

Estudio de la incidencia de las vigas de amarre en el comportamiento estructural de edificios aporticados mixtos acero-concreto

Incidence study of mooring beams on the structural behavior of mixed steel-concrete buildings

Hans Wenger

Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.
Email: Hwenger3@gmail.com

Jesús Medina

Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.
Email: jesus.medina.60441@uru.edu

Recibido: 28-06-2021

Aceptado: 20-09-2021

Resumen

El objetivo general del presente trabajo de investigación es estudiar la incidencia de las vigas de amarre en el comportamiento estructural de edificios aporticados mixtos acero-concreto. Las estructuras, que se plantearon en la investigación, se consideraron columnas de concreto armado, vigas de carga de acero estructural, losas nervadas de una dirección y se diseñaron dos alternativas para las vigas de amarre, tanto hechas de acero estructural y otra de concreto armado en edificaciones de 8, 10, 12 niveles con la misma geometría de planta y vertical. La diferencia de los modelos radica en la selección de las vigas de amarre. Luego, se comparó el desempeño de las vigas de amarre más desfavorables de cada alternativa para analizar las fuerzas internas como, momentos flectores actuantes, fuerzas cortantes, deflexiones y especificaciones técnicas. Adicionalmente analizar el comportamiento de las edificaciones a raíz de la incidencia de las vigas de amarre, determinando el corte basal y el periodo fundamental. Para lograr el objetivo expuesto, el diseño de las edificaciones se realizó mediante el programa de cálculo estructural ETABS 2016. Los resultados obtenidos demuestran que las estructuras con vigas de amarre de concreto armado exigen más en las fuerzas internas y en el comportamiento estructural a diferencia de las estructuras con vigas de amarre de acero, ya que el peso estructural y las dimensiones de las vigas demandan mucho en las propiedades de las vigas, sin embargo, las estructuras con las vigas de acero, tienen la opción de ser elementos dúctiles y el peso de la edificación es baja con respecto a la estructura con vigas de amarre de concreto armado. Las dos alternativas son totalmente ejecutables, depende del tipo de cliente y las decisiones que se quieran tomar con respecto al tiempo y parte monetaria.

Palabras clave: Estructuras mixtas, concreto armado, acero estructural, incidencia, vigas de amarre, fuerzas internas.

Abstract

The general objective of this research work is to study the incidence of tie beams in the structural behavior of mixed steel-concrete frame buildings. The structures, which were raised in the investigation, were considered reinforced concrete columns, structural steel load-bearing beams, one-way ribbed slabs and two alternatives were designed for the tie beams, both made of structural steel and another made of reinforced concrete. in buildings of 8, 10, 12 levels with the same plant and vertical geometry. The difference of the models lies in the selection of the tie beams. Then, the performance of the most unfavorable tie beams of each alternative was compared to analyze internal forces such as acting bending moments, shear forces, deflections and technical specifications. Additionally, analyze the behavior of buildings as a result of the incidence of tie beams, determining the basal cut and the fundamental period. To achieve the

stated objective, the design of the buildings was carried out using the ETABS 2016 structural calculation program. The results obtained show that structures with reinforced concrete tie beams demand more in internal forces and in structural behavior than structures with steel tie beams, since the structural weight and the dimensions of the beams demand a lot on the properties of the beams, however, structures with steel beams have the option of being ductile elements and the weight of the building is low with respect to the structure with reinforced concrete tie beams. The two alternatives are fully executable, it depends on the type of client and the decisions that you want to make with respect to time and money.

Keywords: *Mixed steel-concrete frame buildings, reinforced concrete, structural steel, incidence, tie beams, internal forces*

Introducción

En Venezuela en la última década se han presentado construcciones innovadoras de edificaciones aporticadas de los cuales todos tienen sus pros y sus contras, según la manera en que están contruidos, pudieran enfrentar un riesgo potencial en cuanto a pérdidas humanas y económicas si la estructura está mal diseñada.

El ingeniero civil se ha visto en la necesidad de innovar en alternativas para garantizar que las estructuras sean seguras y capaces de soportar la influencia de las cargas permanentes y variables, las generadas por sismos y vientos para no comprometer las edificaciones, ya que su objetivo principal es reducir el impacto estructural mediante el uso de distintos materiales estructurales y sistemas constructivos innovadores para determinar el beneficio de la elección de un elemento estructural en la edificación. Se estaría adentrando en los materiales más usados para las construcciones, como es, el acero estructural y el concreto armado en conjunto, para dar una respuesta más eficiente, de la cual se analiza, cuanto beneficiará el proyecto estructural y con qué tipo de combinación de elementos será la mejor alternativa.

Tomando en cuenta lo antes mencionado, en el diseño de estructuras aporticadas, los elementos más importantes son las vigas y columnas, ya que estas son las que soportan las cargas solicitadas por la edificación y se encarga de transmitir las y disiparlas en el suelo. Por lo tanto, las vigas de amarre que destacan en las vigas de la edificación, cumplen una función realmente importante para el diseño de la edificación.

Las vigas de amarre son elementos estructurales que ejercen una labor de funcionamiento en la estructura de mantener la ortogonalidad del sistema estructural y que la losa por sí sola no puede transmitir eficientemente las acciones laterales. Por lo tanto, es de gran importancia que el diseño de estas vigas de amarre sea realizado de la manera más óptima y seguro, aumentando la vida útil de la edificación, ya que las vigas de amarre absorben la mayor carga de las acciones laterales.

El objetivo de esta investigación, es hacer el estudio de la incidencia de las vigas de amarre en el comportamiento estructural de edificaciones aporticados mixtos acero- concreto. En los cuales se estaría alternando las vigas de amarre de concreto armado a acero estructural para dar una comparación tanto de las especificaciones de las vigas de amarre del cual beneficiaría más la estructura y determinar una comparación general de la edificación a raíz de la incidencia del tipo de material de las vigas de amarre.

Metodología

La investigación se consideró de tipo descriptiva, ya que, para lograr los objetivos planteados, es necesario indagar en las características estructurales de los elementos que las integran, el cual sirvió para obtener los resultados al momento de analizar el comportamiento de las vigas de amarre.

También, se analiza el comportamiento de las vigas de amarre en cada tipo de estructuras, que van variando con las diferentes solicitaciones conforme a las dimensiones y lineamientos establecidos por las normas respectivas, especificando la geometría en planta, la geometría vertical, las acciones por cargas gravitacionales, las acciones sísmicas y las de viento así como también las características del programa de cálculo para así obtener los efectos resultantes de cada diseño de la estructura y resaltar los resultados de las vigas de amarre que posteriormente serán compilados e interpretados

La investigación se considera de carácter no experimental, ya que no existe manipulación alguna de las variables independientes, estudiar la incidencia de las vigas de amarre en dos diferentes tipos de combinaciones en estructuras mixtas: vigas de amarre metálicas y concreto reforzado, analizándolas ante las acciones gravitacionales, sísmicas y eólicas, y para la obtención de los resultados no fue necesaria la ejecución de nuevos modelos matemáticos distintos a los ya existentes y establecidos en el área.

La investigación se definió como unidad de análisis las vigas de amarre de una estructura mixta acero-concreto, analizamos la incidencia de las vigas de amarre con el propósito de definir y comparar comportamientos de las alternativas específicos en esta investigación.

Teniendo también en cuenta que los procedimientos que se aplicaron se rigieron por criterios normativos ya existentes, por lo cual no hubo manipulación alguna. Además, se enfatiza que el estudio se ha realizado en un solo momento específico investigando las incidencias de los elementos mediante estudios descriptivos, por este motivo también se considera como transaccional descriptiva.

El trabajo de investigación se realizó una observación de tipo documental basada en los argumentos de Hernández *et al.* [1] (2006), la cual especifica la revisión bibliográfica de tesis, libros y normas venezolanas, tales como: COVENIN 1756-1:2001 [2] “Edificaciones Sismorresistentes”, COVENIN 1618-1998 [3] “Estructuras de acero para edificaciones. Método de los estados límites”, COVENIN 1753-2006[4] “Proyecto y construcción de obras de concreto estructural” y COVENIN 2002-1988 [5] “Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones”, COVENIN 2003-1989 [6] “Acciones del viento sobre edificaciones”. Y, adicionalmente, como instrumento principal de recolección de datos se utilizó el programa de cálculo ETABS 2016, el cual permitió ejecutar el análisis y diseño de las edificaciones para obtener los resultados del comportamiento general y el comportamiento de las vigas de amarre en cada una de las alternativas propuestas.

Resultados

Una vez, obtenido los resultados planteados en los objetivos de ejecución de las estructuras mixtas con la variación de las vigas de amarre entre concreto armado y acero estructural en las diferentes elevaciones 8, 10 y 12 niveles, se procede a la elaboración de gráficas y tablas las cuales permiten observar las tendencias de los comportamientos de los diferentes tipos de elementos a estudiar y los comportamientos de las estructuras a raíz de la incidencia de las vigas de amarre de acuerdo a los parámetros establecidos a evaluar.

Dimensiones de los elementos

Se presenta un resumen comparativo de las dimensiones de los distintos elementos que conforman las estructuras, estas dimensiones tanto de acero estructural como de concreto armado pasaron por una fase de pre dimensionamiento, luego estuvo en una fase de diseño en el programa ETABS 2016, el cual se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 1. Resumen de resultados de las dimensiones de los elementos – Edificación de (8) Niveles.

Elementos	Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Acero		Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Concreto Armado	
	Nivel	Dimensiones	Nivel	Dimensiones
Columnas				
Esquinera	PB - P1	35 x 35	TODOS LOS NIVELES	30 x 30
	P2 - P8	30 x 30		
Borde	PB - P1	35 x 35	TODOS LOS NIVELES	30 x 30
	P2 - P8	30 x 30		
Central	TODOS LOS NIVELES	40 x 40	TODOS LOS NIVELES	40 x 40
Vigas				
Carga	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300
Amarre	TODOS LOS NIVELES	IPE - 240	TODOS LOS NIVELES	40 x 30

Losa Nervada en una Dirección (Esp: 0,25m), F'c 250 KG/cm²

Tabla 2. Resumen de resultados de las dimensiones de los elementos – Edificación de (10) Niveles.

Elementos	Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Acero		Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Concreto Armado	
	Nivel	Dimensiones	Nivel	Dimensiones
Columnas				
Esquinera	TODOS LOS NIVELES	30 x 30	TODOS LOS NIVELES	30 x 30
Borde	TODOS LOS NIVELES	30 x 30	TODOS LOS NIVELES	30 x 30
Central	TODOS LOS NIVELES	40 x 40	TODOS LOS NIVELES	40 x 40
Vigas				
Carga	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300
Amarre	TODOS LOS NIVELES	IPE - 240	TODOS LOS NIVELES	40 x 30

Losa Nervada de una Dirección (Esp: 0,25m), F'c 250 KG/cm²

Tabla 3. Resumen de resultados de las dimensiones de los elementos – Edificación de (12) Niveles.

Elementos	Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Acero		Edificio Aporticado Mixto con Vigas de Amarre de Concreto Armado	
	Nivel	Dimensiones	Nivel	Dimensiones
Columnas				
Esquinera	TODOS LOS NIVELES	30 x 30	TODOS LOS NIVELES	30 x 30
Borde	TODOS LOS NIVELES	40 x 40	TODOS LOS NIVELES	40 x 40
Central	TODOS LOS NIVELES	40 x 40	TODOS LOS NIVELES	40 x 40
Vigas				
Carga	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300	TODOS LOS NIVELES	IPE - 300
Amarre	TODOS LOS NIVELES	IPE - 240	TODOS LOS NIVELES	40 x 30

Losa Nervada de una Dirección (Esp: 0,25m), F'c 250 KG/cm²

Momento Flector Actuante

El momento flector es una sollicitación típica en las vigas, ya que todos estos elementos suelen deformarse, el momento flector aparece cuando se somete estos elementos a la acción de torsión o también cargas, que en este caso de estudio son cargas distribuidas. Según el tipo de elemento, el momento flector actúa de una manera diferente con respecto al otro.

Tabla 4. Resumen de resultados Momentos Flectores Actuantes

MOMENTO FLECTOR ACTUANTE			
Tipo de Elemento	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Vigas de Amarre de Acero	3.659,52 Kg.m	4.752,13 Kg.m	4.881,7 Kg.m
Vigas de Amarre de Concreto	7.812,4 Kg.m	9.935,1 Kg.m	10.208,87 Kg.m

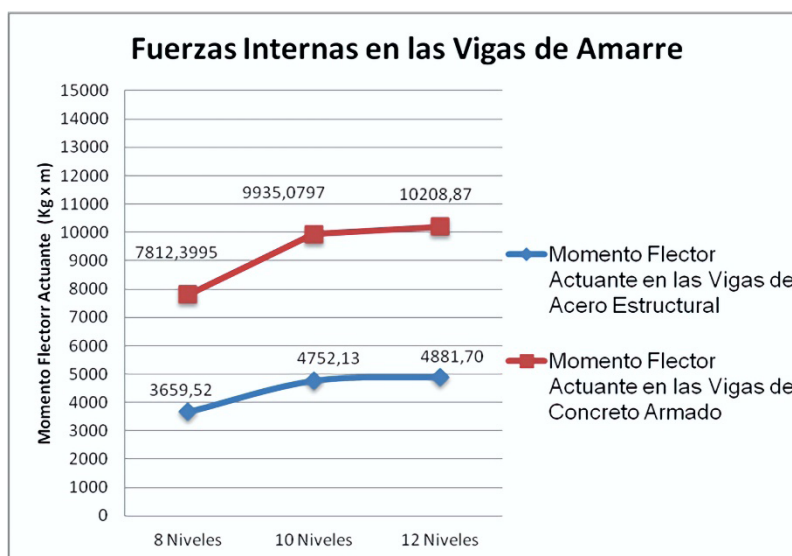


Figura 1. Momento Flector Actuante

Fuerzas Cortantes

Estas fuerzas son unos esfuerzos internos o resultantes de las tensiones paralelas a la sección transversal del elemento, estas fuerzas internas juegan un papel fundamental en las vigas, ya que estás al sobrepasar las fuerzas admisibles, pueden romper el elemento transversalmente ocasionando daños estructurales. Las fuerzas cortantes se incrementan dependiendo de la sección del elemento y las cargas que actúan siempre y cuando, no sobrepase los parámetros estructurales.

Tabla 5. Resumen de resultados Fuerzas Cortantes Actuantes

FUERZA CORTANTE ACTUANTE			
Tipo de Elemento	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Vigas de Amarre de Acero	3.185,78 Kg	3.923,23 Kg	3.985,52 Kg
Vigas de Amarre de Concreto	5.932,4 Kg	7.108,32 Kg	7.104,92 Kg

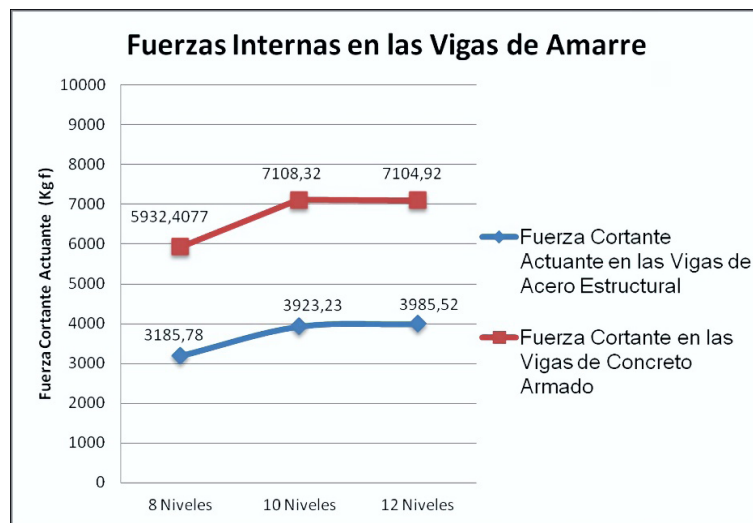


Figura 2. Fuerza Cortante Actuante

Deflexión en la Viga

La deflexión es el grado en el que un elemento estructural se desplaza bajo la aplicación de una fuerza o carga, es una respuesta que sufre el elemento por el efecto de las flexiones internas. Al saber las cargas que se utilizan, se pueden apreciar cuál fue la deformación correspondiente en los diferentes elementos que se plantean. Recordando que todo esto es producto del tipo de elemento y su comportamiento en la edificación.

Tabla 6. Resumen de resultados Deflexión Actuantes

DEFLEXION ACTUANTE DE LA VIGA			
Tipo de Elemento	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Vigas de Amarre de Acero	0,097 cm	0,067 cm	0,067 cm
Vigas de Amarre de Concreto	0,030 cm	0,032 cm	0,037 cm

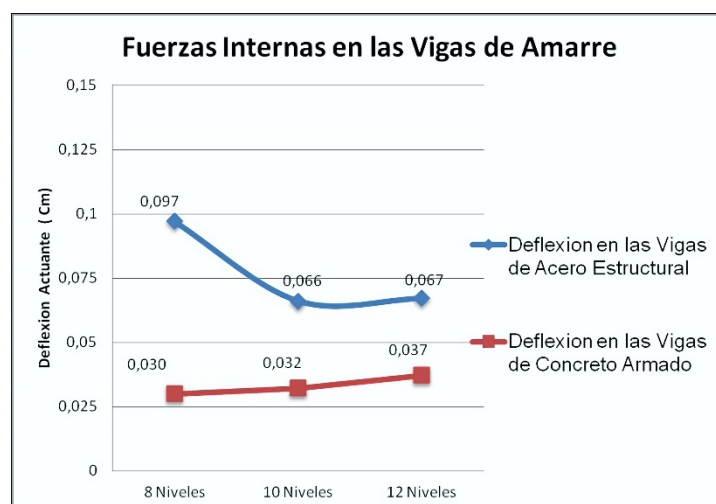


Figura 3. Deflexión Actuante

Peso de la Edificación

El peso de la edificación se refiere a la cantidad en masa de todos los elementos que lo comprenden, todos estos edificios fueron calculados en base de las normas venezolanas para tener los parámetros adecuados y poder hacer un estudio correctamente. Todo va a depender del tipo de material que lo comprende y a raíz de eso, se puede dar conclusiones de cuál sería la mejor alternativa desde el punto de vista del peso de la edificación.

Tabla 7. Resumen de resultados Peso de la Edificación

PESO TOTAL DE LA EDIFICACION			
Tipo de Estructura	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Estructura con Vigas de Amarre de Acero	621.229,47 Kg	757.216,46 Kg	948.443,57 Kg
Estructura con Vigas de Amarre de Concreto	718.437,88 Kg	881.754,61 Kg	1.095.756,14 Kg

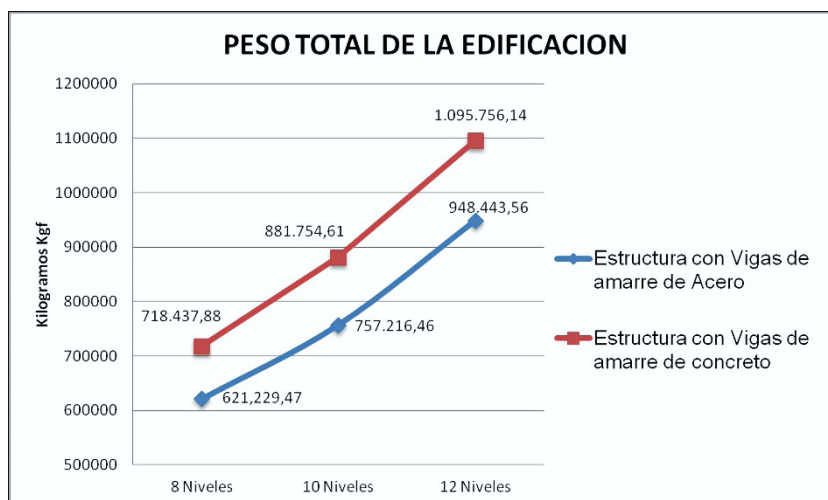


Figura 4. Peso total de la Edificación

Corte basal

Entendiéndose que el corte basal es la fuerza total de diseño por cargas laterales, Aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción sísmica y que este depende de la masa, de la aceleración de diseño, del tipo de material y de la cantidad de niveles. Este parámetro para verificar la edificación es de vital importancia en el chequeo sísmico. Al variar un elemento llámese vigas de amarre, puede cambiar las propiedades de la edificación considerablemente.

Tabla 8. Corte basal en el eje X

CORTE BASAL EN X			
TIPO DE ESTRUCTURA	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Estructura con Vigas de amarre de Acero	30.428,84 Kg	40.321,53Kg	43.774,42 Kg
Estructura con Vigas de amarre de concreto	31.571,69 Kg	42.140,84Kg	45.754,54 Kg

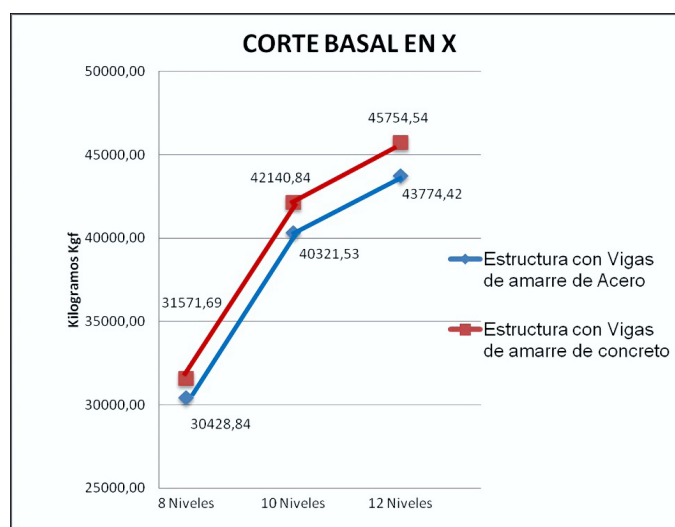


Figura 5. Corte basal en Eje X

Tabla 9. Corte basal en el eje Y

CORTE BASAL EN Y			
TIPO DE ESTRUCTURA	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Estructura con Vigas de amarre de Acero	25.273,99 Kg	33.363,21 Kg	35.418,37 Kg
Estructura con Vigas de amarre de concreto	44.959,15 Kg	58.229,34 Kg	66.613,81 Kg

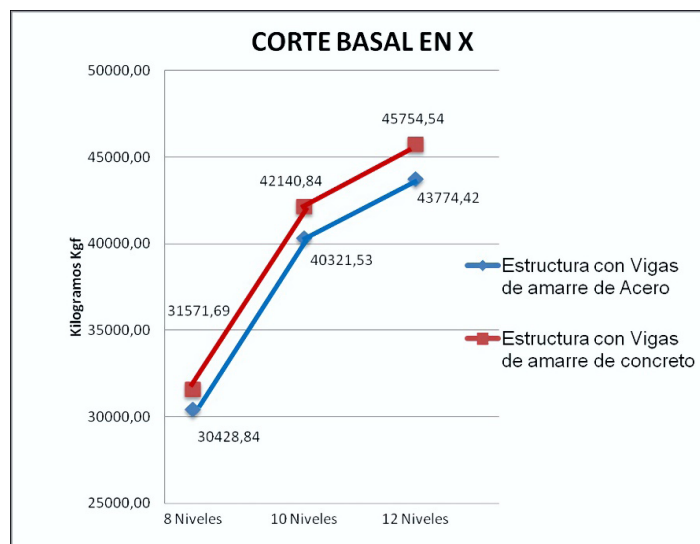


Figura 6. Corte basal en Eje Y

Periodo fundamental

El período de vibración de una estructura es el tiempo requerido para que un sistema complete un ciclo completo de movimiento, volviendo a su posición original durante un evento sísmico. Este depende de varios factores tales como la rigidez de la estructura, desplazamiento y masas. Es por ello que la incidencia de las vigas de amarre está ligada con este parámetro Sísmico. Ya que, al evaluar se puede modificar el período fundamental de la estructura considerablemente y determinar si es posible con cuál tipo de viga de amarre beneficiaría a la estructura.

Tabla 10. Periodo fundamental

PERIODO FUNDAMENTAL			
Tipo de Estructura	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles
Estructura con Vigas de Amarre de Acero	2,637 Seg	3,373 Seg	3,876 Seg
Estructura con Vigas de Amarre de Concreto	2,299 Seg	2,871 Seg	3,237 Seg

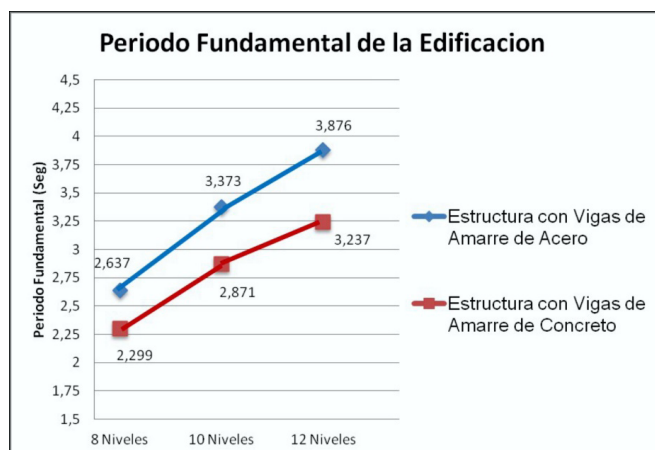


Figura 7. Periodo fundamental

Conclusiones

Una vez finalizado el análisis de los resultados se presentan las siguientes conclusiones, con el fin de dar respuesta a los objetivos planteados en la investigación. Se aclara que las vigas de amarre de la edificación son una pieza fundamental en la parte sísmica, ya que, al variar este elemento, la respuesta de la edificación va a cambiar según la incidencia del tipo de elemento que se encuentre colocado.

Se concluye que en las edificaciones mixtas acero – concreto de 8, 10, 12 Niveles con vigas de amarre de acero, el elemento más óptimo para estas estructuras son las Vigas IPE--240, con un peso propio de viga 122.8 Kg.

El Momento flector actuante mayor es de, 4881.7 Kg.m, la fuerza cortante mayor es de, 3985.52 Kgf, la deflexión mayor es de 0.097 cm. El período de vibración máximo ante eventos sísmicos en estas estructuras a raíz de la incidencia de las vigas de amarre es de 3.876 Seg, el Corte basal máximo es producido en el Eje X, donde se reflejan las vigas de carga de acero de 5m de largo con un corte en la estructura de 43.774,42 Kg y el peso de la Edificación total máxima para estas estructuras es de 948.443,57 Kg

Del segundo objetivo se concluye que en las edificaciones mixtas acero – concreto de 8, 10, 12 Niveles con vigas de amarre de concreto armado, el elemento más óptimo para estas estructuras son las Vigas de 40 x 30, con un peso propio de viga de 1200 Kg.

El Momento flector actuante mayor es de 10.208,87 Kg.m, la fuerza cortante mayor es de 7.108,32 Kgf, la deflexión mayor es de 0.037 cm El periodo de vibración máximo ante eventos sísmicos en estas estructuras a raíz de la incidencia de las vigas de amarre es de 3.237 Seg, el Corte basal máximo es producido en el Eje Y, donde se reflejan las vigas de amarre de concreto armado de 4 m de largo con un corte en la estructura de 66.613.81 Kg y el peso de la Edificación total máxima para estas estructuras es de 1.095.756,14 Kg.

Del tercer objetivo se concluye que, las vigas de amarre, según sus propiedades y las dimensiones definitivas, pueden variar dependiendo del tipo de proyecto que el cliente quiera ejecutar

Con respecto al momento flector actuante, las vigas de concreto armado son 47% más exigentes con respecto a los valores obtenidos a las vigas de acero, debido a que al tener unas dimensiones mayores a las de acero, exigen más. Por ende, se incrementa el momento actuante, las cargas son las mismas tanto en las vigas de concreto como de acero, pero las dos tienen maneras diferentes de recibirlas, y se producen flexiones diferentes.

En el caso de las fuerzas cortantes, las vigas de amarre de concreto son 55% más resistentes a esfuerzos cortantes que las vigas de acero, debido a la sección transversal del mismo. Las vigas de concreto armado van a exigir más debido a sus propiedades de rigidez y a su gran volumen con respecto a las vigas de amarre de acero. Las vigas de amarre de acero tienen unas dimensiones más ideales y por ende menor es la fuerza que actúan en ella.

En cuanto a la deflexión de la viga, se indica que las vigas de acero se deforman en un 40% más que las de concreto. Porque, las de concreto armado tienen las características de ser unos elementos más rígidos y por eso mayor peso propio. Las de acero al tener menor peso propio, las vigas tienden a deformarse un poco más; además, las vigas de acero tienden a ser elementos dúctiles, que tienen la capacidad de poder deformarse bajo el efecto de la carga sin romperse, pero siempre está limitado por una deflexión máxima por factor de seguridad.

Con respecto al peso de la edificación, la edificación con las vigas de amarre de concreto armado es 14% más pesada con respecto a la estructura con vigas de amarre de acero.

En relación con los resultados obtenidos del corte basal en las direcciones X y Y, los datos correspondientes a la estructura que emplea vigas de amarre de acero disminuyó notablemente con respecto a la estructura con vigas de amarre de concreto, debido a que el cortante basal es directamente proporcional al peso sísmico de

la edificación. En el cual las vigas de concreto es un elemento mayor, donde contiene mayores inercias. Por consiguiente, el comportamiento estructural con vigas de amarre de concreto es mejor.

En cuanto al periodo fundamental, las edificaciones con las vigas de amarre de acero suelen ser más flexibles que las construidas con vigas de amarre de concreto, por lo cual tienden a tener mayores periodos de vibración. En este caso, la estructura con vigas de amarre de concreto indica que es una estructura rígida, por lo que el espectro elástico de respuesta es muy parecido a la vibración, por ende, no se independiza del suelo y es más seguro estructuralmente.

Referencias bibliográficas

- [1] Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. Metodología de la investigación. 4ª ed. México: McGraw-Hill, (2006).
- [2] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1756-1-2001: Edificaciones Sismorresistentes. Parte 1. Articulado (1ª.Revisión). Comité técnico de normalización CT-03: Construcción. Subcomité Técnico SC10 Estructura. En su reunión Nª 7-01 de fecha 25-07-2001. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2001).
- [3] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1618-1998: Estructuras de acero para edificaciones. Método de los Estados límites (1ª.Revisión). En su reunión Nª 11-98 de fecha 09-12-1998. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1998).
- [4] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 1753-2006: Proyecto y construcción de obras en concreto estructural. (1ª.Revisión). Comité técnico de normalización CT-03: Obras Civiles. Subcomité Técnico SC1. Edificaciones. En su reunión Nª 2006-04 de fecha 30-08-2006. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (2006).
- [5] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 2002-88: Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones. En su reunión N° 5 de fecha 05-10-1988. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1988).
- [6] Comisión Venezolana de Normas Industriales. COVENIN 2003-1989: Acciones del viento sobre las construcciones. Sector Construcción. En su reunión N° 5-89 de fecha 04-10-1989. Caracas, Venezuela. Fondonorma, (1989).