cortos ( $F_a$ ).....	70
7.4.6.4	Factor de amplificación de la aceleración en la zona de periodos intermedios $F_v$ .....	70
7.4.6.5	Coeficiente de importancia .....	71
7.4.6.6	Periodo de vibración fundamental aproximado ( $T_a$ ).....	72
7.4.6.7	Periodo máximo permisible de la estructura ( $T$ ) .....	73
7.4.7	Espectro de Diseño.....	73
7.4.7.1	Periodos de Vibración .....	73
7.4.7.2	Espectro Elástico de Aceleración Horizontal ( $S_a$ ) .....	75
7.4.7.2.1	Para $T < T_o$ .....	75
7.4.7.2.2	Para $T_o > T < T_c$ .....	75
7.4.7.2.3	Para $T_c > T < T_L$ .....	75
7.4.7.3	Capacidad de Disipación de Energía .....	76
7.4.7.3.1	Grados de Irregularidad .....	76
7.4.7.4	Masa del edificio .....	77
7.4.7.4.1	Coeficiente de capacidad de energía básico ( $R_o$ ) .....	77
7.4.7.4.2	Coeficiente e capacidad de energía de diseño ( $R$ ) .....	79

7.4.7.4.3	Cortante sísmico en la base (Vs).....	79
7.4.8	Fuerza Equivalente.....	79
7.4.9	Espectro de diseño .....	81
7.4.10	Diseño de la viga.....	84
7.4.10.1	Diseño de la viga a flexión .....	85
7.4.10.2	Diseño de viga a cortante.....	88
7.4.11	Diseño de viguetas .....	91
7.5	<b>DISEÑO DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL.....</b>	<b>95</b>
7.5.5	Modelación ETABS ® 2016.....	95
7.5.5.1	Resultados de la modelación.....	110
7.5.6	Planos estructurales .....	117
7.6	<b>DISEÑO DE ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE ENERGÍA.....</b>	<b>124</b>
7.6.5	Modelación ETABS ® 2016.....	124
7.6.5.1	Resultados de la modelación.....	138
7.6.6	Planos estructurales .....	141
7.7	<b>COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE MODELACIÓN .....</b>	<b>147</b>
7.7.5	Comparación de desplazamientos .....	147
7.7.6	Comparación de derivas.....	148
7.8	<b>CANTIDAD DE DISIPADORES .....</b>	<b>150</b>
7.8.5	<b>COSTO DE LOS DISIPADORES .....</b>	<b>152</b>
7.9	<b>COSTO MURO ESTRUCTURAL .....</b>	<b>153</b>
7.9.5	Cantidad de muros.....	158
8	<b>COMPARACIÓN DE COSTOS Y ANÁLISIS A LARGO PLAZO.....</b>	<b>160</b>
9	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>161</b>
10	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>163</b>
11.	<b>ANEXOS.....</b>	<b>166</b>

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Espectro General de Diseño - Efecto Disipación de Energía	23
Ilustración 2 Partes Del Disipador De Fluido Viscoso	25
Ilustración 3 Curva de Histéresis	25
Ilustración 4. Disipador A Fricción	26
Ilustración 5 Curva Histéresis	27
Ilustración 6. Disipador Visco elástico Solido	28
Ilustración 7 Curva de Histéresis	28
Ilustración 8. Disipador Por Flexión Tipo ADAS	29
Ilustración 9 Curvas de Histéresis	30
Ilustración 10: Elementos de un sismo	31
Ilustración 11 Disipador A Fricción Cruzados.	52
Ilustración 12. Disipador A Fricción Diagonal Bracing	52
Ilustración 13. Chevron Bracing	53
Ilustración 14. Amortiguador	54
Ilustración 15. Amortiguador RESTON-SA	55
Ilustración 16. Aislador Sísmico Con Núcleo De Plomo	55
Ilustración 17 Esquema Aislador FPS	57
Ilustración 18 Planta Física de referencia	64
Ilustración 19 Espesor de la placa	65
Ilustración 20 Esquema de placa de entepiso	68
Ilustración 21 Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g	74
Ilustración 22 Definición de la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico	76
Ilustración 23 Coeficiente de resistencia y de capacidad de energía	78
Ilustración 24 Espectro elástico	84
Ilustración 25 Diseño de las edificaciones	93
Ilustración 26 Ejes y niveles de las edificaciones	94
Ilustración 27 Datos de entrada concreto ETABS ®	95
Ilustración 28 Datos de entrada acero ETABS ®	96
Ilustración 29 Especificaciones del acero	97
Ilustración 30 Secciones de vigas y columnas	97
Ilustración 31 Propiedades de las columnas	98
Ilustración 32 Asignación de factor de fisura en las columnas	99
Ilustración 33 Caracterización de las vigas	100
Ilustración 34 Asignación de factor de fisuras en las vigas	101
Ilustración 35 Coeficiente de masa	102
Ilustración 36 Diafragmas de cada placa	102

Ilustración 37 Patrones de carga	103
Ilustración 38 Asignación de la fuerza en X	103
Ilustración 39 Asignación de la Fuerza en Y	104
Ilustración 40 Combinaciones de carga	104
Ilustración 41 Datos de entrada combinaciones de carga	105
Ilustración 42 Factor de rigidez	106
Ilustración 43 Vigas y columnas asignadas	107
Ilustración 44 Asignación de placas	108
Ilustración 45 Placa en detalle	108
Ilustración 46 Cargas vivas y muertas de la Placa	109
Ilustración 47 Secciones asignadas para que cumplan las derivas	111
Ilustración 48 Modelo con sección 100X100 y 50X50	111
Ilustración 49 Especificaciones del muro estructural	113
Ilustración 50 Localización del muro estructural en planta	114
Ilustración 51 Localización del muro estructural plano general	114
Ilustración 52 Diseño definitivo estructura convencional	116
Ilustración 53 Plano fachada "este-oeste" diseño convencional	117
Ilustración 54 Ejes y niveles diseño convencional	118
Ilustración 55 Plano fachada "norte-sur" diseño convencional	118
Ilustración 56 Ejes y niveles diseño convencional	119
Ilustración 57 localización de columnas diseño convencional	120
Ilustración 58 Localización columnas en detalle diseño convencional	120
Ilustración 59 Localización de vigas y viguetas	121
Ilustración 60 Localización vigas y viguetas en detalle	121
Ilustración 61 Planta de segundo piso diseño convencional	122
Ilustración 62 Planta segundo piso en detalle	122
Ilustración 63 planta cubierta diseño convencional	123
Ilustración 64 Plano detalle muro estructural diseño convencional	123
Ilustración 65 Datos de entrada concreto ETABS ®	124
Ilustración 66 Datos de entrada acero ETABS ®	125
Ilustración 67 Especificaciones del acero	126
Ilustración 68 Secciones de vigas y columnas	126
Ilustración 69 Propiedades de las columnas	127
Ilustración 70 Asignación de factor de fisura en las columnas	128
Ilustración 71 Caracterización de las vigas	129
Ilustración 72 Asignación de factor de fisuras en las vigas	130
Ilustración 73 Coeficiente de masa	130
Ilustración 74 Diafragmas de cada placa	131
Ilustración 75 Patrones de carga	131
Ilustración 76 Asignación de la fuerza en X	132
Ilustración 77 Asignación de la Fuerza en Y	132

Ilustración 78 Combinaciones de carga	133
Ilustración 79 Datos de entrada combinaciones de carga	134
Ilustración 80 Factor de rigidez	134
Ilustración 81 Datos de entrada de los disipadores a fricción	135
Ilustración 82 Datos de entrada de los disipadores a fricción	136
Ilustración 83 Asignación de localización de disipadores	137
Ilustración 84 Asignación de localización de disipadores	137
Ilustración 85 Disipadores de energía	138
Ilustración 86 Disipadores de energía	138
Ilustración 87 Diseño final disipadores de energía	140
Ilustración 88 Diseño final disipadores de energía	140
Ilustración 89 Plano fachada "este-oeste" diseño disipadores de energía	141
Ilustración 90 Ejes y niveles diseño disipadores de energía	142
Ilustración 91 Plano fachada "norte-sur" diseños disipadores de energía	142
Ilustración 92 Ejes y niveles diseño disipadores de energía	143
Ilustración 93 localización de columnas diseño disipadores de energía	143
Ilustración 94 Localización columnas en detalle diseño disipadores de energía	144
Ilustración 95 Localización de vigas y viguetas	144
Ilustración 96 Localización vigas y viguetas en detalle	145
Ilustración 97 Planta de segundo piso diseño disipadores de energía	145
Ilustración 98 Planta segundo piso en detalle	146
Ilustración 99 planta cubierta diseño disipadores de energía	146
Ilustración 100 Dimensiones del muro estructural	158
Ilustración 101 Altura del muro	158

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 5.1.5-1. Nivel de amenaza sísmica .....	34
Tabla 5.1.5-2. Valores de $A_a$ y $A_v$ para las ciudades capitales del departamento	34
Tabla 5.1.7.2-1. Valores Mínimos De Carga Muerta .....	35
Tabla 5.1.7.3-1. Cargas Vivas Mínimas Uniformemente Distribuidas .....	36
Tabla 5.1.7.3-2. Cargas Vivas Mínimas En Cubierta.....	37
Tabla 5.3.1-1. Capítulos Norma Sismo Resistente Colombiana.....	42
Tabla 6.6-1. Variables .....	47
Tabla 6.7-1. Cronograma .....	49
Tabla 6.8-1. Presupuesto .....	50
Tabla 7.1.4-1 Puntajes para calificación.....	57
Tabla 7.1.4-2 Evaluación parámetros disipadores de energía .....	58
Tabla 7.1.4-3 Evaluación parámetros aisladores sísmicos .....	60
Tabla 7.1.4-4 Resumen de resultados evaluación de dispositivos .....	62
Tabla 7.3-1 Ventajas y Desventajas de los disipadores de energía .....	63
Tabla 7.4.5.2-1 Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas .....	66
Tabla 7.4.5.4-1 Valores mínimos de Carga Muerta.....	66
Tabla 7.4.5.4-2 Avalúo de cargas.....	67
Tabla 7.4.6.1-1 Valor de $A_a$ para las ciudades capitales de departamento .....	68
Tabla 7.4.6.2-1 Valor de $A_v$ para la ciudad de Bogotá .....	69
Tabla 7.4.6.3-1 Factor de amplificación de la aceleración de periodos cortos $F_a$ .	70
Tabla 7.4.6.4-1 Factor de amplificación de la aceleración periodos intermedios ..	71
Tabla 7.4.6.5-1 Valores del coeficiente de importancia.....	71
Tabla 7.4.6.6-1 Valores de los parámetros para el cálculo del periodo aproximado, $T_a$ .....	72
Tabla 7.4.8-1 Fuerza Equivalente .....	80
Tabla 7.4.9-1 Resultados análisis sísmico .....	81
Tabla 7.4.9-2 Periodo y aceleración.....	81
Tabla 7.4.10.1-1 Datos de entrada para el cálculo a flexión de la viga .....	85
Tabla 7.4.10.1-2 Momentos en la viga .....	85
Tabla 7.4.10.1-3 Chequeo de momentos .....	86
Tabla 7.4.10.1-4 Diseño viga doblemente armada.....	86
Tabla 7.4.10.1-5 Varillas comerciales .....	87
Tabla 7.4.10.1-6 Chequeo de cuantías .....	87
Tabla 7.4.10.1-7 Revisión de momentos.....	88
Tabla 7.4.10.2-1 Datos de entrada viga a cortante .....	88
Tabla 7.4.10.2-2 Carga ultima .....	89
Tabla 7.4.10.2-3 Cortante de diseño.....	89
Tabla 7.4.10.2-4 Parámetros de diseño .....	89

Tabla 7.4.10.2-5 Área y revisión de diseño .....	90
Tabla 7.4.10.2-6 Diseño final de viga a cortante .....	90
Tabla 7.4.11-1 Datos de entrada cálculo de vigueta .....	91
Tabla 7.4.11-2 Cálculos para la vigueta .....	91
Tabla 7.4.11-3 Diseño de la vigueta .....	92
Tabla 7.5.5.1-1 Derivas resultantes de la modelación.....	110
Tabla 7.5.5.1-2 Derivas resultantes de la modelación.....	112
Tabla 7.5.5.1-3 Derivas de piso del diseño final.....	115
Tabla 7.6.5.1-1 Derivas con disipadores .....	139
Tabla 7.7.5-1 Desplazamientos estructura con muro estructural .....	147
Tabla 7.7.5-2 Desplazamientos estructura con disipadores.....	148
Tabla 7.7.6-1 Derivas diseño con disipadores a fricción .....	148
Tabla 7.7.6-2 Derivas diseño con muro estructural .....	149
Tabla 7.8-1 Capacidad de cada disipador a fricción.....	150
Tabla 7.8-2 Cantidad de disipadores de acuerdo a la fuerza requerida .....	152
Tabla 7.8.5-1 Costo total de implementación de la cantidad total de disipadores	152
Tabla 7.8.5-2 Costo total de implementación importando los disipadores .....	153
Tabla 7.9-1 Análisis de precio unitario APU muro estructural .....	154
Tabla 7.9.5-1 Cantidad de muros .....	158
Tabla 7.9.5-2 Presupuesto muro estructural .....	159
Tabla 8-1 Comparación de costos.....	160

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1 Combinaciones De Carga Mayorada NSR-10 .....	37
Ecuación 2. Cuantía Balanceada .....	40
Ecuación 3 Calculo del periodo aproximado .....	73
Ecuación 4 Coeficiente para determinar el periodo máximo .....	73
Ecuación 5 Periodo máximo permisible .....	73
Ecuación 6 Periodo de Vibración Inicial .....	74
Ecuación 7 Periodo de Vibración, en segundos .....	74
Ecuación 8 Periodo de vibración mayor .....	74
Ecuación 9 Espectro de Aceleración .....	75
Ecuación 10 Espectro de Aceleración .....	75
Ecuación 11 Espectro de Aceleración .....	75
Ecuación 12 Predimension viga .....	84

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Colombia es un país que cuenta con una actividad sísmica importante, debido a que los Andes son formaciones “recientes”, lo que ocasiona que se presenten fallas geológicas alrededor de éstos. Además, está ubicado en el llamado Cinturón de Fuego del Pacífico, el cual es un sector donde las placas se están acomodando<sup>1</sup> y su principal accidente sismo-tectónico es la zona de subducción en el océano Pacífico, que se debe a la presencia de la placa de Nazca<sup>2</sup>. Cerca del 87% del país está en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia<sup>3</sup>, en donde se encuentran ciudades como Cali, Pasto, Bucaramanga, Bogotá, Medellín, entre otras.

En estas ciudades se ha evidenciado en los últimos años, un alto crecimiento de la población urbana. Según datos estadísticos del Banco Mundial, entre 1991 y 2016, la población urbana en Colombia pasó de ser del 68,8 % a representar el 76,7% respectivamente<sup>4</sup>; esto sumado a la falta de terrenos destinados para la construcción en las ciudades y a los intentos por parte del gobierno para disminuir la expansión urbana (debido a la presencia de edificaciones informales en estos sectores) ha incentivado el desarrollo constructivo en altura.

En Colombia las edificaciones deben garantizar la aplicación del reglamento de construcción sismo resistente (NSR-10), con especiales requisitos en las edificaciones ubicadas en zonas de amenaza sísmica. Esta normativa se fundamenta en la resistencia y ductilidad, por lo tanto, se espera que para sismos leves la estructura maneje sus deformaciones dentro del rango elástico, mientras que para sismos moderados y altos las deformaciones sean mayores y generen un daño estructural determinado que permita la disipación de la energía sísmica.

Sin embargo, se han desarrollado distintas técnicas de control de respuesta sísmica, que buscan reducir y controlar los daños estructurales asociados

---

<sup>1</sup> ¿Cuál es el riesgo sísmico en Bogotá? En: Revista semana [en línea]. 2010 [citado el 12 de agosto de 2017]. Disponible en internet. <https://goo.gl/ovrRJT>

<sup>2</sup>ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A. Bogotá. 2010

<sup>3</sup>ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10, Prefacio. Bogotá. 2010

<sup>4</sup> BANCO MUNDIAL, datos de población urbana en Colombia [en línea]. 2017 [consultado el 12 de agosto del 2017]. Disponible en internet. <https://goo.gl/3uD5JA>

principalmente a los sismos. Estas técnicas complementan las técnicas tradicionales de diseño introduciendo elementos adicionales que deben disipar la energía de vibración introducida por los sismos<sup>5</sup>. Existen distintos tipos elementos disipadores como: viscoelásticos, de fluido viscoso, a fricción, riostras metálicas o aisladores de base, entre otros, que posterior a un evento sísmico se reemplazan sin poner en riesgo la estabilidad y funcionalidad de la edificación.

Teniendo en cuenta las condiciones sísmicas en las que este se encuentra en país, la implementación de dispositivos de disipación de energía representa un paso adelante en el camino hacia el comportamiento y diseño de estructuras más seguras, de la mano de una ingeniería estructural más actualizada. Para determinar la técnica de control de respuesta sísmica más apropiada en una edificación, se deben tener en cuenta factores como altura, uso de la edificación, sistema estructural, propósito de diseño, planeamiento arquitectónico, entre otros.<sup>6</sup>

Para el desarrollo de esta investigación se establece como objeto de estudio el sistema de resistencia sísmica de una edificación en concreto reforzado, ubicada en Bogotá D.C, que pertenece a una zona de amenaza sísmica intermedia, sobre un suelo definido por el decreto 523 del 2010 como lacustre 500, con uso empresarial (oficinas) y altura de 7 pisos.

Con lo expuesto anteriormente se determina como pregunta de investigación del presente proyecto: ***¿Cuál es el sistema de respuesta sísmica más viable técnica y económicamente para un edificio de siete pisos entre uno que implementa dispositivos de disipación de energía y otro diseñado en concreto convencional, en zonas de amenaza sísmica intermedia?***

---

<sup>5</sup> Oviedo, J. Duque, M. Disipadores Histeréticos metálicos como técnica de control de respuesta sísmica en edificaciones colombianas. Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín.2009

<sup>6</sup> Ibid.

## 2. ANTECEDENTES

**AUTOR:** AGUIAR, R. MORA, D. RODRIGUEZ, M.<sup>7</sup>

**TÍTULO:** Análisis de una estructura con disipadores sometidos a espectros de diseño y de control.

**DESCRIPCIÓN:** En este artículo se da a conocer, las más recientes estructuras construidas en la ciudad de Quito están basadas en los espectros sísmicos que se encuentran en la norma NEC-2011 y NEC-2015, en la cual se establecen microzonificaciones sísmicas para Quito que determinan el espectro de diseño para cada una de esas áreas. Sin embargo, también se hace mención acerca de que la mayoría de las edificaciones de la ciudad fueron construidas hace más de 30 años con la norma vigente para ese momento y que después de un estudio de vulnerabilidad se determinó que esas estructuras antiguas, deben ser reforzadas.

Para el reforzamiento, en el documento se proponen dos tipos de disipadores de energía por plasticidad, el primer tipo es el ADAS, que tiene una geometría muy similar a la de un reloj de arena y con este, se garantiza que los componentes estructurales posean una total plasticidad en toda su sección transversal, por curvatura doble. El segundo tipo es el disipador TADAS, este modelo cuenta con una forma geométrica triangular y al igual que el ADAS garantiza que toda la sección del elemento estructural se plastifique, pero con la diferencia de que este trabaja con curvatura simple. Estos disipadores son ubicados sobre los arriostramientos en acero que tiene forma de “V” invertida.

Este artículo presenta relación con el tema del proyecto, debido a que a lo largo de su desarrollo se hacen distintos estudios y cálculos al utilizar estos disipadores, tanto por el método de plasticidad, como por el método de dovela, además también invita a verificar los diseños para estructuras de Quito puesto que encontraron que las ordenadas espectrales en periodos cortos son mayores que aplicando los espectros de diseño encontrados en la NEC-15. Por este motivo con base en la información que otorga este artículo, se tendría una idea de la importancia de los disipadores, a la hora de reforzar estructuras en riesgo sísmico y también de cómo se están utilizando en otros países que tienen características geológicas similares a Colombia

---

<sup>7</sup>AGUIAR, R. MORA, D. RODRIGUEZ, M. Análisis de una estructura con disipadores sometidos a espectros de diseño y de control. Quito, Ecuador. En: Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. 2017. Vol. 33, ediciones 3-4, p.171-178

**AUTOR:** Oviedo, J<sup>8</sup>

**TÍTULO:** Influencia de la rigidez de pisos de pórticos de concreto reforzado con disipadores histéreticos proporcionales sobre la respuesta sísmica

**DESCRIPCIÓN:** En este artículo se examinó la respuesta sísmica de las edificaciones en concreto reforzado, comparándolas con las construcciones con disipadores histeréticos proporcionales. Para su desarrollo se tuvieron en cuenta la altura, la rigidez y resistencia del pórtico. La implementación de disipadores en las edificaciones de altura es para reducir las deformaciones al ser sometidas a un sismo y al disminuir los daños estructurales se reducen en gran proporción. En esta investigación se tiene en cuenta el límite de elasticidad y relación de rendimiento de la estructura.

Una vez realizada la investigación, se puede concluir que la rigidez juega un papel importante en el momento de generar una respuesta al terremoto, es decir, que se deben tener en cuenta las propiedades mecánicas de los amortiguadores, para que el sistema sea efectivo al reducir las derivas. Además, los disipadores generan rigidez, resistencia y disipación de la energía de un sismo. Estos disipadores tienen una garantía mayor de resistencia al sismo cuando son instalados en la estructura principal de la edificación

Este artículo se relaciona con el proyecto, debido a que es una comparación del comportamiento de las estructuras con disipadores y sin disipadores realizadas en concreto reforzados. Se tuvieron en cuenta edificios de baja, mediana y alta elevación, evaluando sus ecuaciones con el fin de determinar las deformaciones de cada uno de los diseños, e identificando la influencia de la fuerza y la rigidez en la respuesta sísmica de las edificaciones

---

<sup>8</sup> OVIEDO, J. Influencia de la rigidez de pisos de pórticos de concreto reforzado con disipadores histeréticos proporcionales sobre la respuesta sísmica. Envigado, Colombia. En: Revista EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia, sede Las Palmas. no. 17, p. 121-137. Julio 2012. ISSN 1794-1237

**AUTOR:** Aguiar R., Morales E., Guaygua B., Rodríguez M.<sup>9</sup>

**TÍTULO:** Método simplificado para el análisis sísmico de estructuras con aisladores FPS de tercera generación

**DESCRIPCIÓN:** Este documento propone una alternativa de cálculo simplificado para estudiar el comportamiento no lineal de aisladores de Triple Péndulo por Fricción (FSP), puesto que, el método de cinco fases propuesto por un grupo investigador de la Universidad de Buffalo para estudiar el comportamiento de los aisladores, presenta dificultades al ejecutar el análisis sísmico.

Para identificar las diferencias entre los métodos, se desarrolla primero el método de cinco fases para un aislador tipo (FSP), en donde se deben identificar variables como, radios de curvatura, coeficientes de fricción, capacidad de desplazamiento en las superficies y alturas al borde inferior y superior de la placa. Para el desarrollo de las cinco fases, se empieza por calcular la fuerza lateral y el desplazamiento lateral, a continuación, se observa el desplazamiento ocasionado en las superficies del aislador, posteriormente se simulan desplazamientos y la transferencia de energía ocasionada en los bordes interiores del aislador. En el método simplificado se modela el sistema con un grado de libertad, se determina la carga total y el número de aisladores, con el fin de realizar interacciones, con el fin de determinar la rigidez efectiva en cada aislador.

Después de desarrollar estos métodos se obtiene que es mejor calcular la rigidez efectiva y el factor de amortiguamiento a partir de las características que entrega el fabricante de disipadores y que el método simplificado presentó muy buenas aproximaciones al realizar las interacciones y calcular los parámetros ya mencionados.

La relación entre este documento y el proyecto de investigación, se encuentra en que los aisladores se comportan de una forma muy similar a los disipadores de energía, con la diferencia en que los aisladores trabajan en la sub-estructura, mientras que los disipadores lo hacen, en la superestructura, sin embargo, con la información recopilada en este texto los aisladores también podrían ser tenidos en cuenta al realizar el proceso de selección de equipamiento propuesto en el primer objetivo específico.

---

<sup>9</sup> AGUIAR, R., et al. Método simplificado para el análisis sísmico de estructuras con aisladores FPS de tercera generación. En: Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. 2017. vol. 33, edición 1-2, p.103-109

**AUTOR:** A. Ras, N. Boumechra<sup>10</sup>

**TÍTULO:** Seismic energy dissipation study of linear fluid viscous dampers in steel structure design.

**DESCRIPCIÓN:** En este artículo, se da a conocer el problema de las estructuras cuando son sometidas a fuerzas de viento o sismo. De acuerdo con los comportamientos estructurales, la ingeniería sísmica ha desarrollado nuevos proyectos para poder evitar el daño de las estructuras. Una de las innovadoras ideas, son los disipadores de energía, los cuales aumentan la resistencia de las estructuras, reducen las tensiones y esfuerzos de las vigas y columnas del edificio, es decir, que los disipadores de energía tienen la capacidad de absorber los esfuerzos para dar mayor estabilidad.

El enfoque de este estudio son los disipadores de fluidos viscosos, cual es la composición de estos dispositivos, su funcionamiento y los modelos en los que este interviene. Demostrando como es el comportamiento de cada uno de estos modelos con respecto a los periodos de respuesta sísmica en términos de desplazamiento y aceleración, así mismo teniendo en cuenta la respuesta de aceleración amortiguada y autoportante.

El estudio anterior facilitó determinar el comportamiento de las estructuras con y sin el disipador de energía de fluido viscoso, teniendo en cuenta los resultados de la modelación en el software SAP2000 se pudo concluir que la implementación de los amortiguadores reduce la respuesta estructural. Además de ello se reduce la aceleración en un 37%, el momento flector en la pieza con mayor carga se redujo el esfuerzo en un 40%, las derivas en los diferentes pisos son insignificantes reduciendo los efectos del sismo. Por último, utilizar los disipadores de energía trae más beneficios para las estructuras.

Este artículo se relaciona con el presente proyecto en el dispositivo estudiado, puesto que, en la elaboración del artículo, muestran las diferentes técnicas y ecuaciones que se deben tener en cuenta al momento de utilizar los disipadores viscosos, además de que se realizaron estos estudios para edificaciones de edificios de elevación media, es decir, que se tuvieron en cuenta las variaciones de desplazamiento y de la fuerza de amortiguación que depende de la altura del edificio. Las comparaciones presentadas son del comportamiento de las estructuras con el disipador viscoso y sin el uso del disipador, además de realizar la modelación mediante el software SAP2000.

---

<sup>10</sup> RAS, A., BOUMECHRA, N. Seismic energy dissipation study of linear fluid viscous dampers in steel structure design. En: Alexandria Engineering Journal. Tlemcen, Algeria. 2016. Vol. 55, edición 3, p. 2821-2832

**AUTOR:** Huanjun Jiang, Shurong Li, Yulong Zhu <sup>11</sup>

**TÍTULO:** Seismic performance of high-rise buildings with energy-dissipation outriggers

**DESCRIPCIÓN:** En el artículo se demuestran estudios de cómo mejorar el comportamiento de las estructuras frente a un sismo o terremoto, con la implementación de estabilizadores convencionales y los disipadores de energía, con el fin de determinar el rendimiento sísmico de las estructuras sometidas a fuerzas similares a estos terremotos frecuentes. Los disipadores implementados en las estructuras diseñadas para el estudio fueron los de fluido viscoso, verificando los resultados en cuanto a la resistencia, rigidez de la estructura y haciendo la comparación entre los 2 diseños.

Se utilizaron modelos numéricos como el modelo de elementos finitos, en el cual utilizaron el software Perform-3D para conocer la relación entre la fuerza y el desplazamiento. Se tuvieron en cuenta los niveles de rendimiento de los componentes estructurales, estos se dividen en 3 niveles según FEMA 356: ocupación inmediata, seguridad de la vida y prevención del colapso, con esta información se hace la gráfica de fuerza y deformación. Se determinaron las características dinámicas de los diseños, lo movimientos de la tierra entre otros estudios que se tuvieron en cuenta para demostrar el comportamiento de las dos estructuras diseñadas.

Finalmente, con el diseño de la nueva estructura con disipadores de energía y en comparación con la estructura convencional en presencia de terremotos frecuentes se determinó que las dos estructuras se mantienen en un estado elástico y su respuesta sísmica son muy similares. En un terremoto básico y raro, la nueva estructura disipa gran parte de la energía y sus estructuras principales no sufren daños, mientras que la estructura convencional la desviación entre los pisos es más uniforme. Finalmente, la nueva estructura disipa la energía inelástica en condiciones de terremotos básico y raros.

Este artículo tiene relación con el proyecto, debido a que a lo largo de la investigación se realiza una comparación entre dos estructuras de gran altura, para poder determinar la resistencia sobre el comportamiento sísmico de los diseños, teniendo en cuenta el desplazamiento lateral de la estructura convencional y la estructura con los disipadores de fluido viscoso.

---

<sup>11</sup> HUANJUN Jiang , SHURONG Li , YULONG Zhu. Seismic performance of high-rise buildings with energy-dissipation outriggers. En: Journal of Constructional Steel Research. China. 2017. Vol. 134, p. 80-91.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Realizar esta investigación es importante porque en Colombia el diseño estructural convencional de edificaciones en concreto reforzado, según la NSR-10 está basado en deformaciones dentro del rango elástico. Para que, ante un eventual sismo moderado o alto, los esfuerzos y deformaciones ocasionen que la estructura sufra daños controlados, en donde se permita la disipación de energía de las vibraciones sísmicas.

Sin embargo, cuando se aplica este método convencional en ciudades con un alto proceso de densificación, donde se hace necesario construir en altura, se evidencia que las estructuras de concreto reforzado tienden a ser muy robustas; especialmente en lo que respecta a los elementos de su sistema de resistencia sísmica. Esto, a su vez, ocasiona que se deba invertir una mayor cantidad de dinero en insumos durante el proceso constructivo. Posteriormente, ante una eventualidad sísmica fuerte, los daños controlados en la estructura conllevan a que se dispongan de nuevos recursos económicos para concretar la reparación y rehabilitación del edificio.

Actualmente existen sistemas de control de respuesta sísmica, con la finalidad de controlar y disminuir los daños estructurales posteriores a un sismo. Los sistemas de control de respuesta sísmica consisten en adicionar elementos estructurales que complementen los sistemas de resistencia sísmica tradicionales, estos elementos son los encargados de disipar la mayor parte de la energía proveniente de un sismo y así, después de un evento sísmico son reemplazados sin afectar la resistencia y funcionalidad del edificio<sup>12</sup>.

Con este proyecto se busca incentivar uso de dispositivos de disipación de energía en los sistemas de resistencia sísmica convencionales, debido a que estos pueden contribuir a que los edificios del país cuenten con una ingeniería estructural aún más segura y actualizada. Sin embargo, no se puede generalizar cual es el sistema de control de respuesta sísmica más apropiado para una edificación en particular porque su selección está altamente ligada a factores como uso de la edificación, elevación, sistema estructural, propósito de diseño y planeamiento arquitectónico.

Por lo tanto, se plantea demostrar la viabilidad técnica y económica de implementar dispositivos de disipación de energía para un caso específico, en el que se toma como objeto de estudio el sistema de resistencia sísmica, de un

---

<sup>12</sup> Oviedo, J. Duque, M. Disipadores histeréticos metálicos como técnica de control de respuesta sísmica en edificaciones colombianas. Revista de la Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín.2009

edificio ubicado en Bogotá D.C, en la localidad de Fontibón, cercano al Aeropuerto Internacional El Dorado, esto, debido a que es una zona de alta influencia socioeconómica para la ciudad, puesto que allí se concentra una gran cantidad de empresas<sup>13</sup>. Siendo este el motivo por el que se trabaja con una edificación de uso institucional, perteneciente al grupo de uso dos, especificado en título A.2.5.1 del Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10. Así mismo se elige trabajar con concreto reforzado y una elevación de 7 pisos, lo anterior con el fin de no obtener periodos de oscilación tan amplios como los que se presentan en edificios de gran altura, que impidan trabajar con dispositivos de disipación de energía como los aisladores de base, los cuales generan una ampliación en los periodos de oscilación, requiriendo un mayor aislamiento de los edificios colindantes<sup>14</sup>.

Si se demuestra que la implementación de dispositivos de disipación de energía resulta ser técnica y económicamente viable para este caso, también podrían ser utilizados en los sistemas de respuesta sísmica de edificios con características iguales, pertenecientes al grupo de uso dos. Salvaguardando así, la vida de quienes los habiten y a la vez preservando el patrimonio económico de estas instituciones.

---

<sup>13</sup> La zona franca en Bogotá lleva 20 años contribuyendo al desarrollo capitalino, En: Revista semana [en línea]. Economía. 2018 [citado el 15 de febrero de 2019]. Disponible en internet. <https://goo.gl/bXtyKr>

<sup>14</sup> TORO, Juan. Aislamiento sísmico para edificaciones en Pereira. En: El Diario. Bogotá. 2016. Economía. Disponible en internet: <https://goo.gl/p8Q1qo>

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar la viabilidad técnica del sistema de resistencia sísmica de un edificio de siete pisos con y sin dispositivos de disipación de energía y sus costos de implementación.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar el tipo de dispositivo de disipación de energía más adecuado para zonas de amenaza sísmica intermedia.
- Comparar el comportamiento del sistema de resistencia sísmica de una edificación de grupo de uso dos de concreto reforzado y una edificación equipada con el dispositivo de disipación de energía seleccionado
- Determinar la viabilidad económica para cada caso de edificación de concreto reforzado con y sin dispositivos de disipación de energía.

## 5. MARCO REFERENCIAL

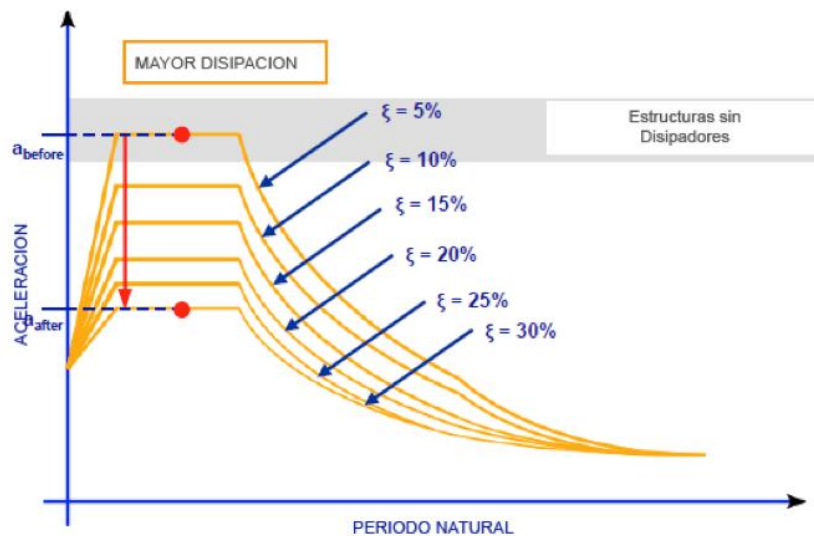
### 5.1. MARCO TEÓRICO

#### 5.1.1. Disipadores de energía

Los disipadores de energía son dispositivos que buscan reducir los daños de las estructuras en caso de una eventualidad sísmica, es decir, estos dispositivos captan la fuerza sísmica deformándose, evitando que la edificación reciba el impacto directo, por lo tanto, las deformaciones de la edificación se reducirán notablemente.

<sup>15</sup>El diseño del espectro de respuesta elástico demuestra parámetros de respuesta máxima para un terremoto, y el espectro de respuesta inelástico demuestra que una estructura puede experimentar deformaciones en el rango plástico en un terremoto. Por lo tanto, para el diseño de una estructura sismo resistente con disipadores de energía, se tiene en cuenta el espectro de diseño con el efecto de disipación de energía (Ilustración 1 Espectro General de Diseño - Efecto Disipación de Energía) en el cual se tiene en cuenta el periodo natural de frecuencia y la aceleración.

*Ilustración 1 Espectro General de Diseño - Efecto Disipación de Energía*



Fuente: <https://goo.gl/inXrFR> [citado el 18 de marzo 2018]

<sup>15</sup> Crisafull, Francisco y Villafane, Elblo. Espectro de respuesta y de diseño. Universidad nacional de Cuyo Facultad de Ingeniería. Argentina, mayo 2002. Consultado 18 de marzo de 2018. Disponible en línea [\[https://goo.gl/t2jDtE\]](https://goo.gl/t2jDtE)

## 5.1.2. Tipos de disipadores

### 5.1.2.1. Disipadores de energía fluido viscoso

Disipa la energía empujando el líquido a través de un orificio, produciendo una presión de amortiguamiento que crea una fuerza, la cual no aumenta significativamente las cargas sísmicas para un grado comparable de deformación.<sup>16</sup>

Los disipadores de fluido viscoso están compuestos por acero inoxidable y el fluido es aceite de silicona. La silicona se caracteriza por ser una sustancia no inflamable, térmicamente estable y no se pierde con el tiempo. La amortiguación de este disipador se da con la circulación del aceite de silicona por la cabeza de pistón. Ver

#### Ilustración 2 Partes Del Disipador De Fluido Viscoso

El disipador de fluido viscoso tiene la facultad de poder reducir los esfuerzos y el pandeo<sup>17</sup>, es decir, que la fuerza que ejerce el disipador cambia con la velocidad a la que se esté moviendo la edificación o dependiendo de la intensidad de la fuerza horizontal (sismo) que se esté registrando en la escala de Richter.

Cuando el edificio se encuentra en oscilación debido a las fuerzas horizontales y sus elementos estructurales se encuentra en su máxima deformación, la fuerza del disipador de fluido viscoso es mínima<sup>18</sup>. Esta es una propiedad única de esta clase de disipadores.

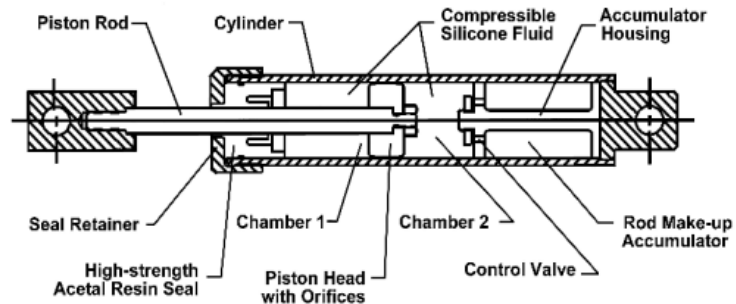
---

<sup>16</sup>BURGOS NAMUCHE, Maribel. Disipación de energía sísmica para el diseño y reforzamiento de edificaciones. Perú: CDV representaciones. Disponible en internet: <https://goo.gl/Vk1kfK>

<sup>17</sup>BURGOS NAMUCHE, Maribel. Disipadores de energía fluido viscoso. Perú: CDV representaciones. Disponible en internet: <https://goo.gl/8MiyMX>

<sup>18</sup>BURGOS NAMUCHE, Maribel. Disipación de energía sísmica para el diseño y reforzamiento de edificaciones. Perú: CDV representaciones. Disponible en internet: <https://goo.gl/xRK3e7>

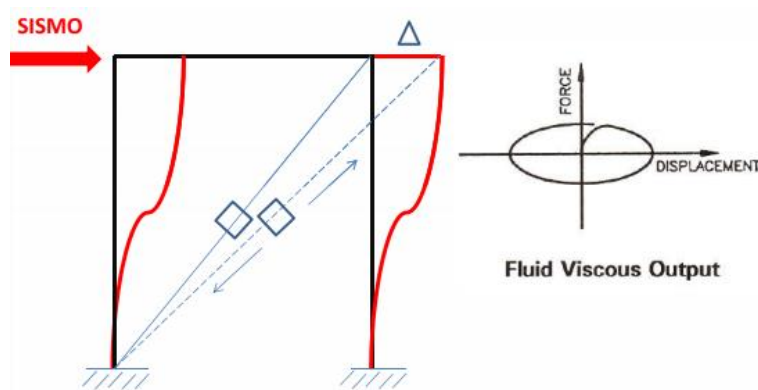
Ilustración 2 Partes Del Disipador De Fluido Viscoso



Fuente: <https://goo.gl/tNZcnC> [citado el 16 de septiembre 2017]

Para poder identificar el comportamiento de la fuerza de desplazamiento del disipador, se construyen las curvas de histéresis. La curva característica del disipador visco elástico es ovalada, donde se puede ver la energía elástica y la energía disipada por deformación permanente en el sistema (Ilustración 3 Curva de Histéresis).

Ilustración 3 Curva de Histéresis



Fuente: <https://goo.gl/69APje> [Citado el 18 de marzo de 2018]

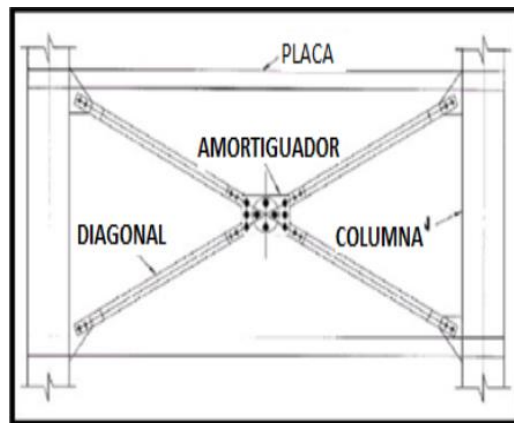
### 5.1.2.2. Disipadores a fricción

Estos dispositivos están diseñados para que comiencen a funcionar cuando los elementos estructurales se encuentren en estado elástico, es decir, antes de llegar al estado plástico. Los disipadores a fricción se modelan como un resorte en la estructura. El uso de estos disipadores en edificios controla el movimiento en el sismo, con lo cual se disipa la energía. El disipador es un elemento elástico-plástico de material metálico.

De acuerdo con la investigación del ingeniero Germán Hernández los disipadores de a fricción están constituidos por platinas de acero y una superficie con alta resistencia, estos al hacer contacto con el movimiento generan una carga que se opone al movimiento. Los disipadores tienen diagonales que se fijan en las conexiones de la viga o la placa con las columnas, estas diagonales son parte de la estructura del amortiguador de fricción que puede estar sometidos a tensión o a compresión, esto depende de la dirección de la fuerza sísmica (Ilustración 4. Disipador A Fricción.<sup>19</sup>

Cuando empieza el sismo, la estructura junto con los disipadores comienzan a oscilar, por lo tanto, el amortiguador inicia su trabajo cuando se ha excedido la carga de tracción para la cual ha sido diseñada la estructura, las conexiones de las diagonales hacen contacto con las platinas centrales y con la fricción que se genera a partir del movimiento se disipa la energía.

*Ilustración 4. Disipador A Fricción*



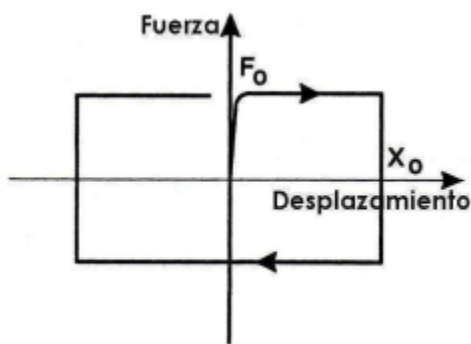
Fuente: <https://goo.gl/cXsMgN> [citado 18 de septiembre 2017]

<sup>19</sup>HERNANDEZ DIAZ, German Ricardo. Caracterización mecánica o modelamiento estructural de un disipador de fricción. Trabajo de investigación Especialista en estructuras. Bogotá: escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito. 2013, p. 127 <https://goo.gl/cXsMgN>

<sup>20</sup>Con esta clase de mecanismo, se puede lograr la disipación de un 90% de la energía del sismo, garantizando que los esfuerzos sean menores y menos deformaciones en las estructuras hechas en concreto. Estos disipadores cumplen con su función siempre y cuando la fuerza sísmica o supere la carga máxima prevista en el diseño, sin embargo, tienen la ventaja de disipar la energía por la fluencia de los metales por el calor, y debido a esto el comportamiento es equilibrado y evitan que la estructura entre en resonancia por la alteración de rigideces.

<sup>21</sup>Los disipadores a fricción por tratarse de un material metálico, la histéresis es como se determina la energía disipada, al imponer ciclos de carga y descarga, la curva de histéresis (Ilustración 5 Curva Histéresis , se da con la carga cíclica versus el desplazamiento, el área de la curva es proporcional a la energía almacenada.

*Ilustración 5 Curva Histéresis*



Fuente: <https://goo.gl/dMuEHM> [citado el 18 de marzo de 2018]

### **5.1.2.3. Disipadores visco elástico solidos**

Los más utilizados en las estructuras son copolímeros o sustancias vídrias. El disipador tipo VE es una estructura de acero con el contenido visco elástico en el interior (Ilustración 6. Disipador Visco elástico Solido). En las estructuras este

---

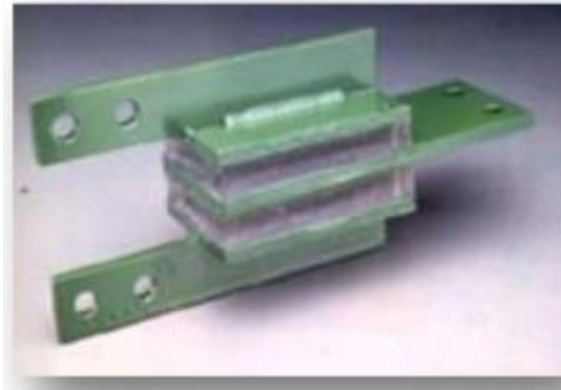
<sup>20</sup>HERNANDEZ DIAZ, German Ricardo. Caracterización mecánica o modelamiento estructural de un disipador de fricción. Trabajo de investigación Especialista en estructuras. Bogotá: escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito,2013.127p. Disponible en internet: <https://goo.gl/cXsMgN>

<sup>21</sup>QUINTANILLA FALK, Peter. Análisis del comportamiento de estructuras de acero provistas de disipadores de energía tipo “slotted bolted connection”. Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas departamentos de ingeniería civil, 2010. Disponible en línea <https://goo.gl/rPziaW>

mecanismo disipa la energía cuando la oscilación impulsa el desplazamiento relativo mediante las láminas de acero y el plato central<sup>22</sup>.

Esta clase de disipadores se fundamenta en incrementar el amortiguamiento de las estructuras. Al hacer uso de este mecanismo no varían los periodos de vibración, además estos disipadores son sensibles a la modificación de la temperatura, la frecuencia y la deformación, de acuerdo con lo anterior para que puedan dar una respuesta sísmica es necesario colocar una considerable cantidad de dispositivos.

*Ilustración 6. Disipador Visco elástico Solido*



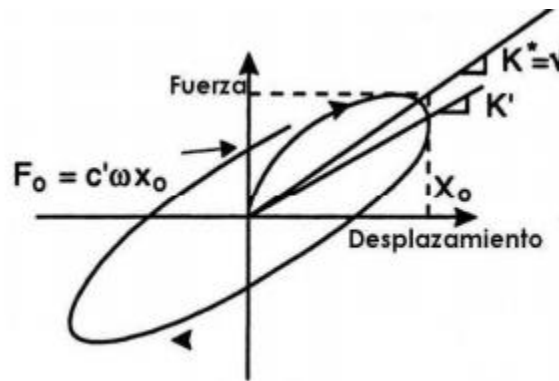
Fuente: <https://goo.gl/tKAAoZ>. [Consultado el 18 de septiembre de 2017]

Los disipadores visco elásticos solidos tienen una curva característica de histéresis ovalada, en la cual se determina el punto de cambio de energía elástica y comienzan los ciclos de carga y descarga, teniendo en cuenta la fuerza y el desplazamiento. (Ilustración 7 Curva de Histéresis)

*Ilustración 7 Curva de Histéresis*

---

<sup>22</sup>TRUJILLO ORTIZ, Jhonel, et al. Disipadores de energía. Trabajo de investigación dinámica: Huacho, Perú: Universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión, Facultad de ingeniería civil, 2014. 54p. Disponible en internet <https://goo.gl/nYt2rC>



Fuente: <https://goo.gl/gX6CpQ> [citado el 18 de marzo de 2018]

#### 5.1.2.4. Disipadores por flexión ADAS

Es un disipador formado por unas láminas de espesor constante y tiene forma de X. Como las láminas en paralelo son variables, se facilita la incorporación de este dispositivo teniendo en cuenta la necesidad de cualquier estructura (Ilustración 8. Disipador Por Flexión Tipo ADAS).

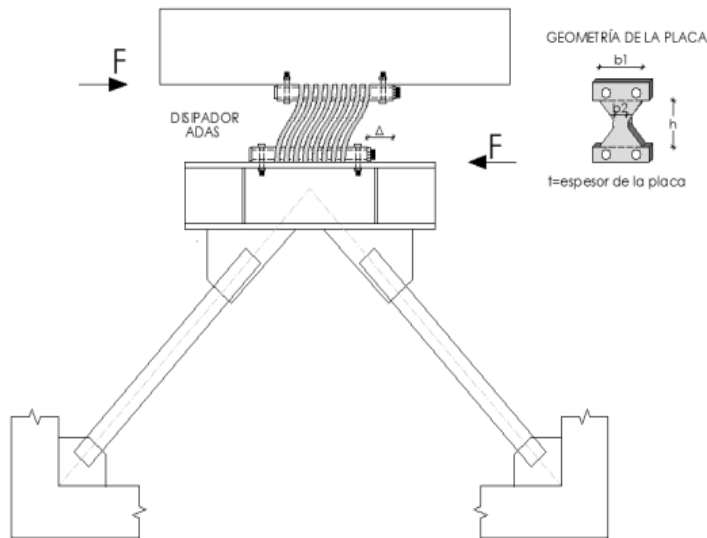
Las láminas no pueden girar, es decir, que son completamente rígidas en sus extremos. Cuando ocurre un movimiento perpendicular a la lámina, ocasiona momentos flectores.

El ancho del disipador se equilibra con la distribución de momentos, lo cual genera la plasticidad en un menor tiempo, esta plasticidad es uniforme y estable lo cual garantiza el proceso de la disipación de la energía.<sup>23</sup>

Las diagonales de contraviento son rígidas, para que trabajen en el rango elástico ante un movimiento sísmico y así mismo para que el desplazamiento lateral en la parte inferior del disipador sea parecido al desplazamiento del entrepiso inferior.

*Ilustración 8. Disipador Por Flexión Tipo ADAS*

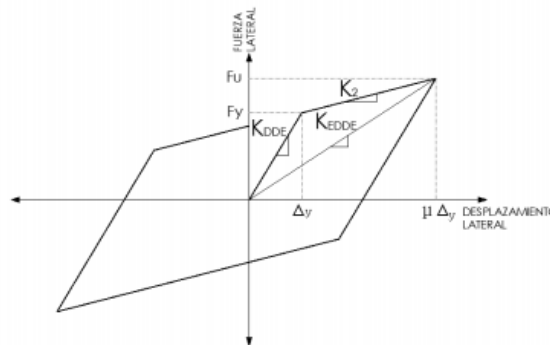
<sup>23</sup>VILLARREAL CASTRO, Genner y OVIEDO SARMIENTO, Ricardo. Edificaciones con disipadores de energía. Perú, Lima, 2009. 122p. [consultado el 15 de septiembre de 2017]. Disponible en internet. <https://goo.gl/t3FA2s>



Fuente: <https://goo.gl/PRnDTb>. [Consultado el 22 de septiembre de 2017]

La curva histerética del dissipador a flexión tipo ADAS, en función de la fuerza y el desplazamiento, con los ciclos de carga y descarga después de pasar del rango elástico es “rectangular” (Ilustración 9 Curvas de Histéresis, en la cual el área bajo la curva es la energía disipada por este dispositivo).

*Ilustración 9 Curvas de Histéresis*



Fuente: <https://goo.gl/ZtDDrx> [citado el 18 de marzo de 2018]

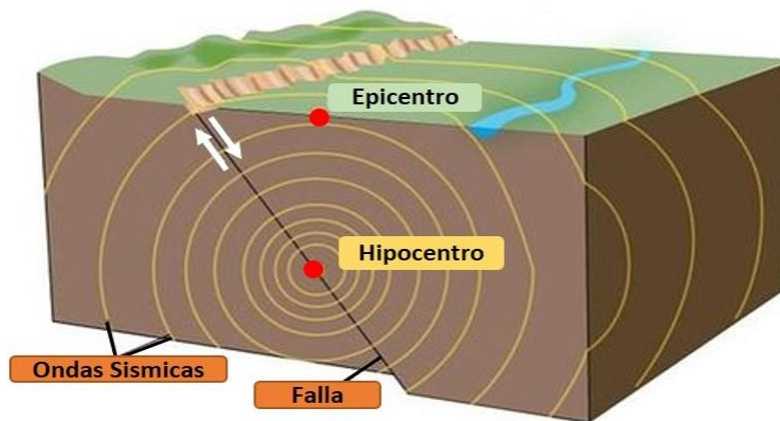
### 5.1.3. Sismos

Los sismos son fenómenos naturales que ocurren por las placas tectónicas que se mueven para poder acomodarse, lo que produce fuertes o leves movimientos en la superficie terrestre. Cuando el sismo es de gran magnitud, las estructuras que se encuentran en la zona del epicentro del evento pueden tener daños estructurales.

Sin embargo, los sismos también pueden ser producidos por la presión que ejerce el agua subterránea en ciertos puntos, por la erupción de algún volcán y por los deslizamientos de las montañas.

El punto donde se produce el sismo se conoce con el nombre de foco o hipocentro, se encuentra debajo de la corteza, máximo a 700 km de profundidad. (Ilustración 10) El epicentro es el punto que se encuentra directamente encima del foco, pero sobre la superficie terrestre y es la zona donde se concentra mayor intensidad. La falla que se presenta en las rocas se debe a la liberación de energía la cual produce esfuerzos, es así como la tierra entra en vibración por las ondas sísmicas que se dispersan en todas las direcciones.<sup>24</sup>

*Ilustración 10: Elementos de un sismo*



Fuente: <https://goo.gl/i6q9y7>. [Citado el 14 de septiembre de 2017]

#### **5.1.4. Estado actual de la construcción en Colombia de la construcción**

---

<sup>24</sup>La historia no contada del primer código de construcción en Colombia-30 años. En Revista de ingeniería [en línea]. Volumen 40 [citado el 14 de septiembre de 2017], pp 82-84. Disponible en internet: <https://goo.gl/5XiqyY>

Debido a que Colombia presenta altos niveles de riesgo sísmico en varias zonas del país, en 1984 la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), considero desarrollar un código de construcción y se concluyó el adaptar el ATC-3<sup>25</sup>. Desde entonces esta norma se ha actualizado, hoy en día la conocemos como la norma sismo resistente (NSR-10).

A nivel internacional muchos países ya lo están implementando como opción para evitar daños en la estructura principal del edificio, y poder ahorrar costos en caso de un sismo. Si llegase a ocurrir un sismo, solo serían gastos por remodelar o arreglar los componentes no estructurales de las edificaciones y en algunos disipadores es necesario hacer algún mantenimiento después de esto.

Los disipadores de energía son mecanismos que se colocan estratégicamente en la estructura, estos tienen la función de darle mayor flexibilidad a los edificios cuando están sometidos a alguna fuerza de sismo evitando que la estructura entre en resonancia. Además de esto, pueden garantizar que la estructura principal no tenga sobreesfuerzos, es decir, que controlan el desplazamiento horizontal de las edificaciones evitando daños severos.

Cuando en las edificaciones de concreto tienen fisuras, estas disipan energía de manera “natural” mientras que, los disipadores absorben esta energía sin generar daños. Los disipadores no son instrumentos que se opongan al movimiento que produce el sismo, por el contrario, toman la energía producida por el movimiento. Según el ingeniero Rivera “los esfuerzos máximos que se producen son cuando el edificio está quieto. Sin embargo, en la máxima deformación de la torre, estos elementos trabajan en su mínimo esfuerzo. Por eso durante sismos severos esto es muy conveniente, porque el disipador se activa y cuando esto ocurre, tiende a lograr un equilibrio bastante compensando u atenuado”.<sup>26</sup>

El comportamiento de las estructuras en las cuales se implementa en el diseño alguna clase de disipador de energía para un sismo se fundamenta en que la resistencia de este dispositivo sea capaz de absorber y disipar la energía por un periodo de tiempo prolongado. La disipación de la energía se produce en los elementos de materiales plásticos y dúctiles, dichos componentes se encuentran en las vigas y las columnas.

---

<sup>25</sup>Servicio geológico mexicano [online]. Actualización el 03/10/2017 [citado el 25 de octubre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/XATRkC>

<sup>26</sup> GLOBAL INGENIEROS [online]. Perú [consultado el 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/8ExJHX>

Las estructuras que son indispensables para las condiciones del entorno después de un sismo como los hospitales, estaciones de bomberos, estaciones de policía, entre otros, se debe garantizar que tengan un sistema de resistencia sísmica, para garantizar la seguridad de los heridos y personas en busca de albergue, pues no todas las estructuras cuentan con este sistema y en un sismo lo más probable es que varias se derrumben o sufran grandes daños.

La ductilidad es una propiedad de algunos elementos que se utilizan en las construcciones de edificios, esta es la que puede llegar a producir el deterioro o la destrucción total de los elementos estructurales, por ello, se ha incursionado en nuevas técnicas de diseño en los que se puedan neutralizar las zonas con tendencia a la ductilidad. Estos nuevos dispositivos son los que se encargan de disipar esta energía además los daños que se produzcan por la ductilidad sean mínimos.<sup>27</sup>

#### **5.1.5. Nivel de amenaza sísmica en Colombia**

La comparación de costos del presente proyecto será planteado para zonas de intermedia sismicidad, según la norma sismo resistente colombiana (NSR-10), estas zonas son aquellas en las que el coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva para el diseño ( $A_v$ ) y el coeficiente de la aceleración horizontal pico efectiva para diseño ( $A_a$ )(Tabla 5.1.5-1), (Tabla 5.1.5-2), deben ser mayores a 0,2.<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup>BOZZO, Luis y BARBAT, Alex. Diseño sismo resistente de edificios: técnicas convencionales y avanzadas [online]. ESPAÑA; Barcelona,2004.200 p. [consultado el 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/oTCKar>

<sup>28</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A. Bogotá. 2010

Tabla 5.1.5-1. Nivel de amenaza sísmica

Mayor valor entre $A_a$ y $A_v$	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
0.35	7	Alta
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

Fuente: NSR-10

Tabla 5.1.5-2. Valores de  $A_a$  y  $A_v$  para las ciudades capitales del departamento

Ciudad	$A_a$	$A_v$	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Fuente: Título A NSR-10

De acuerdo con la Tabla 5.1.5-2 las ciudades que se encuentran bajo zonas amenaza sísmica intermedia en Colombia son:

1. Arauca
2. Bogotá
3. Florencia
4. Ibagué
5. Medellín
6. Montería
7. Riohacha
8. Santa Marta
9. Sincelejo
10. Tunja

#### **5.1.6. Tipos de disipadores**

#### **5.1.7. Diseño**

Para el diseño de una estructura se deben tener en cuenta algunos parámetros que se dan en la norma sismo resistente colombiana (NSR-10), tales como:

##### **5.1.7.1. Avaluó de cargas**

Es el recuento de las fuerzas u otras solicitaciones que actúan sobre el sistema estructural, las cuales provienen de elementos permanentes en la construcción, los ocupantes y efectos ambientales.

##### **5.1.7.2. Cargas muertas**

Son las cargas constantes y permanentes en la edificación teniendo en cuenta los componentes estructurales (cubiertas, escaleras, muros, pisos, etc.), los valores de carga de especifican en la norma<sup>29</sup>. Estas cargas se obtienen dependiendo la función que vaya a tener la edificación (oficinas, locales, vivienda, etc.) Tabla 5.1.7.2-1. Valores Mínimos De Carga Muerta.

*Tabla 5.1.7.2-1. Valores Mínimos De Carga Muerta*

---

<sup>29</sup>ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A. Bogotá. 2010

Ocupación		Fachada y particiones (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Fachada y particiones (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
<b>Reunión</b>	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin escenarios.	1.0	1.8	100	180
<b>Oficinas</b>	Particiones móviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mampostería	2.0	1.8	200	180
<b>Educativos</b>	Salones de clase	2.0	1.5	200	150
<b>Fábricas</b>	Industrias livianas	0.8	1.6	80	160
<b>Institucional</b>	Internados con atención a los residentes	2.0	1.6	200	160
	Prisiones, cárceles, reformatorios y centros de detención	2.5	1.8	250	180
	Guarderías.	2.0	1.6	200	160
<b>Comercio</b>	Exhibición y venta de mercancías.	1.5	1.4	150	140
<b>Residencial</b>	Fachada y particiones de mampostería.	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas.	2.0	1.4	200	140
<b>Almacenamiento</b>	Almacenamiento de materiales livianos.	1.5	1.5	150	150
<b>Garajes</b>	Garajes para vehículos con capacidad de hasta 2000 kg	0.2	1.0	20	100

Fuente: Título A, NSR-10

### 5.1.7.3. Cargas vivas

De acuerdo con la norma estas cargas son producidas por el uso y la ocupación de la edificación y no se incluyen cargas ambientales como viento y sismo (Tabla 5.1.7.3-1. Cargas Vivas Mínimas Uniformemente Distribuidas<sup>30</sup>).

Tabla 5.1.7.3-1. Cargas Vivas Mínimas Uniformemente Distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Carga uniforme (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
<b>Reunión</b>	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestibulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
<b>Oficinas</b>	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
<b>Educativos</b>	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
<b>Fábricas</b>	Estanterías	7.0	700
	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
<b>Institucional</b>	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
<b>Comercio</b>	Minorista	5.0	500
	Mayorista	6.0	600
<b>Residencial</b>	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300
<b>Almacenamiento</b>	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
<b>Garajes</b>	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
<b>Coliseos y Estadios</b>	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

<sup>30</sup>ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A. Bogotá. 2010

Fuente: Título A, NSR-10

Tabla 5.1.7.3-2. Cargas Vivas Mínimas En Cubierta

Tipo de cubierta	Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Carga uniforme (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

**Nota-1** — La carga viva de la cubierta no debe ser menor que el máximo valor de las cargas vivas usadas en el resto de la edificación, y cuando esta tenga uso mixto, tal carga debe ser la mayor de las cargas vivas correspondientes a los diferentes usos.

Fuente: Título A, NSR-10

#### 5.1.7.4. Combinaciones de carga

De acuerdo con la NSR-10 el diseño de las estructuras en general se debe hacer de tal forma que la resistencia del diseño sea igual o exceda los efectos de las cargas mayoradas con las siguientes combinaciones (Ecuación 1)<sup>31</sup>:

*Ecuación 1 Combinaciones De Carga Mayorada NSR-10*

$$1.4 (D+F)$$

$$1.2 (D+F+T) + 1.6 (L+H) + 0.5 (L_r \text{ o } G \text{ o } L_e)$$

$$1.2 D + 1.6 (L_r \text{ o } G \text{ o } L_e) + (L \text{ o } 0.8W)$$

$$1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5 (L_r \text{ o } G \text{ o } L_e)$$

$$1.2D + 1.0E + 1.0L$$

$$0.9D + 1.6W + 1.6H$$

$$0.9D + 1.0E + 1.6H$$

<sup>31</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A. Bogotá. 2010

**D:** carga muerta

**F:** cargas debido al peso y presión de fluidos

**T:** fuerzas y efectos causados por efectos de cambios de temperatura

**L:** cargas vivas

**H:** cargas debidas al empuje lateral del suelo

**Lr:** cargas vivas sobre la cubierta

**G:** carga debido al granizo

**Le:** Carga de empozamiento de agua

**W:** carga de viento

## **5.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **5.2.1. Momento flector**

Cuando se aplican un par de fuerzas en lo elementos estructurales (losa, viga, columna), como resultado se produce una flexión en la estructura, esta puede ser positiva o negativa dependiendo la dirección del giro.<sup>32</sup>

### **5.2.2. Esfuerzo cortante**

Es el esfuerzo que se produce por las tensiones en la viga, es decir, es la relación entre las cargas impuestas al elemento y el área que es paralela a la fuerza aplicada.

### **5.2.3. Deriva de piso**

De acuerdo con la NSR-10<sup>33</sup> es el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos que se encuentra en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación.

---

<sup>32</sup> MARTINEZ, Dismery, et al. Momentos flexionantes. Yaracuy, San Felipe: Instituto universitario politécnico Santiago Mariño. <https://goo.gl/SoeU99>

<sup>33</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A. Bogotá. 2010

#### **5.2.4. Vulnerabilidad sísmica**

Es el nivel de destrucción que puede sufrir una estructura ante un fenómeno natural como el sismo, sin embargo, cada estructura es propensa a sufrir daños de diferentes maneras sin importar la zona en la que se encuentre.<sup>34</sup>

#### **5.2.5. Espectros de respuesta elástica**

Son las condiciones para un sismo que determinan algunos parámetros para el amortiguamiento de las estructuras y saber el comportamiento del sismo en cuanto a la velocidad y la aceleración de este.<sup>35</sup>

#### **5.2.6. Grado de libertad**

Son parámetros que definen las rotaciones y movimientos en cada uno de los nudos de la estructura, es decir, especifica la deformación que sufre la edificación. En este caso se contemplan únicamente los siguientes grados de libertad: fuerza en x ( $U_x$ ), fuerza en y ( $U_y$ ) y el momento en z ( $U_z$ ).

#### **5.2.7. Espectro de respuesta inelástica**

Es cuando el grado de libertad le permite a la estructura sufrir deflexiones mientras esta se encuentra en una zona plástica durante un sismo.<sup>36</sup>

#### **5.2.8. Límite de elasticidad**

Es la capacidad que tienen un material para deformarse, pero no de manera permanentemente, es decir, que se puede deformar y así mismo volver a su forma original.

---

<sup>34</sup> Vulnerabilidad sísmica. En: Biblioteca Universidad de Piura, p 37. Disponible en internet: <https://goo.gl/QJsZcw>

<sup>35</sup> CRISAFULLI, Francisco y VILLAFañE, Elbio. Espectros de respuesta y de diseño, Argentina, Cuyo: Universidad Nacional de Cuyo, 2002, p 3 <https://goo.gl/As9xvq>

<sup>36</sup> CRISAFULLI, Francisco y VILLAFañE, Elbio. Espectros de respuesta y de diseño, Argentina, Cuyo: Universidad Nacional de Cuyo, 2002, p 3 <https://goo.gl/As9xvq>

### 5.2.9. Cuantía balanceada

Es la cantidad de acero necesaria para que el concreto falle al mismo tiempo que fluye el acero (Ecuación 2. Cuantía Balanceada).

*Ecuación 2. Cuantía Balanceada*

$$Pb = \gamma * \beta 1 * \frac{f`c}{fy} * \frac{\epsilon u}{\epsilon u + \epsilon y}$$

Fuente: <https://goo.gl/xXeYKr>. [Consultado el 23 de septiembre de 2017]

### 5.2.10. Esbeltez

Un elemento es esbelto si las dimensiones de su sección transversal son pequeñas en comparación con su longitud. Lo que provoca reducción en su resistencia frente a cargas axiales o de flexo-compresión.<sup>37</sup>

---

<sup>37</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título C. Bogotá. 2010

### 5.3. MARCO LEGAL

#### 5.3.1. Norma sismo resistente colombiana (NSR-10)

En esta norma se especifican los requisitos mínimos que se deben tener en cuenta al diseñar una edificación, es decir, que contiene factores de seguridad en diversas formas para garantizar la resistencia de la edificación. Teniendo como objetivo disminuir la vulnerabilidad de las construcciones en Colombia ante un sismo (Tabla 5.3.1-1. Capítulos Norma Sismo Resistente Colombiana).

<sup>38</sup>La Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10), en título A.3.9. Habla del uso de elementos disipadores de energía y se establece que está permitido el uso de estos dispositivos siempre y cuando se cumpla con uno de los siguientes documentos:

- a. *“NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings – Provisions and commentary”, 2003 Edition, Federal Emergency Management Agency, FEMA 450, Building Seismic Safety Council, National Institute Sciences, Wachingtong, DC., USA, 2004*
- b. *“Minimum Desing Loads for Building and Other Structures”, ASCE/SEI 7-05, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2006*

Adicionalmente la norma solicita que se cumplan con los requisitos de los Artículos 10 y 11 de la ley 400 de 1997, en la que se especifican las responsabilidades del diseñador estructural y el constructor. Toda edificación que utilice dispositivos de disipación de energía debe estar sometido a supervisión técnica permanente tal como lo describe el Título I, de la Norma Sismo Resistente Colombiana.

---

<sup>38</sup> ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A. Bogotá. 2010

Tabla 5.3.1-1. Capítulos Norma Sismo Resistente Colombiana

<b>NORMA SISMO RESISTENTE COLOMBIANA (NSR-10)</b>			
<b>TÍTULO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CAPÍTULO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>A</b>	<b>Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente</b>	A.1 - Introducción	Aspectos generales y principales para el diseño teniendo en cuenta el medio ambiente, se deben cumplir los requisitos mínimos, tipo de material.
		A.2 - Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño	Se definen las zonas y niveles de sismicidad en Colombia, se deben tener en cuenta la aceleración y la velocidad de pico efectivo con las determinadas tablas que especifican el tipo de zona clasificándola en alta, baja e intermedia
		A.3 - Requisitos generales de diseño sismo resistente	Se conoce la capacidad mínima de disipación de energía, la resistencia, trayectoria de las fuerzas, los sistemas de resistencia estructural, la configuración estructural de la edificación y las condiciones de los materiales
		A.5 - Método del análisis dinámico	Hace referencia a los movimientos, espectros elásticos y respuesta de los sismos
		A.6 - Requisitos de la deriva	Se hacen los cálculos de la deriva, es decir del desplazamiento horizontal, con la deriva máxima permitida y los límites de la misma
	<b>cargas</b>	B.2 - Combinaciones	Las combinaciones de carga y sus ecuaciones dependen de las fuerzas que más inciden en la estructura

<b>NORMA SISMO RESISTENTE COLOMBIANA (NSR-10)</b>			
<b>TÍTULO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CAPÍTULO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>B</b>		de carga	diseñada y estas combinaciones pueden ser mayoradas para incrementar y asegurar la resistencia
		B.3 - Cargas muertas	Son las cargas permanentes de la estructura, se presentan las cargas que cada uno de los elementos.
		B.4 - Cargas vivas	Dependiendo del uso que va a tener la estructura, se indican las cargas uniformemente distribuidas y las mínimas en la cubierta.
		B.6 - Fuerzas de viento	Se evalúan las fuerzas de viento, la intensidad y la dirección en la que puede llegar a la edificación
<b>C</b>	<b>Concreto Estructural</b>	C.3 - Materiales	Se deben realizar ensayos para comprobar la calidad de los materiales, la clasificación de los cementos, el acero de refuerzo
		C.4 - Requisitos de durabilidad	Se exponen las categorías y las clases, así mismo los requisitos de mezcla para prevenir el deterioro por efectos del entorno
		C.5 - Calidad del concreto, mezclado y colocación	Resistencia mínima requerida para el diseño, concreto reforzado para el esfuerzo cortante
		C.7 - Detalles del refuerzo	Son las diferentes formas y condiciones de diferentes clases de refuerzo que puede tener el concreto

<b>NORMA SISMO RESISTENTE COLOMBIANA (NSR-10)</b>			
<b>TÍTULO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CAPÍTULO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
		C.8 - Análisis y diseño	Se tienen en cuenta las cargas hallados con el título B, la rigidez y cómo controlar las deflexiones de los elementos estructurales
		C.9 - Requisitos de resistencia y funcionamiento	Se realiza combinaciones de carga, y se determina la resistencia del diseño con los valores de reducción de resistencia
		C.10 - Flexión y cargas axiales	Se tiene en cuenta la cuantía balanceada para poder determinar el comportamiento a flexión debido a la deformación del acero de refuerzo, la esbeltez y la transmisión de cargas
		C.11 - Cortante y torsión	Se diseña los elementos de sección transversal que se encuentre sometidas a cortante y cuál debe ser la resistencia al corte y los que estén sometidos a momentos torsores
		C.21 - Requisitos de diseño sismo resistente	Requisitos del sistema estructural y su capacidad de disipación de energía, la cual depende del nivel de amenaza sísmica de la zona y el tipo de disipación que pueda tener (moderada - especial - mínima)

Fuente - Basado en la NSR-10

## 6. DISEÑO METODOLOGICO

### 6.1. Enfoque

La presente investigación es de índole cuantitativo, debido a que trabaja variables numéricas como, derivas de piso, cargas de diseño, deflexiones, esfuerzos, cantidades de obra y avalúos de costos; todo esto, se evalúa con base en las propiedades mecánicas y dinámicas medibles, que se obtienen del desarrollo de ecuaciones y de la modelación en el software, arrojando como resultado datos numéricos en los que se basa la finalidad de la investigación, la cual es, analizar la viabilidad en sismo resistencia de la superestructura de un edificio de siete pisos con y sin dispositivos de disipación de energía y sus costos de implementación

### 6.2. Tipo

El tipo de investigación del presente proyecto es de carácter experimental, debido a que se manipulan variables como, cuantías, secciones geométricas de elementos estructurales y la calidad del concreto, entre otros; con el fin de observar el comportamiento dinámico de las estructuras, dando explicación acerca de cuáles fenómenos ingenieriles se presentan y porqué ocurren. Tanto la edificación diseñada en concreto reforzado de manera convencional, como la equipada con un tipo de disipador de energía, se deben someter a condiciones de cargas verticales y horizontales, momentos externos y sismos semejantes a los que evidencian en la vida real.

### 6.3. Fases

#### 6.3.1 FASE I - SELECCIÓN DE TIPO DE DISPOSITIVO DE DISIPACIÓN DE ENERGIA

- 6.3.1.1 **Actividad 1:** Definir los diferentes dispositivos de disipación de energía más utilizados en Colombia, exponiendo su tipo, y características principales. Teniendo en cuenta algunas de las empresas encargadas de su distribución en el país.
- 6.3.1.2 **Actividad 2:** Realizar una matriz de comparación entre los dispositivos, teniendo en cuenta la información existente al respecto.
- 6.3.1.3 **Actividad 3:** Seleccionar el dispositivo más viable para el proyecto, con base en las ventajas y desventajas que presenta cada uno.

## 6.3.2. FASE II - ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO SISMORRESISTENTE

- 6.3.1.4 **Actividad 1:** Realizar el diseño de la planta física de la superestructura de la edificación según el modelo-ejemplo de un plano arquitectónico.
- 6.3.1.5 **Actividad 2:** Modelar la estructura de concreto convencional, en el software ETABS® 2016 a fin de que cumpla con los requerimientos de la NSR-10.
- 6.3.1.6 **Actividad 3:** Modelar la estructura equipada con el dispositivo de disipación de energía seleccionado en el software ETABS® 2016.
- 6.3.1.7 **Actividad 4:** Comparar las derivas de piso y los desplazamientos obtenidos en las dos edificaciones.

## 6.3.3. FASE III: VIABILIDAD ECONÓMICA

- 6.3.3.1. **Actividad 1:** Determinar la cantidad de dispositivos de disipación de energía necesarios en la edificación y el costo total de los mismos.
- 6.3.3.2. **Actividad 2:** Establecer el costo de las obras adicionales necesarias, para garantizar el cumplimiento de la norma de sismo resistencia (NSR-10), en el diseño convencional
- 6.3.3.3. **Actividad 3:** Realizar la comparación de costos entre los dispositivos de disipación de energía y las obras adicionales del modelo convencional. Además de los costos de rehabilitación de la estructura, posteriores a una eventualidad sísmica

## 6.4. INSTRUMENTOS Y MATERIALES

### 6.4.1. Software ETABS ® 2016

La modelación en el software comienza separando los ejes de dibujo según las medidas determinadas para el edificio, creando así un esquema de cómo se vería la estructura; a continuación, se definen las características de los materiales a usar (concreto reforzado) y las secciones de los elementos estructurales. Estas propiedades se le deben asignar a cada una de las barras esquemáticas del edificio, durante este proceso, también es necesario asignar los tipos de apoyo que se pondrán en la base. Por último, se deben crear las combinaciones de carga que se utilizarán (carga muerta, viva, de viento y sísmica), dándoles un valor que permita cargar cada uno de los elementos estructurales con el fin de generar una simulación del movimiento de la estructura en caso de sismo, obteniendo con ello las derivas de piso y las deflexiones.

## 6.5. DISEÑO MUESTRAL

### 6.5.1. Población

La población para la presente investigación, son todas las edificaciones con elevación de siete pisos, que cumplan con los requisitos mínimos que contempla la norma sismo resistente colombiana (NSR-10), construidos con concreto, con un sistema porticado, se encuentren en un suelo Lacustre 500 tipo E y estén localizados en una zona de amenaza sísmica intermedia.

### 6.5.2. Muestra

La muestra para la presente investigación es el sistema de respuesta sísmica de una edificación de siete pisos, ubicado en zonas de amenaza sísmica intermedia y sobre un suelo lacustre 500 tipo E. Con la que se plantea comparar el desempeño sismo resistente de la implementación de disipadores y la manera convencional de diseño de estructuras en concreto reforzado.

## 6.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 6.6-1. Variables

TIPO	VARIABLE	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Tiempo	t	Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento	Segundos, Minutos, Horas, Días, Años
DEPENDIENTE	Fuerza	F	Capacidad para realizar un trabajo físico o un movimiento, así como también la potencia o esfuerzo para sostener un	N, kN

TIPO	VARIABLE	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	MEDICIÓN
			cuerpo o resistir un empuje.	
	Longitud	<b>L</b>	Dimensión de una línea o de un cuerpo considerando su extensión en línea recta.	mm, cm, m
	Esfuerzo	<b><math>\sigma</math></b>	Magnitud física con unidades de fuerza sobre área utilizadas en el cálculo de piezas prismáticas como vigas o pilares y también en el cálculo de placas y láminas.	KPa, GPa
	Deflexión	<b><math>\delta</math></b>	Aquella deformación que sufre un elemento por el efecto de las flexiones internas. Para determinar la deflexión se aplican las leyes que relacionan las fuerzas y desplazamientos	mm, cm
	Deriva de piso	<b><math>\Delta</math></b>	Es la relación entre los desplazamientos relativos de cada piso de una edificación para la altura de entrepiso de cada uno de estos.	mm, cm

## 6.7. CRONOGRAMA

Tabla 6.7-1. Cronograma

ACTIVIDAD POR DESARROLLAR	MESES					
	1	2	3	4	5	6
Definir los diferentes dispositivos de disipación de energía más utilizados en Colombia, exponiendo su tipo, y características principales. Teniendo en cuenta algunas de las empresas encargadas de su distribución en el país.	x					
Realizar una matriz de comparación entre los dispositivos, teniendo en cuenta la información existente al respecto.	x					
Seleccionar el dispositivo más viable para el proyecto, con base en las ventajas y desventajas que presenta cada uno.		x				
Realizar el diseño de la planta física de la superestructura de la edificación según el modelo-ejemplo de un plano arquitectónico.		x				
Modelar la estructura de concreto convencional, en el software ETABS® 2016 a fin de que cumpla con los requerimientos de la NSR-10.			x			
Modelar la estructura equipada con el dispositivo de disipación de energía seleccionado en el software ETABS® 2016.			x			
Comparar las derivas de piso y los desplazamientos obtenidos en las dos edificaciones.				x		
Determinar la cantidad de dispositivos de disipación de energía necesarios en la					x	

ACTIVIDAD POR DESARROLLAR	MESES					
	1	2	3	4	5	6
edificación y el costo total de los mismos.						
Establecer el costo de las obras adicionales necesarias, para garantizar el cumplimiento de la norma de sismo resistencia (NSR-10), en el diseño convencional.						x
Realizar la comparación de costos entre los dispositivos de disipación de energía y las obras adicionales del modelo convencional. Además de los costos de rehabilitación de la estructura, posteriores a una eventualidad sísmica.						x

## 6.8. PRESUPUESTO

*Tabla 6.8-1. Presupuesto*

RUBRO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
<b>RECURSOS HUMANOS</b>	Horas de trabajo y modelación	600	8.000	4'800.000
<b>SERVICIOS</b>	Impresiones	10 paq.	\$100	150.000

## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 7.1. DEFINICIÓN DE DISPOSITIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA MÁS UTILIZADOS EN COLOMBIA

#### 7.1.1. DISPOSITIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN COLOMBIA

Para determinar cuáles son sistemas de control de respuesta sísmica más usados en Colombia se consultan las empresas más importantes y con mayor experiencia en la comercialización e implementación de estos sistemas a nivel nacional. Por lo tanto, los dispositivos de disipación de energía más implementados en Colombia son:

- **Disipadores a fricción:** En Colombia se encuentra la empresa Tecnocientific S.A.S, es la compañía que realiza la instalación de estos dispositivos.

#### 7.1.2. Disipadores a fricción sistema PALL

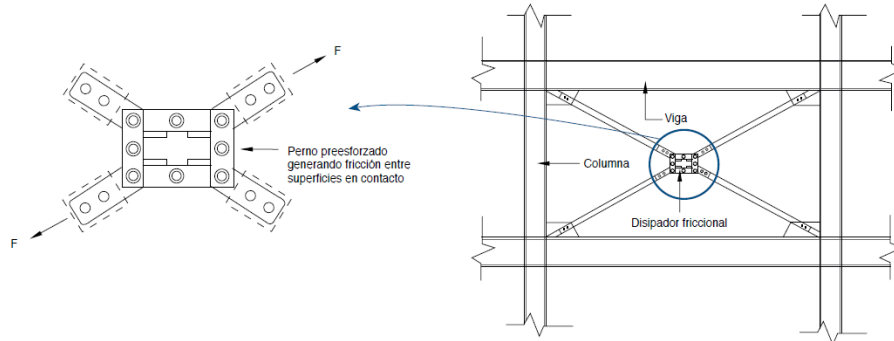
Son disipadores que funcionan mediante un amortiguador a fricción, el cual se activa frente a un movimiento fuerte en la estructura. Este mecanismo, garantiza mayor disipación de energía para las fuerzas de sismo generadas impredeciblemente, es decir, que es un sistema en el cual se necesitan menos amortiguadores en la estructura. Su diseño está hecho a medida de acuerdo con los planos estructurales, además, de ofrecer estabilidad de la edificación antes, durante y después de un sismo.

El rendimiento de estos dispositivos con independientes de la velocidad, cumplen con el nivel de calidad, lo cual genera mayor seguridad en las edificaciones y garantiza la protección de la vida humana. Estos disipadores de energía se pueden instalar en la estructura de diferentes formas, de acuerdo al gusto del diseñador como se muestra a continuación:

##### 7.1.2.1. Disipador a fricción cruzados

Los disipadores a fricción cruzados son aquellos en lo que el amortiguador de energía se encuentra en la mitad de dos diagonales, en el cual las superficies en contacto se encuentran sometidas a precompresión (Ilustración 11 Disipador A Fricción Cruzados.). Este disipador toma a su favor la deformación relativa de entrepiso y las deformaciones de las platinas, de la parte central de las dos diagonales, para poder disipar la energía.

Ilustración 11 Disipador A Fricción Cruzados.

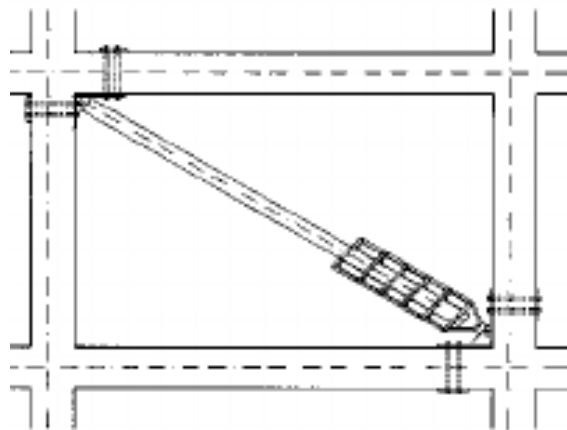


Fuente: <https://goo.gl/uAwFqE> [citado el 24 noviembre 2017]

#### 7.1.2.2. Disipador a fricción “Por pernos flexionantes”

Este mecanismo, se activa al haber “fricción” entre 2 o más superficies de contacto, por lo tanto, se mantiene inactivo

Ilustración 12. Disipador A Fricción Diagonal Bracing

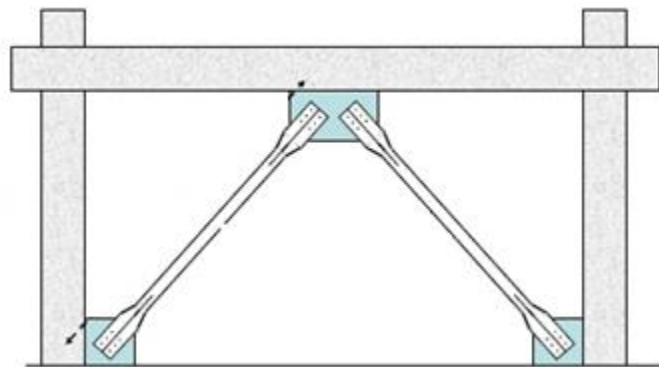


Fuente: <https://goo.gl/1dyHJX> [citado el 24 noviembre 2017]

### 7.1.2.3. Disipador de energía Chevron bracing

Este sistema consiste en diagonales que están restringidas contra el pandeo (Ilustración 13. Chevron Bracing), lo cual quiere decir que puede trabajar a compresión sin mostrar problemas con el pandeo.<sup>39</sup> Por lo tanto, este tipo de disipador al estar sometido a tensión está estable. La composición de este mecanismo es un núcleo de acero que es el encargado de disipar la energía, la restricción contra el pandeo se da por medio de un material confinante que cohibe al núcleo a sufrir de pandeo y acero que mantiene el material confinante y genera mayor restricción al pandeo.

*Ilustración 13. Chevron Bracing*



Fuente: <https://goo.gl/cWBgQS>[citado el 24 noviembre 2017]

La empresa colombiana de diseño encargada de distribuir todos los disipadores a fricción es TECNOCIENTIFIC SAS, quienes se encargan de tomar las medidas de los elementos estructurales que se sirven de anclaje del disipador a los pórticos de la edificación donde se requiere este mecanismo. Sin embargo, el amortiguador de fricción es importado de la empresa canadiense Pall dynamics o de la empresa QUAKETEK. Esta empresa ha participado en el reforzamiento de estructuras en Colombia con estos dispositivos como el hospital María Inmaculada, clínica Rafael Uribe & Universidad Libre, Fundación Clínica Valle de Lili, entre otras.

### 7.1.3. Disipadores de fluido viscoso

Es un sistema de protección implementado en las estructuras para los elementos estructurales, frente a algún movimiento del suelo. Estos disipadores se accionan

<sup>39</sup> [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2014000100002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2014000100002)

frente a la velocidad de oscilación de la estructura, el principio de su funcionamiento es el amortiguador (Ilustración 14. Amortiguador, el cual está compuesto por un pistón y un cilindro).

Su función es disminuir los desplazamientos, su resistencia depende del flujo del material viscoso, el cual es empujado por unos orificios del pistón, y las dimensiones de este determinan el comportamiento del amortiguador.

*Ilustración 14. Amortiguador*



Fuente: <https://goo.gl/cWmL7X> [citado el 24 noviembre 2017]

La empresa colombiana encargada de distribuir esta tecnología en el país es **EFE-PRIMA-CE (control y diseño de estructuras)**, sin embargo, el amortiguador es importado de Suiza de la empresa productora MAGEBA y el nombre de este producto es RESTON-SA (Ilustración 15. Amortiguador RESTON-SA. <sup>40</sup>Este amortiguador puede proporcionar hasta un 30% de amortiguación; el tubo cilíndrico este hecho de acero S-355, los vástagos de acero 42 CrMo4 y las válvulas hidráulicas de acero fundido.

---

<sup>40</sup> MAGEBA [en línea]. [ consultado 24 de noviembre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/GTgyic>

*Ilustración 15. Amortiguador RESTON-SA*

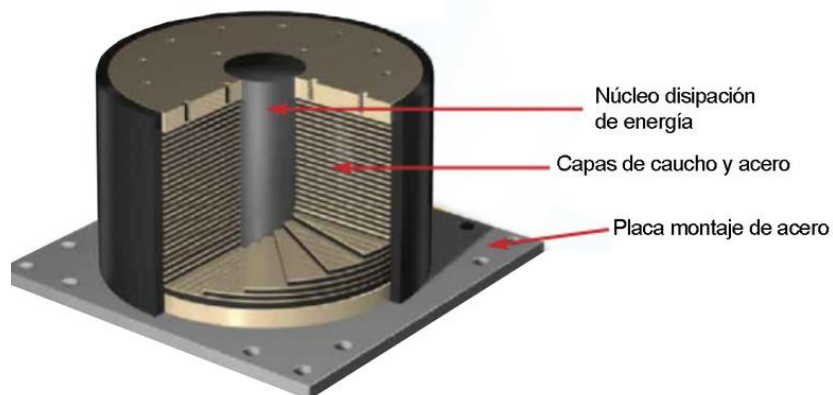


Fuente: <https://goo.gl/cWmL7X> [citado el 24 noviembre 2017]

#### **7.1.4. Aisladores sísmicos con núcleo de plomo**

La función de los aisladores de base es aumentar la flexibilidad y disminuir la aceleración espectral, es decir, que la disipación de energía se da en forma de calor. <sup>41</sup> El amortiguamiento es del 25-30% para aisladores con núcleo de plomo (Ilustración 16. Aislador Sísmico Con Núcleo De Plomo).

*Ilustración 16. Aislador Sísmico Con Núcleo De Plomo*



Fuente: <https://goo.gl/mTe95W> [citado el 25 noviembre 2017]

---

<sup>41</sup> EYM productos técnicos [en línea]. [ consultado 24 de noviembre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/ehQNmd>

La empresa colombiana que fabrica este tipo de aisladores es **ESCOBAR Y MARTINEZ**, disponen de tres tipos de aisladores con núcleo de plomo, en los cuales varían las características de composición de la siguiente manera:

- Aislador con núcleo de plomo tipo 1: <sup>42</sup> El acero de la lámina superior va anclada a la placa vulcanizada en el bloque de neopreno con tornillos
- Aislador con núcleo de plomo Tipo 2: <sup>43</sup> Las dos placas del aislador van unidas mediante vulcanización al bloque de neopreno
- Aislador con núcleo de plomo Tipo 3: <sup>44</sup> La placa superior e inferior van ancladas por medio de tornillos.

### **7.1.5 Aisladores sísmicos sin núcleo de plomo**

Son aisladores de caucho de alta resistencia, el cual proporciona fuerza restauradora elástica y amortiguación. Es un sistema usado para la protección sísmica de diversos tipos de estructuras.

### **7.1.6 Aislador de Péndulo de Fricción (FPS)**

<sup>45</sup>Consiste en una superficie deslizante esférica de acero inoxidable pulido y el deslizador articulado, que está revestido con un material compuesto de alta capacidad de soporte basado en politetrafluoroetileno (teflón) que tiene un bajo coeficiente de fricción (aproximadamente 5 a 7%). Los apoyos están sellados e instalados con la superficie deslizante boca abajo para evitar la contaminación de la interface de deslizamiento

---

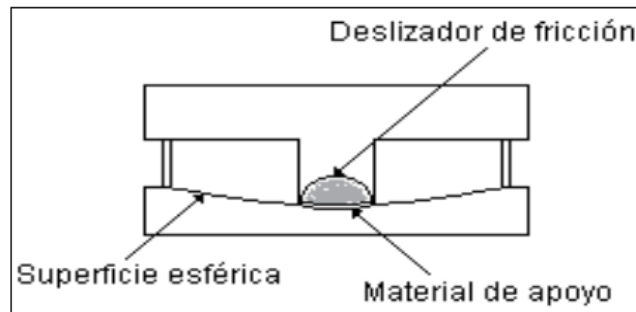
<sup>42</sup> Ibid.

<sup>43</sup> Ibid

<sup>44</sup> EYM productos técnicos [en línea]. [ consultado 24 de noviembre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/ehQNmd>

<sup>45</sup> Universidad de las fuerzas armadas. Aisladores de base elastomericos y FPS. [en línea]. [ consultado 07 de diciembre de 2018]. Disponible en internet: <https://goo.gl/Wqsw2E>

Ilustración 17 Esquema Aislador FPS



Fuente: <https://goo.gl/dqfMks> [citado el 07 diciembre 2018]

## 7.2 MATRIZ DE COMPARACION ENTRE DISIPADORES Y AISLADORES DE ENERGIA

Los mecanismos de disipación de energía, como se menciona en el numeral 7.1, pueden ser los disipadores o los aisladores de energía. Por lo tanto, para establecer cuál es el mecanismo que mejor se adecúa al proyecto, se evaluaron parámetros como el periodo de la estructura, frecuencia de registro sísmico, instalación de los dispositivos en obra, costo de cada uno a nivel de proyecto, la capacidad de disipación y el uso en Colombia. Con estos ítems se establecieron los puntajes de acuerdo con la importancia para el presente proyecto, los puntajes que se establecieron fueron los siguientes:

Tabla 7.1.4-1 Puntajes para calificación

CALIFICACIÓN	
ITEM	PUNTAJE
Periodo de la estructura	10
Frecuencia de registro sísmico	10
Instalación en obra	20
Análisis estructural	10
Costo a nivel proyecto	20
Capacidad de disipación	10
Uso en Colombia	20
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Teniendo en cuenta estos parámetros, los resultados para los disipadores de energía, con la información secundaria recopilada se tiene lo siguiente

Tabla 7.1.4-2 Evaluación parámetros disipadores de energía

<b>DISIPADOR</b>			
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>PUNTAJE</b>
<b>PERIODO DE LA ESTRUCTURA</b>	El periodo de la estructura no es tan importante. Es común encontrar aplicaciones en estructuras altas (180m) o en estructuras bajas, 15m de altura, en especial con la aplicación de disipadores a fricción (Vezina, Proulx, Pall, & Pall, 1992) en donde estos, en diferencia de otros sistemas de disipación o de aislación sísmica, son independientes de la velocidad y hacen parte integral de la estructura logrando disminuir las aceleraciones hasta en un 75% para periodos similares a los de un edificio bajo y sin aislación.		<b>10</b>
<b>FRECUENCIA DE REGISTRO SÍSMICO</b>	El deslizamiento del dispositivo cambia la frecuencia natural de la estructura lo que permite alterar el modo fundamental durante un sismo severo, es decir, que se pretende que la frecuencia natural de vibración del disipador se aproxime a la frecuencia fundamental del dispositivo, logrando así que el comportamiento del sistema corresponda a uno de menor rigidez que el modo propio fundamental, pero con un amortiguamiento mayor	Los disipadores igualan y contiene la vibración de la edificación	<b>5</b>
<b>INSTALACIÓN EN OBRA</b>	Cuando se usan disipadores sísmicos a fricción en línea, al ser independientes de la velocidad y de la rotación, estos permiten una flexibilidad mayor en la instalación, pues desde el inicio del análisis estructural se pueden incluir y planear más fácilmente porque su comportamiento es modelado como cualquier otro elemento de viga, columna o diagonal. El ingeniero tiene mucha flexibilidad de instalarlos donde no comprometan el uso arquitectónico del edificio.	Permiten mejorar el calendario de intervención en un proyecto porque se pueden instalar gradualmente cuando se habilitan espacios.	<b>20</b>
<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL</b>	La integración de disipadores sísmicos al diseño estructural tiene un grado de complejidad alto para aquellos dispositivos que son dependientes de la velocidad como los disipadores viscosos y los disipadores visco-elásticos. Encontrar dimensiones de diseño óptimas para los aparatos es un ejercicio que solo oficinas bien equipadas pueden realizar porque la velocidad juega un papel crucial.	Los disipadores sísmicos a fricción en línea solicitan al ingeniero un conocimiento básico de diseño estructural para integrarlos a un proyecto. La fuerza es siempre constante, entonces el ingeniero solo necesita dos parámetros, Fuerza y Desplazamiento.	<b>7</b>

<b>DISIPADOR</b>			
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>PUNTAJE</b>
<b>COSTO A NIVEL PROYECTO</b>	El uso de disipadores puede incrementar el costo de la edificación en aproximadamente un 6,13% <sup>46</sup>	Es importante aclarar, que el incremento de costos está directamente relacionado a las especificaciones del edificio, su uso, su ubicación y la oferta de estos productos en el mercado	<b>13</b>
<b>CAPACIDAD DE DISIPACIÓN</b>	Con disipadores se obtiene hasta un 30% adicional de amortiguación, reduciendo así considerablemente las cargas de diseño sobre los elementos estructurales adyacentes		<b>10</b>
<b>USO EN COLOMBIA</b>	<sup>47</sup> El uso de los disipadores sísmicos en Colombia se ve reflejado en proyectos de que requieren reforzamiento estructural, en los que se han implementado disipadores a fricción como disipadores de fluido viscoso. Algunos ejemplos de esto son la Fundación Valle de Lili en Cali, El hospital San Juan de Dios en Armenia y hospital San Vicente de Paul en Medellín, Hospital Tunal y Clínica Fray Bartolomé de las Casas en Bogotá.	A pesar de encontrar una gran cantidad de proyectos de reforzamiento con disipadores de energía en Colombia. Los disipadores aun no suelen ser muy utilizados en proyectos nuevos. En Colombia hay muy pocas empresas que manejen estos dispositivos. Algunas de las principales empresas son Efeprimace (f'c) y Tecnocientific	<b>15</b>

<sup>46</sup> López Rogelio, Castillo Tomas y Méndez Eduardo, Jalisco 2014. Rehabilitación estructural de un edificio de 16 niveles mediante disipadores de energía.

<sup>47</sup> Tecnocientific [en línea]. [ consultado 09 de diciembre de 2018]. Disponible en internet:

Tabla 7.1.4-3 Evaluación parámetros aisladores sísmicos

<b>AISLADOR</b>			
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>PUNTAJE</b>
<b>PERIODO DE LA ESTRUCTURA</b>	los aisladores brindan a una estructura convencional (no aislada y fija en la base) una mayor “flexibilidad” mediante la alteración de su periodo natural. Esta flexibilidad tiende a aumentar el periodo de la estructura entre 1 y 1.5seg generalmente, tanto así que el periodo convencional de las estructuras aisladas es generalmente referenciado a 2seg (Constantinou & Tadjbakhsh, 1985)	El aumento del periodo de una estructura requiere que así mismo, la estructura este aislada de los edificios colindantes una mayor distancia a la empleada normalmente	<b>5</b>
<b>FRECUENCIA DE REGISTRO SÍSMICO</b>	Cuando la frecuencia sísmica es muy alta y con periodos de movimiento del suelo muy cortos, estructuras con periodos bajos pueden correr el riesgo de resonancia. Para estos casos, los aisladores sísmicos son definitivamente la solución por escoger (Kelly, 1997).	los aisladores tienen la capacidad de separar la frecuencia natural del edificio de la frecuencia del registro sísmico.	<b>10</b>
<b>INSTALACIÓN EN OBRA</b>	Los aisladores sísmicos pueden considerarse en un nivel moderado-alto de dificultad de instalación cuando se les compara con la construcción tradicional de cimentaciones. Hay que tener mucho cuidado con tolerancias en su instalación lo que implica tener que usar equipos un poco más sofisticados para la construcción de cimentaciones que aquellos a los que los constructores están acostumbrados para construcción estándar (Maholtra, Carson, & Pall, 2004).		<b>5</b>
<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL</b>	Es necesario que el ingeniero estructural maneje por lo menos conceptos básicos del análisis vibracional. Es necesario que entienda como la velocidad de aplicación de la fuerza del sismo afectará el comportamiento de la estructura. Nuevas tecnologías que permiten aplicar aislación en edificios altos, aumentando los periodos inclusive en el rango de 2 y 3 segundos incluyen amortiguamiento adicional (damping) en el aislador mismo.	Requiere que el ingeniero estructural tenga experticia para el diseño de edificaciones aisladas. Mucho amortiguamiento (damping) transmitirá fuerzas excesivas, y muy poco de él, hará el periodo fundamental excesivamente largo e ineficiente.	<b>4</b>

<b>AISLADOR</b>			
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>PUNTAJE</b>
<b>COSTO A NIVEL PROYECTO</b>	El uso de aisladores puede incrementar el costo de la edificación en aproximadamente un 5,24% <sup>48</sup>	Es importante aclarar, que el incremento de costos está directamente relacionado a las especificaciones del edificio, su uso, su ubicación y la oferta de estos productos en el mercado	<b>20</b>
<b>CAPACIDAD DE DISIPACIÓN</b>	El amortiguamiento conseguido, esta entre el 10% y el 16% para aisladores sísmicos de solo goma (HDRB High Damping Rubber Bearing), y del 25 al 30% para aisladores con núcleo de plomo (LRB Lead Core Rubber Bearing) (*)		<b>10</b>
<b>USO EN COLOMBIA</b>	<sup>49</sup> En Colombia las primeras implementaciones fueron en la construcción de los puentes Helicoidal y Estampilla de las autopistas del Café. En edificaciones las primeras colocaciones fueron en las clínicas Comfandi Imbanaco en la ciudad de Cali; en los bloques de las universidades Católica y de Caldas en Manizales; <sup>50</sup> el edificio Terrasole en la avenida 30 de Agosto y 2 bloques de la clínica Los Rosales en Pereira. (+)	Una de las empresas líderes en la fabricación y diseño de estos dispositivos es Escobar & Martínez, quienes cuentan con una línea de productos técnicos (PTE) en la se comercializan aisladores sísmicos de solo goma (HDRB High Damping Rubber Bearing) y aisladores con núcleo de plomo (LRB Lead Core Rubber Bearing)	<b>10</b>

<sup>48</sup> López Rogelio, Castillo Tomas y Méndez Eduardo, Jalisco 2014. Rehabilitación estructural de un edificio de 16 niveles mediante disipadores de energía.

<sup>49</sup> EYM [en línea]. [ consultado 09 de diciembre de 2018]. Disponible en internet: <https://goo.gl/6dLf2F>

<sup>50</sup> TORO, Juan. Aislamiento sísmico para edificaciones en Pereira. En: El Diario. Bogotá. 08, mayo, 2016. Sec economía. Disponible en internet: <https://goo.gl/p8Q1qo>

Realizando la comparación de los resultados obtenidos anteriormente se tiene lo siguiente:

*Tabla 7.1.4-4 Resumen de resultados evaluación de dispositivos*

<b>TOTALES</b>		
<b>ITEM</b>	<b>DISIPADORES</b>	<b>AISLADORES</b>
Periodo de la estructura	10	5
Frecuencia de registro sísmico	5	10
Instalación en obra	20	5
Análisis estructural	7	4
Costo a nivel proyecto	13	20
Capacidad de disipación	10	10
Uso en Colombia	15	10
<b>TOTAL</b>	<b>80</b>	<b>64</b>

De acuerdo a la Tabla 7.1.4-4, con un puntaje de 80 de los disipadores de energía con respecto a un puntaje de 64 de los aisladores, el dispositivo con mejor desempeño para la presente investigación son los disipadores de energía, debido a que son los que controlan más el periodo de vibración de la edificación, su instalación es más practica en obra y se han implementado en varias construcciones en Colombia.

### **7.3 COMPARACION DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DISIPADORES DE ENERGIA**

De acuerdo con el numeral 7.1.1, se tienen diferentes tipos de disipadores de energía, por lo tanto, es necesario evaluar las ventajas y desventajas de cada uno de estos elementos, en el cual se tienen los siguientes resultados.

Tabla 7.3-1 Ventajas y Desventajas de los disipadores de energía

	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>FLUIDO VISCOSO</b>	Activado a bajos desplazamientos	Posibles fugas del líquido sellado
	Las propiedades son independientes de la frecuencia y temperatura	Para su cálculo es necesario conocer la velocidad del sismo
	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>A FRICCIÓN</b>	Gran energía disipada por ciclo	Las condiciones de la interfaz de deslizamiento pueden cambiar con el tiempo
	Insensibilidad a la temperatura ambiental	Se debe verificar de una manera rigurosa la calidad del disipador importado
	Su cálculo se facilita debido a que se pueden diseñar como un cortaviento o diagonal	
	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>VISCO-ELÁSTICO</b>	No precisan de una fuerza umbral para disipar energía	Son sensibles a los cambios de temperatura, frecuencia y deformación
	No cambian significativamente los periodos de vibración, con lo cual resulta posible linealizar el comportamiento estructural	Para conseguir un aumento del amortiguamiento a valores que reduzcan la respuesta estructural es necesaria una gran cantidad de dispositivos
		Posible desunión y desprendimiento del material visco elástico
	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>METÁLICO</b>	Insensibilidad a la temperatura ambiental.	Después de un evento sísmico fuerte, se requiere reemplazar.
	Comportamiento histérico estable.	Para los disipadores tipo TADAS y ADAS, no se cuenta con el punto de fluencia exacto y pueden presentar fallas dependiendo de la velocidad de deformación.

Con los resultados obtenidos, el disipador de energía a fricción es el que más se adapta al proyecto con base en las ventajas que tiene y que posterior a un sismo no es necesario cambiarlos. De igual forma es un disipador que en Colombia se ha implementado en distintos hospitales del país, como la Fundación Valle de Lili en Cali, Hospital Tunal y la Clínica Fray Bartolomé de las Casas en Bogotá, entre otros. Además, la empresa colombiana Tecnocientific S.A realiza la instalación y la importación de estos dispositivos. Por lo tanto, es el disipador seleccionado por sus facilidades de instalación, la capacidad de disipación de energía y adaptación al medio ambiente

#### 7.4 DISEÑO DE LA PLANTA FÍSICA DE LA EDIFICACIÓN

Para el diseño de la planta física, se toma como plano-ejemplo la arquitectura de un proyecto de oficinas ubicado en Bogotá, teniendo en cuenta que solo se toman como base las medidas del lote en el que será construido, cuyas medidas son 46 x 26.5 m. Sin embargo, los planos fueron suministrados por la empresa constructora debido a que conocían el propósito académico de la solicitud realizada. Los planos ejemplo son los que se muestran a continuación:

*Ilustración 18 Planta Física de referencia*



Fuente: proyecto KNR 125

Teniendo las dimensiones totales de la edificación, se realizó el diseño de los elementos estructurales de la superestructura. Para ello se realiza el avalúo de cargas, en el cual se tomaron los valores de la NSR-10 relacionados a continuación:

## 7.4.5 Avalúo de Cargas

### 7.4.5.1 Espesor de la placa

Para el presente proyecto se considera un entrepiso de placa maciza con vigas descolgadas, armada en una dirección, donde la separación de las viguetas está definida en función de la capacidad de la losa. Por este motivo para determinar el espesor mínimo de la placa, se tiene en cuenta la tabla C.9.5(a), del título C, del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. Que otorga una serie de ecuaciones para elementos que soporten particiones livianas. De la cual se toma la ecuación de vigas o losas nervadas en una dirección con ambos extremos continuos.

*Ilustración 19 Espesor de la placa*

	Espesor mínimo, <b>h</b>			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que <b>NO</b> soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

$$\frac{l}{21} = \frac{2.4}{21} = 0.11$$

La luz libre de la placa de entre piso es de 2.4 y se puede evidenciar en la ilustración 19. Por consiguiente, se obtiene que espesor mínimo de la placa es de 0.11 m

### 7.4.5.2 Carga Viva

Según el tipo de uso de la edificación (Tabla 7.4.6.5-1), se tiene un valor de carga viva, por lo tanto, el uso es tipo II (institucional), puesto que es un edificio de oficinas, el valor es:

Tabla 7.4.5.2-1 Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

<b>Oficinas</b>	Corredores y escaleras	3.0
	Oficinas	2.0
	Restaurantes	5.0

Fuente: NSR 10 – Título B

### 7.4.5.3 Acabados

Se toman en cuenta los muros, en los cuales según la NSR 10 la carga que aportan estos elementos no estructurales es de 1.0 kN/m<sup>2</sup>.

### 7.4.5.4 Fachada y particiones

Los valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales cuando no efectúe un análisis más detallado, en la tabla B.3.4.3-1 de la NSR 10, especifica un valor de 1.0 kN/m<sup>2</sup>, para particiones móviles de altura total.

Tabla 7.4.5.4-1 Valores mínimos de Carga Muerta

Ocupación		Fachada y particiones (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Fachada y particiones (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
<b>Reunión</b>	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin escaleras	1.0	1.8	100	180
<b>Oficinas</b>	Particiones móviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mampostería	2.0	1.8	200	180
<b>Educativos</b>	Salones de clase	2.0	1.5	200	150
<b>Fábricas</b>	Industrias livianas	0.8	1.6	80	160
<b>Institucional</b>	Internados con atención a los residentes	2.0	1.6	200	160
	Prisiones, cárceles, reformatorios y centros de detención	2.5	1.8	250	180
	Guarderías	2.0	1.6	200	160
<b>Comercio</b>	Exhibición y venta de mercancías	1.5	1.4	150	140
<b>Residencial</b>	Fachada y particiones de mampostería	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas	2.0	1.4	200	140
<b>Almacenamiento</b>	Almacenamiento de materiales livianos	1.5	1.5	150	150
<b>Garajes</b>	Garajes para vehículos con capacidad de hasta 2000 kg	0.2	1.0	20	100

Fuente: NSR 10 – Título B

Tabla 7.4.5.4-2 Avalúo de cargas

<b>DIMENSIONES GENERALES DE PISOS</b>						
Espesor de la placa+ vigas=					0,40	m
Espesor de vigueta=					0,2	m
Placa Maciza=					0,11	m
Espacio entre viguetas =	Alto=	0,29	m	Ancho=	2,4	m
Espesor de acabados=					0,05	m

USO=	II	INSTITUCIONAL	CARGA VIVA=	2,00	kN/m <sup>2</sup>
------	----	---------------	-------------	------	-------------------

<b>AVALUO DE CARGAS PARA PISO</b>						
-----------------------------------	--	--	--	--	--	--

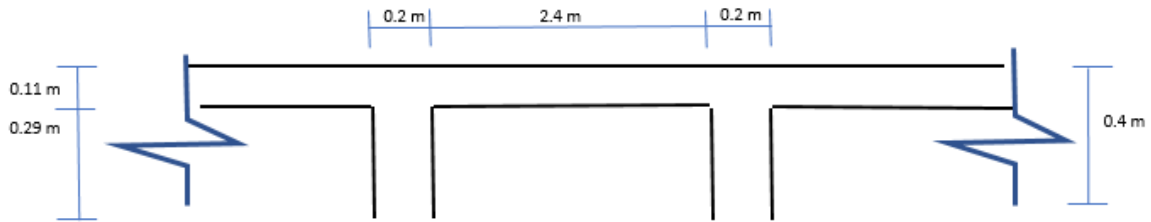
Placa maciza:					2,64	kN/m <sup>2</sup>
Viguetas:					0,54	kN/m <sup>2</sup>
Acabados:					1,0	kN/m <sup>2</sup>
Fachada y particiones fijas:					1,0	kN/m <sup>2</sup>

CARGA MUERTA:					5,18	kN/m <sup>2</sup>
CARGA VIVA:					2,00	kN/m <sup>2</sup>
				Q=	7,18	kN/m <sup>2</sup>

Qu (1.2CM+1.6CV)=					9,410	kN/m <sup>2</sup>
FACTOR DE CARGA					1,311	

**Carga de diseño: Wu (piso) = carga sobre viguetas 18,656 kN/m**

Ilustración 20 Esquema de placa de entrepiso



## 7.4.6 Análisis Sísmico

### 7.4.6.1 Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva $A_a$

Teniendo en cuenta que la ubicación del proyecto se estima el valor de la aceleración, según la Tabla A.2.3-2 del título A de la NSR 10 para Bogotá tiene un valor de 0.2

Tabla 7.4.6.1-1 Valor de  $A_a$  para las ciudades capitales de departamento

CIUDAD	$A_a$
Arauca	0,15
Armenia	0,25
Barranquilla	0,1
Bogotá D.C.	0,15
Bucaramanga	0,25
Cali	0,25
Cartagena	0,1
Cúcuta	0,3
Florencia	0,2
Ibagué	0,2
Leticia	0,05
Manizales	0,25
Medellín	0,2
Mitú	0,05
Mocoa	0,3
Montería	0,15
Neiva	0,3
Pasto	0,3

CIUDAD	Aa
Pereira	0,25
Popayán	0,25
Puerto Carreño	0,05
Puerto Inírida	0,05
Quibdó	0,3
Riohacha	0,15
San Andrés, Isla	0,1
Santa Marta	0,15
San José del Guaviare	0,1
Sincelejo	0,15
Tunja	0,2
Valledupar	0,1
Villavicencio	0,3
Yopal	0,2

NSR 10 – Título A

#### 7.4.6.2 Coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva $A_v$

Teniendo en cuenta que Bogotá cuenta una microzonificación sísmica, establecida mediante el decreto 523 del 16 de diciembre de 2010. el valor de la aceleración ( $A_v$ ), para la ciudad de Bogotá es de 0.20

*Tabla 7.4.6.2-1 Valor de  $A_v$  para la ciudad de Bogotá*

##### Parámetros.

$A_a$  = Aceleración horizontal pico efectiva de diseño.  $A_a = 0.15$  g

$A_v$  = Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño.  $A_v = 0.20$  g

$A_0$  = Aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie (g)

$F_a$  = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos

$F_v$  = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios

$I$  = Coeficiente de importancia

$S_a$  = Aceleración espectral (g)

$T$  = Período de vibración (s)

$T_C$  = Período corto (s)

$T_L$  = Período largo (s)

Fuente: Decreto 523 del 16 de diciembre de 2010

### 7.4.6.3 Factor de amplificación de la aceleración en la zona de periodos cortos (Fa)

De acuerdo con el decreto 523, el coeficiente de diseño Fa depende de la zona en la cual se encuentre localizado el proyecto, por lo tanto, para esta investigación se considera una zona de lacustre 500.

Tabla 7.4.6.3-1 Factor de amplificación de la aceleración de periodos cortos Fa

COEFICIENTES DE DISEÑO DECRETO 523	
zona	Fa
Cerro	1,35
Piedemonte A	1,65
Piedemonte B	1,95
Piedemonte C	1,8
Lacustre - 50	1,4
Lacustre 100	1,3
Lacustre 200	1,2
Lacustre 300	1,05
Lacustre 500	0,95
Lacustre aluvial 200	1,1
Lacustre aluvial 300	1
Aluvial 50	1,35
Aluvial 100	1,2
Aluvial 200	1,05
Aluvial 300	0,85
Depósito de ladera	1,65

Fuente: Decreto 523

### 7.4.6.4 Factor de amplificación de la aceleración en la zona de periodos intermedios Fv

Según el decreto 523, el coeficiente de diseño Fa depende de la zona en la cual se encuentre localizado el proyecto, por lo tanto, para esta investigación se considera una zona de lacustre 500.

Tabla 7.4.6.4-1 Factor de amplificación de la aceleración periodos intermedios

<b>COEFICIENTES DE DISEÑO DECRETO 523</b>	
<b>zona</b>	<b>Fv</b>
Cerro	1,3
Piedemonte A	2
Piedemonte B	1,7
Piedemonte C	1,7
Lacustre - 50	2,9
Lacustre 100	3,2
Lacustre 200	3,5
Lacustre 300	2,9
Lacustre 500	2,7
Lacustre aluvial 200	2,8
Lacustre aluvial 300	2,5
Aluvial 50	1,8
Aluvial 100	2,1
Aluvial 200	2,1
Aluvial 300	2,1
Depósito de ladera	1,7

Fuente: Decreto 523

#### 7.4.6.5 Coeficiente de importancia

De acuerdo con la Norma Sismo resistente, el coeficiente de importancia depende del grupo de uso de la edificación como se muestra a continuación:

Tabla 7.4.6.5-1 Valores del coeficiente de importancia

<b>VALORES DEL COEFICIENTE DE IMPORTANCIA (I)</b>	
<b>GRUPO DE USO</b>	<b>Coeficiente (I)</b>
IV	1,5
III	1,25
II	1,1
I	1

Fuente: NSR – 10 (Tabla A.2.5-1)

### 7.4.6.6 Periodo de vibración fundamental aproximado ( $T_a$ )

De acuerdo con la NSR-10 para el cálculo del  $T_a$ , se deben conocer dos factores fundamentales para el cálculo de este, los cuales dependen del sistema estructural de resistencia sísmica que haya seleccionado, por lo tanto, en este caso se seleccionó un sistema estructural de pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado y los coeficientes fueron los siguientes:

*Tabla 7.4.6.6-1 Valores de los parámetros para el cálculo del periodo aproximado,  $T_a$*

Valores de los parámetros para el cálculo del periodo aproximado $T_a$		
Sistema estructural de resistencia sísmica	Cta.	$\alpha$
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0,047	0,9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0,072	0,8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0,073	0,75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0,049	0,75

Fuente: NSR-10 (Tabla A.4.2-1)

Una vez obtenido estos valores, se emplea la ecuación A.4.2-3 de la NSR-10

*Ecuación 3 Calculo del periodo aproximado*

$$T_a = C_t h^\alpha$$

Fuente: NSR-10 (Ecuación A.4.2-3)

Siendo así se tiene que el periodo aproximado es de **0,7652 Seg**

#### **7.4.6.7 Periodo máximo permisible de la estructura (T)**

Para poder determinar el valor del periodo máximo permisible es necesario conocer el valor del periodo aproximado ( $T_a$ ) y el coeficiente  $C_u$  el cual depende del coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva ( $A_v$ ) y el factor de amplificación de la aceleración en la zona de periodos intermedios ( $F_v$ ).

*Ecuación 4 Coeficiente para determinar el periodo máximo*

$$C_u = 1.75 - 1.2A_v F_v$$

Fuente: NSR-10 (Ecuación A.4.2-2)

Teniendo los parámetros requeridos para determinar el valor del periodo máximo admisible, se tiene la siguiente ecuación:

*Ecuación 5 Periodo máximo permisible*

$$T = C_u T_a$$

### **7.4.7 Espectro de Diseño**

#### **7.4.7.1 Periodos de Vibración**

Teniendo en cuenta el espectro elástico de aceleraciones de Diseño como fracción de  $g$ , el cual se muestra en la Ilustración 21, para este estudio se eligieron las siguientes ecuaciones para determinar las variables del espectro de diseño:

Ecuación 6 Periodo de Vibración Inicial

$$T_0 = 0.1 \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

Fuente: NSR 10 (Ecuación A.2.2-6)

Ecuación 7 Periodo de Vibración, en segundos

$$T_C = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a}$$

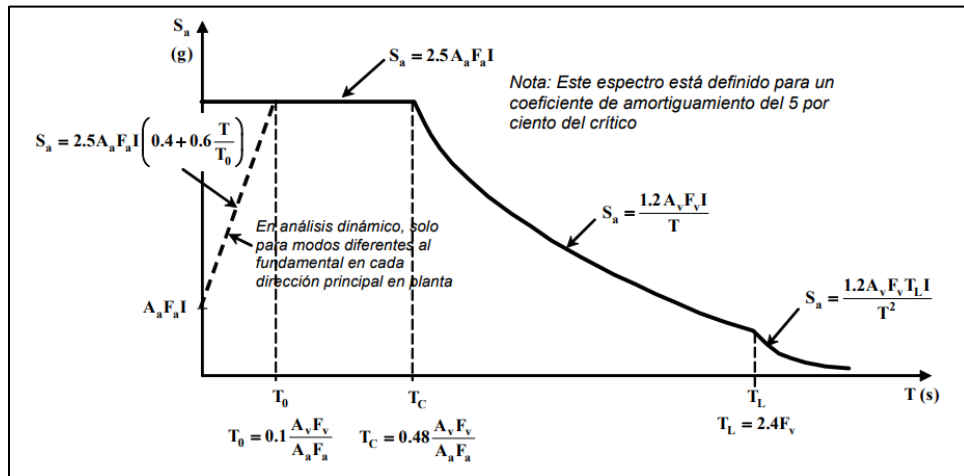
Fuente: NSR 10 (Figura A.2.6-1)

Ecuación 8 Periodo de vibración mayor

$$T_L = 2.4 F_v$$

Fuente: NSR 10 (Ecuación A.2.6-4)

Ilustración 21 Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g



Fuente: NSR 10 (Figura A.2.6-1)

De acuerdo con lo anterior, se obtuvieron valores de  $T_0$  de 0.38,  $T_c$  de 1.82 y de  $T_L$  de 6.48.

### 7.4.7.2 Espectro Elástico de Aceleración Horizontal (Sa)

Una vez obtenidos los valores de periodos de vibración, se deben considerar tres (3) condiciones, con las cuales se determina cual es el valor apropiado para el Sa, las condiciones son las siguientes:

#### 7.4.7.2.1 Para $T < T_0$

*Ecuación 9 Espectro de Aceleración*

$$S_a = 2.5A_a F_a I \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right)$$

Fuente: NSR 10 (Ecuación A.2.6-7)

#### 7.4.7.2.2 Para $T_0 > T < T_c$

*Ecuación 10 Espectro de Aceleración*

$$S_a = 2.5A_a F_a I$$

Fuente: NSR 10 (Ecuación A.2.6-3)

#### 7.4.7.2.3 Para $T_c > T < T_L$

*Ecuación 11 Espectro de Aceleración*

$$S_a = \frac{1.2A_v F_v T_L I}{T^2}$$

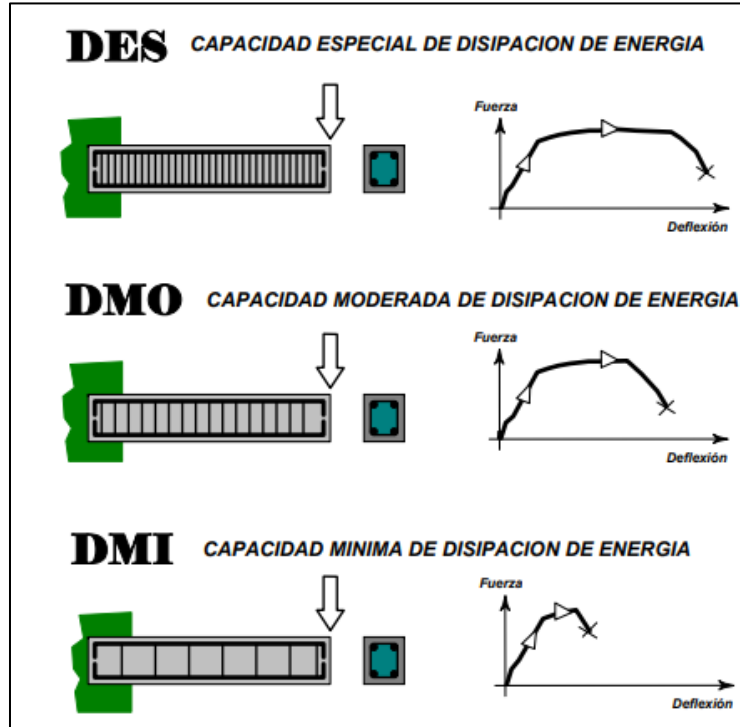
Fuente: NSR 10 (Ecuación A.2.6-5)

Considerando las condiciones mencionadas anteriormente, la condición que cumple con los valores obtenidos anteriormente, es el  $T_c > T < T_L$ , por lo que el espectro horizontal Sa es 0.392.

### 7.4.7.3 Capacidad de Disipación de Energía

Según la NSR 10 se tiene tres (3) opciones que son capacidad especial de disipación de energía (DES), capacidad moderada de disipación de energía (DMO) y capacidad mínima de disipación de energía (DMI).

*Ilustración 22 Definición de la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico*



Fuente: NSR 10 (Figura 7)

La capacidad de disipación de energía se considera que será moderada.

#### 7.4.7.3.1 Grados de Irregularidad

La revisión de la regularidad en planta y altura se hace de acuerdo con la tabla A.3-6 y la tabla A.3-7, título A del Reglamento de Construcción Sismo Resistente de 2010. Al revisar la planta de la estructura no se evidencia ningún tipo de irregularidad, debido a que es totalmente rectangular y no presenta ninguna discontinuidad. Por lo tanto, se le otorga un valor de 1.

Sin embargo, al realizar la revisión de regularidad en altura, se encuentra que la estructura tiene un piso flexible, esto debido a que el primer piso tiene una altura

mayor a la de los demás pisos. Por lo tanto, se adopta un factor de irregularidad en altura de 0.9

Para la revisión de redundancia estructural se revisa la cantidad de pórticos tanto en el sentido X como en el Y, la estructura cuenta con 6 pórticos en un sentido y 7 pórticos en el otro. Así, que se adopta un valor de redundancia estructural de 1.

#### **7.4.7.4 Masa del edificio**

##### **7.4.7.4.1 Coeficiente de capacidad de energía básico ( $R_o$ )**

De acuerdo con la norma colombiana NSR-10, los coeficientes de resistencia ( $\Omega_o$ ) y de capacidad de energía básico ( $R_o$ ), dependen del sistema estructural que se vaya a implementar en la edificación, en este caso es un sistema de pórticos resistentes a momentos, con capacidad de disipación moderada (DMO). De acuerdo con la ilustración 23 (ver a continuación) se obtiene como resultado que el factor de resistencia ( $\Omega_o$ ) es de **3.0** y coeficiente de capacidad de energía básico ( $R_o$ ) es de **5.0**.

Ilustración 23 Coeficiente de resistencia y de capacidad de energía

C. SISTEMA DE PÓRICO RESISTENTE A MOMENTOS		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
				Alta		Intermedia		baja	
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
<b>1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)</b>									
a. De concreto (DES)	el mismo	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DES)	el mismo	7.0 (Nota-3)	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
d. De acero con cerchas dúctiles (DES)	Pórticos de acero resistentes o no a momentos	6.0	3.0	si	30 m	si	45 m	si	sin límite
<b>2. Pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)</b>									
a. De concreto (DMO)	el mismo	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DMO)	el mismo	5.0 (Nota-3)	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos con conexiones rígidas (DMO)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
<b>3. Pórticos resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)</b>									
a. De concreto (DMI)	el mismo	2.5	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
b. De acero (DMI)	el mismo	3.0	2.5	no se permite		no se permite		si	Sin límite
c. Mixtos con conexiones totalmente restringidas a momento (DMI)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	3.0	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
d. Mixtos con conexiones parcialmente restringidas a momento	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	6.0	3.0	no se permite		si	30 m	si	50 m

Fuente: NSR 10 (Tabla A.3-3)

#### **7.4.7.4.2 Coeficiente e capacidad de energía de diseño (R)**

De acuerdo con la norma colombiana NSR-10, el cálculo de este coeficiente es el resultado de multiplicar los grados de irregularidad y el coeficiente de capacidad de energía básico, por lo tanto, se tiene un valor de **4,5**.

#### **7.4.7.4.3 Cortante sísmico en la base (Vs)**

El cortante basal es el resultado de multiplicar el espectro elástico de aceleración horizontal ( $S_a$ ), la masa total del edificio (tabla 7.4.8-1) y la gravedad, por lo tanto, se obtuvo un valor de **23886.67 kN**.

#### **7.4.7.4.4 Exponente K**

Como el periodo fundamental de la estructura ( $T$ ) es de 0.843 segundos, se encuentra entre 0.5 y 2.5 segundos, por lo tanto,  $k = 0.75 + 0.5 T$ , que da como resultado **1.1717**

### **7.4.8 Fuerza Equivalente**

Para el método de la fuerza equivalente se tienen en cuenta que el edificio será de 7 pisos. Debido a que la altura de las vigas es de 0.4 m y la altura a ejes del primer piso es de 4 m, y los otros seis pisos están a 3 m de distancia entre ejes, por lo tanto, el nivel es la altura de cada piso más 0.2 de la viga.

Para calcular la masa de cada piso se hace un estimado de los volúmenes de concreto de los elementos estructurales, con base en los planos arquitectónicos de referencia de la ilustración 18. Se utiliza la unidad de Mega gramos (Mg) para indicar que se está refiriendo a unidades específicamente de masa.

Tabla 7.4.8-1 Fuerza Equivalente

<b>DITRIBUCION DE CARGAS HORIZONTALES POR PISO PARA ANÁLISIS DE DERIVAS</b>					
<b>NIVEL</b>	<b>MASA (Mg)</b>	<b>ALTURA</b>	<b>Mi*H^k</b>	<b>FUERZA (kN)</b>	<b>FUERZA DE DISEÑO (kN)</b>
NIVEL + 22,20	882,36	22	33000,24	6171,604078	1371,46757
NIVEL + 19,20	882,36	19	27791,90	5197,556881	1155,01264
NIVEL + 16,20	882,36	16	22723,37	4249,655086	944,367797
NIVEL + 13,20	882,36	13	17816,23	3331,938051	740,430678
NIVEL + 10,20	882,36	10	13101,24	2450,154817	544,478848
NIVEL + 7,20	882,36	7	8626,20	1613,245213	358,498936
NIVEL + 4,20	919,36	4	4665,47	872,5225945	193,89391
<b>TOTAL =</b>	<b>6213,540971</b>		<b>127724,652</b>		

### 7.4.9 Espectro de diseño

Teniendo en cuenta los resultados del análisis sísmico que son los siguientes se realizó la gráfica del espectro elástico.

*Tabla 7.4.9-1 Resultados análisis sísmico*

NSR-10	
SUELO TIPO E	
Datos	
Aa=	0,15
Av=	0,20
Fa=	0,95
Fv=	2,7
To=	0,38
Tc=	1,82
TL=	6,48
I=	1,10

Fuente: (basado en NSR 10)

Los valores para la construcción de la gráfica y teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 7.4.9-1, se obtuvieron los siguientes valores del periodo y de la aceleración:

*Tabla 7.4.9-2 Periodo y aceleración*

NSR-10	
T(seg)	Sa
0	0,157
0,1	0,219
0,2	0,281
0,3	0,343
0,4	0,392
0,5	0,392
0,6	0,392
0,7	0,392
0,8	0,392
0,9	0,392
1	0,392
1,1	0,392
1,2	0,392

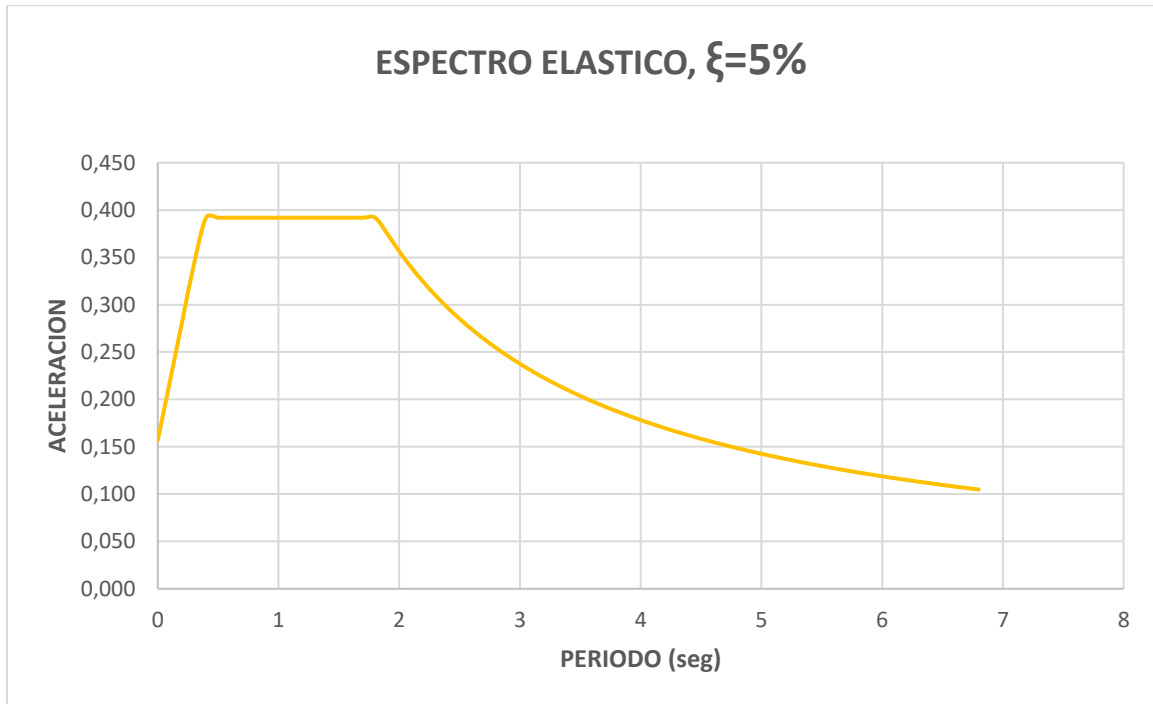
NSR-10	
T(seg)	Sa
1,3	0,392
1,4	0,392
1,5	0,392
1,6	0,392
1,7	0,392
1,8	0,392
1,9	0,375
2	0,356
2,1	0,339
2,2	0,324
2,3	0,310
2,4	0,297
2,5	0,285
2,6	0,274
2,7	0,264
2,8	0,255
2,9	0,246
3	0,238
3,1	0,230
3,2	0,223
3,3	0,216
3,4	0,210
3,5	0,204
3,6	0,198
3,7	0,193
3,8	0,188
3,9	0,183
4	0,178
4,1	0,174
4,2	0,170
4,3	0,166
4,4	0,162
4,5	0,158
4,6	0,155
4,7	0,152
4,8	0,149
4,9	0,145

NSR-10	
T(seg)	Sa
5	0,143
5,1	0,140
5,2	0,137
5,3	0,134
5,4	0,132
5,5	0,130
5,6	0,127
5,7	0,125
5,8	0,123
5,9	0,121
6	0,119
6,1	0,117
6,2	0,115
6,3	0,113
6,4	0,111
6,5	0,110
6,6	0,108
6,7	0,106
6,8	0,105

Fuente: (basado en NSR 10)

El espectro elástico dado como la fracción de la gravedad para un 5% del amortiguamiento crítico, se tiene la siguiente forma del diseño elástico, el cual es necesario para determinar si cumple o no con el diseño. Se obtuvo la siguiente forma:

Ilustración 24 Espectro elástico



Fuente: (basado en NSR 10)

Con lo anterior se tiene certeza de que los valores de periodo de vibración al inicio de la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones ( $T_0$ ), periodo de vibración en segundos en la transición entre la zona de aceleración constante y la parte descendiente del mismo ( $T_c$ ) y el periodo de vibración en segundos del inicio de la zona de desplazamiento para periodos largos ( $T_I$ ) cumplen con los rangos que se establecieron y las condiciones mencionadas anteriormente.

#### 7.4.10 Diseño de la viga

Para el predimensionamiento de la viga y de acuerdo con los parámetros establecidos en la NSR 10, se tiene que las dimensiones de la viga son de 30 X 40, de las cuales se realizó con la siguiente ecuación:

*Ecuación 12 Predimension viga*

$$\frac{l}{19} = \frac{7.6}{19} = 0.4$$

$$\frac{l}{19} = \frac{5.2}{19} = 0.3$$

Fuente: NSR 10

#### 7.4.10.1 Diseño de la viga a flexión

Los datos de entrada se basan en la pre-dimensión y en el avalúo de cargas, del cual se tienen los siguientes datos para realizar el cálculo de la viga

*Tabla 7.4.10.1-1 Datos de entrada para el cálculo a flexión de la viga*

<b>DISEÑO VIGA A FLEXION</b>		
<b>L</b>	5,2	m
<b>H</b>	400	mm
<b>Bw</b>	300	mm
<b>dt</b>	350	mm
<b>d</b>	50	mm
<b>f`c</b>	21	Mpa
<b>Fy</b>	420	Mpa
<b>β</b>	0,85	
<b>Wu</b>	71,52	KN/m
<b>W</b>	54,53	KN/m
<b>AFER</b>	7,60	m
<b>U</b>	1,311	
<b>F.S.</b>	1,457	
<b>Φflex</b>	0,9	

Se calcula el momento ultimo y el momento máximo sobre la viga obteniendo los siguientes resultados:

*Tabla 7.4.10.1-2 Momentos en la viga*

<b>Momento ultimo sobre la Viga</b>		
<b>Mu</b>	184,32	KN*m
<b>Momento máximo de la Viga</b>		
<b>ρmin 1</b>	0,0027	
<b>ρmin 2</b>	0,0033	
<b>ρmin</b>	0,0033	
<b>ρmax</b>	0,01355	

$\Phi$ Mn1	158,134	kN*m
------------	---------	------

Teniendo el momento se realiza el chequeo necesario para saber si es doblemente armada

Tabla 7.4.10.1-3 Chequeo de momentos

Revisión diseño doblemente armada		
Mu	< o =	$\Phi$ Mn1
184,32	< o =	158,134

Como la condición de Mu <= a  $\Phi$  Mn1, se debe diseñar como una viga doblemente armada.

Tabla 7.4.10.1-4 Diseño viga doblemente armada

Diseño Viga Doblemente Armada		
Mu	=	$\Phi$ Mn
$\Phi$ Mn2	26,188	KN*m
d'	0,05	m
As	0,00165	m <sup>2</sup>
As	1654	mm <sup>2</sup>
Varillas	3#8 y 1#9	
# varillas arriba	0	
# varillas abajo	4	
Área de varillas	2175	mm <sup>2</sup>
Chequeo de d		
z	50	mm
d	350	mm
Armadura a compresión		
A`s	0,0002	m <sup>2</sup>
A`s	231	mm <sup>2</sup>
Aumento de área A`s		
F`s	402,15	MPa
A`s	0,0002	m <sup>2</sup>
A`s	241,1807	mm <sup>2</sup>
Varillas	2 # 3	
Área de varillas	774	mm <sup>2</sup>
Chequeo de Cuantía		
$\rho$ - $\rho$ '	0,013342857	
0,013342857	< / =	0,01355

Diseño Viga Doblemente Armada		
cumple		
$\rho-\rho'$ (min)	0,0172	

El número de varillas elegido se determinó de con base en la tabla C.3.5.3-1 Dimensiones nominales de barras de refuerzo, del Título C de la Norma Sismo Resistente colombiana NSR-10:

Tabla 7.4.10.1-5 Varillas comerciales

Designación de la barra	Diámetro de referencia en pulgadas	Dimensiones nominales			Masa Kg/m
		Diámetro mm	Área mm <sup>2</sup>	Perímetro mm	
Nº 2	1/4"	6,4	32	20	0,25
Nº3	3/8"	9,5	71	30	0,56
Nº 4	1/2"	12,7	129	40	0,994
Nº 5	5/8"	15,9	199	50	1,552
Nº 6	3/4"	19,1	284	60	2,235
Nº 7	7/8"	22,2	387	70	3,042
Nº 8	1"	25,4	510	80	3,973
Nº 9	1-1/8"	28,7	645	90	5,06
Nº 10	1-1/4"	32,3	819	101,3	6,404
Nº 11	1-3/8"	35,8	1006	112,5	7,907
Nº 14	1-3/4"	43	1452	135,1	11,38
Nº 18	2-1/4"	57,3	2581	180,1	20,24

Fuente: Título C de la NSR 10

Se debe realizar el chequeo de la cuantía mínima, cuantía y la cuantía máxima, y se tiene lo siguiente:

Tabla 7.4.10.1-6 Chequeo de cuantías

Revisión de la viga diseñada				
$\rho-\rho'$ (min)	<	$\rho-\rho'$	<	$\rho_{max}$
0,0033	<	0,0133429	<	0,01355

Como cumple las condiciones establecidas, la viga diseñada cumple con todos los parámetros a flexión. Finalmente se calcula  $\Phi Mn2$  el cual debe ser mayor o igual momento ultimo para completar el diseño.

*Tabla 7.4.10.1-7 Revisión de momentos*

Calculo de $\Phi Mn2$		
$\Phi Mn2$	27,35	KN*m
$\theta$	0,109882353	m
$\Phi Mn1$	186,68	KN*m
$\Phi Mn$	214,03	KN*m
$\Phi Mn$	$\geq$	<b>Mu</b>
214,03	$\geq$	184,32

#### 7.4.10.2 Diseño de viga a cortante

Los datos de entrada para el cálculo correspondiente a la viga a cortante son los siguientes:

*Tabla 7.4.10.2-1 Datos de entrada viga a cortante*

DISEÑO VIGA A CORTANTE		
<b>L</b>	5,2	m
<b>H</b>	400	mm
<b>Bw</b>	300	mm
<b>dt</b>	350	mm
<b>d</b>	50	mm
<b>f'c</b>	21	Mpa
<b>Fy</b>	420	Mpa
<b><math>\Phi</math>cortante</b>	0,75	

Se obtiene el valor de la carga ultima y del factor de seguridad

*Tabla 7.4.10.2-2 Carga ultima*

<b>Obtención Carga Ultima</b>		
<b>W</b>	54,53	KN/m
<b>Wu</b>	71,520	KN/m
<b>U</b>	1,311	
<b>F.S</b>	1,749	

El cortante de diseño es el siguiente

*Tabla 7.4.10.2-3 Cortante de diseño*

<b>Obtención del Cortante de Diseño</b>		
<b>Ra</b>	185,951	KN
<b>Rb</b>	185,951	KN
<b>Vd</b>	166,864	KN

Se debe tener la resistencia del concreto, la fuerza cortante que tendrán los flejes y la separación de los mismo, se tienen los siguientes resultados:

*Tabla 7.4.10.2-4 Parámetros de diseño*

<b>Obtención Resistencia Proporcionada por concreto</b>		
<b><math>\Phi V_c</math></b>	61349,23	N
<b><math>\Phi V_c</math></b>	61,35	KN
<b>Obtención de la fuerza Cortante que asumen los flejes</b>		
<b><math>\Phi V_s</math></b>	105,51	KN
<b>Obtención Separación de los Flejes</b>		
<b>Tipo de Fleje</b>	#3	
<b>Area del Fleje</b>	71	mm <sup>2</sup>
<b># de Ramas</b>	2	
<b>S</b>	148,3723188	mm <sup>2</sup>
<b>Revisión de la Separación (S)</b>		

Obtención Resistencia Proporcionada por concreto		
<b>d/2</b>	175	mm
<b>Vs</b>	>	119089,69
105,51	>	119089,69
Como no cumple, la separación S no se reduce a la mitad por lo tanto queda igual		

El área mínima de flejes y la separación son los siguientes:

*Tabla 7.4.10.2-5 Área y revisión de diseño*

Área Mínima de Flejes		
<b>S1</b>	699,7051061	mm
<b>S2</b>	568	mm
<b>S1</b>	>/=	<b>S2</b>
699,7051061	>/=	568
Separación definitiva		
<b>So</b>	105,51	mm
Revisión		
<b>Φ Vs</b>	</=	238179,4
105,51	</=	238,2
Distancia a la cual necesita refuerzo		
<b>Relación de Triángulos</b>	1,475	m
<b>L</b>	1,830	m

El diseño final de la viga a cortante es el siguiente:

*Tabla 7.4.10.2-6 Diseño final de viga a cortante*

Diseño Final		
<b># flejes</b>	17,3	
<b>Flejes</b>	16	C./10,7 cm
<b>Área</b>	71	
<b># flejes por norma no son necesarios</b>		
<b># flejes</b>	18,67	19

### 7.4.11 Diseño de viguetas

Teniendo en cuenta los valores las vigas, se eligió una medida para las viguetas de 20 x 40. Para el cálculo de las viguetas se tienen los siguientes datos de entrada:

*Tabla 7.4.11-1 Datos de entrada cálculo de vigueta*

DATOS DE ENTRADA		
<b>L</b>	7,6	m
<b>Fy</b>	420	Mpa
<b>F`c</b>	21	Mpa
<b>Wu</b>	22,59	kN/m
<b>h</b>	400	mm
<b>bw</b>	200	mm
<b>Aferencia</b>	2,4	m
<b>Vu</b>	85,82	kN
<b>Vud</b>	77,92	kN
<b>d</b>	0,35	m
<b>Φ</b>	0,75	
<b>ΦVc</b>	40,90	kN

Los requisitos para la vigueta son los siguientes:

*Tabla 7.4.11-2 Cálculos para la vigueta*

REQUISITOS PARA VIGUETA		
<b>Espaciamiento Max. NO Resistente</b>		
<b>Smax</b>	0,2625	m
<b>Espaciamiento Max. Resistente</b>		
<b>Smax</b>	0,175	m
<b>Par flejes #2 de 1 Rama</b>		
<b>ΦVnc (0,175)</b>	61,06	kN
<b>ΦVnc (0,15)</b>	64,42	kN
<b>ΦVnc (0,125)</b>	69,12	kN
<b>ΦVnc (0,10)</b>	76,18	kN
<b>ΦVnc (0,075)</b>	87,94	kN
Ninguno cumple son menores a Vud		
<b>ΦVnc (0,175)</b>	85,63	kN
<b>ΦVnc (0,15)</b>	93,08	kN
<b>ΦVnc (0,125)</b>	103,52	kN

$\Phi V_{nc} (0,10)$	119,18	kN
$\Phi V_{nc} (0,075)$	145,27	kN
<b>Vud</b>	<	<b><math>\Phi V_{nc}</math></b>
77,92	<	145,27
<b>Flejes</b>	c / 0,10	
<b>Flejes</b>	c/0,075	
<b># Flejes c/0,175</b>	0,03	4 espacios, 5 flejes
<b>Se van a calcular los flejes hasta <math>\Phi V_c</math></b>		
<b># Flejes c/0,10</b>	13,978	14 espacios, 15 flejes

Finalmente se realiza el cálculo del refuerzo a flexión de las viguetas, dando como resultado lo siguiente:

*Tabla 7.4.11-3 Diseño de la vigueta*

<b>Calculo de refuerzo a flexión</b>		
<b>Mu (+)</b>	163,064	kN*m
<b><math>\Phi</math></b>	0,9	
<b><math>\rho</math></b>	0,0250	
<b><math>\rho_{min}</math></b>	0,00273	
<b><math>\rho_{max} (0,04)</math></b>	0,01548	
<b><math>\rho</math></b>	>	<b><math>\rho_{max}</math></b>
0,0250	>	0,01548
<b>Se diseña como viga doblemente armada</b>		
<b><math>\rho (0,05)</math></b>	0,0135	
<b>d`</b>	0,0500	
<b>(As - A`s)</b>	0,000948	m <sup>2</sup>
<b>a</b>	0,112	m
<b>Mn2</b>	117,181	kN*m
<b><math>\Phi</math></b>	0,9	
<b>Mn1</b>	64,00	kN*m
<b>A`s</b>	0,0005	m <sup>2</sup>
<b>As</b>	0,0015	m <sup>2</sup>
<b><math>\rho</math></b>	0,0208	
<b><math>\rho`</math></b>	0,0073	
<b><math>\rho_{cy}</math></b>	0,0245	
<b><math>\rho</math></b>	<	<b><math>\rho_{cy}</math></b>
0,0073	<	0,0245
<b>a</b>	0,112	m
<b>c</b>	0,131	m

<b>f's</b>	371,43	Mpa
<b>A`srev</b>	449,2086	mm2
<b>A srev</b>	1397,4899	mm2
<b>ρ</b>	0,0200	
<b>ρ (0,005)</b>	0,0200	
<b>As</b>	2#7 y 2#8 = 1794	mm2
<b>A`s</b>	1#10 = 819	mm2
<b>Mu (-)</b>	54,35	kN*m
<b>Φ</b>	0,9	
<b>ρ</b>	0,0063	
<b>ρmin</b>	<b>ρ</b>	<b>ρmax</b>
<b>0,00273</b>	0,0063	0,01548

Como se cumple la condición de las cuantías, el diseño es correcto y las dimensiones elegidas son aptas para soportar la carga.

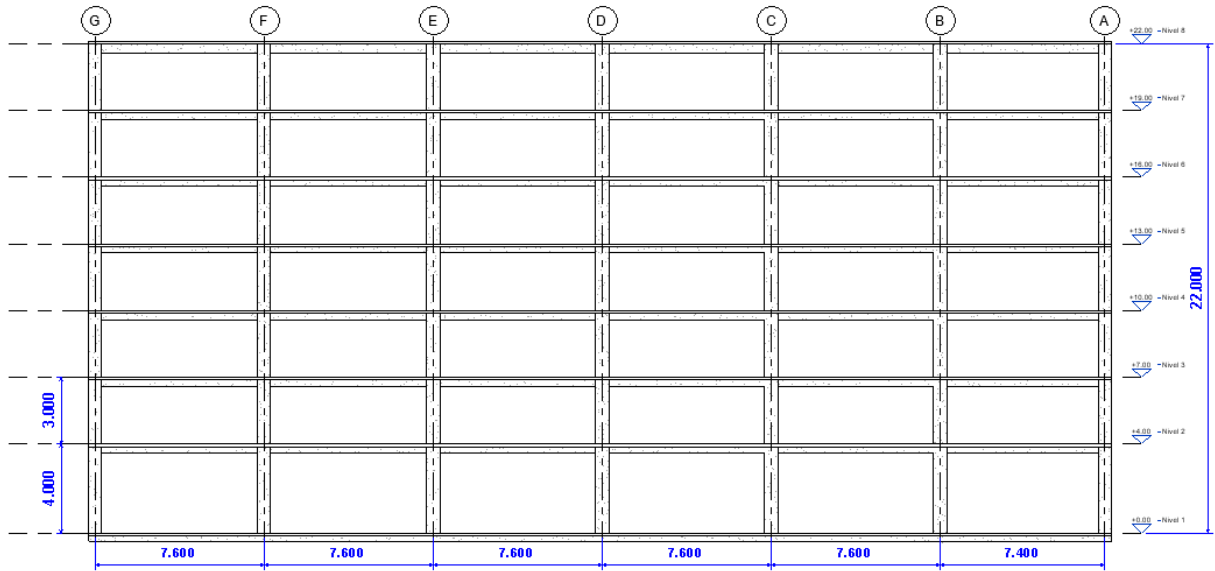
El diseño de las edificaciones teniendo los resultados anteriormente planteados, fue el siguiente plano estructural de planta:

*Ilustración 25 Diseño de las edificaciones*



Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 26 Ejes y niveles de las edificaciones



Fuente: (REVIT® 2018)

## 7.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA CONVENCIONAL

### 7.5.5 Modelación ETABS ® 2016

Los datos de entrada para la modelación del diseño convencional es la caracterización del material en el que se va a realizar la edificación, en este caso es concreto de 21 MPA. Los datos ingresados son los siguientes:

*Ilustración 27 Datos de entrada concreto ETABS ®*

**Material Property Data**

**General Data**

Material Name: Concreto21MPa

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color:   Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density       Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 23,5631 kN/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 2402,77 kg/m<sup>3</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 21538 MPa

Poisson's Ratio, U: 0,2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0,0000099 1/C

Shear Modulus, G: 8974,17 MPa

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

**Advanced Material Property Data**

Nonlinear Material Data...      Material Damping Properties...

Time Dependent Properties...

OK      Cancel

Fuente: (ETABS ® 2016)

Los datos de entrada para la modelación del diseño convencional es la caracterización del material en el que se va a realizar la edificación, en este caso es acero de 420 MPa. Los datos ingresados son los siguientes:

Ilustración 28 Datos de entrada acero ETABS ®

**Material Property Data**

**General Data**

Material Name: 420 MPa

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: [Color Selection] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 76.9729 kN/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 7849.047 kg/m<sup>3</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 199947.98 MPa

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

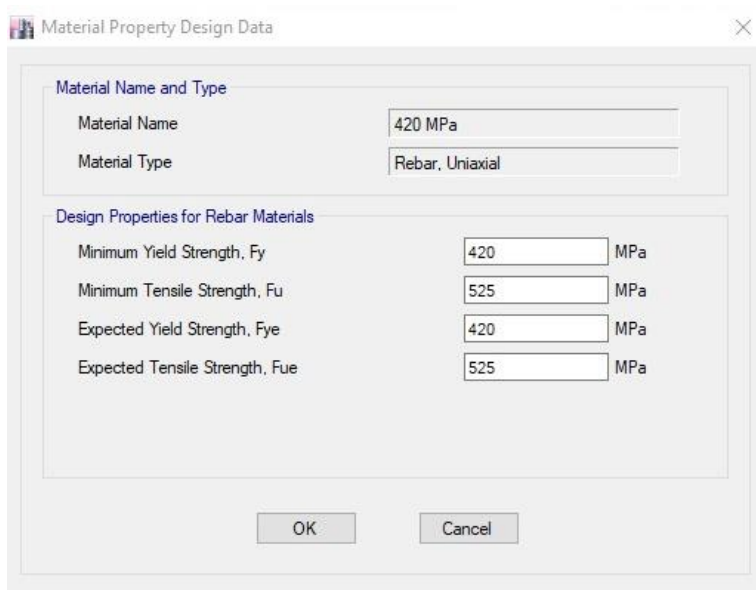
**Advanced Material Property Data**

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Fuente: (ETABS ® 2016)

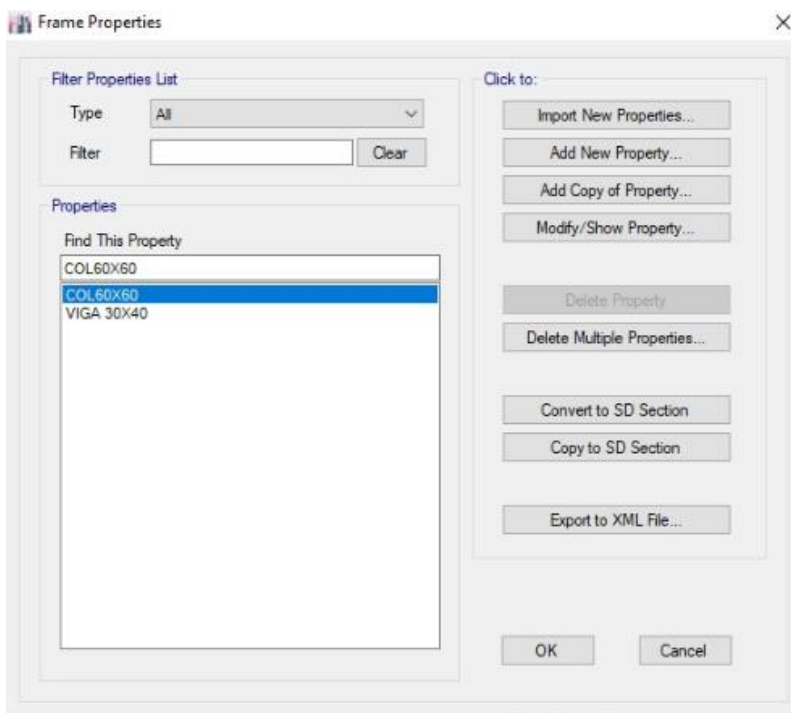
*Ilustración 29 Especificaciones del acero*



Fuente: (ETABS ® 2016)

Se deben especificar el tipo y las dimensiones de las secciones con las cuales se va a realizar la modelación, de la siguiente manera:

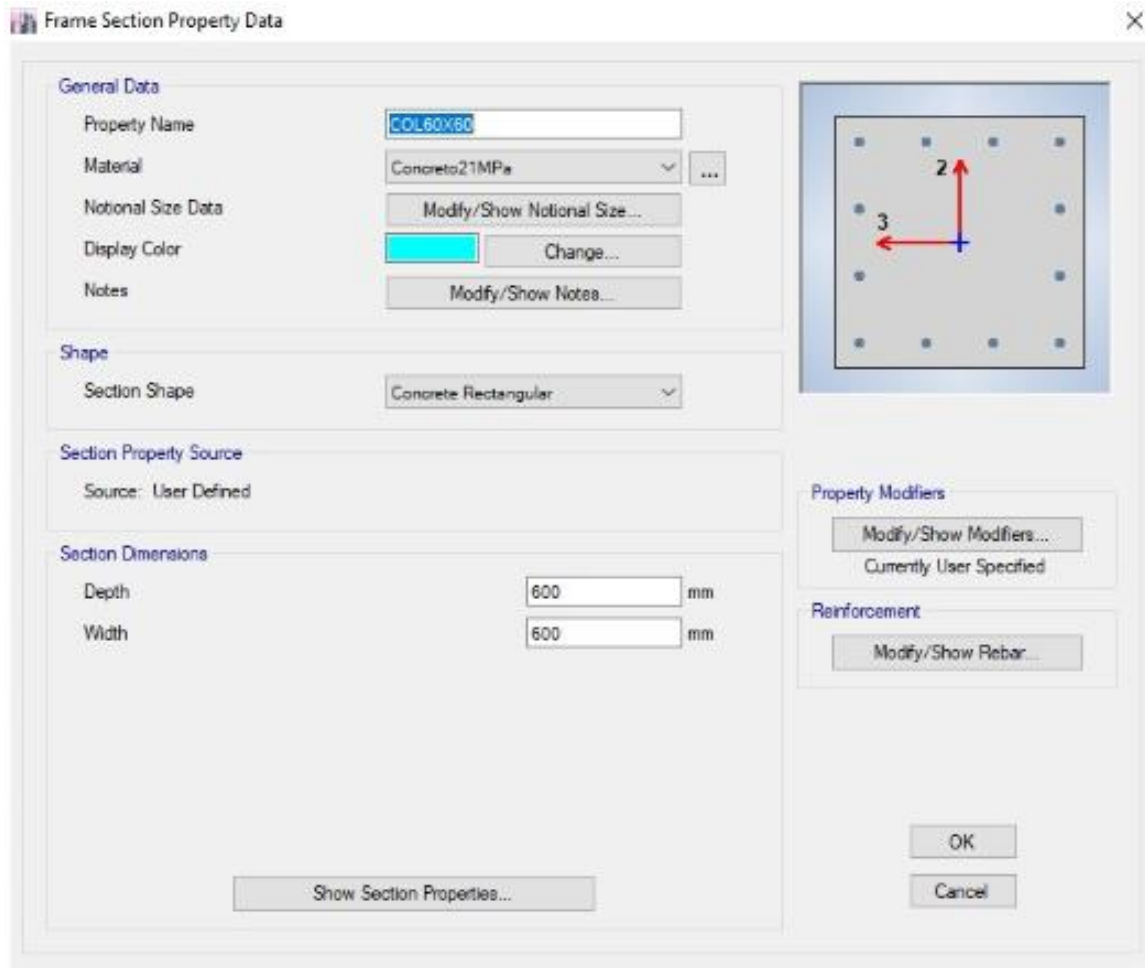
*Ilustración 30 Secciones de vigas y columnas*



Fuente: (ETABS ® 2016)

Una vez ingresado el nombre de las secciones se les asignan las propiedades para cada una de ellas.

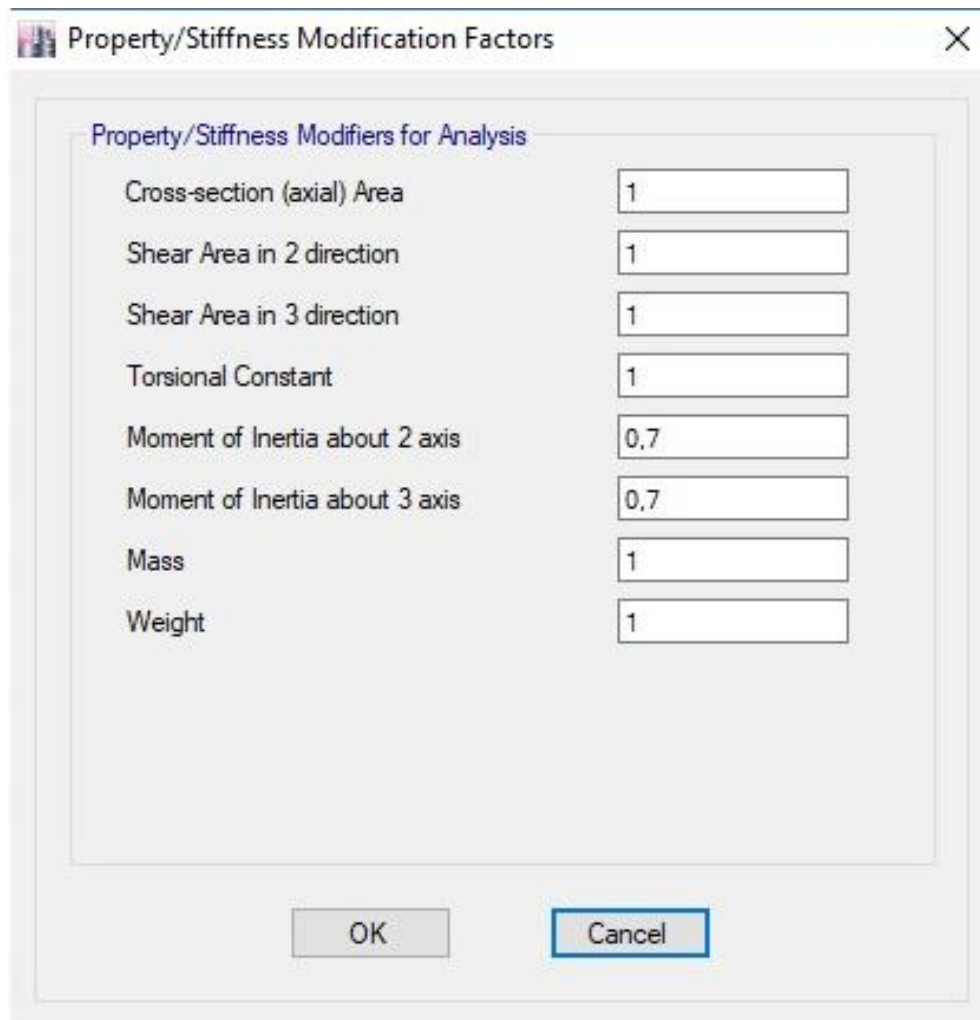
*Ilustración 31 Propiedades de las columnas*



Fuente: (ETABS ® 2016)

Según el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en título C numeral CR10.10.4.1(b), se permite adoptar un factor de fisura de 0.7 para columnas. El cual se debe asignar antes de comenzar la modelación como se observa en la Ilustración 322.

*Ilustración 32 Asignación de factor de fisura en las columnas*



The screenshot shows a dialog box titled "Property/Stiffness Modification Factors" with a close button (X) in the top right corner. The main area is titled "Property/Stiffness Modifiers for Analysis" and contains a list of properties with corresponding input fields. The values are as follows:

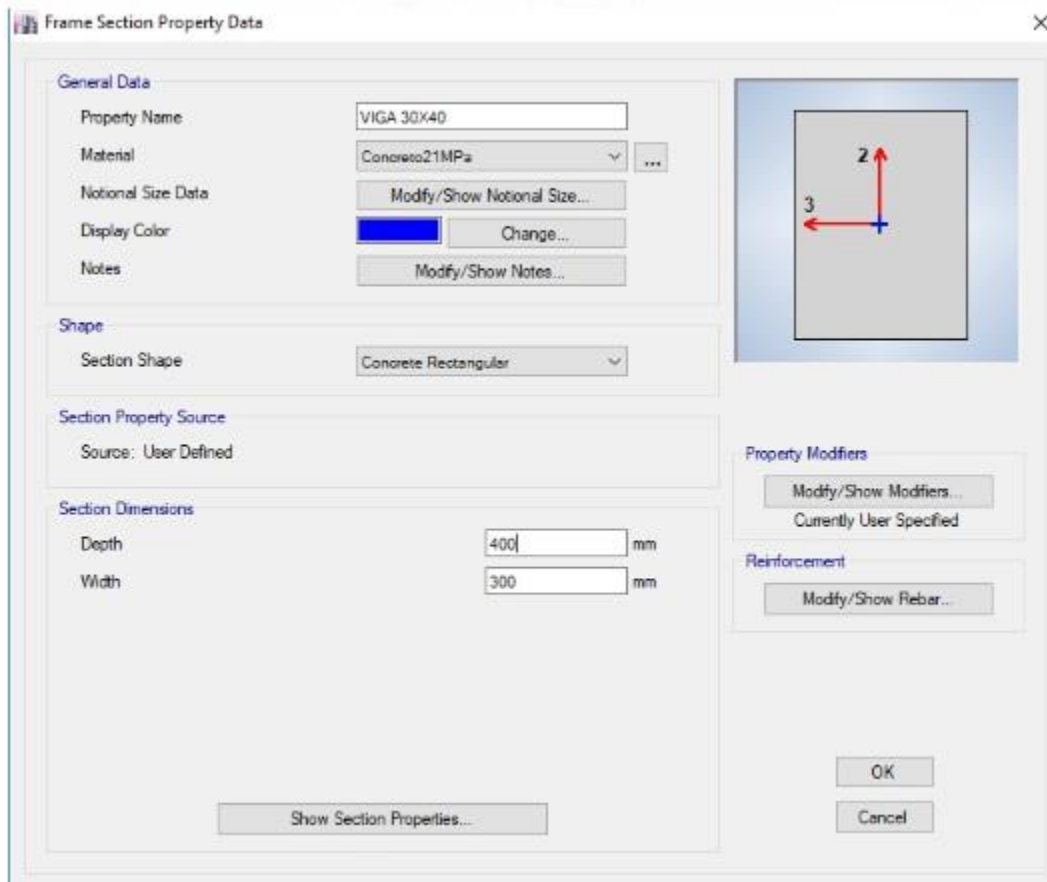
Property	Value
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0,7
Moment of Inertia about 3 axis	0,7
Mass	1
Weight	1

At the bottom of the dialog, there are two buttons: "OK" and "Cancel". The "Cancel" button is highlighted with a blue border.

Fuente: (ETABS ® 2016)

Se realiza la caracterización de las vigas de la siguiente manera:

*Ilustración 33 Caracterización de las vigas*

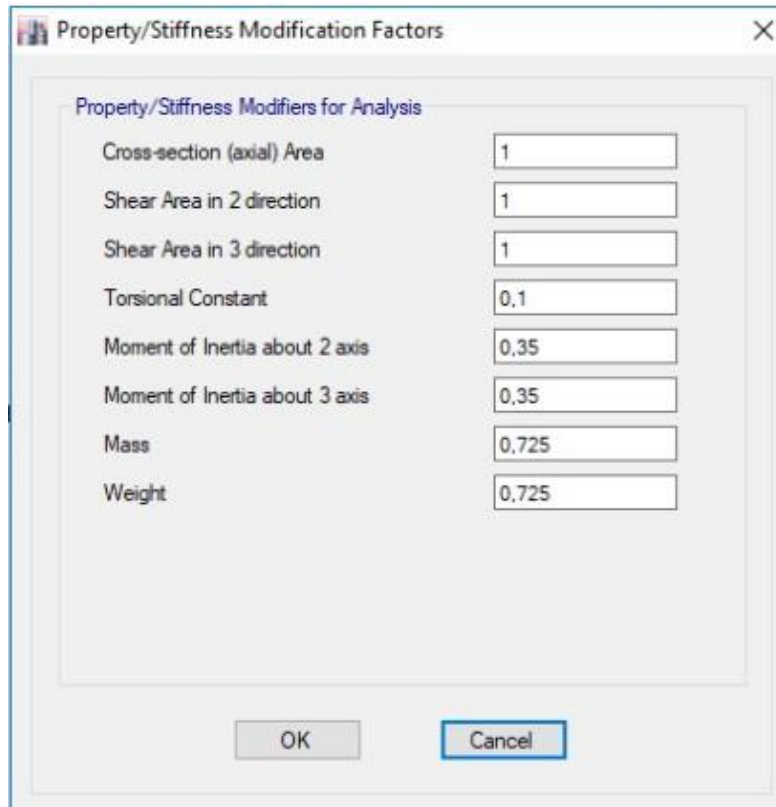


Fuente: (ETABS ® 2016)

Según el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en título C numeral CR10.10.4.1(b), se permite adoptar un factor de fisura de 0.35 para vigas. El cual debe ser asignado como se muestra en la ilustración 33.

Además, como el peso propio de la placa ya está incluido en el avalúo de cargas, se determina el porcentaje de viga que el programa debe tener en cuenta al calcular el peso propio de la estructura. Por medio de una relación de alturas se establece que porcentaje que debe tener se debe tener en cuenta es de 72.5% del peso de la viga

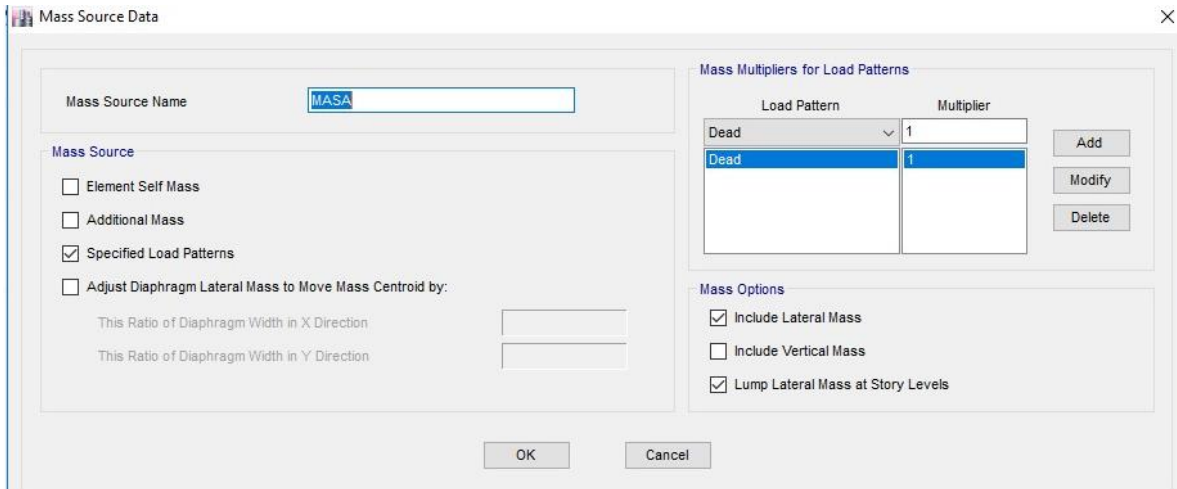
Ilustración 34 Asignación de factor de fisuras en las vigas



Fuente: (ETABS ® 2016)

Posteriormente se debe asignar el coeficiente de masa

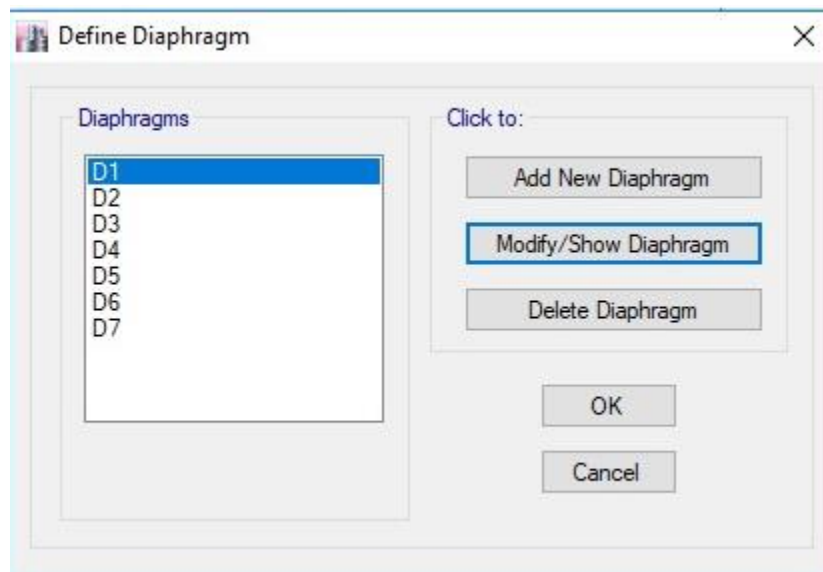
Ilustración 35 Coeficiente de masa



Fuente: (ETABS ® 2016)

Se definen los diafragmas para la placa, en este caso como la edificación es de siete pisos se asignan siete (7) diafragmas.

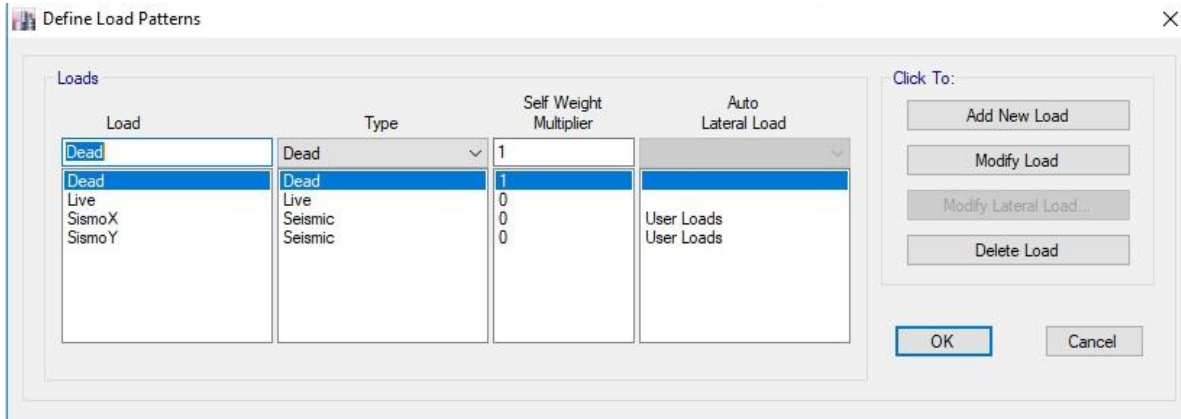
Ilustración 36 Diafragmas de cada placa



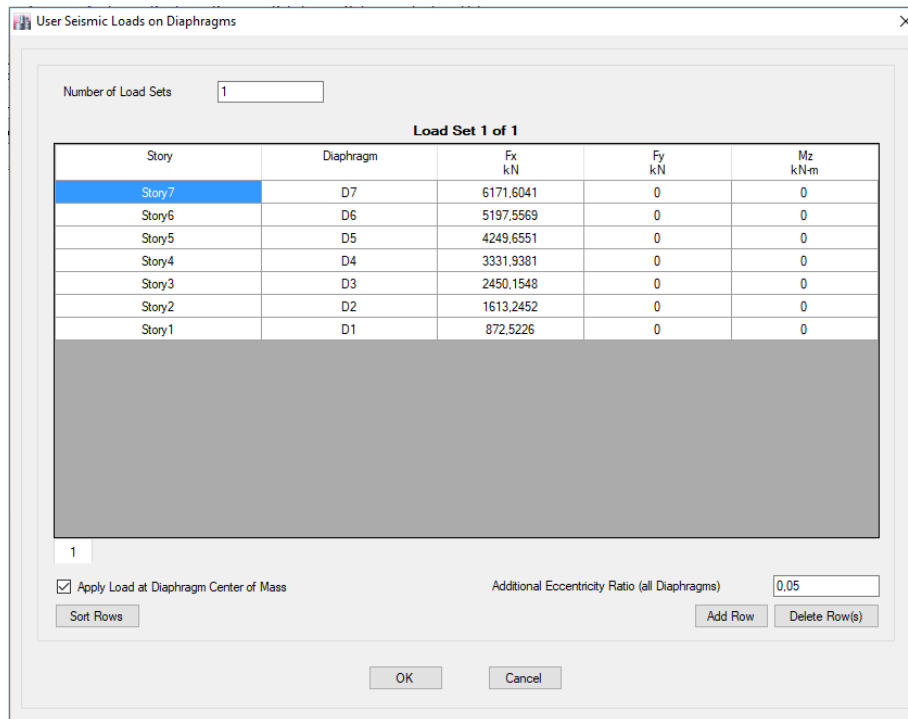
Fuente: (ETABS ® 2016)

Se definen los patrones de carga y fuerzas horizontales aplicadas en el centro de masa con una excentricidad del 5%.

Ilustración 37 Patrones de carga

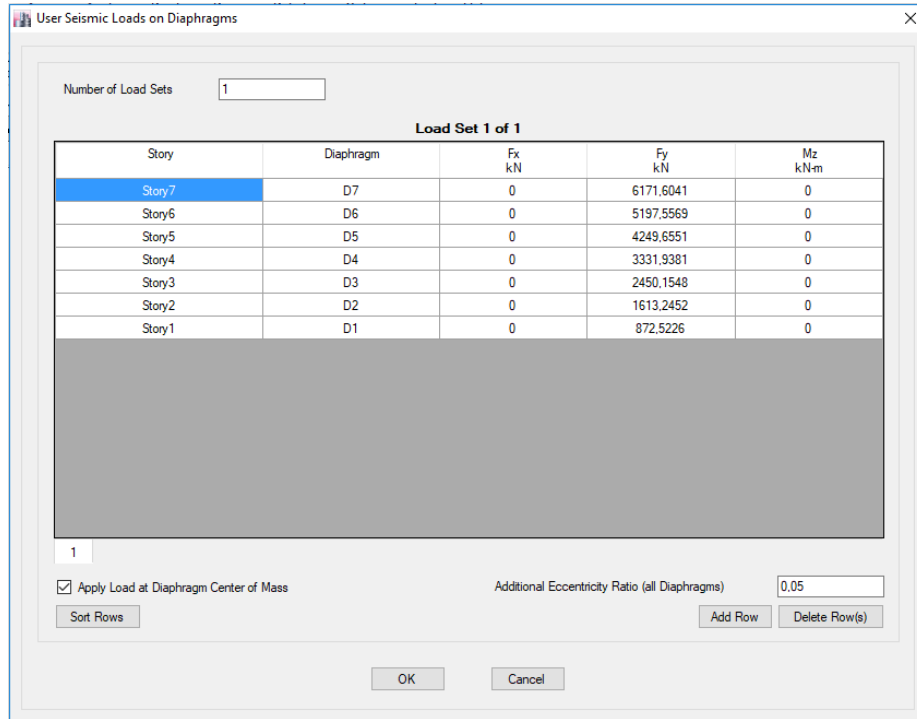


Fuente: (ETABS® 2016)  
Ilustración 38 Asignación de la fuerza en X



Fuente: (ETABS® 2016)

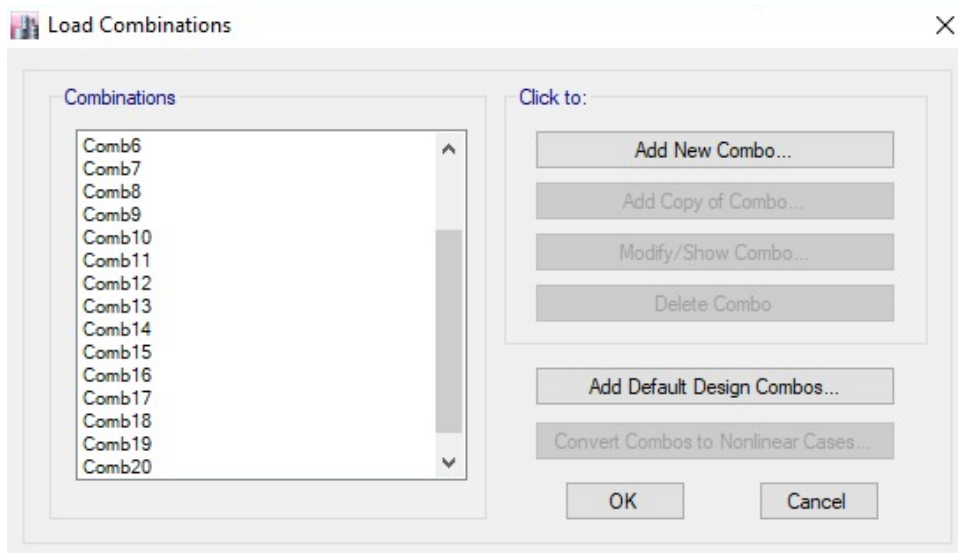
Ilustración 39 Asignación de la Fuerza en Y



Fuente: (ETABS® 2016)

Se deben asignar las combinaciones de carga como lo solicita la norma técnica sismo resistente colombiana (NSR 10) en el título A.

Ilustración 40 Combinaciones de carga



Fuente: (ETABS® 2016)

Para determinar cada una de las combinaciones se tuvo en cuenta el coeficiente de capacidad de energía básico (Ro), el cual tiene un valor de 5.0. Por lo tanto, se toma el 100% de la carga sísmica en un sentido, y el 30% de la carga en otro sentido, estas cargas son divididas sobre el coeficiente Ro y se obtienen las combinaciones que se utilizan como datos de entrada en el software.

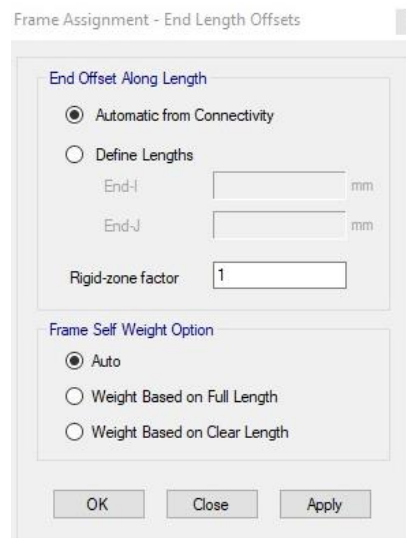
*Ilustración 41 Datos de entrada combinaciones de carga*

<b>Combo 1</b>	1,4	D							
<b>Combo 2</b>	1,2	D	+	1,6	L				
<b>Combo 3</b>	1,2	D	+	1	L				
<b>Combo 4</b>	1,2D	+	1,0L	+	0,20	SXMOD	+	0,06	SYMOD
<b>Combo 5</b>	1,2D	+	1,0L	+	0,20	SXMOD	-	0,06	SYMOD
<b>Combo 6</b>	1,2D	+	1,0L	-	0,20	SXMOD	+	0,06	SYMOD
<b>Combo 7</b>	1,2D	+	1,0L	-	0,20	SXMOD	-	0,06	SYMOD
<b>Combo 8</b>	1,2D	+	1,0L	+	0,20	SYMOD	+	0,06	SXMOD
<b>Combo 9</b>	1,2D	+	1,0L	+	0,20	SYMOD	-	0,06	SXMOD
<b>Combo 10</b>	1,2D	+	1,0L	-	0,20	SYMOD	+	0,06	SXMOD
<b>Combo 11</b>	1,2D	+	1,0L	-	0,20	SYMOD	-	0,06	SXMOD
<b>Combo 12</b>	0,9D								
<b>Combo 13</b>	0,9D			+	0,20	SXMOD	+	0,06	SYMOD
<b>Combo 14</b>	0,9D			+	0,20	SXMOD	-	0,06	SYMOD
<b>Combo 15</b>	0,9D			-	0,20	SXMOD	+	0,06	SYMOD
<b>Combo 16</b>	0,9D			-	0,20	SXMOD	-	0,06	SYMOD
<b>Combo 17</b>	0,9D			+	0,20	SYMOD	+	0,06	SXMOD
<b>Combo 18</b>	0,9D			+	0,20	SYMOD	-	0,06	SXMOD
<b>Combo 19</b>	0,9D			-	0,20	SYMOD	+	0,06	SXMOD
<b>Combo 20</b>	0,9D			-	0,20	SYMOD	-	0,06	SXMOD

Fuente: (ETABS ® 2016)

Se asigna el factor de rigidez como se muestra a continuación:

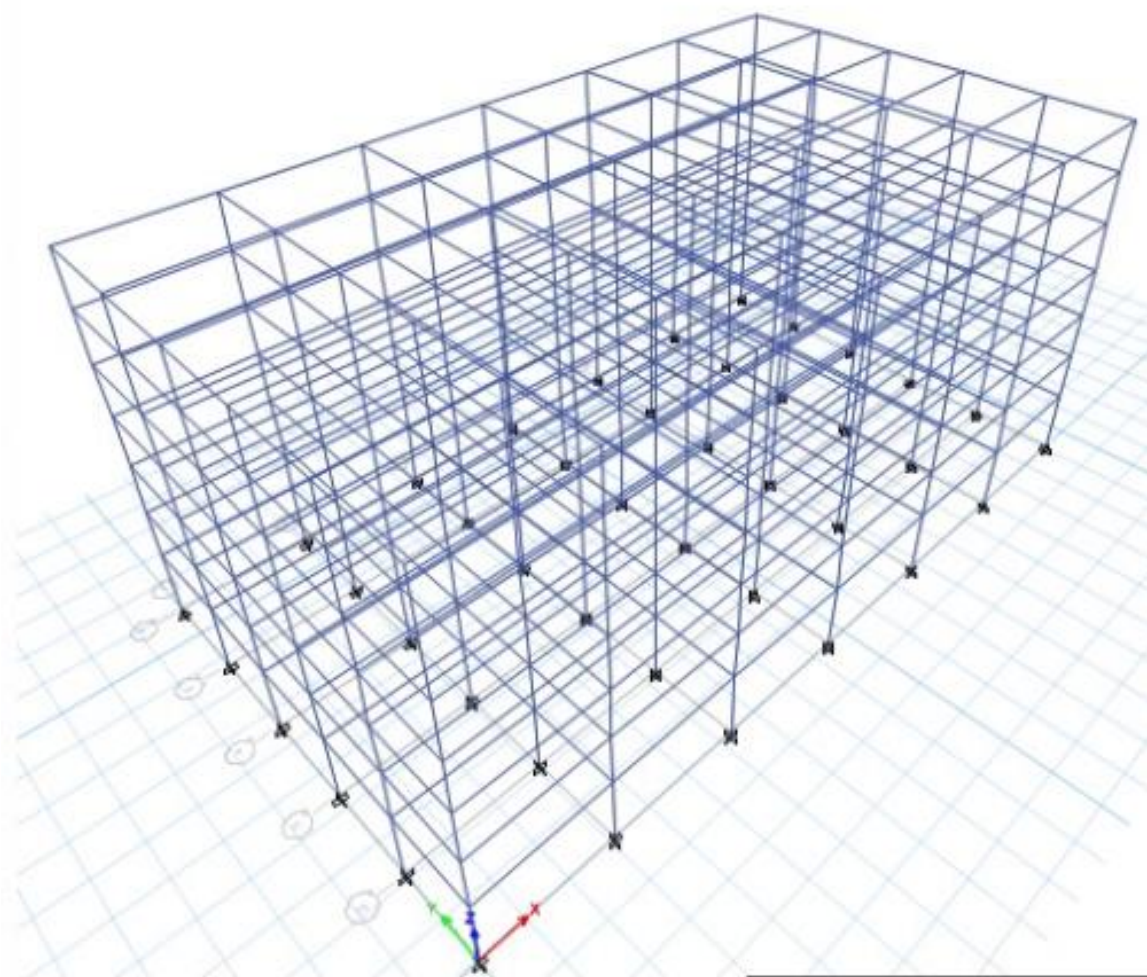
### Ilustración 42 Factor de rigidez



Fuente: (ETABS ® 2016)

Se asignan columnas de 60X60 y vigas de 30X40, obteniendo el siguiente modelo:

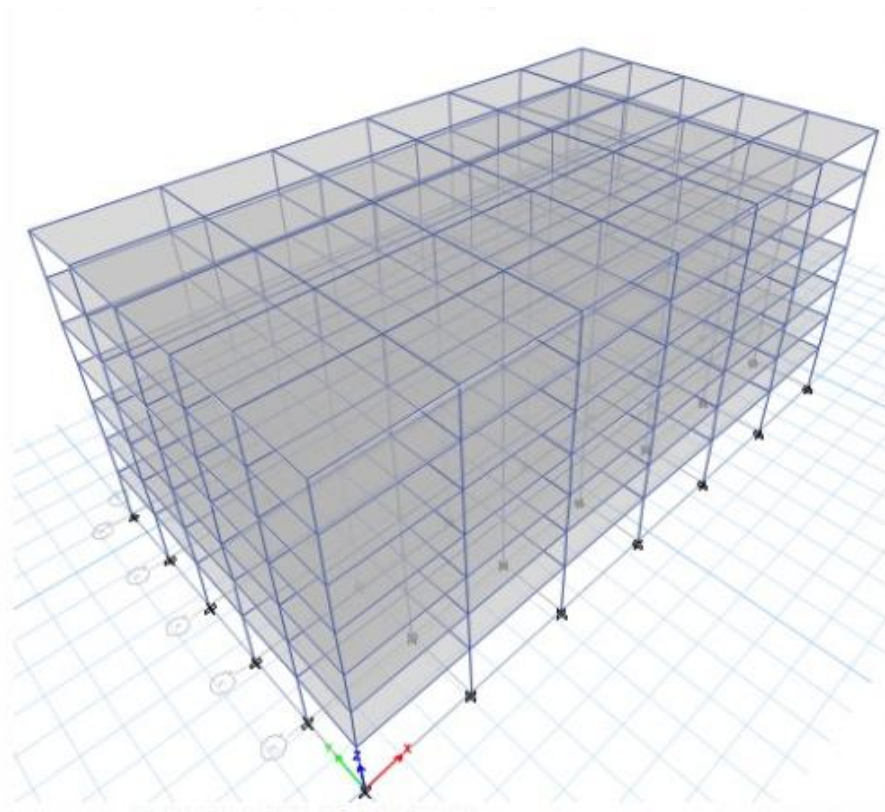
*Ilustración 43 Vigas y columnas asignadas*



Fuente: (ETABS ® 2016)

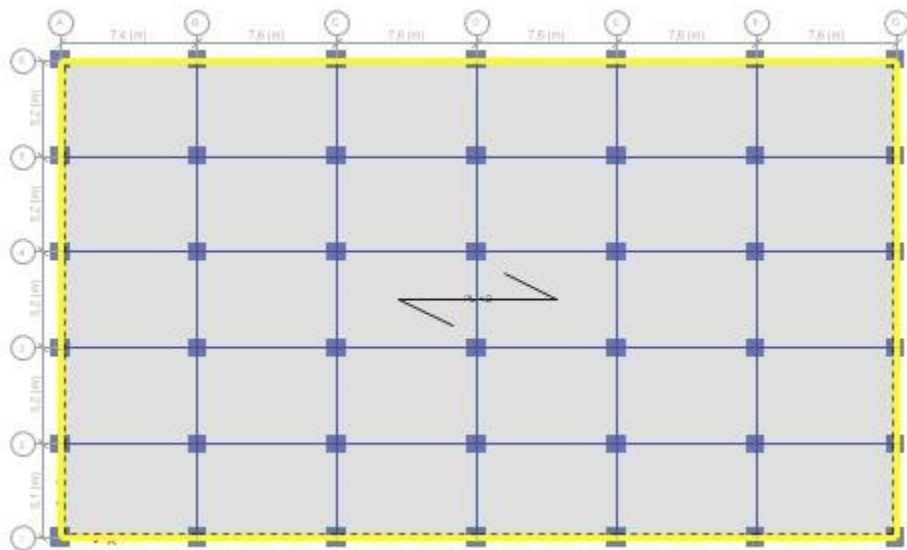
Se asignan placas macizas en una dirección en cada uno de los pisos de la siguiente manera:

Ilustración 44 Asignación de placas



Fuente: (ETABS ® 2016)

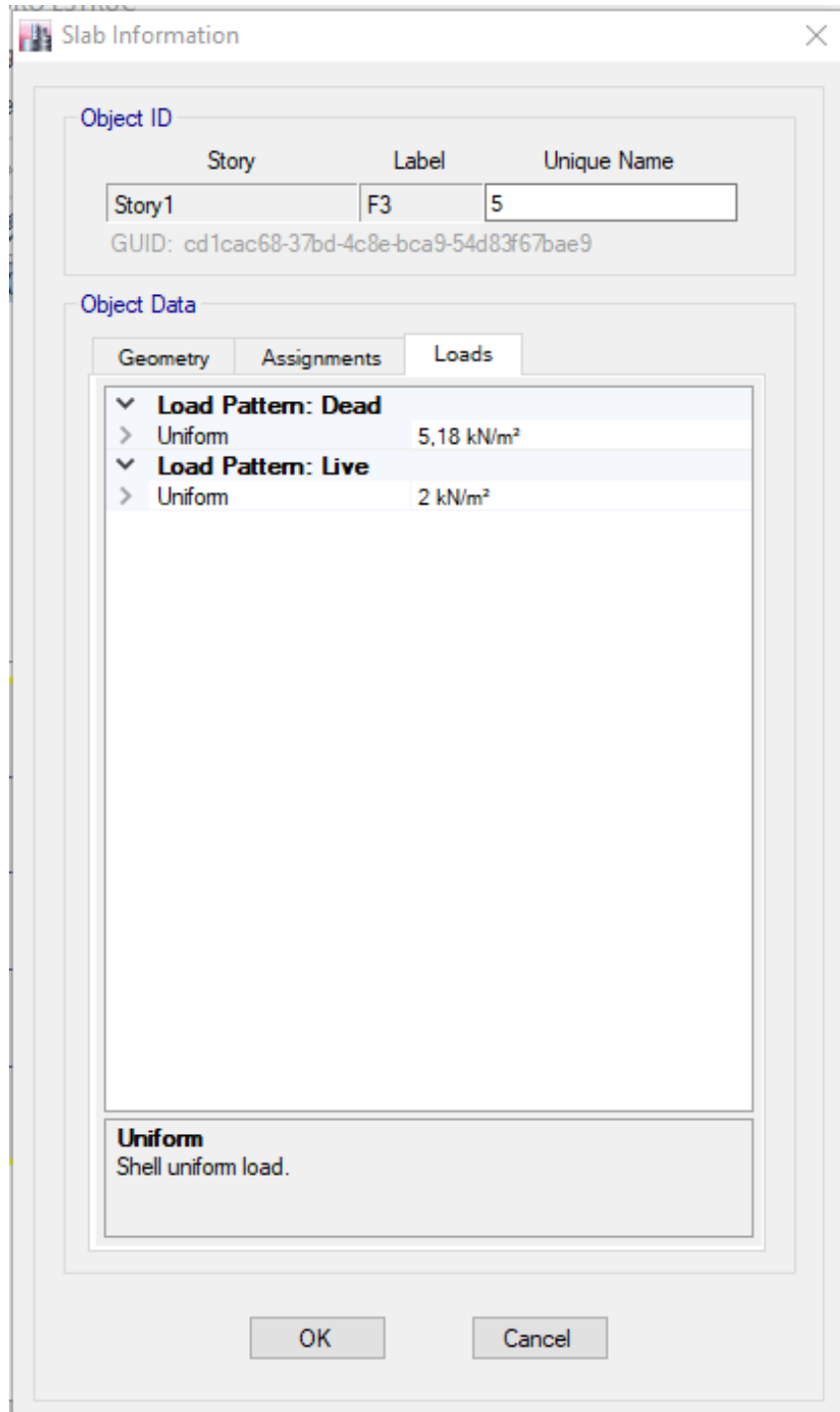
Ilustración 45 Placa en detalle



Fuente: (ETABS ® 2016)

Es necesario asignar cargas vivas y muertas a la placa, de acuerdo con el avalúo de cargas. Ver tabla 18.

*Ilustración 46 Cargas vivas y muertas de la Placa*



Fuente: (ETABS ® 2016)

### 7.5.5.1 Resultados de la modelación

Las derivas obtenidas en cada uno de los pisos con las secciones, cargas y coeficiente seleccionados son las siguientes:

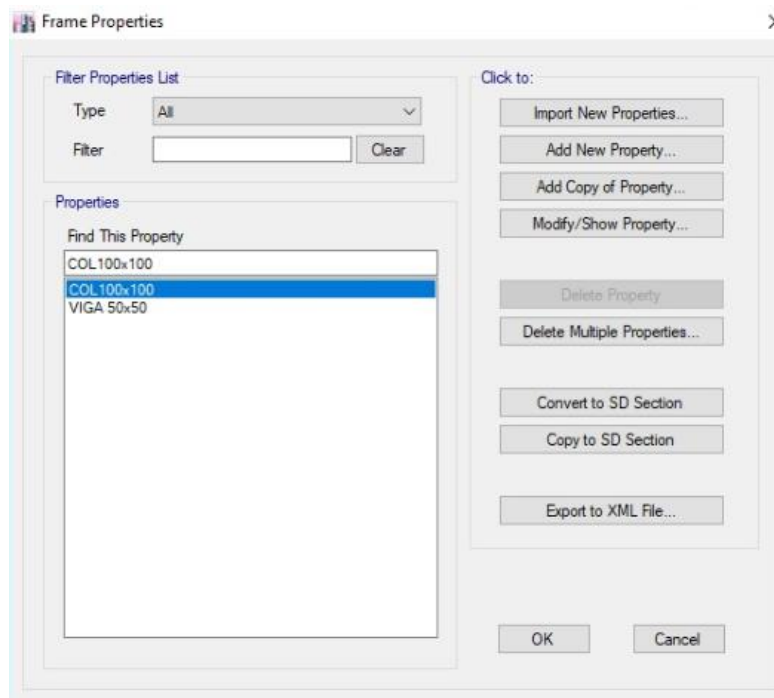
Tabla 7.5.5.1-1 Derivas resultantes de la modelación

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story7	SismoX	X	8,4%
Story7	SismoY	Y	5,8%
Story6	SismoX	X	9,5%
Story6	SismoY	Y	7,0%
Story5	SismoX	X	10,7%
Story5	SismoY	Y	8,2%
Story4	SismoX	X	11,3%
Story4	SismoY	Y	9,0%
Story3	SismoX	X	11,0%
Story3	SismoY	Y	9,1%
Story2	SismoX	X	9,4%
Story2	SismoY	Y	8,0%
Story1	SismoX	X	4,7%
Story1	SismoY	Y	4,1%

Fuente: (ETABS ® 2016)

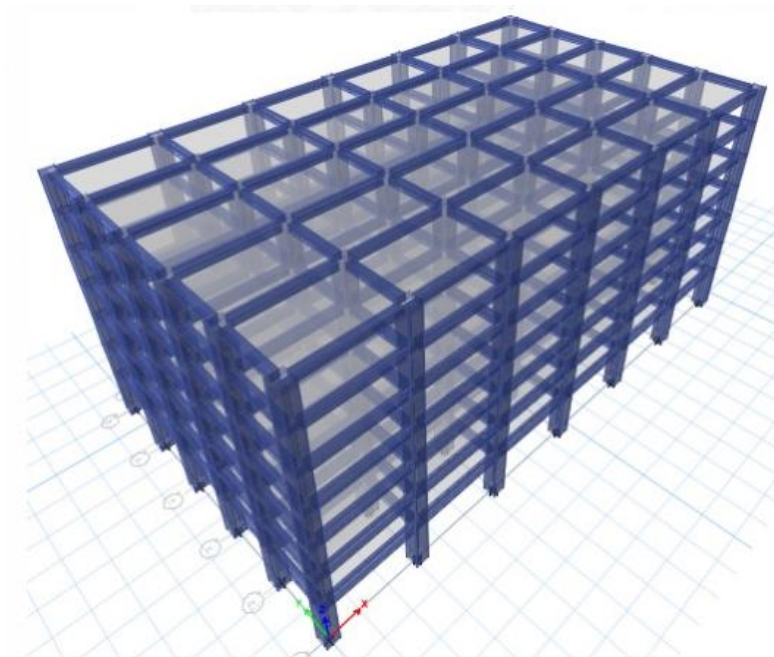
Como se observa en la Tabla 7.5.5.1-1, las derivas de piso no cumplen con los requisitos de la NSR-10, puesto que las derivas no deben ser mayores al 1%. De acuerdo con esto, para que cumplan las derivas y mantener el sistema aporticado mostrado anteriormente, se deberían colocar columnas de 100X100 y vigas de 50X50.

Ilustración 47 Secciones asignadas para que cumplan las derivas



Fuente: (ETABS ® 2016)

Ilustración 48 Modelo con sección 100X100 y 50X50



Fuente: (ETABS ® 2016)

Con estas secciones, las derivas que se obtienen son las siguientes:

*Tabla 7.5.5.1-2 Derivas resultantes de la modelación*

TABLE: Story Drifts			
Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story7	SismoX	X	1,2%
Story7	SismoY	Y	0,8%
Story6	SismoX	X	1,4%
Story6	SismoY	Y	0,9%
Story5	SismoX	X	1,5%
Story5	SismoY	Y	1,1%
Story4	SismoX	X	1,6%
Story4	SismoY	Y	1,2%
Story3	SismoX	X	1,5%
Story3	SismoY	Y	1,2%
Story2	SismoX	X	1,3%
Story2	SismoY	Y	1,0%
Story1	SismoX	X	0,7%
Story1	SismoY	Y	0,6%

Fuente: (ETABS® 2016)

De acuerdo con la NSR 10 en el numeral A.6.4 límites de deriva, especifica que cuando se utilizan factores de fisuras, es posible tomar el 70% de la deriva, por lo cual, los valores de la Tabla 7.5.5.1-2 al multiplicarlos por 0.7, dan como resultado un valor igual o menor al 1%, por lo tanto cumplirían las derivas.

Sin embargo, las derivas cumplen, pero las secciones y dimensiones de los elementos estructurales hacen que la estructura sea muy robusta y arquitectónicamente no tan viable, por lo tanto, se decide colocar un muro estructural en el centro de la edificación, con un espesor de 20 cm y con un concreto de 21 MPa, como se muestra a continuación:

Ilustración 49 Especificaciones del muro estructural

Wall Property Data

General Data

Property Name	MURO 200MM
Property Type	Specified
Wall Material	Concreto21MPa
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thin
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	Change...
Property Notes	Modify/Show...

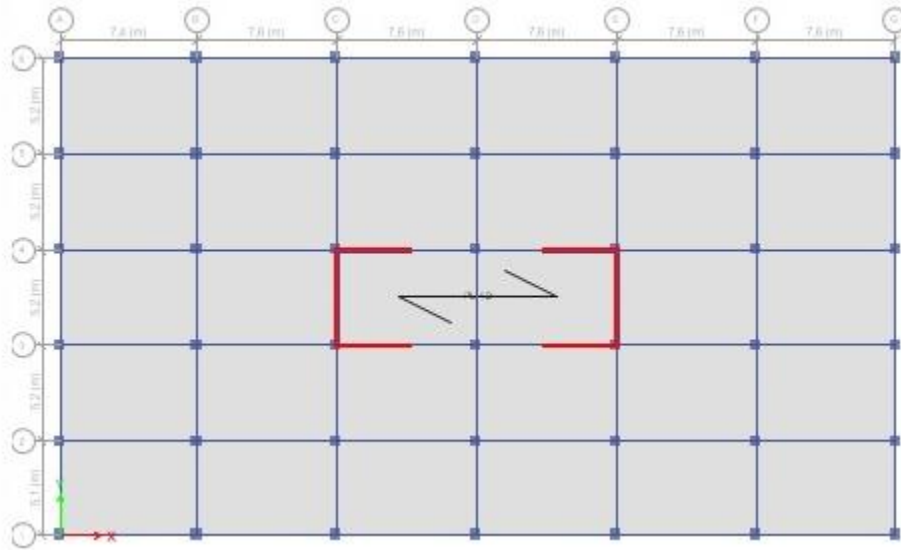
Property Data

Thickness	200 mm
-----------	--------

OK Cancel

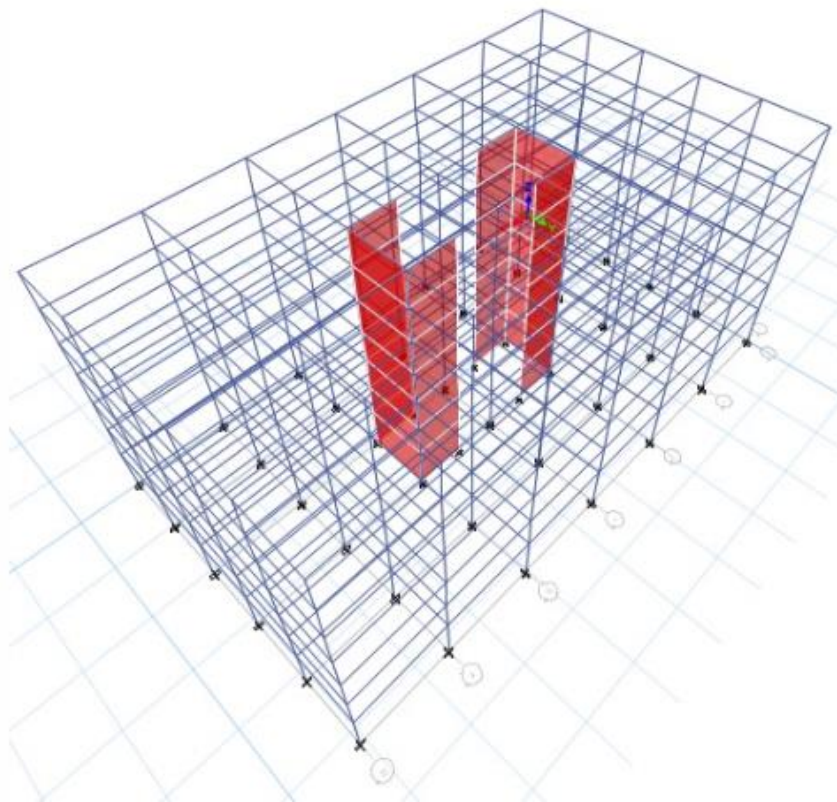
Fuente: (ETABS ® 2016)

Ilustración 50 Localización del muro estructural en planta



Fuente: (ETABS® 2016)

Ilustración 51 Localización del muro estructural plano general



Fuente: (ETABS® 2016)

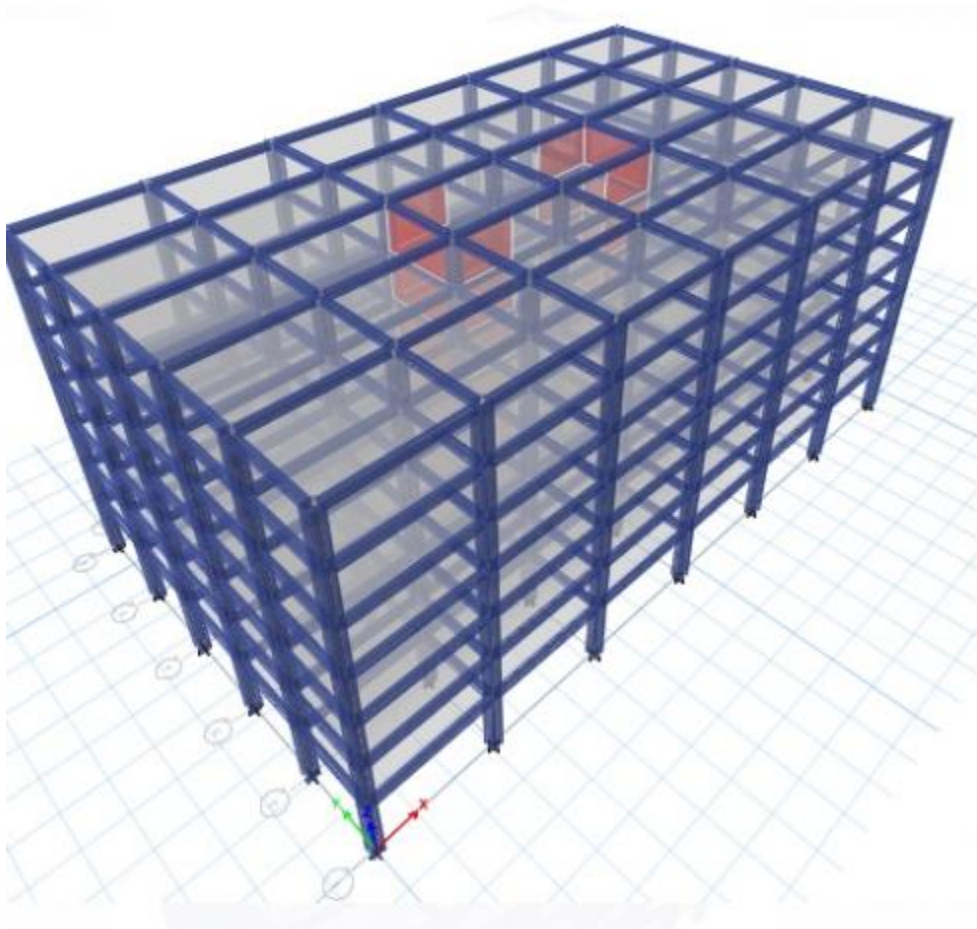
Con el muro estructural se pueden mantener las secciones iniciales de columnas de 60X60 y vigas de 30X40. Obteniendo las siguientes derivas:

*Tabla 7.5.5.1-3 Derivas de piso del diseño final*

<b>DERIVAS DE PISO-CON MUROS ESTRUCTURALES</b>				
<b>PISO</b>	<b>CARGA</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>DERIVA</b>	<b>DERIVA (70%)</b>
P7	SismoX	X	<b>1,26%</b>	<b>0,88%</b>
P7	SismoY	Y	<b>0,67%</b>	<b>0,47%</b>
P6	SismoX	X	<b>1,26%</b>	<b>0,88%</b>
P6	SismoY	Y	<b>0,71%</b>	<b>0,50%</b>
P5	SismoX	X	<b>1,23%</b>	<b>0,86%</b>
P5	SismoY	Y	<b>0,72%</b>	<b>0,50%</b>
P4	SismoX	X	<b>1,14%</b>	<b>0,80%</b>
P4	SismoY	Y	<b>0,70%</b>	<b>0,49%</b>
P3	SismoX	X	<b>0,99%</b>	<b>0,69%</b>
P3	SismoY	Y	<b>0,64%</b>	<b>0,45%</b>
P2	SismoX	X	<b>0,75%</b>	<b>0,53%</b>
P2	SismoY	Y	<b>0,53%</b>	<b>0,37%</b>
P1	SismoX	X	<b>0,35%</b>	<b>0,25%</b>
P1	SismoY	Y	<b>0,31%</b>	<b>0,22%</b>

Fuente: (ETABS ® 2016)

*Ilustración 52 Diseño definitivo estructura convencional*

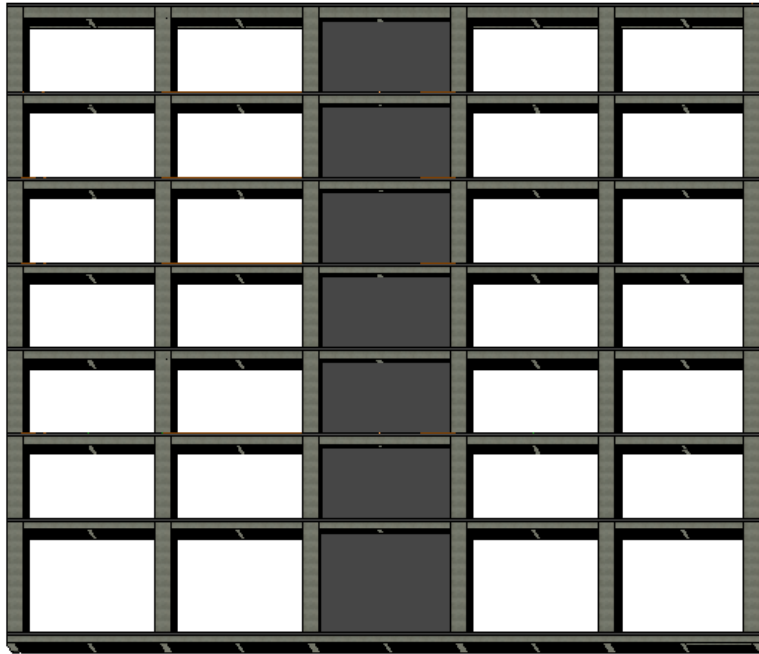


Fuente: (ETABS ® 2016)

### 7.5.6 Planos estructurales

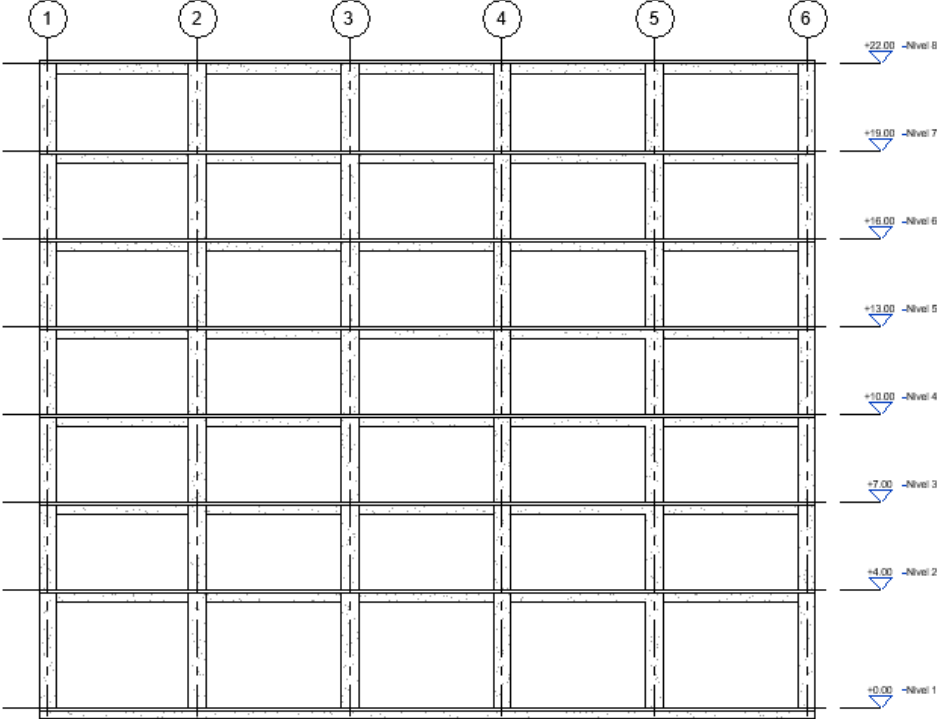
Los planos estructurales se realizaron el software REVIT®2018, puesto que dan realismo a las estructuras. A continuación, se evidencia el muro estructural implementado en la estructura y que podrá ser usado para los ascensores del edificio.

*Ilustración 53 Plano fachada “este-oeste” diseño convencional*



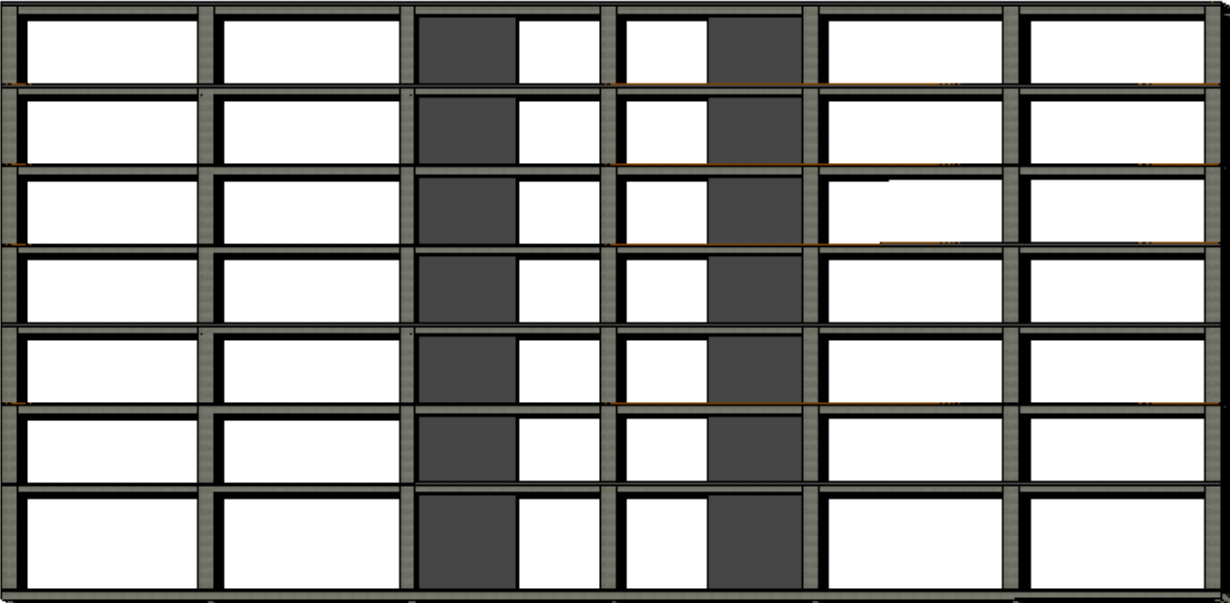
Fuente: (REVIT®2018)

Ilustración 54 Ejes y niveles diseño convencional



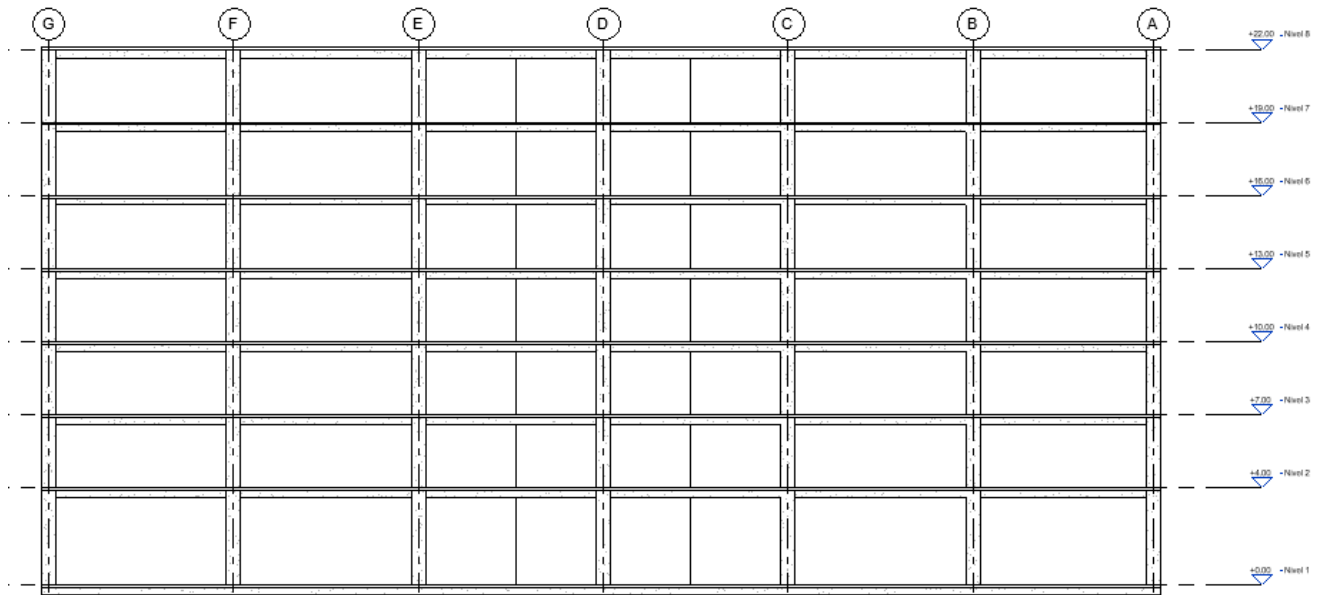
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 55 Plano fachada "norte-sur" diseño convencional



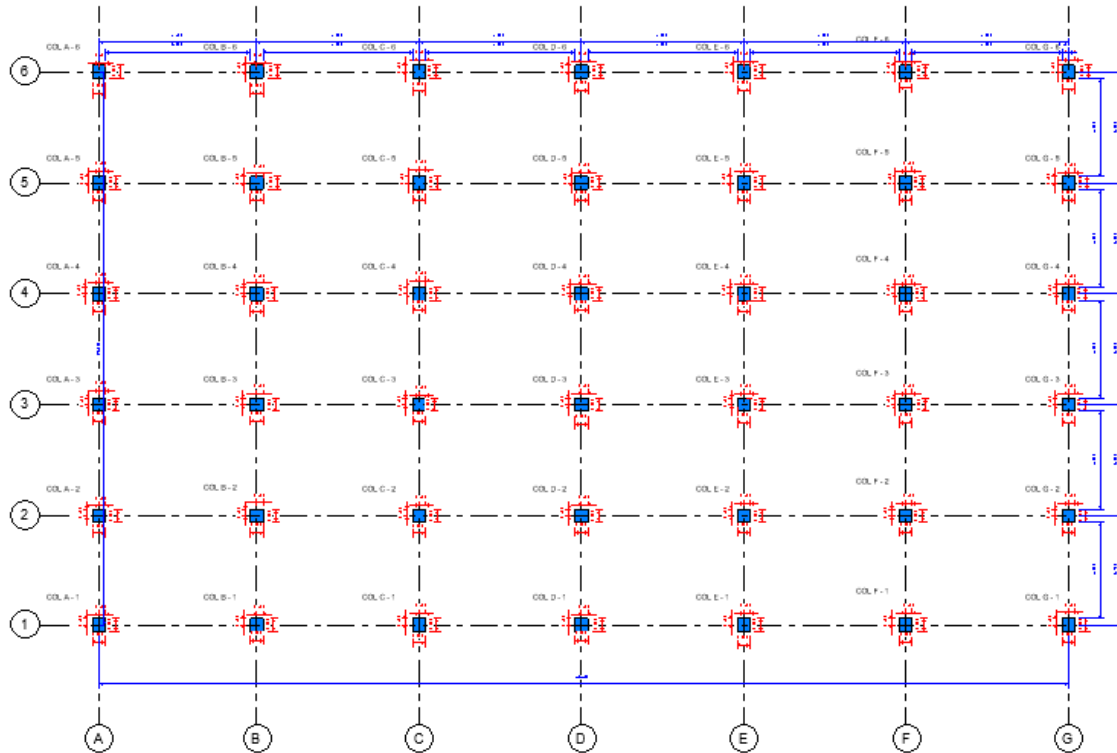
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 56 Ejes y niveles diseño convencional



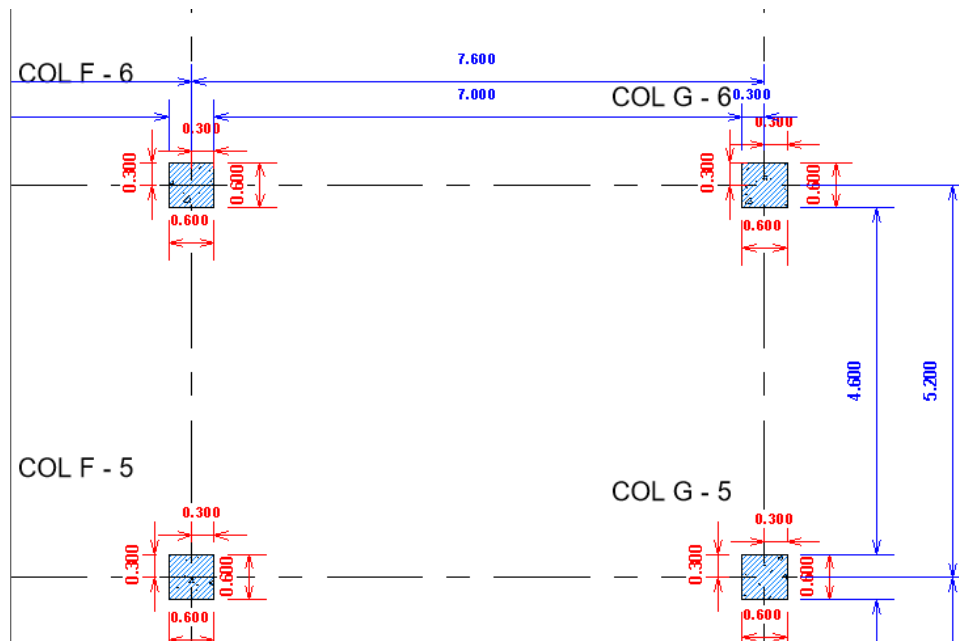
Fuente: (REVIT®2018)

Ilustración 57 localización de columnas diseño convencional



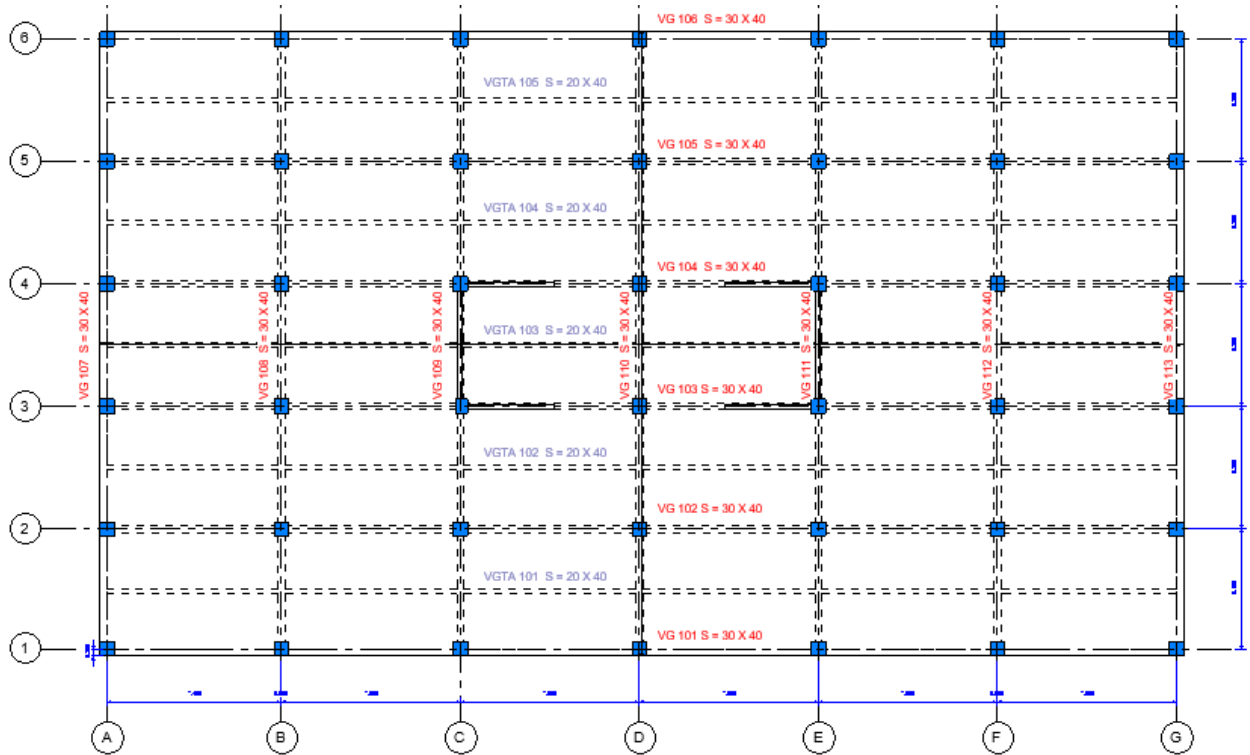
Fuente: (REVIT 2018)

Ilustración 58 Localización columnas en detalle diseño convencional



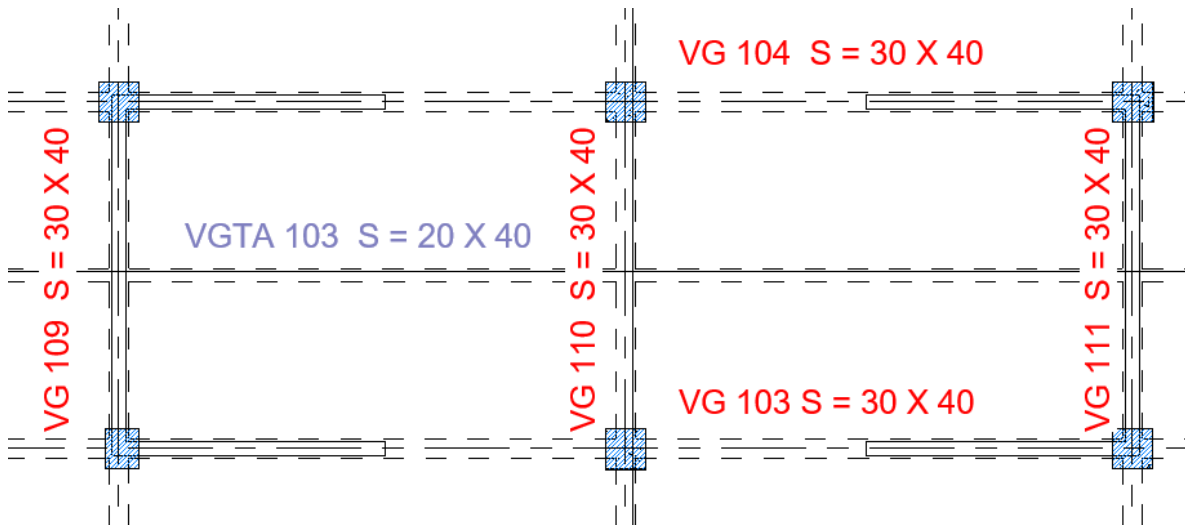
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 59 Localización de vigas y viguetas



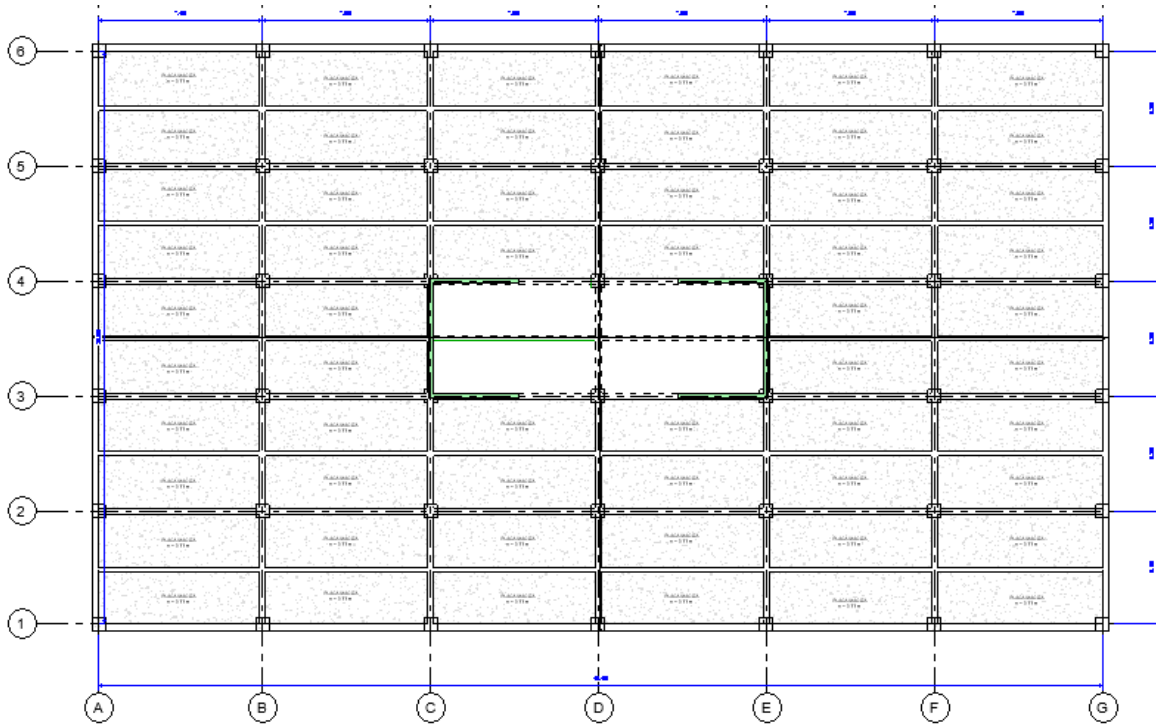
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 60 Localización vigas y viguetas en detalle



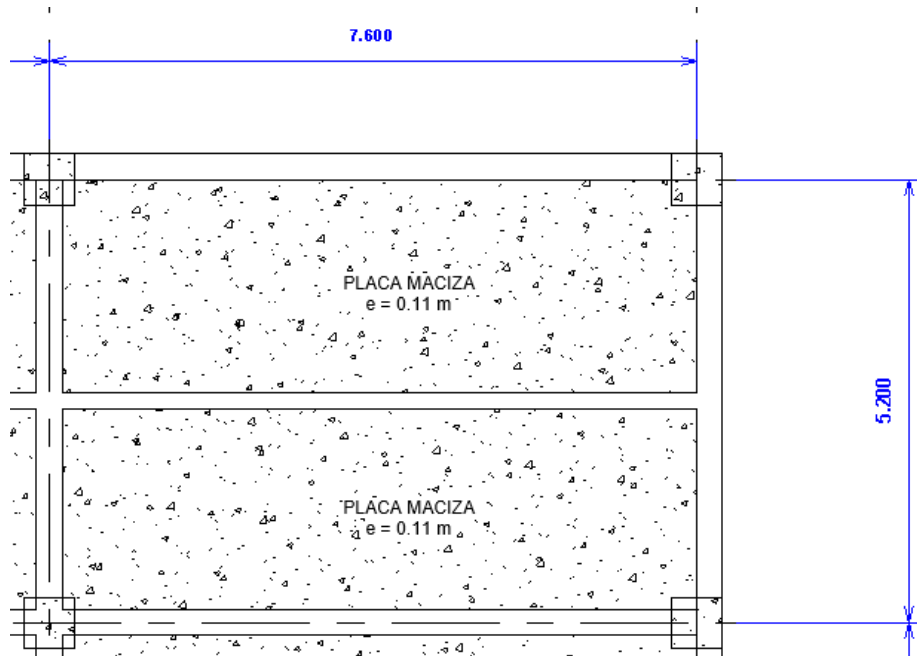
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 61 Planta de segundo piso diseño convencional



Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 62 Planta segundo piso en detalle



Fuente: (REVIT® 2018)



## 7.6 DISEÑO DE ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE ENERGÍA

### 7.6.5 Modelación ETABS ® 2016

Los datos de entrada para la modelación del diseño con disipadores de energía, se debe hacer la caracterización del material en el que se va a realizar la edificación, en este caso es concreto de 21 MPA, los datos ingresados son los siguientes:

*Ilustración 65 Datos de entrada concreto ETABS ®*

Section	Property	Value	Unit
General Data	Material Name	Concrete21MPa	
	Material Type	Concrete	
	Directional Symmetry Type	Isotropic	
	Material Display Color	Red	
	Material Notes		
Material Weight and Mass	Weight per Unit Volume	23,5631	kN/m³
	Mass per Unit Volume	2402,77	kg/m³
Mechanical Property Data	Modulus of Elasticity, E	21538	MPa
	Poisson's Ratio, U	0,2	
	Coefficient of Thermal Expansion, A	0,0000099	1/C
	Shear Modulus, G	8974,17	MPa

Fuente: (ETABS 2016)

Los datos de entrada para la modelación del diseño con disipadores de energía es la caracterización del material en el que se va a realizar la edificación, en este caso es acero de 420 MPa, los datos ingresados son los siguientes:

Ilustración 66 Datos de entrada acero ETABS ®

**Material Property Data**

**General Data**

Material Name: 420 MPa

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: [Color Swatch] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

**Material Weight and Mass**

Specify Weight Density  Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 76,9729 kN/m<sup>3</sup>

Mass per Unit Volume: 7849,047 kg/m<sup>3</sup>

**Mechanical Property Data**

Modulus of Elasticity, E: 199947,98 MPa

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0,0000117 1/C

**Design Property Data**

Modify/Show Material Property Design Data...

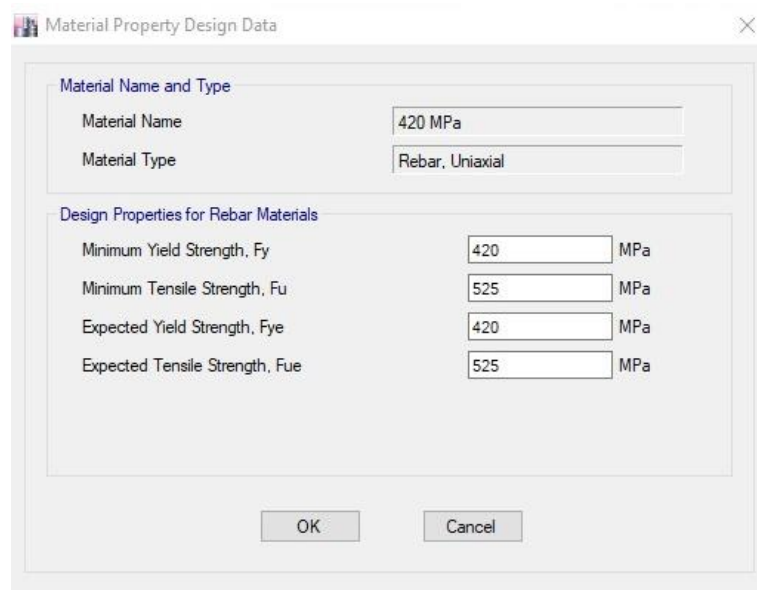
**Advanced Material Property Data**

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Fuente: (ETABS ® 2016)

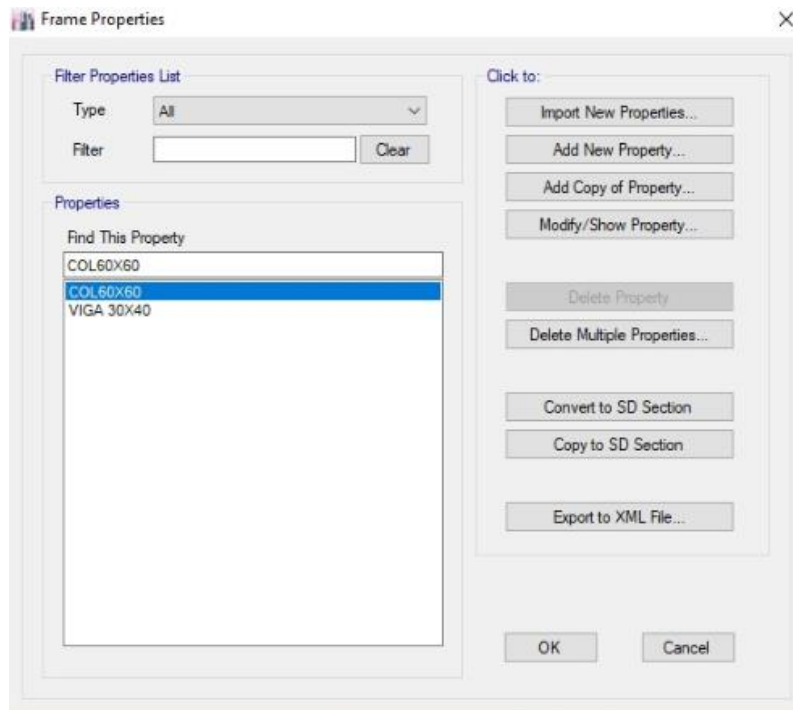
*Ilustración 67 Especificaciones del acero*



Fuente: (ETABS ® 2016)

Se deben especificar el tipo y las dimensiones de las secciones con las cuales se va a realizar la modelación, de la siguiente manera:

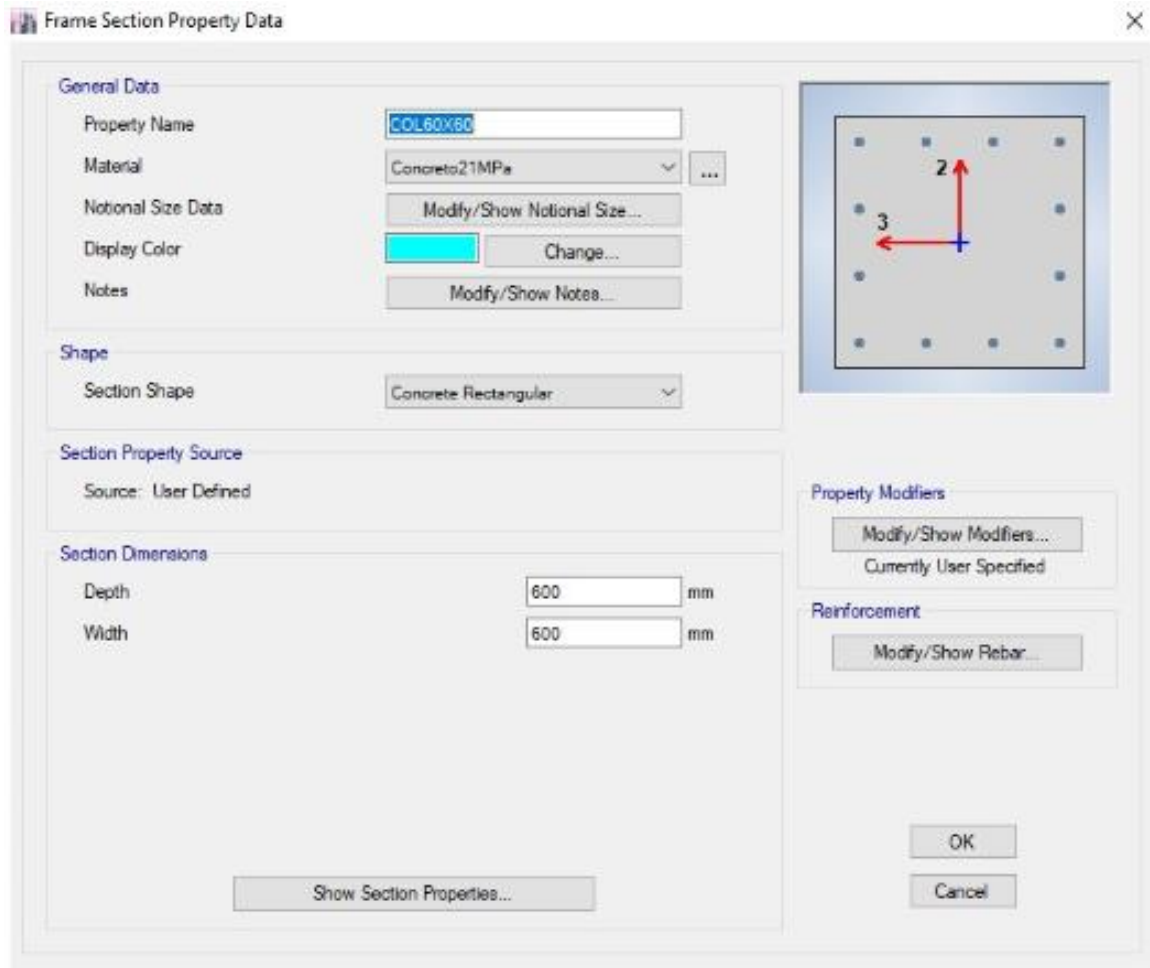
*Ilustración 68 Secciones de vigas y columnas*



Fuente: (ETABS ® 2016)

Una vez ingresadas el nombre de las secciones se le asignan las propiedades para cada una de ellas.

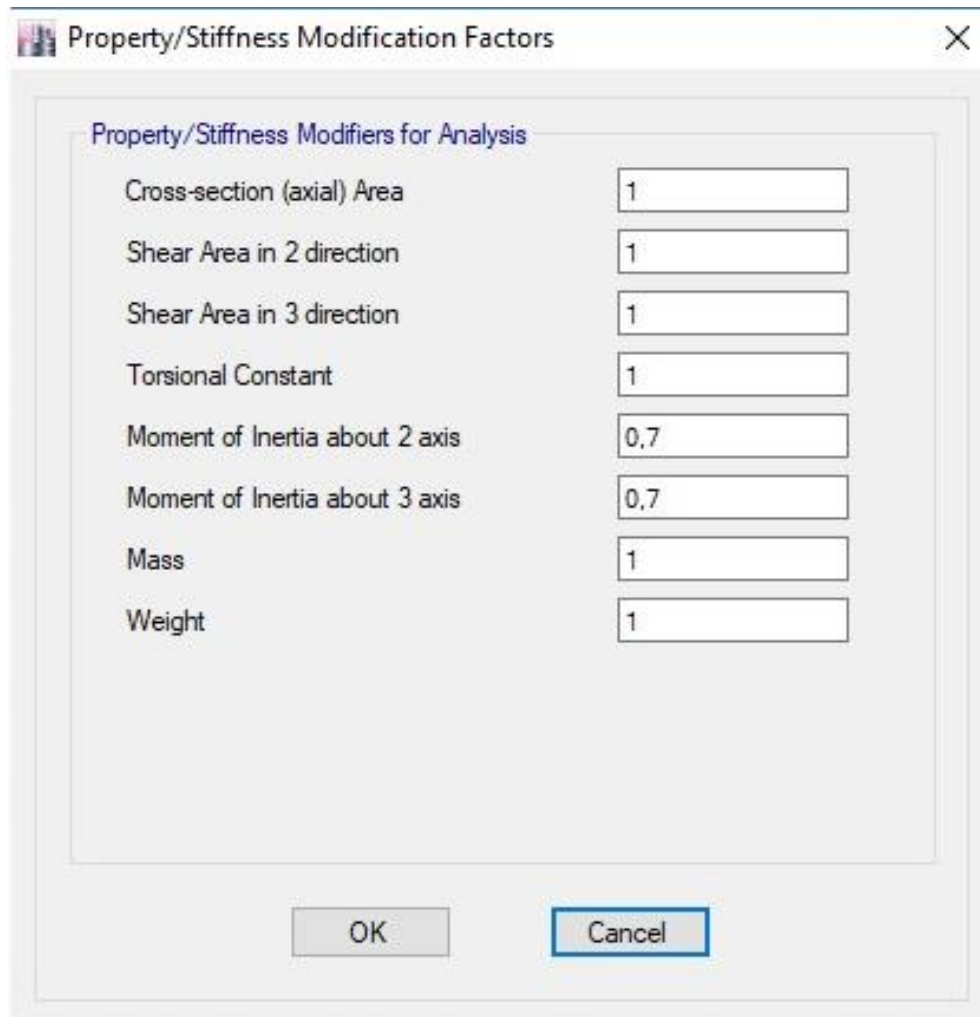
*Ilustración 69 Propiedades de las columnas*



Fuente: (ETABS ® 2016)

Según el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en título C numeral CR10.10.4.1(b), se permite adoptar un factor de fisura de 0.70 para columnas y se debe asignar antes de comenzar la modelación como se observa en la ilustración 69

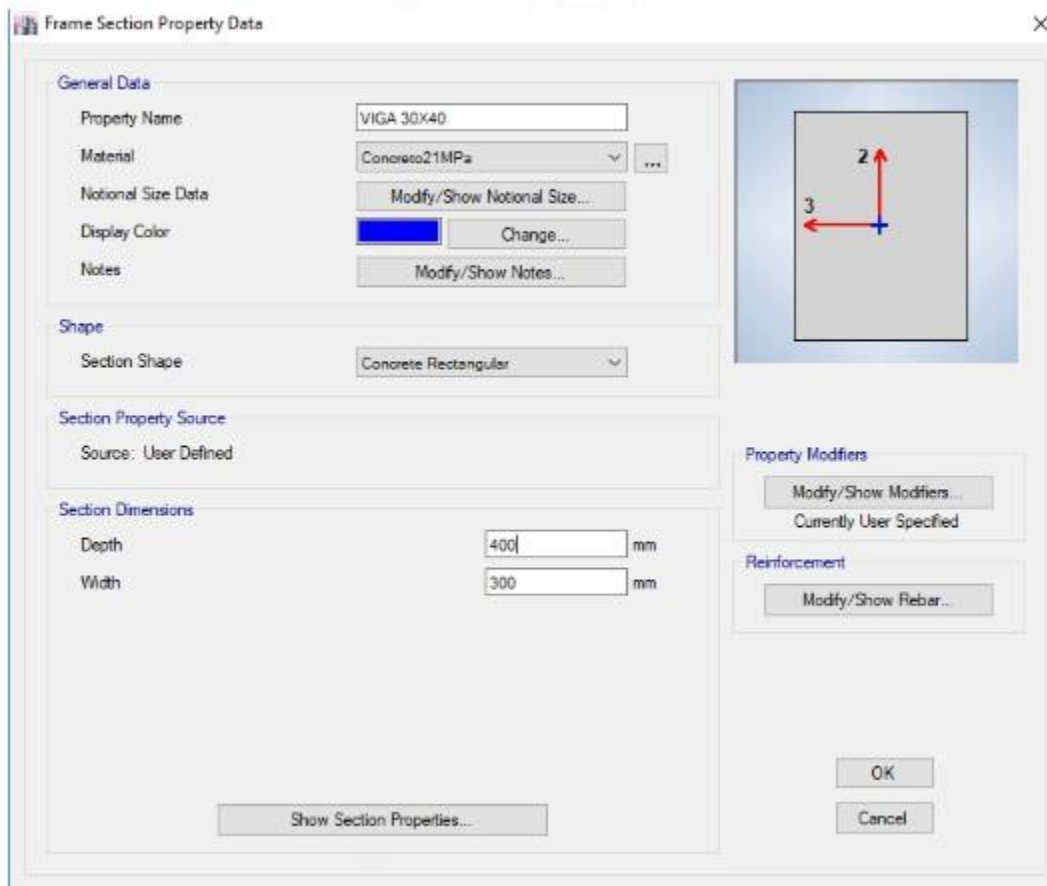
Ilustración 70 Asignación de factor de fisura en las columnas



Fuente: (ETABS ® 2016)

Se realiza la caracterización de las vigas de la siguiente manera:

Ilustración 71 Caracterización de las vigas

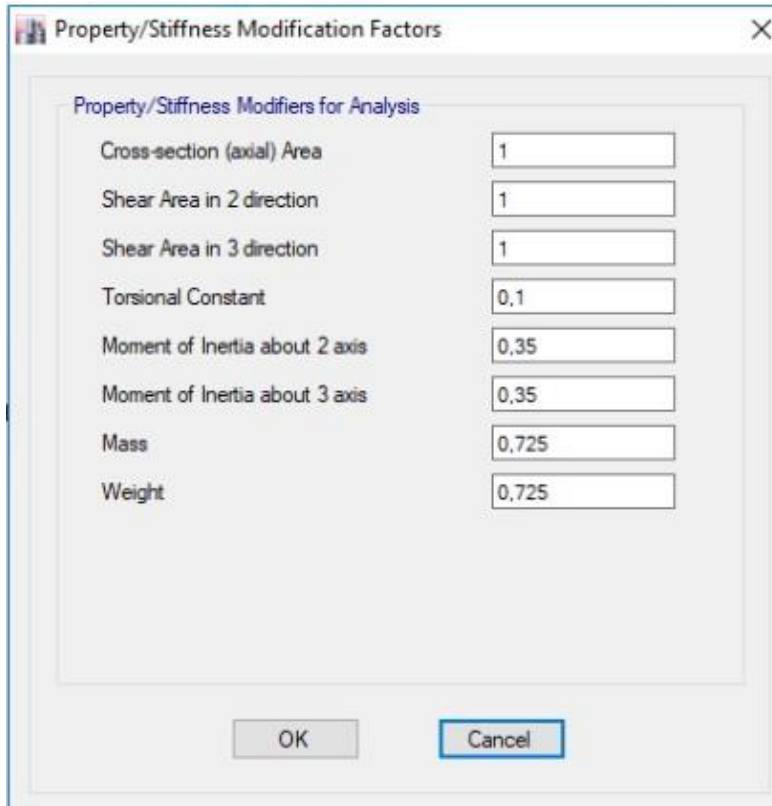


Fuente: (ETABS ® 2016)

Según el Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en título C numeral CR10.10.4.1(b), se permite adoptar un factor de fisura de 0.35 para vigas. El cual debe ser asignado como se muestra en la ilustración 71.

Además, como el peso propio de la placa ya está incluido en el avalúo de cargas, se determina el porcentaje de viga que el programa debe tener en cuenta al calcular el peso propio de la estructura. Por medio de una relación de alturas se establece que porcentaje que debe tener se debe tener en cuenta es de 72.5% del peso de la viga

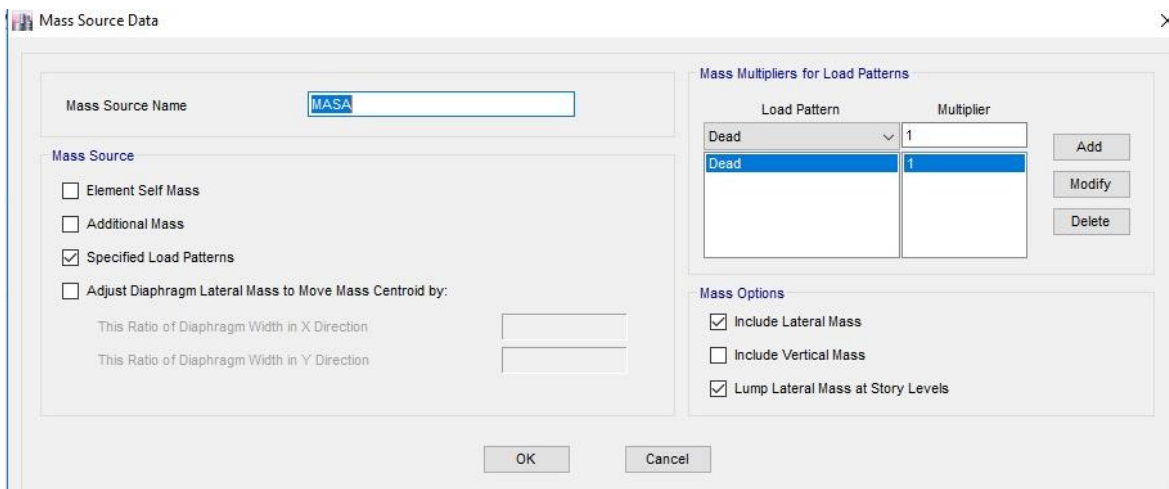
Ilustración 72 Asignación de factor de fisuras en las vigas



Fuente: (ETABS ® 2016)

Posteriormente se debe asignar el coeficiente de masa

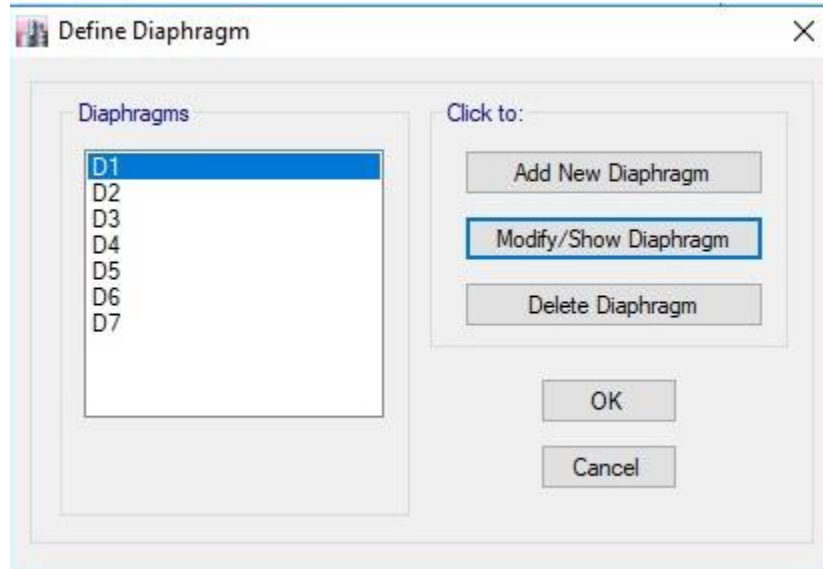
Ilustración 73 Coeficiente de masa



Fuente: (ETABS ® 2016)

Se definen los diafragmas para la placa, en este caso como la edificación es de siete pisos se asignan siete (7) diafragmas.

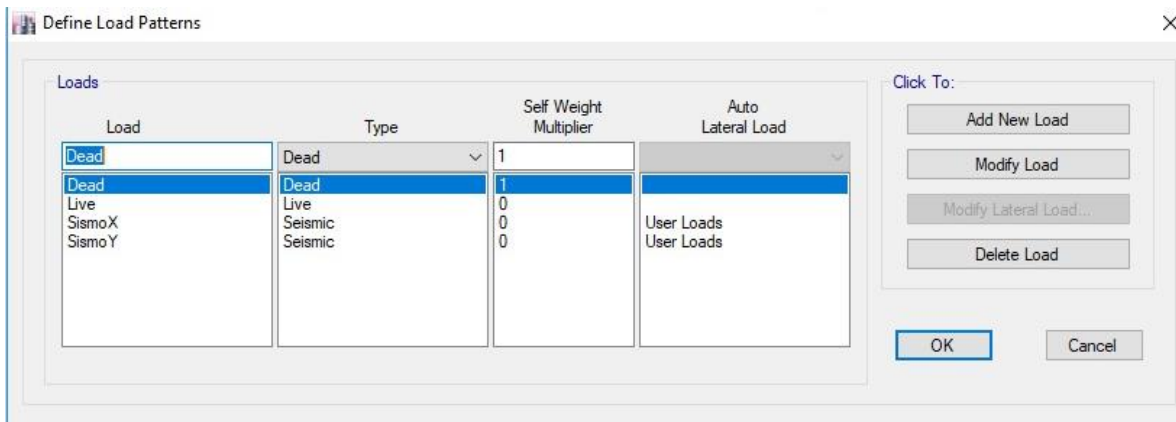
*Ilustración 74 Diafragmas de cada placa*



Fuente: (ETABS ® 2016)

Se definen los patrones de carga y fuerzas horizontales aplicadas en el centro de masa con una excentricidad del 5%.

*Ilustración 75 Patrones de carga*



Fuente: (ETABS ® 2016)

Ilustración 76 Asignación de la fuerza en X

User Seismic Loads on Diaphragms

Number of Load Sets: 1

**Load Set 1 of 1**

Story	Diaphragm	Fx kN	Fy kN	Mz kN-m
Story7	D7	6171.6041	0	0
Story6	D6	5197.5569	0	0
Story5	D5	4249.6551	0	0
Story4	D4	3331.9381	0	0
Story3	D3	2450.1548	0	0
Story2	D2	1613.2452	0	0
Story1	D1	872.5226	0	0

1

Apply Load at Diaphragm Center of Mass

Additional Eccentricity Ratio (all Diaphragms): 0.05

Sort Rows Add Row Delete Row(s)

OK Cancel

Fuente: (ETABS® 2016)

Ilustración 77 Asignación de la Fuerza en Y

User Seismic Loads on Diaphragms

Number of Load Sets: 1

**Load Set 1 of 1**

Story	Diaphragm	Fx kN	Fy kN	Mz kN-m
Story7	D7	0	6171.6041	0
Story6	D6	0	5197.5569	0
Story5	D5	0	4249.6551	0
Story4	D4	0	3331.9381	0
Story3	D3	0	2450.1548	0
Story2	D2	0	1613.2452	0
Story1	D1	0	872.5226	0

1

Apply Load at Diaphragm Center of Mass

Additional Eccentricity Ratio (all Diaphragms): 0.05

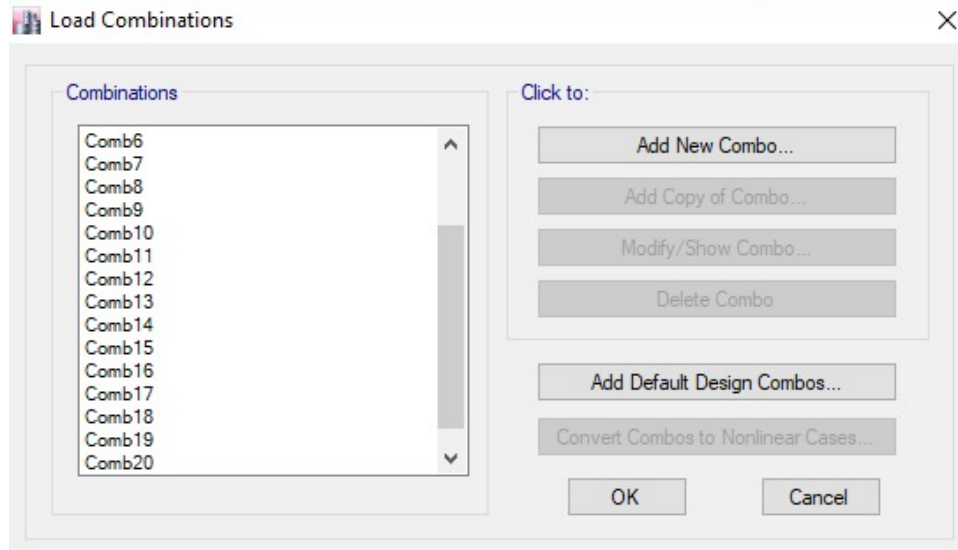
Sort Rows Add Row Delete Row(s)

OK Cancel

Fuente: (ETABS® 2016)

Se deben asignar las combinaciones de carga como lo solicita la norma técnica sismo resistente colombiana (NSR 10) en el título A.

*Ilustración 78 Combinaciones de carga*



Fuente: (ETABS ® 2016)

Para determinar las combinaciones de carga, se toma el 100% de la carga sísmica en un sentido y el 30% de la carga en el otro sentido, luego estas cargas son divididas sobre el coeficiente de capacidad de energía básico  $R_o$  que tiene un valor de 5.0, es así como se obtienen los siguientes valores:

Ilustración 79 Datos de entrada combinaciones de carga

Combo 1	1,4	D							
Combo 2	1,2	D	+	1,6	L				
Combo 3	1,2	D	+	1	L				
Combo 4	1,2D	+	1,0L	+	0,20	SXMOD	+	0,06	SYMOD
Combo 5	1,2D	+	1,0L	+	0,20	SXMOD	-	0,06	SYMOD
Combo 6	1,2D	+	1,0L	-	0,20	SXMOD	+	0,06	SYMOD
Combo 7	1,2D	+	1,0L	-	0,20	SXMOD	-	0,06	SYMOD
Combo 8	1,2D	+	1,0L	+	0,20	SYMOD	+	0,06	SXMOD
Combo 9	1,2D	+	1,0L	+	0,20	SYMOD	-	0,06	SXMOD
Combo 10	1,2D	+	1,0L	-	0,20	SYMOD	+	0,06	SXMOD
Combo 11	1,2D	+	1,0L	-	0,20	SYMOD	-	0,06	SXMOD
Combo 12	0,9D								
Combo 13	0,9D			+	0,20	SXMOD	+	0,06	SYMOD
Combo 14	0,9D			+	0,20	SXMOD	-	0,06	SYMOD
Combo 15	0,9D			-	0,20	SXMOD	+	0,06	SYMOD
Combo 16	0,9D			-	0,20	SXMOD	-	0,06	SYMOD
Combo 17	0,9D			+	0,20	SYMOD	+	0,06	SXMOD
Combo 18	0,9D			+	0,20	SYMOD	-	0,06	SXMOD
Combo 19	0,9D			-	0,20	SYMOD	+	0,06	SXMOD
Combo 20	0,9D			-	0,20	SYMOD	-	0,06	SXMOD

Fuente: (ETABS® 2016)

Se asigna el factor de rigidez como se muestra a continuación:

Ilustración 80 Factor de rigidez

Frame Assignment - End Length Offsets

End Offset Along Length

Automatic from Connectivity

Define Lengths

End-I  mm

End-J  mm

Rigid-zone factor

Frame Self Weight Option

Auto

Weight Based on Full Length

Weight Based on Clear Length

OK Close Apply

Fuente: (ETABS ® 2016)

Como el diseño es con disipadores de energía se debe especificar qué tipo de disipadores son, en este caso disipadores a fricción. Los datos de entrada de los disipadores se colocan en el sistema inglés, puesto que así lo solicita el fabricante que es la empresa QUAKETEK, la cual es una empresa canadiense, quienes son los que exportan a Colombia en sistema de disipación a la empresa Tecnocientific.<sup>51</sup> Estos valores fueron desarrollados de una investigación en México

*Ilustración 81 Datos de entrada de los disipadores a fricción*

General			
Link Property Name	DISIPADOR A FRICCION	Link Type	Plastic (Wen)
Link Property Notes	Modify/Show Notes...	P-Delta Parameters	Modify/Show...

Total Mass and Weight					
Mass	3.2	lb-s²/ft	Rotational Inertia 1	0	kip-ft-s²
Weight	1.6	kip	Rotational Inertia 2	0	kip-ft-s²
			Rotational Inertia 3	0	kip-ft-s²

Directional Properties							
Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Fix All      Clear All

OK      Cancel

Fuente: (ETABS ® 2016)

<sup>51</sup> GALINDO, Oscar. PASTOR Carlos. CORONADO Guillermo y otros. Metodología simplificada para la rehabilitación sísmica con disipadores sísmicos a fricción de un edificio de concreto reforzado para uso hotelero, en zona de alta sismicidad en el estado de Nayarit, Validación basada en desempeño post-sismo. Investigación. México: XXI congreso nacional de ingeniería estructural. 2018

Ilustración 82 Datos de entrada de los disipadores a fricción

Identification	
Property Name	DISIPADOR A FRICCION
Direction	U1
Type	Plastic (Wen)
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	4633 kip/in
Effective Damping	0 kip-s/in

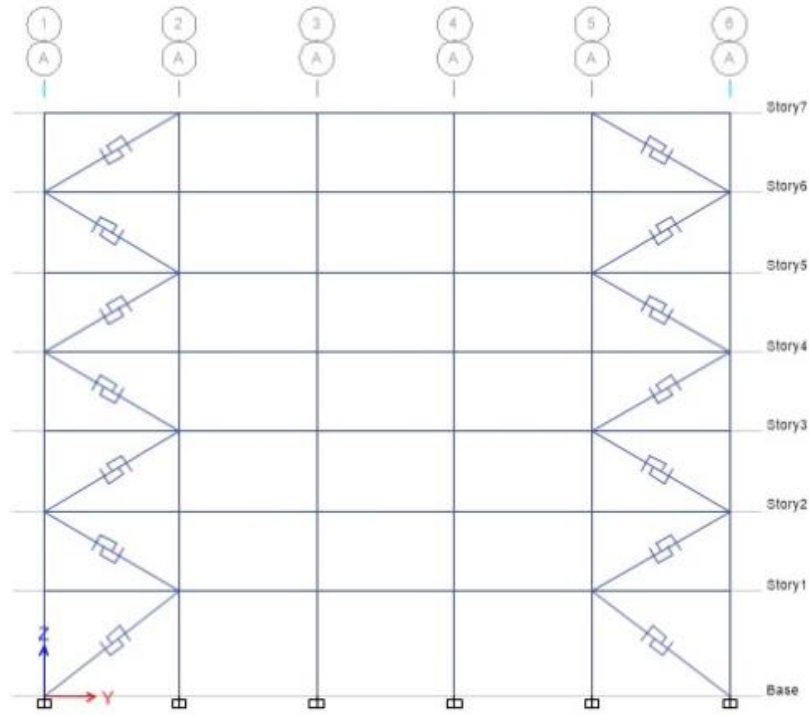
  

Nonlinear Properties	
Stiffness	4633 kip/in
Yield Strength	1515 kip
Post Yield Stiffness Ratio	0.0001
Yielding Exponent	10

Fuente: (ETABS ® 2016)

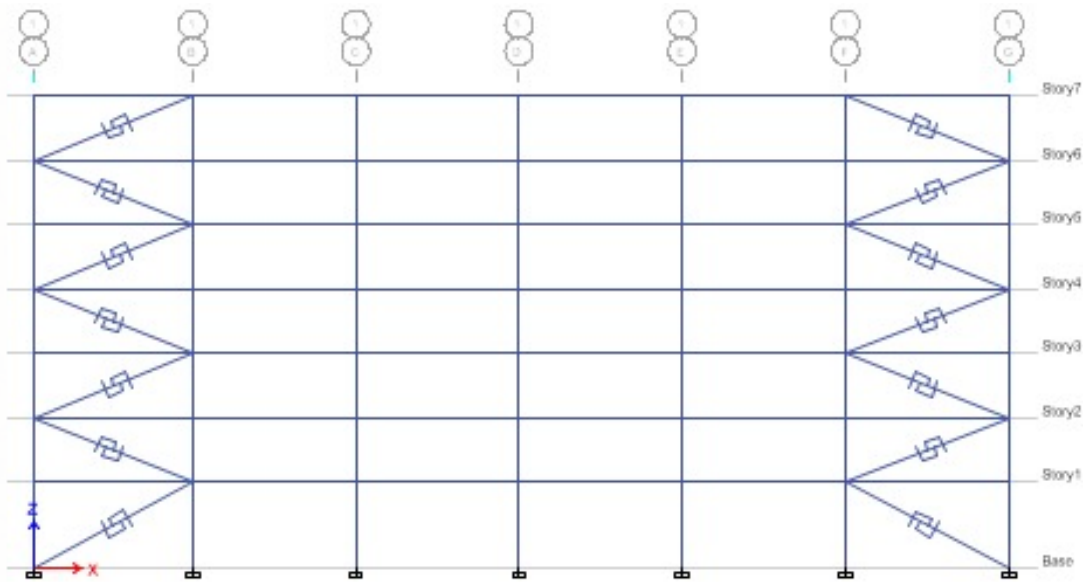
Se hace la asignación y localización de los disipadores de energía en la estructura, los cuales se colocaron en las cuatro (4) caras exteriores de la estructura

Ilustración 83 Asignación de localización de disipadores



Fuente: (ETABS ® 2016)

Ilustración 84 Asignación de localización de disipadores

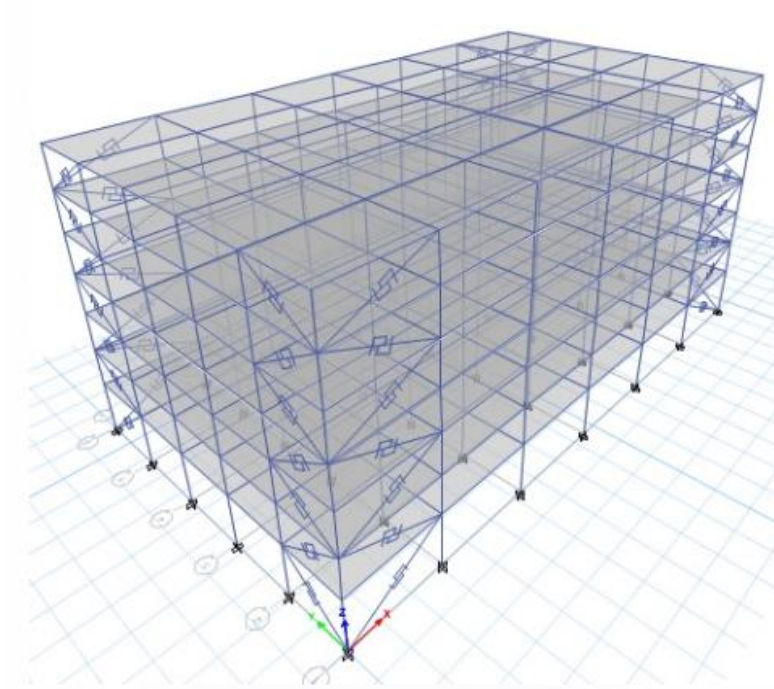


Fuente: (ETABS ® 2016)

### 7.6.5.1 Resultados de la modelación

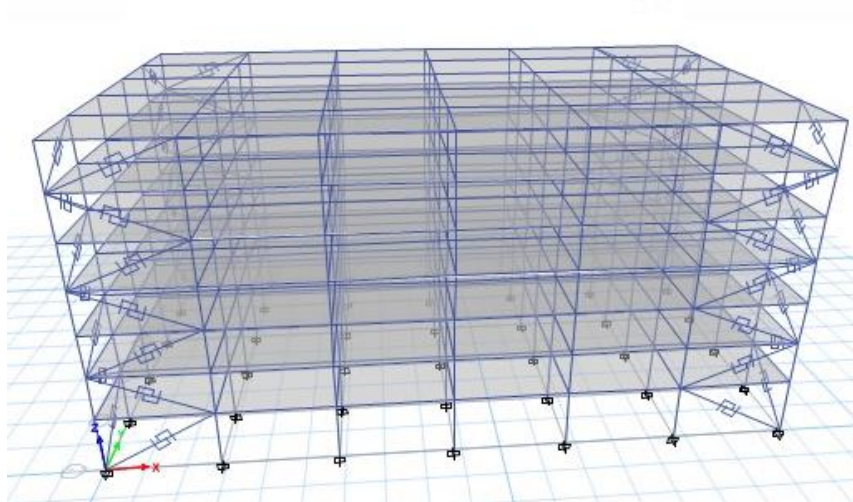
Para evitar efectos torsionales en la estructura se colocaron de manera simétrica en las cuatro caras.

*Ilustración 85 Disipadores de energía*



Fuente: (ETABS ® 2016)

*Ilustración 86 Disipadores de energía*



Fuente: (ETABS ® 2016)

Con los disipadores de energía se pueden mantener las secciones de columnas de 60X60 y vigas de 30X40. Obteniendo las siguientes derivas:

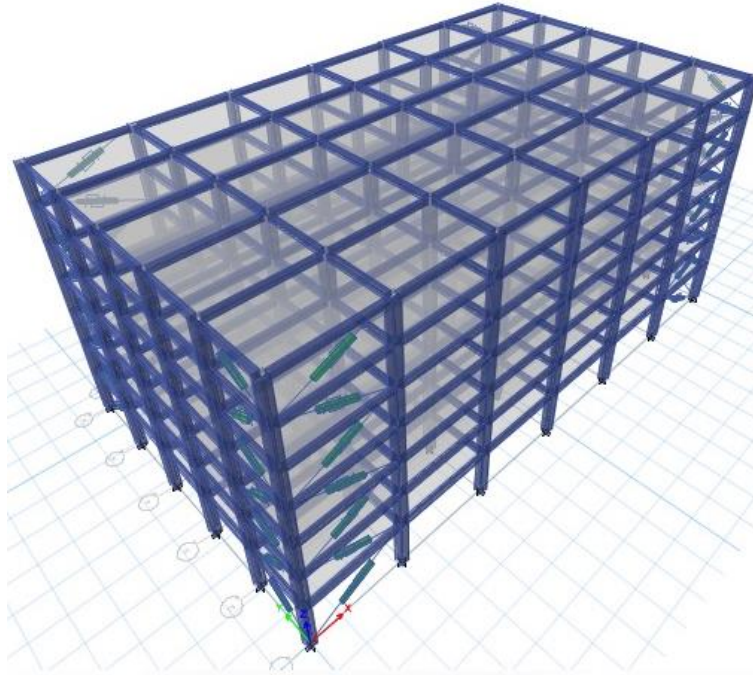
*Tabla 7.6.5.1-1 Derivas con disipadores*

<b>CUADRO DERIVAS DE PISO - CON DISIPADORES</b>			
<b>PISO</b>	<b>CARGA</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>DERIVA</b>
P7	SismoX	X	<b>0,38%</b>
P7	SismoY	Y	<b>0,72%</b>
P6	SismoX	X	<b>0,43%</b>
P6	SismoY	Y	<b>0,78%</b>
P5	SismoX	X	<b>0,47%</b>
P5	SismoY	Y	<b>0,82%</b>
P4	SismoX	X	<b>0,49%</b>
P4	SismoY	Y	<b>0,81%</b>
P3	SismoX	X	<b>0,48%</b>
P3	SismoY	Y	<b>0,77%</b>
P2	SismoX	X	<b>0,44%</b>
P2	SismoY	Y	<b>0,67%</b>
P1	SismoX	X	<b>0,29%</b>
P1	SismoY	Y	<b>0,43%</b>

Fuente: (ETABS ® 2016)

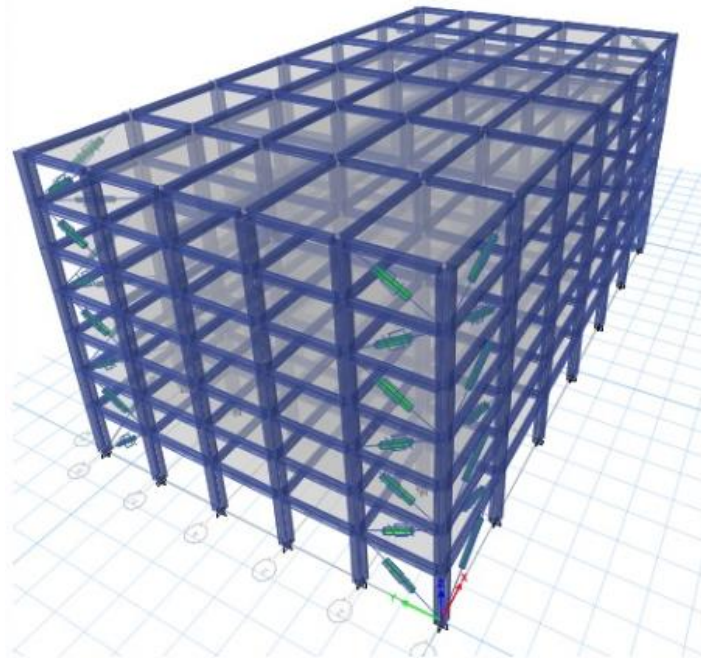
El diseño final de la estructura con disipadores de energía es el siguiente

*Ilustración 87 Diseño final disipadores de energía*



Fuente: (ETABS ® 2016)

*Ilustración 88 Diseño final disipadores de energía*

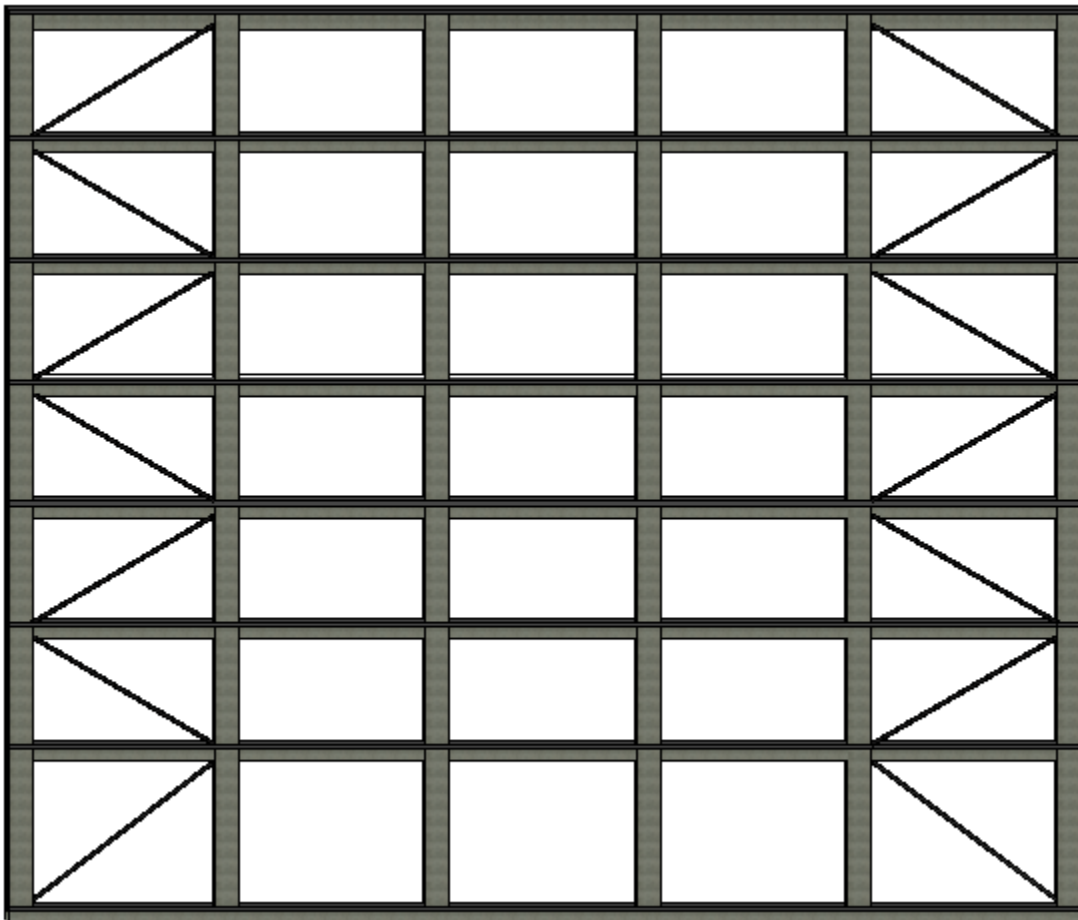


Fuente: (ETABS ® 2016)

### 7.6.6 Planos estructurales

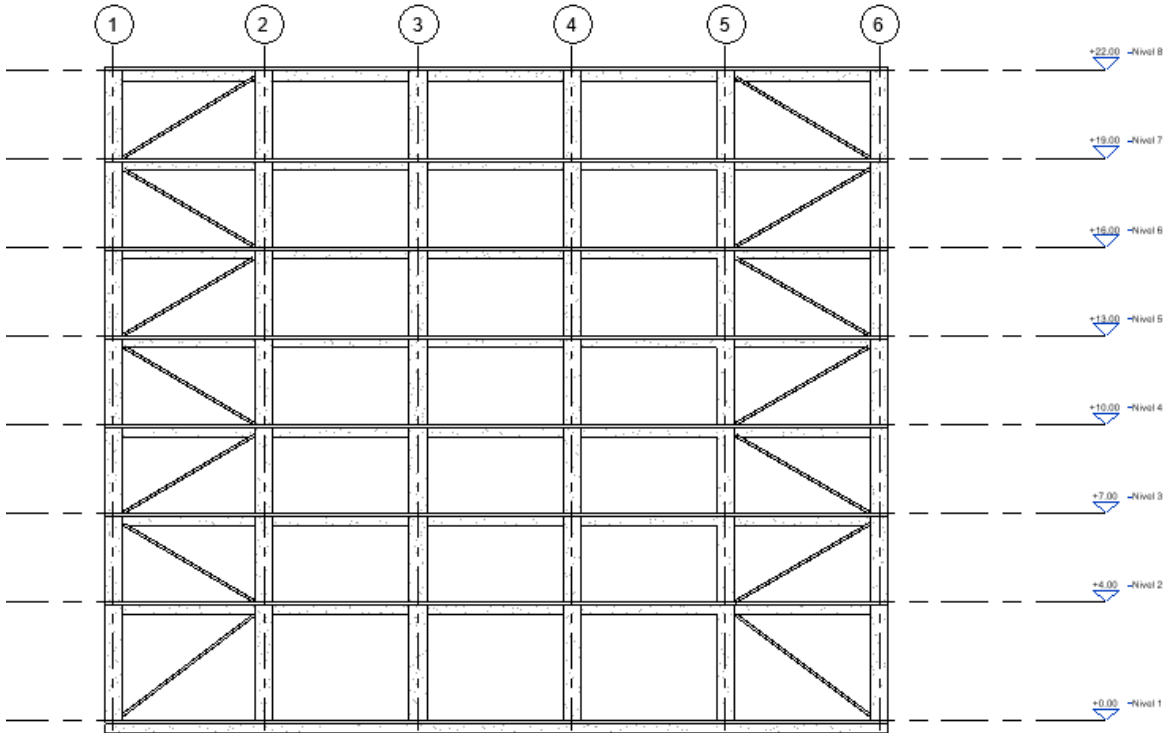
Los planos estructurales de este diseño se realizaron en REVIT®2018. Este modelo se basa en la implementación de disipadores de energía a fricción en las cuatro caras exteriores de la estructura, los cuales se colocaron simétricamente para evitar fenómenos de torsión en la edificación.

*Ilustración 89 Plano fachada “este-oeste” diseño disipadores de energía*



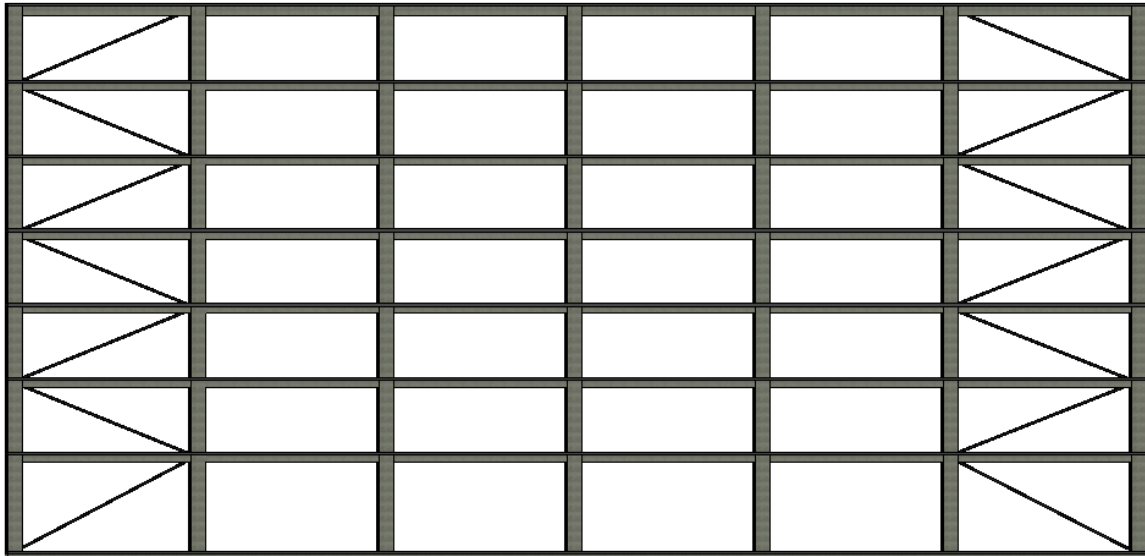
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 90 Ejes y niveles diseño disipadores de energía



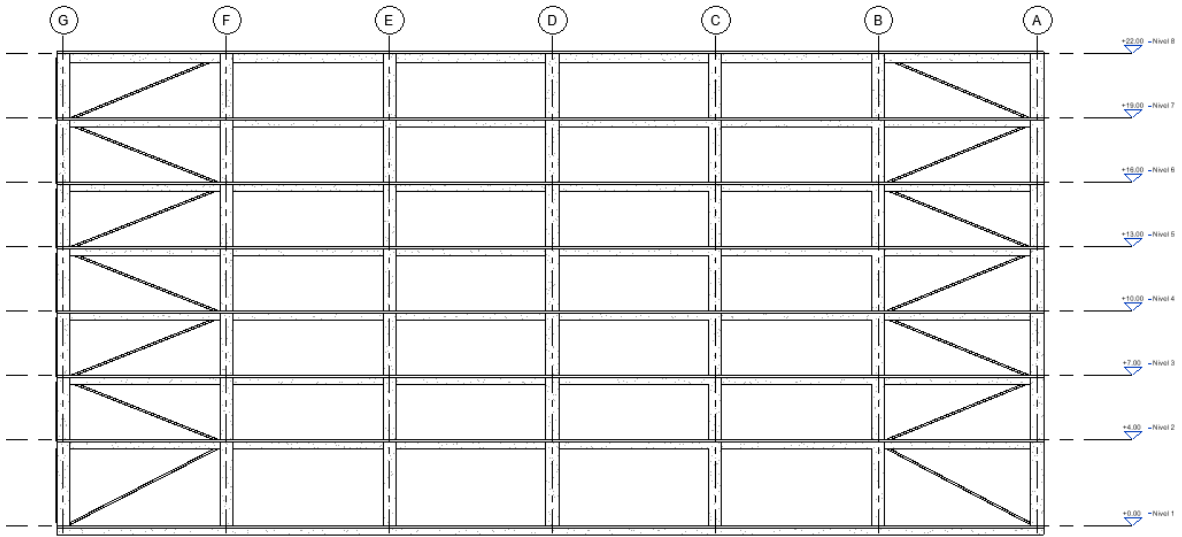
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 91 Plano fachada "norte-sur" diseños disipadores de energía



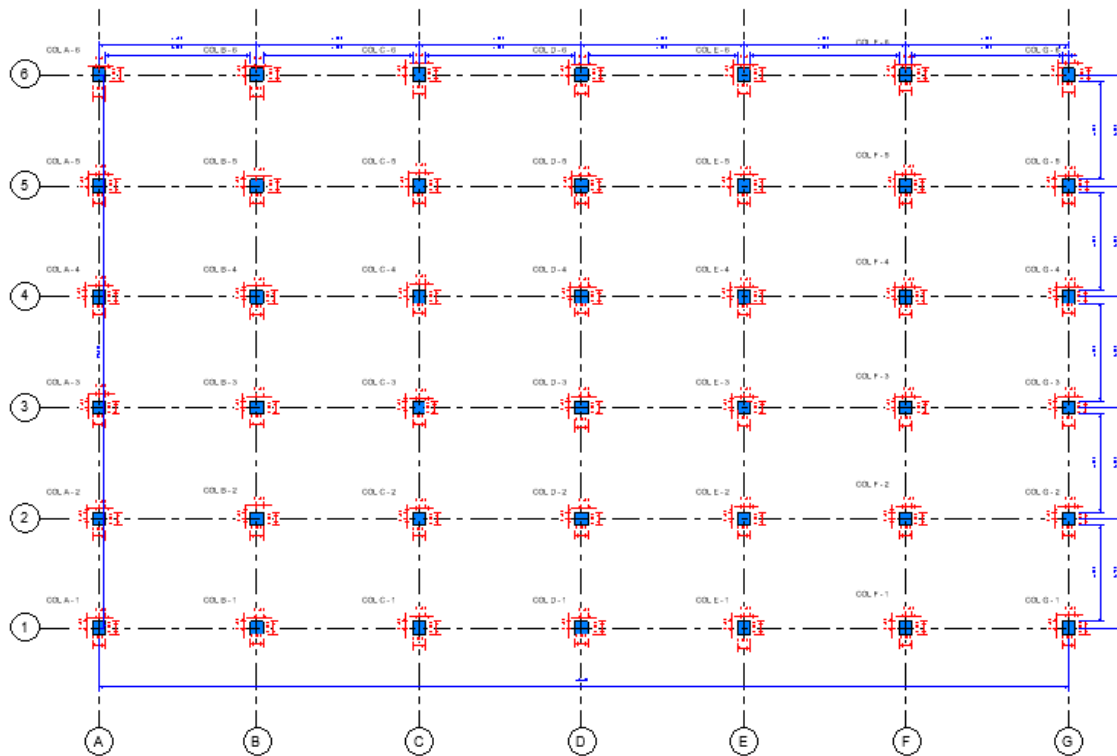
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 92 Ejes y niveles diseño disipadores de energía



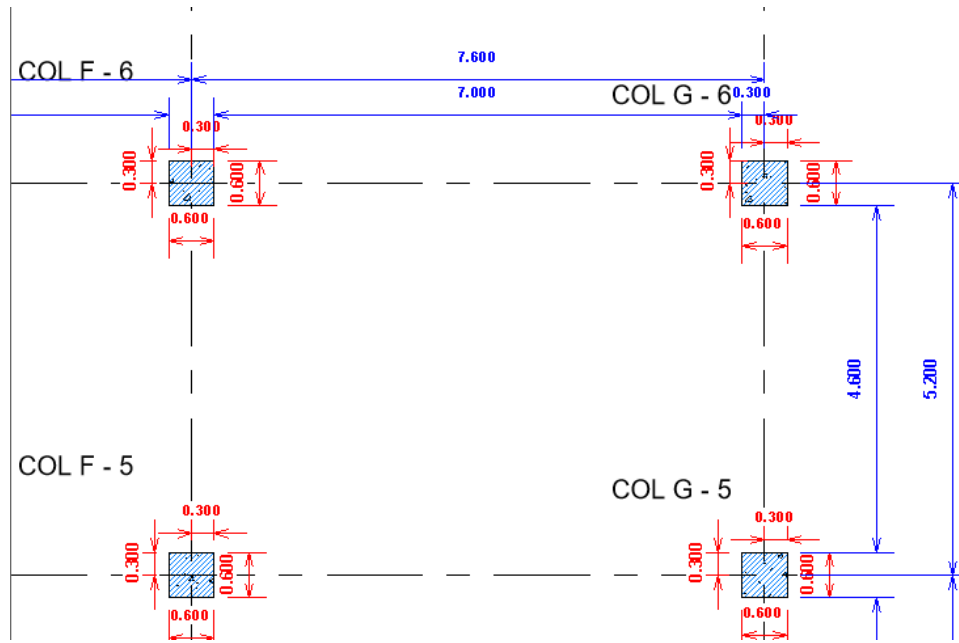
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 93 localización de columnas diseño disipadores de energía



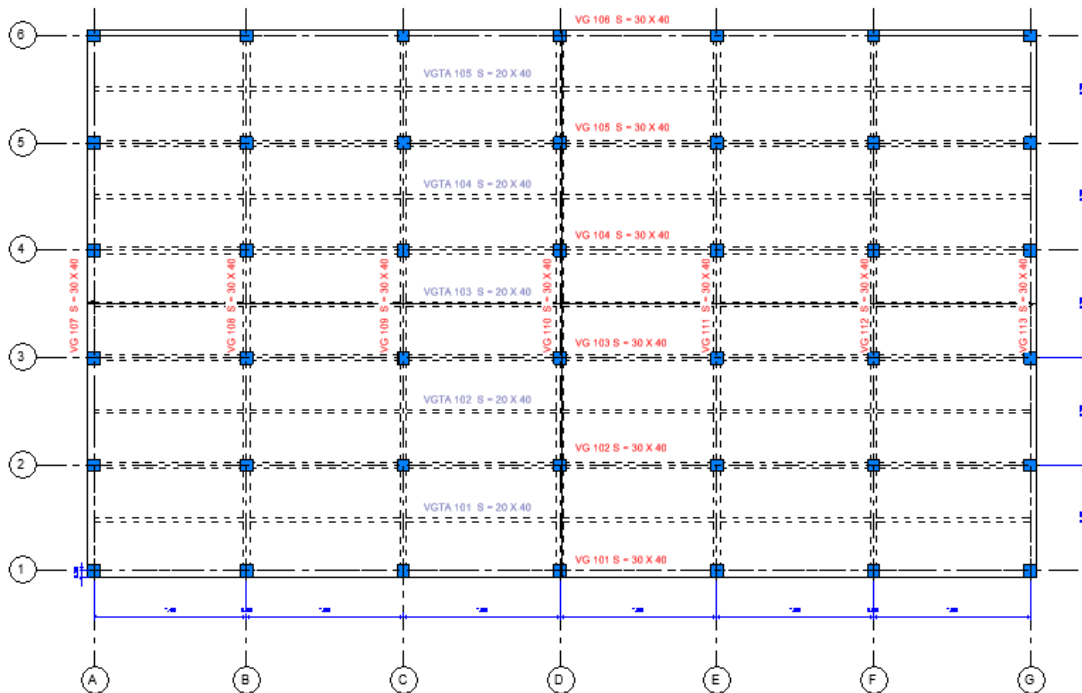
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 94 Localización columnas en detalle diseño disipadores de energía



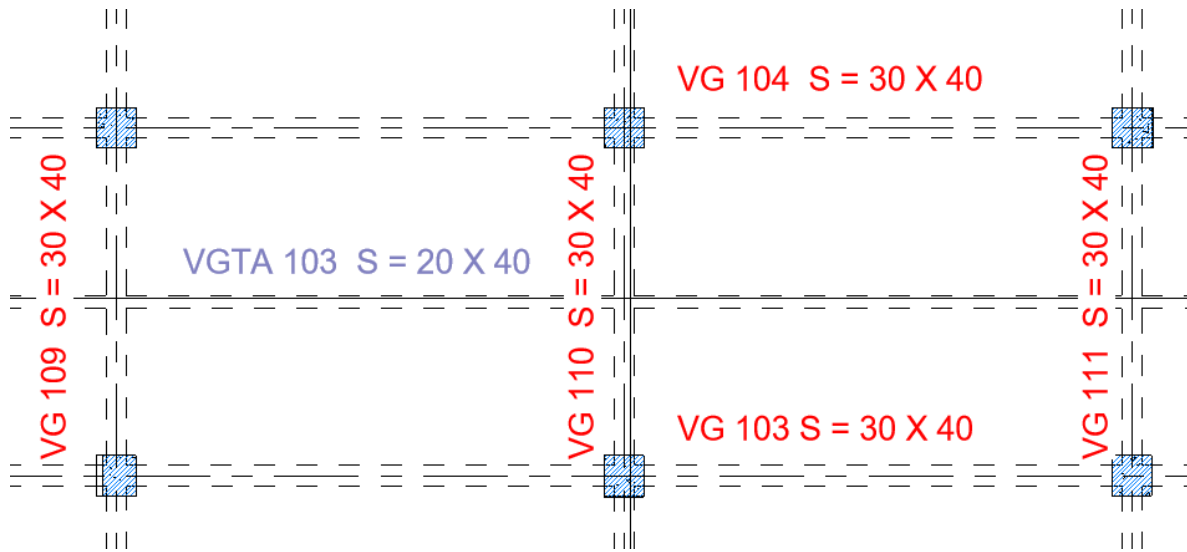
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 95 Localización de vigas y viguetas



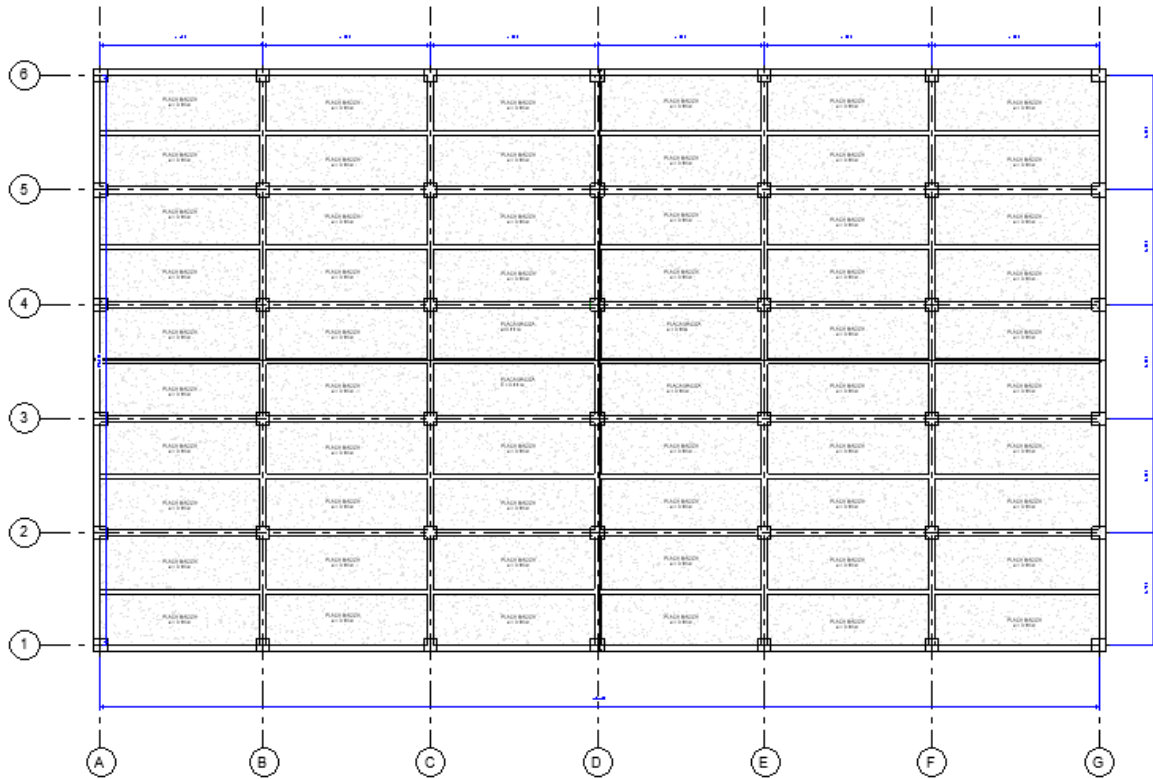
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 96 Localización vigas y viguetas en detalle



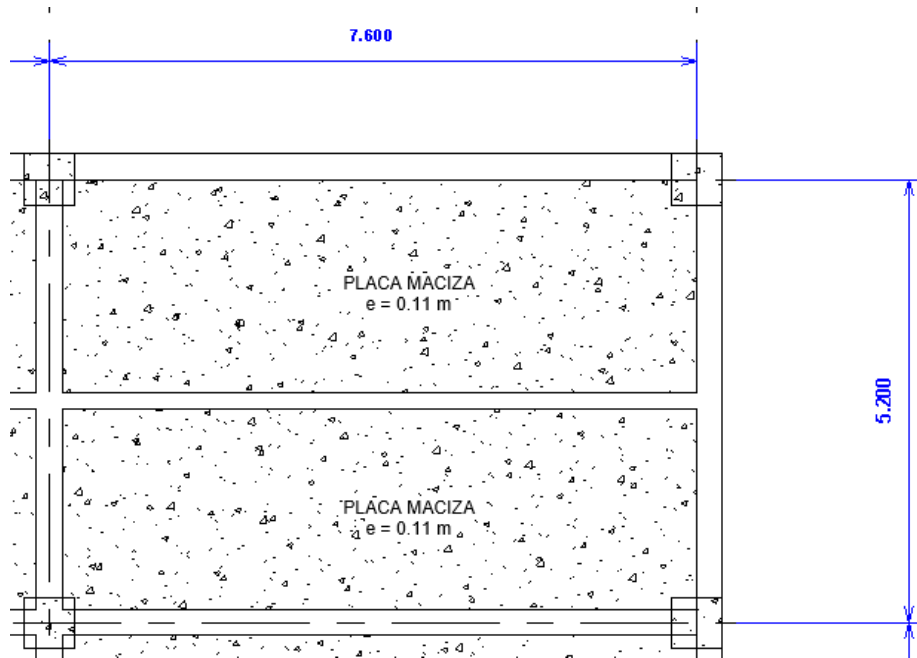
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 97 Planta de segundo piso diseño disipadores de energía



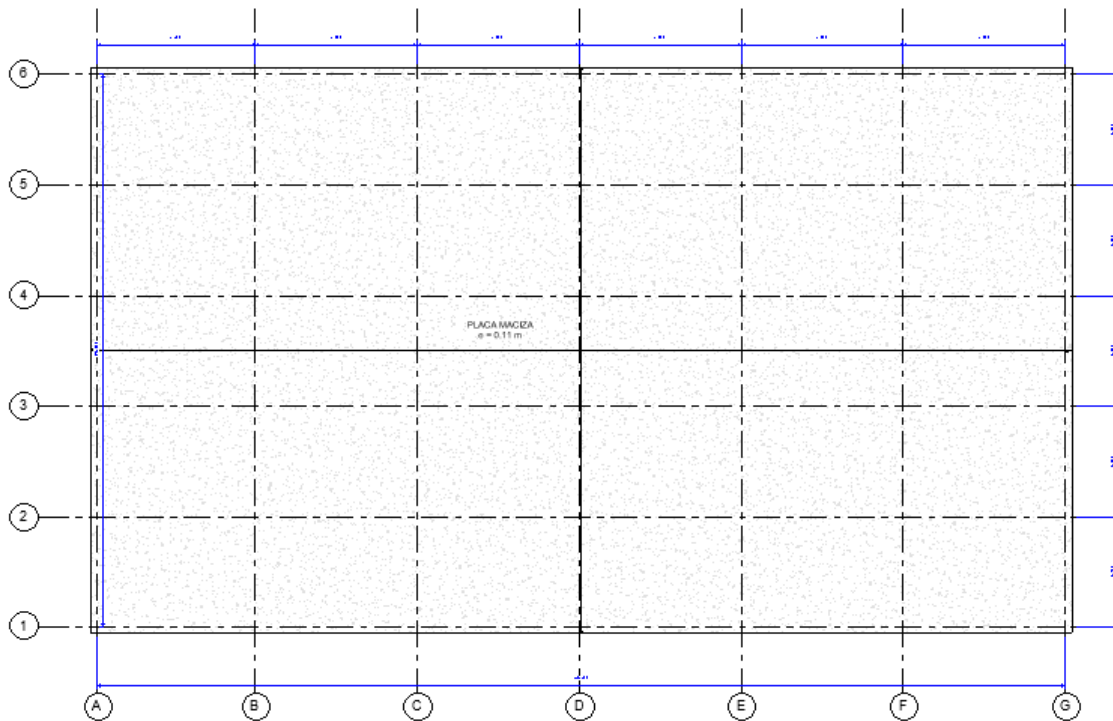
Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 98 Planta segundo piso en detalle



Fuente: (REVIT® 2018)

Ilustración 99 planta cubierta diseño disipadores de energía



Fuente: (REVIT® 2018)

## 7.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE MODELACIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos en la modelación en el software ETABS<sup>®</sup> 2016, para hacer el análisis de las dos edificaciones, se decidió hacer la comparación entre las derivas de piso y los desplazamientos con las cargas sin reducir por el coeficiente k

### 7.7.5 Comparación de desplazamientos

Los desplazamientos que se obtuvieron en la modelación se muestran a continuación:

*Tabla 7.7.5-1 Desplazamientos estructura con muro estructural*

DESPLAZAMIENTOS DE NUDOS MODELACION CON MUROS ESTRUCTURALES (CARGAS SIN REDUCIR)					
PISO	COL	NUDO	CARGA	UX	UY
				mm	mm
P7	A-6	7	SismoX	212,94	27,00
P7	A-6	7	SismoY	-27,36	35,74
P6	A-6	14	SismoX	175,26	22,95
P6	A-6	14	SismoY	-23,26	29,93
P5	A-6	21	SismoX	137,38	18,64
P5	A-6	21	SismoY	-18,89	23,95
P4	A-6	28	SismoX	100,50	14,23
P4	A-6	28	SismoY	-14,42	18,01
P3	A-6	35	SismoX	66,27	9,91
P3	A-6	35	SismoY	-10,04	12,37
P2	A-6	42	SismoX	36,72	5,93
P2	A-6	42	SismoY	-6,01	7,35
P1	A-6	49	SismoX	14,17	2,55
P1	A-6	49	SismoY	-2,58	3,30

Fuente: (ETABS<sup>®</sup> 2016)

Tabla 7.7.5-2 Desplazamientos estructura con disipadores

DESPLAZAMIENTOS DE NUDOS MODELACION CON DISIPADORES A FRICCIÓN (CARGAS SIN REDUCIR)					
PISO	COL	NUDO	CARGA	UX	UY
				mm	mm
P7	A-6	7	SismoX	92,507	4,452
P7	A-6	7	SismoY	-4,531	138,556
P6	A-6	14	SismoX	81,07	3,92
P6	A-6	14	SismoY	-3,984	118,904
P5	A-6	21	SismoX	68,101	3,313
P5	A-6	21	SismoY	-3,361	97,682
P4	A-6	28	SismoX	53,861	2,639
P4	A-6	28	SismoY	-2,673	75,442
P3	A-6	35	SismoX	39,266	1,958
P3	A-6	35	SismoY	-1,979	53,474
P2	A-6	42	SismoX	24,824	1,264
P2	A-6	42	SismoY	-1,274	32,714
P1	A-6	49	SismoX	11,639	0,652
P1	A-6	49	SismoY	-0,656	14,725

Fuente: (ETABS ® 2016)

De acuerdo con la Tabla 7.7.5-1 y la Tabla 7.7.5-2, se observa que hay dos valores por cada uno de los pisos, esto se debe a que cuando se hace el análisis en ETABS ® al evaluar el desplazamiento en el eje X también arroja valores en el eje Y debido a la excentricidad del 5% que se le colocó en la modelación, por lo tanto los valores que están subrayados en color azul, son los que se tienen en cuenta en cada eje.

### 7.7.6 Comparación de derivas

Tabla 7.7.6-1 Derivas diseño con disipadores a fricción

CUADRO DERIVAS DE PISO - CON DISIPADORES			
PISO	CARGA	DIRECCIÓN	DERIVA
P7	SismoX	X	<b>0,38%</b>
P7	SismoY	Y	<b>0,72%</b>
P6	SismoX	X	<b>0,43%</b>
P6	SismoY	Y	<b>0,78%</b>

<b>CUADRO DERIVAS DE PISO - CON DISIPADORES</b>			
<b>PISO</b>	<b>CARGA</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>DERIVA</b>
P5	SismoX	X	<b>0,47%</b>
P5	SismoY	Y	<b>0,82%</b>
P4	SismoX	X	<b>0,49%</b>
P4	SismoY	Y	<b>0,81%</b>
P3	SismoX	X	<b>0,48%</b>
P3	SismoY	Y	<b>0,77%</b>
P2	SismoX	X	<b>0,44%</b>
P2	SismoY	Y	<b>0,67%</b>
P1	SismoX	X	<b>0,29%</b>
P1	SismoY	Y	<b>0,43%</b>

Fuente: (ETABS ® 2016)

*Tabla 7.7.6-2 Derivas diseño con muro estructural*

<b>DERIVAS DE PISO-CON MUROS ESTRUCTURALES</b>				
<b>PISO</b>	<b>CARGA</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>DERIVA</b>	<b>DERIVA (70%)</b>
P7	SismoX	X	<b>1,26%</b>	<b>0,88%</b>
P7	SismoY	Y	<b>0,67%</b>	<b>0,47%</b>
P6	SismoX	X	<b>1,26%</b>	<b>0,88%</b>
P6	SismoY	Y	<b>0,71%</b>	<b>0,50%</b>
P5	SismoX	X	<b>1,23%</b>	<b>0,86%</b>
P5	SismoY	Y	<b>0,72%</b>	<b>0,50%</b>
P4	SismoX	X	<b>1,14%</b>	<b>0,80%</b>
P4	SismoY	Y	<b>0,70%</b>	<b>0,49%</b>
P3	SismoX	X	<b>0,99%</b>	<b>0,69%</b>
P3	SismoY	Y	<b>0,64%</b>	<b>0,45%</b>
P2	SismoX	X	<b>0,75%</b>	<b>0,53%</b>
P2	SismoY	Y	<b>0,53%</b>	<b>0,37%</b>
P1	SismoX	X	<b>0,35%</b>	<b>0,25%</b>
P1	SismoY	Y	<b>0,31%</b>	<b>0,22%</b>

Fuente: (ETABS ® 2016)

## 7.8 CANTIDAD DE DISIPADORES

Para calcular la cantidad de disipadores de energía, se tomó la fuerza axial generada en estos elementos durante la modelación. Luego esta fuerza fue dividida en un tercio, debido a que ésta es la fuerza que disipa la estructura. Los dos tercios restantes es la fuerza que los disipadores de energía a fricción toman. Con la energía en los disipadores ya calculada, se aproximan a las fuerzas estándar de fabricación. De lo anterior se obtienen los siguientes resultados:

*Tabla 7.8-1 Capacidad de cada disipador a fricción*

SOLICITUD DE DISIPADORES						
PISO	DISIPADOR	DIRECCIÓN	FUERZA (kN)	FUERZA DE ACTIVACION (1/3 DE F)	FUERZA TOMADA	CAPACIDAD DE DISIPADOR (kN)
P1	K40	Y	1320,14	460,85	921,71	1000
P1	K47	Y	1296,72	467,66	935,33	1000
P1	K26	Y	1518,08	546,77	1093,53	1100
P1	K33	Y	1495,96	538,80	1077,60	1100
P1	K1	X	1306,85	471,15	942,30	1000
P1	K15	X	1328,51	478,39	956,78	1000
P1	K22	X	1407,35	501,47	1002,93	1000
P1	K58	X	1427,95	509,30	1018,60	1000
P2	K34	Y	1562,28	565,15	1130,29	1200
P2	K27	Y	1571,21	574,04	1148,09	1200
P2	K41	Y	1350,84	488,77	977,54	1000
P2	K48	Y	1381,46	496,82	993,63	1000
P2	K59	X	1559,73	548,10	1096,20	1000
P2	K23	X	1496,35	539,47	1078,93	1100
P2	K5	X	1405,03	501,79	1003,58	1000
P2	K16	X	1430,37	510,23	1020,45	1000
P3	K42	Y	1204,05	417,43	834,87	900
P3	K48	Y	1383,79	496,82	993,63	1000
P3	K34	Y	1358,56	490,29	980,57	1000
P3	K27	Y	1330,23	480,33	960,65	1000
P3	K17	X	1271,90	454,29	908,58	1000
P3	K6	X	1241,44	443,93	887,86	900
P3	K24	X	1316,63	476,24	952,48	1000
P3	K60	X	1362,93	487,25	974,49	1000
P4	K29	Y	1269,73	443,36	886,71	900
P4	K36	Y	1215,38	433,49	866,98	900

<b>SOLICITUD DE DISIPADORES</b>						
<b>PISO</b>	<b>DISIPADOR</b>	<b>DIRECCIÓN</b>	<b>FUERZA (kN)</b>	<b>FUERZA DE ACTIVACION (1/3 DE F)</b>	<b>FUERZA TOMADA</b>	<b>CAPACIDAD DE DISIPADOR (kN)</b>
P4	K50	Y	1064,05	385,02	770,05	800
P4	K43	Y	1084,73	376,04	752,07	800
P4	K61	X	1284,45	445,31	890,62	900
P4	K25	X	1252,83	433,95	867,89	900
P4	K7	X	1116,10	401,53	803,05	800
P4	K18	X	450,79	412,29	824,58	900
P5	K44	Y	838,43	290,35	580,70	650
P5	K51	Y	960,44	331,90	663,80	800
P5	K30	Y	988,89	342,60	685,20	800
P5	K37	Y	966,65	333,48	666,97	800
P5	K19	X	958,83	330,82	661,63	800
P5	K12	X	926,14	320,06	640,13	650
P5	K54	X	994,47	346,40	692,81	800
P5	K62	X	1035,50	357,84	715,68	800
P6	K31	Y	704,64	242,15	484,29	650
P6	K38	Y	685,28	234,18	468,37	650
P6	K45	Y	603,03	204,23	408,47	650
P6	K52	Y	614,01	211,48	422,95	650
P6	K63	X	765,43	263,04	526,09	650
P6	K55	X	735,23	252,33	504,66	650
P6	K13	X	669,13	231,30	462,59	650
P6	K20	X	684,79	241,38	482,76	650
P7	K53	Y	257,65	87,15	174,31	250
P7	K46	Y	239,49	81,07	162,15	250
P7	K39	Y	224,57	75,78	151,55	250
P7	K32	Y	293,64	99,11	198,23	250
P7	K14	X	352,19	120,22	240,43	250
P7	K21	X	378,92	129,59	259,18	250
P7	K56	X	390,46	133,98	267,97	250
P7	K64	X	420,32	143,97	287,95	250

Fuente: (ETABS ® 2016)

En resumen, la cantidad de disipadores para toda la edificación son 56 dispositivos, teniendo en cuenta que no todos requieren la misma fuerza, teniendo lo siguiente:

Tabla 7.8-2 Cantidad de disipadores de acuerdo a la fuerza requerida

RECUENTO DE DISIPADORES	
CANTIDAD	FUERZA (KN)
8	250
10	650
9	800
6	900
19	1000
2	1100
2	1200
56	<b>TOTAL</b>

Fuente: (ETABS ® 2016)

### 7.8.5 COSTO DE LOS DISIPADORES

De acuerdo con la información suministrada por el encargado de la parte comercial de la empresa TECNOCIENTIFIC S.A., el costo promedio de cada uno de los disipadores a fricción con IVA y contemplando la instalación de los dispositivos es de \$22'000.000 COP, por lo tanto teniendo como referencia dicho valor, se multiplica la cantidad total de disipadores, los cuales se muestran en la Tabla 7.8-2, Obteniendo el siguiente costo de implementación.

Tabla 7.8.5-1 Costo total de implementación de la cantidad total de disipadores

CANTIDAD DE DISIPADORES	COSTO PROMEDIO POR DISIPADOR A FRICCIÓN PARA COLOMBIA SEGÚN TECNOCIENTIFIC S. A	TOTAL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN
56	\$ 22.000.000	\$ 1.232.000.000

Fuente: (Basado en TECNOCIENTIFIC)

Sin embargo, al evidenciar un elevado costo de implementación, se decide realizar una cotización directa con la empresa canadiense QUAKETEK, quienes a su vez fabrican y envían estos dispositivos a Tecnocientific S.A. Obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 7.8.5-2 Costo total de implementación importando los disipadores

CANTIDAD DE DISIPADORES	VALOR ESTIMADO DE TODOS LOS DISIPADORES CON LAS ESPECIFICACIONES SOLICITADAS SEGUN QUAKETEK		COSTO DEL ENVIO CANADA-COLOMBIA		TOTAL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN	
	USD	COP	USD	COP	USD	COP
56	180.000	573.102.000	5000	15.919.500	185.000	589.021.500


Fuente: (Basado en QUAKETEK)

De la anterior información, suministrada por el ingeniero Oscar Galindo de la empresa QUAKETEK para ser usada en fines académicos, se evidencia que los precios son mucho más bajos que los obtenidos en Colombia. Esto puede deberse a que Tecnocientific S.A. es la única empresa que instala e importa este tipo de dispositivos disipadores de energía en el país

## 7.9 COSTO MURO ESTRUCTURAL

Para conocer el costo total del muro estructural, se realizó el Análisis de Precios Unitarios (APU), ver Tabla 7.9-1, Teniendo en cuenta cada uno de los aspectos necesarios para su construcción en obra, por metro cuadrado. Luego se determina la cantidad de metros cuadrados de muro que se solicita en los planos, ver Tabla 7.9.5-1, y finalmente se determinó el presupuesto total del muro, ver Tabla 7.9.5-2

Tabla 7.9-1 Análisis de precio unitario APU muro estructural

	<b>FORMATO DE ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>	CÓDIGO	
		VERSIÓN	1
		PAGINA	
		FECHA	11/12/2018
PROYECTO	<b>ANÁLISIS DE VIABILIDAD EN SISMO RESISTENCIA DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN EDIFICIO DE SIETE PISOS CON Y SIN DISPOSITIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA Y SUS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN</b>		
OBJETO DEL CONTRATO	Analizar la viabilidad en sismo resistencia de la superestructura de un edificio de siete pisos con y sin dispositivos de disipación de energía y sus costos de implementación.		
CONTRATISTA	ERIKA YAZMIN PARRA CASTRO - DANIEL SEBASTIAN MARTINEZ FRANCO		
INTERVENTOR			

DATOS ESPECIFICOS							
ITEM	DESCRIPCIÓN					UNIDAD	CANTIDAD
1.1.1	MURO ESTRUCTURAL DE CONCRETO 3000 psi 20 cm					M2	1

I. EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/DIA	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO	
Vibrador de concreto monofásico con manguera de 4 m	d	\$ 38.000	0,35	\$ 13.300,00	

Herramienta menor 5%			5%	\$	2.574,32
Servicio bomba				\$	32.725,00
				\$	-
				\$	-
				\$	-
				\$	-
<b><i>SUBTOTAL</i></b>				\$	48.599,32

<b>II. MATERIALES</b>				
DESCRIPCIÓN	UNIDA D	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	Vr. UNITARIO
Concreto corriente grava común 3000	m3	0,210	\$ 297.000	\$ 62.370,00
Malla Electrosoldada de 6mm 15X15	un	0,14	\$ 107.563	\$ 15.058,82
Formaleta metálica m2 con accesorios	d	2	\$ 150	\$ 300,00
Desenconfante emulsionado Separol sika	kg	0,03	\$ 273.700	\$ 8.211,00
Alambre negro	kg	0,05	\$ 3.075	\$ 153,75
Agua	m3	0,001	\$ 1.800	\$ 1,80
				\$ -
<b><i>SUBTOTAL</i></b>				\$ 86.095,37

<b>III. TRANSPORTES</b>
-------------------------

MATERIAL	UNID AD	CANTI DAD (1)	DISTAN CIA (2)	1+2	TARIFA	Vr. INITARIO
Servicio de Botadero	1km	25	25	50	\$ 0,0887	\$ 4
Transporte de material (malla electrosoldada)	1km	10	10	20	\$ 10	\$ 200
						\$ -
<b>SUBTOTAL</b>						204,44

IV. MANO DE OBRA						
TRABAJADOR	Hora	PRESTA CIONES	JORNAL TOTAL	RENDIMIENTO	Vr. INITARIO	
Cuadrilla No. 4	\$ 16.120	1042,5	\$ 17.162	3	\$	51.486,41
					\$	-
					\$	-
					\$	-
					\$	-
<b>SUBTOTAL</b>					\$	51.486,41

<b>TOTAL APU SIN AIU</b>	\$	186.385,54
--------------------------	----	------------

V.COSTOS INDIRECTOS			
DESCRIPCION	PORCENTAJE	VALOR TOTAL	
ADMINISTRACIÓN		0	0

<b>IMPREVISTOS</b>		0	0
<b>UTILIDAD</b>		0	0
		<b>SUBTOTAL \$</b>	0

<b>PRECIO UNITARIO APROXIMADO AL PESO \$</b>		<b>\$ 186.385,54</b>
--	--	----------------------

<p><b>Observaciones</b> No se encuentra incluido el IVA</p>
---

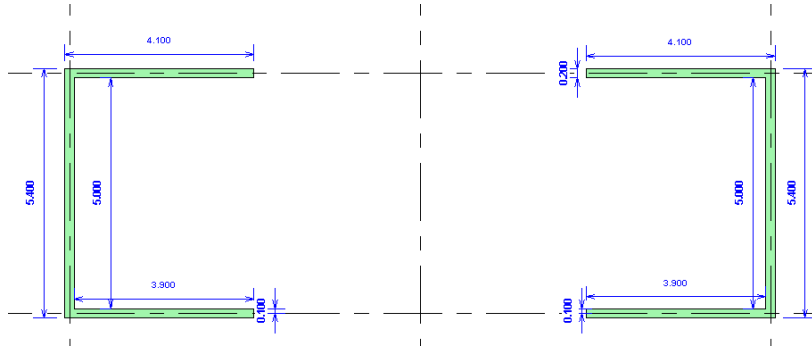
<p>Firma _____  Nombre:  Ingeniero Costos  Matricula No. :</p>
--

Fuente: (basado en cotizaciones reales para Bogotá)

### 7.9.5 Cantidad de muros

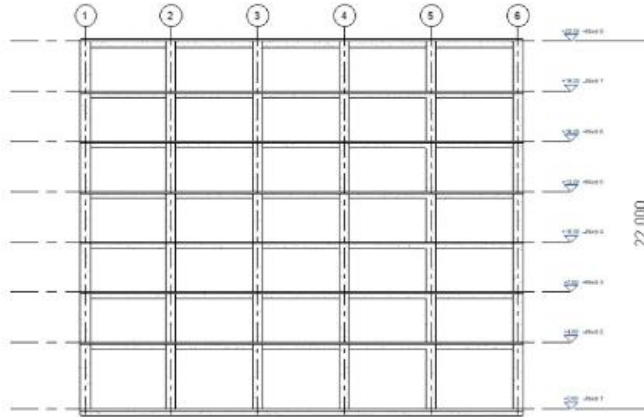
De acuerdo con las dimensiones del muro las cuales se muestran en la Ilustración 100 y la Ilustración 101 se estableció el volumen y la cantidad de muros en total para toda la edificación

*Ilustración 100 Dimensiones del muro estructural*



Fuente: (REVIT 2018)

*Ilustración 101 Altura del muro*



Fuente: (REVIT 2018)

*Tabla 7.9.5-1 Cantidad de muros*

MURO ESTRUCTURAL					
LONGITUD (m)	ALTURA (m)	AREA (M2)	CANTIDAD	TOTAL	UN.
4,00	22	88,00	4	352,00	M2
5,30	22	116,60	2	233,20	M2
AREA TOTAL DE MUROS				585,20	M2

Tabla 7.9.5-2 Presupuesto muro estructural



<b>Proyecto: ANÁLISIS DE VIABILIDAD EN SISMO RESISTENCIA DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN EDIFICIO DE SIETE PISOS CON Y SIN DISPOSITIVOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA Y SUS COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>FORMATO DE PRESUPUESTO</b>	
	FECHA:	VERSIÓN:
Universidad La Gran Colombia - FIC	11/12/2018	1

<b>UBICACIÓN:</b>	Bogotá D.C.	<b>ÁREA A EDIFICAR (m2):</b>	N/A
<b>ÁREA TOTAL DE TERRENO (m2)</b>	N/A	<b>ÁREA A URBANIZAR:</b>	N/A

<b>PRESUPUESTO GENERAL</b>	<b>\$ 109.072.816,91</b>
----------------------------	--------------------------

<i>Ítem</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>C. Total</i>
1	<b>ESTRUCTURA</b>				
1.1	<b>ELEMENTOS EN CONCRETO REFORZADO</b>				<b>\$ 109.072.816,91</b>
1.1.1	MURO ESTRUCTURAL DE CONCRETO 3000 psi 20 cm	M2	585,20	\$ 186.385,54	\$ 109.072.816,91

## 8 COMPARACIÓN DE COSTOS Y ANÁLISIS A LARGO PLAZO

De acuerdo con lo establecido en el numeral 7.8.5 y con el numeral 7.9, se tienen los costos de la cantidad total de disipadores de energía y el costo total de la construcción del muro estructural, los resultados fueron los siguientes:

*Tabla 8-1 Comparación de costos*

COMPARACION DE COSTOS			
CANTIDAD	COSTO TOTAL DE MURO ESTRUCTURAL	COSTO TOTAL DISIPADORES	
		TECNOCIENTIFIC	QUAKETEK
TOTAL IMPLEMENTACION	\$ 109.072.818	\$ 1.132.000.000	\$ 589.021.500

Con los resultados obtenidos anteriormente, se evidencia que el precio de los disipadores de energía es notablemente más elevado frente al costo del muro estructural, aproximadamente un 550% con respecto al valor suministrado por QUAKETEK quienes manejan el valor más bajo entre las empresas consultadas.

Por otro lado, la estructura convencional al ser más rígida puede llegar sufrir daños estructurales de gran impacto durante una eventualidad sísmica. Lo anterior implica que posterior a un sismo, se deba invertir dinero y tiempo en la rehabilitación de la estructura. Para este proyecto, que es una edificación para oficinas correspondiente al grupo de uso II, los tiempos en la rehabilitación podrían generar gastos adicionales. Mientras que con el uso de disipadores de energía no es necesario un proceso de rehabilitación de la estructura y así mismo, puede seguir con su funcionamiento normal.

Con la situación planteada anteriormente y pensando en una construcción más segura para la conservación de la vida humana, económicamente la edificación con disipadores de energía puede ser más viable a largo plazo, si esto se cumple, estas edificaciones pueden garantizar mayor funcionalidad en las instalaciones después de un sismo.

## 9 CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis de resultados anterior, se concluye que:

- Dentro de los dispositivos de disipación de energía, se eligen los disipadores, porque presentan mejores características frente a los aisladores de base, debido a que pueden ser aplicados a edificios de cualquier altura, puesto que no modifican el periodo de la estructura en gran medida, además su instalación en obra es más práctica pues permiten ser instalados gradualmente junto con el avance general de la obra. Dentro de los tipos de disipadores, se escoge trabajar con disipadores a fricción debido a que han sido implementados en Colombia en distintos proyectos de reforzamiento estructural, tales como el Hospital Tunal, La Clínica Fray Bartolomé de las Casas y la Fundación Clínica Valle de Lili, entre otras, donde se ha evaluado su efectividad. Además, tienen mayores ventajas frente a los demás disipadores, entre ellas se destaca que son capaces de disipar más energía por ciclo, su comportamiento no depende de condiciones ambientales, su diseño es como el de una diagonal o arriostramiento y no es necesario reemplazarlos posterior a una eventualidad sísmica.
- Con base en las modelaciones que se realizaron para determinar los comportamientos sísmo resistentes de las estructuras, se identifica que las derivas de la estructura equipada con disipadores de energía a fricción son menores que las que presenta el edificio diseñado convencionalmente con el sistema combinado. En este último se utilizaron factores de fisura en las columnas y vigas, permitiendo así tomar el 70% de las derivas, tal como lo permite la Norma de Sismo Resistencia colombiana (NSR-10) en apartado A.6.4.1.1. Mientras que todas las derivas del edificio con disipadores de energía estuvieron incluso por debajo del 1%. Con la modelación también se encuentra que en cuanto a desplazamientos en el eje Y, el edificio con el muro estructural presenta mejor desempeño y cuanto al eje X, es la estructura con disipadores es la que consigue menores desplazamientos. Por lo tanto, las derivas y desplazamientos en la edificación con disipadores de energía presentan un mejor comportamiento según la modelación, es decir, que es el diseño más eficiente para la conservación de la estructura y de la vida humana.
- Teniendo en cuenta las cotizaciones realizadas tanto a empresas colombianas como multinacionales, implementar en la edificación los disipadores de energía a fricción es aproximadamente cinco veces más

costoso que construir el muro estructural. Por tal razón, en términos económicos el diseño convencional es el más favorable, sin embargo, se debe contemplar que la implementación de los disipadores de energía tendrá un impacto positivo económicamente hablando a largo plazo o en caso de eventualidad sísmica de gran magnitud, puesto que, posterior a un sismo no será necesario invertir en la rehabilitación del edificio. De acuerdo con el estudio realizado de las empresas colombianas que se encargan de la instalación de los disipadores o aisladores, la mayoría han implementado estos dispositivos en hospitales, dado que son entidades que en ninguna circunstancia pueden cesar sus labores, debido a la importancia que tienen dentro de la sociedad y en caso de eventualidad sísmica son los lugares más relevantes, puesto que son los sitios destinados para atender la emergencia.

## 10 BIBLIOGRAFIA

- ¿Cuál es el riesgo sísmico en Bogotá? En: Revista semana [en línea]. 2010 [citado el 12 de agosto de 2017]. Disponible en internet. <https://goo.gl/ovrRJT>
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá. 2010.
- BANCO MUNDIAL, datos de población urbana en Colombia [en línea]. 2017 [consultado el 12 de agosto del 2017]. Disponible en internet. <https://goo.gl/3uD5JA>
- AGUIAR, R. MORA, D. RODRIGUEZ, M. Análisis de una estructura con disipadores sometidos a espectros de diseño y de control. Quito, Ecuador. En: Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. 2017. Vol. 33, ediciones 3-4, p.171-178
- OVIEDO, J. Influencia de la rigidez de pisos de pórticos de concreto reforzado con disipadores histeréticos proporcionales sobre la respuesta sísmica. Envigado, Colombia. En: Revista EIA, Escuela de Ingeniería de Antioquia, sede Las Palmas. no. 17, p. 121-137. Julio 2012. ISSN 1794-1237.
- AGUIAR, R., et al. Método simplificado para el análisis sísmico de estructuras con aisladores FPS de tercera generación. En: Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. 2017. vol. 33, edicion 1-2, p.103-109.
- RAS, A., BOUMECHRA, N. Seismic energy dissipation study of linear fluid viscous dampers in steel structure design. En: Alexandria Engineering Journal. Tlemcen, Algeria. 2016. Vol. 55, edición 3, p. 2821-2832.
- HUANJUN Jiang , SHURONG Li , YULONG Zhu. Seismic performance of high-rise buildings with energy-dissipation outriggers. En: Journal of Constructional Steel Research. China. 2017. Vol. 134, p. 80-91.
- Crisafull, Francisco y Villafane, Elblo. Espectro de respuesta y de diseño. Universidad nacional de Cuyo Facultad de Ingeniería. Argentina, mayo 2002. Consultado 18 de marzo de 2018. Disponible en line [\[https://goo.gl/t2jDtE\]](https://goo.gl/t2jDtE)
- BURGOS NAMUCHE, Maribel. Disipación de energía sísmica para el diseño y reforzamiento de edificaciones. Perú: CDV representaciones. Disponible en internet: <https://goo.gl/Vk1kfK>.
- HERNANDEZ DIAZ, German Ricardo. Caracterización mecánica o modelamiento estructural de un disipador de fricción. Trabajo de investigación Especialista en estructuras. Bogotá: escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito. 2013, p. 127 <https://goo.gl/cXsMgN>.

- QUINTANILLA FALK, Peter. Análisis del comportamiento de estructuras de acero provistas de disipadores de energía tipo “slotted bolted connection”. Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas departamentos de ingeniería civil, 2010. Disponible en línea <https://goo.gl/rPziaW>.
- TRUJILLO ORTIZ, Jhonel, et al. Disipadores de energía. Trabajo de investigación dinámica: Huacho, Perú: Universidad nacional José Faustino Sánchez Carrión, Facultad de ingeniería civil, 2014. 54p. Disponible en internet <https://goo.gl/nYt2rC>
- VILLARREAL CASTRO, Genner y OVIEDO SARMIENTO, Ricardo. Edificaciones con disipadores de energía. Perú, Lima, 2009. 122p. [consultado el 15 de septiembre de 2017]. Disponible en internet. <https://goo.gl/t3FA2s>
- La historia no contada del primer código de construcción en Colombia-30 años. En Revista de ingeniería [en línea]. Volumen 40 [citado el 14 de septiembre de 2017], pp 82-84. Disponible en internet: <https://goo.gl/5XiqyY>.
- Servicio geológico mexicano [online]. Actualización el 03/10/2017 [citado el 25 de octubre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/XATRkC>.
- GLOBAL INGENIEROS [online]. Perú [consultado el 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/8ExJHX>.
- BOZZO, Luis y BARBAT, Alex. Diseño sismo resistente de edificios: técnicas convencionales y avanzadas [online]. ESPAÑA; Barcelona, 2004. 200 p. [consultado el 14 de septiembre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/oTCKar>.
- MARTINEZ, Dismery, et al. Momentos flexionantes. Yaracuy, San Felipe: Instituto universitario politécnico Santiago Mariño. <https://goo.gl/SoeU99>.
- Vulnerabilidad sísmica. En: Biblioteca Universidad de Piura, p 37. Disponible en internet: <https://goo.gl/QJsZcw>.
- CRISAFULLI, Francisco y VILLAFANE, Elbio. Espectros de respuesta y de diseño, Argentina, Cuyo: Universidad Nacional de Cuyo, 2002, p 3 <https://goo.gl/As9xvq>.
- ARQHYS ARQUITECTURA [online]. 2012 [consultado el 20 de septiembre de 2017]. Disponible en internet <https://goo.gl/MuULdU>.
- MAGEBA [en línea]. [consultado 24 de noviembre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/GTgyic>.
- EYM productos técnicos [en línea]. [consultado 24 de noviembre de 2017]. Disponible en internet: <https://goo.gl/ehQNmd>.
- Universidad de las fuerzas armadas. Aisladores de base elastomericos y FPS. [en línea]. [consultado 07 de diciembre de 2018]. Disponible en internet: <https://goo.gl/Wqsw2E>.

- TORO, Juan. Aislamiento sísmico para edificaciones en Pereira. En: El Diario. Bogotá. 08, mayo, 2016. Sec economía. Disponible en internet: <https://goo.gl/p8Q1qo>.
- GALINDO, Oscar. PASTOR Carlos. CORONADO Guillermo y otros. Metodología simplificada para la rehabilitación sísmica con disipadores sísmicos a fricción de un edificio de concreto reforzado para uso hotelero, en zona de alta sismicidad en el estado de Nayarit, Validación basada en desempeño post-sismo. Investigación. México: XXI congreso nacional de ingeniería estructural. 2018

## 11.ANEXOS

### En físico

- Planos
- Cotizaciones de disipadores

### En digital

- Memorias de Calculo
- Modelación ETABS ®
- Modelación REVIT ®
- Cotizaciones de disipadores
- Decreto 523
- Plano ejemplo arquitectónico

## **COTIZACIÓN DISIPADORES TECNOCIENTIFIC S.A.**

El día 10 de diciembre de 2018, vía telefónica, Andrés Felipe Castro asesor comercial en presencia del ingeniero Jorge Salazar, gerente de la empresa Tecnocientific SA. Realizan una cotización del costo aproximado por disipador en Colombia por un valor de **\$ 22.000.000 COP**. En el que está incluido la mano de obra por instalación. Así mismo Andrés Felipe Castro menciona que no puede enviar esta información por escrito, debido a que está considerada como información confidencial de la empresa.

La información suministrada vía telefónica por el asesor comercial es única y exclusivamente para fines académicos

## COTIZACIÓN DISIPADORES QUAKETEK

El ingeniero Oscar Galindo de la multinacional QUAKETEK, vía e-mail, realiza una cotización con un valor aproximado, de los 56 disipadores a fricción, de **18000 USD** con un costo de envío por **5000 USD**, Desde Canadá a Colombia.



Oscar Galindo  
para yo ▾

mar., 11 dic. 10:23 (Hace 1 día.) ☆ ↶ ⋮

Hola Daniel,

Para un proyecto de esas características puedes usar un estimado de 180.000USD. Puedes presupuestar alrededor 5000USD por el envío.

Con respecto su instalación en obra, el valor es similar por Ton de acero estructural al que tendrían ríostras comunes de acero. Para eso, cuando finalices el diseño detallado de las conexiones y de los contravientos a los cuales van conectados los disipadores podrás usar esas cantidades para cotizar con precios locales. Cuando termines el diseño puedes compartimos el modelo para ver que tus cálculos son realistas.

Si quieres, puedo ponerte en contacto con Tecnocientific. Es el instalador con más experiencia en Colombia en disipadores y sus oficinas están en Bogotá. Ellos pueden darte más información y ayudarte con tu investigación.

Saludos Cordiales,

Oscar

From: daniel martinez <[danielseb1996@gmail.com](mailto:danielseb1996@gmail.com)>  
Sent: December-11-18 8:03 AM  
To: Oscar Galindo <[ogalindo@quaketek.com](mailto:ogalindo@quaketek.com)>  
Subject: Re: DISIPADORES A FRICCION

\*\*\*

La información suministrada en este correo es única y exclusivamente para fines académicos.

