

# **DEMANDA DE MATERIAL EN ESTRUCTURAS REGULARES DE ACERO CON Y SIN ARRIOSTRAMIENTOS EN ZONA SÍSMICA DE RIESGO ELEVADO SEGUN NORMA COVENIN 1618- 1998**

## **DEMAND FOR MATERIAL IN REGULAR STEEL STRUCTURES WITH AND WITHOUT BRACES IN SEISMIC ZONE IN HIGH RISK ACCORDING TO THE STANDARD COVENIN 1618-1998**

**Montesinos, V.\*, Linarez, V. \*\*, Avon, D. \*\*\***

*Recibido 20/11/2015: Aprobado: 10/12/2015*

### **RESUMEN**

El presente trabajo fue realizado con la finalidad de conocer la demanda de material, y el desempeño de arriostramientos concéntricos y excéntricos ante posibles eventos sísmicos en edificaciones de acero de diez pisos que tienen características geométricas idénticas en planta, así como también en estructuras de acero sin arriostramientos. Se realizó un análisis estático lineal y uno dinámico para determinar las solicitaciones en los miembros, y diseñar sus diferentes secciones en las estructuras estudiadas. Realizados estos análisis se pueden conocer los desplazamientos máximos de entrepiso. De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluyó que el uso de arriostramientos tanto excéntricos como concéntricos, es favorable para las estructuras, ya que ofrecen un desempeño satisfactorio para el control de desplazamientos y aportan mayor rigidez lateral. Las estructuras donde no se usan arriostramientos son más susceptibles a daños ante eventos sísmicos, por lo que deben ser analizados con detalle, presentando a su vez mayor demanda de material.

**Palabras clave:** Arriostramiento, edificaciones sismorresistentes, Normas Covenin

---

\*Docente investigadora de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Ingeniero Civil. Diplomado en Diseño de estructuras de concreto armado y acero (SEPROINCA) Correo: vanevivi\_90@hotmail.com

\*\*Ingeniero Civil egresada de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Correo: verónica\_vclm@hotmail.com

\*\*\* Docente investigador de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Mgs.ingeniería estructural. Correo:davon@ucla.edu.ve

## ABSTRACT

The purpose of this project was to find out the demand for material and performance of concentric and eccentric bracing for possible seismic events in steel ten stories buildings that have identical geometric characteristics as well as on steel structures without bracings. A linear static analysis and a dynamic one were conducted to determine the stresses in the members, to be able to design their different sections in the structures studied. Once these analysis are made it can be determined the maximum displacements between floors. According to the results, it was concluded that the use of both eccentric and concentric bracings is favorable to the structures, as they offer satisfactory performance for controlling the displacement and provide greater lateral stiffness. The structures which are not braced are the most susceptible to damage in seismic events, which must be analyzed in detail, presenting in turn increased demand for material.

*Keywords: Bracing, seismic resistant structures, Covenin standard, Venezuela*

## 1. INTRODUCCIÓN

Geográficamente Venezuela se encuentra ubicada entre los bordes de dos grandes placas tectónicas: la Placa Suramericana y la Placa del Caribe. Esto hace que las zonas alrededor de estos límites sean de un importante riesgo sísmico. Particularmente, el Estado Lara en Venezuela se encuentra sobre la Falla de Boconó, la cual es la principal responsable de los sismos en la región.

22 Los sismos son movimientos oscilatorios irregulares del suelo, producidos por la liberación súbita de energía elástica acumulada por los choques entre las placas tectónicas de la tierra que se encuentran en constante movimiento. Al ser este fenómeno natural producto de las colisiones de las placas tectónicas, es prácticamente imposible predecir el lugar exacto donde ocurrirá un sismo así como su magnitud [1]. La acción de los sismos sobre las estructuras, edificaciones y obras en general puede ser determinante, por la magnitud de los daños y fallos que ocasionan, pérdidas económicas, y sobre todo, por el gran número de víctimas humanas, tanto en fallecidos como en lesionados.

Ante estas acciones sísmicas, las estructuras construidas con miembros de acero tienden a tener un buen comportamiento estático y dinámico, sin embargo no son lo suficientemente satisfactorios en estructuras muy esbeltas ya que demandan elevada ductilidad lo da origen a mayores desplazamientos antes de fallar. Es entonces requerido idear un sistema constructivo que permita añadir la rigidez necesaria que mejore el comportamiento de las mismas, mitigando desplazamientos horizontales excesivos en las estructuras [1].

Una de las soluciones que mejoran este comportamiento, es la adición de unos elementos de acero que se interconectan a los elementos estructurales de los pórticos y ayudan a oponerse al desplazamiento horizontal producido ante un eventual movimiento sísmico. Estos elementos

adicionales son los llamados arriostramientos. Existen varios tipos que pueden ser utilizados, y su efectividad podría variar a medida que un edificio cambia su arquitectura y en mayor grado su altura. Por ello, han surgido investigaciones respecto al comportamiento de los diversos tipos de arriostramientos en diferentes edificios.

La norma COVENIN 1756-2001, Edificaciones Sismorresistentes [2] y la norma COVENIN 1618-98, Estructuras de Acero para Edificaciones, Método de los Estados Límites [3] mencionan la utilización y efectividad de estos arriostramientos pero no se especifican los criterios de selección y diseño de los mismos. Aunque es conocido que el uso de arriostramientos es favorable a las estructuras resistentes a momento frente a la ocurrencia de un evento sísmico, no existen criterios de aceptación o rechazo en la normativa venezolana para su colocación, tampoco sus efectos en estructuras regulares e irregulares, ni el número de pisos de un edificio para los cuales son o no efectivos.

Por lo que, el trabajo de investigación que aquí se presenta, se centró en estudiar el comportamiento teórico de edificaciones de acero de diez (10) pisos de altura de geometría regular, con tres (3) tipos de arriostramientos concéntricos, dos (2) excéntricos y una estructura sin arriostramiento, a fin de establecer si resulta favorable su comportamiento ante sismos, y cuál de las opciones resulta más conveniente en cuanto a efectividad y economía, determinando la demanda de material (cantidad de acero en kg) de cada una de las edificaciones antes mencionadas. Todo este procedimiento se realizó simulando un modelo en un ambiente informático cuyos parámetros fueron totalmente controlados.

Debido a que la investigación es de carácter teórico, la simulación y el diseño de la edificación considera que cada uno de los elementos estructurales estará construido y dispuesto de manera ideal, es decir, no existen errores constructivos ni elementos con sección transversal irregular. Parámetros que en ocasiones no pueden ser controlados durante la construcción.

La estructura de la edificación se diseñó en acero estructural basado en la norma COVENIN 1618-1998, Estructuras de Acero para Edificaciones, Método de los Estados Límites [3] y la norma COVENIN 1756-2001, Edificaciones Sismorresistentes [2]. Asumiendo, que las uniones entre los elementos estructurales son rígidas, es decir, están garantizados en cada uno de sus nodos la transmisión de las acciones axiales, de corte y momento entre los elementos estructurales conectados. Sin embargo, los arriostramientos concéntricos estarán unidos a los nodos de forma articulada, de manera que, sólo estén sometidos a esfuerzos axiales y los arriostramientos excéntricos estarán unidos mediante conexiones resistentes a momentos. Se

debe recalcar que en las simulaciones de las estructuras sólo se toma en cuenta la superestructura, es decir, no sufrirán asentamientos diferenciales ni desplazamientos horizontales o rotaciones debido a los efectos de las fundaciones en el suelo.

## **2. ANTECEDENTES**

Después de los terremotos de Northridge en 1994 y Kobe en 1995, y la subsecuente revisión del diseño sismorresistente de las estructuras de acero que generaron, han surgido nuevas tecnologías y sistemas estructurales como una alternativa para la mejora a los sistemas estructurales tradicionalmente utilizados. En el trabajo Annan et al. (2009) [4], estudiaron la cuantificación de las demandas sísmicas inelásticas y las capacidades de estructuras modulares de acero de 2, 4 y 6 pisos diseñados para ductilidad moderada. En la publicación [5], se estudió el desempeño estructural de un sistema experimental de arriostramiento diagonal. En el artículo [6], se evaluó la fiabilidad estructural sísmica a través de la frecuencia media anual (MAF) de exceder a un cierto Estado Límite, aplicado a marcos de acero con arriostramientos concéntricos “V” diseñados según distintos criterios.

En el trabajo presentado en [7], se propuso una formulación general para el análisis de las vigas tipo cajón de acero estructural sometidas a flexión biaxial. El modelo se desarrolló en el marco de la teoría del daño concentrado. En otro trabajo de investigación se expuso un procedimiento para el diseño sísmico de edificaciones de acero, que toma en cuenta la confiabilidad estructural [8].

Mediante las investigaciones y análisis de los autores mencionados, los conocimientos teóricos y criterios aplicados forman parte de la guía para realizar este trabajo, ya que todas estas investigaciones están vinculadas con este estudio, ya sea en los tipos de análisis empleados o en la simulación que debían realizarse Sin embargo, cabe destacar que este estudio en particular se hace sobre una estructura de acero, lo cual implica la utilización de criterios específicos de diseño y normativas para evaluación del comportamiento estructural de la edificación.

## **3. METODOLOGIA**

En esta investigación se buscó determinar la cantidad de material en las estructuras de acero con arriostramientos concéntricos, excéntricos y sin arriostramientos, en los pórticos perimetrales en seis (5) estructuras regulares de diez (10) pisos, se desarrolla el estudio de la siguiente forma:

La primera etapa consistió en el diseño de las estructuras de acero, donde a una de ellas no se

le colocaron arriostramientos, y las otras se reforzaron mediante los arriostramientos concéntricos y excéntricos. En la segunda etapa, se realizó el análisis de los resultados obtenidos de la simulación. Estas etapas se describen más detalladamente de la siguiente manera: en primer lugar se procedió a determinar las cargas permanentes, variables y sísmicas que inciden sobre cada edificación, para luego realizar un diseño de cada estructura en acero siguiendo las normas de diseño establecidas en [3].

### 3.1. Configuración geométrica de la edificación

Para la configuración geométrica en planta de las estructuras se colocaron ejes de referencia, el eje X y el eje Z, en el eje X se colocaran vanos de 7 m de longitud y en el eje Z vanos de 6 m de longitud. En cuanto a la altura se utilizó el eje Y, las 6 estructuras presentan alturas de entrepiso de 3 m excepto el primer nivel que posee una altura de 4,5 m, tal como se aprecia en la Figura 1.

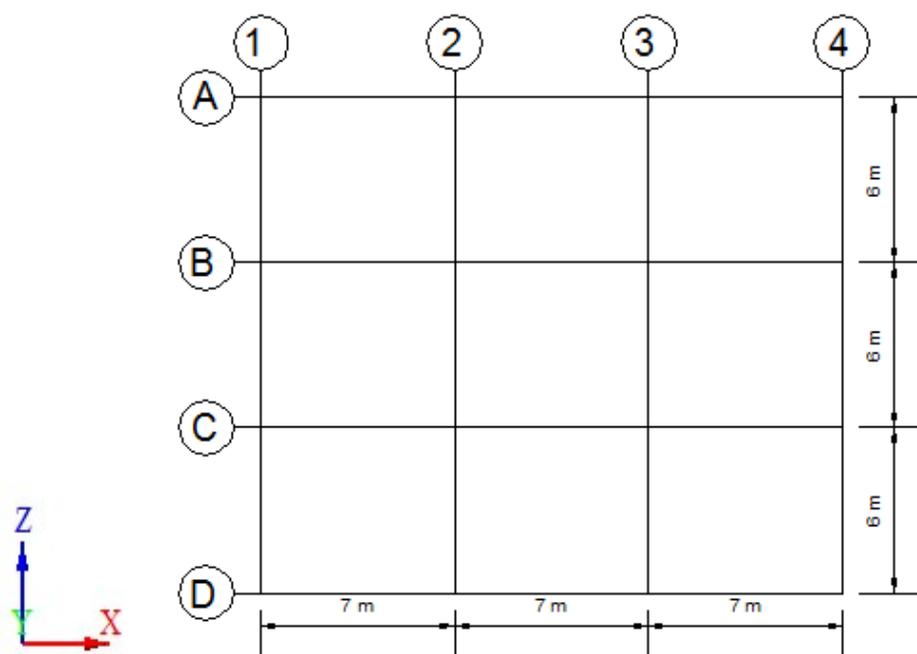
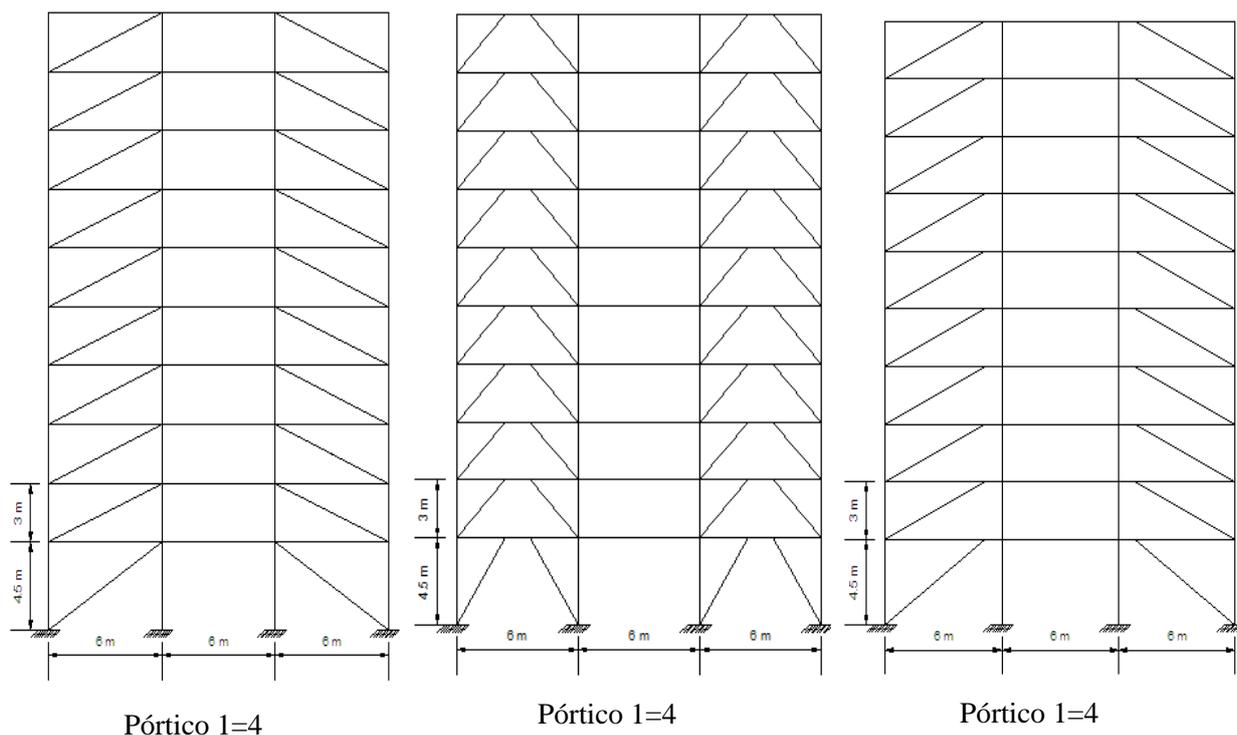


Figura 1. Vista en planta de las estructuras. Fuente: los autores

Los alzados de las estructuras se muestran en la Figura 2. donde se pueden apreciar los distintos tipos de arriostramientos y la estructura no arriostrada, los arriostramientos fueron colocados en los porticos perimetales en ambas direcciones.



**Figura 2.** Alzado de las estructuras (Pórticos en dirección Z).

Se utilizó la misma configuración para los pórticos en dirección X. Fuente: los autores

### 3.2. Análisis de carga

26 Para el cálculo de las cargas sobre las losas de entrepiso y techo se utilizó un sistema de encofrado colaborante (sofrito metálico) a base de láminas de acero galvanizado corrugadas y topping de concreto, como se muestra de la Tabla 1 a la Tabla 3.

**Tabla 1.** Cargas sobre la losa de entrepiso

Losa de entrepiso	
<b>carga permanente (cp)</b>	
<b>elemento</b>	<b>peso (kg/m<sup>2</sup>)</b>
lamina N° 22	8,69
loseta e= 12 cm	288,00
instalaciones	30,00
mampostería	210,00
acabado de piso	100,00
<b>Total</b>	<b>636,69</b>
<b>Carga variable (cv)</b>	
<b>uso</b>	<b>peso (kg/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Residencial</b>	<b>175,00</b>

**Tabla 2.** Cargas sobre la losa de techo

<b>Losa de techo</b>	
<b>carga permanente (cp)</b>	
<b>elemento</b>	<b>peso (kg/m<sup>2</sup>)</b>
lamina N° 22	8,69
loseta e= 12 cm	288,00
Instalaciones	30,00
Revestimiento	7,00
acabado de techo	100,00
<b>Total</b>	<b>433,69</b>
<b>carga variable (cv)</b>	
<b>uso</b>	<b>peso (kg/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Techo inaccesible</b>	<b>50,00</b>

**Tabla 3.** Resumen de cargas sobre las estructuras

<b>Cargas sobre vigas</b>			
<b>Entrepiso</b>		<b>techo</b>	
<b>CP=4411,05</b>	CV= 1154,92	CP=3007,01	CVt=329,98
<b>kg/m</b>	kg/m	kg/m	kg/m
<b>vigas perimetrales</b>		CP=810,00 kg/m	

### 3.3. Método de análisis

Se estudiaron las estructuras a través del siguiente método de análisis: análisis dinámico espacial de superposición modal con tres grados de libertad por nivel. Para realizarlo se utilizó un programa de cálculo estructural. Se efectuó una división por grupos para una adecuada optimización del modelo, en la que se agrupan las columnas y vigas ubicadas de manera similar, comenzando desde el primer piso hasta llegar al nivel de techo. Las diagonales pertenecen a un grupo que estén en dirección X o dirección Z, también se hizo una agrupación por cada piso. Se utilizaron perfiles W para vigas y diagonales y perfiles HEB para las columnas.

Tal cual establece la Norma Venezolana COVENIN 1756:2001, parte 1, capítulo 7 [2], de acuerdo al uso de las estructuras, se debe realizar una transformación de cargas en masas, tomando el 100% de las cargas producida por el propio peso y cargas permanentes, además del 25% de la carga variable. Posteriormente, se procedió al análisis de tipo espectral, en el que se introdujo al programa el espectro elástico de diseño afectado por un valor de reducción R. Para dicho cálculo se utilizó el capítulo 7 de la Norma Venezolana COVENIN 1756:2001 [2], comenzando por ubicar a las estructuras según el mapa de zonificación sísmica.

Adicionalmente, fue necesario conocer que las estructuras según su uso, se clasifican en el

grupo B2 por ser edificios destinados a apartamentos; el tipo de sistema resistente a sismos es tipo I para la estructura no arriostrada, debido a que son capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante sus vigas y columnas. Tipo III para la estructura con arriostramientos concéntricos debido a que las cargas actuantes son soportadas por los elementos de vigas, columnas y diagonales, y tipo IIIa para la estructura con arriostramientos excéntricos por contener pórticos de acero con diagonales excéntricas acopladas con eslabones dúctiles. Por otro lado la zona sísmica es 5, la cual indica un alto peligro sísmico, por estar en la ciudad de Barquisimeto, y su forma espectral S2.

Como paso siguiente se realizó una comparación entre el corte basal obtenido y el mínimo valor que establece la norma sismorresistente:

En cada dirección, el corte basal  $V_o$ , deducido de la combinación modal deberá compararse con el calculado según la Sección 9.3.1 de la norma COVENIN 1756-2001 con un período  $T = 1,6 T_a$ , el cual se denota aquí por  $\tilde{V}_o$ . Cuando  $V_o$  sea menor que  $\tilde{V}_o$ , los valores para el diseño deberán multiplicarse por  $\tilde{V}_o / V_o$ . El cociente  $V_o/W$  de diseño no será menor que el mínimo coeficiente sísmico dado en el Artículo 7.1. de la misma norma.

Para incluir los efectos de la componente rotacional del terreno y de las incertidumbres en la ubicación de centros de masa y rigidez, se incluyeron en el diseño añadiendo a los resultados del análisis dinámico, las solicitaciones más desfavorables que resulten de aplicar estáticamente sobre la edificación los momentos torsores que se obtienen al multiplicar el cortante de piso por el 6% de la mayor dimensión horizontal de la edificación en ese nivel. Al momento de diseñar una edificación no solo se debe garantizar que los elementos soporten las cargas aplicadas, sino también se debe asegurar que los movimientos de la misma no sean excesivos y ocasionen daños a los elementos no estructurales.

Para garantizar este criterio, la Norma Venezolana COVENIN 1756-1:2001 en su capítulo 10 [2], establece determinados parámetros que deben ser cumplidos: se conoce como deriva  $\delta_i$  a la diferencia de desplazamientos laterales totales entre dos niveles consecutivos, el desplazamiento lateral total del nivel  $\Delta_i$  se calculó multiplicando el factor de reducción por el desplazamiento lateral del nivel para las fuerzas de diseño y esto a su vez se multiplicó por un factor de 0,8, la diferencia entre los valores obtenidos para el nivel  $i$  y el nivel  $i-1$  será la deriva del mismo.

Según el tipo de estructura clasificada en el grupo B2 y considerando que pueda sufrir daños por deformaciones, ninguno de los coeficientes debe exceder el valor de 0,018 en ningún piso. Esta consideración es un elemento clave para el diseño de las estructuras, conjunto con la verificación del corte basal, es un ciclo iterativo en donde los elementos deben cumplir con

estos criterios para garantizar su correcto funcionamiento. Luego de realizar el análisis pertinente a cada uno de los modelos en estudio, se procedió a determinar la cantidad de material que se requería para cada tipo de edificación a fin de realizar posteriores comparaciones.

#### 4. RESULTADOS

A continuación se detallan los resultados obtenidos al realizar el diseño elástico de cada uno de los edificios que abarca el trabajo de investigación. Este procedimiento se realizó en tres etapas:

Diseño por resistencia: Este primer diseño presentó una optimización de los elementos estructurales, desde los perfiles de pre-dimensionamiento, usando los más pequeños del catálogo, hasta un perfil adecuado por resistencia.

Control de desplazamientos: La norma venezolana COVENIN 1756-2001 [2] exige que las edificaciones tengan un control de sus desplazamientos, ya que si bien éstas son capaces de resistir las cargas estáticas y dinámicas a las que estará sometida la estructura, la edificación también debe garantizar que a la hora de un sismo no ocurran grandes daños en los elementos estructurales y no estructurales, a fin de que las reparaciones no excedan un costo factible.

Control por corte basal: La norma venezolana COVENIN 1756-2001 [2] establece que se debe comparar el corte basal calculado según el método utilizado con los cortes obtenidos de la máxima combinación modal tanto para sismo en X como para sismo en Z. Los primeros elementos analizados y diseñados fueron las correas de techo y las de entrepiso.

De acuerdo a lo planteado en la metodología, se desarrolló el modelo matemático de las correas, se realizó la verificación tanto por resistencia como por rigidez y se obtuvo un perfil definitivo de IPN 180. De igual forma se realizó el análisis de las correas de entrepiso, las cuales estarán sometidas a las cargas establecidas anteriormente, se comenzó el pre-dimensionado con el perfil más pequeño del catálogo obteniendo como perfil definitivo un IPN 220. Luego de obtener las cargas a las cuales están sometidas las edificaciones en estudio, se procedió a realizar el análisis de las mismas. Para la verificación de desplazamientos horizontales se consideró una esquina por cada piso, ya que al utilizar diafragma rígido todos los puntos de un mismo piso se desplazan de la misma forma. El factor de reducción para la estructura no arriostrada y con arriostramientos excéntricos fue  $R=6$  y para la estructura con arriostramientos concéntricos fue de  $R=4$ .

Para realizar la comprobación del corte basal, se determinó según lo establecido en el capítulo

9 de la norma venezolana, luego se comparó este valor con la fuerza cortante que se generan en la estructura en la base, en donde el corte que se genera debe ser mayor que el corte basal mínimo calculado como lo establece la norma. Finalmente, luego de haber realizado los cálculos y verificaciones necesarios, se obtuvieron los perfiles definitivos mostrados de la Tabla 4 a la Tabla 9.

**Tabla 4.** *Perfiles colocados en la estructura no arriostrada*

<b>Perfiles</b>	<b>Descripción</b>
2HEB 180	Columnas
2HEB 240	Columnas
2HEB 260	Columnas
2HEB 300	Columnas
2HEB 360	Columnas
2HEB 400	Columnas
2HEB 500	Columnas
W 12X170	Vigas
W 14X257	Vigas
W 6X8.5	Vigas

**Tabla 5.** *Perfiles colocados en la estructura con arriostramientos concéntricos (Cruces de San Andrés)*

<b>Perfiles</b>	<b>Descripción</b>
2HEB 100	Columnas
2HEB 140	Columnas
2HEB 160	Columnas
2HEB 180	Columnas
2HEB 200	Columnas
2HEB 220	Columnas
2HEB 240	Columnas
2HEB 260	Columnas
2HEB 280	Columnas
2HEB 300	Columnas
2HEB 320	Columnas
2HEB 400	Columnas
W 10X112	Vigas
W 4X13	Vigas
W 6X25	Arriostramientos
W 8X28	Arriostramientos

**Tabla 6.** *Perfiles colocados en la estructura con arriostramientos concéntricos (Diagonales)*

<b>Perfiles</b>	<b>Descripción</b>
2HEB 100	Columnas
2HEB 120	Columnas
2HEB 140	Columnas
2HEB 160	Columnas
2HEB 180	Columnas
2HEB 200	Columnas
2HEB 220	Columnas
2HEB 240	Columnas
2HEB 260	Columnas
2HEB 280	Columnas
2HEB 300	Columnas
2HEB 320	Columnas
2HEB 450	Columnas
W 10X112	Vigas
W 10X60	Arriostramientos
W 10X88	Arriostramientos
W 4X13	Vigas
W 6X25	Vigas

**Tabla 7.** *Perfiles colocados en la estructura con arriostramientos concéntricos (V invertida)*

<b>Perfiles</b>	<b>Descripción</b>
2HEB 100	Columnas
2HEB 120	Columnas
2HEB 140	Columnas
2HEB 160	Columnas
2HEB 180	Columnas
2HEB 200	Columnas
2HEB 220	Columnas
2HEB 240	Columnas
2HEB 260	Columnas
2HEB 280	Columnas
2HEB 300	Columnas
2HEB 320	Columnas
2HEB 450	Columnas
W 10X112	Vigas
W 4X13	Vigas
W 6X20	Vigas
W 8X40	Arriostramientos
W 8X48	Arriostramientos

**Tabla 8.** Perfiles colocados en la estructura con arriostramientos excéntricos (V invertida)

<b>Perfiles</b>	<b>Descripción</b>
2HEB 100	Columnas
2HEB 120	Columnas
2HEB 140	Columnas
2HEB 160	Columnas
2HEB 180	Columnas
2HEB 200	Columnas
2HEB 220	Columnas
2HEB 240	Columnas
2HEB 260	Columnas
2HEB 280	Columnas
2HEB 300	Columnas
2HEB 320	Columnas
2HEB 360	Columnas
W 10X100	Vigas
W 10X112	Vigas
W 4X13	Vigas
W 6X20	Vigas
W 8X31	Arriostramientos
W 8X48	Arriostramientos

**Tabla 9.** Perfiles colocados en la estructura con arriostramiento excéntricos (Diagonales)

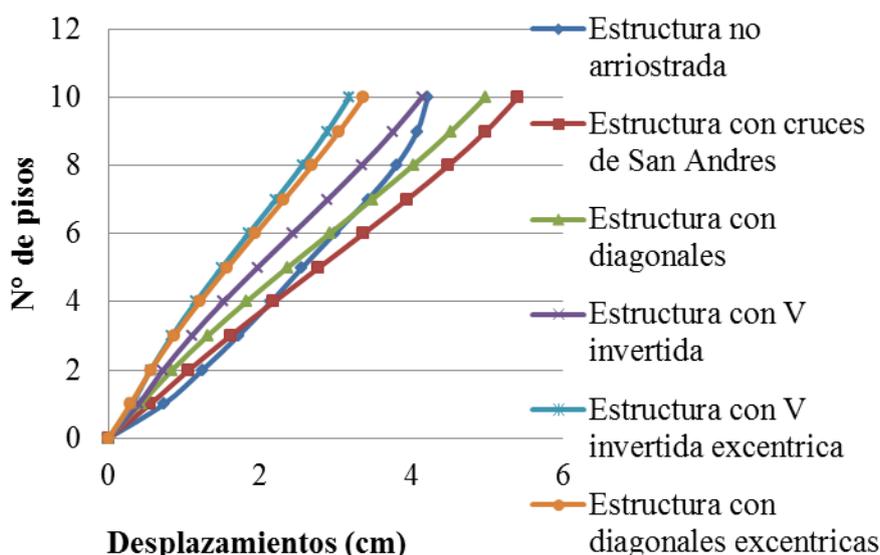
<b>Perfiles</b>	<b>Descripción</b>
2HEB 100	Columnas
2HEB 120	Columnas
2HEB 140	Columnas
2HEB 160	Columnas
2HEB 180	Columnas
2HEB 200	Columnas
2HEB 220	Columnas
2HEB 240	Columnas
2HEB 260	Columnas
2HEB 280	Columnas
2HEB 300	Columnas
2HEB 320	Columnas
W 10X100	Arriostramientos
W 10X112	Vigas
W 10X60	Arriostramientos
W 12X136	Vigas
W 4X13	Vigas
W 6X20	Vigas

En la Tabla 10, se observa la demanda de material de cada una de las estructuras, obteniendo que la que requiere menos cantidad de acero es la estructura con arriostramientos excéntricos en forma de V invertida.

**Tabla 10.** Tabla comparativa de cantidad de material

Cantidad de material	
Tipo de estructura	Peso (kgf)
No arriostrada	566159,84
Arriostramientos concéntricos - Cruces de San Andrés	286233,46
Arriostramientos concéntricos - Diagonales	309092,52
Arriostramientos concéntricos - V invertida	287735,60
Arriostramientos excéntricos - Diagonales	307377,65
Arriostramientos excéntricos- V invertida	275607,09

A continuación se presenta una serie de figuras que permiten comparar las estructuras estudiadas. Al realizar una comparación entre las 6 edificaciones con respecto a los desplazamientos que se generan debido a la acción del sismo en la dirección X, se puede distinguir que la estructura que presenta menores desplazamientos es la que tiene arriostramientos excéntricos en forma de V invertida, y la estructura que presenta mayores desplazamiento es la estructura con cruces de San Andrés. Esto se debe a que estos arriostramientos excéntricos aportan mayor rigidez a la estructura que las cruces de San Andrés (ver Figura 3)



**Figura 3.** Desplazamientos Vs. N° de pisos, sismo en X

Estableciendo la misma comparación, pero ahora para el sismo en Z, se observa que la estructura más desfavorable es la no arriostrada, debiéndose a que las secciones están

colocadas con el sentido de menor inercia en esta dirección, lo cual no aporta suficiente rigidez ante un sismo. Por el contrario la estructura más eficiente con respecto al sismo en Z en la estructura con arriostramientos excéntricos en forma de V invertida, demostrando así ser la mejor opción en cuanto a la rigidez que aporta la estructura ante un sismo en ambas direcciones, como se observa en la Figura 4.

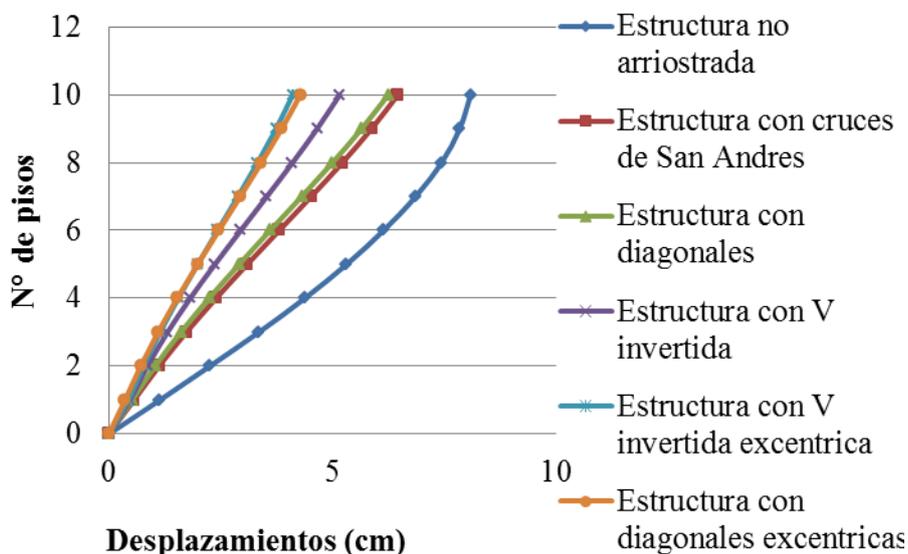


Figura 4. Desplazamientos Vs. N° de pisos, sismo en Z

34 Con respecto a las derivas, para el sismo en dirección X, el comportamiento de todas las estructuras arriostradas, ya sea con arriostramientos excéntricos o concéntricos, demuestran un comportamiento ideal, a diferencia de la no arriostrada la cual presentan un comportamiento no adecuado, ya que en la curva de la Figura 5 se observa que no sigue la misma tendencia.

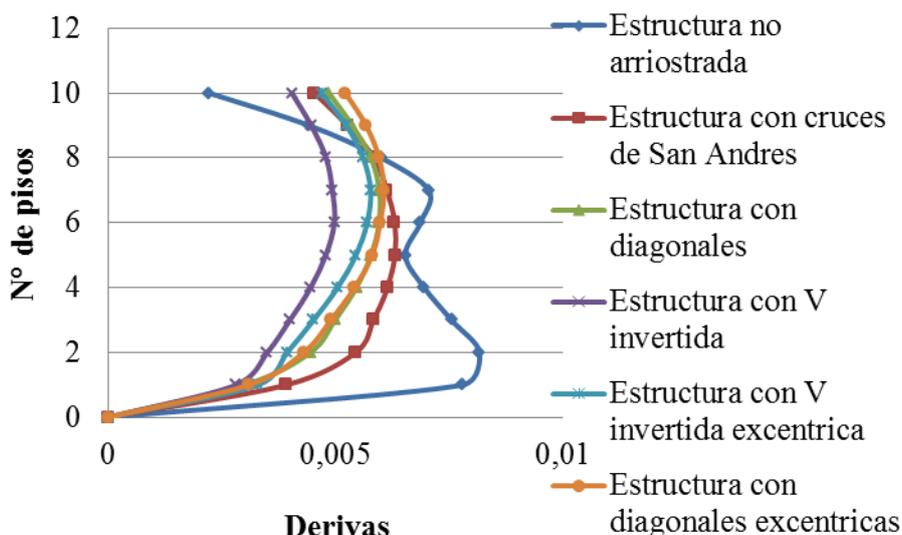


Figura 5. Derivas Vs. N° de pisos, sismo en X

Para las acciones de un sismo, en dirección Z se observa que las estructuras con arriostramiento presentan un buen comportamiento, a diferencia de la no arriostrada que a pesar de llevar una tendencia similar a las demás, las derivas generadas en los primeros pisos son muy elevadas, en comparación con la de los últimos pisos, haciendo que sea esta la edificación más desfavorable (ver Figura 6)

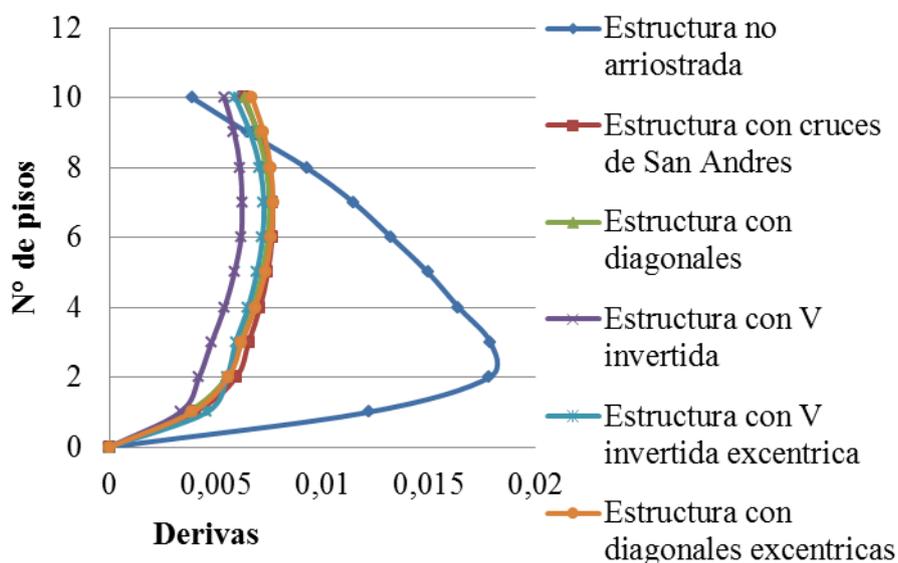


Figura 6. Derivas Vs. N° de pisos, sismo en Z

En la Figura 7 se observa la demanda de material requerida por cada una de las estructuras, obteniendo que la edificación que mayor demanda presenta es la estructura no arriostrada, luego se tienen las estructuras con diagonales concéntricas y excéntricas que requieren aproximadamente 50% menos del acero que se necesita para la no arriostrada. Por último se tienen las estructuras con cruces de San Andrés, con V invertida concéntrica y con V invertida excéntrica, siendo ésta la que menos cantidad de acero requiere.

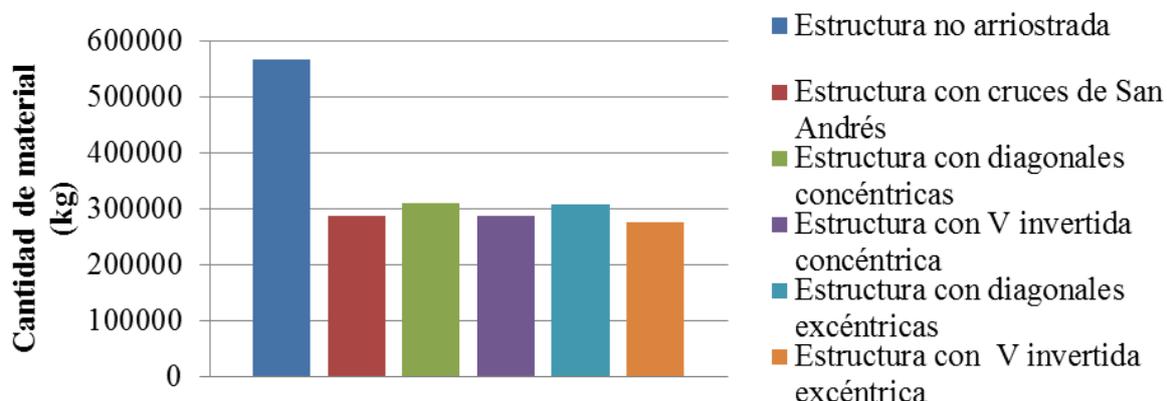


Figura 7. Comparación de demanda de material (cantidad de acero)

Las estructuras con V invertida concéntrica, con cruces de San Andrés y con diagonales concéntricas presentan los valores más altos de corte basal para el sismo en X, seguido de las

estructuras con V invertida excéntrica y con diagonales excéntricas. Por último se tiene la estructura no arriostrada la cual presento el menor valor de corte basal para sismo en X pero cumpliendo aun con el valor mínimo establecido en la norma (ver Figura 8).

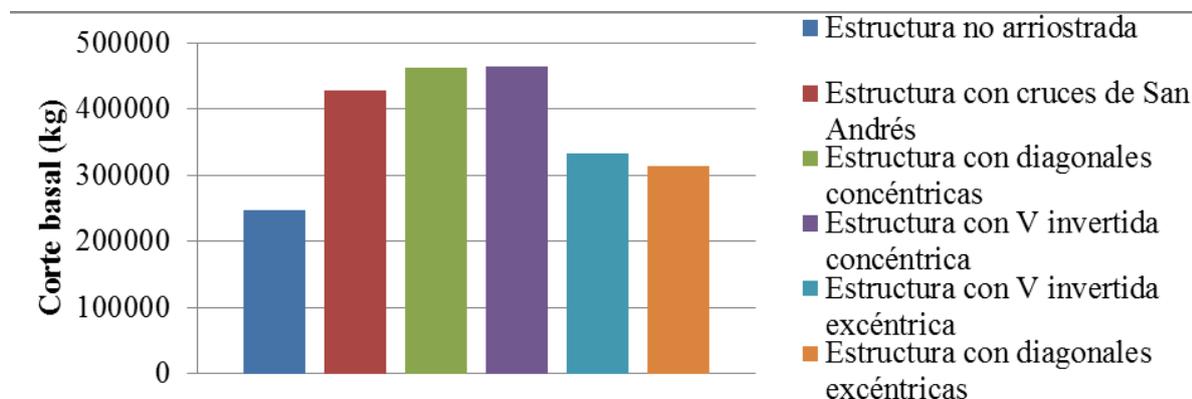


Figura 8. Corte basal para sismo en X

Las estructuras con V invertida concéntrica, con cruces de San Andrés y con diagonales concéntricas presentan los valores más grandes de corte basal para el sismo en Z, seguido de las estructuras con V invertida excéntrica y con diagonales excéntricas. Por último se tiene la estructura no arriostrada la cual presento el menor valor de corte basal para sismo en Z pero cumpliendo aun con el valor mínimo establecido en la norma (ver Figura 9).

36

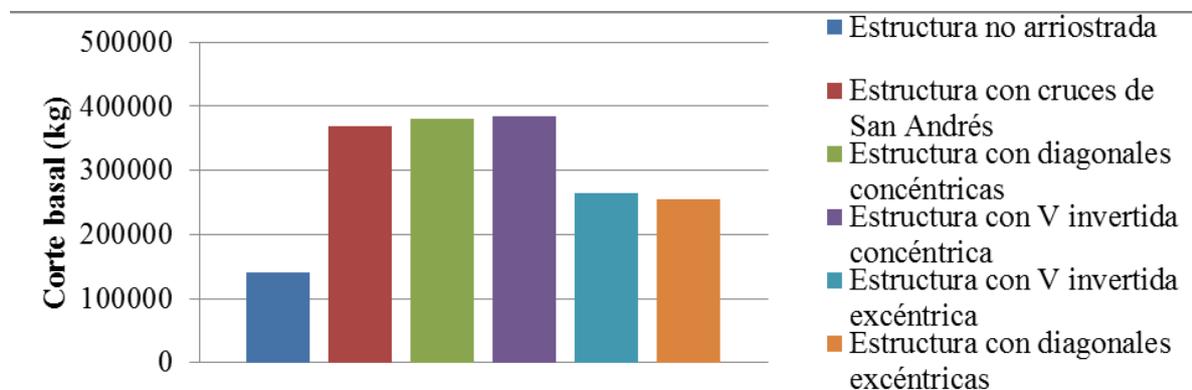


Figura 9. Corte basal para sismo en Z

## 5. CONCLUSIONES

Comparando la cantidad de material necesario en todas las estructuras luego de haber aplicado los algoritmos de optimización, se observó que se requiere casi del doble de cantidad de acero para las estructuras sin arriostramientos, debido a que se necesita el uso de perfiles de mayor tamaño. Se obtuvo como estructura que demanda menor cantidad de material, la que tiene arriostramientos excéntricos en forma de V invertida, seguida por la estructura con Cruz de San Andrés, luego la V invertida concéntricamente, la diagonal excéntrica, la diagonal

concéntrica, y por último la estructura que no posee ningún tipo de arriostramientos.

En el proceso de diseño de las estructuras que competen a este trabajo de investigación, luego de analizar la rigidez de la estructura ante el efecto de cargas laterales, se determinó que la variable que más hace variar a los elementos estructurales es la verificación de derivas, ya que las dimensiones de los perfiles se aumentan con el fin de cumplir con los límites establecidos por norma. Al momento de diseñar una edificación no sólo se debe garantizar que los elementos soporten las cargas aplicadas, sino también asegurar que los desplazamientos de la misma no sean excesivos y ocasionen daños a los elementos no estructurales.

Considerando las limitaciones para poder cumplir con el rango de las derivas establecido en la norma, se aumentaron las secciones de las columnas donde fuese necesario, para obtener una solución, y así disminuir los desplazamientos y aportarle rigidez a las edificaciones antes los efectos de las cargas laterales. Las derivas en ningún caso de los diseños definitivos fueron mayores al valor establecido en la tabla 10.1 Norma COVENIN 1756-1:2001, de 0,018.

Luego de realizar el diseño de las edificaciones de acero de 10 pisos, mediante la cuantificación de los desplazamientos horizontales elásticos se determinó el porcentaje de derivas de entrepiso, esto permitió detectar que los desplazamientos de los pisos fueron mayores en los pórticos no arriostrados que en los arriostrados y a su vez, en las estructuras con arriostramientos concéntricos y en las estructuras con arriostramientos excéntricos no existe una notable diferencia entre los desplazamientos obtenidos, dando a concluir que si fueron efectivos para tener un control de desplazamientos deseado. La estructura que presentó mayor rigidez, fue la estructura excéntrica en V invertida, ya que logró resistir esfuerzos sin adquirir grandes desplazamientos.

Al momento de determinar el espectro de diseño de cada edificación, en primer instante se observó una pequeña variación con respecto al periodo característico de variación dúctil ( $T^+$ ) entre la estructura con arriostramientos excéntricos y estructura no arriostrada, y la estructura con arriostramientos concéntricos. También se determinó en relación a la aceleración de diseño, arrojando los cálculos para la estructura no arriostrada y con arriostramientos excéntricos un valor inferior con respecto a la estructura con arriostramientos concéntricos.

En general, el uso de pórticos arriostrados mejoran la capacidad resistente y comportamiento de la estructura para cargas gravitatorias y dinámicas laterales, y aún más los arriostramientos concéntricos; así como también ofrecen reducciones notables de las derivas. Sin embargo, la gran desventaja de estos arriostramientos es que no es posible desde un punto de vista

arquitectónico, colocarlos en todos los pórticos de la estructura ya que puede hacer perder la función en muchos espacios de la misma. Por otro lado, con respecto a la cantidad de material que requiere cada una de las edificaciones, se obtuvo que al establecer una comparación entre las 6 estructuras en definitiva la configuración que presentó menos demanda fue la de con arriostramientos excéntricos utilizando la V invertida.

Para futuros proyectos de investigación se recomienda:

- Cambiar las configuraciones de planta de las estructuras, así como aumentar las luces para determinar hasta qué punto éste es un factor determinante en los diseños antes planteados.
- Aumentar el número de pisos para de esta manera determinar la variación (aumento o disminución) de la cantidad de material en cada tipo de estructura.
- Inclusión de la rigidez adicional de estructuras como escaleras y ascensores, ya que estos aportan rigidez a los edificios, representando elementos necesarios para el funcionamiento y uso de la estructura.
- Estudiar otras configuraciones de colocación de arriostramientos para ser comparadas con las estudiadas en las diversas estructuras, siendo de suma importancia seguir los mismos parámetros de diseño usados en las estructuras (altura de entrepiso, luces, número de niveles).
- Realizar un estudio de los costos, esto daría un buen resultado en cuanto a la factibilidad económica y posibilidad de construcción en estructuras reales.
- Ejecutar estos estudios en estructuras en donde se combinen materiales, como lo son el concreto armado y el acero.

## **6. REFERENCIAS**

- [1] L. López y E. Martínez, Estudiar el comportamiento estructural y la respuesta sísmica de estructuras de acero de 16, 20 y 24 pisos con los arriostramientos conocidos como Cruces de San Andrés, Barquisimeto, 2011.
- [2] Fondonorma, NORMA VENEZOLANA COVENIN 1756-2001, Edificaciones Sismorresistentes, Caracas, 2001.
- [3] Fondonorma, NORMA VENEZOLANA COVENIN 1618-1998 Estructura de acero para edificaciones. Método de los estados límites, Caracas, 1998.
- [4] C.D. Annan, M.A. Youssef , M.H. El Naggar. Seismic Vulnerability Assessment Of Modular Steel Buildings, Ontario, Canada, 2009.
- [5] T. Yang, J. P. Moehle y B. Stojadinovic, Performance Evaluation Of Innovative Steel Braced Frames, California, Estados Unidos, 2009.
- [6] A. Longo, M. Rosario y V. Piluso, «Seismic Reliability of V-braced Frames: Influence of Design Methodologies,» vol. 38, n° 14, 2009.
- [7] N. L. Guerrero, M. E. Marante, R. Picón, M. Rojas y J. Flórez López, Análisis de vigas

tubulares de acero estructural propensas a la falla por pandeo local sometidas a flexión biaxial, Caracas, 2006.

- [8] E. Bojórquez Mora, Diseño sísmico de estructuras de acero basado en confiabilidad estructural y conceptos de energía, México, 2009.