



FACULTAD DE POSTGRADO

TESIS DE POSTGRADO

**PRE-DIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS SEGÚN LÍMITES
DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES RELATIVOS DEL
CÓDIGO HONDUREÑO DE LA CONSTRUCCIÓN**

SUSTENTADO POR:

BRAYAN ABEL ZEPEDA BARCENAS

DENNIS ALEJANDRO AGUILAR ROMERO

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE MÁSTER EN
INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS**

TEGUCIGALPA M.D.C. F.M., HONDURAS C.A.

JULIO, 2018

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

UNITEC

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

MARLON ANTONIO BREVE REYES

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

VICERECTOR ACADÉMICO

DESIREE TEJADA CALVO

DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO

CLAUDIA MARÍA CASTRO VALLE

**PRE-DIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS SEGÚN LÍMITES
DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES RELATIVOS DEL
CÓDIGO HONDUREÑO DE LA CONSTRUCCIÓN**

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

**ASESOR METODOLÓGICO
CARLOS AUGUSTO ZELAYA OVIEDO**

**ASESOR TEMÁTICO
OSCAR RENÉ SÁNCHEZ**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN EVALUADORA
CECILIA GARCÍA
KARLA UCLÉS**



FACULTAD DE POSTGRADO

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS SEGÚN LÍMITES DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES RELATIVOS DEL CÓDIGO HONDUREÑO DE LA CONSTRUCCIÓN

SUSTENTADO POR:

BRAYAN ABEL ZEPEDA BARCENAS

DENNIS ALEJANDRO AGUILAR ROMERO

Resumen

Esta investigación brinda un método gráfico para el pre-dimensionamiento de columnas de marcos rígidos de concreto, conforme a los desplazamientos laterales relativos admisibles del Código de Hondureño de la Construcción. Este método posee un nomograma de desplazamientos laterales relativos admisibles y los cortantes basales aplicados sobre una estructura, para así determinar las inercias de las columnas y sus dimensiones. Algunas idealizaciones para el diseño de este método incluyen qué; No se consideraron los análisis inelásticos y de segundo orden y solo se tuvieron en cuenta el elástico y el de primer orden, no se utilizaron estructuras tridimensionales, y todos los desplazamientos y fuerzas son bidimensionales, solo se utilizó concreto reforzado. El nomograma se desarrolló con un algoritmo programado con el lenguaje de programación R que permite el análisis basado en la vectorización. Además, se llevaron a cabo varias encuestas que corroboran la necesidad de una herramienta para facilitar a los diseñadores durante el pre-dimensionamiento.

Palabras Claves: Cargas laterales, Columnas, Desplazamientos laterales relativos, Inercia, Marco rígido, Nomograma, Pre-dimensionamiento.



POSTGRADUATE FACULTY

**PRELIMINARY DESIGN OF COLUMNS IN ACCORDANCE TO
PERMISSIBLE RELATIVE LATERAL DISPLACEMENTS OF THE
HONDURAN CONSTRUCTION CODE**

PRODUCED BY:

BRAYAN ABEL ZEPEDA BARCENAS

DENNIS ALEJANDRO AGUILAR ROMERO

Abstract

This research provides a graphical method that allows the preliminary design of rigid frame concrete structure's columns, that comply to the permissible relative lateral displacement tests established by the Honduran Construction Code. This method includes a nomogram that uses the permissible relative lateral displacement and seismic shear forces applied on a structure to determine the column's inertias and its cross sections dimensions. Some idealizations for the design of this method include that; Inelastic and second order analysis were not considered and only elastic and first order were taken into account, three dimensional structures were not used therefore all displacements and forces are two dimensional, only reinforced concrete was used. The nomogram was developed using results obtained with an algorithm programmed with the R programming language that allows analysis based on vectorization. In addition, several surveys were carried out that substantiate the need for a tool to ease the designers during the preliminary design of columns.

Keywords: Columns, Inertia, Lateral Loads, Nomogram Pre-dimensioning, Relative Lateral Displacements, Rigid Frame.

DEDICATORIA

En primer lugar, va dirigido a Dios por su enorme misericordia y por permitirnos alcanzar este logro; en segundo lugar, es dedicado a nuestros padres quienes han sido parte vital para alcanzar las metas que nos hemos planteado a lo largo de nuestras vidas y, en todos momentos de manera incondicional y sin importar las circunstancias. A nuestros colegas por compartir de sus conocimientos y experiencias vividas.

Brayan Abel Zepeda Barcenas.

Dennis Alejandro Aguilar Romero.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro agradecimiento a:

Al creador del universo por habernos permitido terminar este trabajo de tesis.

A nuestras familias por su apoyo económico y moral respectivamente.

A nuestros colegas y amigos quienes han sido un apoyo incondicional.

A los Catedráticos de la maestría “Ingeniería en estructuras” por sus conocimientos valiosos y oportunos en la elaboración de esta tesis.

A los Catedráticos de pregrado que siempre nos impulsaron y motivaron para seguir desarrollando nuestros estudios.

Brayan Abel Zepeda Barcenás.

Dennis Alejandro Aguilar Romero.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedente del problema	2
1.3 Definición del problema	2
1.3.1 Enunciado	2
1.3.2 Planteamiento del problema	3
1.3.3 Preguntas de investigación	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Justificación.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Análisis de la situación Actual	6
2.2 Teorías	12
2.2.1 Teorías de sustento	12
2.2.2 Conceptualización	15
2.3 Metodologías aplicadas	17
2.3.1 Elementos Finitos	17
2.3.2 Método de los desplazamientos.....	17

2.3.3	Comparación y validación de resultados	31
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....		36
3.1	Congruencia metodológica.....	36
3.1.1	Variables en estudio.....	38
3.1.2	Operacionalización de las variables	39
3.2	Enfoque y métodos	40
3.3	Diseño de la investigación.....	41
3.3.1	Población	42
3.3.2	Muestra	43
3.3.3	Unidad de análisis.....	43
3.3.4	Unidad de respuesta.....	43
3.4	Instrumentos, técnicas, y procedimientos aplicados.....	44
3.4.1	Instrumentos	44
3.4.2	Técnicas.....	45
3.4.3	Procedimiento.....	45
3.5	Fuentes de información	45
3.5.1	Fuentes primarias.....	45
3.5.2	Fuentes secundarias	46
3.6	Limitantes del estudio.....	46
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....		47
4.1	Resultados de encuesta	47

4.2	Resultados de entrevista	51
4.3	Resultados de Análisis de sensibilidad.....	52
4.4	Resultados de programa codificado.....	54
4.4.1	Procedimiento.....	54
4.4.2	Estructuras	55
4.4.3	Análisis estructural	59
4.4.4	Algoritmo programado	62
4.5	Propuesta	91
4.5.1	Método gráfico para el pre-dimensionamiento de columnas según desplazamientos laterales máximos relativos.....	91
4.5.2	Introducción.....	91
4.5.3	Descripción de la propuesta.....	92
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		99
5.1	Conclusiones.....	99
5.2	Recomendaciones	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....		102
ANEXOS		104

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

En la actualidad, la necesidad de realizar construcciones resistentes a las cargas laterales es cada vez más importante. Los requisitos mínimos para el análisis y diseño de estructuras resistentes a este tipo de cargas son brindados por los códigos de construcción pertinentes a cada país. En Honduras el código de construcción vigente es el Código Hondureño de la Construcción, legalizado mediante el decreto 173-2010.

Las normativas de construcción en la actualidad limitan los desplazamientos laterales a los que estará expuesta una edificación ante eventos sísmicos a través de los desplazamientos laterales relativos de piso, en muchos países de Latinoamérica también se les conoce como derivas, las cuales están asociadas a la rigidez y el material del cual está constituido el piso de la estructura.

En Honduras el Código Hondureño de la Construcción establece parámetros que regulan los desplazamientos relativos de piso en base a la relación rigidez-ductilidad de la estructura, considerando el tipo de estructura resistente a cargas laterales. Se conoce que el elemento horizontal, el cual une los elementos verticales resistentes a cargas laterales, deberá ser lo suficientemente rígido o con un comportamiento diafragmático para transmitir la totalidad de los desplazamientos y las cargas de tal manera que el ingeniero proyectista logre predecir de manera acertada el comportamiento de una estructura para garantizar una predicción lo más realista posible de su comportamiento.

1.2 Antecedente del problema

Cada vez que se realiza un diseño de alguna edificación, el ingeniero deberá proyectar un sistema resistente a cargas laterales de tal manera que se cumplan con los desplazamientos laterales relativos permisibles según los códigos de construcción, los cuales han sido estudiados por muchos años y aplicados en diferentes países del mundo con algún grado de similitud. En Honduras, el Código Hondureño de la Construcción, basado en el UBC-94 (Uniform Building Code, 1994), establece los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles cuando se realiza el diseño de alguna edificación, basándose en el tipo de estructura resistente a carga laterales.

En muchas ocasiones el Ingeniero al realizar sus diseños, deberá someterse a un proceso de iteración en las secciones de columnas hasta conseguir que su estructura cumpla con las exigencias de desplazamiento lateral relativo propuestas por la Normativa de Construcción. Los métodos tradicionales para el pre-dimensionamiento se basan en la posición de estas y no de las condiciones adversas a la que estará sujeta.

1.3 Definición del problema

1.3.1 Enunciado

Actualmente cuando se hacen diseños de edificaciones, los ingenieros, previo al análisis estructural, se procede a la etapa del modelado y pre-dimensionamiento de todos los elementos que conforma una estructura o edificación cualquiera, en base a la longitud y ubicación como en caso de las vigas y columnas.

En muchas ocasiones, cuando se parte con el pre dimensionamiento de las estructuras, no se cumple con los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles ante eventos sísmicos regulados por las normativas y se entra en un proceso iterativo, modificando la geometría local de los elementos, hasta que se logra obtener un modelo idóneo, que cumpla satisfactoriamente con las derivas permitidas por los códigos de construcción y posteriormente realizar el diseño final que permitirá resistir las solicitaciones de carga en servicio.

Por todo lo mencionado anteriormente, los procesos de análisis y diseño de la estructura son exigentes para los diseñadores de edificaciones, ya que depende de múltiples iteraciones y modificaciones en las rigideces de los elementos resistentes a desplazamientos laterales para que se satisfagan las derivas laterales relativas admisibles lo que indican los códigos de construcción.

1.3.2 Planteamiento del problema

La cantidad de iteraciones necesarias para definir las secciones de columnas que cumplan con los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles establecidos por el Código Hondureño de la Construcción

1.3.3 Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son las variables que reducen los desplazamientos laterales de una estructura?
2. ¿Qué limitaciones existen para generar la metodología de pre-dimensionamiento de columnas que cumplan con los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles que establece el Código Hondureño de la Construcción?

3. ¿Cuál es el beneficio de obtener un nomograma que permita establecer las dimensiones a partir de la inercia deseada según las limitaciones de desplazamientos laterales relativos del Código Hondureño de la Construcción?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Aportar un método que reduzca el número de iteraciones necesarias para definir las secciones de columnas que cumplan con los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles establecidos por el Código Hondureño de la Construcción.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Identificar las principales limitantes en la generación del método para utilizar el nomograma para el pre-dimensionamiento de columnas.
2. Identificar las variables que reducen los desplazamientos laterales.
3. Proponer un nomograma de pre-dimensionamiento de secciones de columna para cumplir los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles del Código Hondureño de la Construcción.
4. Proponer un método para el pre-dimensionamiento de columnas según el control de los desplazamientos laterales relativos.

1.5 Justificación

Esta propuesta se genera debido a la necesidad de poseer un método de pre-dimensionamiento de columnas orientado al control de desplazamientos laterales relativos máximos admisibles para disminuir el número de iteraciones realizadas para encontrar las secciones geométricas que cumplan con los requerimientos admisibles por el Código Hondureño de la Construcción.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En la actualidad todas las normativas de construcción limitan los diseños sismo resistente en base a los desplazamientos laterales relativos de piso, además existen diferentes textos y autores que tienen criterios válidos para preservar la seguridad e integridad estructural de los marcos sismo resistentes. Este capítulo contiene el fundamento teórico utilizado para desarrollar esta investigación.

2.1 Análisis de la situación Actual

Los códigos de construcción establecen como las estructuras deben ser diseñadas para resistir cargas gravitacionales, ocupacionales y laterales como las de viento y sismo.

Los Edificios y otras estructuras, y todas sus partes, deberán diseñarse y construirse para sostener, dentro de las limitaciones especiales en este código, todas las cargas muertas y todas las otras cargas especificadas dentro de estas normas, en todas partes de este código. Las cargas de impacto deberán considerarse en el diseño de cualquier estructura donde ocurren cargas de impacto. (Código Hondureño de la Construcción, 2008)

Toda edificación deberá ser capaz de resistir las cargas laterales debido a efectos sísmicos, las normativas de construcción establecen los criterios a considerar, en el análisis y diseño de cada elemento estructural que garanticen la durabilidad y seguridad de las estructuras.

Los movimientos del terremoto producen cargas sísmicas en las estructuras, aun aquellas que no son parte del sistema resistente a las cargas laterales. Estas fuerzas pueden ser horizontales y verticales y pueden someter a los elementos estructurales a fuerzas axiales, momentos y fuerzas cortantes cuyas magnitudes dependen de muchas de las propiedades de la estructura, tales como su masa, su rigidez y su ductilidad. (McCormac J., 2011)

Las edificaciones deberán ser diseñadas y capaces de resistir las cargas sísmicas que actúen en cualquiera de dirección; no es preciso conocer con exactitud el sentido en que actúe un sismo o el punto en que impactara, por lo que se deben de realizar estructuras suficientemente resistentes a cargas laterales en todas sus direcciones.

“Las estructuras deberán diseñarse para fuerzas sísmicas que actúan en cualquier dirección horizontal” (Código Hondureño de la Construcción, 2008, P-1.28).

Un marco rígido, es sometido a diferentes tipos y combinaciones de carga de; fuerzas axiales, fuerzas cortantes, momentos flexionantes y momentos torsionales. En el caso de los marcos rígidos, los nodos restringen las rotaciones y por tanto generan momentos internos como reacciones a las cargas externas.

Un marco plano se define como un ensamblaje bidimensional de miembros rectos conectados entre sí mediante conexiones rígidas y / o articuladas, y sujetos a cargas y reacciones que se encuentran en el plano de la estructura. Bajo la acción de cargas externas, los miembros de un bastidor plano pueden someterse a fuerzas axiales como los miembros de cerchas planas, así como momentos de flexión y cizallas como los miembros de vigas. Por lo tanto, las relaciones de rigidez para miembros de bastidor plano se pueden obtener convenientemente combinando las relaciones de rigidez para cercha plana y miembros de viga. (Kassimali A., 2012)

La rigidez lateral de un marco rígido es proporcionada por la geometría de la sección transversal de sus columnas. Al tener mayor rigidez lateral en una estructura, será posible en gran medida reducir los desplazamientos laterales. Es importante definir un sistema de losa diafragmática para que el sistema tenga un comportamiento uniforme.

Una estructura de gran altura de armazón rígida se comprende típicamente de elementos dispuestos paralela u ortogonalmente que consisten en columnas y vigas conjuntas resistentes a los momentos.

La continuidad del marco también aumenta la resistencia a la carga de gravedad al reducir los momentos positivos en las vigas. Las ventajas de un marco rígido son la simplicidad y la conveniencia de su forma rectangular. (Taranath S., 2010)

Es importante distribuir adecuadamente el peso y las rigideces de las edificaciones, debido a que de esto depende su comportamiento ante los eventos sísmicos, a su vez se debe proporcionar la rigidez o ductilidad necesaria para obtener una respuesta satisfactoria de las estructuras.

“La forma de la construcción, el tipo y arreglo de los elementos estructurales y la distribución de las masas del edificio tienen la influencia decisiva en la bondad del diseño sísmico resistente; mucho más que para el diseño ante otras acciones” (Piralla M., 2002, P.474).

Un edificio tendrá desplazamientos laterales en todos sus pisos, debido a las cargas sísmicas, cargas viento y en algunos casos a las cargas gravitacionales, Estos desplazamientos que sufrirá una edificación en cada piso se conocen como desplazamientos laterales relativo; los pisos sufren estos desplazamientos de acuerdo a las cargas que se distribuyen en ese piso y adicionalmente de las cargas que se producen en los pisos inferiores.

“El desplazamiento relativo de piso es el desplazamiento lateral de un nivel relativo al del nivel superior o inferior debido a las fuerzas laterales de diseño” (Código Hondureño de la Construcción, 2008, P-1.32).

A pesar de que las estructuras tengan materiales dúctiles que permitan grandes desplazamientos laterales, los códigos de construcción exigen que las estructuras tengan un cierto grado de rigidez, para que así la estructura no se comporte solamente de manera flexible o rígida, esta exigencia se cumple en parte mediante las deformaciones laterales máximas admisibles.

El aprovechamiento de la ductilidad está limitado por el control de las deformaciones laterales. Al tener que respetar los requisitos de deformaciones laterales, es necesario que la estructura posea una rigidez lateral mínima que impide en la mayoría de los casos el aprovechamiento de grandes factores de reducción por ductilidad (Piralla M., 2002, P.481).

El desplazamiento lateral de la estructura es calculado utilizando el principio de las deformaciones compatibles. Al construir un diafragma rígido, en la estructura real, se asegura que todos los elementos verticales se desplacen lateralmente de la misma manera. Lo anterior asegura que la estructura real tenga desplazamientos laterales muy similares a los calculados.

Debe procurarse que los entrepisos se comporten, como diafragmas rígidos en su propio plano, capaces de distribuir las fuerzas sísmicas entre los sistemas sismo resistente, de acuerdo con sus respectivas rigideces y capacidades. El profesional responsable del diseño debe verificar que la rigidez y la capacidad estructural de los diafragmas rígidos sea la adecuada para cumplir con estos requisitos. (Código Sísmico de Costa Rica, 2010)

Debido a que las deformaciones que sufren los diafragmas son tan pequeñas es posible despreciarlas y considerar el diafragma como infinitamente rígido, por lo que la estructura real cumple con el principio de deformaciones compatibles para calcular los desplazamientos laterales.

Los diafragmas de entrepiso, siempre y cuando posean la rigidez y resistencias adecuadas, se pueden considerar como diafragmas infinitamente rígidos en su plano, capaces de transmitir horizontalmente las fuerzas sísmicas a los sistemas sismo resistente. Cuando el diafragma es rígido, las cargas horizontales del sismo de cada nivel se distribuyen. (Código Sísmico de Costa Rica, 2010)

En el caso de que los materiales de la estructura sean sometidos a esfuerzos mayores a los de fluencia las deformaciones laterales deben ser calculadas considerando la etapa inelástica. Los cálculos en la etapa inelástica son mucho más complejos que en la etapa elástica, no obstante,

aseguran que las secciones no sean tan grandes a como serian de calcularse utilizando las idealizaciones de que los materiales solo se comportan elásticamente.

Los códigos requieren que las estructuras posean la ductilidad adecuada para permitir disipar la mayor parte de la energía de los movimientos del suelo a través de deformaciones inelásticas. Este concepto evita que los edificios colapsen incluso si se encuentran seriamente dañados ya que generalmente es antieconómico diseñar la mayoría de los edificios para que respondan elásticamente a terremotos de moderados a fuertes. (El-Betar, 2017)

El desplazamiento lateral relativo es utilizado para simplificar el análisis de los desplazamientos laterales. Al comparar los desplazamientos laterales de los pisos superiores en las estructuras con los pisos inferiores se puede llegar a observar grandes diferencias, sin embargo, si se utilizan los desplazamientos laterales relativos con un piso a otro entonces es posible comparar los desplazamientos.

“El desplazamiento lateral relativo es el desplazamiento que ocurre entre dos pisos consecutivos” (Jaya P., 2016, P.490).”

Y se expresa matemáticamente como;

$$\Delta = \delta_{i+1} - \delta_i$$

Ecuación 1. Deflexión lateral relativa

Fuente: Zhou, 2012

Donde:

Δ : Deflexion lateral relativa

δ_i : Desplazamiento lateral de piso i

La importancia del control de los desplazamientos laterales relativos no solo radica en asegurarse de que la estructura tenga comportamientos rígidos y flexibles a la vez, sino también en la importancia del confort de los usuarios y la integridad del arquitectónica.

La importancia del cálculo de las derivas ya sea por fuerzas laterales sísmicas o de viento se debe a tres componentes 1) Estabilidad estructural, 2) Integridad arquitectónica y daño potencial a varios componentes no estructurales 3) Confort humano durante y después de que el edificio pasa por estas experiencias de movimiento. (Naeim F, 2001)

Los límites admisibles de los desplazamientos laterales relativos para el Código Hondureño de la Construcción se calculan utilizando los periodos de la estructura y los coeficientes numéricos según estructura R_w .

Los desplazamientos relativos calculados no deberán de exceder $0.04/R_w$ o 0.005 veces la altura de piso para estructuras que tiene un periodo fundamental menor que 0.7 segundo. Para estructuras que tienen un periodo fundamental igual o mayor que 0.7 segundos, el desplazamiento lateral relativo calculado no deberá exceder $0.03/R_w$ o 0.004 veces la altura de piso. (Código Hondureño de la Construcción, 2008)

Los límites admisibles de los desplazamientos laterales relativos se para el código ASCE 7-16 Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificios y Otras estructuras se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Límites de derivas

Estructura	Categoría de Riesgo		
	I o II	III	IV
Estructuras, que no sean de mampostería, menores a 4 pisos, como se define en la sección 11.2, con paredes interiores, particiones, cielos, y sistemas de paredes exteriores que hayan sido acomodadas para acomodar los desplazamientos relativos.	0.025h _{sx} ^c	0.020h _{sx}	0.015h _{sx}
Muros de cortante de mampostería empotradas como voladizo	0.010h _{sx}	0.010h _{sx}	0.010h _{sx}
Otro tipo de estructuras de muros de cortante de mampostería	0.007h _{sx}	0.007h _{sx}	0.007h _{sx}
Todo tipo de estructuras distinta	0.020h _{sx}	0.015h _{sx}	0.01h _{sx}

Fuente: ASCE 7-16 (2016)

2.2 Teorías

2.2.1 Teorías de sustento

Las teorías de sustento utilizadas para el desarrollo de esta investigación se explican a continuación.

Resistencia

Las características más importantes de cualquier elemento estructural es su resistencia real, la cual debe ser lo suficientemente elevada para resistir con algún margen de reserva, todas las cargas previsibles que puedan actuar sobre aquel durante la vida de la estructura, sin que está presente falla o cualquier otro inconveniente. (Nilson A., 2001)

Ley de Hooke

La fuerza que actúa sobre un cuerpo es igual al desplazamiento que este sufre, asociada a la rigidez que presenta, en otras palabras, entre mayor rigidez presenta un cuerpo, se requiere mayor energía para producir un desplazamiento en él.

“La pendiente de la recta es la relación entre esfuerzo y la deformación; se llama módulo de elasticidad y se representa por la letra E, que no expresa otra cosa que la ley de Hooke” (Singer F. & Pytel A., 2008, P.31).

El módulo de elasticidad es la propiedad la cual establece la relación inversamente proporcional entre la fuerza aplicada y la deformación obtenida. Si un elemento es sometido a una carga axial o lateral, a mayor módulo de elasticidad menor serán sus deformaciones.

El módulo de elasticidad con frecuencia se llama módulo de Young, en honor de otro científico inglés, Thomas Young (1773-1829), quien introdujo la idea de un “módulo de la elasticidad” en conexión con una investigación de tensión y compresión de barras prismáticas. (Gere J. & Goodno B., 2009, P.28)

El módulo de elasticidad es la relación entre esfuerzo y deformación unitaria, esta relación es constante hasta el límite de proporcionalidad (ver figura1). Durante la etapa inelástica, comprendida entre el límite de proporcionalidad y la ruptura el módulo de elasticidad es variable.

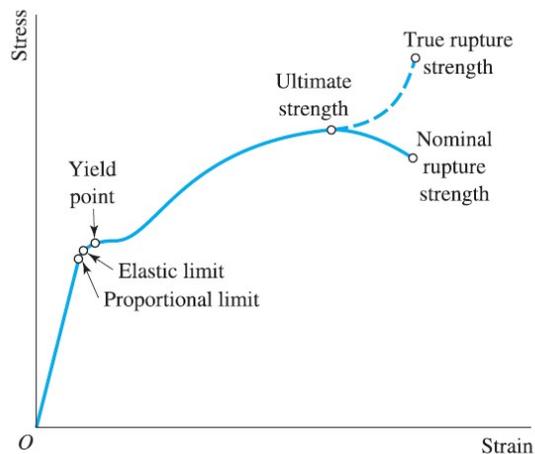


Figura 1. Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para un acero estructural común en tensión.

Fuente: Pytel A. & KyusalaAs J., 2009

Los materiales más empleados en la construcción son el acero y el concreto a los cuales a lo largo de la historia, ha sido de gran importancia poder predecir su comportamiento de manera certera, bajo carga de servicio y funcionalidad, es por eso que se han realizado múltiples estudios y ensayos, pero entre ellos los que interesa en este apartado son los ensayos que permiten controlar los comportamientos ante cargas compresivas y de tensión mediante la obtención de gráficos de esfuerzo deformación.

Experimentos realizados sometiendo a extensión barras prismáticas han hecho ver que entre ciertos límites el alargamiento de las barras es proporcional a la fuerza extensora. Esta sencilla relación lineal entre fuerzas y deformaciones fue encontrada por primera vez por el investigador inglés Robert Hooke en 1678 y lleva su nombre. (Timoshenko, 1957)

Usando la notación:

P: Fuerza total de extensión.

L: longitud de la barra.

A: Área de la sección recta de la barra.

E: Constante elástica del material, llamado módulo de elasticidad.

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

Ecuación 2. Deformación axial

Fuente: Timoshenko, 1957

En el caso del acero el comportamiento a compresión y a tensión es muy similar por lo que muestra la figura 1, es válido para su comportamiento en tensión como en compresión.

Los metales dúctiles como el acero, el aluminio y el cobre tienen límites de proporcionalidad en compresión muy cercanos a los de tensión y las regiones iniciales de sus diagramas esfuerzo deformación unitaria en compresión y tensión son casi iguales. (Gere J. & Goodno B., 2009)

En el caso del concreto por considerarse un material frágil tendrá una limitada resistencia a la tracción por lo que no es considerable para fines de resistencia de cargas y su comportamiento, mientras que a la compresión si ofrece una resistencia sustancial que permite aportar resistencia en los elementos de las muchas edificaciones, el concreto tiene un comportamiento similar al del acero a la compresión en la que ambos tienen una región lineal en la que es válida la ley de Hooke.

“Los materiales frágiles cargados en compresión usualmente tienen una región lineal inicial seguida de una región en la que el acortamiento aumenta a una velocidad ligeramente mayor que la carga”

2.2.2 Conceptualización

A continuación, se listan las definiciones de los conceptos necesarios para la compresión de este proyecto de investigación.

Columnas: “Las columnas de concreto se presentan, con mayor frecuencia, como elementos verticales de apoyo en una estructura hecha generalmente de concreto colado in situ” (Parker & Ambrose, 2008, P.188).

Diafragma: “Sistemas horizontales que actua para transmitir fuerzas laterals a elementos resistentes verticales” (IBC, 2009, P.303).

Ductilidad: “Es la propiedad que tiene un material para soportar grandes deformaciones sin fallar bajo esfuerzos alta tensión” (McCormac, 2008, P.2).

Inercia: “Es el producto de la masa de una particular y el cuadrado de la distancia de una linea recta dada” (Prescott, 1947, P.141)

Marco rígido: “Es un marco en el que los miembros y juntas son capaces de resistir fuerzas principalmente por flexión” (Código Hondureño de la Construcción, 2008, P.1-18).

Módulo de elasticidad: “El modulo de elasticidad o modulo, es la pendiente de las curvas de esfuerzo deformación en la región elástica” (Askeland & Phule, 2006, P.198).

Nomograma: “Es la representación grafica de relaciones matemáticas o de leyes” (Doerfler, 2009, P.457).

Tambien se puede definir como:

“Un grafico el cual es utilizado para resolver ciertos tipos de ecuaciones” (Steinheus, 1999, P.92).

Relación de desplazamiento lateral relativo: “Es el desplazamiento lateral relativo de un piso dividido entre la altura del piso” (Código Hondureño de la Construcción, 2008, P.1-19).

Relación resistente a cargas laterales: “Es la parte del sistema estructural asignado para resistir las fuerzas laterales” (Código Hondureño de la Construcción, 2008, P.1-19).

Rigidez: Se refiere a la capacidad de la estructura de para resistir cambios de forma (Por ejemplo, para ir alargamiento, flexión o torsión) y estabilidad se refiere a la habilidad de la estructura para resistir pandeo ante esfuerzos de compresión. (Gere J. & Goodno B., 2009)

2.3 Metodologías aplicadas

La metodología es la serie de pasos a seguir para lograr una meta o un objetivo. El objetivo específico de esta investigación consiste en proponer un modelo de métodos finitos el cual brinde las eficiencias sísmicas de un diafragma rígido en comparación a un diafragma semirrígido.

2.3.1 Elementos Finitos

Una vez que han quedado establecidas las expresiones que relacionan los desplazamientos, las deformaciones unitarias y las tensiones, en función de los desplazamientos de los nudos, se está ya en condiciones de calcular las ecuaciones de equilibrio de un elemento finito. (Lizarza, 2008)

La metodología consiste en obtener la información necesaria para realizar un modelo representativo de las estructuras de la capital.

El primer paso es realizar encuestas, y entrevistas con las cuales se obtenga toda la información necesaria para poder realizar un modelo representativo de los marcos estructurales de Tegucigalpa. Teniendo el modelo representativo del marco estructural se procede a asignar un diafragma rígido y otro semirrígido. Finalmente se analizan ambos modelos por medios de elementos finitos, y se comparan los resultados de ambos modelos.

2.3.2 Método de los desplazamientos

El método de los desplazamientos es una metodología matricial que se acopla muy bien a los elementos finitos, ya que se trabaja en base a la discretización de elementos estructurales, los grados de libertad que se presentan en los nodos de barras y la rigidez que ofrecen dichos elementos para sufrir un desplazamiento unitario ya sea desplazamiento vertical, lateral, axial o rotacional.

Mediante esta metodología se pueden encontrar los desplazamientos y fuerzas internas de cada elemento estructural debido a las condiciones de cargas externas a las que esté sometida o combinaciones de carga.

“El método de los desplazamientos puede aplicarse con la misma facilidad a las estructuras estáticamente determinadas como a las estructuras estáticamente indeterminadas” (Hsieh., 1986, P.405).

2.3.2.1 El procedimiento del método de los desplazamientos

El proceso consiste en dividir la estructura plana en miembros y nodos, los cuales deberán ser identificados con una numeración particular para cada nodo y para cada miembro, esto se hará en base a secciones transversales, en el caso que se presente un elemento con dos secciones diferentes se deberá colocar un nodo en el punto de transición.

“El proceso de dividir los cuadros planos en miembros y uniones, para los fines del análisis, es decir, un marco plano se divide en miembros y uniones para que: (a) todos los miembros sean rectos y prismáticos, y (b) todas las reacciones externas actúen solo en las articulaciones” (Kassimali A., 2012, P.250).

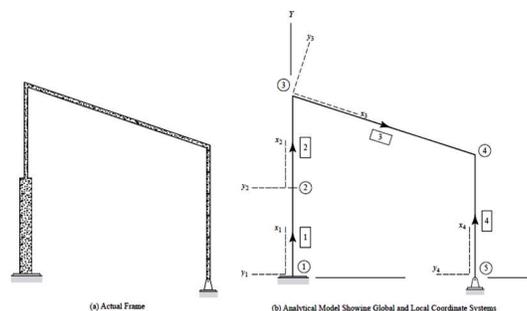


Figura 2. Identificación de elementos en un marco plano

Fuente: Kassimali A., 2012

A continuación, se da un ejemplo de cómo se hace la división de los elementos y nodos:

En la figura 2(a) se muestra que la columna que compone el marco tiene una doble sección, es decir que tiene dos rigideces diferentes, como se aprecia en la figura 2(b) justo en el punto que se da esta la transición de secciones, se coloca un nodo. Luego se continúa con la numeración de los nodos y elementos como también se demuestra.

Además, se colocan los ejes globales de cada elemento y el eje global de toda la estructura, siguiendo la lógica de la figura 2(b). El origen del sistema usualmente se coloca en el primer nodo izquierdo de igual manera la nomenclatura de nodos y elementos barra se realiza en el sentido de izquierda a derecha, teniendo en cuenta que será positivo hacia arriba y hacia la derecha respecto al eje local de cada elemento, en otras palabras, el sistema se considera positivo el sistema si es diestra su nomenclatura.

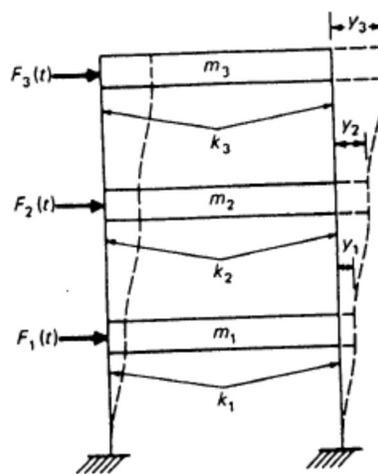


Figura 3. Desplazamientos unitarios en marco rígido

Fuente: Paz M., 1992

Se deberán de seleccionar los grados de libertad, cada nudo que tenga posibilidad de rotación y/o desplazamiento deberá tener 3 grados de libertad, es decir desplazamiento en el eje global XY y rotación alrededor del global Z, los nodos que tengan una condición de empotramiento no deberán de permitir ningún grado de libertad y los nodos que tengan una condición articulado solo deberá permitir rotaciones alrededor del eje global Z.

Los grados de libertad de un marco plano son simplemente los desplazamientos desconocidos (traslaciones y rotaciones) de sus uniones. Como una articulación no soportada de un marco plano puede trasladarse en cualquier dirección en el plano XY y girar alrededor del eje Z, se necesitan tres desplazamientos, las traslaciones en las direcciones X e Y, y la rotación alrededor del eje Z, para especificar completamente su deformación en la posición. Por lo tanto, una unión libre de un marco plano tiene tres grados de libertad, y las coordenadas de tres estructuras (es decir, coordenadas libres y / o restringidas) necesitan definirse en cada unión, para el propósito del análisis (es decir, NCJT = 3). (Kassimali A., 2012)

La deformada se plantea debido a los grados de libertad en el sentido positivo, es decir los desplazamientos verticales hacia arriba, los desplazamientos horizontales hacia la derecha y las rotaciones en el sentido horario en los puntos, como se demuestra en la figura 3.

Crear el vector de desplazamientos de la siguiente manera:

$$\delta^e = \{U_1 \quad V_1 \quad U_2 \quad V_2 \quad \dots \quad U_n \quad V_n\}^T$$

Ecuación 3. Vector de desplazamientos

Fuente: Celigüeta J., 2008

Se deberá de calcular las rigideces locales de todos los elementos que componen el marco rígido.

Se tomará como ejemplo un elemento de un marco en el cual deberán de aplicarse desplazamientos unitarios en sentido del eje x , en sentido del eje Y alrededor del eje Z , para determinar las fuerzas necesarias para producir dichos desplazamientos, esto es obtener las rigideces locales de los elementos.

A continuación, se ilustra en la figura un marco del cual se extrae un elemento "m" y se explicara cómo se obtienen las rigideces locales de dicho elemento.

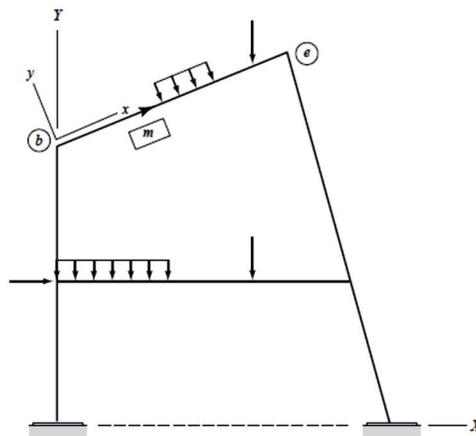


Figura 4. Desplazamientos locales grados de libertad en elemento "m"

Fuente: Kassimali A., 2012

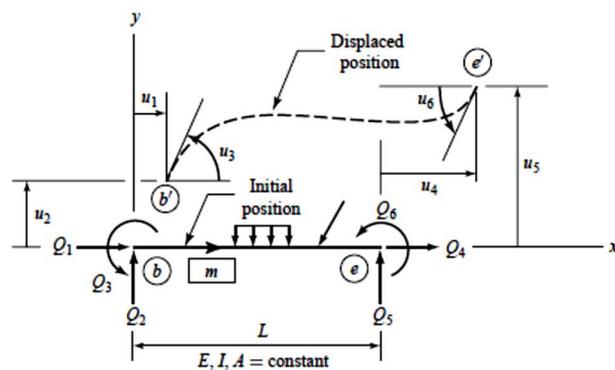


Figura 5. Coordenadas locales en elemento m

Fuente: Kassimali A., 2012

En la figura 5, muestra todos los grados de libertad en el elemento “m” y además los desplazamientos en cada grado de libertad según la configuración positiva. Para las rigideces debida a los desplazamientos verticales se deberán obtener las fuerzas necesarias para calcular un desplazamiento vertical unitario.

En otras palabras, la rigidez cortante, para el desplazamiento horizontal en sentido global X, de deberá obtener la rigidez axial del elemento “m” y para obtener el desplazamiento rotacional unitario se deberá de calcular la fuerza necesaria para conseguir una rotación unitaria en el elemento “m”. A continuación, se muestra la figura 6 la manera en que pueden obtener las rigideces locales.

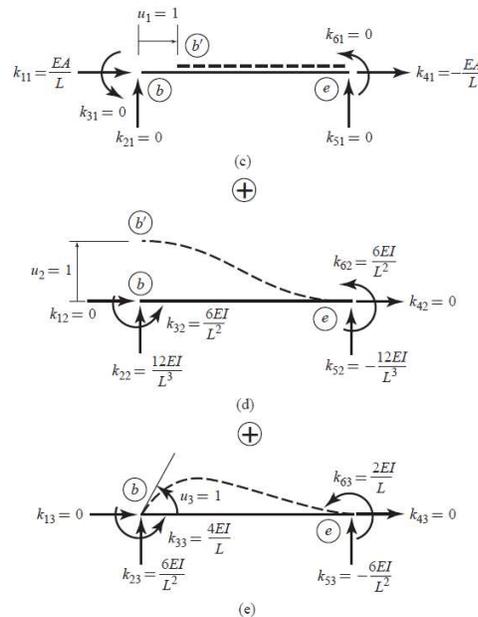


Figura 6. Rigideces locales de un elemento.

Fuente: Kassimali A., 2012

En la figura 6(c), se muestran las fuerzas que representan las rigideces locales, para producir un desplazamiento horizontal en el elemento.

En la figura 6(d), se muestran las fuerzas que representan las rigideces locales, para producir un desplazamiento vertical en el elemento.

En la figura 6(e), se muestran las fuerzas que representan las rigideces locales, para producir un desplazamiento rotacional en el nodo b elemento.

Por el principio de la ley de Hooke, se sabe que el producto del módulo de elasticidad de un material y el desplazamiento que sufre este se puede lograr obtener la fuerza que actúa sobre dicho cuerpo, siempre y cuando las deformaciones estén en el límite elástico.

Experimentos realizados sometiendo a extensión barras prismáticas han hecho ver que entre ciertos límites el alargamiento de las barras es proporcional a la fuerza extensora. Esta sencilla relación lineal entre fuerzas y deformaciones fue encontrada por primera vez por el investigador inglés Robert Hooke en 1678 y lleva su nombre (Timoshenko, 1957)

Para los elementos de un marco se pueden expresar en términos de fuerzas internas en los elementos y las fuerzas externas que provocan los desplazamientos y rotaciones en ella de la siguiente manera y la rigidez se puede asociar a la elasticidad del elemento:

$$\begin{Bmatrix} f_{s1} \\ f_{s2} \\ \cdot \\ \cdot \\ f_{sn} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1j} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2j} & \dots & k_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \dots & \cdot \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nj} & \dots & k_{nn} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ u_n \end{Bmatrix}$$

Ecuación 4. Ecuación de fuerzas y rigideces.

Fuente: Chopra A., 2014

El método de los desplazamientos consiste en resolver el sistema de ecuaciones mediante sistemas de ecuaciones en matrices, es decir que para cada elemento se deberán de tener 2 nodos en sus extremos y en cada nodo 3 grados de libertad, esto equivale a 6 ecuaciones para determinar los desplazamientos sufridos debido a las cargas actuantes externas, de la siguiente manera:

$$Q = ku + Q_f$$

Ecuación 5. Ecuación de equilibrio de fuerzas externas e internas

Fuente: Kassimali, A. 2012

Representado en forma matricial de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Q_{f1} \\ Q_{f2} \\ Q_{f3} \\ Q_{f4} \\ Q_{f5} \\ Q_{f6} \end{bmatrix}$$

Ecuación 6. Sistema de ecuaciones de Fuerza Desplazamiento

Fuente: Kassimali A.,2012

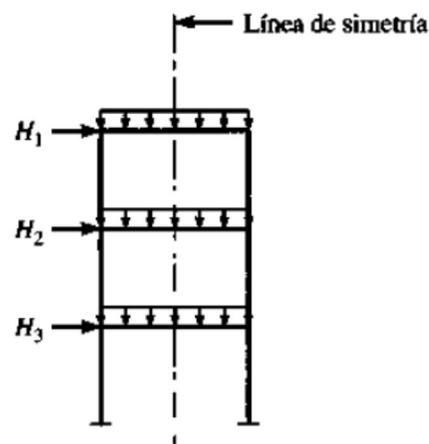


Figura 7. Carga externa aplicada a un marco rígido

Fuente: Vinnakota S., 2006

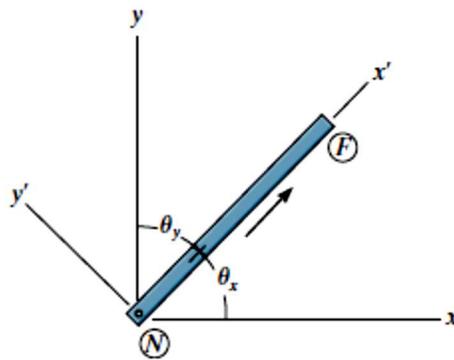


Figura 8. Descomposición de fuerzas en coordenadas locales

Fuente: Hibbeler R.C., 2012

Como se aprecia en la figura 10, se deberá de descomponer las fuerzas que sean de ejes globales a fuerzas en ejes locales, dado que se requiere obtener en cada elemento las fuerzas actuantes en sus ejes locales, además se han obtenido las rigideces locales de los elementos, por tanto, se deberá de trabajar todo en base a los ejes locales.

Una forma de encontrar las componentes de las fuerzas en las barras inclinadas es descomponiendo la fuerza global en sus componentes como se muestra a continuación:

$$\lambda_x = \cos \theta_x = \frac{x_F - x_N}{L} = \frac{x_F - x_N}{\sqrt{(x_F - x_N)^2 + (y_F - y_N)^2}}$$

$$\lambda_y = \cos \theta_y = \frac{y_F - y_N}{L} = \frac{y_F - y_N}{\sqrt{(x_F - x_N)^2 + (y_F - y_N)^2}}$$

Ecuación 7. Cosenos directores

Fuente: Hibbeler R.C.,2012

$$Q_{Nx} = q_N \lambda_x \quad Q_{Ny} = q_N \lambda_y$$

$$Q_{Fx} = q_F \lambda_x \quad Q_{Fy} = q_F \lambda_y$$

Ecuación 8. Descomposición de fuerzas

Fuente: Hibbeler R.C.,2012

Se deberán de realizar transformación de coordenadas, debido a que no todos los elementos tienen la misma relación de ejes locales, dicha transformación de rigideces en base a sus coordenadas, se realizan con respecto a los ejes globales para que las resultantes estén en base una dirección general.

Por lo tanto, se hace necesario transformar las relaciones de rigidez de los miembros de un marco plano de sus sistemas de coordenadas locales al sistema de coordenadas global antes de que puedan combinarse para establecer las relaciones de rigidez para todo el marco. (Kassimali A., 2012)

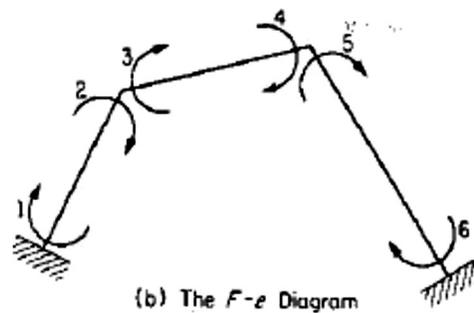


Figura 9. Marco rígido con viga inclinada y momentos internos

Fuente: Wang Ch. K., 1966

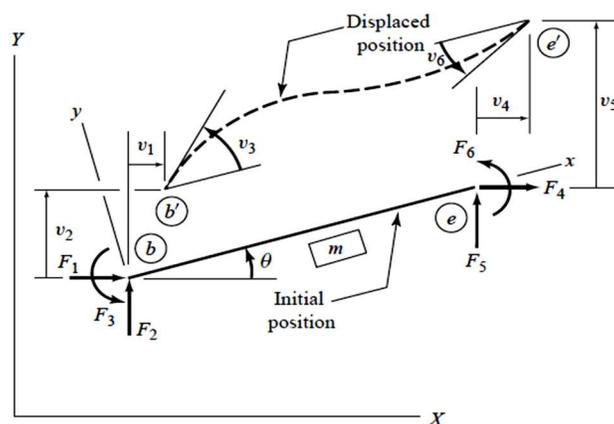


Figura 10. Descomposición de fuerzas locales

Fuente: Kassimali A., 2012

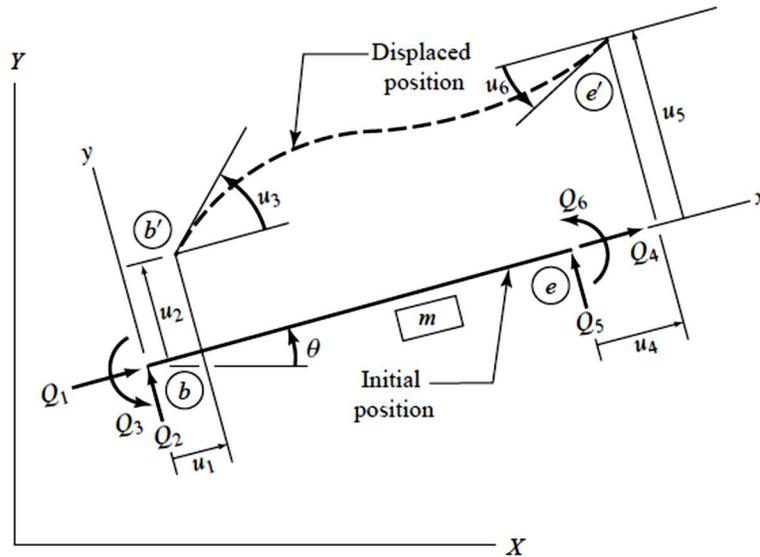


Figura 11. Transformación de fuerzas locales a globales

Fuente: Kassimali A., 2012

Como se muestra en la figura 11. Las cargas externas actúan sobre un elemento que no es ortogonal a ningún eje, ni al eje X, ni al eje Y, por lo que se deberán de encontrar las fuerzas actuantes en los ejes locales del elemento.

En la figura 12 se muestra cómo se transforman esas cargas actuantes en ejes locales a ejes globales.

Para la transformación de dichas fuerzas se pueden aplicar las siguientes ecuaciones:

$$Q_1 = F_1 \cos \theta + F_2 \sin \theta$$

Ecuación 9 . Fuerza horizontal en eje local X, en apoyo A

Fuente: Kassimali A., 2012

$$Q_2 = -F_1 \sin \theta + F_2 \cos \theta$$

Ecuación 10. Fuerza horizontal en eje local X, en apoyo B

Fuente: Kassimali A., 2012

$$Q_3 = F_3$$

Ecuación 11. Para momentos en apoyo A

Fuente: Kassimali A., 2012

$$Q_4 = F_4 \cos \theta + F_5 \sin \theta$$

Ecuación 12. Fuerza horizontal en eje local X, en apoyo B

Fuente: Kassimali A., 2012

$$Q_5 = -F_4 \sin \theta + F_5 \cos \theta$$

Ecuación 13. Fuerza horizontal en eje local Y, en apoyo B

Fuente: Kassimali A., 2012

$$Q_6 = F_6$$

Ecuación 14. Para momentos en apoyo B

Fuente: Kassimali A., 2012

Dado que las fuerzas locales y globales están relacionadas en sistemas de ecuaciones se puede apoyar del algebra vectorial para resolver dichas ecuaciones y poder obtener una matriz de transformación, nótese que el tamaño de las matrices de transformación es de 6x6, es debido a que cada elemento tiene 6 grados de libertad, es decir 3 grados en cada nodo.

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{bmatrix}$$

Ecuación 15. Sistemas de ecuaciones para un elemento

Fuente: Kassimali A., 2012

De manera implícita se puede decir que este sistema se puede interpretar de la siguiente manera:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{T}\mathbf{F}$$

Ecuación 16. Transformación de sistema local a global

Fuente: Kassimali A., 2012

Como resultado se puede afirmar que la matriz de transformación global de ejes resulta ser:

$$\mathbf{T}^T = \begin{bmatrix} \lambda_x & 0 \\ \lambda_y & 0 \\ 0 & \lambda_x \\ 0 & \lambda_y \end{bmatrix}$$

Ecuación 17. Matriz de transformación de ejes locales a globales

Fuente: Hibbeler R.C., 2012

Al resolver el sistema de ecuaciones mediante la matriz inversa de la matriz de transformación se puede observar que la matriz inversa es igual a la matriz transpuesta de la matriz inversa, como se demuestra a continuación:

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix}$$

Ecuación 18. Fuerzas en sistema de coordenadas global

Fuente: Kassimali A., 2012

Por tanto, se puede concluir que:

$$\mathbf{T}^{-1} = \mathbf{T}^T$$

Ecuación 19. Igualdad de matriz inversa y matriz transpuesta en la matriz de transformación

Fuente: Kassimali A., 2012

$$\mathbf{F} = \mathbf{T}^T \mathbf{Q}$$

Ecuación 20. Vector de fuerzas de estructura en coordenadas globales

Fuente: Kassimali A., 2012

$$\mathbf{k} = \mathbf{T}^T \mathbf{k}' \mathbf{T}$$

Ecuación 21 Matriz de rigidez global del elemento

Fuente: Hibbeler R.C., 2012

En resumen, todo el proceso para la solución de los marcos mediante matrices por el método de los desplazamientos:

- 1) Identificar todos los grados de libertad y coordenadas restringidas del marco en cada uno de sus elementos.
- 2) Definir la matriz de rigideces locales y el vector de fuerzas internas de cada elemento.
 - a) Obtener la longitud y los cosenos directores de cada uno de los elementos.
 - b) Obtener la matriz de rigidez global de cada elemento, al multiplicar la matriz de rigidez local por la matriz de transformación de sus cosenos directores.
 - c) Obtener la matriz de fuerzas externas mediante las fuerzas externas de sus ejes locales y convertirlas a ejes globales mediante la matriz de transformación de cosenos directores.

- d) Verificar que la matriz de rigidez local sea simétrica.
- 3) Determinar la presencia de fuerzas en nodos, en caso de que existe crear una matriz de fuerzas externas en los nodos.
- 4) Calcular los desplazamientos de los extremos, las fuerzas finales y las reacciones en los apoyos.
- 5) Con los desplazamientos globales, se deberán obtener los despeamientos locales de cada elemento y luego obtener las fuerzas en cada elemento.

2.3.3 Comparación y validación de resultados

Toda sección de pre-dimensionamiento debe pasar por un proceso de revisión para confirmar que las secciones geométricas cumplen los requerimientos del Código Hondureño de la Construcción. La propuesta presentada ofrece secciones de pre-dimensionamiento las cuales reducen el número de iteraciones necesarias para alcanzar la sección geométrica definitiva de la columna.

Las secciones de predimensionamiento obtenidas con el método propuesto deben ser utilizadas en el modelo estructural de la edificación que se busca diseñar se le deberá realizar la revisión de acuerdo a lo exigido por el Código de Construcción hasta lograr el diseño que se requiere. Estos procesos generalmente son realizados en programas estructurales como el SAP 2000 o el Etabs.

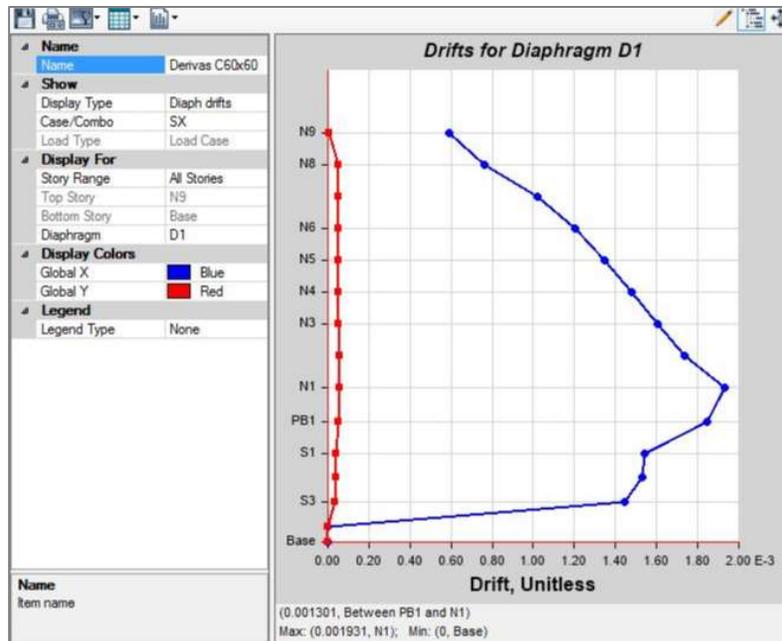


Figura 12. Resultados de Relación de desplazamiento lateral relativo.

Como ejemplo a lo descrito, se presenta la figura 12 que muestra un gráfico de relaciones de desplazamiento laterales relativos obtenidos con Etabs, que corresponde a una estructura de 14 pisos con cortantes basales de 132.50 toneladas por cada marco rígido analizado del edificio, un R_w de 12, un periodo fundamental de 2.96 segundos y secciones de columnas 60 x 60cm, obtenidas con el nomograma del método propuesto en esta investigación.

En el gráfico se logra apreciar como la relación de desplazamiento laterales relativos (drift en inglés) es alrededor a 0.00195, y con una altura de piso de 4.35 metros su desplazamiento relativo máximo corresponde a 0.84 cm. Este valor es luego comparado con el desplazamiento relativo máximo admisible por el Código Hondureño de la Construcción, de 1.09 cm, el mismo que fue utilizado para determinar la sección de pre-dimensionamiento con el método propuesto en esta investigación.

Al obtener un valor de desplazamiento lateral relativo menor que el desplazamiento relativo máximo admisible por el Código Hondureño de la Construcción se valida que las secciones geométricas son las adecuadas para cumplir con este requerimiento.

Cuando los valores de desplazamientos laterales relativos obtenidos con las secciones de predimensionamiento son mayores a los admisibles entonces se deben aumentar las secciones de las columnas.

Las vistas de elevación, planta e isométrico de la estructura se presentan en las figuras 13, 14 y 15.



Figura 13. Vista en elevación de estructura utilizada para la comparación

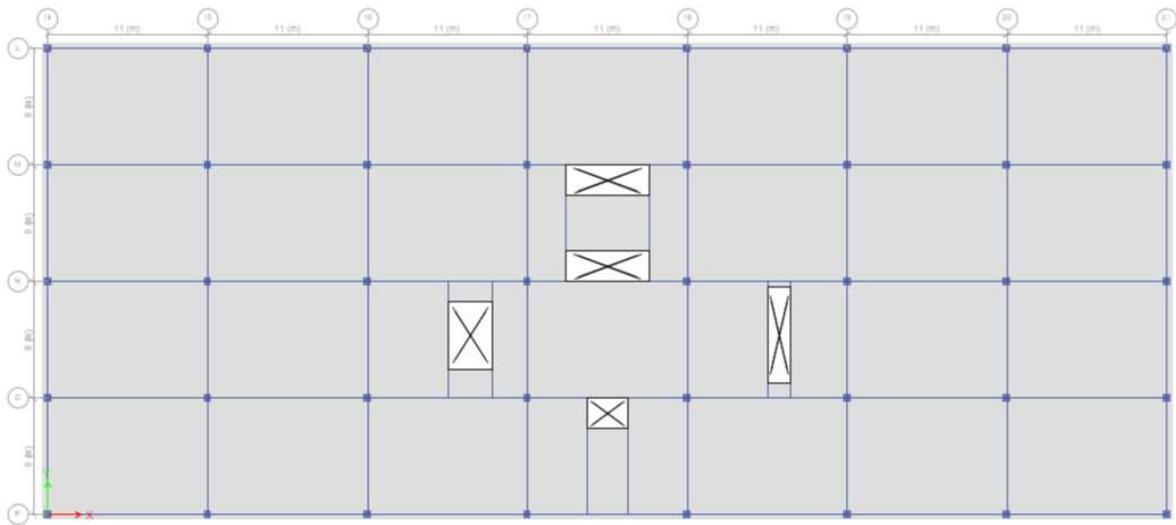


Figura 14. Vista en planta de estructura utilizada para la comparación

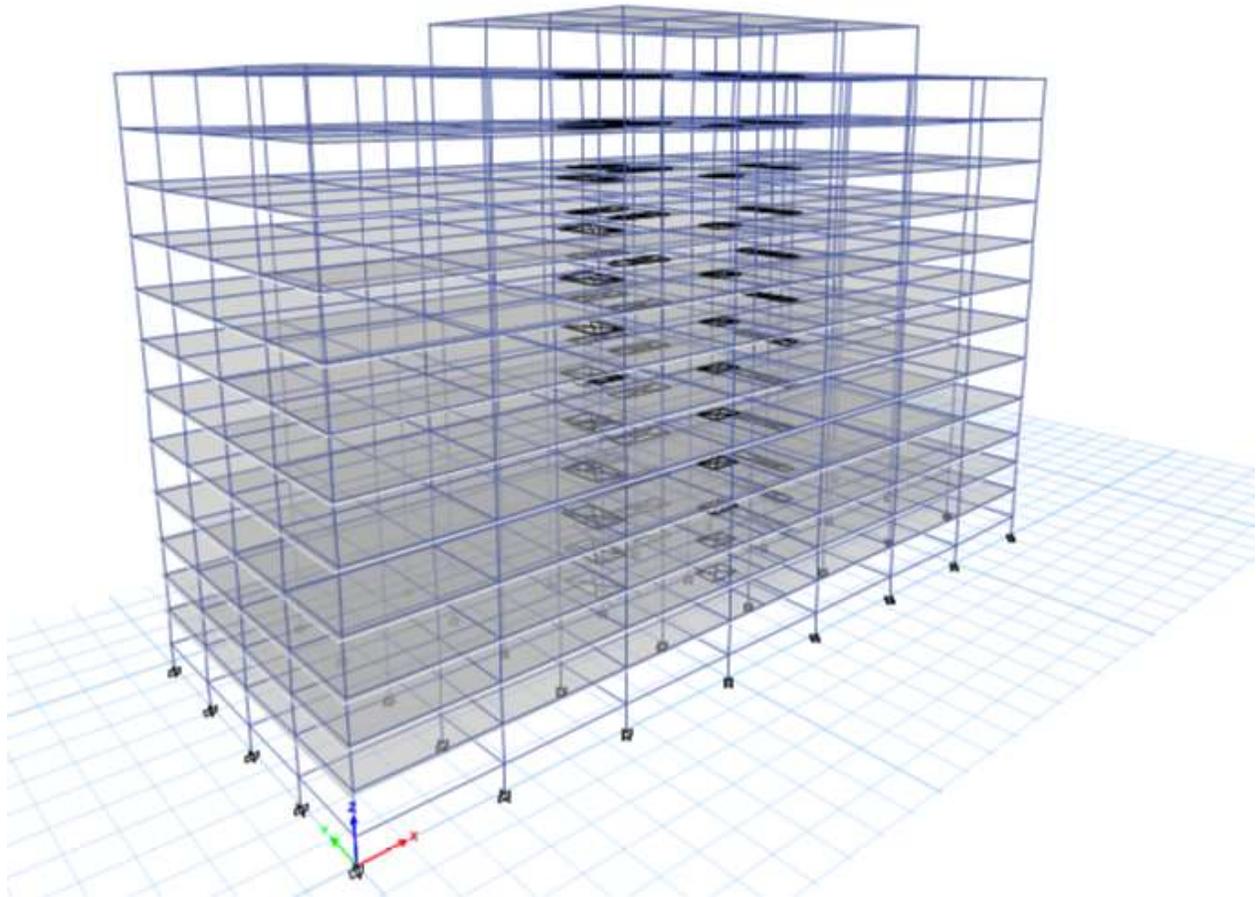


Figura 15. Vista en elevación de estructura utilizada para la comparación

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Este capítulo consiste en la explicación clara, lógica, y ordenada de la metodología utilizada para realizar el proyecto de la metodología gráfica para el pre-dimensionamiento de columnas para el control de las derivas.

3.1 Congruencia metodológica

A continuación, se procede a explicar la relación entre el planteamiento del problema y la metodología utilizada para solventarlo.

Tabla 2. Matriz metodológica

Título	Problema	Preguntas de Investigación	Objetivos		Variables	
			General	Específico	Independiente	Dependiente
Pre-dimensionamiento de columnas según límites de desplazamientos laterales del Código Hondureño de la Construcción	El desconocimiento de algún criterio para que el cumplimiento de las derivas a partir desde un pre-dimensionamiento estructural.	¿Cuáles son las variables que reducen los desplazamientos laterales de una estructura?	Aportar un método que reduzca el número de iteraciones necesarias para definir las secciones de columnas que cumplan con los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles establecidos por el Código Hondureño de la Construcción.	Identificar las principales limitantes en la generación del método para utilizar el nomograma para el pre-dimensionamiento de columnas.	Idealización geométrica de la estructura.	Nomograma
		¿Qué limitaciones existen para generar la metodología de pre-dimensionamiento de columnas que cumplen con los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles que establece el Código Hondureño de la Construcción?		Identificar las variables que reducen los desplazamientos laterales.	Estado del material	
		¿Cuál es el beneficio de obtener un nomograma que permita establecer las dimensiones a partir de la inercia deseada según las limitaciones de desplazamientos laterales relativos del Código Hondureño de la Construcción?		Proponer un nomograma de pre-dimensionamiento de secciones de columna para cumplir los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles del Código Hondureño de la Construcción.	Número de dimensiones que puede representar un nomograma.	
				Proponer un método para el pre-dimensionamiento de columnas según el control de los desplazamientos laterales relativos.	Variables que pueden ser llevadas a la realidad Idealización computacional con respecto a que todas las columnas tienen la misma inercia	

3.1.1 Variables en estudio

Variables independientes

- a) Idealización geométrica de la estructura.
- b) Estado del material.
- c) Numero de dimensiones que puede representar un nomograma.
- d) Variables que pueden ser llevadas a la realidad.
- e) Idealización computacional con respecto a que todas las columnas tienen la misma inercia.

Variables dependientes

- a) Nomograma

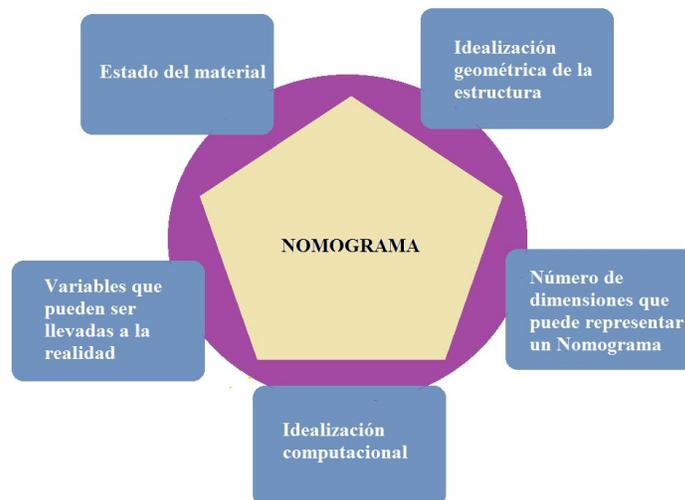


Figura 16. Diagrama de variables

3.1.2 Operacionalización de las variables

Tabla 3. Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición		Dimensiones	Indicador	Ítems	Unidades (categorías)	Escala
	Conceptual	Operacional					
Geometría de los elementos estructurales	Es la información geométrica que permanece cuando la ubicación, la escala, la orientación y la reflexión se eliminan de la descripción de un objeto geométrico (Kendall, 1984).	Misma figura de los elementos estructurales.	Inercias de columnas	Conocimiento de método	¿Conoce usted algún método o criterio para el pre-dimensionamiento de columnas?	Sí No	1 2
Elasticidad lineal	La relación lineal entre esfuerzo y deformación. (Timoshenko, 1953)	Las ecuaciones utilizadas para la determinación de las deformaciones siguen la elasticidad lineal de Hooke.	Fuerza sísmica aplicada	Importancia de las derivas	¿Qué grado de importancia le da usted al control de derivas a un sistema de marco rígido resistente a momentos?	Importancia despreciable. Poca importancia Tan importante como todas las demás actividades. Importante Muy importante	1 2 3 4 5
Número de dimensiones que puede representar un nomograma.		Las variables presentadas en el nomograma estarían limitadas a un número de variables que permitan una fácil interpretación de los resultados.	Eje de las ordenadas Eje de las abscisas Colores	Iteraciones para control de derivas	¿Ha tenido que realizar múltiples iteraciones en el dimensionamiento de los elementos verticales de un marco rígido, para cumplir con el control de las derivas máximas impuestas por el CHOC-08?	Sí No	1 2

3.2 Enfoque y métodos

El enfoque de este proyecto es mixto, con predominancia cuantitativa. Los resultados obtenidos por medio de la encuesta y el algoritmo resultan ser cuantitativos. Mientras los resultados obtenidos de la entrevista son cualitativos.

a. Inductivo

Este método se utilizó al inferir que la estructura reduciría sus desplazamientos laterales tal y como lo hizo el elemento empotrado, al aumentar las inercias de las columnas.

b. Deductivo

Para determinar el nomograma se partió teorías y conceptos fundamentales de la Ingeniería estructural teniendo en cuenta las condiciones y suposiciones ideales en las cuales está fundamentada la investigación.

c. Histórico

Se apoyó en el método histórico, al utilizar la información brindada por los estudios científicos del marco teórico y los métodos actuales que rigen los límites máximos de las derivas de piso.

d. Explicativo

Mediante este método se permite determinar de qué maneras las variables son clasificadas como dependientes e independientes.

e. Descriptivo

Este método se enfoca en los instrumentos, técnicas aplicadas y las referencias bibliográficas.

f. Analítico

El estudio tuvo un enfoque analítico ya que se analizaron las variables que generaban un cambio en los desplazamientos laterales relativos.

g. Sintético

Después de analizar todas las variables que intervinieron con en el análisis, con este método se pudo obtener un nomograma que permita conseguir las secciones de columnas en base a sus inercias necesarias con las cuales sé que permiten cumplir con los desplazamientos relativos de piso.

3.3 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación se ilustra en la figura 13. Las variables independientes son la forma geométrica de los elementos verticales y las fuerzas sísmicas. Las formas geométricas se encuentran en la tabla 13 y las fuerzas sísmicas se encuentran en las tablas 5, 6, 7 y 8. Al ser modificadas se cambia la variable dependiente, el desplazamiento lateral relativo.

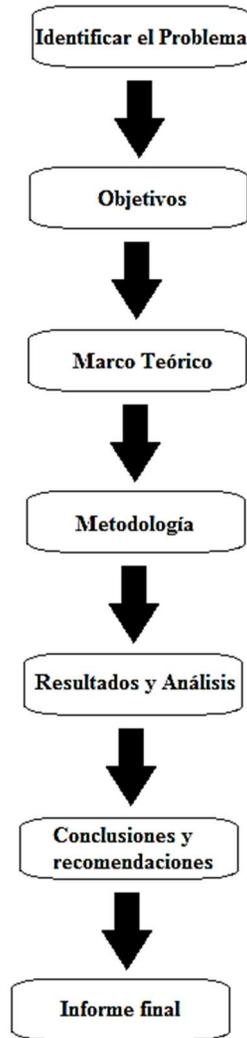


Figura 17. Diseño de la investigación

3.3.1 Población

Con el fin de recolectar evidencia relevante para el desarrollo de la presente investigación, se consideró como población de estudio a individuos que son estudiante, de último año en la maestría de Ingeniería Estructural. La facultad de posgrado de UNITEC brindó un registro aproximado a 40 maestrantes que cumplieron con dicho requisito.

Walpole (2012) define: “Las muestras se reúnen a partir de poblaciones, que son conjuntos de todos los individuos o elementos individuales de un tipo específico” (P.2).

3.3.2 Muestra

Se consideró que la muestra se comportaba con una distribución normal debido a que los individuos son de grupos similares y que cuentan con criterios muy parecidos.

Se procedió a determinar el número de encuestados el cual brindaría la información válida para realizar las inferencias. Contando con 40 individuos en la disciplina de la ingeniería estructural como población, se estimó que mediante un muestreo aleatorio simple con un valor de Z igual a 1.96, correspondiente a un nivel de confianza del 95%, con un margen de error del 10% y una probabilidad de éxito del 80% se necesitaba una muestra de 24 personas a ser encuestadas.

A esta muestra se le hizo llegar los cuestionarios por medio electrónicos por lo que su ubicación no presentó un obstáculo para recolectar la información.

3.3.3 Unidad de análisis

Los cuestionarios fueron entregados a 24 maestrantes de postgrado en Ingeniería de Estructuras de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) de último año, mientras que las entrevista se le realizó a un profesional de la ingeniería estructural.

3.3.4 Unidad de respuesta

La unidad de respuesta está basada en porcentajes.

3.4 Instrumentos, técnicas, y procedimientos aplicados

3.4.1 Instrumentos

El principal instrumento utilizado para recolectar la información de la muestra fue el cuestionario, a través de la encuesta, la entrevista y un programa codificado.

El cuestionario es un instrumento que sirve para la recolección de información, es ampliamente utilizada para conocer las opiniones, preferencias y/o puntos de vista de un grupo de personas. Consiste en la formulación de preguntas (cerradas, abiertas o mixtas) dirigidas a la totalidad de personas que conforman una población en estudio (universo) o a un grupo representativo de dicho universo (muestra).

El instrumento utilizado para recopilar la información necesaria para comprobar que existe una problemática con el número de iteraciones realizadas para cumplir con las derivas laterales máximas impuestas por el Código Hondureño de la Construcción fue la encuesta, a través del cuestionario.

El cuestionario utilizado consistió en 6 preguntas. Cinco preguntas cerradas y una pregunta abierta. Por medio de las preguntas cerradas se obtuvo la información necesaria para demostrar la problemática de las constantes iteraciones que se deben de realizar durante el análisis estructural para cumplir con las derivas de piso permisible por el CHOC-08. A su vez la pregunta abierta demuestra que los encuestados conocen los conceptos básicos que poseen con respecto al control de las derivas en sistemas estructurales de marcos.

Se generó un algoritmo codificado para complementar la parte cuantitativa de la investigación.

3.4.2 Técnicas

Las técnicas utilizadas para recolectar la información cualitativa y cuantitativa corresponden a la entrevista, y la encuesta respectivamente.

El cuestionario de las encuestas se encuentra en el anexo 1.

La entrevista se encuentra en el anexo 2.

Los nomogramas producto del código se encuentran en el anexo 3.

Los códigos desarrollados para generar el nomograma se encuentran en el anexo 4.

3.4.3 Procedimiento

1. La encuesta se aplicó de manera electrónica a los maestrantes de Ingeniería en Estructuras, de último año de la universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC).
2. La entrevista se aplicó presencialmente a un profesional de la ingeniería estructural de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC).
3. El programa codificado se aplicó a modelos estructurales idealizados los cuales brindaron información cuantitativa.

3.5 Fuentes de información

3.5.1 Fuentes primarias

Las fuentes de información primaria fueron la encuesta, la entrevista y las respuestas del programa codificado.

3.5.2 Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias utilizadas para el diseño de esta metodología fueron códigos de construcción nacional e internacional como el CHOC-08, el IBC-2007 respectivamente. Normativas de cargas, como el, y ASCE 7-2016, libros de análisis y diseño estructural.

3.6 Limitantes del estudio

Dentro de las limitaciones de esta metodología, según el tiempo y recursos computacionales, e idealizaciones teóricas se encuentran:

- a) El análisis realizado en la estructura es linealmente elástico.
- b) Los elementos estructurales no sufren fallas por agrietamientos, por lo que sus secciones geométricas siempre permanecen las mismas.
- c) La estructura utilizada es de concreto.
- d) Todas las vigas que conectan los elementos son de 40 x 60 cm
- e) La estructura es analizada en el plano de dos dimensiones.
- f) La estructura es perfectamente simétrica.
- g) La estructura consiste de 5 claros entre columnas, con 6 columnas por piso.
- h) La resistencia del concreto es 280 kg/cm² (4000 psi)
- i) El cortante basal en la parte superior del edificio corresponde al 10% del mismo.
- j) Todos los pisos poseen el mismo peso.
- k) Los análisis son de primer orden.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se reportan los resultados de la encuesta y la entrevista, además se presenta la explicación de los diagramas de flujo utilizados para el desarrollo del código que genero los nomogramas de predimensionamiento de columnas según el desplazamiento lateral relativo, finalmente se brinda la propuesta del proyecto de investigación.

4.1 Resultados de encuesta

1. ¿Conoce usted algún método o criterio para el pre-dimensionamiento de columnas? Si su respuesta es “NO”, pase a la pregunta 3.

De los profesionales egresados se obtuvo la siguiente información. El 85% de los encuestados conocen lineamientos para pre-dimensionar columnas. Tal y como se muestra en la figura 18. Concluyendo que un gran porcentaje de los profesionales de la ingeniería estructural conocen principios de pre-dimensionamiento.

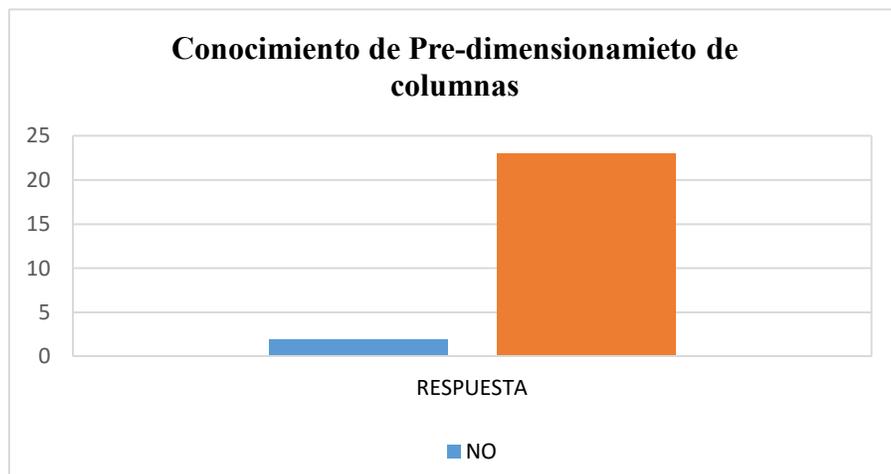


Figura 18. Encuestados que conocen los lineamientos de pre-dimensionamiento de columnas

2. Mencione las causas por las cuáles se deben de controlar las derivas generadas por las fuerzas laterales en una estructura de marco rígido.

Esta pregunta fue abierta lo que imposibilitó el análisis estadístico.

3. ¿Qué grado de importancia le da usted al control de derivas a un sistema de marco rígido resistente a momentos?

El 91 % de los encuestados consideran que el diseño para el control de los desplazamientos laterales relativos tiene un alto grado de importancia y solamente un 11 % considera que el control de las derivas es tan importante como todas las demás actividades en el análisis estructural.

Por lo que se infiere que la mayor parte de especialistas en la práctica consideran de gran importancia el diseño para el control de desplazamientos laterales. La figura 19 muestra estos resultados esquemáticamente.

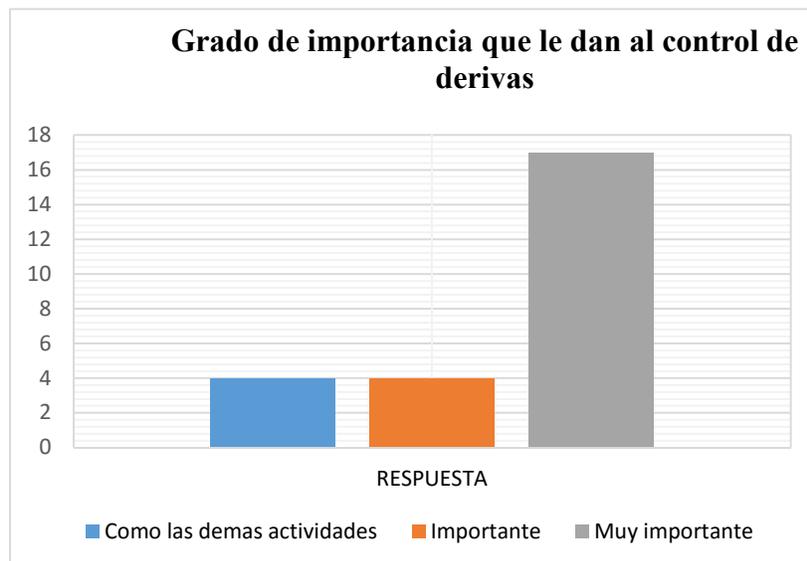


Figura 19. Importancia que se le brinda a las derivas laterales

4. ¿Ha tenido que realizar múltiples iteraciones en el dimensionamiento de los elementos verticales de un marco rígido, para cumplir con el control de las derivas máximas impuestas por el CHOC-08?

Más del 90% de la muestra ha tenido que realizar múltiples iteraciones de redimensionamiento para lograr tener las dimensiones de las columnas que puedan cumplir con el control de las derivas laterales del CHOC-08. Por lo que se concluye que dimensionamiento para el cumplimiento de las derivas es un proceso iterativo para los diseñadores. Estos resultados se presentan gráficamente en la figura 20.



Figura 20. Encuestados que tuvieron que realizar múltiples redimensionamientos para cumplir con las derivas laterales

5. ¿Aproximadamente cuantas veces ha tenido que redimensionar los elementos verticales sismo resistente para cumplir con las derivas máximas laterales que impone la normativa CHOC-08?

Por medio de esta pregunta se demostró que más del 73% de los encuestados han tenido que hacer 3 o más iteraciones de redimensionamiento para poder cumplir con las derivas laterales que rige el CHOC-08.

Concluyendo que existe una alta probabilidad de tener que realizar por lo menos 3 redimensionamientos. Los resultados de esta pregunta se presentan en un gráfico de barras en la figura 21.

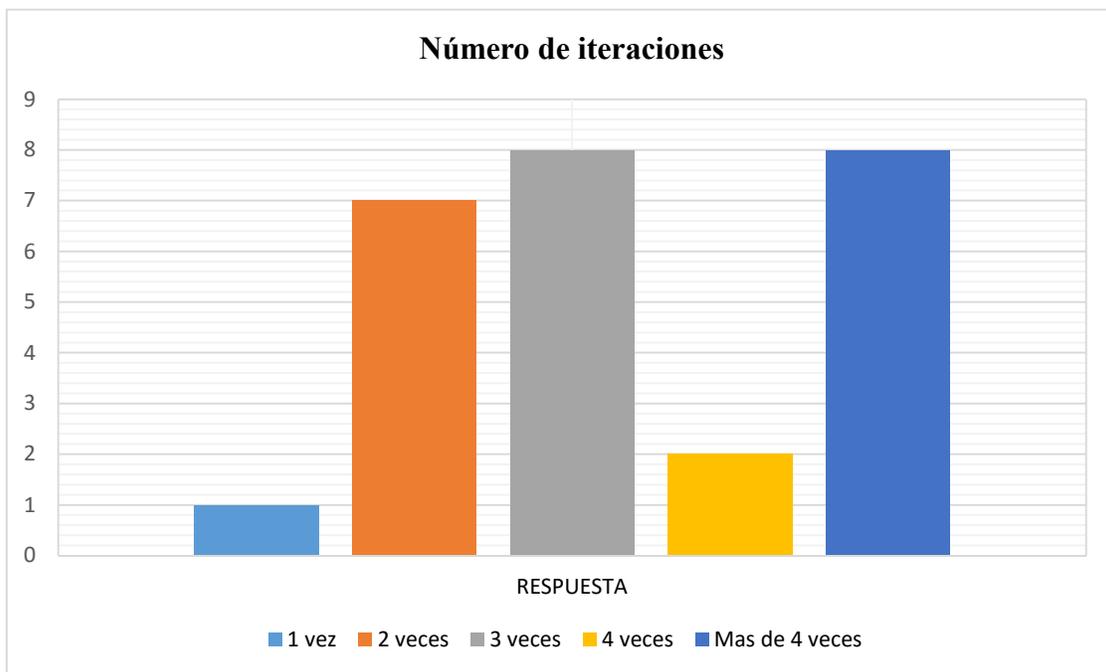


Figura 21. Número de iteraciones realizadas para cumplir con las derivas laterales

4.2 Resultados de entrevista

La entrevista fue realizada a un profesional de la ingeniería estructural. Al realizar la entrevista se obtuvo un lineamiento adecuado de cuales variables podían ser idealizadas en función al objetivo de la creación del nomograma. Las preguntas realizadas fueron;

1. ¿Cuál debería ser la altura adecuada para las columnas del modelo a analizar?

Considerando que es una estructura con vigas, y que debe existir espacio para las instalaciones eléctricas, y sanitaria entre otras, lo recomendable es 3.50 metros de altura.

2. ¿Cómo debería ser la estructura por analizar para que sea representativa de las estructuras de la ciudad?

En vez de utilizar una estructura representativa se podría modificar el número de pisos del modelo a realizar y así generar más gráficos para tener una mayor abertura para las estructuras las cuales pueden utilizar el gráfico.

3. ¿Es válido realizar un análisis solo en la etapa elástica?

Considerando que el nomograma será utilizado para pre-dimensionar las columnas y las limitantes de tiempo entonces si es válido un análisis en la etapa elástica para generar el nomograma.

4. ¿Alrededor de cuántas columnas podría tener un edificio en un solo plano?

Sería muy raro que en un solo plano un edificio que vaya a ser de alrededor a 15 pisos tenga más de 6 columnas.

4.3 Resultados de Análisis de sensibilidad

Se hizo una analogía entre un voladizo y una estructura real y luego se procedió a realizar un análisis de sensibilidad con el fin del determinar cuáles eran las que generaban un control favorable de deflexiones. La deflexión en el extremo de un voladizo se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

Ecuación 22. Deflexión de una viga en voladizo.

Fuente: Gere J., 2009

Dónde;

δ : Deflexión al extremo del voladizo.

P: Carga aplicada al extremo del voladizo.

L: Longitud del voladizo.

E: Módulo de elasticidad del material.

I: Inercia del elemento estructural.

Las variables anteriores fueron sometidas a un análisis de sensibilidad.

Los resultados del análisis de sensibilidad se aprecian gráficamente en la figura a continuación;

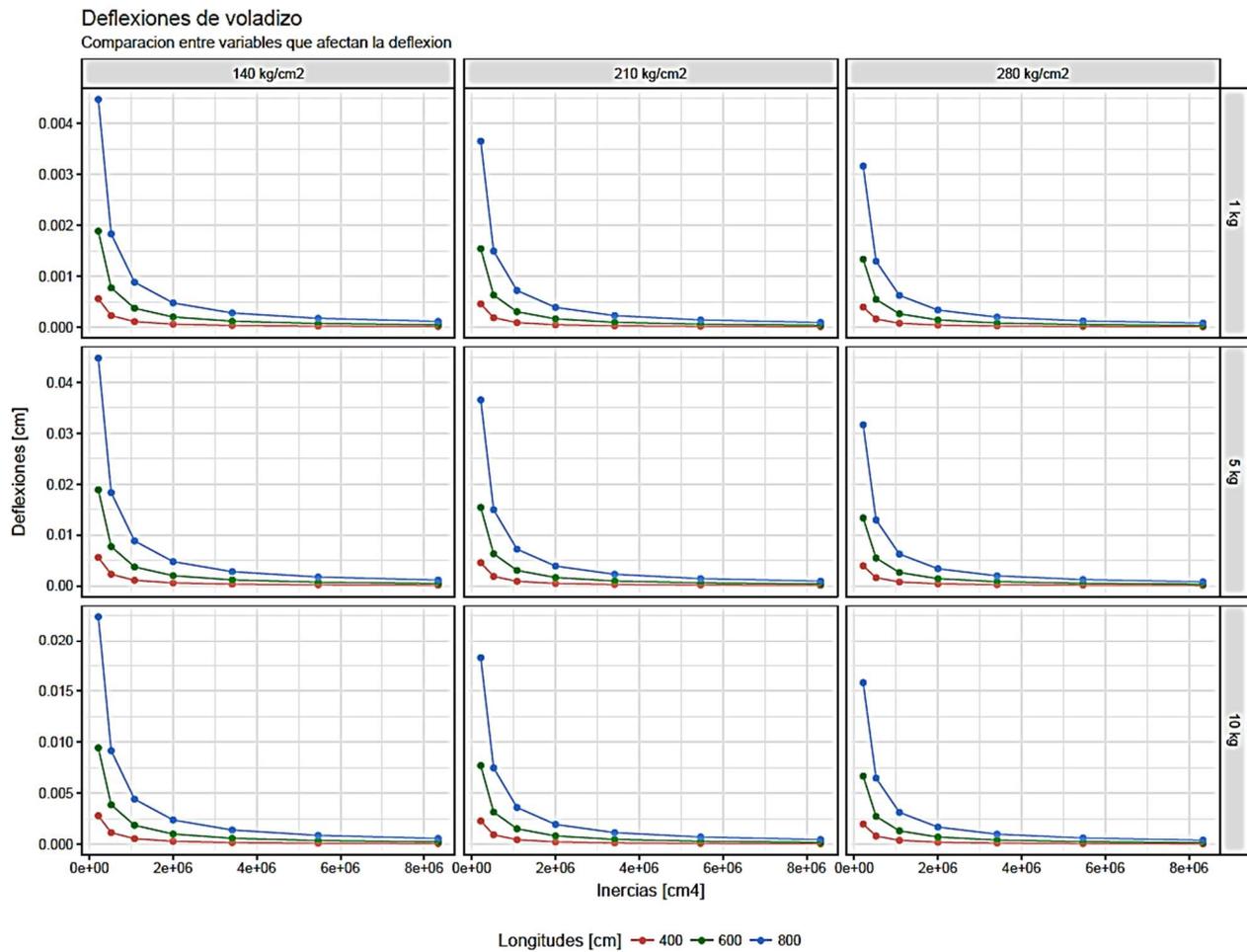


Figura 22. Gráficos de desplazamiento con alteraciones en las variables

La figura 22 presenta las inercias en el eje X, las deflexiones en el eje Y, y es presentada en una matriz de 6 gráficos donde las columnas de la matriz representan la resistencia del concreto utilizada para obtener el módulo de elasticidad y las filas representan las magnitudes de las cargas aplicadas al voladizo.

Al analizar los resultados de la figura 18, se concluye que las variables que brindan un control favorable a las deflexiones son la inercia, el módulo de elasticidad y una menor longitud. Al aumentar las inercias se reduce considerablemente la deflexión, similarmente al mayor modulo de elasticidad menor deflexión y de la misma manera a reducir la longitud del elemento estructural la deflexión se reduce.

4.4 Resultados de programa codificado

4.4.1 Procedimiento

Este capítulo explica el procedimiento desarrollado para generar los nomogramas de inercias y desplazamientos de las estructuras según el número de pisos. Los nomogramas de inercia y desplazamiento lateral relativo fueron generados graficando valores de inercias según elemento vertical de la estructura, en el eje de las abscisas, y valores de desplazamientos laterales máximos de la estructura analizada en el eje de las ordenadas.

Los valores de desplazamientos laterales relativos máximos fueron obtenidos utilizando el método de los desplazamientos programado en el lenguaje de programación R.

Al correr el programa generado para determinar el desplazamiento lateral según un tipo de inercia se procedió a aumentar la inercia del elemento vertical y luego obtener otro desplazamiento lateral relativo máximo, ambos valores eran luego colocados en el gráfico. Este procedimiento de obtener desplazamiento lateral relativos máximos se realizó para 11 distintas inercias, así obteniendo 11 puntos a ser graficados.

4.4.2 Estructuras

Las estructuras utilizadas para realizar los nomogramas fueron de 5, 10, 15 y 20 pisos. Al tener varios nomogramas de distintos pisos, el análisis realizado es amplificado, permitiendo que el nomograma de pre-dimensionamiento pueda ser utilizado sin importar el número de pisos que tenga la estructura a ser pre-dimensionada por el usuario del nomograma. Las figuras 23, 24, 25 y 26 muestran esquemáticamente las estructuras de analizadas.

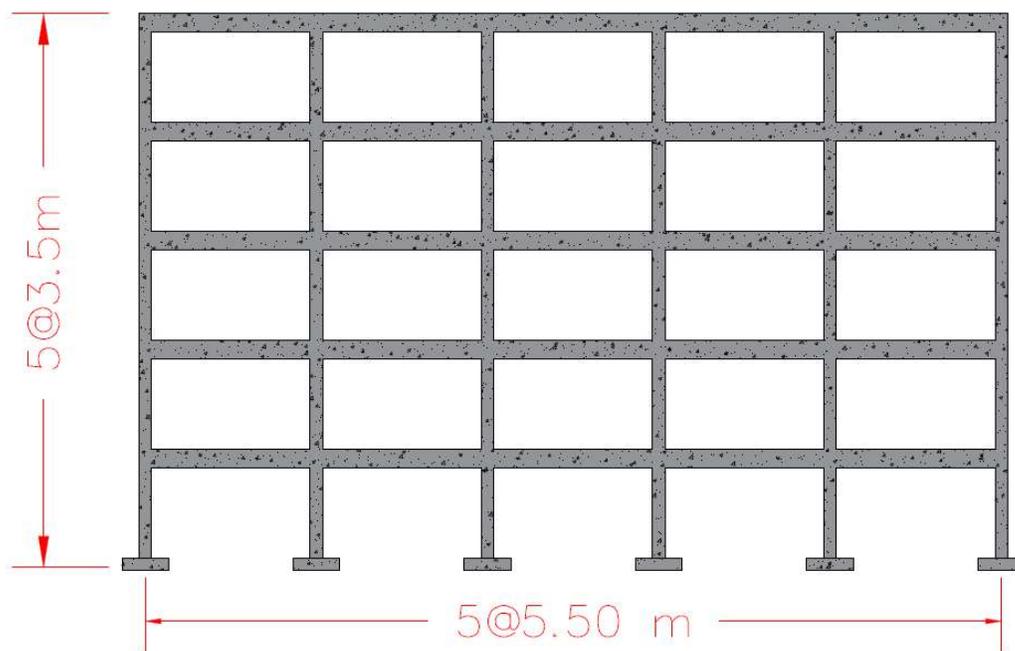


Figura 23. Esquema de la estructura de 5 pisos

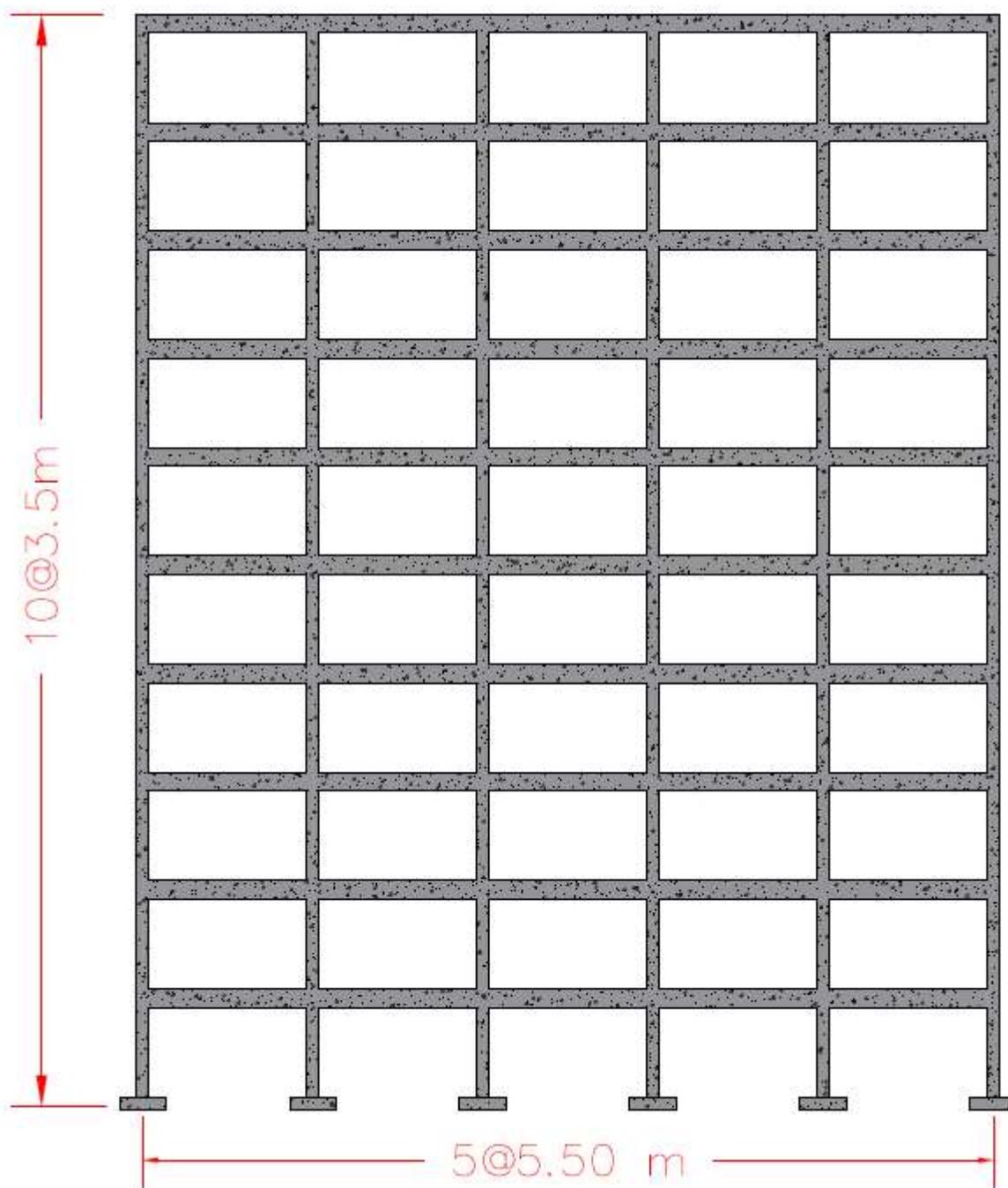


Figura 24. Esquema de la estructura de 10 pisos.

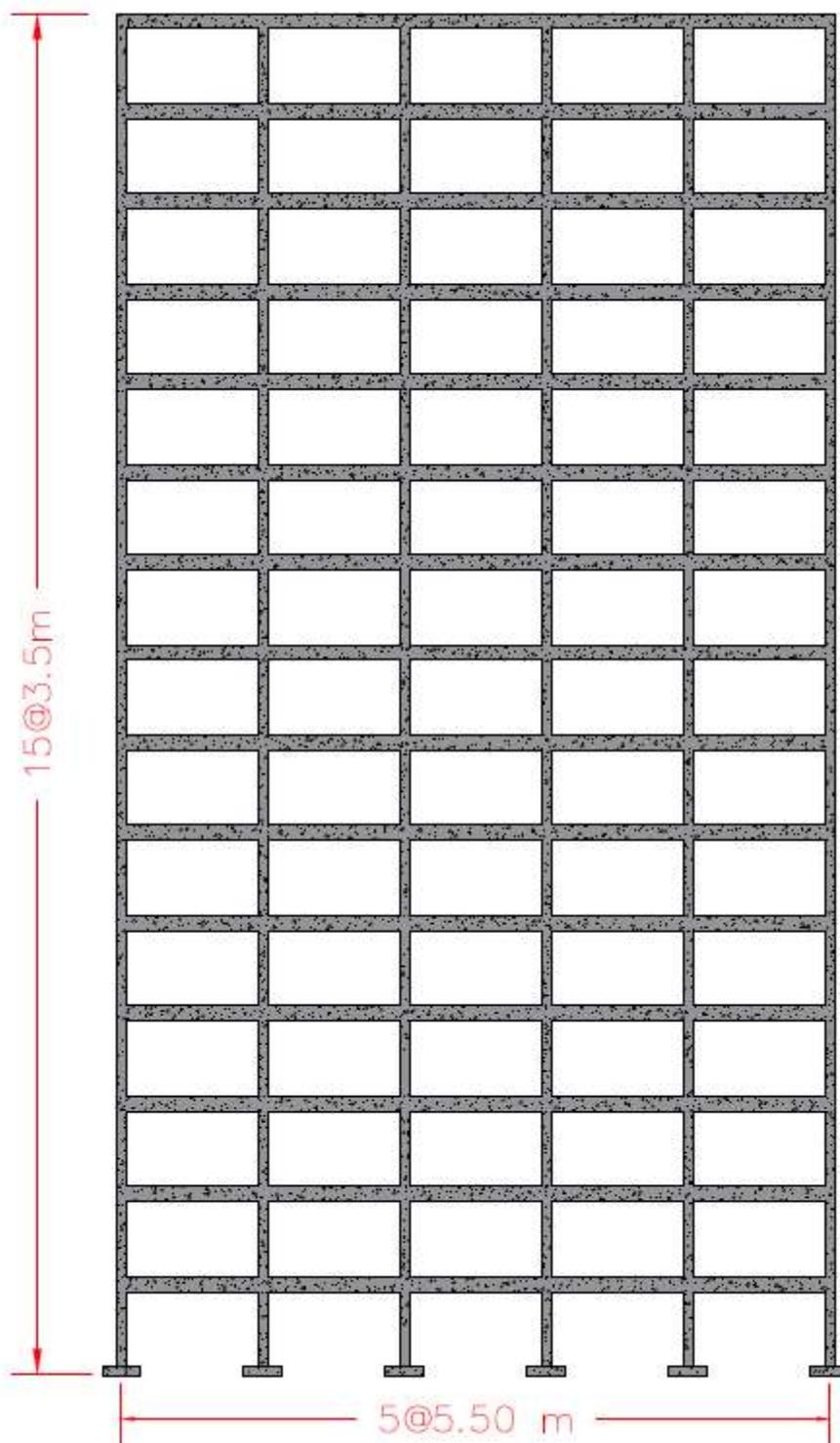


Figura 25. Esquema de la estructura de 15 pisos.

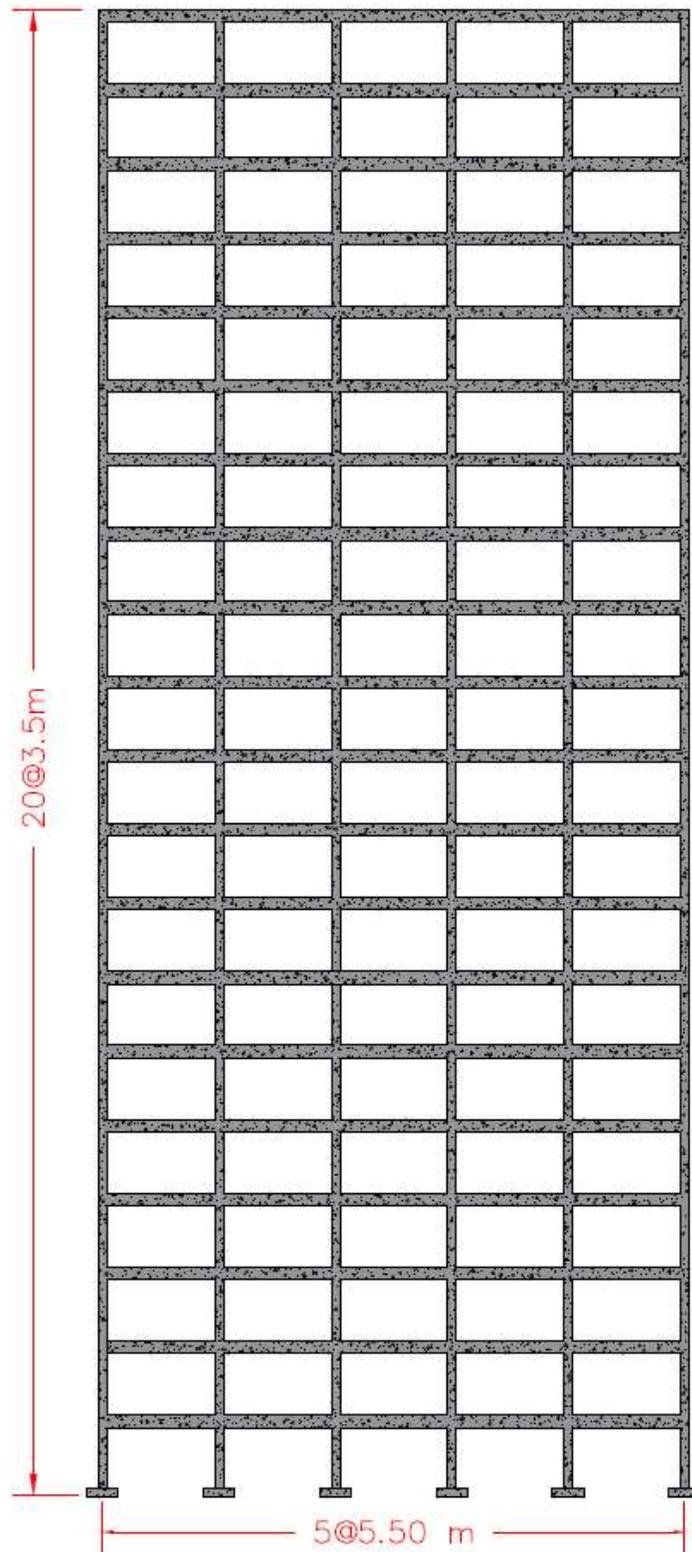


Figura 26. Esquema de la estructura de 20 pisos.

4.4.2.1 Datos invariables de la estructura

Para este tipo de análisis existen varias variables, razón por la cual existieron ciertas limitaciones en el estudio. Dentro de los factores que permanecieron constantes se encuentran:

Tabla 4. Datos invariables de la estructura

N°	Factor	Descripción
1	Módulo de elasticidad	E: 252, 671.33 Kg / cm ²
2	Dimensiones de viga	40 cm de base x 60 cm de altura.
3	Condiciones de apoyos	Todos los apoyos son empotrados.
4	Luces de vigas	Todos los claros entre columnas son de 6 metros.
5	Número de claros	5 claros de vigas en todas las estructuras.
6	Alturas de piso	Todas las alturas de piso son de 3.50 metros.
7	Grados de libertad por nodo	Todos los nodos tenían 3 grados de libertad.

4.4.3 Análisis estructural

El análisis estructural se realizó por medio del método de desplazamientos utilizando un algoritmo codificado en el lenguaje de programación R. Se analizaron estructuras en el plano, de 5, 10, 15 y 20 pisos.

4.4.3.1 Cargas externas

4.4.3.1.1 Fuerzas laterales.

Las fuerzas laterales consideradas como cortantes de piso fueron 50, 000, 100,000, 200,000 y 300,000 kg, 400,000 kg, distribuidos sobre los diafragmas de piso según el artículo 1.3.5.4 del CHOC-08. Con la ecuación:

$$F_x = \frac{(V - F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i}$$

Ecuación 23. Fuerzas cortantes de piso

Fuente: Código Hondureño de la Construcción, 2008

Donde:

V : Cortante de Piso de la estructura.

F_t : Cortante de piso distribuido en piso superior.

w_x, w_i : Porción de W que está localizada o es asignada al nivel x o i respectivamente.

h_x, h_i : Altura sobre la base de los niveles x o i respectivamente.

Dado que el valor de F_t depende del periodo de la estructura, lo que a su vez depende de la masa y esta a su vez de las dimensiones de los elementos estructurales.

Se procedió a considerar el cortante de piso distribuido en el piso superior de la estructura como del 10% como; idealización para facilitar la generación de los nomogramas.

Utilizando varios cortantes de piso se aseguró que el usuario que deba pre-dimensionar para un cortante de piso distinto a los utilizados no encontrará impedimento para pre-dimensionar su estructura, para cumplir con las derivas laterales máximas exigidas por el código de construcción hondureño.

A continuación, se presentan de manera detallada los cortantes basales obtenidos para las estructuras de 5,10,15 y 20 pisos con las cargas distribuidas de cortante de piso de 50,000 kg, 100,000 kg, 200,000 kg, 300,000 kg y 400,000 kg.

Tabla 5. Cortantes de piso distribuidos en una estructura de 5 niveles

Pisos	Altura [m]	Cortante de piso [Kg]				
		50,000	100,000	200,000	300,000	400,000
1	3.5	4500	9000	18000	27000	36000
2	7.0	9000	18000	36000	54000	72000
3	10.5	13500	27000	54000	81000	108000
4	14.0	18000	36000	72000	108000	144000
5	17.5	5000	10000	20000	30000	40000

Tabla 6. Cortantes de piso distribuidos en una estructura de 10 niveles

Pisos	Altura [m]	Cortante de piso [Kg]				
		50,000	100,000	200,000	300,000	400,000
1	3.5	1000	2000	4000	6000	8000
2	7.0	2000	4000	8000	12000	16000
3	10.5	3000	6000	12000	18000	24000
4	14.0	4000	8000	16000	24000	32000
5	17.5	5000	10000	20000	30000	40000
6	21.0	6000	12000	24000	36000	48000
7	24.5	7000	14000	28000	42000	56000
8	28.0	8000	16000	32000	48000	64000
9	31.5	9000	18000	36000	54000	72000
10	35.0	5000	10000	20000	30000	40000

Tabla 7. Cortantes de piso distribuidos en una estructura de 15 niveles

Pisos	Altura [m]	Cortante de piso [Kg]				
		50,000	100,000	200,000	300,000	400,000
1	3.5	429	857	1714	2571	3429
2	7.0	857	1714	3429	5143	6857
3	10.5	1286	2571	5143	7714	10286
4	14.0	1714	3429	6857	10286	13714
5	17.5	2143	4286	8571	12857	17143
6	21.0	2571	5143	10286	15429	20571
7	24.5	3000	6000	12000	18000	24000
8	28.0	3429	6857	13714	20571	27429
9	31.5	3857	7714	15429	23143	30857
10	35.0	4286	8571	17143	25714	34286
11	38.5	4714	9429	18857	28286	37714
12	42.0	5143	10286	20571	30857	41143
13	45.5	5571	11143	22286	33429	44571
14	49.0	6000	12000	24000	36000	48000
15	52.5	5000	10000	20000	30000	40000

Tabla 8. Cortantes de piso distribuidos en una estructura de 20 niveles

Pisos	Altura [m]	Cortante de piso [Kg]				
		50,000	100,000	200,000	300,000	400,000
1	3.5	237	474	947	1421	1895
2	7.0	474	947	1895	2842	3789
3	10.5	711	1421	2842	4263	5684
4	14.0	947	1895	3789	5684	7579
5	17.5	1184	2368	4737	7105	9474
6	21.0	1421	2842	5684	8526	11368
7	24.5	1658	3316	6632	9947	13263
8	28.0	1895	3789	7579	11368	15158
9	31.5	2132	4263	8526	12789	17053
10	35.0	2368	4737	9474	14211	18947
11	38.5	2605	5211	10421	15632	20842
12	42.0	2842	5684	11368	17053	22737
13	45.5	3079	6158	12316	18474	24632
14	49.0	3316	6632	13263	19895	26526
15	52.5	3553	7105	14211	21316	28421
16	56.0	3789	7579	15158	22737	30316
17	59.5	4026	8053	16105	24158	32211
18	63.0	4263	8526	17053	25579	34105
19	66.5	4500	9000	18000	27000	36000
20	70.0	5000	10000	20000	30000	40000

4.4.4 Algoritmo programado

4.4.4.1 Ingreso de datos

El paso inicial fue el ingreso de datos de: coordenadas de nodos, nodos de inicio y fin de los elementos estructurales, tipos de apoyo, geometría de elementos, tipos de materiales, cargas externas impuestas en los elementos estructurales y en los nodos. Todo ingreso de dato fue realizado en una hoja de Excel y luego se exportó al programa R, para ser analizado.

4.4.4.1.1 Coordenadas de nodos

Las coordenadas de los nodos se ingresaron en el siguiente orden, en forma tabular y en una hoja de Excel; número de nodo, coordenada en el eje X del nodo, coordenada en el eje Y del nodo. Todas las coordenadas fueron ingresadas en cm para asegurar la compatibilidad de unidades.

Con seis columnas por piso, y un nodo para el inicio y el fin del elemento estructural, con los elementos estructurales adyacentes compartiendo el mismo nodo como fin e inicio de elemento se obtuvieron los siguientes números de nodos, columnas, vigas y total de elementos estructurales.

Tabla 9. Resumen de número de coordenadas y número de elementos estructurales según número de pisos de estructura

Número de pisos	Número de nodos	Número de columnas	Número de vigas	Número total de elementos estructurales
5	36	30	25	55
10	66	60	50	110
15	96	90	75	165
20	126	120	100	220

4.4.4.1.2 Tipos de apoyo

Los tipos de apoyo se ingresaron en una hoja de Excel y luego importados al programa R para ser utilizados en los análisis estructurales. La hoja de ingreso de tipos de apoyo consistió en las columnas de; número de nodo donde se encontraba el apoyo, restricción en X, restricción en Y, y restricción rotacional en el eje Z. Al primero de estos campos se le ingresó el nodo el cual servía como apoyo para la estructura, los últimos tres campos se les ingresó un número 1 representando la existencia de una restricción en la dirección X, Y o Z. De no existir una restricción en ese apoyo, se hubiese tenido que ingresar un 0.

A continuación, se presenta la tabla apoyos tal como se ingresó en la hoja de Excel. Demostrando que todos los apoyos poseían restricciones en sus tres direcciones.

Tabla 10. Hoja de apoyos de estructura

Número de apoyo	Nodo de ubicación	Restricción en X	Restricción en Y	Restricción rotacional
1	1	1	1	1
2	2	1	1	1
3	3	1	1	1
4	4	1	1	1
5	5	1	1	1
6	6	1	1	1

4.4.4.1.3 Materiales

En esta hoja se ingresó; el número de material y el módulo de elasticidad del material a ser utilizado. Para el caso de esta estructura solo se lidió con concreto con una resistencia de 280 kg/cm². Utilizando la ecuación 24 se calculó el módulo de elasticidad.

$$E_c = 15,100\sqrt{f_c}$$

Ecuación 24. Modulo de elasticidad del concreto

Fuente: CHOC-08

Donde f_c es la resistencia de concreto. El módulo de elasticidad E resulto ser de 252671.33 kg/cm²

Este valor se ingresó en la hoja de Excel de manera tabular de la siguiente forma.

Tabla 11. Hoja de materiales de estructura

Número de material	Módulo de elasticidad
1	252671.33

4.4.4.1.4 Geometría de los elementos estructurales

En la hoja de geometrías de los elementos estructurales, se ingresaron los campos de número de sección transversal, ancho, largo, área e inercia, estos últimos dos campos se calcularon en base a los valores ingresados de ancho y largo. La hoja de Excel ingresada fue la siguiente. Donde el número de sección transversal 1 y 2 representaron la columna y la viga respectivamente.

Tabla 12. Hoja de geometría de elementos estructurales

Número de sección transversal	Base	Altura	Área [cm²]	Inercia [cm⁴]
1	40	40	1600	213333.33.
2	40	60	2400	720000

Adicionalmente se utilizó la hoja de ingreso de geometrías de columnas (Tabla 12). Las inercias de esta hoja se utilizaron para remplazar de manera consecutiva las inercias de las columnas después de cada corrida del programa que analizaba el desplazamiento lateral máximo. En donde en la primera corrida del programa se usó una inercia de 213,333.3 cm⁴, en la segunda corrida una inercia de 520,833.33 cm⁴ y así consecutivamente.

Permitiendo utilizar las dimensiones de la columna como una variable independiente en análisis estructural.

Tabla 13. Hoja de geometría de columnas

Base	Altura	Área [cm²]	Inercia [cm⁴]
40	40	1600	213,333
50	50	2500	520,833
60	60	3600	1,080,000
70	70	4900	2,000,833
80	80	6400	3,413,333
90	90	8100	5,467,500
100	100	10000	8,333,333
100	120	12000	14,400,000
100	150	15000	28,125,000
100	175	17500	44,661,458
100	200	20000	66,666,667

4.4.4.1.5 Elementos estructurales

Los elementos estructurales, vigas y columnas fueron ingresados la hoja de ingreso de elementos estructurales. La hoja consistió en los campos de; número de elemento, nodo de inicio, nodo final, número de material y número de tipo de geometría. El primer campo representa el número del elemento estructural en base a su creación.

Para mantener un orden lógico se decidió primero ingresar todas las columnas del nodo inferior al superior y en un orden de derecha a izquierda, mientras las vigas fueron ingresadas desde el piso inferior al superior y de izquierda a derecha. A cada elemento estructural para ser ingresado se le indicaba el nodo de inicio y el nodo final.

A su vez se les colocó el número de material y el número de sección transversal los cuales son números que hacen referencias a las tablas 11 y 12 respectivamente y son utilizados para obtener los módulos de elasticidad y propiedades geométricas como el área e inercia al momento de calcular las deformaciones de los elementos.

Tabla 14. Ejemplo de ingreso de elementos estructurales mostrando los primeros y últimos elementos estructurales de la estructura de 15 pisos

Elemento	Nodo de inicio	Nodo final	Número de material	Número de tipo de geometría
1	1	7	1	1
2	7	13	1	1
3	13	19	1	1
4	19	25	1	1
5	25	31	1	1
6	31	37	1	1
7	37	43	1	1
162	92	93	1	2
163	93	94	1	2
164	94	95	1	2
165	95	96	1	2

4.4.4.1.6 Cargas en los nodos

La hoja de cargas en los nodos contenía los campos; de nodo al cual se le aplica la carga, cortante basal correspondiente, peso de piso, altura de piso, distribución de fuerza sísmica en ese piso, y dirección en sentido X.

Las Cargas de las fuerzas distribuidas de cortantes distribuidos, mostrados en las tablas 5, 6, 7, y 8 fueron asignadas a los nodos de la columna izquierda.

Con estructuras de 5, 10, 15 y 20 pisos se crearon cuatro hojas de cargas en los nodos. El número de nodos en una estructura vario según el número de niveles. Lo que implicó que cada distribución de cortante de piso contendría mayores puntos de distribución según el número de niveles. Por esta razón cada hoja de Excel en donde se ingresaron los datos contuvo distintos números de filas. A continuación, se presenta el formato para el edificio de 5 niveles de cómo se ingresaron las fuerzas distribuidas.

Tabla 15. Hoja de distribución de cortantes de piso para estructura de 5 niveles

Número de Nudo	Cortante de piso [Kg]	Peso de piso	Altura de piso	Distribución	Fuerza en X [Kg]
7	50000	1	3.5	0.1	4500
13	50000	1	7	0.2	9000
19	50000	1	10.5	0.3	13500
25	50000	1	14	0.4	18000
31	50000	1	17.5	0.1	5000
7	100000	1	3.5	0.1	9000
13	100000	1	7	0.2	18000
19	100000	1	10.5	0.3	27000
25	100000	1	14	0.4	36000
31	100000	1	17.5	0.1	10000
7	200000	1	3.5	0.1	18000
13	200000	1	7	0.2	36000
19	200000	1	10.5	0.3	54000
25	200000	1	14	0.4	72000
31	200000	1	17.5	0.1	20000
7	300000	1	3.5	0.1	27000
13	300000	1	7	0.2	54000
19	300000	1	10.5	0.3	81000
25	300000	1	14	0.4	108000
31	300000	1	17.5	0.1	30000
7	400000	1	3.5	0.1	36000
13	400000	1	7	0.2	72000
19	400000	1	10.5	0.3	108000
25	400000	1	14	0.4	144000
31	400000	1	17.5	0.1	40000

4.4.4.2 Vector de grados de libertad NSC

El vector NSC, por sus siglas en inglés Node Structure Coordinates representa el vector de coordenadas que existen dentro de la estructura según el número de nodos de la estructura. Cada coordenada representa una dirección en la cual se puede desplazar el nodo, cada nodo contiene tres coordenadas de desplazamiento, desplazamientos lineales en el eje X y en el eje Y, y desplazamientos rotacionales en el eje Z.

Los números de coordenadas por nodo son denominados NCJT, por sus siglas en inglés Node Coordinates per Joint, en donde NCJT es igual a 3, por las tres direcciones permisibles de desplazamiento, en X, Y, y Z.

4.4.4.2.1 Tamaño del vector NSC

El tamaño del vector **NSC** es el producto entre el número de nodos NJ y el valor de NCJT. Cada nodo contenía tres coordenadas. El número de coordenadas se asignó desde uno hasta el tamaño del vector **NSC**. Cada tres filas del vector **NSC**, le pertenecían a un nodo, asignadas en el orden de X, Y, y Z.

4.4.4.3 Asignación de coordenadas por nodo

La asignación de coordenadas consistió en; enumerar las coordenadas libres a desplazamientos con valores entre uno y el valor de los grados de libertad (DOF) de la estructura, y enumerar las coordenadas restringidas a desplazamientos desde un valor de los grados de libertad de la estructura más uno (i.e $DOF + 1$) hasta el número total de coordenadas de la estructura NJ, y luego asignar estos valores al vector **NSC**.

Las coordenadas con restricciones a desplazamientos son las coordenadas de correspondientes a los nodos de los apoyos. Al sumar las columnas de restricciones en el eje X, Y, y Z de la hoja de ingreso de apoyos en la estructura (Tabla. 10), se obtuvo el número de coordenadas restringidas a desplazamientos.

Se obtuvieron 18 coordenadas restringidas. Dado que el número de columnas y apoyos no cambió según los análisis de estructuras de 5, 10 15 o 20 pisos, este número de coordenadas restringidas a desplazamiento permaneció constante.

Restando el número de restricciones de desplazamiento NR del producto entre el número de nodos NJ y el número de coordenadas por nodo tamaño NCJT se obtuvieron los grados de libertad de la estructura DOF. La ecuación mostrada a continuación explica esto:

$$\text{DOF} : (\text{NJ})(\text{NCJT}) - \text{NR}$$

Ecuación 25. Grados de libertad de la estructura.

Fuente: Kassimalli A., 2009

Dónde:

DOF: Grados de libertad de la estructura, por sus siglas en inglés Degrees of Freedom.

NJ: Número de nodos por estructura.

NCJT: Número de coordenadas por nodo igual a 3.

NR: Número de restricciones de la estructura.

Para programar la asignación de números de coordenadas en el vector NSC se utilizó el procedimiento mostrado en la figura 27. Inicialmente se generó el vector NSC con un tamaño igual a (NCJT) (NJ) y valores igual a cero. Con cuatro estructuras los tamaños consistieron en 108, 198, 288 y 378 filas respectivas a las estructuras de 5, 10, 15 y 20 pisos. Con 18 restricciones, debido a 6 apoyos los grados de libertad para cada estructura fueron de 90, 180, 270 y 360 grados de libertad. La tabla 16 muestra esta información.

Tabla 16. Valores utilizados para generar el vector NSC

Estructura	Nodos NJ	Número de coordenadas en la estructura NSC	Grados de libertad NDOF
5	36	108	90
10	66	198	180
15	96	288	270
20	126	378	360

Ya con el número de grados de libertad se procedió a generar y asignar a las variables J y K un valor de cero y el número de grados de libertad, DOF, respectivamente. El programa inicialmente comienza con un bucle while en donde compara si el número de nodo I, es menor al tamaño de numero de nodos NJ.

De ser cierto lo anterior el programa asigna a las variables ICOUNT e I1, los valores de cero y uno. Y utiliza el valor de I1, para comparar de manera consecutiva si el nodo I es uno de los nodos que sirven como apoyos (Tabla 10). De ser el nodo I un nodo que sirve como apoyo el programa asigna a ICOUNT y a I2 el valor de 1. Se entra en otro bucle while, este bucle tuvo como función asignar al índice I3 del vector NSC el numero de la coordenada.

De ser una coordenada libre entonces la enumeración de coordenadas se procedía a asignar de 1 al valor de los grados de libertad, de ser una coordenada restringida se procedía a enumerar las coordenadas desde un valor de grados de libertad más uno, hasta el número de coordenadas totales. En el caso de que el nodo I no fuese un nodo de apoyo sus tres coordenadas eran libres, y el algoritmo procedía asignar los valores de K pertinentes.

El programa termina cuando ya no tiene más nodos al cual asignarles números de coordenadas.

Tabla 17. Argumentos de la subrutina NSC

Variable	Descripción
I	Contador del número de nodo que se está analizando.
J	Contador de coordenada representando un número de grado de libertad, iniciando en cero.
K	Contador de coordenada representando un numero de restricción, iniciando como el número de grados de libertad de la estructura.
I1	Valor utilizado como subíndice de fila de la matriz MSUP.
I2	Valor utilizado como subíndice de columna de la matriz MSUP y como valor adicional al subíndice de filas del vector NSC, I3.
I3	Valor utilizado como subíndice del vector NSC.
ICOUNT	Valor que es utilizado para determinar si ya se debe analizar el siguiente nodo

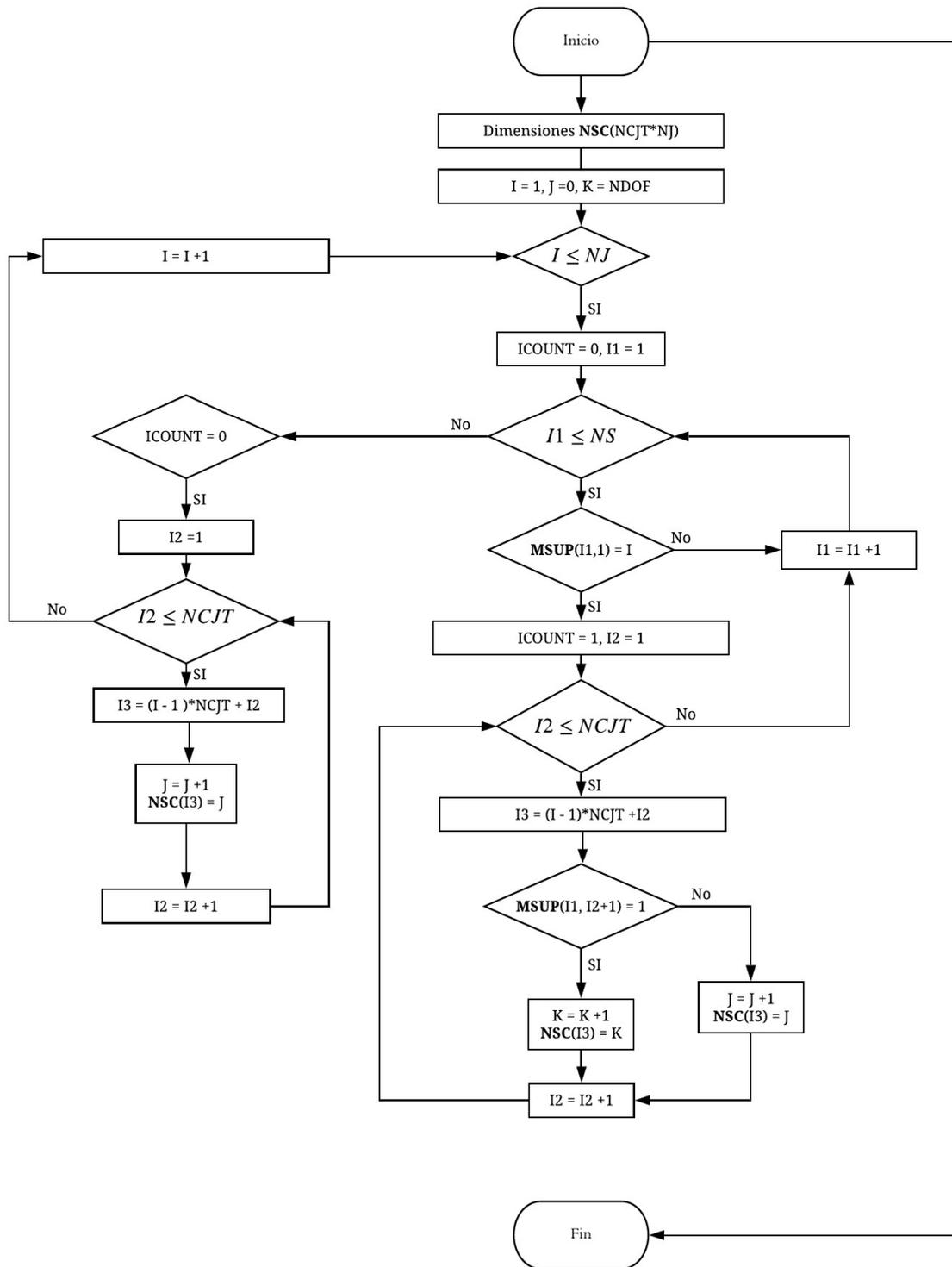


Figura 27. Diagrama de flujo del vector NSC, número de coordenadas de estructuras

Fuente: Kassimali, A. 2012

4.4.4.4 Matrices de rigidez y de fuerzas

Las matrices de rigideces y fuerzas se construyeron para los elementos estructurales y luego los resultados fueron almacenados en matrices y vectores de rigideces y fuerzas para la estructura. El procedimiento para realizar esto se muestra en la figura 28. Cada subrutina incluida se explica en las siguientes secciones.

El flujograma mostrado en la figura 28 fue corrido un total de 220 veces, una vez por cada sección de inercia utilizada (Tabla 13) correspondiente a una estructura de 5, 10,15 o 20 pisos sometida una vez por cada cortante basal de 50,000, 100,000, 200,000, 300,000, o 400,000 kg.

Por dicha razón se asignó el flujograma anterior a la función S_P_fun para correr de manera automática el algoritmo. En la tabla 18 se describen las variables.

Tabla 18. Argumentos de la subrutina S_P_fun

Argumento	Descripción
COORD	Hoja de ingreso de datos de coordenadas
MPRP	Hoja de ingreso de datos de elementos estructurales
MSUP	Hoja de ingreso de datos de apoyos de la estructura
CP	Hoja de ingreso de datos de geometrías de los elementos estructurales
MP	Hoja de ingreso de datos de tipos de cargas en los elementos estructurales
PM	Hoja de ingreso de datos de magnitudes y localizaciones de cargas en los elementos estructurales
EM	Hoja de ingreso de datos de tipos de materiales de los elementos estructurales

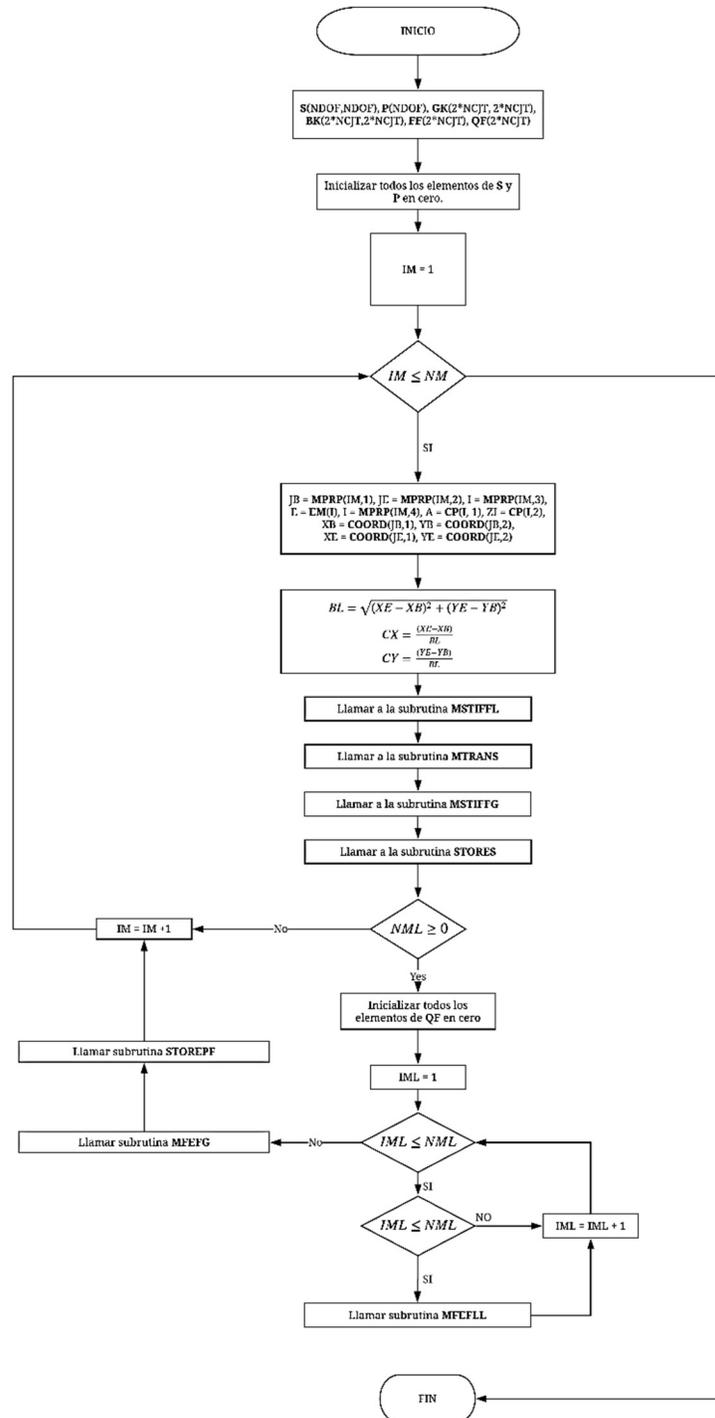


Figura 28. Procedimiento para determinar y almacenar la matriz de rigidez global de la estructura y el vector de fuerzas en los nodos de la estructura

Fuente: Kassimalli A., 2012

4.4.4.5 Matrices de rigidez

4.4.4.5.1 Matriz de rigidez de un elemento en coordenadas locales

Para generar las matrices de rigideces locales de cada elemento se utilizó la subrutina MSTIFFL. La subrutina utilizaba los valores de tipo de material y tipo de geometría de la hoja de ingreso de elementos estructurales y procedía a compararlos con las hojas de tipo de material y geometría de elementos estructurales para obtener los valores de módulo de elasticidad, área e inercia del elemento estructural analizado.

Los argumentos descritos en la tabla 19 fueron utilizados para calcular las y asignar las rigideces a los elementos de la matriz de rigidez como se muestra en la figura 29.

Tabla 19. Argumentos de la subrutina MSTIFFL

Argumentos	Descripción
E	Módulo de elasticidad del elemento
A	Área de sección transversal del concreto
ZI	Inercia del elemento
BL	Longitud del elemento
NCJT	Número de coordenadas por nodo

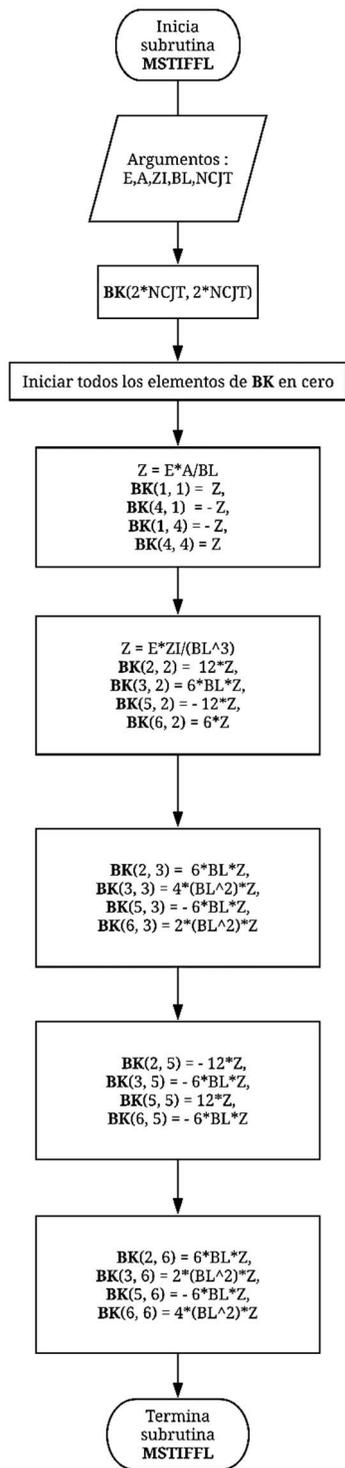


Figura 29. Subrutina MSTIFFL para el cálculo de la matriz de rigidez local del elemento
Fuente: Kassimali, A. 2012

4.4.4.5.2 Matriz de transformación de coordenadas locales a globales

La matriz de transformación de coordenadas locales a globales fue llamada **T** La forma de la matriz de transformación se muestra en la ecuación XXX. La matriz **T**, fue generada con la subrutina MTRANS. Los valores de CX y CY obtienen de los cálculos mostrados en la figura 30.

Tabla 20. Argumentos de subrutina MTRANS

Argumentos	Descripción
CX	Proyección del elemento en el eje X
CY	Proyección del elemento en el eje Y

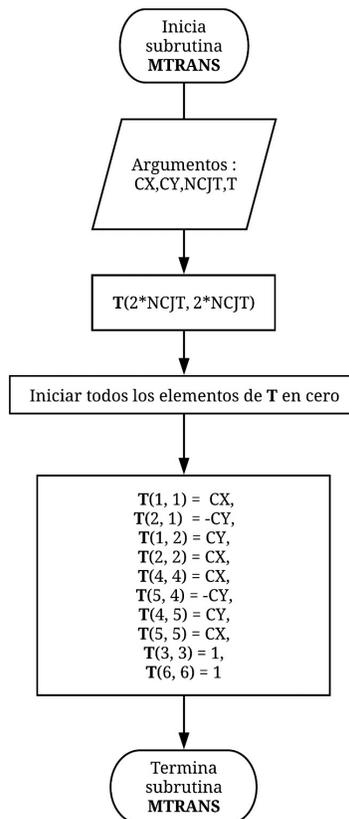


Figura 30. Subrutina MTRANS para el cálculo de la matriz de transformación

Fuente: Kassimali, A. 2012

4.4.4.5.3 Matriz de rigidez de un elemento en coordenadas globales

Para generar la matriz de rigidez global de un elemento, llamada **GK**, se implementó la ecuación 21 con las matrices **K** y **T**, obtenidas con las subrutinas **MSTIFFL** y **MTRANS** respectivamente.

4.4.4.5.4 Almacenamiento de matriz de rigidez de estructura

La subrutina **STORES**, asigno los elementos de la matriz de rigidez global del elemento **K**, a los elementos de la matriz de rigidez global de la estructura **S**.

El algoritmo consistió de dos bucles **while** y dentro de cada bucle una sentencia condicional **if**. Ambos bucles, mediante los valores de las filas y columnas **I** e **J**, de la matriz de rigidez **K**, determinaban los subíndices de las coordenadas libres del vector **NSC** para asignar los valores a los argumentos **N1** y **N2**.

Los valores **N1** y **N2** fueron luego utilizados como los subíndices de los elementos de la matriz de rigidez local **S**, donde el elemento **I, J** de la matriz de rigidez del elemento **K** era asignado.

Los argumentos y las variables de la subrutina se describen en la tabla 21 y 22.

Tabla 21. Argumentos de la subrutina STORES

Argumento	Descripción
JB	Nodo inicial del elemento
JE	Nodo final del elemento
NCJT	Numero de coordenadas por nodo:3
NDOF	Número de grados de libertad de la estructura
NSC	Número de coordenadas de la estructura
GK	Matriz de rigidez global del elemento
S	Matriz de rigidez de la estructura

Tabla 22. Variables de la subrutina STORES

Argumento	Descripción
I	Contador utilizado para determinar variable I1 y como valor de subíndice de las columnas los elementos de la matriz de rigidez GK
J	Contador utilizado para determinar variable I1 y como valor de subíndice de las filas los elementos de la matriz de rigidez GK
N1	Número de coordenada X, Y o Z de nodo JB
N2	Número de coordenada X, Y o Z de nodo JE
I1	Subíndice de las coordenadas de nodos JB o JE

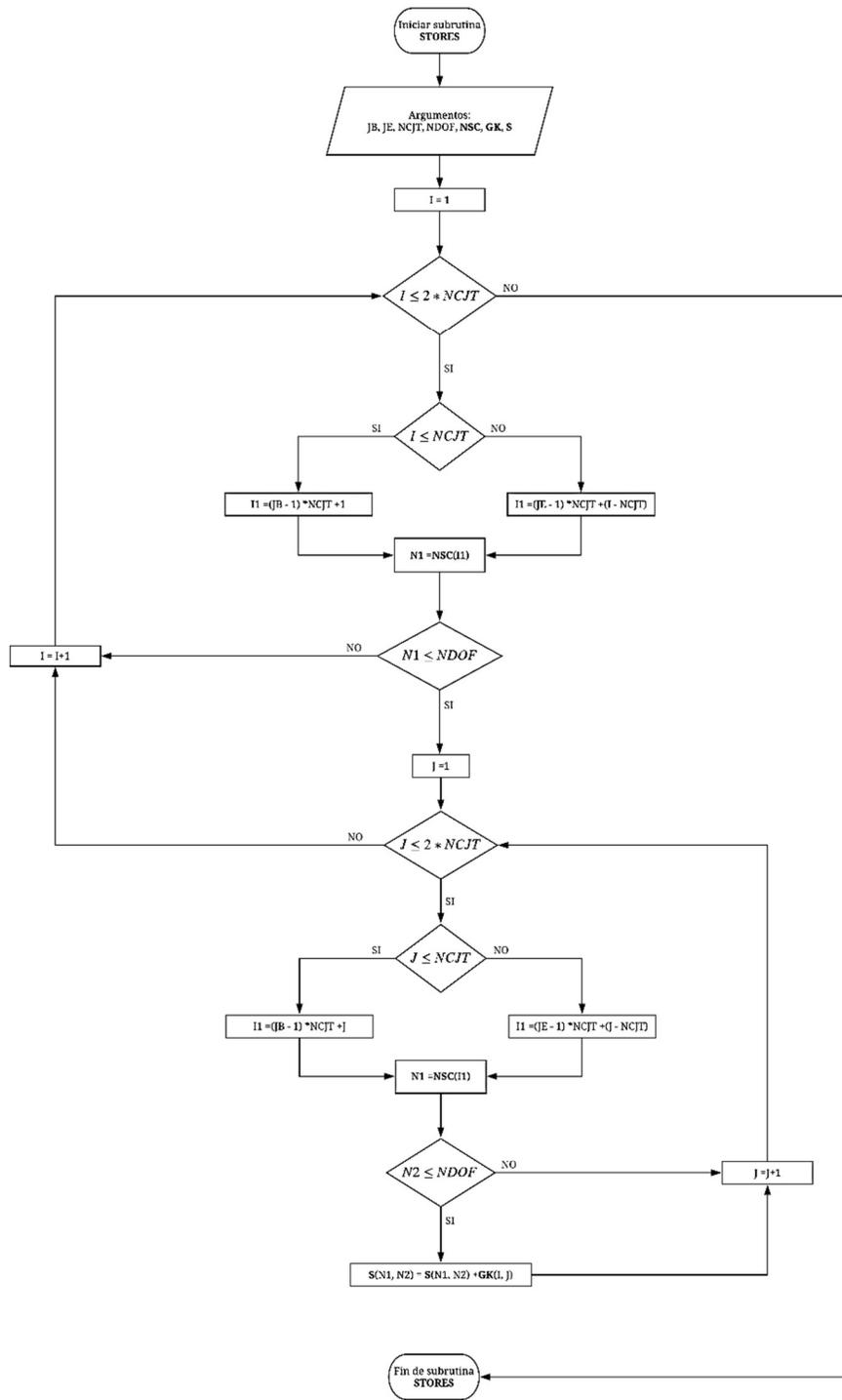


Figura 31. Flujograma de la subrutina STORES para almacenar las rigideces globales de la estructura

Fuente: Kassimali, A. 2012

4.4.4.6 Matrices de fuerzas de empotramiento perfecto

4.4.4.6.1 Matriz de fuerzas de empotramiento perfecto en coordenadas locales

Se utilizo la subrutina MFEFFL para generar la matriz de fuerzas de empotramiento perfecto de un elemento en coordenadas locales, llamada QF. La matriz posee un tamaño de seis filas y una columna, con cada elemento correspondiendo a las fuerzas de empotramiento en X, Y, Z del nodo JB y el JE.

La subrutina utilizo los argumentos expuestos en la tabla 23. De la segunda columna de la matriz **MP** se obtenía el valor de LDTYPE, correspondiente al tipo de carga sometida al elemento estructural analizado. El valor de LDTYPE y su tipo de carga respectiva se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 23. Valor LDTYPE encontrado en la matriz MP, correspondiente al tipo de carga a la cual es sometida el elemento estructural.

Valor LDTYPE	Tipo de carga
1	Puntual
2	Momento
3	Uniformemente distribuida
4	Uniformemente variable
5	Axial en un punto
6	Axial en un tramo

El valor LDTYPE era comparado en sentencias if, al ser la sentencia verdadera se utilizaban los valores de la matriz **PM** para ser asignados a las ecuaciones para generar las fuerzas de empotramiento perfecto, encontradas en anexos.

Las fuerzas de empotramiento perfecto eran asignadas al vector **QF**, y finalizaba la subrutina MFEFFL.

El flujograma de la descripción anterior se muestra en la figura 32.

Tabla 24. Argumentos de la subrutina MFEFFL

Argumento	Descripción
IML	Contador del número de miembro cargado con fuerzas externas
BL	Longitud del miembro
MP	Matriz de miembros sometidos a fuerzas externas
PM	Matriz de cargas externas
QF	Vector de fuerzas de empotramiento perfecto.

Tabla 25. Variables de la subrutina MFEFFL

Variables	Descripción
LDTYPE	Contador del número de miembro cargado con fuerzas externas
BW	Carga puntual o de momento
BL1	Longitud l1 del elemento ver Anexo XXX
BL2	Longitud l2 del elemento ver Anexo XXX
W	Intensidad de la carga uniforme
FAB	Fuerza axial de empotramiento perfecto
FSB	Fuerza cortante de empotramiento perfecto
FMB	Momento de empotramiento perfecto
FAE	Fuerza axial de empotramiento perfecto
FSE	Fuerza cortante de empotramiento perfecto
FME	Fuerza axial de empotramiento perfecto

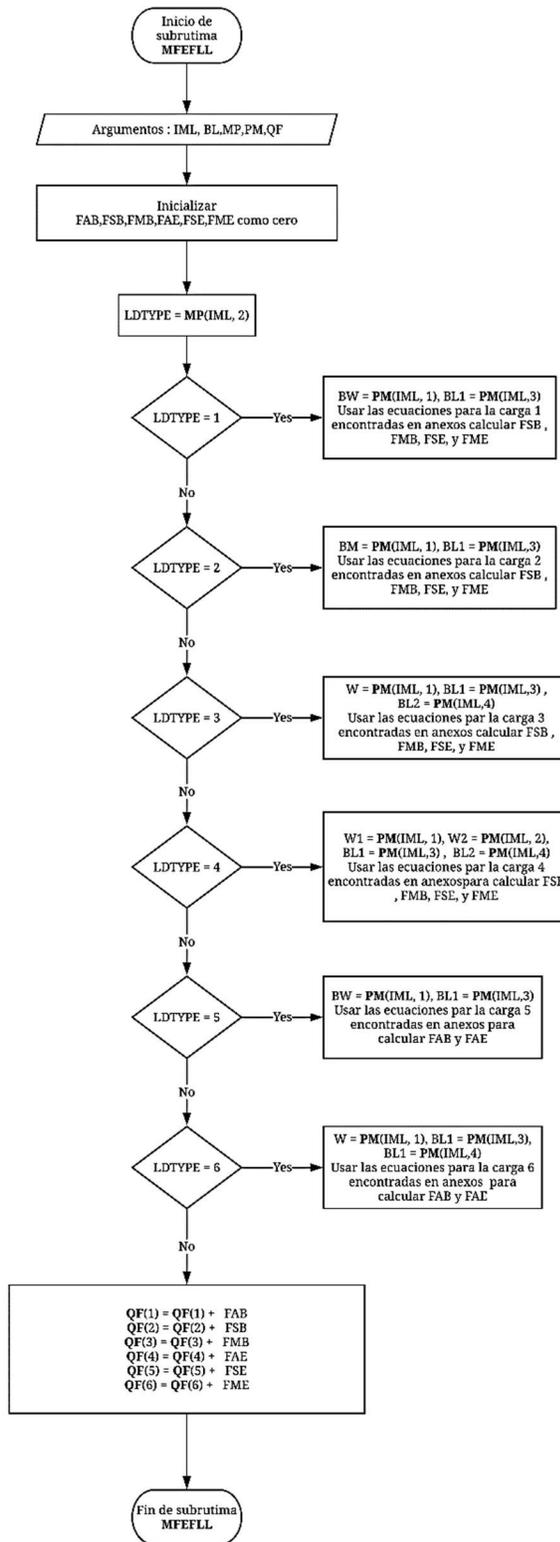


Figura 32. Subrutina MFEFLL para el cálculo de fuerzas de empotramiento perfecto
Fuente: Kassimali A., 2012

4.4.4.6.2 Matriz de fuerzas de empotramiento perfecto en coordenadas globales

Para generar la matriz de fuerzas globales de un empotramiento perfecto de un elemento, FF , se utilizó la ecuación 20, la cual es el producto del vector de fuerzas de empotramiento perfecto en coordenadas locales QF y la matriz de transformación T , obtenidas con las subrutinas MFEFLL y MTRANS respectivamente.

4.4.4.6.3 Almacenamiento de vector de fuerzas de empotramiento de la estructura

El vector de fuerzas de empotramiento perfectos de la estructura, P , se determinó mediante la subrutina STOREPF.

Los argumentos y las variables de la subrutina STOREPF son mostrados en las tablas 26 y 27. La variable I se inicia en uno y se entra a una sentencia que compara si I es menor a $2(NCJT)$, de ser cierta entra a otra sentencia que compara si I es menor a $NCJT$ y determina el valor de $I1$, con las ecuaciones mostradas en el flujograma de la figura 33, de no ser cierta se termina la subrutina.

El valor $I1$ es utilizado como subíndice en el vector NSC para obtener el número coordenada del nodo JB , llamado $N1$. Si el número de coordenada, $N1$, es menor al de los grados de libertad de la estructura $NDOF$, entonces se calcula el valor de la carga con la ecuación mostrada en el flujograma, de no ser menor a $NDOF$ se omite este paso.

Se procede a asignarle a la variable I , el valor de $I + 1$ y se comienza el proceso nuevamente hasta terminar la subrutina.

Tabla 26. Argumentos de la subrutina STOREPF

Argumentos	Descripción
JB	Nodo inicial del elemento
JE	Nodo final del elemento
NCJT	Número de coordenadas por nodo:3
NDOF	Número de grados de libertad de la estructura
NSC	Número de coordenadas de la estructura.
QF	Vector de fuerzas de empotramiento perfecto del elemento en coordenadas locales

Tabla 27. Variables de la subrutina STOREPF

Variable	Descripción
I	Contador utilizado para determinar variable II y como valor de subíndice del vector QF
N1	Número de coordenada X, Y o Z de nodo JB o JE
P	El vector de fuerzas de empotramiento perfectos de la estructura

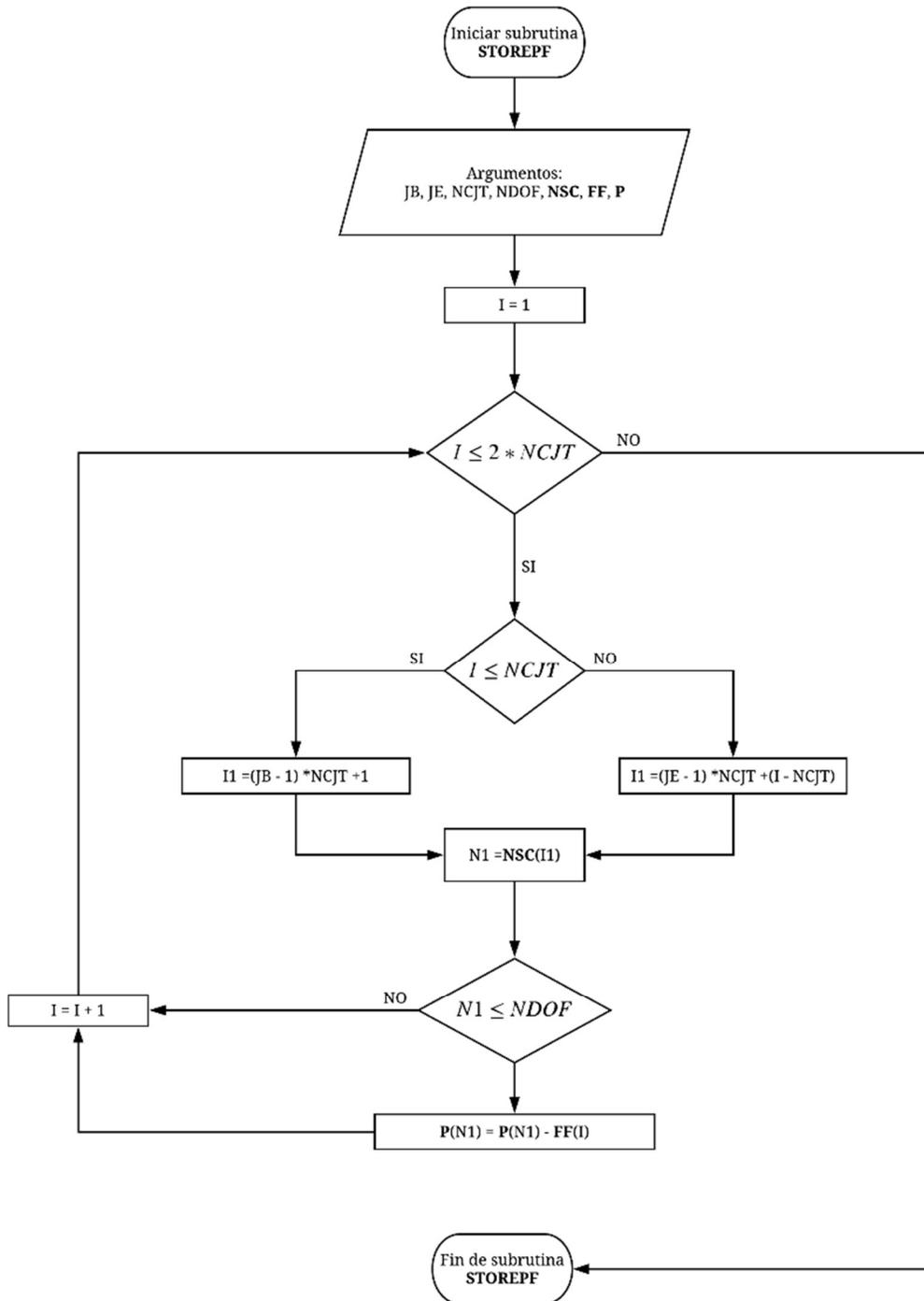


Figura 33. Subrutina STOREPF para el almacenamiento de fuerzas de empotramiento perfecto al vector de fuerzas de la estructura

Fuente: Kassimali A., 2012

4.4.4.6.4 Vector de fuerzas en nodos

Para esto se generó La subrutina PJ_fun, sumo el vector de fuerzas de empotramiento **P**, con las fuerzas de cortante encontradas en la hoja de fuerzas en nodos. Los argumentos y las variables de la subrutina se describen en la tabla 28 y 29.

El algoritmo consistió en dos bucles while y en el segundo bucle una sentencia condicional if. Se le asigna la variable I el valor de uno, luego se utiliza este valor como subíndice de fila en la primera columna de la matriz **JDL**, para determinar el nodo cargado. Se determina el valor I2, como aparece en la figura 34 y se utiliza como subíndice para determinar el número de coordenada en X del nodo analizado.

Se entra a la sentencia condicional if y se compara si el número de coordenada es menor al número de grados de libertad NDOF, de ser cierta la sentencia se procede a sumar la fuerza aplicada, encontrada en la sexta columna de la matriz **JDL**, a la fuerza de empotramiento perfecto del vector **P**, correspondiente al eje X del nodo analizado. Luego se procede a realizar el análisis para todos los nodos encontrados en la matriz **JDL**.

Tabla 28. Argumentos de subrutina PJ_fun

Argumentos	Descripción
JB	Nodo inicial del elemento
JE	Nodo final del elemento
JDL	Matriz de nodos a los cuales se les aplica una carga
NDOF	Número de grados de libertad de la estructura
NSC	Número de coordenadas de la estructura

Tabla 29. Variables de subrutina PJ_fun

Variables	Descripción
I	Contador de los nodos los cuales se les ejerce una carga
I1	Variable utilizada para determinar el subíndice I2
I1	Subíndice del vector NSC para determinar la coordenada

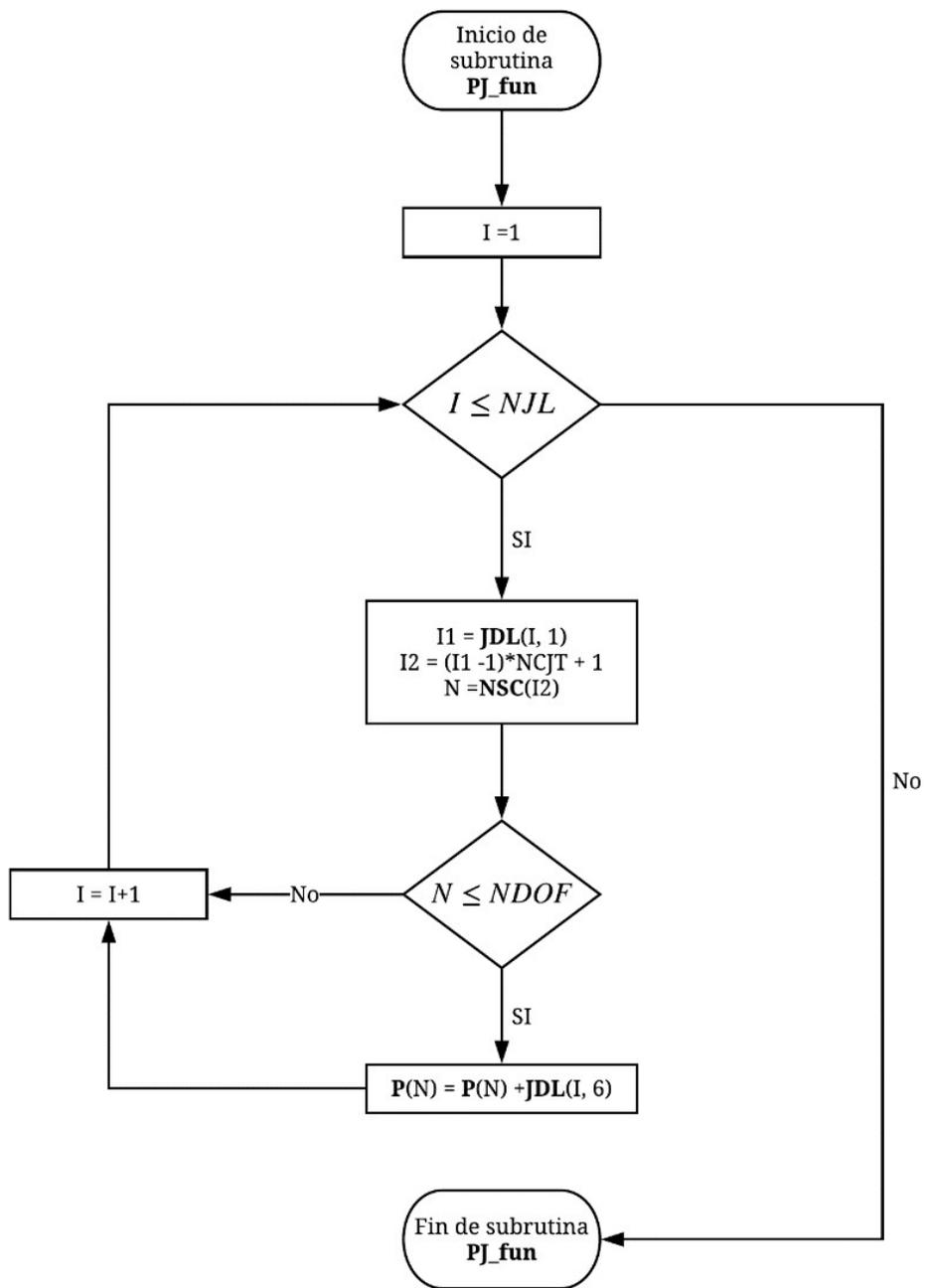


Figura 34. Subrutina PJ_fun para sumar las fuerzas en nodos a las fuerzas de empotramiento perfecto

4.4.4.7 Vector de desplazamientos

El vector de desplazamientos **D** se calculó realizando un despeje en la ecuación 26, utilizando la matriz de rigidez de la estructura, **S**, y la matriz de fuerzas en la estructura **P**.

$$S = DP$$

Ecuación 26 Relación de fuerzas y desplazamientos

Fuente: Kassimalli, A.2012

Se obtuvieron los desplazamientos laterales de la estructura, al extraer todos los elementos con un subíndice $3 \cdot I$ del vector **D**, donde el valor de I aumentaba consecutivamente desde uno hasta el número tamaño del vector **D** menos dos.

4.4.4.8 Derivas laterales piso

Se utilizaron los desplazamientos laterales, obtenidos y se calcularon la deriva lateral relativas para cada desplazamiento, como indica la ecuación 1. Se agruparon las derivas laterales relavas, se agruparon por piso y se calculó el valor promedio. Luego se obtuvo el valor máximo de la deriva lateral relativa. Finalmente, se procedió a graficar la deriva lateral máxima con respecto a la inercia de la columna utilizada en los cálculos.

Los procedimientos anteriores se realizaron 44 veces. Donde las variables modificadas eran las once columnas y los cuatro tipos de estructuras.

4.5 Propuesta

4.5.1 Método gráfico para el pre-dimensionamiento de columnas según desplazamientos laterales máximos relativos.

4.5.2 Introducción.

4.5.3 Descripción de la propuesta.

4.5.3.1 Determinación del periodo fundamental de la estructura.

4.5.3.2 Determinación del coeficiente numérico R_w .

4.5.3.3 Determinación de derivas laterales máximas.

4.5.3.4 Determinación de cortante basal de la zona.

4.5.3.5 Determinación de Inercia.

4.5.3.6 Secciones de pre-dimensionamiento.

4.5.4 Presupuesto General.

4.5.5 Cronograma de ejecución.

4.5.2 Introducción

El nomograma propuesto es una herramienta gráfica utilizada para pre-dimensionar las columnas de una estructura en base al criterio de desplazamientos máximos relativos de la norma de construcción hondureña.

El nomograma permite a los profesionales de la ingeniería estructural utilizar las características propias de la estructura a diseñar, tales como; magnitudes de las fuerzas cortantes de piso y el número de niveles de la edificación.

4.5.3 Descripción de la propuesta

Para utilizar el nomograma para el pre-dimensionamiento de las columnas se deben seguir los siguientes seis pasos.

4.5.3.1 Determinación del periodo fundamental de la estructura

Utilizando el inciso 1.3.5.2.2 Período de la estructura, se procede a determinar el período fundamental ya sea por el método A, o el método B.

El método A consiste en utilizar la siguiente ecuación para determinar el período:

$$T = C_t (h_n)^{\frac{3}{4}}$$

Ecuación 27. Periodo fundamental

Fuente: Código Hondureño de la construcción (2008)

Dónde:

C_t : 0.0853 para marcos rígidos de acero.

C_t : 0.0731 para marcos rígidos de concreto reforzado y marcos arriostrados excéntricamente.

C_t : 0.0488 para todos los otros edificios.

El valor de C_t también puede ser calculado de la siguiente manera:

$$C_t = \frac{0.0743}{\sqrt{A_c}}$$

Ecuación 28. Coeficiente de tipo estructural

Fuente: Código Hondureño de la construcción (2008)

$$A_c = \Sigma A_e \left[0.2 + \left(\frac{D_e}{h_n} \right)^2 \right]$$

Ecuación 29. Área efectiva de muros

Fuente: Código Hondureño de la construcción (2008)

El valor D_e/h_n no debe exceder 0.9

4.5.3.2 Determinación del coeficiente numérico R_w

Los valores de R_w , se obtienen de la tabla 1.3.4-6 del mismo código, mostrada a continuación.

Tabla 30. Coeficientes R_w para sistemas estructurales

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	8	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	8	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 ^g	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	8	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.

^b Ver la Sección 1.3.5.3 para la combinación de sistemas estructurales.

^c Altura límite en metros (S.L. = sin límite) aplicable a las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6. Ver la Sección 1.3.4.7.

^d Prohibido en las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6.

^e Prohibido en las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6, excepto como se permite en la Sección 1.3.9.2.

Fuente: Código Hondureño de la Construcción 2008

4.5.3.3 Determinación de derivas laterales máximas.

Los desplazamientos laterales relativos calculados no deberán exceder $0.04/R_w$ o 0.005 veces la altura de piso para estructuras que tienen un periodo fundamental menor que 0.7 segundos. Para estructuras que tienen un periodo fundamental igual o mayor que 0.7 segundos, el desplazamiento lateral relativo calculado no deberá exceder $0.03/R_w$ o 0.004 veces la altura de piso. (Código Hondureño de la construcción, 2008)

Habiendo determinado el periodo de la estructura por el método A y el coeficiente numérico R_w determinar los valores máximos permisibles que permite el CHOC-08, tal como se cita anteriormente.

4.5.3.4 Determinación de cortante basal de la zona.

Se procede a determinar el cortante basal de la estructura por medio del inciso 1.3.5.2.1, titulado, cortante de diseño en la base. Por medio de las fórmulas:

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

Ecuación 30. Cortante basal

Fuente: Código Hondureño de la Construcción (2008)

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

Ecuación 31. Coeficiente numérico

Fuente: Código Hondureño de la Construcción (2008)

Dónde:

V: Cortante basal de la estructura.

Z: factor de zona sísmica.

I: factor de importancia de la estructura.

W: Peso total de la estructura obtenido de las dimensiones geométricas de los planos arquitectónicos originales.

C: Coeficiente numérico especificado en 1.3.5.2.1.

S: Coeficiente del sitio según el tipo de suelo dónde se encuentra la estructura.

T: Período fundamental de la estructura.

4.5.3.5 Determinación de Inercia

Habiendo obtenido los valores máximos de las derivas laterales se selecciona el nomograma correspondiente al número de pisos que posea la estructura a pre-dimensionar y se procede a diagramar una línea horizontal que intercepte una de las curvas de cortante basal. Finalmente se debe trazar una línea vertical la cual intercepte el eje de las abscisas. El valor obtenido es la inercia en cm^4 .

En el caso que el cortante basal calculado con la ecuación 30 de este proyecto de investigación no se encuentre en el nomograma se deberá generar visualmente, con ayuda de las curvas existentes una curva del cortante basal calculado.

Adicionalmente, en el caso que la estructura a pre-dimensionar no tenga el mismo número de pisos que los nomogramas presentados se deberá determinar la inercia de la de las columnas mediante una interpolación de inercias resultantes al utilizar los nomogramas más próximos que tenga un número de pisos superiores e inferiores al de la estructura a pre-dimensionar.

El nomograma para la estructura de cinco pisos se presenta a continuación. Todos los nomogramas se encuentran en el capítulo de anexos.

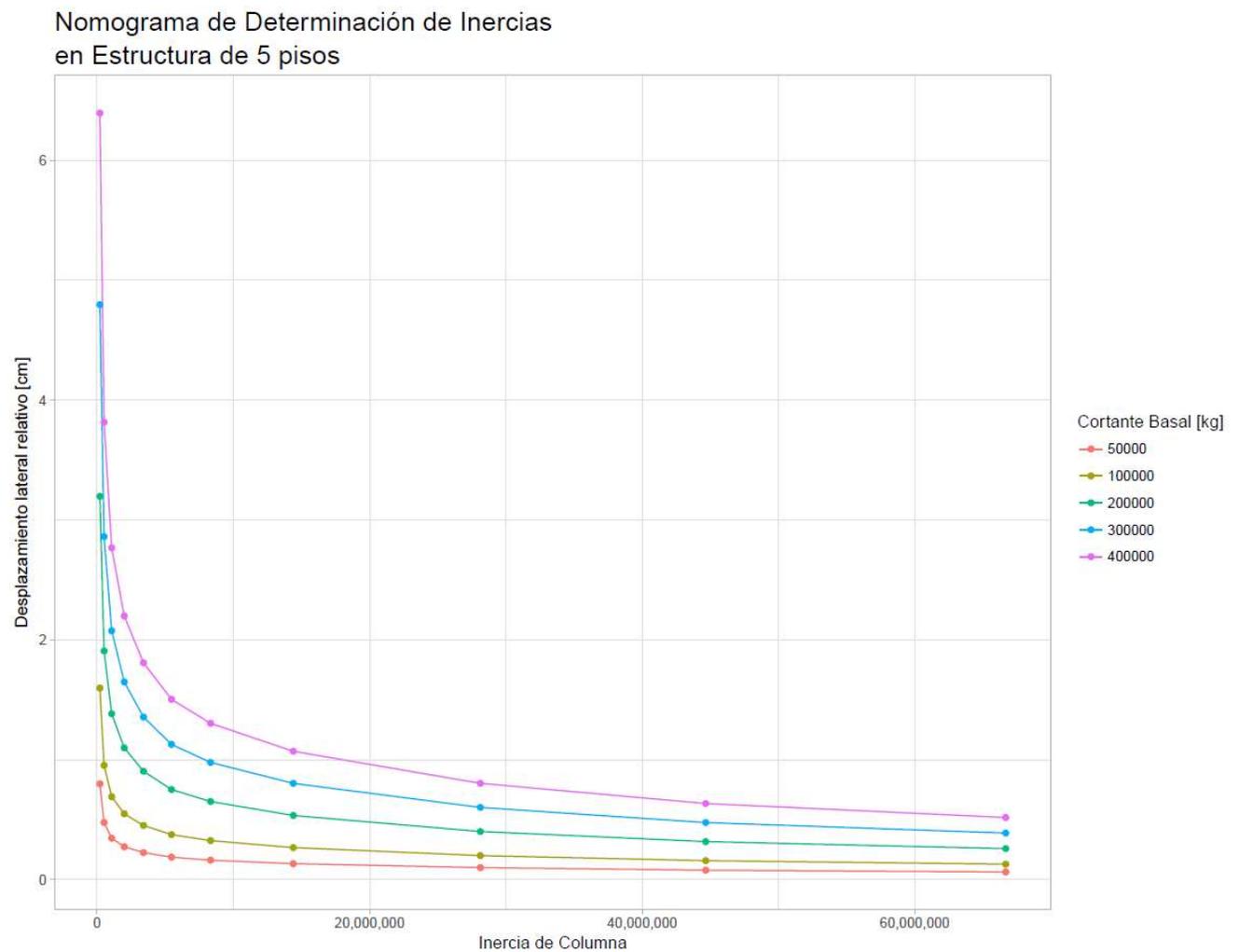


Figura 35. Nomograma de desplazamientos laterales relativos vs inercias para una estructura de 5 pisos

4.5.3.6 Secciones de pre-dimensionamiento

Igualando las fórmulas para calcular la inercia al resultado obtenido, en el paso anterior, se procede a determinar las dimensiones del largo, ancho o diámetro, mediante un simple despeje de variable.

$$I_{\text{rectángulo}} = \frac{bh^3}{12}$$

Ecuación 32. Inercia de una columna con forma rectangular

Fuente: Gere J., 2009

$$I_{\text{circulo}} = \frac{\pi d^4}{64}$$

Ecuación 33. Inercia de una columna con forma circular

Fuente: Gere J., 2009

Dónde;

$I_{\text{rectangular}}$: Inercia de una columna con forma rectangular.

I_{circular} : Inercia de una columna con forma circular.

b: base de la columna con forma rectangular.

h: altura de la columna con forma rectangular.

d: diámetro de la columna con forma circular.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo contiene las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo del proyecto, que resuelven las preguntas de investigación realizadas para solventar el problema de investigación.

5.1 Conclusiones

El método propuesto reduce el número de iteraciones a realizar para definir la geometría de las columnas en base al cumplimiento de los desplazamientos laterales relativos admisibles según el Código Hondureño de la Construcción.

Las principales limitantes para la generación del nomograma fueron las complejidades de realizar análisis inelásticos, análisis tridimensionales, análisis dinámicos sísmicos, las consideraciones de efectos P-Delta, irregularidades verticales de las estructuras, y el número de modelos de marcos estructurales a analizar.

Las variables que reducen los desplazamientos laterales de una estructura de marco rígido son las inercias, las alturas y el material, de las columnas. Al aumentar las variables de inercia o módulo de elasticidad, o al reducir la altura de las columnas se reducen los desplazamientos laterales.

El nomograma permite determinar una sección de pre-dimensionamiento de columnas para cumplir con los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles del Código Hondureño de la Construcción.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda utilizar este método para el pre-dimensionamiento de columnas en base al desplazamiento relativo máximo admisible establecido por el Código Hondureño de la Construcción, en marcos rígidos de concreto reforzado con resistencias a la compresión de 280kg/cm^2 , que no sobrepasen 70 metros de altura, que tengan secciones de elevación y planta regulares y con cortantes basales que no superen las 400 toneladas.

Finalmente se recomienda realizar los cálculos pertinentes para que el diseño definitivo de las columnas también cumpla con los requerimientos de resistencia mínima admisibles establecidos por el Código Hondureño de Construcción.

Tabla 31. Tabla de concordancia de los segmentos del documento con la propuesta

Título	Problema	Objetivo		Conclusiones	Recomendaciones	Propuesta
		General	Específicos			
Pre-dimensionamiento de columnas según límites de desplazamientos laterales del código hondureño de la Construcción.	La cantidad de iteraciones necesarias para definir las secciones de columnas que cumplan con los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles establecidos por el Código Hondureño de la Construcción	Aportar un método que reduzca el número de iteraciones necesarias para definir las secciones de columnas que cumplan con los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles establecidos por el Código Hondureño de la Construcción.	Identificar las principales limitantes en la generación del método para utilizar el nomograma para el pre-dimensionamiento de columnas.	Las principales limitantes para la generación del nomograma fueron las complejidades de realizar análisis inelásticos, análisis tridimensionales, análisis dinámicos sísmicos, las consideraciones de efectos P-Delta, irregularidades verticales de las estructuras, y el número de modelos de marcos estructurales a analizar.	Se recomienda utilizar este método para el pre-dimensionamiento de columnas en marcos de concreto con resistencias a la compresión de 280kg/cm ² , que no sobrepasen 70 metros de altura, que tengan secciones de elevación y planta regulares y con cortantes basales no superen las 400 toneladas.	Método gráfico para el pre-dimensionamiento de columnas según desplazamientos laterales máximos relativos.
			Identificar las variables que reducen los desplazamientos laterales.	Las variables que reducen los desplazamientos laterales de una estructura de marco rígido son las inercias, las alturas y el material, de las columnas. Al aumentar las variables de inercia o módulo de elasticidad, o al reducir la altura de las columnas se reducen los desplazamientos laterales.		
			Proponer un nomograma de pre-dimensionamiento de secciones de columna para cumplir los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles del Código Hondureño de la Construcción.	El nomograma permite determinar una sección de pre-dimensionamiento de columnas para cumplir con los desplazamientos laterales relativos máximos admisibles del Código Hondureño de la Construcción.		
			Proponer un método para el pre-dimensionamiento de columnas según el control de los desplazamientos laterales relativos.			

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- ASCE-7-16. (2017). *Minimum Design Load and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.
- Askeland, D. & Phule, P. (2006), *The Science and Engineering of Materials*. Cengage. 198
- Celigüeta J., (2008). *Método de los elementos finitos para análisis estructural*.
- Chopra A., (2014). *Dinámica de estructuras*.
- Código Hondureño de la Construcción. (2008)
- Código Sísmico de Costa Rica - 2010. In C. P. Costa, *Código Sísmico de Costa Rica - 2010* (p. 3/3). Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Doerfler, R. (2009). *The lost art of nomography*. The UMAP Journal 30.4 , 457-494
- El-Betar, S. A. (2017). *Seismic performance of existing R.C. framed buildings*. *HBRC Journal*, 13(2), 171-180.
- Gere J. & Goodno b. (2009). *Mecánica de materiales*.
- Hibbeler R. C. (2012). *Análisis estructural*.
- Hsieh Y. (1986). *Teoría elemental de estructuras*.
- International Building Code (2009). 303
- Jaya, P., & Alakandar, P. M. (2016). Drift analysis in multistoried building. *International journal of engineering sciences & research technology*, 5(12), 490-505.
- Kassimali A., (2012). *Matrix analysis of structures*.
- Kendall, D.G. (1984). "Shape Manifolds, Procrustean Metrics, and Complex Projective Spaces". *Bulletin of the London Mathematical Society*. **16** (2): 81–121.
- McCormac J. & Brown R., (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*.
- McCormac J. & Csernak S., (2012). *Diseño de Estructuras de Acero*.
- Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures: ASCE/SEI 7-16*. (2017). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

Naeim, F. (2001). Design for Drift and Lateral Stability. *The Seismic Design Handbook*, 327-372.
Do: 10.1007/978-1-4615-1693-4_7

Nilson A., (2001), *Diseño de estructuras de concreto*.

Parker & Ambrose, (2008). *Concreto reforzado*.

Piralla R. M. (2002). *Diseño estructural*.

Prescott, J. (1949) *Mechanics of Particles and Rigid Bodies*. Londres. Longmans Greens and Co.
P.141

Paz M., (1992). *Dinámica Estructural*.

Pytel, J & Kyusalaas, A. (2009). *Mechanics of Materials*. Cengage, 34

Rogers, C. A., & Tremblay, R. (2003). *Inelastic Seismic Response of Side Lap Fasteners for*

Singer F & Pytel A, (2008). *Resistencia de materiales: Teoría y cálculo*.

Steinhaus, H. (1999) *Mathematical Snapshots*, Nueva York: Dover, 92-95

Taranath B. S. (2010). *Reinforced concrete design of tall buildings*.

Timoshenko, S. P., *History of Strength of Materials*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1953.

UBC-94. (1994). *Uniform Buildings Construction*.

Vinnakota S., (2006). *Estructuras de acero: Comportamiento y LRFD*

Wang Ch. (1966). *Matrix method of structural analysis*.

Zhou, J & Bu, G (2012). *Calculation Methods for Inter-Story Drifts of Building Structures*.

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de investigación: Encuesta

Somos estudiantes de Postgrado de la maestría en Ingeniería en Estructuras de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), como parte de nuestro proyecto de graduación estamos realizando una breve encuesta para obtener información relacionada al pre-dimensionamiento de columnas para el control de las derivas generadas por las cargas sísmicas. Agradecemos de antemano su colaboración.

1. ¿Conoce usted algún método o criterio para el pre-dimensionamiento de columnas? Si su respuesta es “NO”, pase a la pregunta 3.

a. Si

b. No

2. Mencione las causas por las cuáles se deben de controlar las derivas generadas por las fuerzas laterales en una estructura de marco rígido.

Especificar: _____

3. ¿Qué grado de importancia le da usted al control de derivas a un sistema de marco rígido resistente a momentos?

a. Importancia despreciable

- b. Poca importancia
- c. Tan importante como todas las actividades del análisis estructural.
- d. Importante
- e. Muy importante

4. ¿Ha tenido que realizar múltiples iteraciones en el dimensionamiento de los elementos verticales de un marco rígido, para cumplir con el control de las derivas máximas impuestas por el CHOC-08?

5. Si

6. No

7. ¿Aproximadamente cuantas veces ha tenido que redimensionar los elementos verticales sismo resistente para cumplir con las derivas máximas laterales que impone la normativa CHOC-08?

a. 0 veces

b. 1 vez

c. 2 veces

d. 3 veces

e. 4 veces

f. Más de 4 veces

Anexo 2. Entrevista de investigación: Entrevista

Somos estudiantes de Postgrado de la maestría en Ingeniería en Estructuras de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), como parte de nuestro proyecto de graduación estamos realizando una breve entrevista para obtener información relacionada al pre-dimensionamiento de columnas para el control de las derivas generadas por las cargas sísmicas. Agradecemos de antemano su colaboración.

1. ¿Cual debería ser la altura adecuada para las columnas del modelo a analizar?
2. ¿Cómo debería ser la estructura por analizar para que sea representativa de las estructuras de la ciudad?
3. ¿Es válido realizar un análisis solo en la etapa elástica?
4. ¿Alrededor de cuántas columnas podría tener un edificio en un solo plano?

Anexo 3. Nomogramas

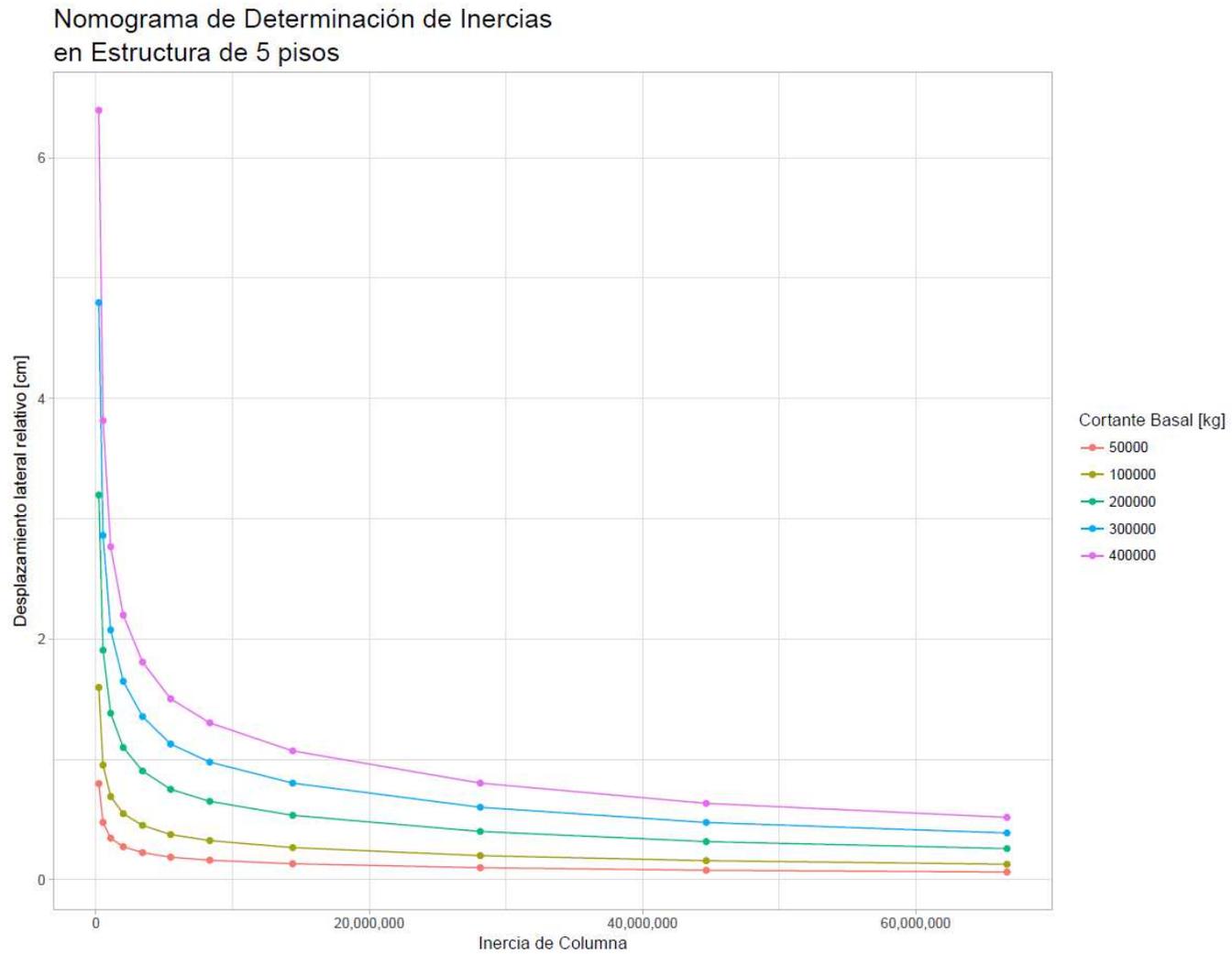


Figura 36. Nomograma de determinación de inercias para marcos rígidos de concreto de 5 pisos y 17.5 metros de altura.

Nomograma de Determinación de Inercias
en Estructura de 10 pisos

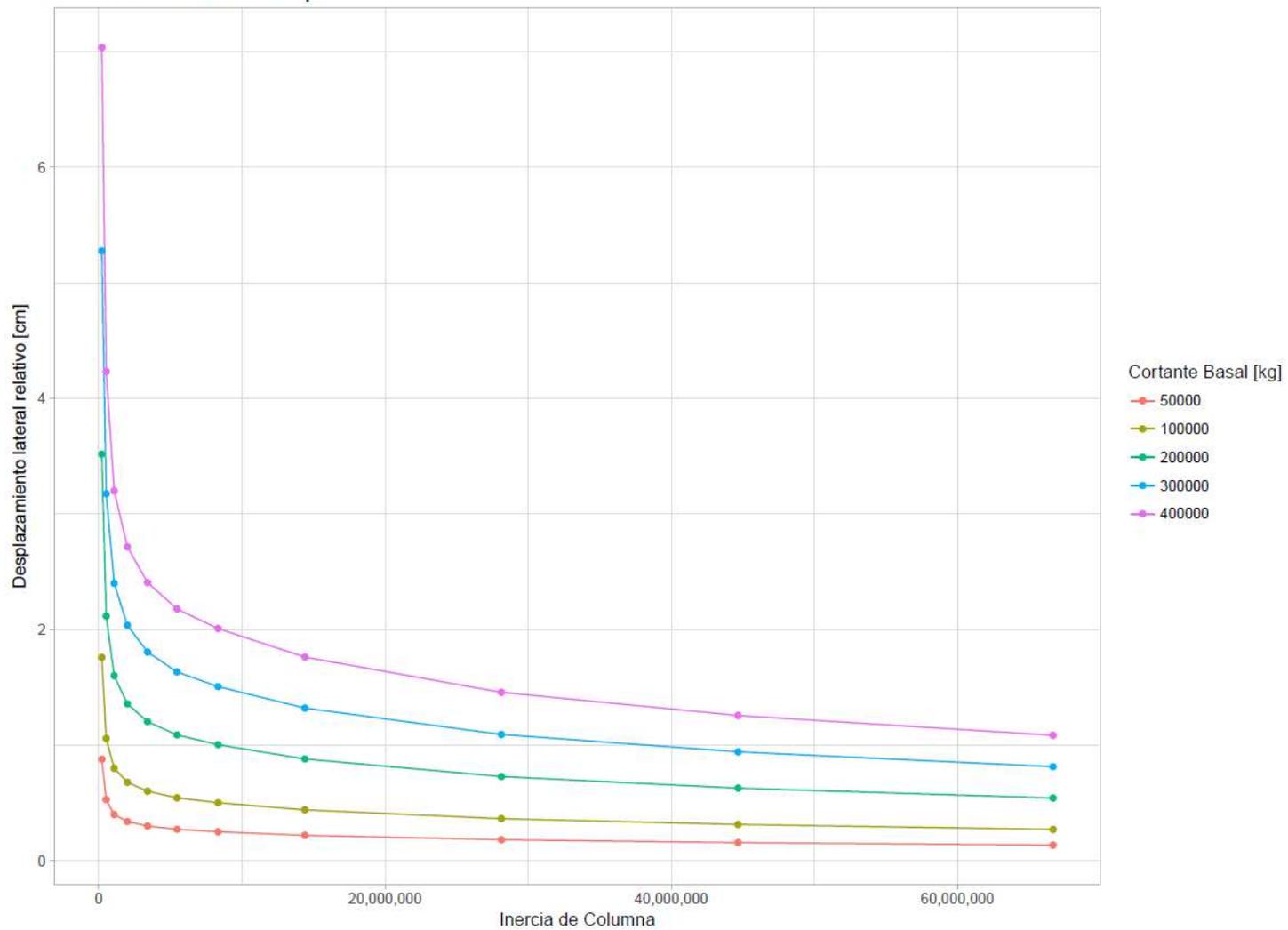


Figura 37. Nomograma de determinación de inercias para marcos rígidos de concreto de 10 pisos y 35 metros de altura.

Nomograma de Determinación de Inercias en Estructura de 15 pisos

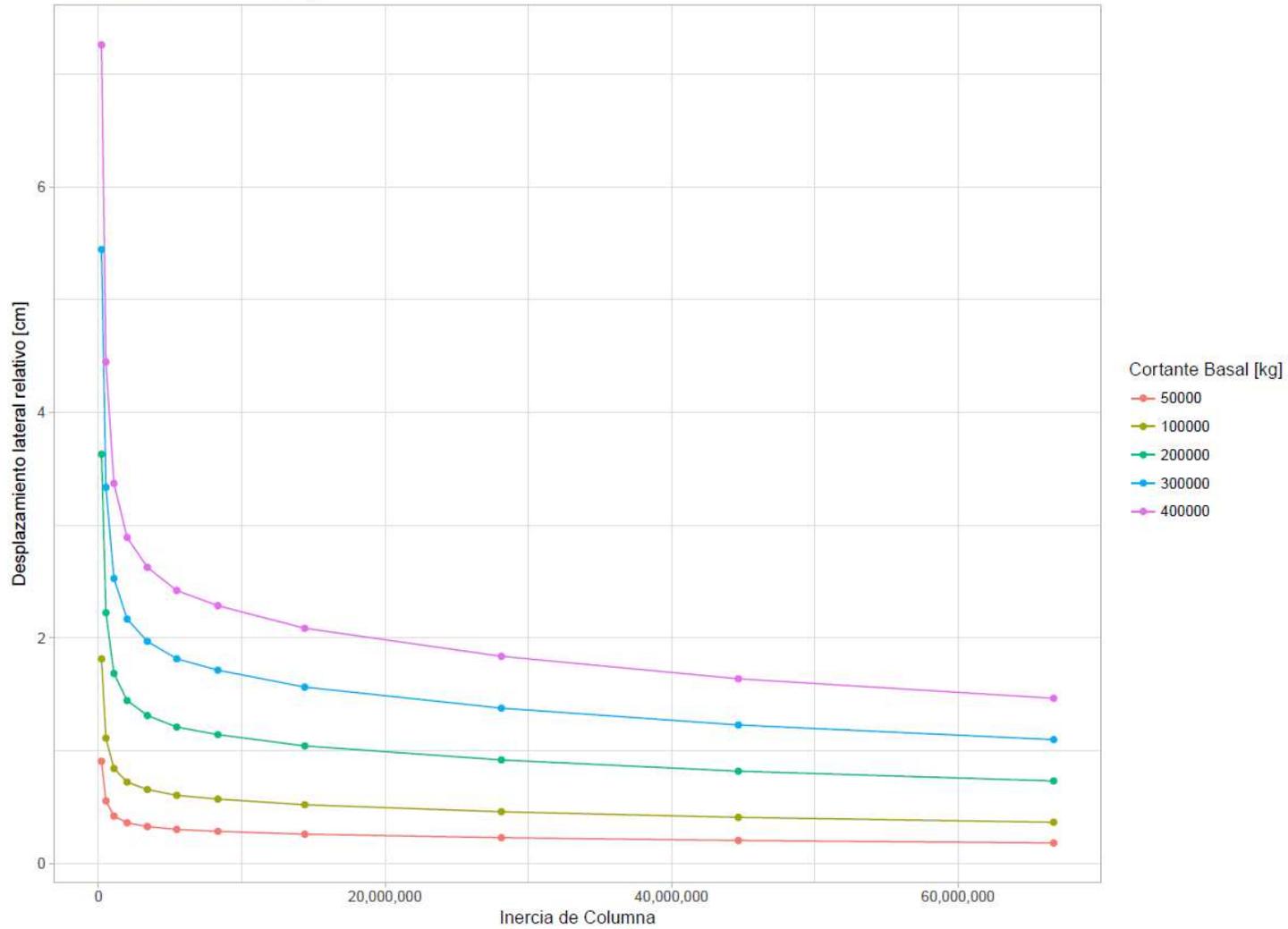


Figura 38. Nomograma de determinación de inercias para marcos rígidos de concreto de 15 pisos y 52.5 metros de altura

Nomograma de Determinación de Inercias en Estructura de 20 pisos

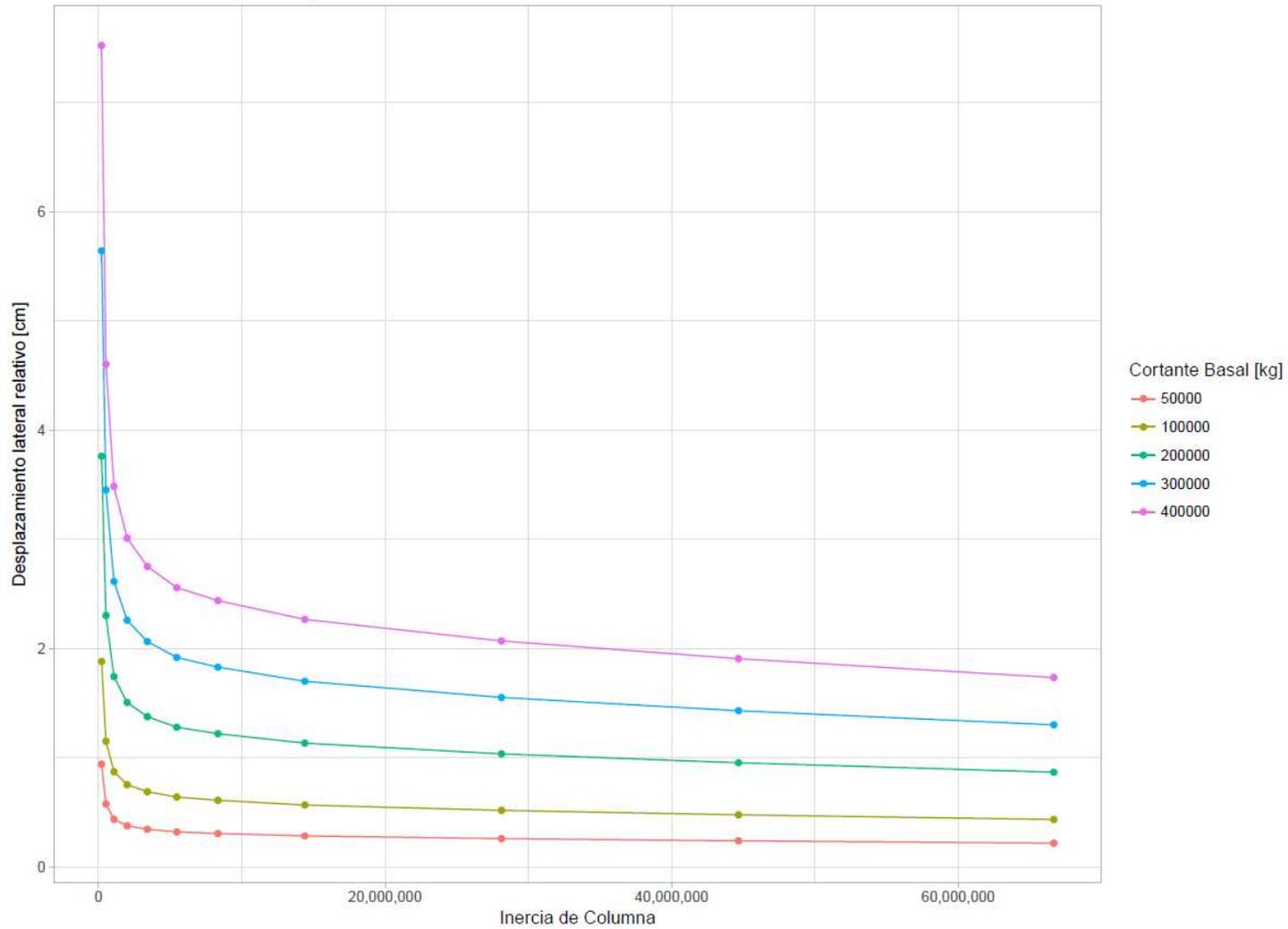


Figura 39. Nomograma de determinación de inercias para marcos rígidos de concreto de 20 pisos y 70 metros de altura.

Anexo 4. Código de programación desarrollado

A4.1 Librerías

```
library(plotly)
library(tidyverse)
library(readxl)
library(data.table)
```

A4.2 Subrutinas

A4.2.1 NSC_fun

```
#Frame Subroutine

# NSC_fun -----
NSC_fun<- function(COORD,MSUP){

  NCJT <- 3
  NS <- NROW(MSUP)
  NJ <- NROW(COORD)
  NR <- sum(MSUP[, 2]) + sum( MSUP[, 3]) +sum( MSUP[, 4])
  NDOF <- NCJT * NJ - NR
  NSC <- matrix(data = 0, nrow = NCJT * NJ)

  i <- 1 # Contador de degrees of freedom
  j <- 0 # Contador de coordenadas restringidas
  k <- NDOF

  while (i <= NJ) {
    icount <- 0
    i1 <- 1
    while (i1 <= NS) {
      if (MSUP[i1, 1] == i) {
        icount <- 1
        i2 <- 1
        while (i2 <= NCJT) {
          i3 <- (i - 1) * NCJT + i2
          if (MSUP[i1, i2 + 1] == 1) {
            k <- k + 1
            NSC[i3] <- k
          }
        }
      }
      i1 <- i1 + 1
    }
    i <- i + 1
  }
}
```

```

    }else {
      j <- j + 1
      NSC[i3] <- j
    }
    i2 <- i2 + 1
  }
}
i1 <- i1 + 1
}
if (icount == 0) {
  i2 <- 1
  while (i2 <= NCJT) {
    i3 <- (i - 1) * NCJT + i2
    j <- j + 1
    NSC[i3] <- j
    i2 <- i2 + 1
  }
}
i <- i + 1
}
}

return(NSC)
}

```

A4.2.2 S_P_fun

```

# S and P matrix      ----

S_P_fun <- function(COORD,MPRP,MSUP,CP,MP,PM,EM){

  NCJT <- 3
  NS  <- NROW(MSUP)
  NJ  <- NROW(COORD)
  NM  <- NROW(MPRP)
  NR  <- sum(MSUP[, 2]) + sum( MSUP[, 3]) + sum( MSUP[, 4])
  NDOF <- NCJT * NJ - NR

  S <- matrix(0, nrow = NDOF, ncol = NDOF)
  P <- matrix(0, nrow = NDOF)
  BK <- matrix(0, nrow = 2 * NCJT, ncol = 2 * NCJT)
  FF <- matrix(0, nrow = 2 * NCJT)
  QF <- matrix(0, nrow = 2 * NCJT)
  U <- matrix(0, nrow = 2 * NCJT)
  Q <- matrix(0, nrow = 2 * NCJT)
  R <- matrix(0, nrow = NR)

```

```

NSC <- NSC_fun(COORD,MSUP)

IM <- 1
while(IM <= NM){

  JB <- as.numeric(MPRP[IM, 1])
  JE <- as.numeric(MPRP[IM, 2])
  I  <- as.numeric(MPRP[IM, 3])
  E  <- as.numeric(EM[I,1])
  I  <- as.numeric(MPRP[IM, 4])
  A  <- as.numeric(CP[I,1])
  ZI <- as.numeric(CP[I,2])
  XB <- as.numeric(COORD[JB,1])
  YB <- as.numeric(COORD[JB,2])
  XE <- as.numeric(COORD[JE,1])
  YE <- as.numeric(COORD[JE,2])

  BL <- ((XE - XB)^2 +(YE - YB)^2)^0.5
  CX <- (XE - XB) / BL
  CY <- (YE - YB) / BL

  BK <- MSTIFFL(A,E, ZI, BL,NCJT,BK)
  Tr <- MTRANS (CX,CY)
  GK <- t(Tr) %*% BK %*%Tr
  S  <- STORES(JB, JE, NCJT, NDOF, NSC, GK, S)

  if(is.na(nrow(MP))){NML <- 0} else { NML <- nrow(MP[,1])}

  if(NML > 0){
    QF <- matrix(0, nrow = 2 * NCJT)
    IML <- 1
    while(IML <= NML){

      if(IM == MP[IML, 1]){
        QF <- MFEFLL(IML, BL, MP, PM, QF)
      }
      IML <- IML + 1
    }
    FF <- t(Tr) %*% QF
    P <- STOREPF(JB,JE,NCJT,NDOF,NSC,FF,P)
  }

  IM <- IM +1
}

return(list(S,P))
}

```

A4.2.3 MSTIFFL

```
# MSTIFFL          ----
MSTIFFL <- function(A,E, ZI, BL,NCJT,BK) {

  NCJT <- 3
  BK <- matrix(0, nrow = 6, ncol = 6)

  Z <- E*A/BL

  BK[1,1] <- Z
  BK[4,1] <- -Z

  BK[1,4] <- -Z
  BK[4,4] <- Z

  Z <- E*ZI/(BL^3)

  BK[2,2] <- 12*Z
  BK[3,2] <- 6*BL*Z
  BK[5,2] <- -12*Z
  BK[6,2] <- 6*BL*Z

  BK[2,3] <- 6*BL*Z
  BK[3,3] <- 4*BL^2*Z
  BK[5,3] <- -6*BL*Z
  BK[6,3] <- 2*BL^2*Z

  BK[2,5] <- -12*Z
  BK[3,5] <- -6*BL*Z
  BK[5,5] <- 12*Z
  BK[6,5] <- -6*BL*Z

  BK[2,6] <- 6*BL*Z
  BK[3,6] <- 2*BL^2*Z
  BK[5,6] <- -6*BL*Z
  BK[6,6] <- 4*BL^2*Z

  return(BK)
}
```

A4.2.4 MTRANS

```
# MTRANS          ----
MTRANS <- function(CX, CY) {

  Tr <- matrix(0, nrow = 6, ncol = 6)
```

```

Tr[1,1] <- CX
Tr[2,1] <- -CY

Tr[1,2] <- CY
Tr[2,2] <- CX

Tr[4,4] <- CX
Tr[5,4] <- -CY

Tr[4,5] <- CY
Tr[5,5] <- CX

Tr[3,3] <- 1
Tr[6,6] <- -1

return(Tr)
}

```

A4.2.5 STORES

```

# STORES -----

STORES <- function(JB, JE, NCJT, NDOF, NSC, GK, S){

I <- 1
while(I <= 2* NCJT){
  if(I <= NCJT){
    I1 <- (JB - 1) * NCJT + I
  }else {
    I1 <- (JE - 1) * NCJT + (I -NCJT)
  }
  N1 <- NSC[I1]
  if(N1 <= NDOF){
    J <- 1
    while (J <= 2 * NCJT ) {
      if(J <= NCJT){
        I1 <- (JB - 1) * NCJT + J
      }else {
        I1 <- (JE - 1) * NCJT + (J - NCJT)
      }
      N2 <- NSC[I1]
      if(N2 <= NDOF){
        S[N1, N2] <- S[N1, N2] + GK[I, J]
      }
      J <- J + 1
    }
  }
  I <- I + 1
}
}

```

```

}
I <- I + 1
}
return(S)
}

```

A4.2.6 MFEFLL

```

# MFEFLL -----
MFEFLL <- function(IML, BL, MP, PM, QF){

  LDTYPE <- as.numeric(MP[IML, 2])

  l1 <- as.numeric(PM[IML, 3])
  l2 <- as.numeric(PM[IML, 4])
  L <- as.numeric(BL)

  if(LDTYPE == 1){

    W <- as.numeric(PM[IML, 1])

    FSB <- W * l2^2 / L^3 * (3*l1 + l2)
    FMB <- W*l1*l2^2 /L^2

    FSE <- W * l1^2 / L^3 * (l1 + 3*l2)
    FME <- W*l1^2*l2 /L^2

    QF[2] <- QF[2] + FSB
    QF[3] <- QF[3] + FMB
    QF[5] <- QF[5] + FSE
    QF[6] <- QF[6] - FME

  }else if(LDTYPE == 2){

    M <- as.numeric(PM[IML, 1])

    FSB <- 6 * M * l1*l2 / L^3
    FMB <- M * l2 / (L^2) - (l2 - 2*l1)

```

```

FSE <- 6 * M * l1*l2 / L^3
FME <- M * l1 / (L^2) - (l1 - 2*l2)

QF[2] <- QF[2] - FSB
QF[3] <- QF[3] + FMB
QF[5] <- QF[5] + FSE
QF[6] <- QF[6] + FME

}else if(LDTYPE == 3){

w <- as.numeric(PM[IML, 1])

FSB <- w * L / 2 * (1 - l1 / L ^ 4 * (2*L^3 - 2*l1^2*L + l1^3) - l2^3 / L^4*(2*L-12))
FMB <- w * L^2 / 12 * (1 - l1 ^2 / L^4 * (6*L^2-8*l1*L + 3*l1^2) - l2 ^3 / L^4*(4*L - 3*l2)
)

FSE <- w * L / 2 * (1 - l1^3 / L^4 * (2*L-11) - l2 / L ^ 4 * (2*L^3 - 2*l2^2*L + l2^3) )
FME <- w * L^2 / 12 * (1 - l1 ^3 / L^4 * (4*L - 3*l1) - l2 ^2 / L^4 * (6*L^2-8*l2*L + 3*l1^
2) )

QF[2] <- QF[2] + FSB
QF[3] <- QF[3] + FMB
QF[5] <- QF[5] + FSE
QF[6] <- QF[6] - FME

}else if(LDTYPE == 4){

w1 <- as.numeric(PM[IML, 1])
w2 <- as.numeric(PM[IML, 2])

part1 <- w1 * (L - l1)^3 / (20*L^3) * ((7*L + 8*l1) - 12*(3*L + 2*l1)/(L - l1) * (1 + l2 /
(L - l1) + l2^2/(L - l1)^2) + 2*l2^4/(L - l1)^3)
part2 <- w2 * (L - l1)^3 / (20*L^3) * ((3*L + 2*l1) * (1 + l2/(L-11) + l2^2 / (L-11)^2) -
l2^3 / (L-11)^2 * (2 + (15*L - 8*l2)/(L - l1)))

part3 <- w1 * (L - l1)^3 / (60*L^2) * (3*(L + 4*l1) - 12*(2*L + 3*l1)/(L-11))*(1 + l2/(L-11)
+ (l2/(L-11))^2) + 3*l2^4/(L-11)^3)
part4 <- w2 * (L - l1)^3 / (60*L^2) * ((2*L + 3*l1)*(1 + l2/(L-11) + (l2/(L-11))^2 ) - 3*l2^
3/(L-11)^2 * (1 + (5*L - 4*l2)/(L-11) ))

FSB <- part1 + part2

```

```

FMB <- part3 + part4

FSE <- (w1 + w2) / 2 * (L - l1 - l2) - FSB
FME <- (L - l1 - l2) / 6 * (w1 * (-2*L + 2*l1 - l2) - w2*(L-l1 +2*l2) + FSB * L - FMB)

QF[2] <- QF[2] + FSB
QF[3] <- QF[3] + FMB
QF[5] <- QF[5] + FSE
QF[6] <- QF[6] + FME

} else if(LDTYPE == 5){

  bw <- as.numeric(PM[IML, 1])

  FAB <- bw*l2 / L
  FAE <- bw*l1 / L

  QF[1] <- QF[1] + FAB
  QF[4] <- QF[4] + FAE

}else if(LDTYPE == 6){

  bw <- as.numeric(PM[IML, 1])

  FAB <- bw / (2*L) * (L-l1-l2) * (L-l1+l2)
  FAE <- bw / (2*L) * (L-l1-l2) * (L+l1-l2)

  QF[1] <- QF[1] + FAB
  QF[4] <- QF[4] + FAE

}
return(QF)
}

```

A4.2.7 STOREPF

```

# STOREPF -----

STOREPF <- function(JB,JE,NCJT,NDOF,NSC,FF,P) {
  I <- 1
  while (I <= 2 * NCJT) {
    if (I <= NCJT) {
      I1 <- (JB - 1) * NCJT + I

```

```

    } else {
      I1 <- (JE - 1) * NCJT + (I - NCJT)
    }
    N1 <- NSC[I1]
    if (N1 <= NDOF) {
      P[N1] <- P[N1] - FF[I]
    }
    I <- I + 1
  }
  return(P)
}

```

A4.2.8 PJ_fun

```

# Joints Loaded          ----

PJ_fun <-function(JP,PJ,P,NJL,MSUP){

  P <- P
  NCJT <- 3
  NS <- NROW(MSUP)
  NJ <- NROW(COORD)
  NR <- sum(MSUP[, 2]) + sum( MSUP[, 3]) +sum( MSUP[, 4])
  NDOF <- NCJT * NJ - NR

  I <- 1
  while(I <= NJL) {
    I1 <- as.numeric(JP[I,1])
    I2 <- (I1 - 1) * NCJT
    J <- 1
    while (J <= NCJT) {
      I2 <- I2 + 1
      N <- NSC[I2]
      if(N <= NDOF){
        P[N] <- P[N] + as.numeric(PJ[I,J])
      }
      J <- J + 1
    }
    I <- I+1
  }

  return(P)
}

```

A4.3 Analisis Matricial

A4.3.1 Llamado de bases

```
#Llamado de bases ----
setwd("C:/Users/denni/OneDrive/SA programs/Frames - tesis")
setwd("C:/Users/dennis.aguilar/OneDrive/SA programs/Frames - tesis")

secciones <- read_xlsx("secciones.xlsx", sheet = "Sheet1")
cortantes <- read_xlsx("cortantes.xlsx", sheet = "15 pisos") #cambiar numero de pisos con
nombre de hoja

c_loads      <- length(unique(cortantes$Cortante_basal))
nodos_cargados <- length(unique(cortantes$Joint_loaded))

dir <- "modelo.xlsx"

COORD <- read_xlsx("COORDS.xlsx", sheet = "15PISOS")[,c(2,3)] #cambiar numero de pisos con n
ombre de hoja
MSUP  <- read_xlsx(dir, sheet = "MSUP")[,c(1:4)]

MP    <- read_xlsx(dir, sheet = "MP")
PM    <- read_xlsx(dir, sheet = "PM")

JDL   <- data.frame(cortantes[c(1:15),c(1,7: 9)]) #cambiar numero de pisos con
numero de fila
JP    <- as.data.frame(JDL[,1])
PJ    <- as.data.frame(JDL[c(1:15),c(2:4)]) #cambiar numero de pisos con
numero de fila

names(JP) <- c("Joint")

CP    <- read_xlsx(dir, sheet = "CP")[,c(4,6)]
EM    <- read_xlsx(dir, sheet = "EM")[,c(2)]
MPRP  <- read_xlsx("MPRP.xlsx", sheet = "15PISOS")[,c(2:5)] #cambiar numero de pisos con
nombre de hoja

if(is.data.frame(JDL) && nrow(JDL)==0){
  NJL <- 0
} else{
  NJL <- sum(JDL[,2] != 0 | JDL[,3] != 0 | JDL[,4] != 0 )
}
```

A4.3.2 Secuencia de calculo de derivas

```
# programa ----

almacenaje <- as.data.frame(matrix(0, nrow = NROW(secciones), ncol = 1))
almacenaje_list <- list()

q <- 1
n <- 1

#inicio de secuencia
for(q in 1:c_loads){
  for (n in 1:NROW(secciones)) {

CP[1,] <- secciones[n,c(3,4)]
PJ[1,] <- cortantes[c( (q*nodos_cargados - (nodos_cargados - 1)) : (q*nodos_cargados)), 7]

NSC <- NSC_fun(COORD = COORD, MSUP = MSUP)
S <- round(S_P_fun(COORD,MPRP,MSUP,CP,MP,PM,EM)[[1]])
P <- round(S_P_fun(COORD,MPRP,MSUP,CP,MP,PM,EM)[[2]]) # Ya tiene el negativo multiplicado
P <- PJ_fun(JP,PJ,P,NJL,MSUP)
D <- solve(S) %*% P

def_laterales <- as.data.frame(matrix(0,nrow = nrow(D)/3, ncol = 1))

# Almacenamiento de deflexiones laterales
j <-1
for(i in seq(from = 1, to = nrow (D), by= 3)){

  def_laterales[j,1] <- D[i,1]
  j <- j+1
}

# Creacion de vector de nombre de piso
j <- 1
for (i in 1 : (length(def_laterales[,1])/ 6) ) {

  def_laterales[c(j:(j+5)), 2] <- paste("piso", i)
  j <- j + 6
}

# Creacion de vector de altura de piso
j <- 1
for (i in 1 : (length(def_laterales[,1])/ 6) ) {
```

```

    def_laterales[c(j:(j+5)), 3] <- 3.5*i
    j <- j + 6
  }

# Asignacion de nombres de vectores de base de datos de almacenamiento
colnames(def_laterales) <- c("def_lateral","piso", "altura")

drifts <- def_laterales %>%
  group_by(piso) %>%
  summarise(def_lateral = mean(def_lateral), altura = mean(altura)) %>%
  mutate(drifts = 0)

drifts <- dplyr::arrange (drifts, altura)

for (i in 1 :NROW(drifts)) {

  drifts[i, 4] <- (drifts[i,2 ] - drifts[i-1,2 ])

}
almacenaje[n,1] <- max(drifts$drifts)

}

almacenaje_list[[q]] <- almacenaje
}

#Fin de secuencia

```

A4.4 Generacion de Nomograma

```

options(scipen = 9999)
info <- as.data.frame(rbindlist(almacenaje_list))
info[,2] <- secciones[,4]

info[,3] <- c(rep(50000, 11),
              rep(100000, 11),
              rep(200000, 11),
              rep(300000, 11),
              rep(400000, 11))

```

```

colnames(info) <- c("Drift", "Inercia", "Cortante_Basal" )

almacenaje[,2]      <- secciones[,4]
colnames(almacenaje)[1] <- "drift"

ggplot(info, aes(x = Inercia, y = Drift, col = as.factor(Cortante_Basal), fill = as.factor(Cortante_Basal) )) + geom_line() + geom_point() + theme_light() +
  labs(title = "Nomograma de Determinación de Inercias",
        subtitle = "en Estructura de 15 Pisos",
        x = "Inercia [cm4]",
        y = "Desplazamiento lateral relativo [cm]",
        fill = "Cortante Basal [kg]",
        col = "Cortante Basal [kg]" ) +
  theme(plot.title = element_text(size = 17), plot.subtitle = element_text(size = 17) )
+ scale_x_continuous(labels = scales::comma)

```

Anexo 5. Fuerzas de empotramiento perfecto utilizadas en la subrutina MFEFFL

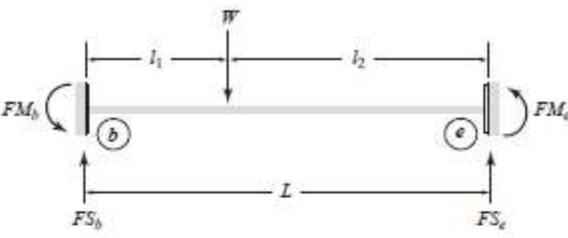
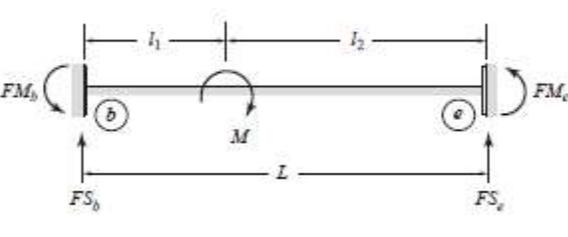
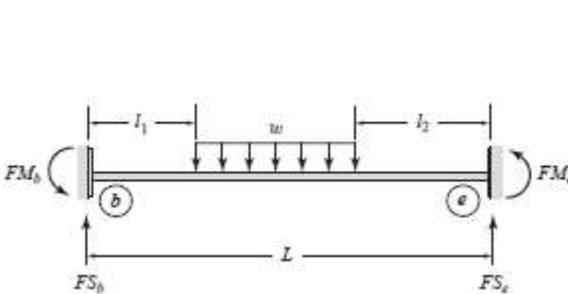
No.	Loading	Equations for Fixed-End Moments, Shears, and Axial Forces
1.		$FS_b = \frac{Wl_2^2}{L^3}(3l_1 + l_2)$ $FM_b = \frac{Wl_1l_2^2}{L^2}$ $FS_e = \frac{Wl_1^2}{L^3}(l_1 + 3l_2)$ $FM_e = -\frac{Wl_1^2l_2}{L^2}$
2.		$FS_b = -\frac{6Ml_1l_2}{L^3}$ $FM_b = \frac{Ml_2}{L^2}(l_2 - 2l_1)$ $FS_e = \frac{6Ml_1l_2}{L^3}$ $FM_e = \frac{Ml_1}{L^2}(l_1 - 2l_2)$
3.		$FS_b = \frac{wL}{2} \left[1 - \frac{l_1}{L^4}(2L^3 - 2l_1^2L + l_1^3) - \frac{l_2^3}{L^4}(2L - l_2) \right]$ $FM_b = \frac{wL^2}{12} \left[1 - \frac{l_1^2}{L^4}(6L^2 - 8l_1L + 3l_1^2) - \frac{l_2^3}{L^4}(4L - 3l_2) \right]$ $FS_e = \frac{wL}{2} \left[1 - \frac{l_1^3}{L^4}(2L - l_1) - \frac{l_2}{L^4}(2L^3 - 2l_2^2L + l_2^3) \right]$ $FM_e = -\frac{wL^2}{12} \left[1 - \frac{l_1^3}{L^4}(4L - 3l_1) - \frac{l_2^2}{L^4}(6L^2 - 8l_2L + 3l_2^2) \right]$

Figura 40. Fuerzas de empotramiento perfecto

Fuente: Kassimali A, 2012

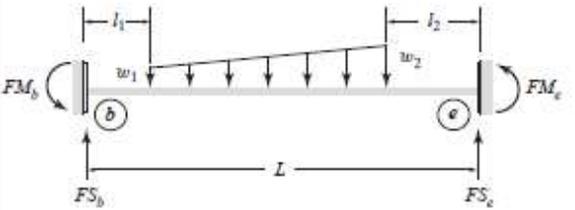
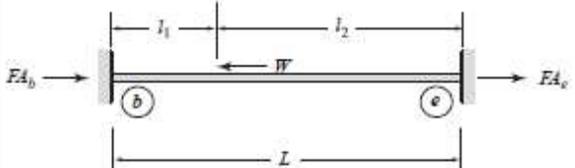
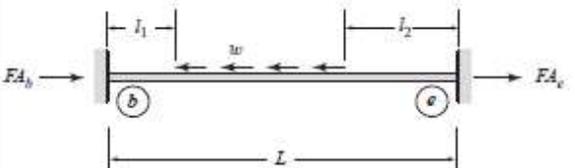
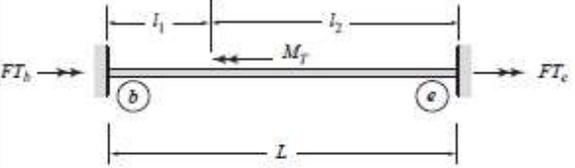
No.	Loading	Equations for Fixed-End Moments, Shears, and Axial Forces
4.		$FS_b = \frac{w_1(L-l_1)^3}{20L^3} \left\{ (7L+8l_1) - \frac{l_2(3L+2l_1)}{(L-l_1)} \right. \\ \left. \times \left[1 + \frac{l_2}{L-l_1} + \frac{l_2^2}{(L-l_1)^2} \right] + \frac{2l_2^3}{(L-l_1)^3} \right\} \\ + \frac{w_2(L-l_1)^3}{20L^3} \left\{ (3L+2l_1) \left[1 + \frac{l_2}{L-l_1} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{l_2^2}{(L-l_1)^2} \right] - \frac{l_2^3}{(L-l_1)^2} \left[2 + \frac{15L-8l_2}{L-l_1} \right] \right\}$ $FM_b = \frac{w_1(L-l_1)^3}{60L^2} \left\{ 3(L+4l_1) - \frac{l_2(2L+3l_1)}{L-l_1} \right. \\ \left. \times \left[1 + \frac{l_2}{L-l_1} + \frac{l_2^2}{(L-l_1)^2} \right] + \frac{3l_2^3}{(L-l_1)^3} \right\} \\ + \frac{w_2(L-l_1)^3}{60L^2} \left\{ (2L+3l_1) \left[1 + \frac{l_2}{L-l_1} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{l_2^2}{(L-l_1)^2} \right] - \frac{3l_2^3}{(L-l_1)^2} \left[1 + \frac{5L-4l_2}{L-l_1} \right] \right\}$ $FS_e = \left(\frac{w_1+w_2}{2} \right) (L-l_1-l_2) - FS_b$ $FM_e = \frac{L-l_1-l_2}{6} [w_1(-2L+2l_1-l_2) \\ -w_2(L-l_1+2l_2)] + FS_b(L) - FM_b$
5.		$FA_b = \frac{Wl_2}{L}$ $FA_e = \frac{Wl_1}{L}$
6.		$FA_b = \frac{w}{2L} (L-l_1-l_2)(L-l_1+l_2)$ $FA_e = \frac{w}{2L} (L-l_1-l_2)(L+l_1-l_2)$
7.		$FT_b = \frac{M_T l_2}{L}$ $FT_e = \frac{M_T l_1}{L}$

Figura 41. Fuerzas de empotramiento perfecto

Fuente: Kassimali A, 2012

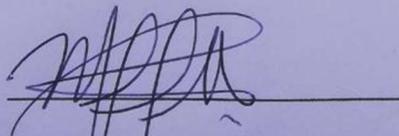
Anexo 6. Constancia de lectura de la tesis por un profesional en lingüística o alguien con experiencia en revisión de redacción y ortografía.

Tegucigalpa MDC 26 junio de 2018

CONSTANCIA

Yo **MARJORIE ROCÍO RIVERA GARAY**, Licenciada en Letras Con Orientación En Lingüística, HAGO CONSTAR QUE: He revisado y corregido gramaticalmente la tesis bajo el nombre: **NOMOGRAMA PARA EL PRE-DIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS EN UN MARCO RÍGIDO SEGÚN LÍMITES DE DESPLAZAMIENTO LATERALES DEL CÓDIGO HONDUREÑO DE LA CONTRUCCIÓN**, de los maestrantes: **BRAYAN ABEL ZEPEDA BARCENAS Y DENNIS ALEJANDRO AGUILAR ROMERO** previo a la obtención del grado **MÁSTER EN INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS**.

Para los fines que el interesado(a) convenga se le extiende la presente a los 26 días del mes de junio de 2018.



Marjorie Rodío Rivera Garay
marjorie.rivera@unah.edu.hn

32244309

Anexo 7. Visto Bueno del asesor temático

Aceptación de Trabajo de Tesis



Oscar Sanchez <osanchezr1966@gmail.com>

Ayer, 23:07

Usted; Dennis Aguilar (dennisaguilariv@gmail.com) ✕

Estimados Ingenieros
Brayan Zepeda
Dennis Aguilar

Por este medio hago constar que he leído y revisado el trabajo realizado por ustedes en relación al tema de tesis de grado. Por lo tanto les estoy brindando mi visto bueno y aceptación del mismo.
Sin otro particular.

--

Oscar Sanchez
M.I.E.,M.F., Ingeniero Civil
CICH 1882
Cel. 99980497

Aceptación de Trabajo de Tesis Inbox ✕



Oscar Sanchez

to me, Brazeba ▾

Estimados Ingenieros
Brayan Zepeda
Dennis Aguilar

Por este medio hago constar que he leído y revisado el trabajo realizado por ustedes en relación al tema de tesis de grado. Por lo tanto les estoy brindando mi visto bueno y aceptación del mismo.
Sin otro particular.

...

--

Oscar Sanchez
M.I.E.,M.F., Ingeniero Civil
CICH 1882
Cel. 99980497

Anexo 8. Visto Bueno del asesor metodológico



ZELAYA OVIEDO CARLOS AUGUSTO

Tue 7/3, 8:20 PM

BRAYAN ABEL ZEPEDA BARCENAS; DENNIS ALEJANDRO AGUILAR ROMERO; +2 more



Reply all | v



Brayan y Dennis Tesis Fi...
3 MB



Brayan y Dennis Sintesis...
358 KB



2 attachments (4 MB) Download all Save all to OneDrive - Universidad Tecnologica Centroamericana

Estimados Maestranter Zepeda Bárcenas y Aguilar Romero.

Después de haber finalizado su tesis de postgrado "**PRE-DIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS SEGÚN LIMITES DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES DEL CÓDIGO HONDUREÑO DE LA CONSTRUCCIÓN**", cumplir con los requerimientos y haber realizado la pre defensa, les doy el **Vo Bo** correspondiente que los autoriza para continuar con los trámites en la facultad de postgrado. Deben proceder a imprimir el documento revisado y que de nuevo les adjunto, a doble cara incluyendo (después de los anexos) el VoBo del asesor temático, constancia de lectura y este VoBo del asesor metodológico. Deben entregar en postgrado los tres ejemplares entre el 2 y el 11 de julio. Recomiendo que la síntesis la entreguen al momento de la defensa a cada miembro de la terna.

Saludos y les deseo muchos éxitos en su defensa.

Carlos A. Zelaya Oviedo
Asesor metodológico PG

Anexo 9. Visto Bueno del director de terna

Tegucigalpa 10 de agosto 2018

Estimados:

BRAYAN ABEL ZEPEDA BARCENAS

DENNIS ALEJANDRO AGUILAR ROMERO

Una vez concluida la etapa final de revisiones y constatado que el documento de tesis está conforme a las mejoras indicadas en el proceso de presentación a la Terna de Examen, me permito aprobar su documento para iniciar trámites de graduación,

Deseándoles suerte en este proceso reciban mis felicitaciones por haber alcanzado esta meta,

Att.

Dra. Mina Cecilia Garcia Lezcano

Presidente de Terna

Departamento de Posgrado UNITEC