



**FACULTAD DE POSTGRADO
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

**MODELACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS
DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN ESTRUCTURAS DE
CONCRETO REFORZADO REGULARES A MEDIDA SE
AUMENTA LA DIMENSION “H” DE SUS COLUMNAS CON
SECCION TRANSVERSAL BxH.**

SUSTENTADO POR:

LESTER JOSUE MARCIAS GARCIA

PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE

**MÁSTER EN
INGENIERIA EN ESTRUCTURAS**

TEGUCIGALPA, FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS, C.A.

JULIO, 2019

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

UNITEC

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

MARLON ANTONIO BREVÉ REYES

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO

CLAUDIA MARIA CASTRO VALLE

**MODELACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS
DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN ESTRUCTURAS
DE CONCRETO REFORZADO REGULARES A MEDIDA
SE AUMENTA LA DIMENSION “H” DE SUS COLUMNAS
CON SECCION TRANSVERSAL BxH.**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN
INGENIERIA EN ESTRUCTURAS**

ASESOR

MARCO ANTONIO LOPEZ CARRASCO

MIEMBROS DE LA TERNA:

**JULIO LOPEZ ZERÓN
MINA CECILIA GARCIA**



FACULTAD DE

POSTGRADO

MODELACION DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO REGULARES A MEDIDA SE AUMENTA LA DIMENSION “H” DE SUS COLUMNAS CON SECCION TRANSVERSAL BxH

Autor:

Lester Josué Marcias García

Resumen

En la presente tesis se pretende determinar la modelación del comportamiento de los desplazamientos laterales en estructuras de concreto reforzado regulares, aumentando la dimensión “H” de sus columnas con sección transversal BxH. Se comenzará realizando los cálculos para determinar que la estructura sea regular en base al código hondureño de la construcción. Se utilizará el código UBC aplicando el método estático para el cálculo de las fuerzas laterales actuantes y se irá aumentando una unidad (1.0 cm), partiendo de columnas de secciones transversales de 30x30 cm hasta llegar a secciones transversales de 30x60, luego el mismo procedimiento con columnas de sección transversal de 40x40 cm. En cada aumento de las dimensiones de la sección transversal, se calcularán los desplazamientos laterales con el propósito de observar en qué proporción estos se reducen. Finalmente, con los resultados obtenidos de cada iteración, se creará una gráfica que nos muestre el porcentaje que se puede reducir los desplazamientos laterales con secciones transversales de columnas BxH donde B es igual a H ($B=H$), a medida se va aumentando la dimensión H de las columnas hasta llegar a tener secciones transversales de BxH donde H es igual a 2B ($H=2B$).

Palabras claves: desplazamientos laterales, estructuras de concreto reforzado regulares.

GRADUATE SCHOOL

MODELING THE BEHAVIOR OF SIDE DISPLACEMENTS IN REGULAR STRUCTURES OF REINFORCED CONCRETE, INCREASING THE "H" DIMENSION OF THEIR COLUMNS WITH TRANSVERSAL SECTION BxH

Author:

Lester Josué Marcias García

Abstract

In this thesis we try to determine the behavior of the lateral displacements in regular structures of reinforced concrete, increasing the "H" dimension of its columns with the cross section BxH. The UBC code is used with the application of the static method for the calculation of lateral forces. It will begin by performing the calculations to determine that the structure is regular based on the Honduran code of construction. The code UBC will be used applying the static method for the calculation of the acting lateral forces and one unit will be increased (1.0 cm), starting from columns of cross sections of 30x30 cm until you reach cross sections of 30x60, then the same procedure with columns with a cross section of 40x40 cm. In each increase of the dimensions of the cross section, the lateral displacements will be calculated in order to observe in what proportion these are reduced. Finally, with the results obtained from each iteration, a graph will be created that shows the percentage that can be reduced lateral displacements with cross sections of columns BxH where B is equal to H ($B = H$), as the H-dimension of the columns increases, until they have cross sections of BxH where H is equal to 2B ($H = 2B$).

Palabras claves: lateral displacements, regular structures of reinforced concrete

DEDICATORIA

Dedico este trabajo está dedicado a mi madre Marylis García y mi padre Lester Marcias por haber sido mi apoyo y motivación a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. Por brindarme las fuerzas y sabias palabras de ánimo en cada momento necesario. Por confiar en mí y darme tanto amor incondicional.

A mi hermana Ester Marcias que con su corazón tan grande me ha dado motivación para superarme cada día y poder brindarle mi apoyo cuando lo necesite. De igual manera a mi hermana Maryeli Marcias por ser una motivación para crecer profesionalmente cada día.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito cada meta establecida.

A mis padres y hermanas por ser parte fundamental de la razón de mi ser. Por haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se pudieran presentar, siempre contaré con su apoyo.

A mis amigos que me han motivado cuando muchas veces parecía no poder llegar a la meta, por ayudarme a contrarrestar el estrés que en ocasiones dificultaba mi concentración en mis objetivos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes del Problema.....	1
1.3 Definición del Problema.	4
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Análisis de la Situación Actual.....	8
2.2 Teorías de Sustento	8
2.2.1 Análisis de las metodologías.....	8
2.2.1.1 Método estático.	8
2.2.1.2 Calculo de Rigidez de columnas.	10
2.2.2 Antecedentes de las metodologías.....	12
2.2.2.1 Método estático.	12
2.2.2.2 Rigidez de una columna.....	13
2.2.3 Análisis crítico de las metodologías.....	14
2.3 Conceptualización	14
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	16
Hipótesis.....	17
Definición operacional de variables.	17
Tipo de investigación.....	17
3.1.1 Diseño de una estructura de concreto reforzado regular.....	17
3.1.1.1 irregularidades estructurales verticales.	19
3.1.1.2 Irregularidades estructurales en planta.....	19
3.1.2 Cálculo de las fuerzas por el método estático.....	20
3.1.3 Modificación de la sección transversal de las columnas y cálculo de los desplazamientos laterales.....	25
3.1.4 Crear una gráfica que modele el comportamiento de los desplazamientos laterales de	

acuerdo a los datos obtenidos.....	26
3.2.1 Irregularidades estructurales	27
3.2.1.1 Irregularidades estructurales verticales.....	27
3.2.1.2 Irregularidades estructurales en planta.....	29
3.2.2 Cálculo de las fuerzas por el método estático.....	30
3.2.3 Modificación de la sección transversal de las columnas y cálculo de los desplazamientos laterales.....	34
3.2.4 Crear una gráfica que modele el comportamiento de los desplazamientos laterales de acuerdo a los datos obtenidos.....	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANALISIS.	41
4.1 Resultados.	41
4.2 Análisis.....	43
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
5.1 Conclusiones.....	44
5.2 Respuesta a la hipótesis.....	44
5.3 Recomendaciones.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
Bibliografía	46
ANEXOS.....	47
Anexo 1. Fuerzas laterales por piso.....	47
Anexo 2. Fuerzas laterales por piso.....	49
Anexo 3. Plano de dimensiones en planta y fachada de la estructura utilizada como ejemplo.	50
Anexo 4. Correo de aprobación de tesis.....	50

INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Diagrama Sagital.	16
Figura 2. Mapa de zona sísmica.	21
Figura 3. Aumento de la dimensión H de las columnas con sección transversal BxH.	25
Figura 4. Dirección "X" y "Y" de la estructura.	35
Figura 5. Grafica % de reducción de desplazamientos Vs modificación de sección transversal de columnas iniciales de 30x30 cm. Dirección "X" y "Y".	40
Figura 6. Grafica % de reducción de desplazamientos Vs modificación de sección transversal de columnas iniciales de 40x40 cm. Dirección "X" y "Y".	40
Figura 7. Grafica % de reducción de desplazamientos Vs incremento de sección transversal de columnas. Dirección "X" y "Y".	42
Figura 8. Captura de pantall de correo de aprobación de tesis de asesor técnico/metodológico.	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Irregularidades estructurales verticales.	19
Tabla 2. Irregularidades estructurales en planta.	20
Tabla 3. Categorías de Ocupación y factores de importancia.	22
Tabla 4. Categorías de Ocupación y factores de importancia.	23
Tabla 5. Coeficiente R_w para sistemas estructurales.	24
Tabla 6. Calculo de Irregularidad de Rigidez, piso suave.	27
Tabla 7. Calculo de Irregularidad de Masas.	28
Tabla 8. Calculo de Irregularidad geométrica vertical.	29
Tabla 9. Calculo de peso sísmico de cada piso.	33
Tabla 10. Cuadro resumen de peso sísmico de cada piso.	33
Tabla 11. Distribución de carga sísmica por piso.	34
Tabla 12. Fuerzas laterales por piso.	34
Tabla 13. Calculo de rigidez por piso.	36
Tabla 14. Calculo de desplazamientos laterales por piso.	37
DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN EL PISO 10 EN LA DIRECCIÓN "X" Y "Y" DE LA ESTRUCTURA CON COLUMNAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL BXH DE 30X30 CM, INCREMENTANDO SU DIMENSIÓN H=30 CM HASTA H=60 CM.	37
Tabla 15. Desplazamientos laterales en el piso 10 en la dirección "X" y "Y" de la estructura con columnas de sección transversal BxH de 30x30 cm, incrementando su dimensión H=30 cm hasta H=60 cm.	38
Tabla 16. Desplazamientos laterales en el piso 10 en la dirección "X" y "Y" de la estructura con columnas de sección transversal BxH de 40x40 cm, incrementando su dimensión H=40 cm hasta H=80 cm.	39
Tabla 17. Fuerzas laterales por piso. Columnas 30x60 cm.	47
Tabla 18. Fuerzas laterales por piso. Columnas 40x40 cm.	48
Tabla 19. Fuerzas laterales por piso. Columnas 40x80 cm.	48
Tabla 20. Desplazamientos laterales. Columnas 30x60 cm.	49
Tabla 21. Desplazamientos laterales. Columnas 40x40 cm.	49
Tabla 22. Desplazamientos laterales. Columnas 40x80 cm.	50

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

En la presente tesis se realizará la modelación del comportamiento de los desplazamientos laterales en estructuras regulares de concreto reforzado, aumentando la dimensión “H” de sus columnas con sección transversal BxH. Se conoce que los desplazamientos laterales de las estructuras se logran reducir si se aumenta la inercia de las columnas en la dirección más afectada por las fuerzas laterales que actúan en la estructura. Sin embargo, con el estudio y análisis que se realizará en esta tesis, se pretende conocer con exactitud, que tanto se disminuyen los desplazamientos laterales que se generaron en la estructura que inicialmente se diseñó con columnas de 40x40 cm y que finalmente se cambió su diseño a columnas de 40x80 cm. Los resultados finales podrán ser expresados mediante una gráfica que refleje el comportamiento de los desplazamientos laterales a medida se obtengan los datos de las diferentes iteraciones cuando se modifique la sección transversal de las columnas. De esta manera, cuando nuestros desplazamientos laterales obtenidos de nuestra estructura regular de concreto reforzado, excedan los valores permisibles, sabremos si podemos aumentar la sección transversal de las columnas para lograr obtener los valores de desplazamientos laterales permisibles, o si en su defecto, este aumento de la sección transversal de sus columnas, no nos alcanzará para obtener los valores deseados.

1.2 Antecedentes del Problema

A lo largo de la historia se ha presentado el problema de los desplazamientos laterales en estructuras de gran altura, generados por las fuerzas laterales que actúan sobre la misma. Se han desarrollado decenas de métodos de cálculo de las fuerzas laterales actuantes en las estructuras, basados ya sea en métodos estáticos o dinámicos, con el

propósito de verificar si los desplazamientos laterales obtenidos se encuentran dentro de los valores permisibles. Unos métodos son más conservadores que otros, pero todos con el mismo propósito; estimar una aproximación de las cargas laterales que actuarán en la estructura en análisis. Cada método utiliza diferentes factores y formas de análisis, sin embargo, todos los resultados tienden a generar un patrón de distribución de las fuerzas laterales actuantes en cada nivel de la estructura. Con los resultados obtenidos del cálculo de las fuerzas laterales, se procede a realizar el diseño estructural del edificio, con lo cual se podría afirmar que debido a que los resultados de diferentes métodos de cálculos de las fuerzas laterales, obtendríamos diferentes diseños estructurales, diferentes dimensiones de nuestros elementos estructurales, etc.

Según literatura americana (Anderson, 2012) describe en su texto titulado Basic Structural Dynamics que el Análisis Sísmico Estático ha estado presente en los códigos de diseño desde finales de la década de los 40, sin embargo, éste ha ido cambiando desde su concepción hasta lo que hoy en día tenemos. A continuación se presenta un resumen traducido de la historia del método sísmico estático:

San Bartolomé, Quiun, & Silva, (San Bartolomé, Quiun, & Silva Berríos, 2011) manifiestan que un diafragma es un elemento tridimensional que recibe la sollicitación en un “plano” uniaxial que es uno de los de mayor rigidez. Un Diafragma rígido es el que se considera que solo se desplaza en dos direcciones que son las de sus dimensiones grandes en el caso de diafragmas horizontales y tiene una rotación sobre la otra dirección. El diafragma rígido y la losa o placa al desplazarse igual puede transmitir el desplazamiento a otros elementos como muros los cuales lo harán todos a la vez y de igual forma. También afirman que la ausencia de un diafragma rígido y vigas soleras,

sobre todo en los niveles altos de un edificio, puede originar fallas en los muros ante cargas sísmicas perpendiculares al plano, por carecer de arriostres.

Diferentes eventos sísmicos y actividades relacionadas a investigaciones de estos, diseños sismo resistentes y prevenciones sísmicas, han contribuido en la ingeniería sísmica y en el desarrollo del método estático equivalente, como los que se presentan a continuación.

Según Roberto Aguiar en su Artículo ANÁLISIS SÍSMICO POR DESEMPEÑO (Aguilar, 2015), el diseño de una estructura de concreto reforzado, no finaliza al obtener las secciones transversales y la armadura horizontal y vertical de los elementos estructurales, al contrario ahí se inicia la verificación del desempeño en términos estructurales y económicos que va a tener esa estructura ante diferentes sismos. Es muy probable que al verificar el desempeño se encuentren deficiencias en la estructura y se está a tiempo de corregirlas y optimizar el funcionamiento de la edificación.

El 28 de diciembre de 1908, un gran terremoto de magnitud de 7.5 escala de Richter devastó la ciudad de Messina (Italia) con pérdidas de miles de personas, por lo que condujo a que se desarrollara una comisión especial por parte del Gobierno para investigar los sismos y proporcionar recomendaciones. A partir de esto, el método estático equivalente fue utilizado en países con niveles altos de sismicidad alrededor del mundo, para posteriormente ser adoptados por códigos de construcción. Por ejemplo, a finales de los años 20', el método fue aplicado por el profesor Romeo Raoul Martel en el diseño de un edificio de doce niveles de marcos de acero en Los Ángeles, California.

Según el EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE (Newmark & Hail, 1982) El método estático equivalente es apropiado utilizarlo en todas las estructuras

que los sistemas estructurales resistentes a sismo son iguales en todos los pisos, las masas de cada piso y las rigideces de cada piso, no difieren en cada nivel adyacente más de un 30 %.

La debilidad de la construcción en Estados Unidos fue revelada por el terremoto de Santa Bárbara de 1925, causando mucha motivación hacia la creación de una mejor ley de construcción en varias comunidades de ingenieros, arquitectos, escritores, propietarios, 16 Banqueros y otros. Como consecuencia en 1927, con la cooperación de muchos ingenieros arquitectos, la Conferencia Oficial de Construcciones de la Costa del Pacífico adoptó el Código de Construcción Uniforme (UBC). (Officials, 1997).

Actualmente en Honduras, el Código Hondureño de Construcción, emplea el método estático para calcular las fuerzas laterales que actúan en una estructura y obtener con ello los desplazamientos laterales en cada nivel de la misma. Emplea los parámetros y coeficientes establecidos en el UBC 97 pero adaptados a nuestra zona y condiciones de uso más comunes y los diferentes tipos de suelo que se pueden encontrar en nuestro territorio.

1.3 Definición del Problema.

Si bien es cierto se podría deducir que los desplazamientos laterales de una estructura pueden disminuir si se les da una mayor sección transversal a las columnas, aumentando así sus inercias en la dirección más considerable en que están actuando las fuerzas laterales, no se ha brindado una herramienta técnica que nos determine con exactitud la medida en que estos desplazamiento pueden disminuir aumentado la sección transversal de las columnas, es decir, ¿Qué porcentaje de los desplazamientos obtenidos en una estructura con columnas de sección transversal cuadradas, puedo disminuir si cambio a secciones transversales rectangulares?.

Si los desplazamientos laterales obtenidos en una estructura, exceden los valores permisibles, se debe aplicar una metodología para reducirlos, ya sea a través de arriostres, muros cortantes, o modificando la sección transversal de los elementos estructurales sismo resistentes de manera que puedan brindar una mayor oposición a las fuerzas laterales, en este caso, modificando sus inercias en la dirección más desfavorable. Sin embargo, para cada una de las 3 opciones, es necesario modelar los cambios y observar los cambios que se generen y verificar si se logra reducir los desplazamientos al rango permisible.

En la actualidad existen diversos métodos para contrarrestar las fuerzas laterales, por ejemplo en la revista de Ingeniería Sísmica de México (Sísmica, 1997) nos habla sobre el diseño de aisladores sísmicos, los cuales resultan de un elevado costo. Otro método podría ser utilizar arriostres, Lo que se pretende en esta tesis, es modelar el último caso, modificar las dimensiones de la sección transversal de sus columnas y conocer los resultados que se obtendrán, para poder decidir y ahorrar tiempo sabiendo si dicha opción nos reducirá los desplazamientos a los valores requeridos.

1.3 Objetivos del Proyecto.

Objetivo general.

El objetivo general de la presente tesis, es generar un grafica que indique la modelación de la disminución de los desplazamientos laterales de una estructura regular de concreto reforzado con columnas de sección transversal cuadradas $B \times H$ donde B es igual a H ($B=H$), a medida se va aumentando la dimensión H de las columnas hasta llegar a tener secciones transversales de $B \times H$ donde H es igual a $2B$ ($H=2B$).

Objetivos específicos.

1. Realizar varias iteraciones aumentando la dimensión H de la sección transversal BxH de las columnas de una estructura para observar y comprender la relación existente entre la sección trasversal de las columnas de una estructura de concreto reforzado regular y los desplazamientos laterales en los ejes “X” y “Y” de la estructura.
2. Crear una gráfica que represente la modelación del comportamiento de los desplazamientos laterales en ambas direcciones (“X” y “Y”), relacionando la modificación de la dimensión H de la sección transversal de las columnas hasta llegar a tener secciones transversales de BxH donde H es igual a 2B ($H=2B$).

1.4 Preguntas de investigación.

1. ¿Cuál es el comportamiento de los desplazamientos laterales de una estructura de concreto reforzado regular si se modifica la sección transversal de sus columnas BxH donde $H=B$ incrementadas hasta secciones transversales $B=H$ donde $H=2B$?
2. ¿Es posible modelar mediante una gráfica, el comportamiento de los desplazamientos laterales de una estructura de concreto reforzado regular al modificar la sección transversal de sus columnas BxH donde $H=B$ incrementadas hasta secciones transversales $B=H$ donde $H=2B$?

1.5 Justificación.

La idea de realizar esta tesis, surge debido a que a lo largo de nuestra carrera de pregrado e incluso postgrado, se nos ha mencionado que las columnas de una estructura de concreto, deben colocarse de manera que el lado largo de su sección transversal, vaya en la

misma dirección donde las fuerzas laterales sean más considerables, esto para brindar a las columnas una mayor inercia en esa dirección para contrarrestar estas fuerzas laterales. Sin embargo, no se conoce con exactitud, que tanto vendrá a ayudar a la estructura esta disposición en las columnas, o al menos, no se ha establecido de manera oficial, el porcentaje que se logra reducir de los desplazamientos laterales de una estructura con columnas cuadradas y que posteriormente se modifica su diseño a columnas rectangulares para poder lograr alcanzar los desplazamientos permisibles de la estructura.

Lo que pretende esta tesis, es determinar una comparación entre los desplazamientos laterales de una estructura de concreto reforzada regular con columnas de sección transversal cuadrada y una estructura con columnas de sección transversales rectangulares.

De esta manera, cuando los desplazamientos laterales obtenidos de la estructura regular de concreto reforzado con columnas de sección transversal cuadrada, excedan los valores permisibles, se sabrá si puede aumentar la sección transversal de las columnas para lograr obtener los valores de desplazamientos laterales permisibles, o si en su defecto, este aumento de la sección transversal de sus columnas, no alcanza para obtener los valores deseados y así optar por otras disposiciones para reducir aún más los desplazamientos laterales como muros cortantes, arriostres, etc..

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Análisis de la Situación Actual

Actualmente en Honduras, los diseños estructurales son realizados mediante el Código Hondureño de la Construcción. El cual, a su vez, ha tomado como referencia el código ACI 318, con éste se calculan las cargas vivas, cargas muertas, pre dimensionamientos de algunos elementos estructurales, etc. También con el Código Hondureño de la Construcción se puede encontrar las cargas laterales actuantes en una estructura utilizando los parámetros de código UBC 1985 (Officials, 1997) pero aplicados a nuestra zona y condiciones tal como se describe en (CICH, 2008) a través del método estático. El código también establece los valores permisibles para los desplazamientos laterales.

2.2 Teorías de Sustento

2.2.1 Análisis de las metodologías

2.2.1.1 Método estático.

Se utilizará el método estático para el cálculo de las fuerzas laterales de la estructura, tal como se especifica en la sección 1.3.4.1. del Código Hondureño de la Construcción. Parte de la ecuación general para el cálculo de la fuerza lateral como se muestra en la siguiente ecuación:

$$V = \frac{ZIC}{R_w} W$$

Ecuación 1.3.5-1 del (CICH, 2008)

Esta fuerza V deberá distribuirse en cada nivel de la estructura tal como se especifica en la sección 1.3.5.5 del (CICH, 2008).

V fuerza total lateral de diseño

Z factor de zona sísmica

I factor de importancia

$$C = \frac{1.25 S}{T^{2/3}}$$

Ecuación 1.3.5-2 del (CICH, 2008)

W carga vertical total sísmica

Rw coeficiente definido por el sistema estructural utilizado.

Cada uno de estos valores se irá especificando en el capítulo III de esta tesis, donde se irá desarrollando los cálculos y operaciones necesarias para obtener cada valor. Algunos valores serán obtenidos de tablas especificadas en el Código Hondureño de la Construcción y se ilustrará como se elige cada valor.

En algunas literaturas se pueden encontrar más especificaciones orientadas más que todo al diseño de los elementos sísmos resistentes, tal es el caso del Manual de Cálculo de Hormigón Armado (Larraín vial, Yanez Uribe, & Verdugo, 2006) en el cual basados en el código ACI 3-18 (ACI, 2005) se toman algunas especificaciones en el armado de los elementos. Sin embargo para lograr los objetivos de la presente tesis, se analizará desde el punto de vista de las fuerzas actuantes y las propiedades de la estructura.

Así mismo se puede confirmar en el capítulo IX del libro BUILDING STRUCTURES de James Ambrose (Ambrose, 2012), que las fuerzas laterales o fuerzas sísmicas, son generadas por el peso sísmico de la estructura. Bajo este concepto se seguirá el análisis del método estático aplicado en la presente tesis.

El objetivo final de la ecuación anterior, será poder distribuir la fuerza lateral obtenida en cada nivel de acuerdo a la proporción correspondiente a cada nivel, tal como se

muestra en la siguiente ecuación y que se enfatizará su cálculo en el capítulo III:

$$F_x = \frac{(V - F_T)W_x h_x}{\sum_{|x|}^n W_T h_t}$$

Ecuación 1.3.5-8 del (CICH, 2008)

El libro de Dinámica Estructural Teoría Y Calculo, de Mario Paz (Paz, 1991), toma los valores de la ecuación anterior directamente del código UBC (Officials, 1997), lógicamente estos están adecuados para una diferente zona, por lo que los valores utilizados en el libro variaran considerablemente con los valores que se obtendrán con el Código Hondureño de la Construcción.

La revista del Instituto de Ingeniería de la UNAM (Barrandas Hernández & Ayala Milián, 2014) menciona:

La filosofía de diseño sísmico adoptada en la mayoría de los reglamentos internacionales establece que un edificio y sus componentes no estructurales deben de satisfacer los siguientes criterios de desempeño: (1) presentar un bajo nivel de daño para preservar su funcionalidad ante sismos de baja intensidad de frecuente ocurrencia, y (2), no colapsar ante los sismos de mayor intensidad que puedan ocurrir para proteger la vida de los ocupantes.

2.2.1.2 Calculo de Rigidez de columnas.

Actualmente existen diferentes métodos para calcular la rigidez de una columna, unos métodos más precisos que otros, incluso se pueden obtener directamente de los softwares más utilizados para el diseño estructural. Sin embargo, en el libro Dinámica Estructural Teoría Y Calculo, de Mario Paz (Paz, 1991) para el ejercicio práctico realizado en el capítulo 23, utiliza la ecuación general de:

$$K = \frac{12EI}{L^3}$$

Ecuación pág. 528 del (Paz, 1991)

Dónde:

E es el módulo del concreto.

I es la inercia de la sección transversal de la columna

L es la longitud o altura de la columna.

La sumatoria de las rigideces de todas las columnas de un nivel, será la rigidez del piso.

Esta fórmula será utilizada en el presente estudio ya que es muy práctica y se pretende no utilizar un software para realizar cálculos. Esta ecuación no varía considerablemente con otros métodos de cálculo.

El libro Concrete Technology de A.M. Neville y J.J. Brooks, (Neville & Brooks, 1987) enseña que el módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo al que está sometido el material y su deformación unitaria. Representa la rigidez del material ante una carga impuesta sobre el mismo.

Otra definición que se utilizará en la presente tesis para el cálculo de la rigidez de nuestras columnas, es la inercia. (Beer & Johnston, 2010) en su libro MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS al igual que el libro de MECANICA DE MATERIALES de James M. Gere (Gere, 2001), definen la inercia como la resistencia a los cambios en la rotación de un objeto, con lo cual para la sección de las columnas que serán de sección transversal cuadradas, podrá calcularse con la siguiente ecuación:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Ecuación pág. 528 del (Paz, 1991)

Según Luis Enrique García Reyes en su libro *DINAMICA ESTRUCTURAL APLICADA AL DISEÑO SISMICO* (Garcia Reyer, 1998), la rigidez de manera general, orienta su definición a que todo cuerpo elástico que sea sometido a fuerzas externas, ya sean estáticas o dinámicas, sufre una deformación, la rigidez se define como la relación entre estas fuerzas externas y las deformaciones que ellas inducen en el cuerpo

2.2.2 Antecedentes de las metodologías.

2.2.2.1 Método estático.

El método estático es una de las metodologías utilizadas más antiguas, debido a su bajo grado de complejidad, pues se puede realizar todos los cálculos requeridos mediante el uso de calculadoras simples, herramientas digitales básicas como Excel, o incluso con un simple lápiz y papel.

Muchos softwares de diseño estructural, presentan la opción de realizar el análisis estructural con el método estático aplicando el código UBC, sin embargo, si se pretende obtener valores más exactos, generalmente se utiliza uno de los métodos dinámicos.

(Bedford & Fowler, 2008) en su libro *Mecánica para ingeniería* introduce: La mecánica es el estudio de las fuerzas y sus efectos. La mecánica elemental se divide en estática, que es el estudio de los objetos en equilibrio, y dinámica, que es el estudio de los objetos en movimiento. Los resultados obtenidos en la mecánica elemental se aplican directamente a muchos campos de la ingeniería. Los ingenieros civiles y mecánicos que diseñan estructuras usan ecuaciones de equilibrio obtenidas por medio de la estática. Tanto los ingenieros civiles que analizan las respuestas de edificios frente a terremotos, como los

ingenieros aeroespaciales que determinan las trayectorias de satélites, usan las ecuaciones de movimiento obtenidas de la dinámica.

2.2.2.2 Rigidez de una columna.

José I. Restrepo, Mario E. Rodríguez y Miguel Torres Matos, (Rodríguez, Restrepo, & Torres, 2015) hace la introducción de su libro mencionando:

En los últimos años se ha podido reunir una base de datos importante de ensayos experimentales de columnas de concreto reforzado sometidas a cargas laterales cíclicas reversibles, este es el caso de la base de datos de columnas de PEER (Berry et al., 2004). Esta base de datos permite conocer, entre otras características, las rigideces laterales experimentales de columnas. Una comparativa de sus resultados con los obtenidos con diversos criterios existentes, que se comentan en este estudio, muestra que estos criterios deben ser mejorados de manera sustancial. Además, como se comenta en el siguiente capítulo, las propuestas en la literatura de definición de rigidez lateral de columnas son limitadas, y se requiere una mejor definición.

El código ACI-318 05 en el capítulo 8 (ACI, 2005) considera conveniente utilizar siempre un estimado realista de $E_c I$, es decir un valor que se considere bastante real en cuanto al tipo de concreto con el que se está diseñando y de igual manera con la inercia actuante.

Antonio Blanco Blanco en su libro ESTRUCTURACIÓN Y DISEÑO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO (Blanco Blanco) menciona que una de las principales fallas de las estructuras de concreto reforzado ante un sismo, se debe al mal diseño o planteamiento del diseño estructural, donde generalmente se han colapsado columnas menos peraltadas que las vigas, es decir, que se ha encontrado una mayor rigidez

en las vigas que en las columnas. Esta es una de las razones por las cuales se debe tener especial cuidado al momento de diseñar las columnas que soportaran la carga vertical de la estructura.

2.2.3 Análisis crítico de las metodologías

El principal alcance de las metodologías a emplear, es que tanto ingenieros, como estudiantes, podrán utilizar las grafica que se obtendrá a través de ambas metodologías, pues imperativo que ambas metodologías puedan desarrollarse de la manera menos compleja para una mejor comprensión de la misma.

Una de sus limitaciones, es que tanto el método estático, es que no se puede aplicar a cualquier estructura. El método estático aplicado en el Código Hondureño de la Construcción, tiene ciertas limitantes como la altura, tipo de sistema estructural utilizado, etc. Todas estas limitantes se irán analizando en el capítulo III. Debido a estas limitantes, la tesis está enfocada a ciertos tipos de estructuras, ya que se limita a estructuras regular y aplicando el método estático para el cálculo de las fuerzas laterales. Sin embargo se logrará agregar una pequeña herramienta al mundo tan inmenso de la ingeniería civil.

2.3 Conceptualización

La presente tesis está orientada principalmente a la disminución de los desplazamientos laterales de una estructura, en la cual se han obtenidos las fuerzas laterales mediante el método estático basado en el código UBC. Desplazamientos que podrán reducir mediante la simple iteración entre las posibles modificaciones de la sección transversal de sus columnas.

Si mediante la modificación de la sección transversal de sus columnas, no se logra disminuir los desplazamientos laterales de la estructura a los valores permisibles, quedará a

disposición del diseñador, aplicar otra metodología para disminuir los desplazamientos, ya sea a través de arriostres, muros cortantes u otra opción. Pero con la ayuda de la gráfica los valores de a los que se podrán reducir los desplazamientos, estarán a la simple vista.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Se utilizará esta estructura tomado como referencia del ejemplo 23.1 del libro de Mario Paz (Paz, 1991) y se agregarán las dimensiones de las vigas de 20x35 cm y espesor de losa de 13.00 cm para una mejor estimación del cálculo del peso sísmico. Los factores utilizados para calcular las fuerzas laterales, fueron elegidos a criterio personal, únicamente para el desarrollo demostrativo de la tesis, pero siempre tratando de orientarlo a un caso común en la ciudad de Tegucigalpa.

Todos los cálculos, gráficas y tablas, fueron realizados mediante el software de Microsoft Excel.

La duración para el desarrollo de la tesis fue de dos meses, comenzando la primera semana de mayo y finalizando el día 3 de julio del presente año.

DIAGRAMA SAGITAL.

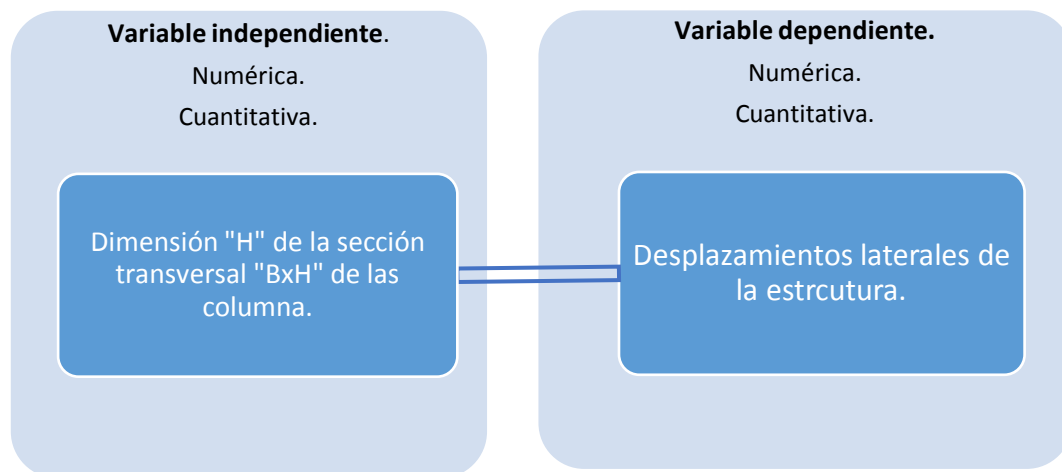


Figura 1. Diagrama Sagital.

Fuente: (ilustraciones realizadas para la presente tesis, 2019).

Hipótesis.

A medida que aumenta la dimensión H de la sección transversal BxH de las columnas, disminuyen los desplazamientos laterales de la Estructura.

Definición operacional de variables.

La dimensión H de la sección transversal de las columnas se irá aumentando una unidad (1.00 cm) desde una sección transversal cuadrada de 30x30 cm hasta llegar a una sección transversal rectangular de 30x60 cm. De igual manera se realizarán cálculos con columnas de sección transversal de 40x40 cm hasta llegar a secciones transversales de 40x40 cm.

Se calcularán los desplazamientos laterales en centímetros, obtenidos en cada aumento de la dimensión H de la sección transversal BxH de las columnas.

Tipo de investigación.

El diseño de la presente tesis está enfocado para obtener un alcance experimental, según (Hernandez Sampieri, 2014) debido a que se pretende determinar la relación existente entre el aumento de la dimensión H de la sección transversal BxH de las columnas y la reducción de los desplazamientos laterales obtenidos en cada iteración. Esto mediante la modificación de la variable dependiente (dimensión H de la sección transversal BxH de las columnas).

3.1.1 Diseño de una estructura de concreto reforzado regular.

Debido a que en la presente tesis se busca generar una gráfica que modele la reducción de los desplazamientos que se obtendrían al modificar la sección transversal de las columnas de cierto grupo o tipos de estructuras, es necesario definir a cabalidad este tipo o grupo de estructuras, es por esa razón, que el análisis se realizará solamente en estructuras regulares de concreto reforzado. Evadiendo así, estructuras que pudiesen

presentar distribuciones poco comunes tanto vertical como horizontalmente y por lo tanto generar diferentes irregularidades que podrían requerir un diferente análisis y el comportamiento de los desplazamientos laterales podrían comportarse de una manera totalmente distinta de manera que no se podría generar la gráfica objetivo de esta tesis.

También se tomó la determinación de trabajar solamente con columnas de concreto reforzado, ya que al utilizar elementos de acero, las inercias y orientación en que se coloquen los mismos, modificaría drásticamente el análisis requerido haciéndolo más complejo. Se pretende simplificar el estudio para lograr una mejor comprensión de la tesis.

Para poder llamar REGULAR una estructura de concreto reforzado, deberá cumplir los parámetros establecidos en la tabla 1.3.4-4 del (CICH, 2008) para las irregularidades estructurales verticales y la tabla 1.3.4-5 para las irregularidades estructurales en planta.

Para ello se ha realizado el diseño de una estructura de 10 niveles. El proyecto es un edificio de densificación de apartamentos es decir de uso residencial, con un área común de piso de 450.00 m², teniendo en cuenta que la planta típica se repite 10 veces obtenemos un área de 4,500.00 m², aproximadamente (Ver Anexo 3. Plano de dimensiones en planta y fachada de la estructura utilizada como ejemplo).

Se utilizará esta estructura tomado como referencia del ejemplo 23.1 del libro de Mario Paz (Paz, 1991) y se agregarán las dimensiones de las vigas de 20x35 cm y espesor de losa de 13.00 cm para una mejor estimación del cálculo del peso sísmico.

3.1.1.1 irregularidades estructurales verticales.

Deberá cumplir los parámetros establecidos en la tabla 1.3.4-4 del (CICH, 2008).

Tabla 1.3.4-4 Irregularidades estructurales verticales

Tipo y definición de irregularidad	Sección de referencia
1 Irregularidad de rigidez, piso suave Un piso suave es uno en el cual la rigidez lateral es menor que el 70% de la rigidez del piso superior o menor que el 90% del promedio para los tres pisos superiores.	1.3.4.8.3(b)
2 Irregularidad de masa (peso) Se deberá considerar que existe irregularidad de masa cuando la masa efectiva de cualquier piso es más del 150% de la masa efectiva de un piso adyacente. No es necesario considerar un techo que sea más liviano que el piso inferior.	1.3.4.8.3(b)
3 Irregularidad geométrica vertical Se deberá considerar que existe irregularidad geométrica vertical cuando la dimensión horizontal del sistema resistente a fuerzas laterales en cualquier piso es más del 130% de la de un piso adyacente. No es necesario considerar apartamentos miradores de un piso.	1.3.4.8.3(b)
4 Discontinuidad en el plano de un elemento vertical del sistema resistente Una desalineación en el plano de los elementos verticales del sistema resistente a fuerzas laterales, mayor que la longitud de esos elementos.	1.3.5.7
5 Discontinuidad de capacidad, piso débil Un piso débil es uno en el cual la resistencia del piso es menor que el 80% de la resistencia del piso superior. La resistencia del piso es la resistencia total de todos los elementos resistentes al sismo que comparten el cortante de piso en la dirección en consideración.	1.3.4.9.1

Tabla 1. Irregularidades estructurales verticales.

Fuente: (Tabla 1.3.4-4. Código Hondureño de la Construcción, 2008).

Se verificará que la estructura que se ha diseñado no presenta ninguna de las irregularidades, utilizando la ayuda del software de Microsoft Excel, ingresando los datos que correspondan a la estructura diseñada de acuerdo a lo requerido en cada tipo de irregularidad.

3.1.1.2 Irregularidades estructurales en planta.

Deberá cumplir los parámetros establecidos en la tabla 1.3.4-5 del (CICH, 2008)

Tabla 1.3.4-5 Irregularidades estructurales en planta

Tipo y definición de irregularidad	Sección de referencia
1 Irregularidad torsional, a considerarse cuando los diafragmas no son flexibles Deberá considerarse que existe irregularidad torsional cuando el desplazamiento lateral máximo relativo calculado incluyendo torsión accidental, en un extremo de la estructura transversal a un eje es más que 1.2 veces el promedio de los desplazamientos laterales relativos de piso de los dos extremos de la estructura.	1.3.8.2.9(f)
2 Entrantes o salientes La configuración en planta de la estructura y su sistema resistente a fuerzas laterales se considera que contiene entrantes o salientes, cuando las dos proyecciones de la estructura más allá de un entrante o saliente son mayores que el 15% de la dimensión en planta de la estructura en esa dirección.	1.3.8.2.9(f) y (g)
3 Discontinuidad de diafragma Diafragmas con discontinuidades abruptas o variaciones en la rigidez, incluyendo los que tienen recortes o aberturas mayores que el 50% de toda el área encerrada por el diafragma, o cambios en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50% entre dos pisos adyacentes.	1.3.8.2.9(f)
4 Desalineamiento fuera del plano Discontinuidades en la trayectoria de una fuerza lateral, tales como el desalineamiento fuera del plano de los elementos verticales.	1.3.5.7 y 1.3.8.2.9(b)
5 Sistemas no paralelos Los elementos verticales resistentes a cargas laterales no son paralelos o simétricos a los ejes ortogonales principales del sistema resistente a sismos.	1.3.8.1

Tabla 2. Irregularidades estructurales en planta.

Fuente: (Tabla 1.3.4-5. Código Hondureño de la Construcción, 2008).

Se verificará que la estructura que se ha diseñado no presenta ninguna de las irregularidades, utilizando la ayuda del software de Microsoft Excel, ingresando los datos que correspondan a la estructura diseñada de acuerdo a lo requerido en cada tipo de irregularidad.

3.1.2 Cálculo de las fuerzas por el método estático.

Se realizará el cálculo de las fuerzas laterales a través del método estático utilizando el Código Hondureño de la Construcción, tal como se especifica en la sección 1.3.4.

Tal como se ha mencionado en la sección 2.2.1 del presente trabajo de tesis, las fuerzas laterales estarán definidas por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{ZIC}{R_w} W$$

Ecuación 1.3.5-1 del (CICH, 2008)

El valor de Z corresponderá a la zona sísmica de donde se encuentra ubicada la estructura, que según el siguiente mapa de zona sísmica corresponde a la zona 3b:

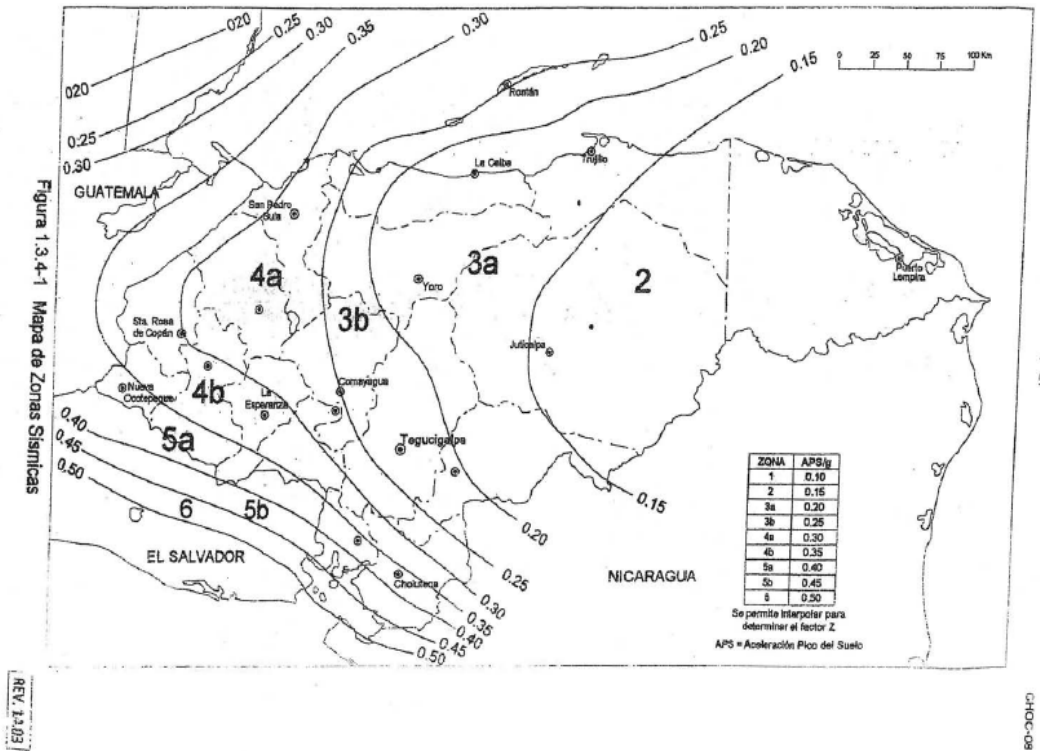


Figura 2. Mapa de zona sísmica.

Fuente: (Figura 1.3.4-1. Código Hondureño de la Construcción, 2008).

El valor de I corresponderá al factor de importancia de la estructura, que según la siguiente tabla corresponde al valor de 1 por ser estructuras ordinarias:

Tabla 1.3.4-3 Categoría de ocupación y factores de importancia

Categoría de Ocupación	Descripción de la ocupación o funciones de la estructura	Factor de importancia sísmica I	Factor de importancia sísmica I_p^a	Factor de importancia de viento I_w
1 Estructuras esenciales	Hospitales y otros centros médicos que tienen áreas de cirugía y emergencia. Estaciones de bomberos y policía Garajes y refugios para vehículos y aeronaves de emergencia. Estructuras y refugios en centros de preparación para emergencias. Torres de control de aviación. Estructuras y equipos esenciales del gobierno. Centros de comunicación y otros centros requeridos para la responder a una emergencia. Plantas y equipos generadores de energía para estructuras esenciales. Tanques y otras estructuras que albergan, contienen o soportan agua contra incendios requerida para la protección de estructuras con Categoría tipo 1, 2 o 3.	1.25	1.50	1.15
2 Estructuras peligrosas	Estructuras que albergan, contienen o soportan sustancias o químicos tóxicos o explosivos en cantidades suficientes que serían peligrosas a la seguridad del público en general si se soltaran.	1.25	1.50	1.15
3 Estructuras de ocupación especial	Centros de reuniones públicas para más de 300 personas. Escuelas y centros para niños o infantes. Universidades y centros similares para más de 500 estudiantes. Centros de inválidos para más de 50 residentes. Todas las estructuras para más de 5,000 personas. Las estructuras y equipos de plantas generadoras de energía; y otros centros de servicios públicos no incluidos en las Categorías 1 y 2, y que su operación continua es requerida.	1.00	1.00 ^b	1.00
4 Estructuras ordinarias	Todas las estructuras que tienen una ocupación o función no incluida en las Categorías 1, 2 o 3.	1.00	1.00 ^b	1.00

^a La limitación de I_p para la conexión de paneles en la Sección 1.3.8.2.4, deberá ser 1.00 para todo el conector.

^b Para el anclaje de maquinaria y equipo requerido para sistemas de seguridad de vidas humanas, el valor de I_p deberá tomarse como 1.5.

Tabla 3. Categorías de Ocupación y factores de importancia

Fuente: (Tabla 1.3.4-3. Código Hondureño de la Construcción, 2008).

El valor de C se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{1.25 S}{T^{2/3}}$$

Ecuación 1.3.5-2 del (CICH, 2008)

El valor de S corresponde al tipo de suelo donde se ha cimentado la estructura, según la siguiente tabla:

Tabla 1.3.4-2 Coeficiente del suelo S^a y parámetros para curvas de espectro^b

Tipo	Descripción	Coeficiente S	Parámetros para espectros		
			Períodos en segundos		Exponente e
			T _a	T _b	
S1	Un perfil de suelo con: (a) Un material tipo roca caracterizado por una velocidad de onda cortante mayor que 760 m/s o por otros medios adecuados de clasificación, o (b) Condiciones de suelo medio-denso a denso, o medio-duro a duro, donde la profundidad del suelo es menor que 60 metros.	1.0	0.155	0.364	2.00
S2	Un perfil de suelo con condiciones predominantes de suelo medio-denso a denso, o medio-duro a duro, donde la profundidad del suelo excede los 60 metros.	1.2	0.186	0.524	2.00
S3	Un perfil de suelo que contiene más de 6 metros de arcilla blanda a media-duro, pero no más de 12 metros de arcilla blanda.	1.5	0.233	0.818	2.00
S4	Un perfil de suelo que contiene más de 12 metros de arcilla blanda, caracterizado por una velocidad de onda cortante menor que 150 m/s.	2.0	0.310	1.455	2.00

^a El coeficiente del sitio deberá determinarse de datos geotécnicos adecuadamente respaldados. En los lugares donde las propiedades del suelo son desconocidas en suficiente detalle como para determinar el tipo de perfil de suelo, se deberá suponer un perfil de suelo tipo S3; no será necesario asumir un perfil de suelo tipo S4 a menos que el Supervisor determine que un perfil de suelo S4 puede existir en el sitio, o en el caso de que se establezca un perfil de suelo S4 por datos geotécnicos.

^b Los parámetros de curvas para espectros de respuesta se utilizan en los procedimientos dinámicos de análisis. Ver la Sección 1.3.6.5.7 y la Figura 1.3.6-1 para los espectros de respuesta para diseño correspondientes a cada Zona Sísmica y Perfil de Suelo.

Tabla 4. Categorías de Ocupación y factores de importancia

Fuente: (Tabla 1.3.4-3. Código Hondureño de la Construcción, 2008).

El valor de **T** corresponde al periodo de la estructura definida por la ecuación que aparece en la sección 1.3.5.2.2 del Código Hondureño de la Construcción:

$$T = C_T (h_n)^{3/4}$$

Ecuación 1.3.5-3 del (CICH, 2008)

Donde **H_n** es la altura máxima de la estructura y **C_t** se define de acuerdo al tipo de sistema estructural utilizado para soportar las fuerzas laterales.

El valor de **R_w** corresponde al tipo de sistema estructural empleado, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 1.3.4-6 Coeficiente R_w para sistemas estructurales

Sistema básico estructural ^a	Descripción del sistema resistente a fuerzas laterales	R_w ^b	Altura ^c (metros)
1 Sistema con muros de carga	1 Paredes livianas con marco y paneles de cortante		
	a) Paneles de paredes de madera para estructuras de 3 pisos o menos	8	20
	b) Todas las otras paredes livianas	6	20
	2 Muros cortante		
	a) Concreto	6	50
	b) Mampostería	6	50
	3 Muros de carga livianos de acero con riostras solo en tensión	4	20
	4 Marcos arriostrados donde las riostras soportan cargas gravitacionales		
	a) Acero	6	50
	b) Concreto ^d	6	-
c) Madera pesada	4	20	
2 Sistema de marco de edificio	1 Marco arriostrado excéntrico de acero (MAE)	10	75
	2 Paredes livianas con marco y paneles de cortante		
	a) Paneles de paredes de madera para estructuras de 3 pisos o menos	9	20
	b) Todas las otras paredes livianas	7	20
	3 Muros cortante		
	a) Concreto	8	75
	b) Mampostería	8	50
	4 Marcos arriostrados comunes		
	a) Acero	8	50
	b) Concreto ^d	8	-
c) Madera pesada	8	20	
5 Marcos arriostrados concéntricos especiales de acero	9	75	
3 Sistema de marco rígido	1 Marcos rígidos especiales (MRE)		
	a) Acero	12	S.L.
	b) Concreto	12	S.L.
	2 Marco-muro rígido de mampostería	9	50
	3 Marcos semirígidos de concreto (MSR) ^e	8	-
	4 Marcos rígidos comunes (MRC)		
a) Acero	6	50	
b) Concreto ^f	5	-	
4 Sistemas dobles	1 Muros cortante		
	a) Concreto con MRE	12	S.L.
	b) Concreto con MRC de acero	6	50
	c) Concreto con MSR de concreto ^e	9	50
	d) Mampostería con MRE	8	50
	e) Mampostería con MRC de acero	6	50
	f) Mampostería con MSR de concreto ^d	7	-
	2 Marco arriostrado excéntrico de acero (MAE)		
	a) con MRE de acero	12	S.L.
	b) con MRC de acero	6	50
	3 Marcos arriostrados comunes		
	a) Acero con MRE de acero	10	S.L.
	b) Acero con MRC de acero	6	50
	c) Concreto con MRE de concreto ^d	9	-
	d) Concreto con MSR de concreto ^d	6	-
	4 Marcos arriostrados concéntricos especiales		
	a) Acero con MRE de acero	11	S.L.
	b) Acero con MRC de acero	6	50
5 No definido	Ver Secciones 1.3.4.8.3 y 1.3.4.9.2	-	-

^a Los sistemas básicos estructurales están definidos en la Sección 1.3.4.6

Tabla 5. Coeficiente R_w para sistemas estructurales

Fuente: (Tabla 1.3.4-6. Código Hondureño de la Construcción, 2008).

El valor de W corresponde al peso sísmico de la estructura, definido en la sección 1.3.5.1 del Código Hondureño de la Construcción.

Finalmente se calculará la fuerza lateral de cada nivel de acuerdo a la distribución por cada nivel que proporciona la ecuación de la sección 1.3.5.4 del Código Hondureño de

la Construcción.

3.1.3 Modificación de la sección transversal de las columnas y cálculo de los desplazamientos laterales.

Se irá aumentando una unidad (1.00 cm) en la dimensión H de las columnas que inicialmente tendrán una sección transversal de 40x40 cm, luego 40x41 y así sucesivamente hasta llegar a una sección transversal de 40x80, es decir, que su sección trasversal será Bx2B. Se medirán los desplazamientos laterales de la estructura en cada una de las iteraciones a fin de poder hacer una recolección de datos y poder establecer una relación entre las iteraciones realizadas aumentando la sección transversal de las columnas y los resultados obtenidos de sus desplazamientos laterales con cada iteración. Se tomaron estas dimensiones de manera arbitraria únicamente para desarrollar la tesis y tomando en cuenta que son dimensiones comunes en muchas estructuras en nuestro entorno,

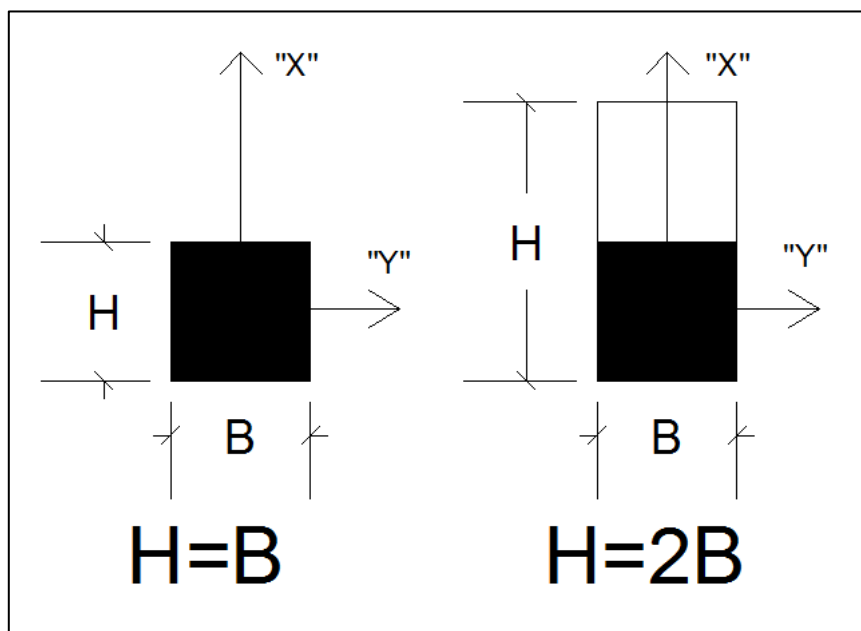


Figura 3. Aumento de la dimensión H de las columnas con sección transversal BxH..

Fuente: (ilustraciones realizadas para la presente tesis, 2019).

Cabe mencionar que debido a que las fuerzas laterales están directamente

relacionadas con el peso sísmico de la estructura, al modificar las secciones transversales de las columnas, también se modificará automáticamente las fuerzas laterales actuantes.

Se modificará en únicamente en una dirección, para poder establecer una comparación el aporte que se genera en cada eje de la estructura, en cuanto a desplazamientos laterales se refiere.

Los desplazamientos laterales serán calculados tal como aparece en el capítulo 23 del libro Structural Dynamics THEORY AND COMPUTATION (Paz, 1991). Para lo cual se utilizarán también los datos obtenidos en la sección anterior (3.1.).

En este libro el autor define los desplazamientos laterales como la sumatoria acumulada de las derivas de cada piso.

Las derivas serán calculadas a través de la siguiente ecuación:

$$\Delta_x = \frac{V_x}{K_x}$$

Ecuación pág. 528 del (Paz, 1991)

Donde Δ_x es el desplazamiento que ocurre debido a la fuerza V_x ante la resistencia de K_x .

3.1.4 Crear una gráfica que modele el comportamiento de los desplazamientos laterales de acuerdo a los datos obtenidos.

Finalmente conociendo el comportamiento de los desplazamientos en cuanto a la sección transversal de las columnas, se generará una gráfica (ver figura 7) que pueda predecir este comportamiento de los desplazamientos que se obtendrán si se decide o es necesario, modificar la sección transversal de las columnas de la estructura a fin de poder reducir sus desplazamientos.

3.2.1 Irregularidades estructurales

Se ingresaron los datos de nuestra estructura con columnas de sección transversal de 30x30 cm para verificar si existe algún tipo de irregularidad.

3.2.1.1 Irregularidades estructurales verticales.

Irregularidad de Rigidez, piso suave				
A				C=30x30 cm
	K	$K*0.7$	$K1 < 0.70 * K2$	
PISO 1	17724402.9	12407082.03	REGULAR	REGULAR
PISO 2	17724402.9	12407082.03	REGULAR	
PISO 3	17724402.9	12407082.03	REGULAR	
PISO 4	17724402.9	12407082.03	REGULAR	
PISO 5	17724402.9	12407082.03	REGULAR	
PISO 6	17724402.9	12407082.03	REGULAR	
PISO 7	17724402.9	12407082.03	REGULAR	
PISO 8	17724402.9	12407082.03	REGULAR	
PISO 9	17724402.9	12407082.03	REGULAR	
PISO 10	17724402.9	12407082.03	X	
B				C=30x30 cm
	K	$(K1+K2+K3)/3$	$K1 < 0.9 * ((K2+K3+K4)/3)$	
PISO 1	17724402.9	17724402.9	REGULAR	
PISO 2	17724402.9	17724402.9	REGULAR	
PISO 3	17724402.9	17724402.9	REGULAR	
PISO 4	17724402.9	17724402.9	REGULAR	
PISO 5	17724402.9	17724402.9	REGULAR	
PISO 6	17724402.9	17724402.9	REGULAR	REGULAR
PISO 7	17724402.9	17724402.9	REGULAR	
PISO 8	17724402.9	X	X	
PISO 9	17724402.9	X	X	
PISO 10	17724402.9	X	X	

Tabla 6. Calculo de Irregularidad de Rigidez, piso suave

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

Irregularidad de masa (peso)				
	MASA	1.5*MASA	$M_x > 1.5 * M_{x-1}$	
PISO 1	269032.56	403548.84	X	
PISO 2	227916.96	341875.44	REGULAR	
PISO 3	227916.96	341875.44	REGULAR	
PISO 4	227916.96	341875.44	REGULAR	
PISO 5	227916.96	341875.44	REGULAR	
PISO 6	227916.96	341875.44	REGULAR	
PISO 7	227916.96	341875.44	REGULAR	
PISO 8	227916.96	341875.44	REGULAR	
PISO 9	227916.96	341875.44	REGULAR	
PISO 10	165129.36	247694.04	REGULAR	

Tabla 7. Cálculo de Irregularidad de Masas.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

Irregularidad geométrica vertical				
X	LONGITUD (m)	1.3*LONGITUD	$L_x > 1.3L_{x+1}$	
PISO 1	15	19.5	REGULAR	
PISO 2	15	19.5	REGULAR	
PISO 3	15	19.5	REGULAR	
PISO 4	15	19.5	REGULAR	
PISO 5	15	19.5	REGULAR	
PISO 6	15	19.5	REGULAR	
PISO 7	15	19.5	REGULAR	
PISO 8	15	19.5	REGULAR	
PISO 9	15	19.5	REGULAR	
PISO 10	15	19.5	X	
Y	LONGITUD (m)	1.3*LONGITUD	$L_x > 1.3L_{x+1}$	
PISO 1	30	32.825	REGULAR	
PISO 2	30	32.825	REGULAR	
PISO 3	30	32.825	REGULAR	

PISO 4	30	32.825	REGULAR	
PISO 5	30	32.825	REGULAR	
PISO 6	30	32.825	REGULAR	
PISO 7	30	32.825	REGULAR	
PISO 8	30	32.825	REGULAR	
PISO 9	30	32.825	REGULAR	
PISO 10	30	32.825	X	

Tabla 8. Calculo de Irregularidad geométrica vertical

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

Discontinuidad en el plano de un elemento vertical del sistema resistente.

Todas las columnas del edificio son continuas desde la base de su zapata hasta la azotea, por lo que no existe irregularidad o discontinuidad entre ellas

Discontinuidad de capacidad, piso débil

Todas las columnas del edificio tienen las mismas secciones transversales, por lo que todas sus resistencias al cortante serán iguales y por lo tanto no existe irregularidad de piso débil.

3.2.1.2 Irregularidades estructurales en planta.

Irregularidad torsional, a considerarse cuando los diafragmas no son flexibles

Debido a que la estructura es simétrica en ambos ejes del plano, no presentará excentricidades ya que el centro de masa de la estructura se encuentra en el centro del plano, por tal razón no se presenta irregularidad torsional.

Entrantes o salientes.

La losa de cada nivel, es forma totalmente rectangular, por lo que no presenta ningún tipo de entrante o saliente y por ende, es regular.

Discontinuidad de diafragma.

La losa de cada nivel tiene exactamente las mismas dimensiones de ancho por largo, por lo que no existe discontinuidad y por lo tanto es regular.

Des alineamiento fuera del plano.

No existe irregularidad en la estructura, debido a que todos los elementos verticales se encuentran alineados en igual número de elementos.

Sistemas no paralelos.

No existe irregularidad en la estructura, debido a que todos los elementos verticales se encuentran ubicados en paralelo y simétricamente a los ejes ortogonales principales del sistema.

3.2.2 Cálculo de las fuerzas por el método estático.

Nuevamente se hace la aclaración, que se está realizando los cálculos con la estructura con columnas de sección transversal de 30x30 cm. Los factores utilizados a continuación, fueron elegidos a criterio personal, únicamente para el desarrollo demostrativo de la tesis, pero siempre tratando de asemejar un caso común en la ciudad de Tegucigalpa.

S: 1 se asumirá que el suelo es roca. (CICH, 2008, pág. tabla 1.3.4)

Ct: 0.0731 para marcos rígidos de concreto reforzado. (CICH, 2008, págs. tabla 1.3.5-3).

Hn: 32.00 m como altura máxima del edificio.

T: 0.984 calculado mediante la ecuación:

$$T = C_T (h_n)^{3/4}$$

Ecuación 1.3.5-3 del (CICH, 2008)

C: 1.264 calculado mediante la ecuación:

$$C = \frac{1.25 S}{T^{2/3}}$$

Ecuación 1.3.5-2 del (CICH, 2008)

Z: 0.25 debido a que Tegucigalpa se encuentra en la zona 3b. (CICH, 2008, págs. tabla 1.3.5-2)

I: 1 debido a que la estructura es ordinaria. (CICH, 2008, págs. tabla 1.3.4-3)

Rw: 12 se asumirá como marco rígido especial de concreto reforzado. (CICH, 2008, págs. tabla 1.3.4-6)

CALCULO DE PESO SISMICO POR PISO.

Datos de elementos estructurales:

Columnas con secciones transversales de 30x30 cm.

Vigas con secciones trasnversales de 20x35 cm.

Losa con un área por piso de 15x30 m y espesor de 13.00 cm.

CALCULO DE PESO SÍSMICO DE CADA PISO.							
PISO 1							
				Peso especifico	2400 Kg/m ³		
Elemento	Base (m)	Altura (m)	Longitud (m)		Unidades	Peso	
Columnas 30x30 cm	0.3	0.3	6.575		27	38345.4	Kg
Peso total de columnas						38,345.40	Kg
Vigas 20X35 cm	0.2	0.35	7.2		2	2419.2	Kg
	0.2	0.35	3.44		8	4623.36	Kg
Peso total de vigas						7,042.56	Kg

Losa e= 13 cm	Espesor (m)	Largo (m)	Ancho (m)		Área (m ²)		
	0.13	30	15		450	140400	Kg
					450	140,400.00	Kg
Divisiones de paredes internas						100	Kg/m ²
Carga total en losa						45,000.00	Kg
TOTAL CARGA SOBRE PISO:						230,787.96	Kg
<u>PISO 2 A PISO 9</u>							
Elemento	Base (m)	Altura (m)	Longitud (m)		Unidades	Peso	
Columnas 30x30 cm	0.3	0.3	3.05		27	17787.6	Kg
Peso total de columnas						17,787.60	Kg
Vigas 20X35 cm	0.2	0.35	7.2		2	2419.2	Kg
	0.2	0.35	3.44		8	4623.36	Kg
Peso total de vigas						7,042.56	Kg
Losa e= 13 cm	Espesor (m)	Largo (m)	Ancho (m)		Área (m ²)		
	0.13	30	15		450	140400	Kg
					450	140,400.00	Kg
Divisiones de paredes internas						100	Kg/m ²
Carga total en losa						45,000.00	Kg
TOTAL CARGA SOBRE PISO:						210,230.16	Kg
<u>PISO 10</u>							
Elemento	Base (m)	Altura (m)	Longitud (m)		Unidades	Peso	
Columnas 30x30 cm	0.3	0.3	1.525		27	8893.8	Kg
Peso total de columnas						8,893.80	Kg
Vigas 20X35 cm	0.2	0.35	7.2		2	2419.2	Kg
	0.2	0.35	3.44		8	4623.36	Kg
Peso total de vigas						7,042.56	Kg

Losa e= 13 cm	Espesor (m)	Largo (m)	Ancho (m)		Área (m ²)		
	0.13	30	15		450	140400	Kg
					450	140,400.00	Kg
TOTAL CARGA SOBRE PISO :						156,336.36	Kg

Tabla 9. Calculo de peso sísmico de cada piso.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

TOTAL SUMATORIA DE CARGAS MUERTA POR PISO	
PISO	PESO SISMICO (Kg)
PISO 1	230,787.96
PISO 2	210,230.16
PISO 3	210,230.16
PISO 4	210,230.16
PISO 5	210,230.16
PISO 6	210,230.16
PISO 7	210,230.16
PISO 8	210,230.16
PISO 9	210,230.16
PISO 10	156,336.36
PESO SÍSMICO TOTAL	2,068,965.60

Tabla 10. Cuadro resumen de peso sísmico de cada piso.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

$$V = \frac{ZIC}{R_W} W$$

Ecuación 1.3.5-1 del (CICH, 2008)

V	54,479.80	Kg
----------	------------------	-----------

DISTRIBUCION DE CARGA SISMICA POR PISO			
PISO	W _x (Kg)	H _x (m)	W _x H _x (Kg*m)
PISO 1	230,787.96	5	1,153,939.80
PISO 2	210,230.16	8	1,681,841.28
PISO 3	210,230.16	11	2,312,531.76
PISO 4	210,230.16	14	2,943,222.24
PISO 5	210,230.16	17	3,573,912.72
PISO 6	210,230.16	20	4,204,603.20
PISO 7	210,230.16	23	4,835,293.68
PISO 8	210,230.16	26	5,465,984.16
PISO 9	210,230.16	29	6,096,674.64
PISO 10	156,336.36	32	5,002,763.52
		∑WiHi	37,270,767.00

Tabla 11. Distribución de carga sísmica por piso.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

RESULTADO DE FUERZAS LATERALES POR PISO		
	F _x	V _x
F1	1,686.75	54,479.80
F2	2,458.40	52,793.05
F3	3,380.30	50,334.65
F4	4,302.20	46,954.35
F5	5,224.10	42,652.16
F6	6,145.99	37,428.06
F7	7,067.89	31,282.07
F8	7,989.79	24,214.17
F9	8,911.69	16,224.38
F10	7,312.69	7,312.69

Tabla 12. Fuerzas laterales por piso.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

Ver anexo1 los datos de fuerzas laterales por piso, obtenidos con secciones transversales de 30x60 cm, 40x40 cm y 40x80 cm.

3.2.3 Modificación de la sección transversal de las columnas y cálculo de los desplazamientos laterales.

Se fue aumentando la dimensión (H) de la sección transversal (BxH) de las columnas, un centímetro y se calculó los desplazamientos obtenidos en cada iteración. A continuación se presentan los valores de desplazamientos obtenidos del piso 10 en cada iteración en los ejes “X” y “Y” de las estructura al modificar la dimensión H de las columnas de sección transversal BxH.

Es decir se realizaron los cálculos de desplazamientos laterales para la estructura con columnas de sección transversal de 30x30 cm y se fue aumentando una unidad en la dimensión H de la sección transversal, o sea: 30x30 cm, 30x31 cm... hasta llegar a una sección transversal de 30x60 cm.

Luego se hizo el mismo procedimiento con columnas de 40x40 cm hasta llegar a secciones transversales de 40x80 cm. Se realizaron todos los cálculos anteriores para cada iteración de modificación de sección transversal de columnas.

La siguiente imagen servirá de referencia para comprender las direcciones “X” y “Y” de la estructura:

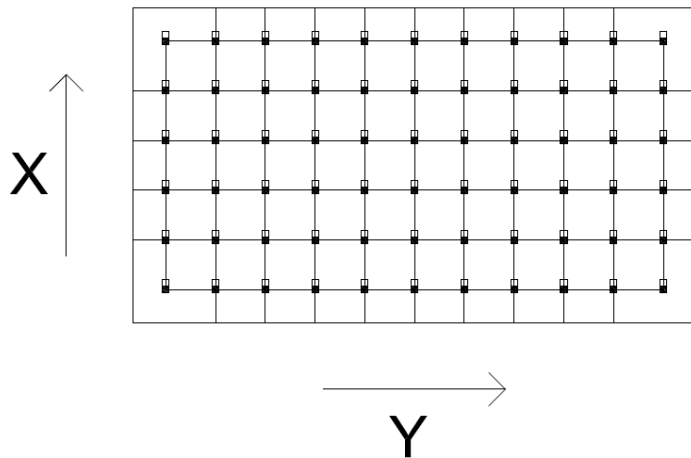


Figura 4. Dirección “X” y “Y” de la estructura.

Fuente: (ilustraciones realizadas para la presente tesis, 2019).

Según el libro de dinámica Estructural de Mario Paz (Paz, 1991, pág. 528) el cálculo de la rigidez de un piso puede ser calculado mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{12EI}{L^3}$$

Ecuación pág. 528 del (Paz, 1991)

Donde E es el módulo de elasticidad del concreto, I es la sumatoria de las inercias de cada columna existentes en un piso y L es la distancia entre cada piso.

Se presentan los cálculos obtenidos de la estructura con columnas de sección transversal de 30x30 cm.

CALCULO DE RIGIDEZ POR PISO				
Ix (m ⁴)	E del concreto (Kg/m ²)	Longitud (m)	N columnas	Kx (Kg/m)
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90
0.000675	2188197889	3	27.00	17,724,402.90

Tabla 13. Cálculo de rigidez por piso.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

CALCULO DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES					
PISO	Vx (Kg)	Kx (Kg/m)	Δ (m)	Δ (cm)	δ(cm)
PISO 1	54,479.80	17724402.90	0.00307	0.30737	0.30737
PISO 2	52,793.05	17724402.90	0.00298	0.29786	0.60523
PISO 3	50,334.65	17724402.90	0.00284	0.28399	0.88921
PISO 4	46,954.35	17724402.90	0.00265	0.26491	1.15413
PISO 5	42,652.16	17724402.90	0.00241	0.24064	1.39477
PISO 6	37,428.06	17724402.90	0.00211	0.21117	1.60593

PISO 7	31,282.07	17724402.90	0.00176	0.17649	1.78242
PISO 8	24,214.17	17724402.90	0.00137	0.13661	1.91904
PISO 9	16,224.38	17724402.90	0.00092	0.09154	2.01058
PISO 10	7,312.69	17724402.90	0.00041	0.04126	2.05183

Tabla 14. Cálculo de desplazamientos laterales por piso.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

Ver anexo 2 los desplazamientos laterales por piso, obtenidos con secciones transversales de 30x60 cm, 40x40 cm y 40x80 cm en ambos ejes.

La tabla siguiente muestra los desplazamientos laterales del piso 10 en las direcciones “X” y “Y” obtenidos en cada iteración que se fue modificación la sección transversal de las columnas desde una sección transversal de 30x30 cm hasta una sección transversal de 30x60 cm.

DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN EL PISO 10 EN LA DIRECCIÓN “X” Y “Y” DE LA ESTRUCTURA CON COLUMNAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL BXH DE 30X30 CM, INCREMENTANDO SU DIMENSIÓN H=30 CM HASTA H=60 CM				
Dimensión H de columna	Dirección “X”		Dirección “Y”	
	δ_{10} (cm)	% de reducción	δ_{10} (cm)	% de reducción
30.00	2.0518	-	2.0518	-
31.00	1.8650	9.1054	1.9913	2.9496
32.00	1.7005	17.1240	1.9346	5.7149
33.00	1.5550	24.2141	1.8813	8.3126
34.00	1.4259	30.5068	1.8311	10.7575
35.00	1.3109	36.1120	1.7838	13.0627
36.00	1.2081	41.1215	1.7391	15.2399
37.00	1.1159	45.6128	1.6969	17.2993
38.00	1.0331	49.6517	1.6568	19.2504
39.00	0.9583	53.2940	1.6189	21.1014
40.00	0.8907	56.5876	1.5828	22.8599
41.00	0.8295	59.5736	1.5485	24.5326
42.00	0.7738	62.2872	1.5158	26.1257
43.00	0.7231	64.7590	1.4846	27.6447
44.00	0.6768	67.0156	1.4549	29.0946
45.00	0.6344	69.0801	1.4264	30.4801
46.00	0.5956	70.9725	1.3992	31.8053

47.00	0.5599	72.7107	1.3732	33.0742
48.00	0.5271	74.3102	1.3483	34.2902
49.00	0.4969	75.7845	1.3243	35.4566
50.00	0.4689	77.1459	1.3013	36.5763
51.00	0.4431	78.4050	1.2793	37.6521
52.00	0.4192	79.5713	1.2581	38.6865
53.00	0.3970	80.6533	1.2376	39.6819
54.00	0.3763	81.6586	1.2180	40.6405
55.00	0.3571	82.5939	1.1990	41.5642
56.00	0.3393	83.4652	1.1807	42.4549
57.00	0.3226	84.2779	1.1631	43.3143
58.00	0.3070	85.0371	1.1461	44.1442
59.00	0.2924	85.7469	1.1296	44.9459
60.00	0.2788	86.4115	1.1137	45.7208

Tabla 15. Desplazamientos laterales en el piso 10 en la dirección “X” y “Y” de la estructura con columnas de sección transversal BxH de 30x30 cm, incrementando su dimensión H=30 cm hasta H=60 cm

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

La tabla siguiente muestra los desplazamientos laterales del piso 10 en las direcciones “X” y “Y” obtenidos en cada iteración que se fue modificación la sección transversal de las columnas desde una sección transversal de 40x40 cm hasta una sección transversal de 40x80 cm.

DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN EL PISO 10 EN LA DIRECCIÓN “X” Y “Y” DE LA ESTRUCTURA CON COLUMNAS DE SECCIÓN TRANSVERSAL BXH DE 40X40 CM, INCREMENTANDO SU DIMENSIÓN H=40 CM HASTA H=80 CM				
Dimensión H de columna	Dirección “X”		Dirección “Y”	
	δ_{10} (cm)	% de reducción	δ_{10} (cm)	% de reducción
40	0.6929	-	0.6929	-
41	0.6458	6.8029	0.6784	2.0894
42	0.6029	12.9890	0.6646	4.0793
43	0.5638	18.6272	0.6515	5.9766
44	0.5281	23.7774	0.6389	7.7877
45	0.4955	28.4919	0.6269	9.5183
46	0.4655	32.8161	0.6155	11.1737
47	0.4380	36.7901	0.6045	12.7587
48	0.4126	40.4489	0.5940	14.2776
49	0.3892	43.8235	0.5839	15.7345
50	0.3676	46.9413	0.5742	17.1332

51	0.3477	49.8265	0.5649	18.4770
52	0.3291	52.5006	0.5559	19.7692
53	0.3119	54.9828	0.5473	21.0126
54	0.2959	57.2902	0.5390	22.2099
55	0.2811	59.4381	0.5310	23.3637
56	0.2672	61.4402	0.5233	24.4763
57	0.2542	63.3089	0.5159	25.5499
58	0.2421	65.0551	0.5087	26.5865
59	0.2308	66.6889	0.5017	27.5879
60	0.2202	68.2193	0.4950	28.5559
61	0.2103	69.6545	0.4885	29.4923
62	0.2009	71.0019	0.4823	30.3984
63	0.1922	72.2680	0.4762	31.2758
64	0.1839	73.4592	0.4703	32.1257
65	0.1761	74.5808	0.4646	32.9495
66	0.1688	75.6380	0.4591	33.7484
67	0.1619	76.6355	0.4537	34.5234
68	0.1554	77.5773	0.4485	35.2756
69	0.1492	78.4675	0.4434	36.0060
70	0.1434	79.3095	0.4385	36.7155
71	0.1378	80.1066	0.4337	37.4051
72	0.1326	80.8618	0.4291	38.0755
73	0.1276	81.5779	0.4246	38.7276
74	0.1229	82.2574	0.4202	39.3620
75	0.1185	82.9026	0.4159	39.9795
76	0.1142	83.5158	0.4117	40.5808
77	0.1102	84.0989	0.4077	41.1665
78	0.1063	84.6537	0.4037	41.7371
79	0.1027	85.1821	0.3998	42.2933
80	0.0992	85.6855	0.3961	42.8356

Tabla 16. Desplazamientos laterales en el piso 10 en la dirección “X” y “Y” de la estructura con columnas de sección transversal BxH de 40x40 cm, incrementando su dimensión H=40 cm hasta H=80 cm

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

3.2.4 Crear una gráfica que modele el comportamiento de los desplazamientos laterales de acuerdo a los datos obtenidos.

Se graficaron los resultados obtenidos de los desplazamientos calculados y el porcentaje en el cual disminuyeron los desplazamientos en cada iteración.

La siguiente grafica corresponde a la estructura con columnas de sección transversal inicial de 30x30 cm:

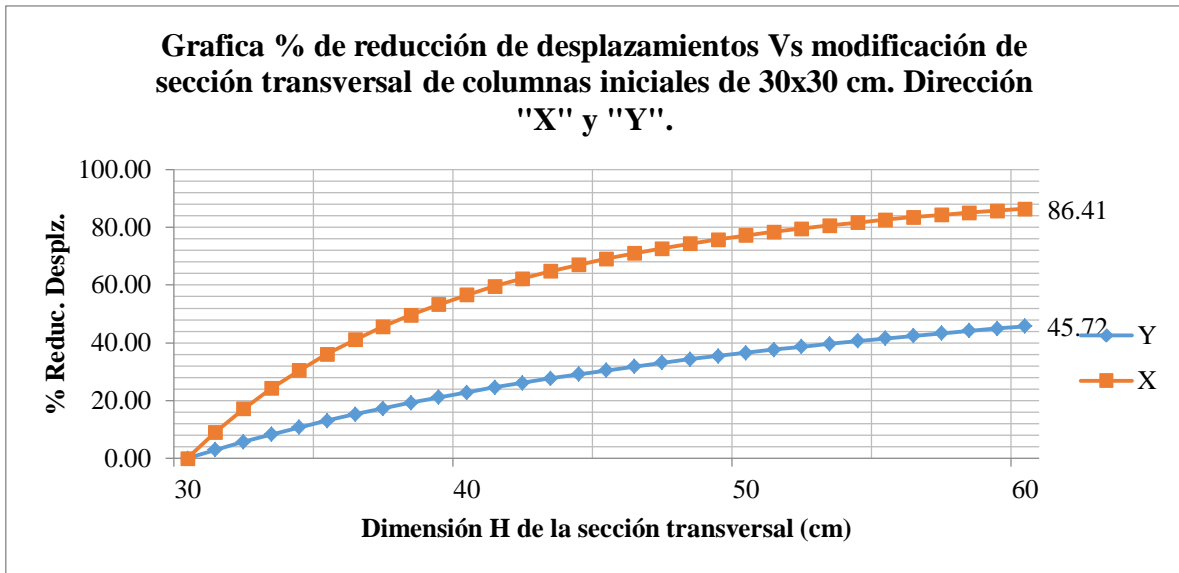


Figura 5. Grafica % de reducción de desplazamientos Vs modificación de sección transversal de columnas iniciales de 30x30 cm. Dirección "X" y "Y".

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

La siguiente grafica corresponde a la estructura con columnas de sección transversal inicial de 40x40 cm:

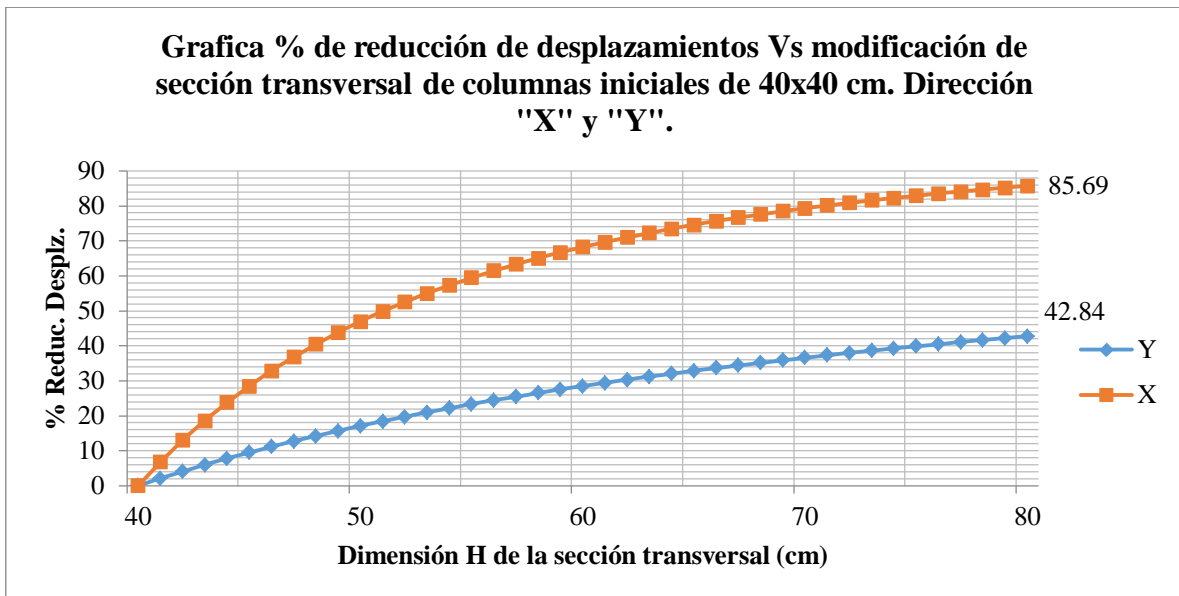


Figura 6. Grafica % de reducción de desplazamientos Vs modificación de sección transversal de columnas iniciales de 40x40 cm. Dirección "X" y "Y".

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANALISIS.

4.1 Resultados.

De acuerdo a los datos obtenidos en cada iteración en la cual se modificó la dimensión H de las columnas con sección transversal BxH, que iban desde secciones inicialmente de 30x30 cm hasta llegar a secciones de 30x60 cm, se observó una relación bastante clara donde los desplazamientos disminuían rápidamente en la dirección “X” a medida de aumentaba la dimensión H de las columnas de sección transversal BxH, ya que con secciones transversales de 30x30 cm se obtuvo un desplazamiento lateral en el último nivel de 2.0518 cm y con secciones transversales de 30x60 cm se redujo a 0.2788 cm. En la dirección “Y” se observó que los desplazamientos también disminuían, pero de manera menos prolongada, inicialmente se obtuvo un desplazamiento lateral de 2.0518 cm y se redujo a 1.1137 cm. Lo cual, se puede decir que en la dirección “X” los desplazamientos laterales se redujeron un 86.41 % y en la dirección “Y” se redujeron un 45.72 % (ver Figura 5).

En el caso que se modificó la dimensión H de las columnas con sección transversal BxH, que iban desde secciones inicialmente de 40x40 cm hasta llegar a secciones de 40x80 cm, se observó una relación bastante clara donde los desplazamientos disminuían rápidamente en la dirección “X” a medida de aumentaba la dimensión H de las columnas de sección transversal BxH, ya que con secciones transversales de 40x40 cm se obtuvo un desplazamiento lateral en el último nivel de 0.6929 cm y con secciones transversales de 40x80 cm se redujo a 0.0992 cm. En la dirección “Y” se observó que los desplazamientos también disminuían, pero de manera menos prolongada, inicialmente se obtuvo un desplazamiento lateral de 0.6929 cm y se redujo 0.3961 cm. Lo cual, se puede decir que en la dirección “X” los desplazamientos laterales se redujeron un 85.6855 % y en la dirección

“Y” se redujeron un 42.8356 % (ver Figura 5).

De acuerdo a estos datos, se puede decir que sin importar la dimensión de la sección transversal de las columnas, si inicialmente la estructura cuenta con columnas de sección transversales BxH donde $H=B$ y estas se incrementan a secciones transversales BxH donde $H=2B$ se podrán reducir los desplazamientos laterales en la dirección “X” hasta un 86 % (promedio de 85.69 % y 86.41 %) aproximadamente y en la dirección “Y” hasta un 44.30 % (promedio de 45.72 % y 43.84 %) aproximadamente. Tal como se muestra en la siguiente gráfica:

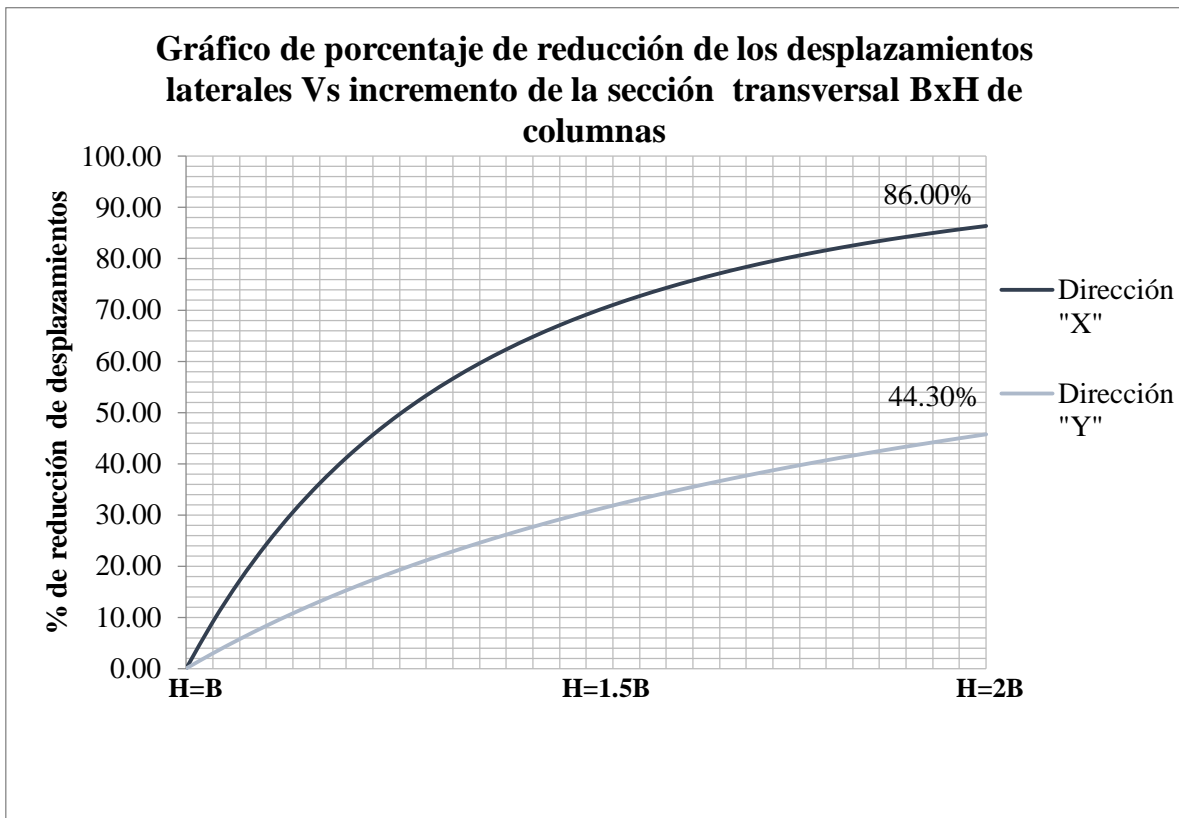


Figura 7. Grafica % de reducción de desplazamientos Vs incremento de sección transversal de columnas. Dirección "X" y "Y".

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

4.2 Análisis.

Al igual que la metodología empleada en el libro de Dinámica Estructural Teoría Y Calculo de Mario Paz (Paz, 1991), se pudo comprobar que los desplazamientos laterales están directamente relacionados con las dimensiones de las columnas empleadas.

La metodología empleada para calcular las rigideces de las columnas, facilitó mucho la obtención e interpretación de los resultados, al igual que la metodología empleada en el libro de Dinámica Estructural Teoría Y Calculo de Mario Paz (Paz, 1991).

Las fuerzas laterales calculadas a través del método estático, permiten una distribución de las mismas en cada nivel, de manera que se puede observar fácilmente la influencia de ellas en los resultados de los desplazamientos laterales.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.

Considerando las preguntas de investigación planteadas al inicio de la presente tesis, se puede concluir lo siguiente:

1. Luego de obtener los resultados de todas las iteraciones realizadas modificando la sección transversal de las columnas de una estructura de concreto reforzado, se pudo observar y comprender el comportamiento de los desplazamientos laterales de la estructura. Con lo cual se determinó que en la dirección “X” de la estructura, los desplazamientos laterales se podrán reducir hasta un 86.00 % aproximadamente y en la dirección “Y” los desplazamientos laterales se podrán reducir hasta un 43.33 % aproximadamente.
2. Los datos obtenidos y las gráficas de porcentaje de reducción de los desplazamientos laterales con columnas de sección transversal 30x30 cm y con columnas de sección transversal de 40x40 cm, muestran un comportamiento bastante similar a medida se fueron incrementando dichas secciones transversales. Por tal razón se pudo generar la gráfica de la figura 7 del CAPITULO V que muestra mediante una curva, el comportamiento de los desplazamientos laterales al modificar la sección transversal de las columnas de BxH donde $H=B$, incrementadas a secciones transversales BxH donde $H=2B$.

5.2 Respuesta a la hipótesis.

Se pudo apreciar en la Figuras 5 y Figura 6, que a medida se fue amentando la dimensión H de las secciones transversal BxH de las columnas, los desplazamientos laterales de la estructuras fueron reduciendo en cada nivel.

5.3 Recomendaciones.

- Se podría fundamentar más la “Gráfica de porcentaje de reducción de los desplazamientos laterales Vs incremento de la sección transversal BxH de columnas” realizando los mismos cálculos para todos los posibles valores de la dimensión B de la sección transversal BxH de las columnas, ya que en la presente tesis solamente se realizaron alrededor de 140 iteraciones únicamente con los valores de 30 y 40 centímetros en la dimensión B y se fue aumentando la dimensión H hasta llegar a tener una relación $H=2B$.
- Se podría realizar más iteraciones con diferentes dimensiones de los elementos estructurales como vigas y losas a fin de verificar si varían considerablemente los resultados.
- Se podría realizar diferentes iteraciones con diferentes valores de los datos requeridos para el cálculo de la fuerza lateral por sismo, es decir, zona sísmica, tipo de suelo, etc. a fin de verificar que tanto incide este valor en la gráfica obtenida.
- Se podría realizar un análisis similar con elementos estructurales de acero, modificando la orientación de los mismos a fin de verificar su aporte en cada dirección, en cuanto reducción de desplazamientos se refiere.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

- ACI, c. (2005). Requisitos de Reglamento para concreto estructural . En A. C. Institute.
- Aguilar, R. (2015). *Análisis Sísmico por Desempeño*. Bogotá.
- Ambrose, J. (2012). *BUILDING STRUCTURES*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Anderson, J. C. (2012). *Basic Structural Dynamics (English Edition)*. Los Angeles, California: Wiley.
- Barrandas Hernández, J. E., & Ayala Milián, A. G. (2014). Procedimiento de diseño sísmico multinivel basado en desplazamiento para estructuras a base de marcos de concreto reforzado. *Ingeniería Sísmica*.
- Bedford , A., & Fowler, W. (2008). *Mecánica para Ingeniería*. Mexico: Pearson Education.
- Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2010). *MECÁNICA VECTORIAL PARA INGENIEROS*. Mexico, D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.
- Blanco Blanco, A. (s.f.). Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado. Lima: consejo departamental de Lima.
- CICH, c. t. (2008). código hondureño de la construcción. Tegucigalpa: XMEDIA impresos.
- Garcia Reyer, L. E. (1998). *Dinámica Estructural aplicada al diseño sísmico*. Bogotá.
- Gere, J. M. (2001). *Mecánica de Materiales*. THOMPSON.
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Larraín vial, A., Yanez Uribe, F., & Verdugo, A. C. (2006). *Manual de Calculo de Hormigón armado*. Chile: Gerdau AZA S.A.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (s.f.). *diseño de concreto reforzado*. alfaomega.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (1987). *Concrete Technology*. Engalng: Pearson.
- Newmark, N. M., & Hail, W. J. (1982). *EARTHQUAKE SPECTRA AND DESIGN*. California : 2620

Telegraph Avenue.

Officials, I. C. (1997). *Uniform Building Code*. California.

Paz, M. (1991). *dinamica estructural, teoria y diseño*. Barcelona: REVERTÉ.

Rodriguez, M. E., Restrepo, J. I., & Torres, M. (2015). Evaluación de la rigidez lateral efectiva de columnas de concreto reforzado. Mexico: Instituto de ingeniería UNAM.

San Bartolomé, Á., Quiun, D., & Silva Berríos, W. (2011). *Diseño y construcción de estructuras sismoresistentes de albañilería*. Lima: Fondo editorial PUCP.

Sísmica, C. d. (1997). Evaluación de un método de diseño estático para el aislamiento sísmico de estructuras. *Revista de Ingeniería Sísmica*.

ANEXOS.

Anexo 1. Fuerzas laterales por piso.

RESULTADO DE FUERZAS LATERALES POR PISO		
	F _x	V _x
F1	1,981.17	59,444.20
F2	2,685.43	57,463.03
F3	3,692.47	54,777.60
F4	4,699.51	51,085.13
F5	5,706.54	46,385.62
F6	6,713.58	40,679.08
F7	7,720.62	33,965.50
F8	8,727.65	26,244.89
F9	9,734.69	17,517.24
F10	7,782.55	7,782.55

Tabla 17. Fuerzas laterales por piso. Columnas 30x60 cm.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

RESULTADO DE FUERZAS LATERALES POR PISO		
	F _x	V _x
F1	1,914.94	58,317.41
F2	2,633.96	56,402.47
F3	3,621.69	53,768.51
F4	4,609.42	50,146.82
F5	5,597.16	45,537.39
F6	6,584.89	39,940.24
F7	7,572.63	33,355.34
F8	8,560.36	25,782.72
F9	9,548.09	17,222.36
F10	7,674.26	7,674.26

Tabla 18. Fuerzas laterales por piso. Columnas 40x40 cm.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

RESULTADO DE FUERZAS LATERALES POR PISO		
	F _x	V _x
F1	2,442.33	67,154.81
F2	3,038.16	64,712.49
F3	4,177.47	61,674.33
F4	5,316.78	57,496.86
F5	6,456.09	52,180.08
F6	7,595.40	45,723.99
F7	8,734.71	38,128.58
F8	9,874.02	29,393.87
F9	11,013.33	19,519.85
F10	8,506.52	8,506.52

Tabla 19. Fuerzas laterales por piso. Columnas 40x80 cm.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

Anexo 2. Fuerzas laterales por piso.

CALCULO DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES					
PISO	V _x (Kg)	K _x (Kg/m)	Δ (m)	Δ (cm)	δ(cm)
PISO 1	59,444.20	141795223.19	0.000419226	0.04192257	0.0419226
PISO 2	57,463.03	141795223.19	0.000405254	0.040525363	0.0824479
PISO 3	54,777.60	141795223.19	0.000386315	0.038631483	0.1210794
PISO 4	51,085.13	141795223.19	0.000360274	0.036027398	0.1571068
PISO 5	46,385.62	141795223.19	0.000327131	0.032713108	0.1898199
PISO 6	40,679.08	141795223.19	0.000286886	0.028688613	0.2185085
PISO 7	33,965.50	141795223.19	0.000239539	0.023953912	0.2424624
PISO 8	26,244.89	141795223.19	0.00018509	0.018509007	0.2609715
PISO 9	17,517.24	141795223.19	0.000123539	0.012353897	0.2733254
PISO 10	7,782.55	141795223.19	5.48858E-05	0.005488582	0.2788139

Tabla 20. Desplazamientos laterales. Columnas 30x60 cm.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

CALCULO DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES					
PISO	V _x (Kg)	K _x (Kg/m)	Δ (m)	Δ (cm)	δ(cm)
PISO 1	58,317.41	56017865.95	0.00104105	0.104105014	0.1041050
PISO 2	56,402.47	56017865.95	0.001006866	0.100686569	0.2047916
PISO 3	53,768.51	56017865.95	0.000959846	0.095984574	0.3007762
PISO 4	50,146.82	56017865.95	0.000895193	0.089519331	0.3902955
PISO 5	45,537.39	56017865.95	0.000812908	0.08129084	0.4715863
PISO 6	39,940.24	56017865.95	0.000712991	0.071299102	0.5428854
PISO 7	33,355.34	56017865.95	0.000595441	0.059544115	0.6024295
PISO 8	25,782.72	56017865.95	0.000460259	0.04602588	0.6484554
PISO 9	17,222.36	56017865.95	0.000307444	0.030744397	0.6791998
PISO 10	7,674.26	56017865.95	0.000136997	0.013699666	0.6928995

Tabla 21. Desplazamientos laterales. Columnas 40x40 cm.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

CALCULO DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES					
PISO	V _x (Kg)	K _x (Kg/m)	Δ (m)	Δ (cm)	δ(cm)
PISO 1	67,154.81	448142927.60	0.000149851	0.014985133	0.0149851
PISO 2	64,712.49	448142927.60	0.000144401	0.014440145	0.0294253
PISO 3	61,674.33	448142927.60	0.000137622	0.013762201	0.0431875
PISO 4	57,496.86	448142927.60	0.0001283	0.012830027	0.0560175
PISO 5	52,180.08	448142927.60	0.000116436	0.011643624	0.0676611
PISO 6	45,723.99	448142927.60	0.00010203	0.010202992	0.0778641
PISO 7	38,128.58	448142927.60	8.50813E-05	0.00850813	0.0863723

PISO 8	29,393.87	448142927.60	6.55904E-05	0.00655904	0.0929313
PISO 9	19,519.85	448142927.60	4.35572E-05	0.00435572	0.0972870
PISO 10	8,506.52	448142927.60	1.89817E-05	0.001898171	0.0991852

Tabla 22. Desplazamientos laterales. Columnas 40x80 cm.

Fuente: (cálculos realizados para la presente tesis, 2019).

Anexo 3. Plano de dimensiones en planta y fachada de la estructura utilizada como ejemplo.

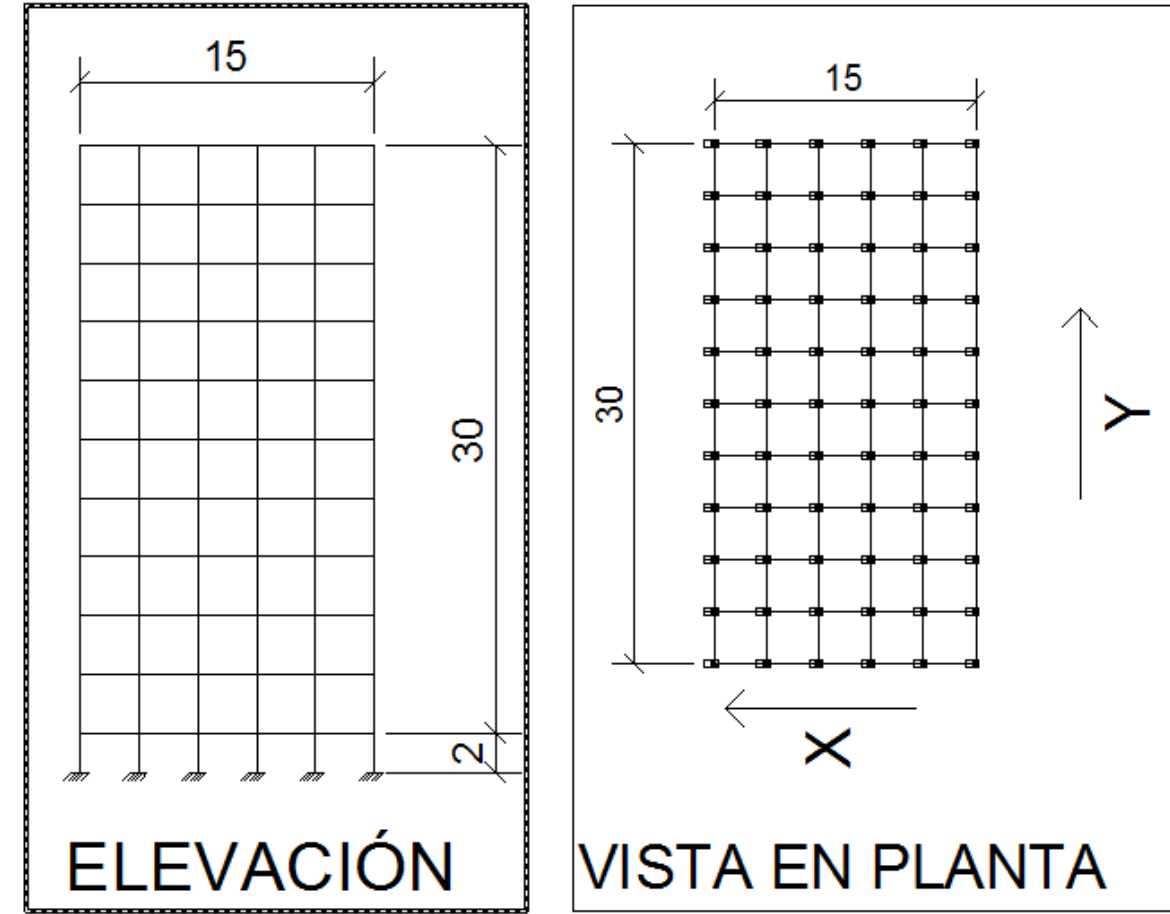


Figura 9. Vista en planta y fachada de la Estructura.

Fuente: (planos realizados para la presente tesis).

Anexo 4. Correo de aprobación de tesis.

Visto Bueno para entrega de trabajo final de graduación

Tegucigalpa M.D.C. 3 de Julio de 2019

Señores
Facultad de Postgrado
Su oficina;

Distinguidos señores;

De manera muy atenta y respetuosa, hago constar que el trabajo final de tesis **“Modelación del comportamiento de los desplazamientos laterales en estructuras regulares de concreto reforzado a medida se aumenta la dimensión “H” de sus columnas con sección transversal BxH”** presentado por el estudiante **Lester Josué Marcías García**, previa investidura al título de “Master en Ingeniería en Estructuras”, cuenta con mi aprobación para su entrega a la facultad.

Sin otro particular y agradeciendo su atención al presente;

Marco Antonio López Carrasco, Ph.D.
Docente Proyecto de Graduación, sección 10863
Facultad de Postgrado UNITEC.

Figura 9. Captura de pantalla de correo de aprobación de tesis de asesor técnico/metodológico.

Fuente: (correo electrónico).