

**INFLUENCIA EN LAS CANTIDADES DE OBRA DE UNA EDIFICACIÓN CON  
SISTEMA MUROS DE CARGA PARA UNA ZONA DE AMENAZA SÍSMICA  
BAJA AL MODIFICAR LOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DISIPACIÓN DE  
ENERGÍA**

**SERGIO DAVID MORENO MILLÁN  
MARÍA ALEJANDRA VALENCIA DÍAZ**

**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 MUROS DE CARGA PARA UNA ZONA DE AMENAZA SÍSMICA  
BAJA AL MODIFICAR LOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DISIPACIÓN DE  
ENERGÍA**

**SERGIO DAVID MORENO MILLÁN  
MARÍA ALEJANDRA VALENCIA DÍAZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniería Civil**

**DIRECTOR:  
M.SC. JOSÉ MIGUEL BENJUMEA ROYERO**

**COORDIRECTOR  
M.SC. CAMILO EDUARDO CELIS**

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

**2014**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a todas las personas que directa o indirectamente nos han apoyado en el transcurso de este proyecto, en especial a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión (VIE-UIS).

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN .....	15
1. METODOLOGÍA .....	17
1.1 UBICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN.....	17
1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN .....	17
1.3 MATERIALES .....	18
1.4 CARGAS.....	18
1.5 ESPECTRO DE DISEÑO.....	19
1.6 COMBINACIONES DE CARGAS .....	19
1.7 MODELO NUMÉRICO Y ANÁLISIS .....	21
1.8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA .....	21
1.8.1 Coeficiente de disipación de energía R .....	23
1.8.2 Verificación del diseño. ....	24
1.9 DESPIECES Y CANTIDADES DE OBRA.....	25
2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	26
2.1 RESPUESTA MODAL .....	26
2.2 RESPUESTA GLOBAL.....	27
2.2.1 Derivas.....	27
2.2.2 Cortantes y momentos de volcamiento por piso al modificar capacidad de disipación de energía.....	29
2.3 VARIACIÓN EN LAS CANTIDADES DE OBRA .....	32
2.3.1 Variación de las diversas tipologías de los muros en la estructura.....	32
2.3.1 Variación global de los muros.....	36
3. CONCLUSIONES .....	38

BIBLIOGRAFÍA.....40

ANEXOS.....41

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Combinaciones de resistencia ultima de la edificación analizada. ....	20
Tabla 2. Combinaciones De Servicio De La Edificación Analizada.....	20
Tabla 3. Factor de corrección en x.....	22
Tabla 4. Factor de corrección en y.....	22
Tabla 5. Coeficientes de diseño barranquilla .....	23
Tabla 6. Coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía.....	24
Tabla 7. Coeficiente de disipación de energía básico para sistema estructural de muros de carga, Ro. ....	24
Tabla 8. Coeficientes de disipación de energía R de los modelos analizados.....	24
Tabla 9. Porcentajes de participación de masa modal y periodos para la estructura ubicada en Barranquilla .....	26

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Vista en planta del edificio de referencia. ....	17
Figura 2. Formas modales para los tres primeros modos de vibración.....	27
Figura 3. Comparación de las derivas en la dirección “x” en función del grado de capacidad de disipación.....	28
Figura 4. Comparación de las derivas en la dirección “y” en función del grado de capacidad de disipación.....	28
Figura 5. Comparación de los cortantes en dirección “x”.....	29
Figura 6. Comparación de los cortantes en dirección “y”.....	29
Figura 7. Comparación de los momentos en dirección “x”.....	30
Figura 8. Comparación de los momentos en dirección “y”.....	30
Figura 9. Espectro de diseño reducido Barranquilla. ....	31
Figura 10. Distribución en planta de los muros. ....	32
Figura 11. Tipologías de muros. ....	32
Figura 12. Variación de acero longitudinal en los muros en función de la capacidad de disipación de energía.....	34
Figura 13. Requisitos mínimos de disipación de energía dados por la NSR-10. ...	34
Figura 14. Variación del refuerzo transversal en los muros en función de la capacidad de disipación de energía.....	35
Figura 15. Variación del refuerzo de los elementos de borde en los muros en función de la capacidad de disipación de energía. ....	36
Figura 16. Variación del refuerzo total por tipología de muro en función de la capacidad de disipación de energía.....	36
Figura 17. Variación del refuerzo total de la estructura para $\alpha$ y $\beta$ .....	37

## LISTA DE ANEXOS

**Pág.**

Anexo A. Diseño De Muro Tipo Según La NSR-10

Anexo B. Cuadros comparativos

Anexo C. Despieces

Anexo D. Cantidades De Obra

## RESUMEN

**TITULO:** INFLUENCIA EN LAS CANTIDADES DE OBRA DE UNA EDIFICACIÓN CON SISTEMA MUROS DE CARGA PARA UNA ZONA DE AMENAZA SÍSMICA BAJA AL MODIFICAR LOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

**AUTORES:** SERGIO DAVID MORENO MILLÁN Y MARÍA ALEJANDRA VALENCIA DÍAZ\*\*

**PALABRAS CLAVE:** Muros de carga, comportamiento sísmico, capacidad de disipación de energía, cantidades de obra, amenaza sísmica.

La norma sismoresistente colombiana de 2010 establece requisitos mínimos de diseño, los cuales permiten que las edificaciones se diseñen con la menor capacidad de disipación de energía requerida según la zona de amenaza sísmica a la que pertenecen. Teniendo en cuenta que estos parámetros de diseño son mínimos y que el sismo es producido por un fenómeno natural, estos contienen un alto grado de incertidumbre los cuales podrían comprometer los estándares de seguridad sismo resistente de las edificaciones. Por ende esta investigación busca analizar el comportamiento sísmico en el rango lineal de una edificación con sistemas de muros de carga en concreto reforzado en una zona de amenaza sísmica baja, al variar los requisitos mínimos de disipación de energía que establece el reglamento colombiano sismo resistente. Se eligió una estructura de referencia, modelada para la ciudad de Barranquilla, haciendo variaciones en la capacidad de disipación de energía de la mínima a la especial, con el fin de comparar las fuerzas sísmicas de diseño, los requerimientos para el diseño de los elementos estructurales y las cantidades de obra. Así mismo se determinará la viabilidad de la construcción al modificar el requisito mínimo de disipación de energía teniendo en cuenta la relación seguridad/costo.

---

\* Trabajo de grado

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

## ABSTRACT

**TITLE:** INFLUENCE ON AMOUNTS OF WORK OF A BUILDING WALLS WITH CHARGING SYSTEM FOR SEISMIC ZONE LOW THREAT TO MODIFY THE MINIMUM REQUIREMENTS OF ENERGY DISSIPATION \*

**AUTHORS:** SERGIO MORENO DAVID MILLAN AND VALENCIA MARIA ALEJANDRA DIAZ\*\*

**KEYWORDS:** shear walls, seismic behavior, energy dissipation capacity, amounts of work, seismic threat.

Colombian earthquake resistant regulation 2010 establishes some minimum design requirements, which allows the design of buildings with the least energy dissipation capability (Minimum DIM, moderate DMO or special DES) required for the zone of seismic hazard to which they belong (low, intermediate and high). Taking into account these design parameters are minimal and the fact that an earthquake is produced by a natural phenomenon that contains a high degree of uncertainty which could compromise the safety standards of earthquake resistant buildings. The purpose of this research, it's to analyze the seismic behavior in the linear range of a building of shear wall systems with reinforced concrete in an area of low seismic hazard, by varying the minimum energy dissipation capability provides in the Colombian earthquake resistant regulation on those areas (DIM). It was chosen a reference structure that was modeled for the city of Barranquilla, causing variations in the energy dissipation capability (starting with DIM passing for DOM and ending with DES) in order to compare the seismic design forces, the requirements to design structural elements and the construction quantities. In order to determinate the construction feasibility when it's modifying the minimum requirement of energy dissipation capability given the relation safety/cost.

---

\* Degree work

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

## INTRODUCCIÓN

La NSR-10 [1] establece requisitos mínimos, los cuales permiten que las edificaciones se diseñen con la menor capacidad de disipación de energía requerida según la zona de amenaza sísmica a la que pertenecen. Estos lineamientos en alguna medida garantizan que se cumpla el fin primordial de salvaguardar las vidas humanas ante la ocurrencia de un movimiento sísmico. Sin embargo, los terremotos son uno de los peligros naturales más imprevisibles y menos entendidos. Por lo tanto, las incertidumbres en la peligrosidad sísmica en el código de diseño actual siguen siendo muy grandes. Esto es evidente por las pérdidas económicas y sociales significativas sufridas por varios países con un moderno código de diseño sísmico, tomando como referencia el terremoto de Christchurch en el año 2011 el cual tuvo lugar en una región donde no se conocía una falla sísmica activa [2].

Al diseñar una edificación con una capacidad de disipación de energía mayor a la requerida por la norma de diseño sismo resistente colombiana, se cree que las cantidades de obra de la misma van a aumentar de forma considerable. Esto se ha evidenciado en sistemas pórtico, debido al grado de detallamiento establecido para las capacidades de disipación de energía existentes. Sin embargo, el aumento de las cantidades en edificaciones con sistema de muros de carga podría no ser tan alto, ya que la diferencia entre los requerimientos para las distintas capacidades de disipación de energía no es tan marcada. Debido a esto surge esta investigación, con la cual se busca analizar el comportamiento sísmico en el rango lineal, las variaciones en las fuerzas sísmicas de diseño y los requerimientos establecidos para los elementos estructurales por la norma para cada uno de los grados de disipación de energía, factores que intervienen directamente en las cantidades de obra.

El presente artículo está conformado por 4 capítulos, de los cuales el segundo capítulo explica La metodología del proyecto el cual abarca la ubicación, materiales, cargas, espectro de diseño, modelo, análisis numérico, diseño de la estructura, despieces y cantidades de obra, En el capítulo tres se realizara el análisis de los resultados obtenidos y posteriormente en el capítulo cuatro se concluirá dando respuesta a los objetivos planteados.

# 1. METODOLOGÍA

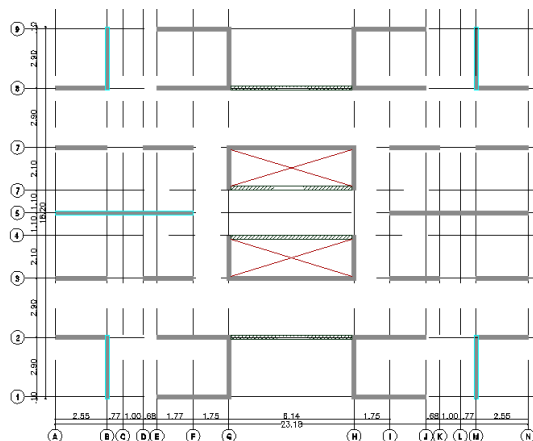
## 1.1 UBICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

Se eligió para el diseño la ciudad de Barranquilla ubicada en una zona de amenaza sísmica baja, de acuerdo a la clasificación definida en la NSR-10. El tipo de suelo empleado es el tipo D. Este suelo fue elegido con el propósito de evaluar el comportamiento de la edificación bajo condiciones no favorables.

## 1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA EDIFICACIÓN

Para realizar este proyecto se define una estructura de referencia con las siguientes características: uso residencial, modelado con sistema estructural de resistencia sísmica muros de carga de hormigón armado, con regularidad en altura y plantas simétricas. La estructura es de mediana altura constituida para 14 niveles sin sótano y separación de entrepisos igual a 2.40 m (ver FIGURA 1).

**Figura 1. Vista en planta del edificio de referencia.**



### 1.3 MATERIALES

En la estructura a analizar se asumieron las siguientes propiedades para los materiales:

Concreto:  $f'_c = 21$  MPa,  $E_c = 3900\sqrt{f'_c}$ , calculado basándonos en el comentario CR8.5.1 de la NSR-10, para el valor medio experimental nacional, sin distinguir por tipo de agregado.

Acero de refuerzo (no preesforzado):  $f_y = 420$  MPa,  $E_s = 200000$  MPa.

### 1.4 CARGAS

Las cargas tenidas en cuenta para el diseño son:

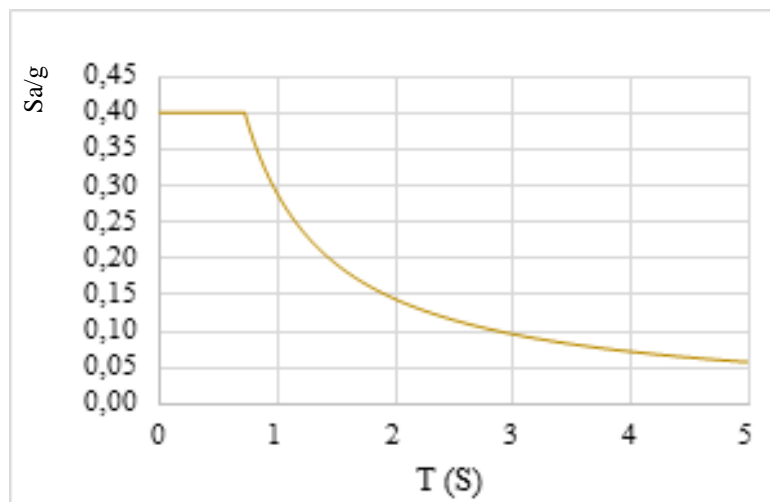
- Carga viva:  $1.8$  kN/m<sup>2</sup>, como se establece en la tabla B.4.2.1-1 del reglamento, para una edificación de uso residencial con coeficiente de importancia igual a I.
- Carga muerta: peso propio calculado automáticamente mediante el programa SAP2000, validando los datos con cálculo manual. Adicionalmente, se consideró una carga sobre impuesta con un valor de  $2.1$  kN/m<sup>2</sup> (por fachada y particiones)
- Fuerzas sísmicas:
  - ✓ Sismo en dirección del eje x
  - ✓ Sismo en dirección del eje y

## 1.5 ESPECTRO DE DISEÑO

La edificación se localiza en una zona de amenaza sísmica baja de acuerdo a los mapas de zonificación sísmica dados en el Capítulo A.2. Los coeficientes de la aceleración y velocidad pico efectiva  $A_a$  y  $A_v$  se establecen en la tabla A.2.3-2 de la NSR -10 y los coeficientes de sitio  $F_a$  y  $F_v$  fueron tomados de acuerdo a las tablas A.2.4-3 y A2.4.-4 del reglamento Colombiano respectivamente.

El espectro de diseño empleado fue elaborado en base a las especificaciones establecidas en el capítulo A 2.6 y los coeficientes  $A_a$ ,  $A_v$ ,  $F_a$  y  $F_v$ . (Ver figura 2)

**Figura 2. Espectro de diseño para la ciudad de Barranquilla.**



## 1.6 COMBINACIONES DE CARGAS

Las fuerzas internas de diseño de las estructuras fueron calculadas mediante las combinaciones de carga mayorada usando el método de resistencia dado en B.2.4.2 de la NSR-10 (Ver Tabla 1). Para las combinaciones tomamos los efectos sísmicos reducidos de diseño, E, obtenidos de la relación de las fuerzas sísmicas

del análisis,  $F_s$ , y el coeficiente de capacidad de disipación de energía  $R$ , el cual se encuentra en función de los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura, en planta, por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica y de los requisitos de diseño y detallado de cada material, para el grado de capacidad de disipación de energía correspondiente (DMI, DMO, o DES), tal como se especifica en el Capítulo A.3.

**Tabla 1. Combinaciones de resistencia ultima de la edificación analizada.**

Comb o	Descripción
1	1.4 (D+ SD)
2	(D+SD)+0.7( EX+0.3EY )
3	(D+SD)+0.75*0.7( 0.3EX+EY ) +0.75 L
4	(D+SD)+0.75*0.7( EX+0.3EY ) +0.75 L
5	0.6(D+SD)+0.7(0.3EX+EY)
6	0.6(D+SD)+0.7(EX+0.3EY)

Las presiones del suelo se analizaron bajo las cargas de servicio que establece el título B de la NSR-10 (ver Tabla 2)

**Tabla 2. Combinaciones De Servicio De La Edificación Analizada.**

Combo	Descripción
1	(D+SD)+0.7( 0.3EX+EY )
2	1.2(D+SD)+1.6L
3	1.2(D+SD)+L+Ex+0,3Ey
4	1,2(D+SD)+L+0,3Ex+Ey
5	0,9(D+SD)+Ex+0,3Ey
6	0,9(D+SD)+0,3Ex+Ey

Siendo:

D = carga muerta.

SD = carga sobre impuesta.

L = carga viva.

E = fuerzas sísmicas reducidas de diseño ( $E = F_s/R$ ).

## 1.7 MODELO NUMÉRICO Y ANÁLISIS

El modelo numérico de la estructura de referencia se desarrolló en el software SAP2000 V14.4.2 desarrollado por la compañía CSI Computers and Structures, Inc.

Para el modelamiento de la placa y el muro se utilizaron elementos finitos tipo Shell con formulación paramétrica de 4 nodos combinando el comportamiento de una membrana y un plate. Para las vigas se usaron elementos tipo frame (formulación beam- column). [3].

## 1.8 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para obtener las fuerzas sísmicas de diseño se realiza el ajuste de resultados como se establece en el A.5.4.5 (b) de la normativa para la validación del método de análisis dinámico fuerza horizontal equivalente el cual fue empleado tomando como factor de corrección el asignado a estructuras irregulares (Ver Tablas 3 y 4):

$$0.9 \frac{V_s}{V_{tj}}$$

Siendo:

$V_{tj}$ : valor de cortante dinámico total en la base obtenido después de realizar el método de análisis dinámico elástico espectral del capítulo 5

$V_s$ : el cortante dinámico total en la base calculado por el método de la fuerza horizontal equivalente del capítulo A.4

Se realiza la evaluación y verificación de las derivas máximas de la edificación siguiendo el procedimiento establecidos en el A.6.3, teniendo en cuenta que la deriva máxima no puede exceder los límites establecidos en la tabla A.6.4-1, que para nuestra estructura de referencia se debe tomar como el 1% altura de piso ( $H_{PI}$ ).

Para la ciudad de Barranquilla se llevó a cabo el diseño de los elementos estructurales con capacidades de disipación de energía DMI, DMO y DES de acuerdo a los requisitos de diseño establecidos en la NSR-10.

**Tabla 3. Factor de corrección en x.**

<i>Sistema a utilizar</i>	<i>Muros similares</i>
$C_t$	0,049
$\alpha$	0,75
<i>h del edificio [m]</i>	33,6
$T_a$ [s]	0,684
$C_u$	1,462
$T$ MÁX. [S]	0,999
$T$ GRAFICA [s]	0,977
CHEQUEO	CUMPLE
$S_a$	0,294
<i>Masa total [Kg]</i>	4622114,3
$V_s$ [KN]	1330,824
$0,9 V_s$ [KN]	11997,742
$V_s$ Amodal x [KN]	12636,38
Factor Corrección	0,949

**Tabla 4. Factor de corrección en y.**

<i>Sistema a utilizar</i>	<i>Muros Similares</i>
---------------------------	------------------------

<i>Ct</i>	0,049
<i>α</i>	0,75
<i>h del edificio[m]</i>	33,6
<i>Ta [s]</i>	0,684
<i>Cu</i>	1,462
<i>T MÁX.[S]</i>	0,999764958
<i>T GRAFICA[s]</i>	0,977201
<i>CHEQUEO</i>	CUMPLE
<i>Sa</i>	0,294
<i>Masa total [Kg]</i>	4622114,3
<i>Vs [KN]</i>	13330,82474
<i>0,9 Vs [KN]</i>	11997,74226
<i>Vs Amodal y [KN]</i>	10005,39
<i>Factor Corrección</i>	1,199127896

**1.8.1 Coeficiente de disipación de energía R.** Después de haber obtenido el espectro elástico de aceleración de diseño como fracción de la gravedad utilizando los coeficientes asignados por el reglamento para la ciudad de Barranquilla (Ver Tabla 5).

**Tabla 5. Coeficientes de diseño barranquilla**

<i>COEFICIENTES</i>	
<i>Aa</i>	0.1
<i>Av</i>	0.1
<i>Fa</i>	1.6
<i>Fv</i>	2.4

Se realiza la reducción del espectro para los casos de disipación de energía analizados mediante el uso de los coeficientes de disipación de energía, R, calculados en función del coeficiente de disipación de energía básico, Ro, definido para el sistema de muros de carga en función del grado de disipación de energía (DMI, DMO Y DES) asumidos para cada uno de los modelos en análisis (Ver Tablas 6 y 7) y los factores de reducción por irregularidad en planta y en altura y el factor representativo de la ausencia de redundancia (Ver Tabla 8) , valores que permanecen constantes para la edificación de referencia en los casos de disipación de energía.

Para realizar el diseño de los elementos, para cada disipación energía, fue necesario realizar un análisis completo de las ecuaciones de diseño establecido por el C.21, C.14, C11 de la NSR-10 (Ver Anexo 1).

**Tabla 6. Coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía.**

<b>Factores de reducción</b>	<b>coef.</b>
Irregularidad en altura ( $\phi_A$ )	1
Irregularidad en planta ( $\phi_P$ )	1
Ausencia de redundancia ( $\phi_R$ )	0.9

**Tabla 7. Coeficiente de disipación de energía básico para sistema estructural de muros de carga,  $R_o$ .**

<b>Capacidad de disipación de energía</b>	<b><math>R_o</math></b>
MÍNIMA (DMI)	2.5
MODERADA (DMO)	4
ESPECIAL (DES)	5

**Tabla 8. Coeficientes de disipación de energía R de los modelos analizados**

<b>Capacidad de disipación de energía</b>	<b>R</b>
MÍNIMA (DMI)	2.25
MODERADA (DMO)	3.6
ESPECIAL (DES)	4.5

**1.8.2 Verificación del diseño.** Ya que para los diseños de los elementos se usó el software SAP2000 V.14.4.2, fue necesario realizar la verificación manual del

diseño. Para esto elegimos un muro sencillo ubicado en el primer piso (Ver Anexo 2). [4]

### **1.9 DESPIECES Y CANTIDADES DE OBRA.**

Los despieces se realizaron siguiendo lo establecido en el capítulo C.12 de la NSR-10 [5] (Ver anexo 3). Las cantidades de obra se cuantificaron con los despieces (Ver anexo 4).

## 2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

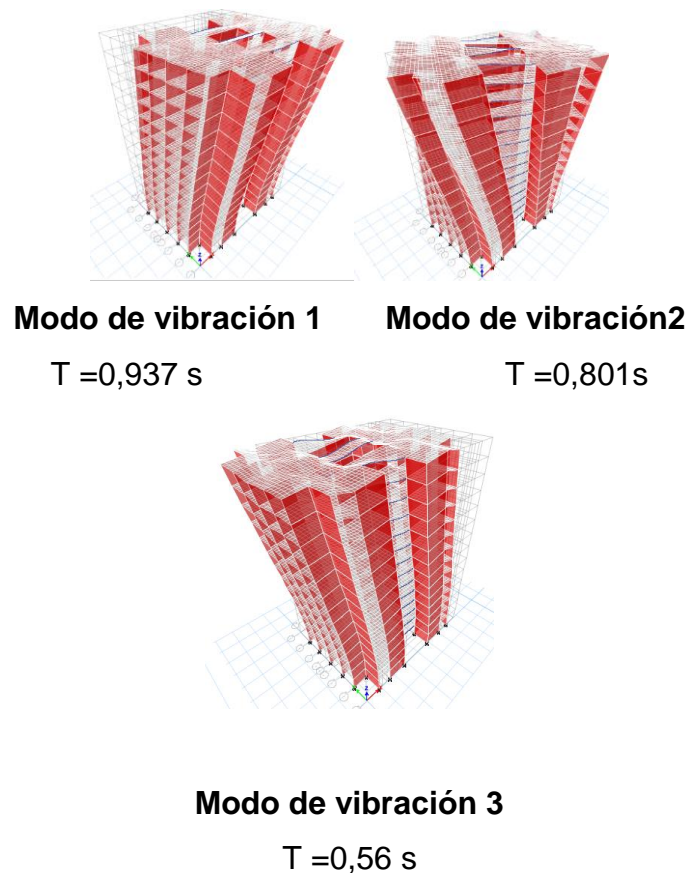
### 2.1 RESPUESTA MODAL

En el análisis modal se tuvieron en cuenta 42 modos de vibración con los cuales se logró más del 90% de la participación total de la masa. El primer modo de vibración es traslacional en “y”, el segundo modo de vibración es rotacional y el tercero se encuentra traslacional en “x” (ver Tabla 9 y figura 3)

**Tabla 9. Porcentajes de participación de masa modal y periodos para la estructura ubicada en Barranquilla**

Mo do	Perio do (s)	$\sum PPM$	$\sum PPM$	$\sum PPM_i$
1	0,93 7	0	67.94	0
2	0,80 1	0	67.94	67.87
3	0,56	68.37	67.94	67.87
42	0,00 8	100	100	100

**Figura 2. Formas modales para los tres primeros modos de vibración.**



## **2.2 RESPUESTA GLOBAL**

**2.2.1 Derivas.** Al realizar el análisis de derivas para la estructura de referenciada, variando la capacidad de disipación de energía, se obtienen los mismos resultados ya que estas dependen del desplazamiento horizontal producido por el espectro de aceleración, el cual a su vez es independiente del coeficiente de reducción R. Por lo tanto el dimensionamiento de los elementos estructurales es el mismo para la estructura diseñada con DMI, DMO, DES. (Ver Figura 4 y 5)

Figura 3. Comparación de las derivas en la dirección “x” en función del grado de capacidad de disipación

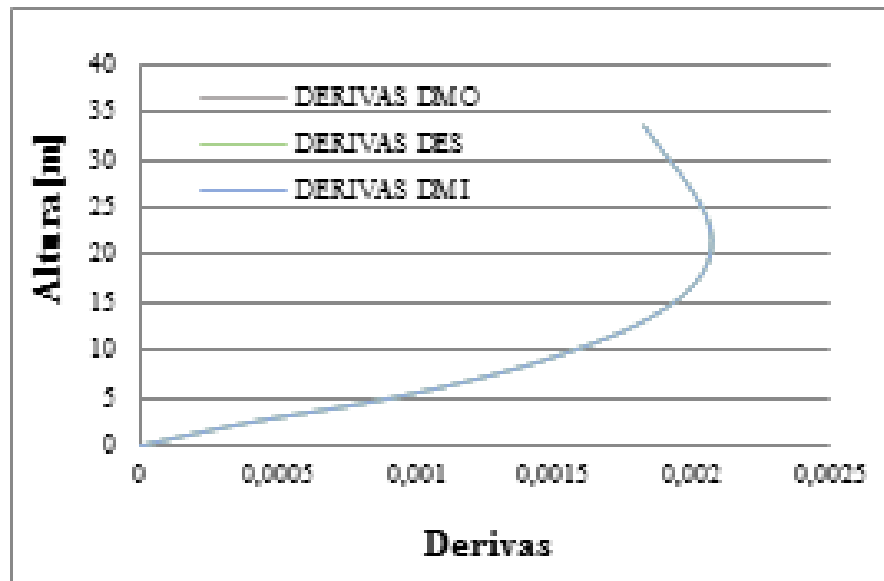
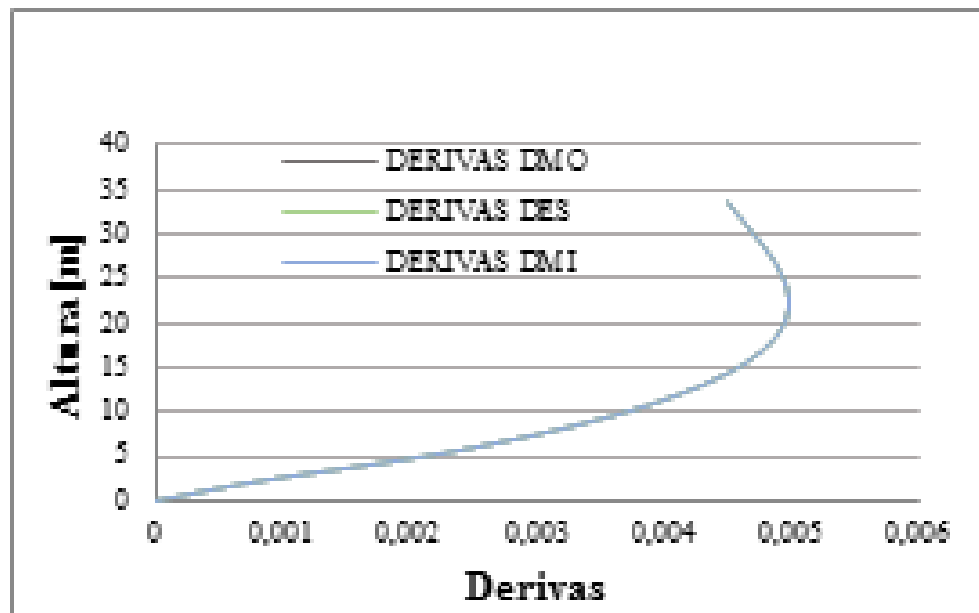
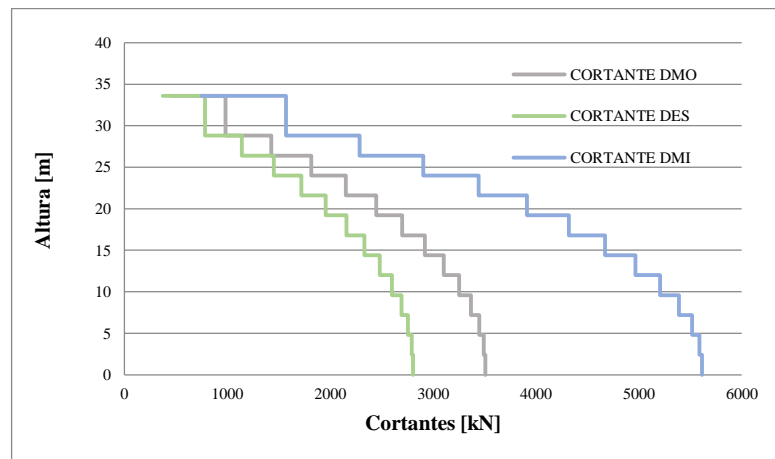


Figura 4. Comparación de las derivas en la dirección “y” en función del grado de capacidad de disipación

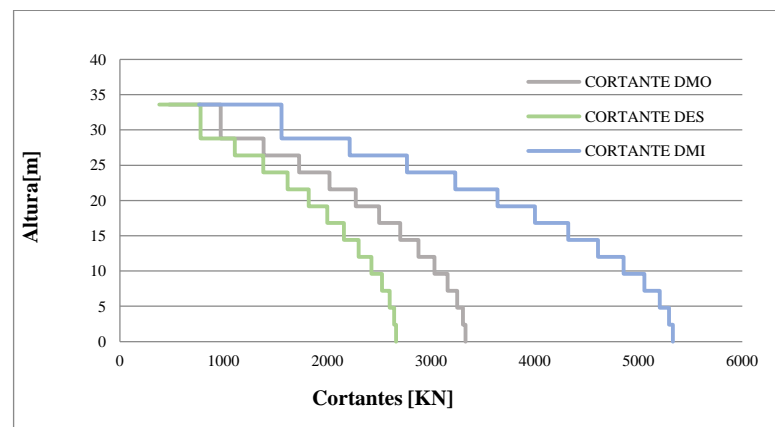


**2.2.2 Cortantes y momentos de volcamiento por piso al modificar capacidad de disipación de energía.** La fuerza cortante tomada en cada uno de los pisos (ver figuras 6 y 7), muestra el comportamiento de la estructura bajo las fuerzas reducidas de diseño Ex y Ey, evidenciando una variación del 50% entre el grado de disipación de energía especial y mínimo, así como de un 38% entre el grado de disipación de energía moderado y mínimo para la dirección “x”, y mostrando una variación uniforme de la fuerza cortante a lo largo de su altura.

**Figura 5. Comparación de los cortantes en dirección “x”.**



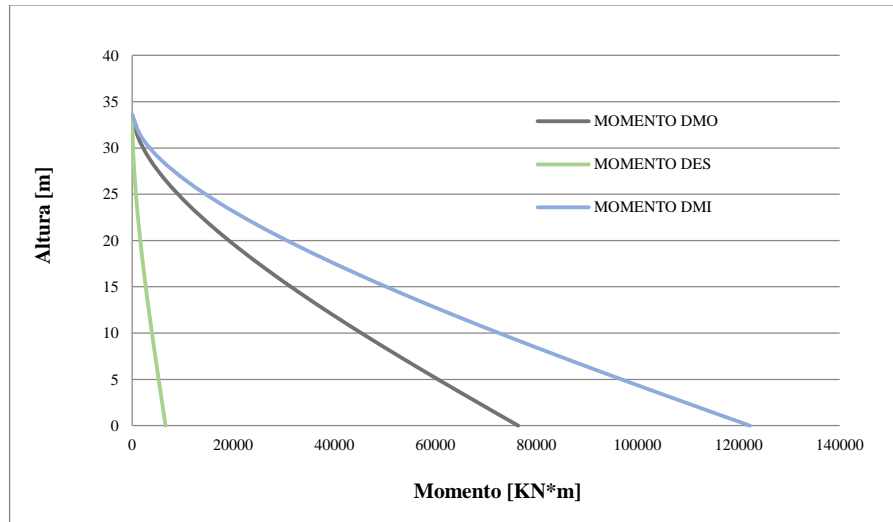
**Figura 6. Comparación de los cortantes en dirección “y”.**



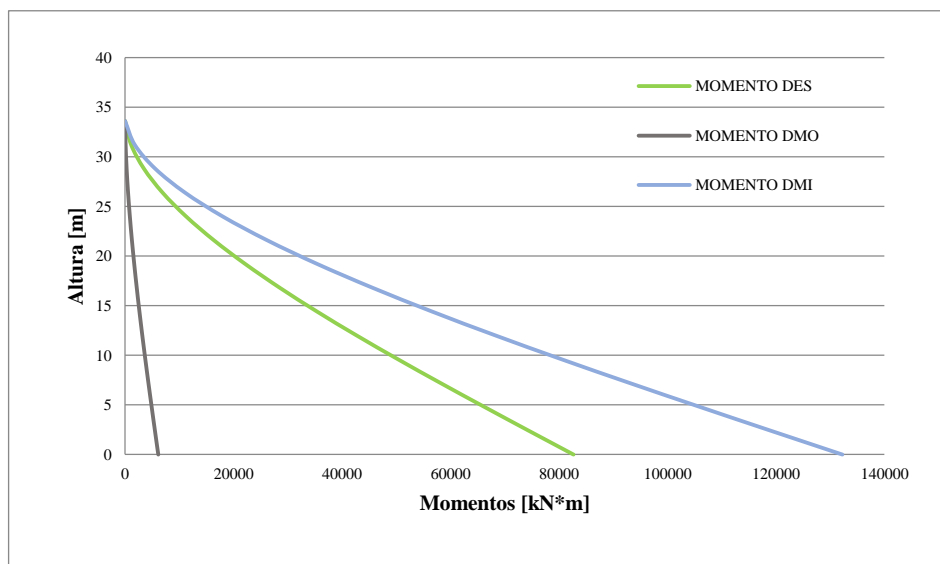
Los momentos tomados en cada uno de los pisos (ver figuras 8 y 9), muestran el comportamiento de la estructura bajo las fuerzas sísmicas de diseño Ex y Ey,

evidenciando una variación del 38% entre el grado de disipación de energía moderado y el mínimo, así como un 95% entre el grado de disipación de energía especial y mínimo para la dirección “x”, “y” mostrando una variación uniforme en el momento a lo largo de su altura.

**Figura 7. Comparación de los momentos en dirección “x”.**



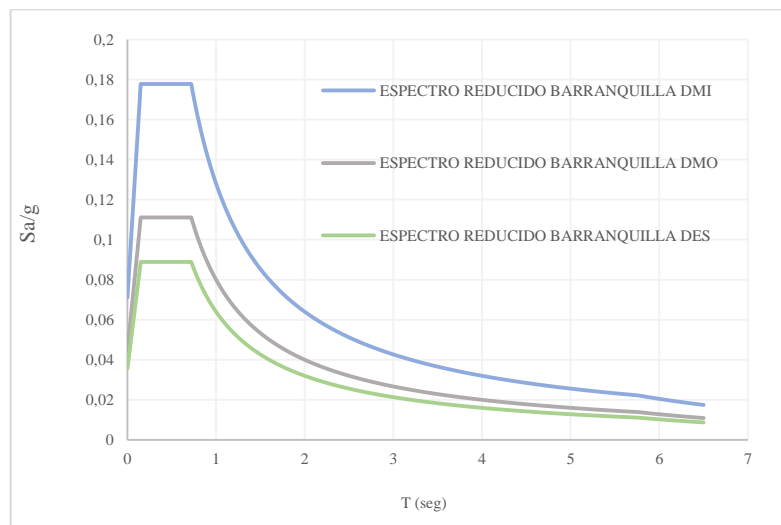
**Figura 8. Comparación de los momentos en dirección “y”.**



Analizando los espectros reducidos de diseño obtenidos en la ciudad de Barranquilla para la estructura de referencia, variando las capacidades de disipación de energía mínima, moderada y especial (DMI, DMO Y DES) (Ver figura 10) Se puede concluir que las fuerzas sísmicas reducidas de diseño, E, son mayores en la estructura con capacidad de disipación de energía mínima que en el estructura con una capacidad de disipación de energía moderada y estas fuerzas sísmicas a su vez son mayores en la estructura con capacidad de disipación de energía moderada que en la estructura con capacidad de disipación de energía especial esto debido al valor del coeficiente de disipación de energía, R, que determina la norma para cada una de las capacidades de disipación de energía.

Debido a que el cortante sísmico en la base está en función de los valores de la aceleración horizontal,  $S_a$ , tomados de los espectros reducidos de diseño hacen que la fuerza interna de diseño de los elementos estructurales disminuya al variar su capacidad de disipación de energía de mínima a moderada o especial.

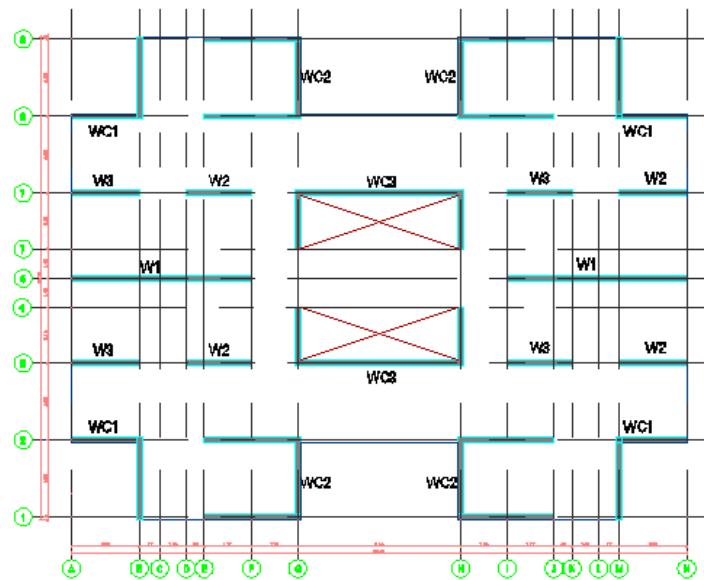
**Figura 9. Espectro de diseño reducido Barranquilla.**



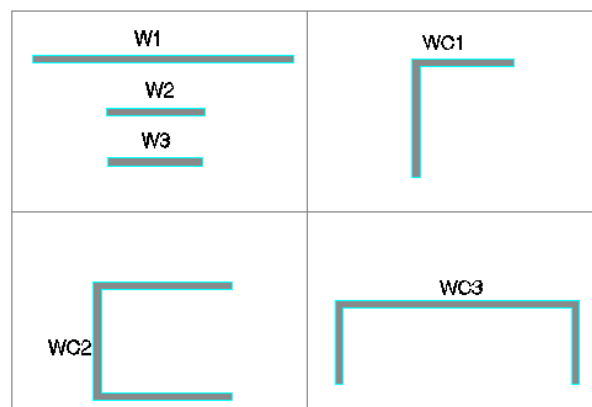
## 2.3 VARIACIÓN EN LAS CANTIDADES DE OBRA

**2.3.1 Variación de las diversas tipologías de los muros en la estructura.** Para calcular la variación de las cantidades de obra de los muros se tuvo en cuenta la configuración en planta de la estructura y las diversas tipologías de muros (Ver figuras 11 y 12).

**Figura 10. Distribución en planta de los muros.**



**Figura 11. Tipologías de muros.**



Se compara la variación en las cantidades de obra al modificar la capacidad de disipación de energía de mínima a la moderada, teniendo en cuenta la siguiente expresión. (Ver ecuación 1)

$$\alpha = \frac{C. \text{ de O.DMI} - C. \text{ de O. DMO}}{C. \text{ de O. DMI}} * 100 \quad (1).$$

Se compara la variación en las cantidades de obra al modificar la capacidad de disipación de energía de mínima a la especial, teniendo en cuenta la siguiente expresión. (Ver ecuación 2)

$$\beta = \frac{C. \text{ de O.DMI} - C. \text{ de O.DES}}{C. \text{ de O. DMI}} * 100 \quad (2)$$

Donde, C de O. significa cantidades de obra.

Las cantidades de concreto en los muros, al modificar la capacidad de disipación de energía es del 0%, ya que la configuración y dimensiones de los muros son las mismas para los diferentes modelos, debido a que el cálculo de las derivas depende del espectro sin reducir.

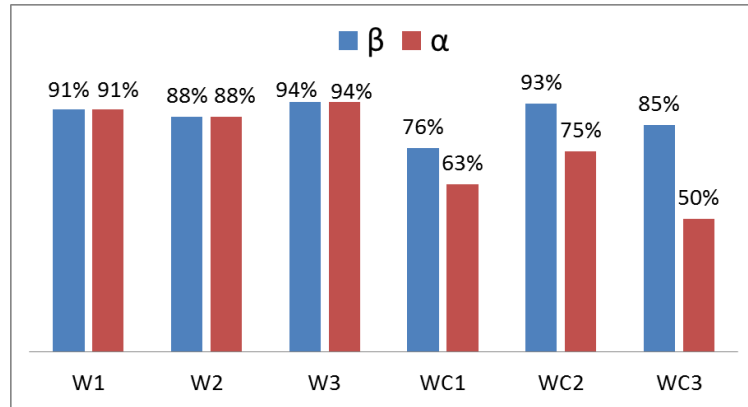
Las cantidades de refuerzo longitudinal en los muros diseñados con capacidad de disipación de energía mínima son mayores que para los muros diseñados con capacidad de disipación moderada y especial, teniendo en cuenta que las fuerzas sísmicas de diseño disminuyen a medida que la capacidad de disipación de energía aumenta, lo que hace que el diseño en DMI requiera una mayor cuantía.

En los muros compuestos se evidencia una mayor variación en las cantidades de obra del refuerzo longitudinal en una estructura con capacidad de disipación de energía moderada que en una estructura con capacidad de disipación de energía

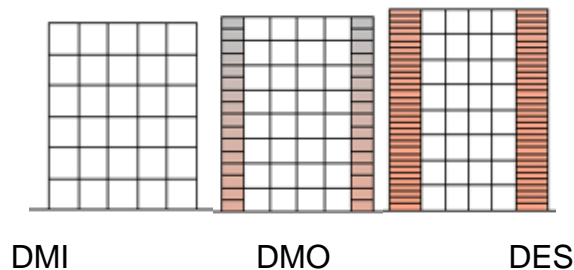
especial, esto se debe a que la fuerza sísmica que se presenta en la estructura es mayor para DMO haciendo que esta requiera una mayor cuantía.

Las cuantías mínimas de diseño establecidas en el C.21.9.2.1 y C.14.3.2 de la NSR-10, presentan requerimientos mayores de cuantía en DES y DMO que en DMI, aun así cumpliendo con estos requisitos mínimos para nuestro diseño se obtuvo una mayor cuantía en DMI que en DMO y DES debido a que la fuerza sísmica E es mayor DMI (figura 13 y 14).

**Figura 12. Variación de acero longitudinal en los muros en función de la capacidad de disipación de energía**



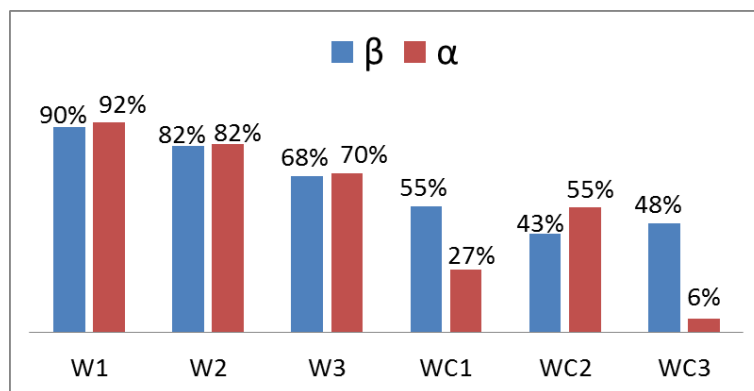
**Figura 13. Requisitos mínimos de disipación de energía dados por la NSR-10.**



Las cantidades de obra para el refuerzo transversal en los muros diseñados con capacidad de disipación de energía mínima son mayores que para los muros

diseñados con capacidad de disipación moderada y especial. Al igual que lo ocurrido con el refuerzo longitudinal, el comportamiento de la estructura varía según las fuerzas sísmicas reducidas de diseño las cuales disminuyen a medida que la capacidad de disipación de energía aumenta de la DMI a DES lo que hace que el diseño en DMI requiera una mayor cuantía (ver figura 15)

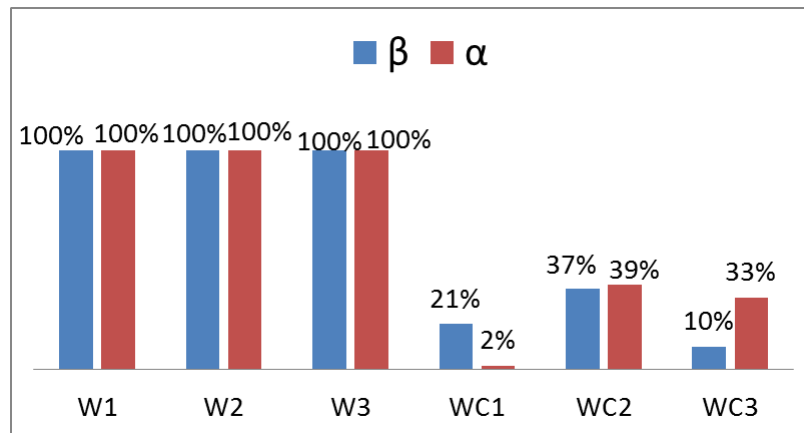
**Figura 14. Variación del refuerzo transversal en los muros en función de la capacidad de disipación de energía.**



Los muros con capacidad de disipación de energía mínima son diseñados según la NSR-10 C.14.3 Y C.11.3 por lo cual no requieren elementos de borde. En cambio, los muros con capacidad de disipación de energía moderada y especial si requieren elementos de borde según el capítulo C.21.9.6 de la NSR-10, lo cual genera una variación del 100% al comparar DES Y DMO con DMI para muros sencillos.

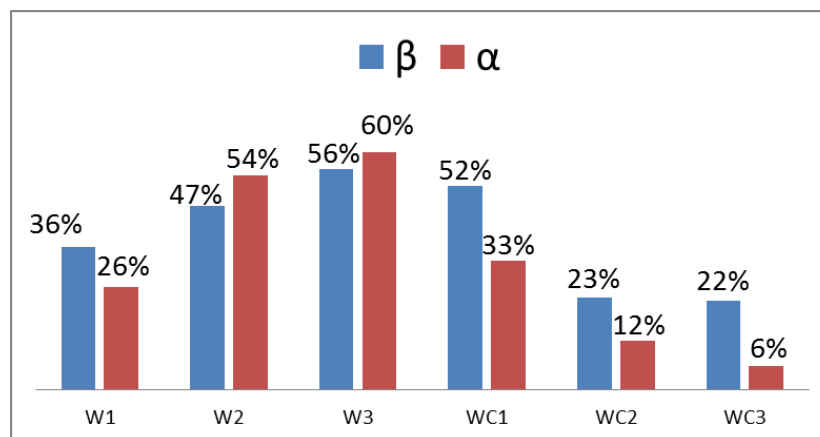
En muros compuestos aunque la capacidad DMI no requiera elementos de borde, se debe suministrar un mínimo a las intercepciones, por lo que la variación en las cantidades de obra son menores de los muros compuestos a los simples (ver figura 16).

**Figura 15. Variación del refuerzo de los elementos de borde en los muros en función de la capacidad de disipación de energía.**



La variación total de refuerzo por tipologías evidencia lo que se ha venido planteando en las comparaciones individuales de refuerzo longitudinal, transversal y elementos de borde para lo que se concluye que las cantidades de obra son mayores para DMI que para DMO y DES (ver figura 17)

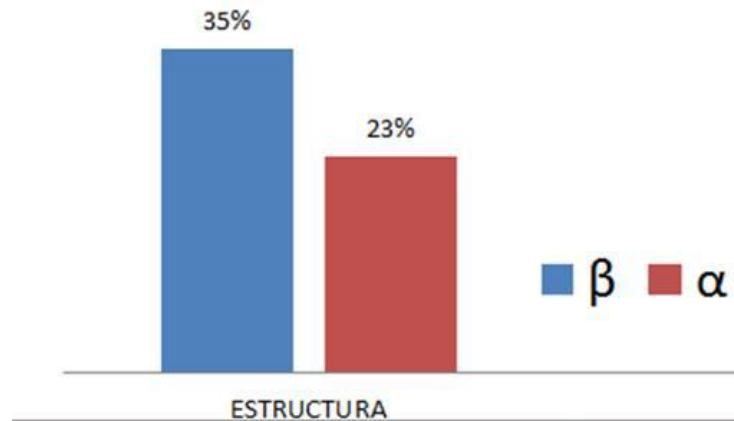
**Figura 16. Variación del refuerzo total por tipología de muro en función de la capacidad de disipación de energía.**



**2.3.1 Variación global de los muros.** Evaluando los factores que influyen directamente en la variación de las cantidades de obra como lo son las fuerzas sísmicas reducidas de diseño y los requisitos mínimos de diseño para las

capacidad de disipación de energía de la norma sismo resistente colombiana, se obtiene como resultado final mayor cantidad de obra para el grado de disipación de energía mínimo en comparación con el moderado y especial (ver figura 18).

**Figura 17. Variación del refuerzo total de la estructura para  $\alpha$  y  $\beta$ .**



### 3. CONCLUSIONES

- Las fuerzas sísmica reducidas de diseño E, aumentan al modificar la capacidad de disipación de energía de la especial a la mínima, haciendo que las cuantías aumenten a medida que disminuye la capacidad de disipación de energía de la especial a la mínima.
- Al calcular las cantidades de obra para el acero, se obtiene que para una capacidad de disipación de energía mínima la cantidad obtenida es un 23% mayor que la obtenida con capacidad de disipación de energía moderada, y un 35% mayor que la obtenida con capacidad de disipación de energía especial. La cantidad de concreto se mantiene constante al variar la capacidad de disipación de energía.
- Al construir con una mayor ductilidad sísmica en una zona de amenaza donde no se requiere, se aumenta tanto el nivel de seguridad como la vida útil de la estructura. a su vez, se reducen las cantidades de obra, siendo viable pasar de un grado de disipación de energía mínimo tanto a moderado como a especial.

## REFERENCIAS

[1] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, Santa fé de Bogotá: AIS, 2010.

[2] Seismic Resilience Group.  
[http://www.civil.engineering.utoronto.ca/research/structural/srg/srg\\_abut.htm](http://www.civil.engineering.utoronto.ca/research/structural/srg/srg_abut.htm),  
(Consultado el 12 de agosto de 2014).

[3]. Computers and Structure, CSI Analysis references Manual for SAP2000, Etabs, Safe 2009, CSI, 2009.

[4] Guía práctica para el diseño de muros de hormigón armado  
<http://www.murosismoresistente.cl/ich/GuiaDisenodeMurosHormigon.pdf>  
(consultada el 16 de agosto)

[5]. Asociación Colombiana de ingeniería Sísmica, C-12. Longitudes de desarrollo y empalme de refuerzo, Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, Bogotá, AIS, 2012, pp. A-39

## BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, C-12. Longitudes de desarrollo y empalme de refuerzo, Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, Bogotá, AIS, 2012, pp. A-39

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, Santa fé de Bogotá: AIS, 2010.

COMPUTERS AND STRUCTURE, CSI Analysis references Manual for SAP2000, Etabs, Safe 2009, CSI, 2009.

Guía práctica para el diseño de muros de hormigón armado [en línea] Disponible en: <http://www.murosismoresistente.cl/ich/GuiaDisenodeMurosHormigon.pdf> (consultada el 16 de agosto)

SEISMIC RESILIENCE GROUP [en línea] Disponible en: [http://www.civil.engineering.utoronto.ca/research/structural/srg/srg\\_abut.htm](http://www.civil.engineering.utoronto.ca/research/structural/srg/srg_abut.htm), (Consultado el 12 de agosto de 2014).

# ANEXOS

(VER CARPETA ANEXA )