

**INFLUENCIA EN LAS CANTIDADES DE OBRA DE UNA EDIFICACIÓN CON
SISTEMA DE MUROS DE CARGA AL MODIFICAR LOS REQUISITOS MÍNIMOS
DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN ZONAS DE AMENAZA
SÍSMICA INTERMEDIA**

**SANDRA LILIANA URIBE HERNÁNDEZ
CRISTIAN DANIEL GUTIÉRREZ SANABRIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**INFLUENCIA EN LAS CANTIDADES DE OBRA DE UNA EDIFICACIÓN CON
SISTEMA DE MUROS DE CARGA AL MODIFICAR LOS REQUISITOS MÍNIMOS
DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN ZONAS DE AMENAZA
SÍSMICA INTERMEDIA**

**SANDRA LILIANA URIBE HERNÁNDEZ
CRISTIAN DANIEL GUTIÉRREZ SANABRIA**

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

DIRECTOR:

M.SC. JOSÉ MIGUEL BENJUMEA ROYERO

COORDIRECTOR

M.SC. FREDY SAÚL SOTELO MONROY

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

AGRADECIMIENTO

El desarrollo de esta investigación fue posible gracias al trabajo en equipo de todas las personas que formamos este grupo. Agradecemos Dios por guiarnos durante cada una de las etapas de nuestras, a la Vicerrectoría de investigación y extensión (VIE) por el apoyo al proyecto 1372 y finalmente a la Escuela de Ingeniera Civil

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. METODOLOGÍA	17
1.1 UBICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES	17
1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN	17
1.3 MATERIALES	18
1.4 CARGAS	19
1.5 COMBINACIONES DE CARGA	19
1.6 MODELO NUMÉRICO Y ANÁLISIS	20
1.7 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	21
1.7.1 Coeficiente de disipación de energía, R	21
1.7.2 Verificación del diseño	21
1.8 DESPIECES Y CANTIDADES DE OBRA	22
2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	23
2.1 RESPUESTA MODAL	23
2.2 RESPUESTA GLOBAL	24
2.2.1 Derivas	25
2.2.2 Cortantes por piso al modificar la capacidad de disipación de energía para una misma amenaza	25
2.2.3 Cortantes por piso al incrementar la amenaza sísmica.	27
2.3 VARIACIÓN EN LAS CANTIDADES DE OBRA AL MODIFICAR LA CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA UNA MISMA AMENAZA SÍSMICA.	28
2.4 VARIACIÓN EN LAS CANTIDADES DE OBRA AL MODIFICAR LA ZONA DE AMENAZA SÍSMICA PARA UNA MISMA CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA	32

3. TRABAJOS FUTUROS.....	37
4. CONCLUSIONES	38
BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXOS.....	43

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Combinaciones de resistencia última.....	20
Tabla 2. Combinaciones de servicio.	20
Tabla 3. Factores de reducción para capacidades de disipación de energía DES y DMO.	21
Tabla 4. Porcentajes de participación de masa modal y periodos para la estructura ubicada en Tunja.	23
Tabla 5. Porcentajes de participación de masa modal y periodos para la estructura ubicada en Cúcuta.	24
Tabla 6. Valores máximos de deriva en porcentaje.	25

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distribución de muros de carga para la edificación de Tunja.....	18
Figura 2. Distribución de muros para la edificación en Cúcuta	18
Figura 3. Espectros de aceleración para las ciudades escogidas.....	19
Figura 4. Formas modales de la estructura ubicada en Tunja para los modos 1,2 y 3.	23
Figura 5. Formas modales de la estructura ubicada en Cúcuta para los modos 1,2 y 3.	24
Figura 6. Derivas para sismo en dirección “x” y “y” para las ciudades de Tunja y Cúcuta.	25
Figura 7. Cortantes para Tunja DMO Y DES en dirección "y"	26
Figura 8. Cortantes para Tunja DMO y DES en dirección "x"	26
Figura 9. Espectro reducido de diseño para la ciudad de Tunja (capacidades DES DMO).....	26
Figura 10. Cortantes para Tunja DES y Cúcuta DES en dirección "y"	27
Figura 11. Cortantes para Tunja DES y Cúcuta DES en dirección "x"	28
Figura 12. Espectro reducido de diseño para las ciudades Cúcuta y Tunja.	28
Figura 13. Nomenclatura de los muros para la edificación en Tunja. (Muros sencillo: W1, W2, W3, muros en L: W4-5 y muros en C: W-W7, W8-W9)	29
Figura 14. Porcentaje de variación del refuerzo longitudinal por muros.	29
Figura 15. Porcentaje de variación del refuerzo transversal muros.	30
Figura 16. Porcentaje de variación del refuerzo longitudinal de los elementos de borde por muros.....	31
Figura 17. Porcentaje de variación del refuerzo transversal de los elementos de borde por muros.....	31
Figura 18. Nomenclatura de los muros para la edificación en Cúcuta. (Muros sencillo: w3, muros en L: W1-2, W4-5 y muros en C: W6-W7, W8-W9).	33
Figura 19. Porcentaje de variación del refuerzo longitudinal por muros.	33

Figura 20. Porcentaje de variación del refuerzo transversal por muros.....34

Figura 21. Porcentaje de variación del refuerzo longitudinal de los elementos de
borde por muros.....35

Figura 22. Porcentaje de variación del refuerzo transversal de los elementos de
borde por muros.....35

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Diseño De Una Pantalla (W3 Piso 1).....	43
Anexo B. Cuadro Comparativo De Los Requisitos De Diseño De Los Elementos De Borde Para Estructuras Con Capacidad De Disipación De Energía Moderada (Dmo) Y Especial (Des), Para Diseño Sismo Resistente	48
Anexo C. Cuadro Comparativo De Los Requisitos De Diseño De Los Elementos De Borde Para Estructuras Con Capacidad De Disipación De Energía Moderada (Dmo) Y Especial (Des), Para Diseño Sismo Resistente	51
Anexo D. Tabla Comparativa, Parámetros Usados Para La Determinación De Las Fuerzas Sismicas Reducidas De Diseño Para Una Estructura En Muros De Carga En Concreto Reforzado En Función A La Capacidad De Disipación De Energía Para Una Zona De Amenaza Sismica Intermedia.	53
Anexo E. Cantidades De Obra.....	54
Anexo F. Despieces.....	65

RESUMEN

TITULO: INFLUENCIA EN LAS CANTIDADES DE OBRA DE UNA EDIFICACIÓN CON SISTEMA DE MUROS DE CARGA AL MODIFICAR LOS REQUISITOS MÍNIMOS DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA INTERMEDIA

AUTORES: SANDRA LILIANA URIBE HERNÁNDEZ y CRISTIAN DANIEL GUTIÉRREZ SANABRIA**

PALABRAS CLAVES: Muros de carga, zona de amenaza sísmica, capacidad de disipación de energía, Respuesta sísmica, Cantidades de obra.

El reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) define una serie de requisitos mínimos de diseño en función a la zona de amenaza sísmica y la capacidad de disipación de energía, estableciendo: una capacidad de disipación de energía mínima (DMI) a estructuras ubicadas en zonas de amenaza sísmica baja, una capacidad de disipación de energía moderada (DMO) a estructuras ubicadas en zonas de amenaza sísmica intermedia y una capacidad de disipación de energía especial (DES) a estructuras ubicadas en zonas de amenaza sísmica alta. Sin embargo, pueden ocurrir eventos sísmicos que superen las fuerzas sísmicas de diseño, poniendo en riesgo la estabilidad de las edificaciones y con esto la vida de las personas. Esta investigación busca analizar el comportamiento sísmico en el rango lineal de una edificación con sistemas de muros de carga al variar la zona de amenaza sísmica (intermedia y alta) y los requisitos mínimos de capacidad disipación de energía (moderada y especial). Se eligió una estructura de referencia, modelada para las ciudades de Tunja y Cúcuta con el objetivo de comparar la respuesta sísmica en el rango lineal y las cantidades de obra. Para este fin se calcularon las variaciones en las cantidades de acero y concreto globales así como las presentadas en cada uno de los muros que formaban parte del sistema de resistencia sísmica, buscando determinar una tendencia, de acuerdo a las tipologías existentes en la edificación.

* Trabajo de grado

** Facultad: Físico Mecánicos, Escuela: Escuela de ingeniería de civil, Director: M.sc. José Miguel Benjumea Royero

ABSTRACT

TITLE: QUANTITIES INFLUENCE IN CONSTRUCTION OF A BUILDING WITH WALL SYSTEM LOAD TO MODIFY THE MINIMUM REQUIREMENTS FOR ENERGY ABSORPTION CAPACITY IN SEISMIC HAZARD ZONES OF MIDDLE

AUTHORS: SANDRA LILIANA URIBE HERNÁNDEZ y CRISTIAN DANIEL GUTIÉRREZ SANABRIA **

KEYWORDS: Shear wall, seismic hazard area, energy dissipation capability, seismic response, construction quantities

The Colombian earthquake resistant building regulations (NSR-10) defines a set of minimum design requirements according to the seismic hazard area and the energy dissipation capability, establishing: a low energy dissipation capability (DMI) to structures located in areas of low seismic hazard, a moderate energy dissipation capability (DMO) to structures located in areas of intermediate seismic hazard and a special energy dissipation capability (DES) to structures located in areas of high seismic hazard. However, seismic events exceeding these minimums may occur, compromising the structural integrity and with it the lives of people. This research seeks to analyze the seismic behavior in the linear range for a building with shear wall systems by varying the seismic hazard zone (intermediate and high) and the minimum energy dissipation requirements (moderate and special). A reference structure was chosen and it was modeled in the cities of Tunja and Cucuta in order to compare: the seismic design forces, requirements to design structural elements and construction quantities. For this reason, it was calculated the variations in the global amounts of steel and concrete as well as those presented at each wall part of the seismic resistance system, seeking to determine a trend, according to the typologies present in the building.

* Degree work

** Faculty: Physical Mechanic School: School of Civil Engineering, Director: M.Sc. José Miguel Benjumea Royero

INTRODUCCIÓN

La construcción sismo resistente es un tema importante en Colombia al ser un país de alto riesgo sísmico debido a su ubicación en una zona de alta complejidad tectónica [1]. De acuerdo al censo realizado por el DANE en el 2005, el 87.2% de la población colombiana se encuentra bajo un nivel de riesgo sísmico considerable [2]. Debido a esto, el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) establece requisitos mínimos de diseño para elementos estructurales según la capacidad de disipación de energía y la zona de amenaza sísmica en la que se encuentra ubicada la edificación [3]. Sin embargo, es importante recordar que un sismo no es fácil de predecir y la posibilidad de que se presente un evento sísmico con magnitud mayor a la establecida en el reglamento siempre estará presente [4], tal y como se evidenció en los sismos de Manauere (Cesar-Colombia) en el 2014 [5] y Fukushima (Japón) en el 2011 [6]. Por esta razón, este artículo tiene como objetivo analizar una edificación con sistema de muros de carga ubicada en ciudades con amenaza sísmica intermedia y alta, haciendo énfasis en las variaciones en las cantidades de obra (concreto y acero de la estructura) al aumentar la capacidad de disipación de energía o cambiar la zona de amenaza sísmica de intermedia a alta.

En el capítulo 2 se describe la metodología empleada. Los resultados obtenidos y el análisis son presentados en el capítulo 3. Por último se muestran las conclusiones y la bibliografía en los capítulos 4 y 5 respectivamente.

1. METODOLOGÍA

1.1 UBICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES

Las edificaciones fueron modeladas para las ciudades de Tunja y Cúcuta al estar ubicadas en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta respectivamente. Con esto se persiguen los siguientes objetivos: (1) determinar la influencia en las cantidades de obra de una edificación construida en una zona de amenaza sísmica intermedia al aumentar la capacidad de disipación de energía (DMO a DES) y (2) determinar la influencia en las cantidades de obra al diseñar una estructura de una edificación con capacidad DES en una zona de amenaza sísmica media y alta.

El suelo de referencia empleado para todos los casos analizados es de tipo D, elegido con el propósito de evaluar el comportamiento de la edificación bajo condiciones no favorables.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN

Para la realización de este proyecto se define una estructura de referencia, de uso residencial, con sistema de muros de carga de hormigón armado de mediana altura, con plantas simétricas y regularidad en altura, constituida por 14 niveles sin sótanos y separación de entrepisos igual a 2.40 metros. A partir de una planta arquitectónica, la distribución de los muros se modificó para obtener una deriva cercana al 1%. La configuración final de los muros, para Tunja y Cúcuta, se presenta en las Figura 1 y Figura 2.

Figura 1. Distribución de muros de carga para la edificación de Tunja.

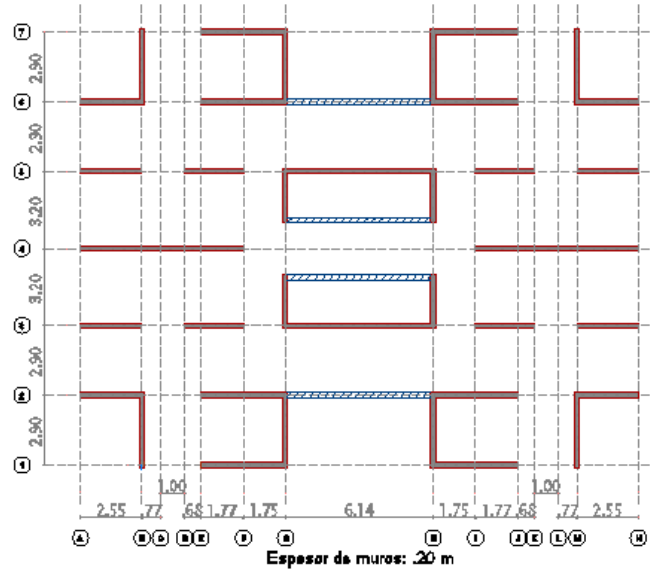
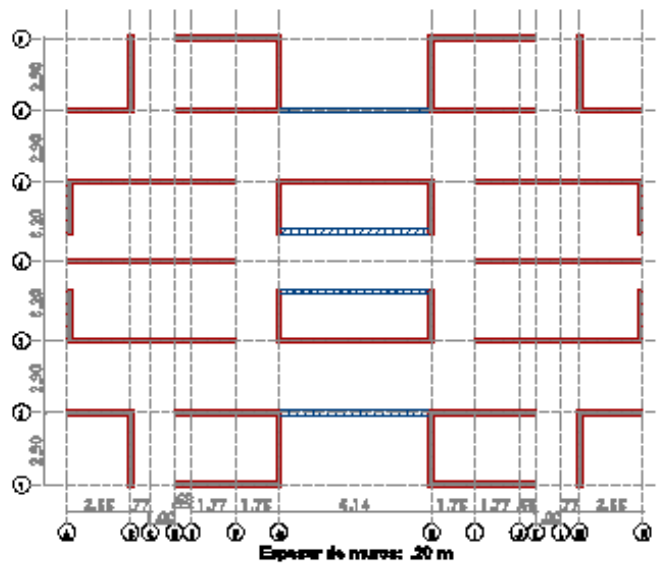


Figura 2. Distribución de muros para la edificación en Cúcuta



1.3 MATERIALES

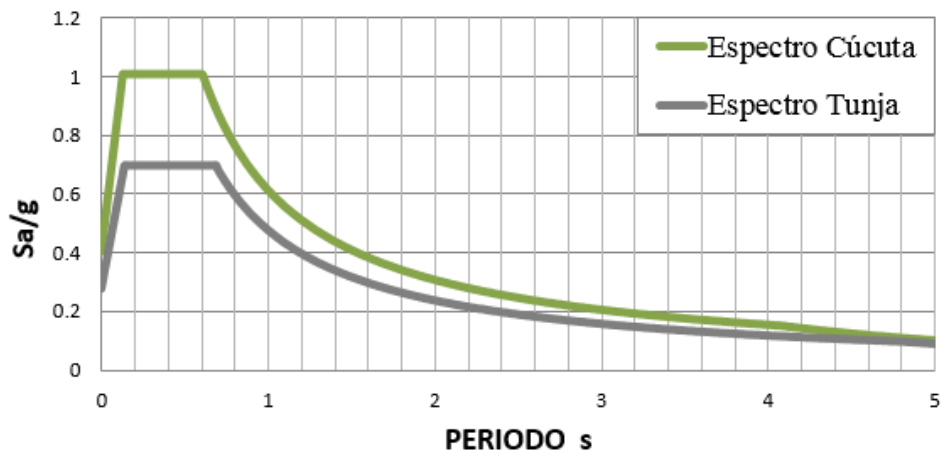
La estructura en estudio se modeló con un concreto de peso normal, con resistencia (f'_c) igual a 21 MPa y un módulo de elasticidad (E_c) de 18000 MPa,

calculado con la ecuación $E_c = 3900\sqrt{f'_c}$ [7]. Para el refuerzo de la estructura se empleó acero no presforzado con un módulo de elasticidad (E_s) igual a 200000 MPa y una resistencia (f_y) igual a 420 MPa.

1.4 CARGAS

Las solicitaciones consideradas para el análisis de la estructura se determinaron de acuerdo a los requisitos del título B del reglamento, tomando como cargas permanentes el peso propio de la estructura y una carga sobre impuesta de 2.1 [kN/m²], un valor de carga viva igual a 1.8 [kN/m²], y las fuerzas sísmicas obtenidas a partir de los espectros de diseño de las ciudades en análisis (ver Figura 3)

Figura 3. Espectros de aceleración para las ciudades escogidas.



1.5 COMBINACIONES DE CARGA

Las combinaciones de carga se determinaron de acuerdo a [8], según la aplicabilidad de las mismas, tomando combinaciones de resistencia última en el diseño de los elementos estructurales (ver Tabla 1) y combinaciones de servicio

para verificaciones de cortantes en placas y cimentaciones (ver Tabla 2), haciendo uso de la siguiente nomenclatura: D: carga muerta, SD: carga sobreimpuesta, L: carga viva, EX: sismo en “x” EY: sismo en “y”.

Tabla 1. Combinaciones de resistencia última.

COMBINACIÓN
1.4 (D+ SD)
1.2(D+SD)+1.6L
1.2(D+SD)+L+EX+0.3EY
1.2(D+SD)+L+0.3EX+EY
0.9(D+SD)+EX+0.3EY
0.9(D+SD)+0.3EX+EY

Tabla 2. Combinaciones de servicio.

COMBINACIÓN
$(D+SD)+0.7(0.3EX+EY)$
$(D+SD)+0.7(EX+0.3EY)$
$(D+SD)+0.75(0.7)(0.3EX+EY)+0.75 L$
$(D+SD)+0.75(0.7)(EX+0.3EY)+0.75 L$
$0.6(D+SD)+0.7(0.3EX+EY)$
$0.6(D+SD)+0.7(EX+0.3EY)$

1.6 MODELO NUMÉRICO Y ANÁLISIS

Los modelos numéricos se realizaron utilizando el programa SAP2000-v14.2.4. Los muros y las placas se modelaron con elementos tipo Shell (formulación de cuatro nodos, con comportamiento combinado de membrana y placa) y las vigas con elementos tipo frame (formulación viga-columna) [9].

Se realizó un análisis dinámico elástico espectral de acuerdo a los requisitos presentados en el título A de la NSR-10. En este se incluyeron 42 modos de vibración, logrando un porcentaje de participación de masa modal superior al 90% y una deriva máxima de diseño cercana al 1% que fue usada como punto de comparación entre las estructuras modeladas para las ciudades de Tunja y Cúcuta.

1.7 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

1.7.1 Coeficiente de disipación de energía, R. Los coeficientes de disipación de energía, R, empleados en la reducción de las fuerzas sísmicas de diseño, E, para las combinaciones de carga anteriormente mencionadas se obtuvieron a partir del procedimiento descrito en [10] (ver Tabla 3)

Tabla 3. Factores de reducción para capacidades de disipación de energía DES y DMO.

	DES	DMO
R_o	5	4
ϕ_a	1	1
ϕ_p	0.9	0.9
ϕ_R	1	1
R	4.5	3.6

1.7.2 Verificación del diseño. La validación de los resultados obtenidos por el programa SAP2000 se realizó a través del diseño manual de un muro común en las edificaciones de las ciudades bajo estudio con capacidad de disipación de energía especial (ver Anexo A), siguiendo los lineamientos establecidos en el título C de la NSR-10. Para esto fue necesario hacer una comparación de los requerimientos mínimos de diseño exigidos por la NSR-10 para las capacidades

de disipación de energía moderada y especial (ver Anexo B, C y D). Además, fue necesario consultar los siguientes libros de referencia [11] [12]

1.8 DESPIECES Y CANTIDADES DE OBRA

Los despieces (ver Anexo F) se realizaron con base en los resultados obtenidos del diseño de la estructura y a las disposiciones descritas en [13] y Las cantidades de obra (ver Anexo E) fueron calculadas con base a los despieces anteriormente mencionados utilizando la masa del acero dada en el capítulo C.3 de la NSR-10.

2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.1 RESPUESTA MODAL

Al realizar el análisis dinámico elástico espectral para las ciudades bajo estudio se encontró que el primer y tercer modo son traslacionales en dirección “y” y “x” respectivamente, presentándose en el segundo modo uno rotacional. Como se puede observar en la Tabla 4; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 4 para la ciudad de Tunja y Tabla 5 y Figura 5 para la ciudad de Cúcuta.

Tabla 4. Porcentajes de participación de masa modal y periodos para la estructura ubicada en Tunja.

MODO	PERIODO T (s)	$\sum PPMM_x$	$\sum PPMM_y$	$\sum PPMM_{RZ}$
1	0.937	0	67.936	0
2	0.801	0	67.936	67.869
3	0.560	68.369	67.936	67.869
42	0.00755	100	100	100

Figura 4. Formas modales de la estructura ubicada en Tunja para los modos 1,2 y 3.

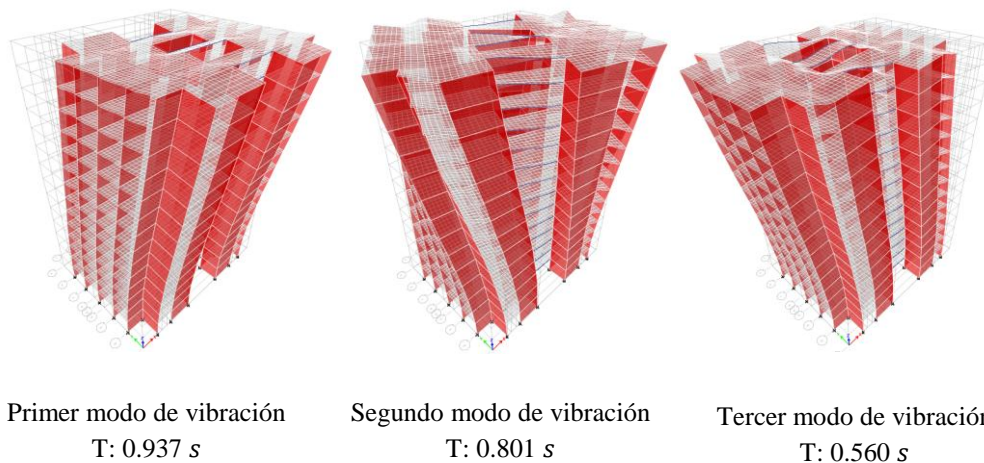
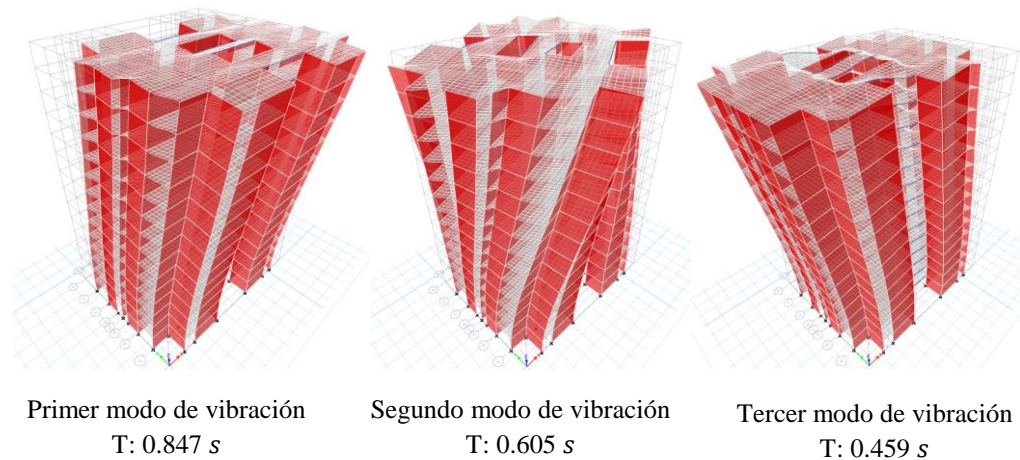


Tabla 5. Porcentajes de participación de masa modal y periodos para la estructura ubicada en Cúcuta.

MODO	PERIODO T (s)	$\sum PPMM_X$	$\sum PPMM_Y$	$\sum PPMM_{RZ}$
1	0.847	0	68.5869	0
2	0.605	0	68.5869	68.8508
3	0.459	68.0467	68.5869	68.8508
42	0.007297	100	100	100

Figura 5. Formas modales de la estructura ubicada en Cúcuta para los modos 1,2 y 3.



2.2 RESPUESTA GLOBAL

Para analizar la respuesta global de la estructura se tuvieron en cuenta las derivas, los cortantes y momentos de volcamiento por piso para cada uno de los casos de estudio.

2.2.1 Derivas. Al comparar las derivas obtenidas para las edificaciones ubicadas en Tunja y Cúcuta (ver Figura 6) se puede observar que los valores en dirección al eje “y” son de mayor magnitudes a los que se presentan en dirección al eje “x”, esto debido a una mayor densidad de muros orientados hacia esta última dirección. También se observó que los valores son similares para ambas ciudades pues se eligió una configuración de muros que permitieran obtener una deriva máxima cercana al 1% (ver Tabla 6). Las derivas para las estructuras ubicadas en Tunja con capacidad DMO y DES presentan el mismo valor al no emplearse ningún parámetro ligado a la capacidad de disipación de energía en el cálculo de las derivas.

Figura 6. Derivas para sismo en dirección “x” y “y” para las ciudades de Tunja y Cúcuta.

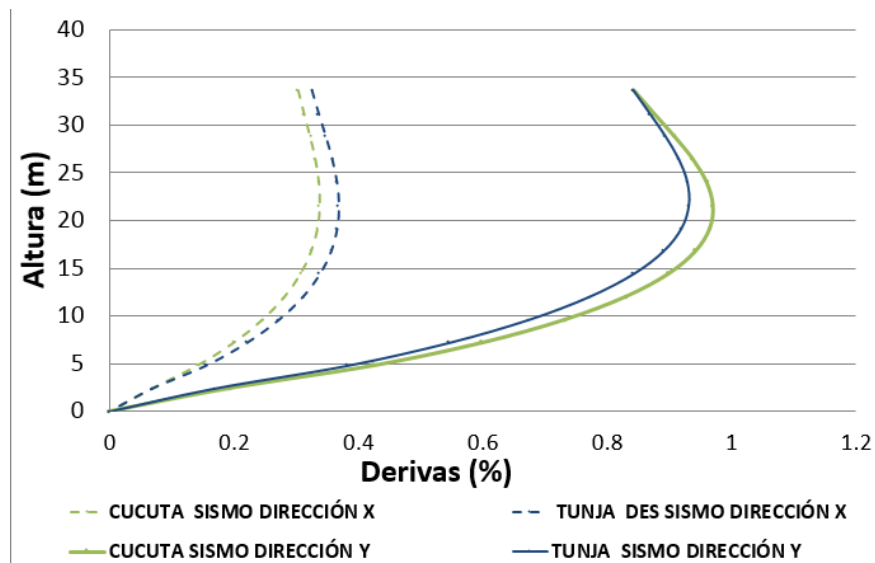


Tabla 6. Valores máximos de deriva en porcentaje.

	EJE X	EJE Y
TUNJA	0.3688%	0.9305%
CÚCUTA	0.3384%	0.9706%

2.2.2 Cortantes por piso al modificar la capacidad de disipación de energía para una misma amenaza. En las Figuras 7 y 8 se evidencian menores valores

de cortante por piso en el edificio con capacidad de disipación de energía especial con respecto a la moderada, con un porcentaje de variación promedio del 19.4%. Este comportamiento es debido al decremento de aceleraciones espectrales con el incremento del coeficiente de disipación de energía R, al pasar de capacidad moderada a especial, tal y como se aprecia en la Figura 9.

Figura 7. Cortantes para Tunja DMO Y DES en dirección "y"

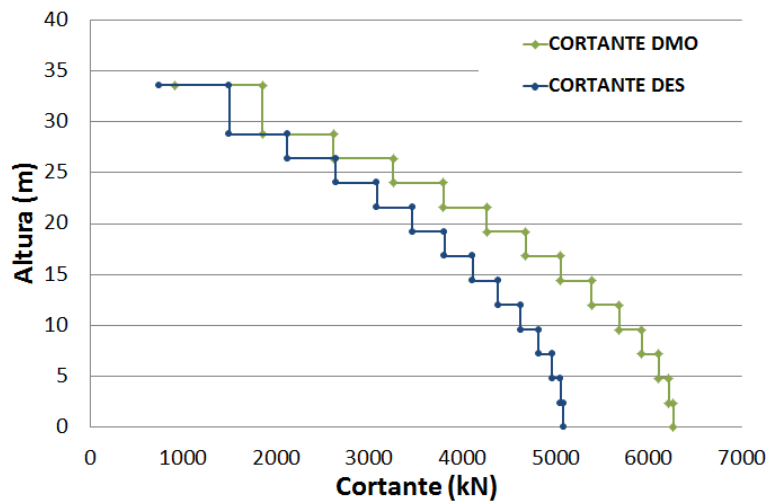


Figura 8. Cortantes para Tunja DMO y DES en dirección "x"

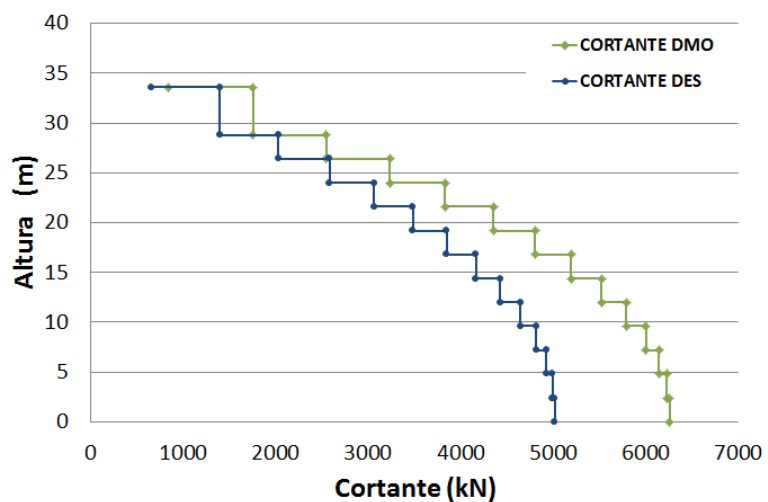
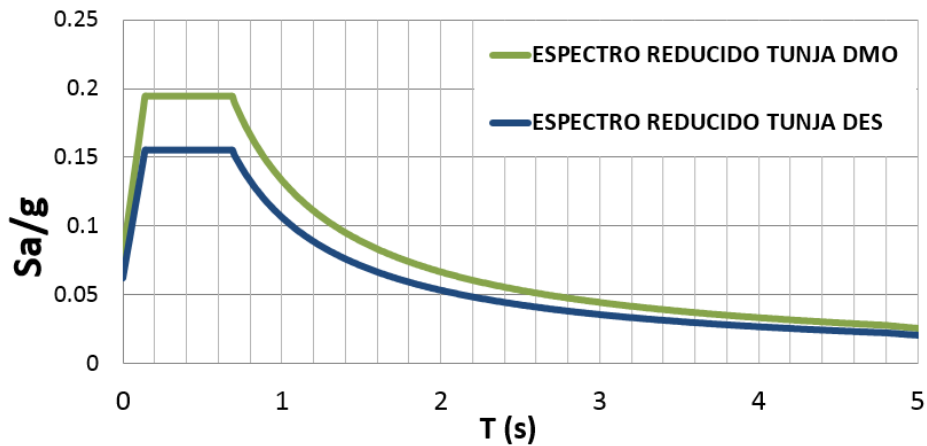


Figura 9. Espectro reducido de diseño para la ciudad de Tunja (capacidades DES DMO).



2.2.3 Cortantes por piso al incrementar la amenaza sísmica.

Cuando la edificación se diseñó en ciudades con diferente amenaza sísmica, pero con la misma capacidad de disipación de energía, las fuerzas cortantes (ver Figura 10 y 11) son mayores para Cúcuta, como era de esperarse, esto debido a que el espectro de diseño es mayor en zonas de amenaza sísmica alta y el coeficiente de disipación de energía sigue siendo el mismo al estar comparando la misma capacidad de disipación de energía (Ver Figura 12).

Figura 10. Cortantes para Tunja DES y Cúcuta DES en dirección "y".

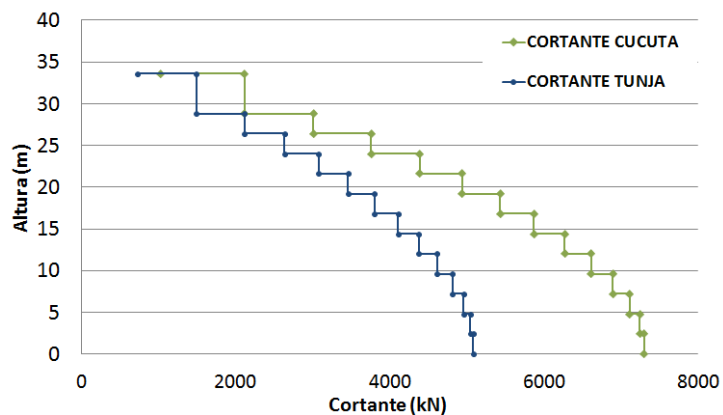


Figura 11. Cortantes para Tunja DES y Cúcuta DES en dirección "x".

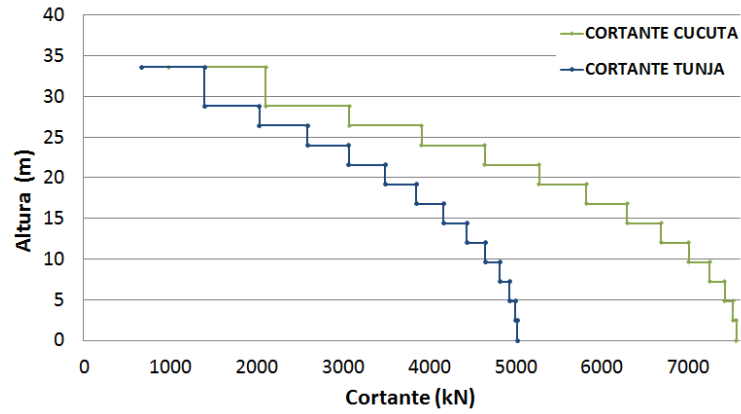
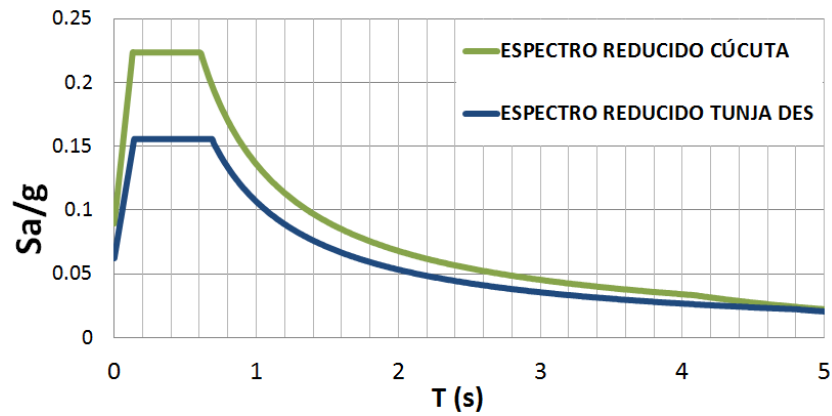


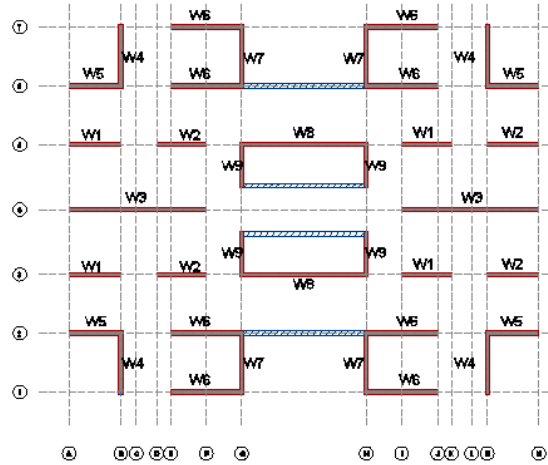
Figura 12. Espectro reducido de diseño para las ciudades Cúcuta y Tunja.



2.3 VARIACIÓN EN LAS CANTIDADES DE OBRA AL MODIFICAR LA CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA PARA UNA MISMA AMENAZA SÍSMICA.

Las cantidades de obra (acero y concreto) fueron analizadas usando la nomenclatura presentada en Figura 13.

Figura 13. Nomenclatura de los muros para la edificación en Tunja. (Muros sencillo: W1, W2, W3, muros en L: W4-5 y muros en C: W-W7, W8-W9)

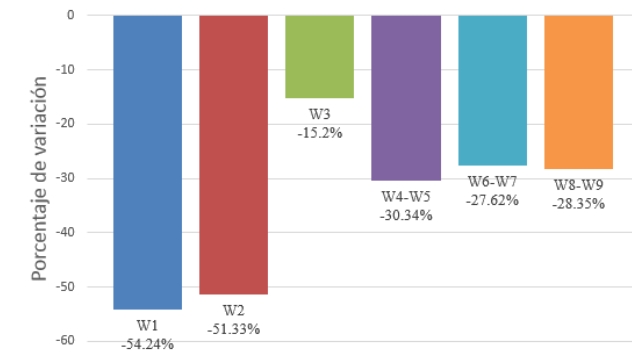


A continuación se analizará la variación porcentual de las cantidades de obra, CdeO, al aumentar la capacidad de disipación de energía, para la estructura ubicada en la ciudad de Tunja a través de la siguiente expresión:

$$V(\%) = \left(\frac{CdeO\ DES}{CdeO\ DMO} - 1 \right) \cdot 100$$

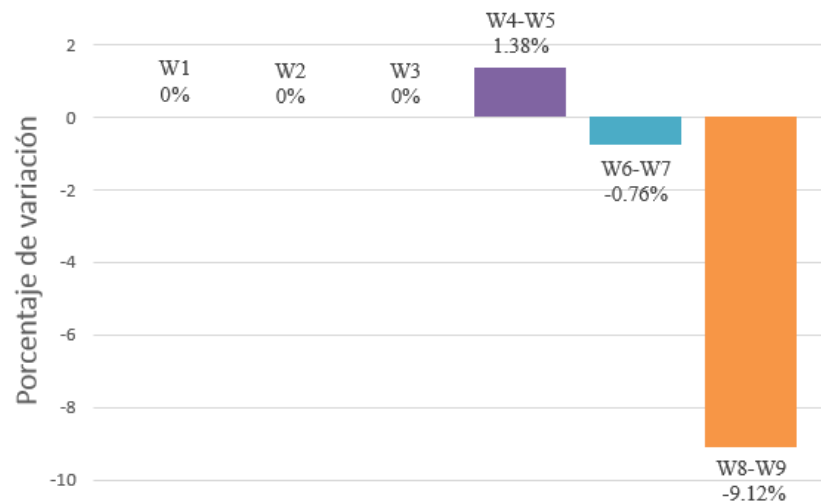
El acero longitudinal mostró un decremento para todas las tipologías de muros lo cual se evidencia en los porcentajes negativos presentados en la Figura 14, debido a que las fuerzas sísmicas de diseño son mayores en DMO, haciendo que la cuantía de refuerzo longitudinal sea mayor.

Figura 14. Porcentaje de variación del refuerzo longitudinal por muros.



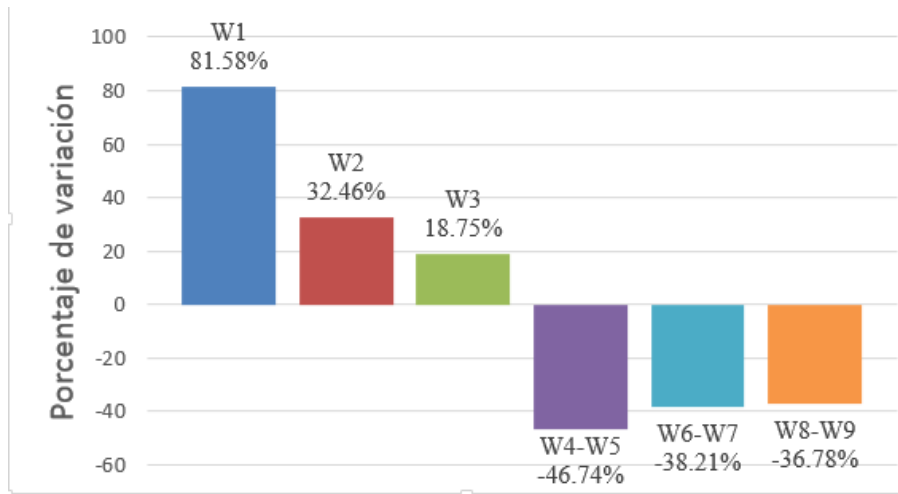
En la fase de diseño se logró identificar que la tipología de muros sencillos, en L y el muro compuesto W6-W7 requerían la mínima cuantía de refuerzo a cortante para ambas capacidades de disipación de energía. Sin embargo, cabe resaltar que el acero suministrado varió como resultado de la longitud de los elementos de borde. Por otro lado, el muro compuesto W8-W9 requería una cuantía de refuerzo superior a la mínima para capacidad DMO en los primeros pisos, generando la notoria variación observada en la Figura 15.

Figura 15. Porcentaje de variación del refuerzo transversal muros.



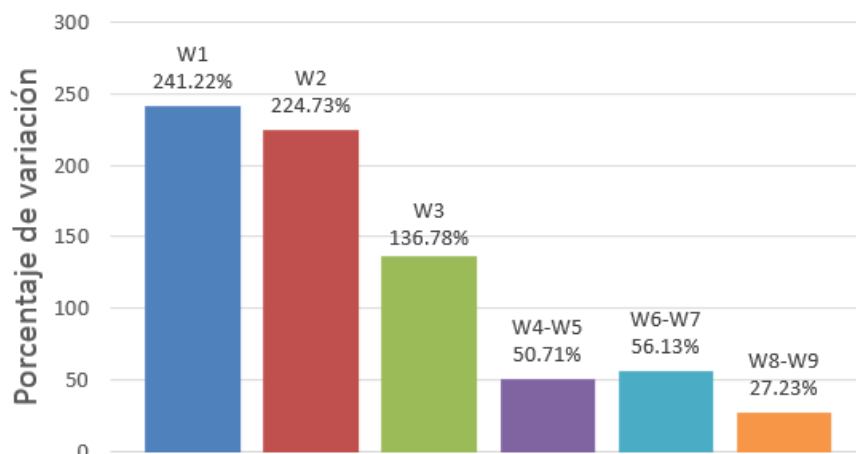
En la Figura 16 se observa un incremento en el acero longitudinal suministrado para los elementos de borde en la tipología de muros simples para una capacidad de disipación de energía especial. Esto se debe a que los elementos de borde están presentes en una mayor cantidad de pisos, ya que el esfuerzo límite es menor para capacidad DES. Sin embargo, en la tipología de muros compuestos se presenta un comportamiento opuesto, ya que para este tipo de muros el refuerzo de los elementos de borde en las intersecciones permanece constante a lo largo de toda la longitud del muro y se presenta en menor cantidad para capacidad DES debido a las menores fuerzas sísmicas de diseño.

Figura 16. Porcentaje de variación del refuerzo longitudinal de los elementos de borde por muros.



El refuerzo transversal de los elementos de borde presenta un incremento en las cantidades de obra debido al mayor grado de detallamiento exigido por el reglamento para la capacidad de disipación de energía especial, como se evidencia en los porcentajes de variación positivos de la Figura 17.

Figura 17. Porcentaje de variación del refuerzo transversal de los elementos de borde por muros.



Al realizar el análisis de las cantidades de obra generales de la estructura (muros, placas cimentación y vigas) se encontró que al aumentar la capacidad de disipación de energía, para la estructura ubicada en Tunja, de DMO a DES, se obtuvo una reducción del 8.44% del acero de refuerzo y una variación nula en el concreto. Esto último como resultado de no variar la configuración de muros.

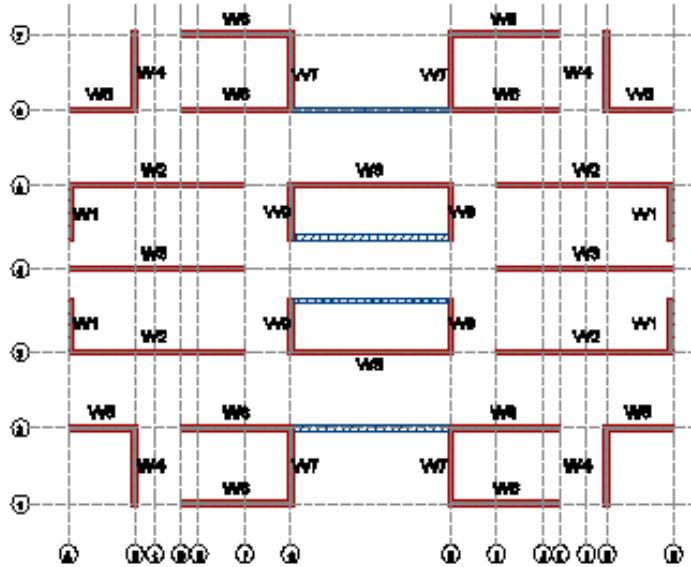
2.4 VARIACIÓN EN LAS CANTIDADES DE OBRA AL MODIFICAR LA ZONA DE AMENAZA SÍSMICA PARA UNA MISMA CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Se procede a analizar la variación porcentual de las cantidades de obra, C_{deO} , al comparar una edificación con capacidad de disipación de energía especial en zona de amenaza sísmica intermedia (Tunja) y alta (Cúcuta), a través de la siguiente expresión:

$$V(\%) = \left(\frac{C_{deO} \text{ Cúcuta}}{C_{deO} \text{ Tunja}} - 1 \right) \cdot 100$$

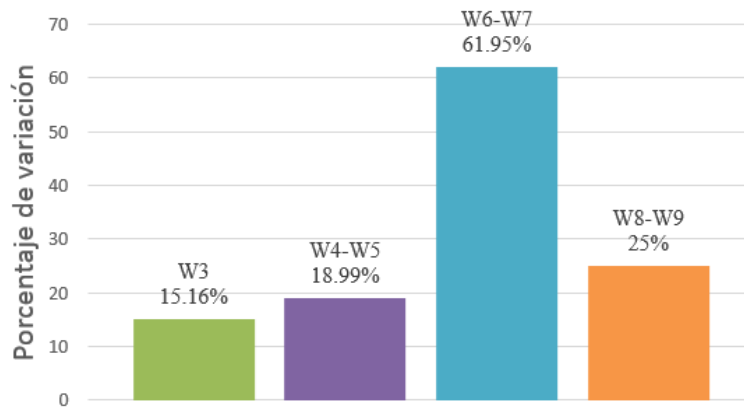
Al comparar las figuras Figura 13 y 18 se observa que los muros W1 y W2 tienen una tipología diferente para las zonas de amenaza sísmica estudiadas, por lo tanto no serán incluidos en este análisis.

Figura 18. Nomenclatura de los muros para la edificación en Cúcuta. (Muros sencillo: w3, muros en L: W1-2, W4-5 y muros en C: W6-W7, W8-W9).



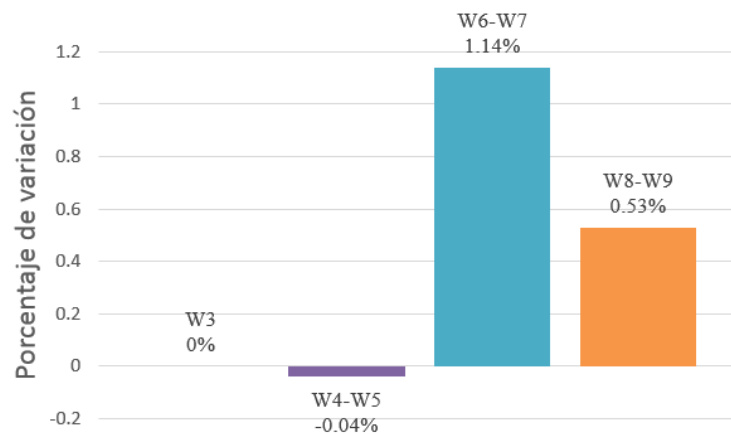
El acero longitudinal mostró un incremento para todas las tipologías de muros lo cual se evidencia en los porcentajes positivos presentados en la Figura 19. Esto debido a que las fuerzas sísmicas de diseño son mayores en Cúcuta haciendo que la cuantía de refuerzo longitudinal sea mayor.

Figura 19. Porcentaje de variación del refuerzo longitudinal por muros.



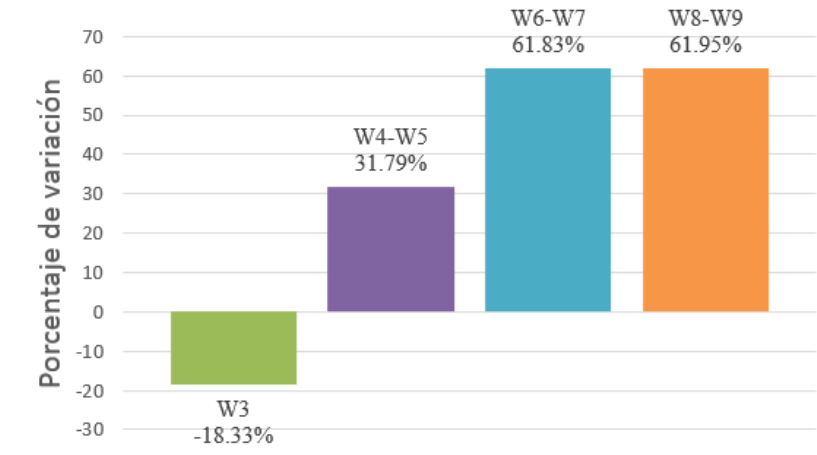
En relación al refuerzo transversal se detectó que todas las tipologías de muros requerían la mínima cuantía, de ahí que las variaciones no son significativas (ver Figura 20). En esta figura, la mayor cantidad de acero de refuerzo requerido en los muros compuestos se debe a una mayor longitud del muro W6-W7 y a la necesidad de confinamiento en los primeros pisos para el muro W8-W9 en la ciudad de Cúcuta.

Figura 20. Porcentaje de variación del refuerzo transversal por muros.



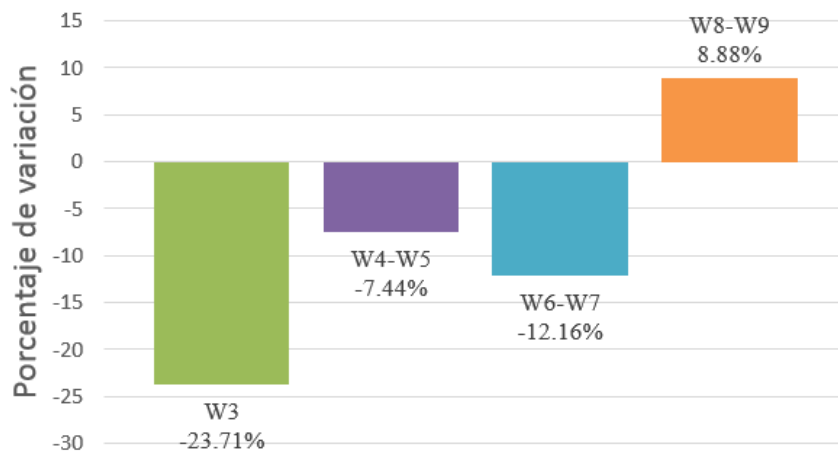
En la Figura 21 se observa una disminución en el acero longitudinal suministrado para los elementos de borde en la tipología de muros simples cuando se incrementa la amenaza sísmica. Como consecuencia los elementos deben tener una menor longitud horizontal en la estructura ubicada en Cúcuta al haber muros adicionales con relación a Tunja, causando una distribución de fuerzas sísmicas diferentes en los muros. Por otro lado se observa que para la tipología de muros compuestos se incrementa el acero longitudinal suministrado al presentarse mayores magnitudes de fuerzas sísmicas en la ciudad de Cúcuta.

Figura 21. Porcentaje de variación del refuerzo longitudinal de los elementos de borde por muros.



En la Figura 22 se observa que la variación del acero transversal de los elementos de borde suministrado no presenta una clara tendencia de incremento o decremento. Esto debido al cambio de tipologías de los muros w1 y w2 en las plantas de las dos ciudades, ocasionando una redistribución de las fuerzas y variando el acero de refuerzo requerido por los muros.

Figura 22. Porcentaje de variación del refuerzo transversal de los elementos de borde por muros.



Al comparar los resultados obtenidos en las cantidades de obra generales (muros, placas cimentación y vigas) al pasar de zona de amenaza sísmica intermedia a alta, y mantener la misma capacidad de disipación, DES, se encontró un aumento del 25.28% en la cantidad total de acero de refuerzo y un 7.35% en la cantidad de concreto.

3. TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se realizó un análisis en el rango lineal evaluando la variación en las cantidades de obra de una edificación con sistemas de muros de carga para una zona de amenaza sísmica intermedia con capacidades de disipación de energía moderada y especial encontrando una disminución en las mismas, sin embargo es importante resaltar que es necesario evaluar el desempeño sísmico de la edificación a través de un análisis no lineal permitiendo en un futuro trabajo evaluar las implicaciones que tendría usar los requisitos de diseño para elementos con capacidad de disipación de energía especial en edificaciones en zonas de amenaza sísmica intermedia.

4. CONCLUSIONES

A partir del análisis de resultados se puede concluir que:

- Al aumentar la capacidad de disipación de energía de la edificación en estudio para la ciudad de Tunja de DMO a DES las fuerzas sísmicas de diseño disminuyen en promedio un 19.4% y el valor de las derivas no presenta variación ya que la capacidad de disipación de energía no influye en el cálculo de estas.
- Al realizar la comparación entre las cantidades de obra de una edificación ubicada en una zona de amenaza sísmica intermedia (Tunja) con capacidades de disipación de energía especial, se identificó una disminución en las cantidades de acero del 8.44% y una variación nula de concreto respecto a las cantidades de obra de la misma edificación con capacidad de disipación de energía moderada.
- Al presentarse una disminución en las cantidades de obra al aumentar la capacidad de disipación de energía para una zona de amenaza sísmica intermedia, se deduce que el cambio es, desde el punto de vista práctico, una opción viable.
- Al realizar la comparación entre las cantidades de obra de una edificación ubicada en una zona de amenaza sísmica intermedia (Tunja) con capacidad de disipación de energía especial, se identificó un aumento del 25.28% en acero y del 7.35% en concreto respecto a las cantidades de obra de la misma edificación con capacidad de disipación de energía especial ubicada en una zona de amenaza sísmica alta.

REFERENCIAS

- [1] O. D. Cardoso A. y L. E. Yamín L., «Información para la gestión de riesgo de desastres. Estudio de caso de cinco países: Colombia ,Ciudad de México: Galera,» LC/MEX/L.835, 2007.
- [2] DANE, Departamento administrativo nacional de estadística, DANE, 2005. [En línea]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-registros-vitales/censos/censo-2005>. [Último acceso: 05 03 2014].
- [3] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente, Santa fé de Bogotá: AIS, 2010.
- [4] R. J. Geller, D. D. Jackson, Y. Y. Kagan y F. Mulargia, «Earthquakes cannot be predicted,» *American Association for the Advancement of Science*, vol. 275, pp. 1616-1617, 1997.
- [5] INGEOMINAS, «Servicio Geológico Colombiano,» INGEOMINAS, [En línea]. Available: http://bdrsnc.ingegominas.gov.co/paginas1/catalogo/respuesta.php?pagina=2&inicial=12/03/1993&final=15/03/2014&Dpto=CESAR&Mcpio=MANAU RE_BALCON_DEL_CESAR. [Último acceso: 20 JULIO 2014].
- [6] R. J. Geller, «Shake-up Time for Japanese Seismology,» *Nature*, vol. 472, pp. 407-409, 2011.
- [7] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, «C8.5. Módulo de elasticidad,» de *Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente*, BOGOTÁ, AIS, 2010, pp. C112-C113.
- [8] A. C. d. I. Sísmica, «B.2 Combinaciones de carga,» de *Reglamento colombiano de construcciones sísmo resistentes*, Bogotá, Ais, 2012, pp. B3-B6.

- [9] I. Computers and Structure, CSI Analysis references Manual for SAP 2000, Etabs, Safe 2009, CSI, 2009.
- [10] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, «Requisitos generales de diseño sísmo resistente,» de *reglamento colombiano de construcciones sísmo resistente*, Bogotá, ais, 2010, pp. A-39.
- [11] R. Awad, Hormigón reforzado (NSR-98) PARTE II, EDITORIAL DIGITAL EXPRESS, 1999.
- [12] J. Franco Segura, Estructuras de Concreto I, Santa fé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [13] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, «C-12. Longitudes de desarrollo y empalme de Refuerzo,» de *Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente*, Bogotá, ais, 2010, pp. C217-C248.

BIBLIOGRAFÍA

- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, «C-12. Longitudes de desarrollo y empalme de Refuerzo,» de Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, Bogotá, ais, 2010, pp. C217-C248.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, «C8.5. Módulo de elasticidad,» de Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, BOGOTA, AIS, 2010, pp. C112-C113.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, «Requisitos generales de diseño sismo resistente,» de reglamento colombiano de construcciones sismo resistente, Bogotá, ais, 2010, pp. A-39.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, Santa fé de Bogotá: AIS, 2010.
- C. D. I. SISMICA, «B.2 Combinaciones de carga,» de Reglamento colombiano de construcciones sismo resistentes, Bogotá, Ais, 2012, pp. B3-B6.
- COMPUTERS AND STRUCTURE, CSI Analysis references Manual for SAP 2000, Etabs, Safe 2009, CSI, 2009.
- DANE, Departamento administrativo nacional de estadística, DANE, 2005. [En línea]. Available: <http://www.dane.gov.co/index.php/poblacion-y-registros-vitales/censos/censo-2005>. [Último acceso: 05 03 2014].

- INGEOMINAS, «Servicio Geologico Colombiano,» INGEOMINAS, [En línea]. Available:
http://bdrsnc.ingehominas.gov.co/paginas1/catalogo/respuesta.php?pagina=2&inicial=12/03/1993&final=15/03/2014&Dpto=CESAR&Mcpio=MANAURE_BALCON_DEL_CESAR. [Último acceso: 20 JULIO 2014].
- J. FRANCO SEGURA, Estructuras de Concreto I, Santa fé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- O. D. CARDOSO A. Y L. E. YAMÍN L., «Información para la gestión de riesgo de desastres. Estudio de caso de cinco países: Colombia ,Ciudad de México: Galera,» LC/MEX/L.835, 2007.
- R. AWAD, Hormigón reforzado (NSR-98) PARTE II, EDITORIAL DIGITAL EXPRESS, 1999.
- R. J. GELLER, «Shake-up Time for Japanesse Seismology,» Nature, vol. 472, pp. 407-409, 2011.
- R. J. Geller, D. D. Jackson, Y. Y. Kagan y F. Mulargia, «Earthquakes cannot be predicted,» American Association for the Advancement of Science, vol. 275, pp. 1616-1617, 1997.

ANEXOS

Anexo A. Diseño De Una Pantalla (W3 Piso 1)

El diseño se realizó por medio de una hoja de cálculo de Excel, presentado a continuación los resultados y los pasos realizados.

1. Datos del muro

Se identifican los datos esenciales del muro, como se muestra a continuación.

L muro lw (mm)	6770	Acv (mm ²)	1354000
Espesor muro (mm)	200	λ	1
Altura muro hw (mm)	2400	f'c (MPa)	21
d (mm)	5416	fy (MPa)	420
recubrimiento	30	fyt (MPa)	420

Donde Acv es el área bruta de la sección.

2. Diseño a cortante

Para realizar el diseño a cortante se siguieron los lineamientos descritos en el título C de la NSR-10, tomando como datos de cortante, momento y carga axial los obtenidos por medio de SAP2000.

Vu (N)	480511
Mu (N*mm)	7.1075E+11
Nu (N)	3315517.5

Los siguientes son los requisitos mínimos dados para el diseño de muros de carga, los valores de p_l min y p_t min se determinan de acuerdo a C.14.3 y

C.21.9.2.1, el espaciamiento mínimo se encuentra en C.14.3.5 y para determinar si se requiere acero en dos capas se mira C.21.9.2.3, a pesar de que para este caso no se necesita que el refuerzo se coloque en dos capas se decide hacerlo por consideración propia.

pl min	0.0015
pt min	0.0025
Espaciamiento mínimo	450
¿Refuerzo en dos capas?	NO

pt de diseño	0.0025
pl de diseño	0.0025

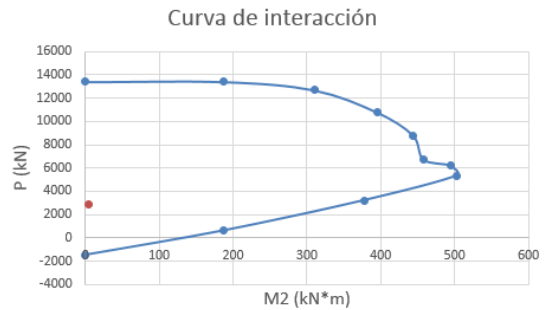
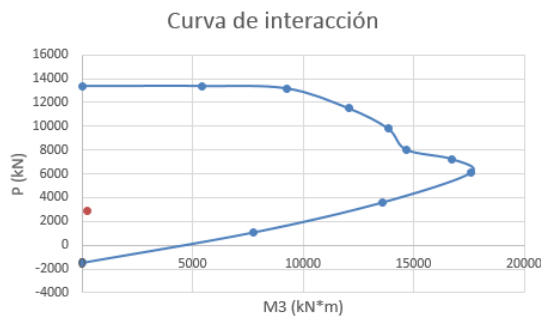
Después se calcularon los siguientes valores para determinar las cuantías de diseño, donde V_c se calcula de acuerdo a C.11.9.6, y la cuantía de diseño se calcula de acuerdo a C.21.8.4 obteniendo así que para este caso se requiere la cuantía mínima por cortante, lo cual coincide con el dato del programa .

V_n (N)	4119992.174
V_c (N)	2003341.918
ϕV_c (N)	1502506.439
V_s (N)	-1362660.585

3. Diseño a flexión

El diseño a flexión de un muro de carga se realiza de la misma forma que el de una columna, se asume una distribución de aceros y por medio del diagrama de interacción se comprueba si el diseño asumido cumple con las solicitaciones a las cuales está sometido el elemento.

Basados en la cuantía longitudinal obtenida del diseño a cortante ($\rho_l = 0.0025$) se decidió optar por una distribución de aceros compuesta por barras #3 cada 25 cm, para la cual se obtuvo el siguiente diagrama de interacción en el cual también se muestran los puntos de las fuerzas que actúan sobre la pantalla, los cuales están dentro de la curva, lo que significa que la distribución de aceros escogida si cumple.



Fuerzas actuantes sobre la pantalla.

Pu (kN)	Mu2 (kN*m)	Mu3 (kN*m)
2924.1023	4.509	210.979

4. Diseño de los elementos de borde

Los elementos de borde se diseñaron de acuerdo a las disposiciones del capítulo C.21.9 de la NSR-10. Primero se determina si se requiere elemento de borde, para esto se calcula el esfuerzo a compresión al cual está sometida la pantalla y si este es mayor a $0.2 f'c$ (para DMO el límite es $0.3 f'c$) se hace necesario el elemento de borde. Los datos de Mu y Pu fueron obtenidos de SAP200.

$$esfuerzo = \frac{P}{A} * \frac{M * y}{I} = 8.3410 \text{ (MPa)}$$

Mu [kN*m]	7104.6274
Pu [kN]	4997.2164
Área (m ²)	1.354
I (m ⁴)	5.171478883
Y (m)	3.385

El esfuerzo limite es $0.2 f'c = 4.2 \text{ MPa}$ y como la pantalla está sometida a un esfuerzo de 8.2 MPa se requiere elemento de borde. La longitud horizontal del elemento de borde se calcula por medio de c el cual se determina de acuerdo a la cantidad de acero a tracción y a compresión, para el caso en estudio debido a lo largo del cálculo, únicamente se muestran los valores usados en el cálculo y el resultado obtenido.

Fila de As	Area cm ²	d cm	Fy kN/cm ²	Fuerza kN	Brazo	Momento
acero1	1.42	2.976	42	59.64	119.524	7128.41136
acero2	1.42	27.83	42	59.64	94.67	5646.1188
acero3	1.42	52.683	42	59.64	69.817	4163.88588
acero4	1.42	77.537	40.0323225	56.84589795	44.963	2555.96211
acero5	1.42	102.391	33.63180847	47.75716802	20.109	960.3488918
acero6	1.42	127.244	27.23155196	38.66880378	-4.744	-183.444805
acero7	1.42	152.098	20.83103793	29.58007385	-29.598	-875.511026
acero8	1.42	176.952	14.43052389	20.49134393	-54.452	-1115.79466
acero9	1.42	201.805	8.030267384	11.40297969	-79.305	-904.313304
acero10	1.42	226.659	1.629753351	2.314249758	-104.159	-241.049941
acero11	1.42	251.512	-4.770503158	-6.774114484	-129.012	873.9420578
acero12	1.42	276.366	-11.17101719	-15.86284441	-153.866	2440.752418
acero13	1.42	301.22	-17.57153122	-24.95157434	-178.72	4459.345366
acero14	1.42	326.073	-23.97178773	-34.03993858	-203.573	6929.612416
acero15	1.42	350.927	-30.37230177	-43.12866851	-228.427	9851.752361
acero16	1.42	375.78	-36.77255827	-52.21703275	-253.28	13225.53005
acero17	1.42	400.634	-42	-59.64	-278.134	16587.91176
acero18	1.42	425.488	-42	-59.64	-302.988	18070.20432
acero19	1.42	450.341	-42	-59.64	-327.841	19552.43724
acero20	1.42	475.195	-42	-59.64	-352.695	21034.7298
acero21	1.42	500.048	-42	-59.64	-377.548	22516.96272
acero22	1.42	524.902	-42	-59.64	-402.402	23999.25528

Fila de As	Area cm ²	d cm	Fy kN/cm ²	Fuerza kN	Brazo	Momento
acero23	1.42	549.756	-42	-59.64	-427.256	25481.54784
acero24	1.42	574.609	-42	-59.64	-452.109	26963.78076
acero25	1.42	599.463	-42	-59.64	-476.963	28446.07332
acero26	1.42	624.317	-42	-59.64	-501.817	29928.36588
acero27	1.42	649.17	-42	-59.64	-526.67	31410.5988
acero28	1.42	674.024	-42	-59.64	-551.524	32892.89136
Compresión	3960.788129	99.019703	1.785	7070.00681	23.48029678	166005.8581

β	0.85
Es	20000
φ	0.65
Pu min kn	1029
Po (tracción) kn	1085.448
Po (compresión) kJ	4636.363

Pb	4249.691
c (cm)	201.819
a	198.039

Una vez calculado el c, se halla la extensión horizontal según C.21.9.6.4.2, en este caso dio un valor de 1.34 m, el cual coincide con el valor dado por SAP2000.

Teniendo la extensión del elemento de borde se procede a escoger el número de ramas en cada dirección y el diámetro de las mismas, teniendo en cuenta que el espaciamiento máximo entre las ramas es de 35 cm. Por último se determina la separación vertical de las ramas por medio de los lineamientos encontrados en C.21.6.4.3. Para este caso dieron 6 ramas separadas verticalmente 66.65 mm.

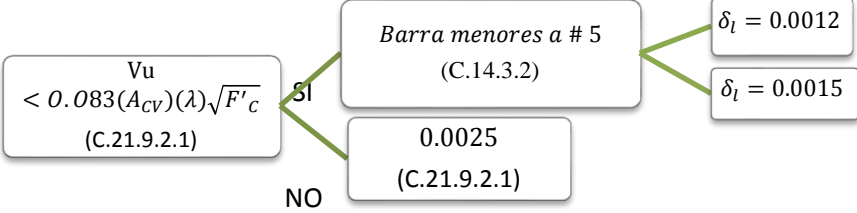
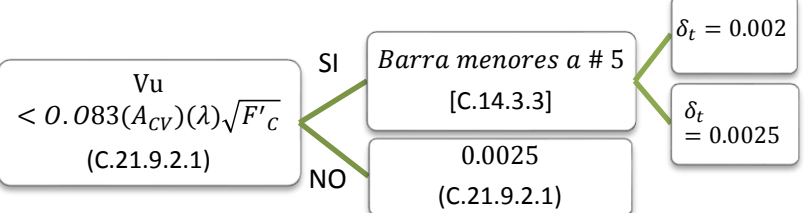
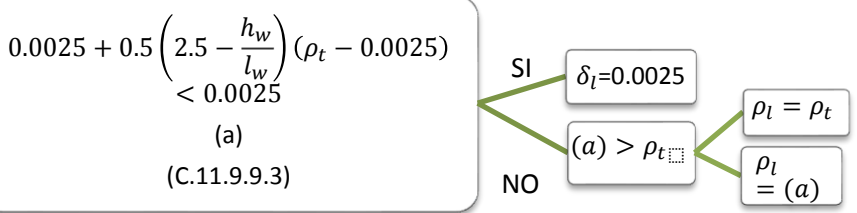
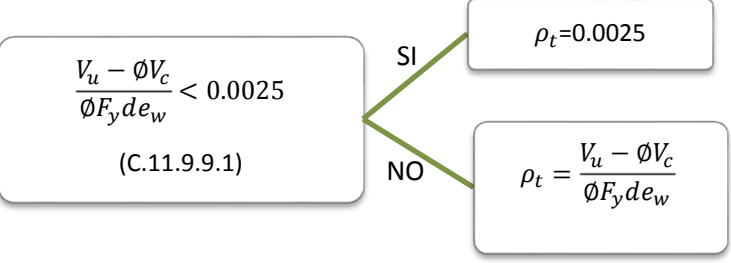
Anexo B. Cuadro Comparativo De Los Requisitos De Diseño De Los Elementos De Borde Para Estructuras Con Capacidad De Disipación De Energía Moderada (Dmo) Y Especial (Des), Para Diseño Sismo Resistente

CAPITULO	DMO	DES
<p>Las zonas de compresión deben ser reforzadas con elementos especiales de borde donde:</p> $c \geq \frac{l_w}{600\left(\frac{\delta_u}{h_w}\right)} \quad (\text{C.21-11})$ <p>Donde c en la ecuación (C.21-11) corresponde a la mayor profundidad del eje neutro calculada para la fuerza axial mayorada y resistencia nominal a momento congruente con el desplazamiento de diseño δ_u.</p>	C.21.4.4.1	C.21.9.6.2 (a)
	<p>El cociente $\frac{\delta_u}{h_w}$ en la ecuación (C.21-11) no debe tomarse menor que 0.0035</p>	<p>El cociente $\frac{\delta_u}{h_w}$ en la ecuación (C.21-11) no debe tomarse menor que 0.007</p>
<p>Los muros estructurales deben tener elementos de borde especiales en los bordes y alrededor de las aberturas de los muros estructurales cuando el esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema correspondiente a las fuerzas mayoradas incluyendo los efectos sísmicos</p>	C.21.4.4.2	C.21.9.6.3
	<p>sobrepase 0.3 f'_c</p>	<p>sobrepase 0.2 f'_c</p>

CAPITULO	DMO	DES
Los elementos de borde especiales pueden ser descontinuados donde el esfuerzo de compresión calculado sea	menor que $0.22 f'_c$	menor que $0.15 f'_c$
La separación del refuerzo transversal a lo largo del eje longitudinal del elemento no debe exceder la menor de:	C.21.4.4.3	C.21.9.6.4
	Al menos un medio de la dimensión menor del elemento de borde pero no hay necesidad de tomarla menor a 75 mm	Al menos un tercio de la dimensión menor del elemento de borde
	C.21.3.5.6 (a)	C.21.6.4.3 (b)
	Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro (8 db)	Seis veces el diámetro de la barra de refuerzo longitudinal menor (6 db)
	C.21.3.5.6 (b)	C.21.6.4.3 (c)

CAPITULO	DMO	DES
	<p>16 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento</p> <p>150 mm</p>	<p>So, según lo definido en la ecuación :</p> $S_o = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3} \right)$ <p>So no debe ser mayor a 150 mm y no es necesario tomarlo menor a 100mm</p>
El espaciamiento de los ganchos suplementarios o ramas con estribos de confinamiento rectilíneos dentro de una sección del elemento no debe exceder de:	C.21.3.5.8	C.21.6.4.2
	<p>350 mm centro a centro en la dirección perpendicular al eje longitudinal del elemento estructural</p>	<p>350 mm centro a centro en la dirección perpendicular al eje longitudinal del elemento estructural</p>
El área total de la sección transversal del refuerzo de estribos cerrados de confinamiento rectangulares A_{sh} , no debe ser menor que la requerida por la ecuación	C.21.3.5.7	C.21.6.4.4 (b)
	$A_{sh} = 0.06 \frac{sb_c F'_c}{F_{yt}}$ <p>(C.21-3)</p>	$A_{sh} = 0.09 \frac{sb_c F'_c}{F_{yt}}$ <p>(C.21-8)</p>
En las secciones con alas, los elementos de borde deben incluir el ancho efectivo del ala en compresión y se deben extender por lo menos 300 mm dentro del alma		

Anexo C. Cuadro Comparativo De Los Requisitos De Diseño De Los Elementos De Borde Para Estructuras Con Capacidad De Disipación De Energía Moderada (Dmo) Y Especial (Des), Para Diseño Sismo Resistente

CUANTIA DE REFUERZO LONGITUDINAL MINIMA $\delta_L \text{ min}$	CUANTIA REFUERZO TRANSVERSAL MINIMA $\delta_t \text{ min}$
 <p> $V_u < 0.083(A_{cv})(\lambda)\sqrt{F'_c}$ (C.21.9.2.1) </p> <p> SI → Barra menores a # 5 (C.14.3.2) → $\delta_L = 0.0012$ or $\delta_L = 0.0015$ </p> <p> NO → 0.0025 (C.21.9.2.1) </p>	 <p> $V_u < 0.083(A_{cv})(\lambda)\sqrt{F'_c}$ (C.21.9.2.1) </p> <p> SI → Barra menores a # 5 [C.14.3.3] → $\delta_t = 0.002$ or $\delta_t = 0.0025$ </p> <p> NO → 0.0025 (C.21.9.2.1) </p>
CUANTIA DE REFUERZO LONGITUDINAL δ_L	CUANTIA DE REFUERZO TRANSVERSAL δ_t
 <p> $0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_t - 0.0025) < 0.0025$ (a) (C.11.9.9.3) </p> <p> SI → $\delta_L = 0.0025$ </p> <p> NO → $(a) > \rho_t$ → $\rho_l = \rho_t$ or $\rho_l = (a)$ </p>	 <p> $\frac{V_u - \phi V_c}{\phi F_y d e_w} < 0.0025$ (C.11.9.9.1) </p> <p> SI → $\rho_t = 0.0025$ </p> <p> NO → $\rho_t = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi F_y d e_w}$ </p>

CUANTIA DE REFUERZO LONGITUDINAL	CUANTIA DE REFUERZO TRANSVERSAL
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> $\frac{h_w}{l_w} < 2$ <p>[C.21.9.4.3]</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>SI</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: auto;">$\rho_l = \rho_t$</div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>NO</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: auto;">$\rho_l = \rho_t \text{ minimo}$</div> </div> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> $\frac{\phi V_u}{A_{cv} F_y} - \frac{\alpha_c \lambda \sqrt{F'c}}{F_y} < \rho_{tmin}$ <p>[b] [C.21.9.4.1]</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>SI</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: auto;">$\rho_t = \rho_{tmin}$</div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>NO</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: auto;">$\rho_t = [b]$</div> </div> </div>
CUANTIAS DE REFUERZO LONGITUDINAL DE DISEÑO	CUANTIAS DE REFUERZO TRANSVERSAL DE DISEÑO
<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> $V_u < 0.5(0.75)(V_c)$ <p>[C.11.9.8]</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>SI</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: auto;">$\rho_l = \rho_l [C. 21.9.4.3]$</div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>NO</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: auto;">$\rho_l = \rho_l [C. 11.9.9.3]$</div> </div> </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> $V_u < 0.5(0.75)(V_c)$ <p>[C.21.9.4.1]</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>SI</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: auto;">$\rho_t = \rho_t [C. 21.9.4.1]$</div> </div> <div style="text-align: center;"> <p>NO</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 100px; margin: auto;">$\rho_t = \rho_t [C. 11.9.9.1]$</div> </div> </div>

Anexo D. Tabla Comparativa, Parámetros Usados Para La Determinación De Las Fuerzas Sismicas Reducidas De Diseño Para Una Estructura En Muros De Carga En Concreto Reforzado En Función A La Capacidad De Disipación De Energía Para Una Zona De Amenaza Sismica Intermedia.

CAPACIDAD DE DISIPACIÓN E ENERGÍA	COEFICIENTE DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA BASE, Ro.	Zona de amenaza sísmica			
		ALTA		INTERMEDIA	
		Uso permitido	Altura máx.	Uso permitido	Altura máx.
Capacidad especial de disipación de energía (DES)	5	si	50 metros	si	Sin limite
Capacidad moderada de disipación energía (DMO)	4	No se permite		Si	50 metros

Anexo E. Cantidades De Obra

1. Cantidades de obra para la edificación con capacidad de disipación de energía moderada ubicada en la ciudad de Tunja.

1.1 Cantidades de obra del muro W1

Volumen de concreto m³	17.136
--	--------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	1037.12	60.52287582
Acero transversal muro	390.9024	22.81176471
Acero longitudinal EB	226.632	13.2254902
Acero transversal EB	140.1792	8.180392157

1.2 Cantidades de obra del muro W2

Volumen de concreto m³	16.464
--	--------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	959	58.24829932
Acero transversal muro	376.7904	22.88571429
Acero longitudinal EB	226.632	13.76530612

Acero transversal		
EB	124.7232	7.575510204

1.3 Cantidades de obra del muro W3

Volumen de concreto m³	45.4944
--	---------

Ítem	W [kg]	W kg/m ³
Acero longitudinal muro.	1433.32	31.50541605
Acero transversal muro	986.4288	21.68242245
Acero longitudinal EB	461.216	10.13786312
Acero transversal EB	432.6336	9.509601182

1.4 Cantidades de obra del muro W4-W5

Volumen de concreto m³	36.624
--	--------

Ítem	W kg	W kg/m ³
Acero longitudinal muro	2541.927	69.40604522
Acero transversal muro	820.7256	22.40950197
Acero longitudinal EB	3074.562	83.94937746
Acero transversal	724.1024	19.77125382

EB		
----	--	--

1.5 Cantidades de obra del muro W6-W7

Volumen de concreto m³	66.7968
--	---------

Ítem	W kg	W kg/m ³
Acero longitudinal muro	2992.8185	44.80481849
Acero transversal muro	1636.8597	24.50506162
Acero longitudinal EB	3247.08	48.61131072
Acero transversal EB	1498.0336	22.42672703

1.6 Cantidades de obra del muro W8-W9

Volumen de concreto m³	69.4848
--	---------

Ítem	W kg	W kg/m ³
Acero longitudinal muro	3448.312	49.62685364
Acero transversal muro	1773.149	25.51851628
Acero longitudinal EB	2525.308	36.34331537
Acero transversal EB	1162.3584	16.72823985

1.7 Cantidades de obra de cimentación y placa

Ítem	Acero kg	Concreto m ³
Placa	55683.286	701.57724
Cimentación	24890.732	183.336
Vigas	348.8768	0.36

1.8 Cantidades de obra de generales

Volumen de concreto m³	1663.31484
Acero Total kg	185440.6995

2. cantidades de obra para la edificación con capacidad de disipación de energía especial ubicada en la ciudad de Tunja.

2.1 Cantidades de obra del muro W1

Volumen de concreto m³	17.136
--	--------

Ítem	W kg	W kg/m ³
Acero longitudinal muro	474.6	27.69607843
Acero transversal muro	390.9024	22.81176471
Acero longitudinal EB	411.516	24.01470588
Acero transversal EB	478.3184	27.9130719

2.2 Cantidades de obra del muro W2

Volumen de concreto m³	16.464
--	--------

Ítem	W kg	W kg/m]
Acero longitudinal muro	466.76	28.35034014
Acero transversal muro	376.7904	22.88571429
Acero longitudinal EB	300.188	18.2329932
Acero transversal EB	405.0144	24.6

2.3 Cantidades de obra del muro W3

Volumen de concreto m³	45.4944
--	---------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	1215.48	26.71713442
Acero transversal muro	986.4288	21.68242245
Acero longitudinal EB	547.694	12.03871246
Acero transversal EB	1024.3744	22.51649434

2.4 Cantidades de obra del muro W4-W5

Volumen de concreto m³	36.624
--	--------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	1770.674	48.34736785
Acero transversal muro	832.0464	22.71861075
Acero longitudinal EB	1637.552	44.71253823
Acero transversal EB	1091.3056	29.79755352

2.5 Cantidades de obra del muro W6-W7

Volumen de concreto m³	66.7968
--	---------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	2166.1975	32.4296598
Acero transversal muro	1624.4921	24.31990904
Acero longitudinal EB	2006.448	30.03808566
Acero transversal EB	2338.8288	35.01408451

2.6 Cantidades de obra del muro W8-W9

Volumen de concreto m³	69.4848
--	---------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	2470.7135	35.55761116
Acero transversal muro	1611.5025	23.19215857
Acero longitudinal EB	1596.61	22.97783112
Acero transversal EB	1478.848	21.2830432

2.7 Cantidades de obra de cimentación y placa

Ítem	Acero kg	Concreto m³
Placa	55683.28692	183.336
Cimentación	24890.7322	701.57724
Vigas	258.104	0.36

2.8 Cantidades de obra de generales

Volumen de concreto m³	1663.31484
Acero total kg	169781.9615

3. cantidades de obra para la edificación con capacidad de disipación de energía especial ubicada en la ciudad de Cúcuta.

3.1 Cantidades de obra del muro W1-W2

Volumen de concreto m³	59.6064
--	---------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	5990.434	100.499846
Acero transversal muro	1418.3904	23.7959414
Acero longitudinal EB	2775.832	46.5693617
Acero transversal EB	1305.0464	21.8944006

3.3 Cantidades de obra del muro W3

Volumen de concreto m³	45.4944
--	---------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	1399.72	30.7668636
Acero transversal muro	986.4288	21.6824225
Acero longitudinal EB	447.3	9.83197932
Acero transversal EB	781.5136	17.1782373

3.4 Cantidades de obra del muro W4-W5

Volumen de concreto m³	36.624
--	--------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	2106.89	57.5275775
Acero transversal muro	831.7128	22.709502
Acero longitudinal EB	2158.068	58.9249672
Acero transversal EB	1010.0608	27.5792049

3.5 Cantidades de obra del muro W6-W7

Volumen de concreto m³	75.936
--	--------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	3508.1765	46.1991216
Acero transversal muro	1643.0079	21.6367454
Acero longitudinal EB	3247.08	42.7607459
Acero transversal EB	2054.3152	27.0532448

3.6 Cantidades de obra del muro W8-W9

Volumen de concreto m³	69.4848
--	---------

Ítem	W kg	W kg/m³
Acero longitudinal muro	3088.4955	44.4485053
Acero transversal muro	1619.9697	23.3140154
Acero longitudinal EB	2585.704	37.2125127
Acero transversal EB	1610.112	23.172147

3.7 Cantidades de obra de cimentación y placa

Ítem	Acero kg	Concreto m³
Placa	55683.28692	701.57724
Cimentación	19434.40992	165.02484
Vigas	348.8768	0.36

3.8 Cantidades de obra de generales

Volumen de concreto m³	1785.58608
Acero Total kg	212701.1168

Anexo F. Despieces

(VER CARPETA ANEXA)