

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Predimensionamiento de columnas circulares y zapatas en edificios
de concreto reforzado para la ciudad de Guatemala

Carmen María Amado Higueros

Guatemala
2007

*Predimensionamiento de columnas circulares y zapatas en edificios
de concreto reforzado para la ciudad de Guatemala*

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

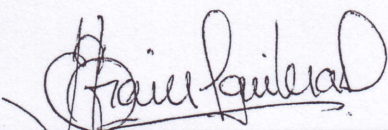
Facultad de Ingeniería

Predimensionamiento de Columnas Circulares y Zapatas en
Edificios de Concreto Reforzado para la ciudad de Guatemala

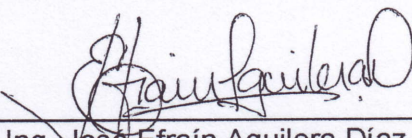
Trabajo de tesis presentado por Carmen María Amado Higueros para optar al
grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil.

Guatemala
2007

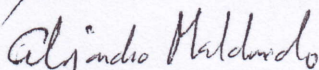
Vo.Bo. :

(f) 
Ing. José Efraín Aguilera Díaz.

Tribunal:

(f) 
Ing. José Efraín Aguilera Díaz.

(f) 
Ing. Mauricio León Tres.

(f) 
Ing. Alejandro Maldonado.

Fecha de aprobación: 2 de marzo de 2008.

DEDICATORIA

- A DIOS Por ser el guía fundamental de mi vida.
- A MI PAPÁ Julio Cesar Amado Aragón, por darme siempre todo lo que necesité y más, además de ser ejemplo de vida para mí, tanto en lo personal como profesionalmente. Me sentiré dichosa si llego a ser la mitad de lo que él es hoy. “Sos mi modelo a seguir, te quiero mucho”.
- A MI MAMÁ María del Carmen Higueros de Amado, por ser en mi vida una guía fundamental, alentándome siempre a luchar por lo que quiero. Sin su comprensión y apoyo nunca sería lo que soy. “Te quiero mucho, sos y serás siempre mi mejor amiga”.
- A MIS HERMANOS Julio César y Olga María, por su apoyo y soporte que siempre me brindaron durante toda mi carrera.
- A MI NOVIO Francisco Sosa, por haber llegado a mi vida en el momento preciso, por apoyarme y acompañarme siempre; además de nunca haber dejado que me diera por vencida sin importar lo que pasara. “Sin ti nunca lo hubiera logrado, te amo”.
- A MIS PRIMOS Andrea y Juan Pablo por siempre estar a mi lado cuando lo necesito, para mí ustedes son mis hermanos gracias por ser como son y espero que siempre sean parte de mi vida como lo han sido hasta ahora.
- A MI FAMILIA Abuelos, tíos, primos y suegros, por que se que este logro los enorgullece y por siempre buscar lo mejor para mí.
- A MIS AMIGAS Por seguir formado parte de mi vida y darme la amistad y los consejos que siempre necesité.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. José Efraín Aguilera Díaz, por su colaboración en la elaboración de este trabajo de graduación, y por impulsarme a siempre ser mejor y aprender más, además de ayudarme a iniciarme en mi vida profesional.

A Daniel Juárez y Nelson Ramírez, por su apoyo y ayuda. Y a todos lo que de alguna u otra manera influyeron o se preocuparon por mí ayudándome a llegar donde me encuentro hoy.

PREFACIO

Desde hace tiempo en la ciudad de Guatemala se han realizado construcciones de edificios de concreto reforzado para uso de viviendas y oficinas. El diseño estructural de edificaciones puede llegar a ser muy complejo, lo que hace que el proceso se vaya haciendo mas tardado y tedioso, esto debido a que se tiene que ir analizando cada uno de los elementos que lo conforman (losas, vigas, columnas y zapatas), hasta que cada uno de ellos cumpla con los requisitos de diseño que dictan los códigos utilizados en Guatemala, teniendo en cuenta que es una ciudad con una zona de alta sismicidad.

Para el análisis de estas estructuras, existen programas los cuales hacen que este proceso sea un poco mas rápido, y exacto ya que incluyen el factor sísmico , y generan un diseño completo de lo que la estructura será, y como reaccionará a las cargas que se le apliquen en el momento en que este construida.

Es por esto que dentro de este trabajo de investigación se realizan los procesos de diseño teóricos y experimentales, para dar redimensionamientos de los elementos que conforman los edificios de concreto reforzado en especial las secciones de columnas circulares y zapatas, con el fin de dar una base segura y correcta, para agilizar el Diseño Estructural de edificios de concreto reforzado.

Se analizan solamente dichos elementos ya que se pretende dar continuidad al trabajo de graduación realizado por el Ing. José Efraín Aguilera Díaz, el cual analizó losas, vigas y columnas cuadras.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
PREFACIO.....	viii
LISTADO DE TABLAS.....	xi
LISTADO DE GRÁFICOS	xii
RESUMEN.....	xiv
CAPÍTULOS	
I. Introducción.....	01
A. Marco teórico.....	02
II. Planteamiento del problema.....	10
A. Objetivos.....	11
1. Objetivos generales	
2. Objetivos específicos	
B. Variables.....	12
C. Definición de variables.....	13
1. Definición de variables conceptuales	
2. Definición de variables operacionales	
D. Alcances y límites.....	17
1. Delimitación del tema	
2. Restricciones para realizar el trabajo	
III. Método.....	19
A. Sujeto.....	19
1. Dimensionamiento de columnas	
2. Dimensionamiento de zapatas	
B. Instrumentos.....	19

C. Procedimiento.....	20
IV. Resultados.....	32
A. Investigación de campo.....	32
1. Predimensionamiento de columnas	
a. Dimensión de columnas circulares	
2. Predimensionamiento de zapatas	
a. Dimensionamiento de zapatas.	
B. Comparación de resultados teóricos con resultados dados por Modelos por computadora.....	57
1. Columnas	
2. Zapatas	
V. Discusión.....	63
A. Conclusiones.....	63
B. Recomendaciones.....	65
VI. Referencias bibliográficas.....	66
A. Bibliografía.....	67
VII. Anexos.....	68

LISTADO DE TABLAS

TABLA	página
1. Modelos por computadora para edificios de Concreto reforzado.....	31
2. Resultados obtenidos en modelos por computadora para Columnas circulares.....	35
3. Resultados obtenidos en modelos por computadora para zapatas.....	44
4. Comparación de secciones de columnas circulares entre modelos por computadora, relación de inercia y código ACI.....	59
5. Comparación de secciones de zapatas entre modelos por computadora vrs. teóricos según capacidad soporte del suelo.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Grafico	Página
1. Predimensionamiento de columnas circulares para edificios de 3 niveles.....	38
2. Predimensionamiento de columnas circulares para edificios de 5 niveles.....	39
3. Predimensionamiento de columnas circulares para edificios de 7 niveles.....	40
4. Predimensionamiento de columnas circulares para edificios de 9 niveles.....	41
5. Predimensionamiento de columnas circulares para edificios de 11 niveles.	42
6. Predimensionamiento de zapatas concéntricas para edificios de 3 niveles.....	47
7. Predimensionamiento de zapatas concéntricas para edificios de 5 niveles.....	48

8. Predimensionamiento de zapatas concéntricas para edificios de 7 niveles.....	49
9. Predimensionamiento de zapatas concéntricas para edificios de 9 niveles.....	50
10. Predimensionamiento de zapatas concéntricas para edificios de 11 niveles.....	51
11. Espesores de zapatas concéntricas para edificios de 3 niveles.....	52
12. Espesores de zapatas concéntricas para edificios de 5 niveles.....	53
13. Espesores de zapatas concéntricas para edificios de 7 niveles.....	54
14. Espesores de zapatas concéntricas para edificios de 9 niveles.....	55
15. Espesores de zapatas concéntricas para edificios de 11 niveles.....	56

RESUMEN

En este trabajo de investigación se proporcionará la información necesaria para tener una base confiable de dimensiones que deben llevar las columnas circulares y zapatas concéntricas en edificios de concreto reforzado, al momento de iniciar su diseño estructural. Cada modelo realizado cumplirá con los requisitos de resistencia, deformación y eficiencia requeridos.

Los datos obtenidos se representan en tablas tabuladas según el número de niveles y la distancia entre ejes estructurales. Estas tablas proporcionarán la dimensión de la columna o la zapata y el número de tramos al que corresponde.

Las dimensiones establecidas se determinarán con modelos de edificios de 3, 5, 7, 9 y 11 niveles; con distancias entre ejes estructurales de 4, 6, 8 y 10 metros y tramos de 2x4, 3x5 y 4x6. Estos al final se representan en graficas donde se observara la variación de las dimensiones de cada elemento con la distancias de la luz; estas graficas se representaran por números de niveles.

Los resultados obtenidos basándose en marcos especiales se determinaran utilizando los siguientes datos:

- ◆ Espesor de losas $t = 0.12\text{m}$.
- ◆ Carga muerta superpuesta CMS = 300 Kg/m^2 .
- ◆ Carga viva CV = 250 Kg/m^2 .

- ◆ Peso propio de la losa PP = 290 Kg/m^2 .
- ◆ Resistencia a compresión del concreto $f'c = 245 \text{ Kg/cm}^2$.
- ◆ Limite de fluencia del acero $f_y = 4,200 \text{ Kg/cm}^2$ (acero grado 60).
- ◆ Carga de sismo.
- ◆ Coeficiente de respuesta sísmica C_s .
- ◆ Factor de importancia de ocupación $I_E = 1.00$.
- ◆ Factor modificador de respuesta $R = 8$.
- ◆ Aceleración espectral para periodos cortos S_s .
- ◆ Aceleración espectral para periodos largos S_1 .
- ◆ $W_m = 1.0\text{CM} + 0.25 \text{ CV}$
- ◆ Deformación sísmica global permisible $\Delta_N \leq 0.015 h_N$.
- ◆ Altura total del edificio h_N .
- ◆ Altura de piso a piso 3.50m.
- ◆ Factores de rigidez por agrietamiento para Columnas $0.70 I_g$.

- ◆ Deformación máxima para zapatas: 2.54 cm.
- ◆ Capacidad soporte del suelo 30 Ton/m².

Todos tomados de los códigos ACI 318.02, IBC 2000 y AGIES 2000, además se debe notar que no se tomará en cuenta la carga de viento.

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología va avanzando cada día más y con ello los métodos de construcción también lo hacen, es por eso que desde hace años la cantidad de edificios que se han ido construyendo en la ciudad de Guatemala, ha ido incrementando notablemente.

Además de haber aumentado la cantidad de edificios construidos, también han ido modificando su estructura, ya que cada vez se van haciendo más altos y con ello se va haciendo mucho más complejo su diseño estructural, el cual se hace más tardado y difícil.

Los códigos utilizados actualmente para los diseños estructurales, hacen relaciones para dar dimensiones básicas a los elementos de los edificios de concreto reforzado, pero en la mayoría de ellos no se toman en cuenta factores, como por ejemplo, la carga sísmica, la altura, el espaciamiento de elementos estructurales, etc.

Un caso especial es el sismo, ya que si la sección de los elementos no está diseñada para resistirlo, la estructura puede fallar durante un sismo fuerte. Es por esta razón que se han creado programas por computadora, en los cuales se puede introducir la carga de sismo además de todas las cargas y variables que pueden afectar a la estructura, pudiéndose observar como ésta es afectada por ellas, además de realizar un análisis completo de la estructura.

Estos programas son los que serán utilizados en este trabajo de investigación, lo cuales nos darán resultados en los que podemos observar si las dimensiones de los elementos que conforman el edificio de concreto reforzado son las correctas para que la estructura este estable, además de que cumpla con las deformaciones según los códigos utilizados, con el acero mínimo y máximo requerido y finalmente que cumpla con la eficiencia requerida.

Ya que los programas de computadora utilizados para el diseño de edificios de concreto reforzado son tan seguros, se decidió realizar una investigación por medio de ellos, la cual nos da como resultado un predimensionamiento de elementos que conforman una estructura, y hacen más eficiente el diseño estructural. Las edificaciones podrán contar con una realidad casi exacta de las secciones que deberán utilizarse en el análisis estructural.

En este trabajo de investigación se analizarán sólo columnas circulares y zapatas concéntricas, ya que se le dará continuación al trabajo de investigación titulado *Predimensionamiento de losas, vigas y columnas en edificios de concreto reforzado*; realizado previamente por el Ing. José Efraín Aguilera Díaz, el cual analizó los elementos restantes que componen los edificios de concreto reforzado. Para modelar los edificios en computadora se utilizaron aproximaciones de dicho trabajo de investigación.

Además se realizarán comparaciones de los resultados obtenidos por los modelos de computadora y los que resultan de la hipótesis utilizada por el Ing. José Efraín Aguilera Díaz, para relacionar las dimensiones de columnas cuadradas o rectangulares, con las dimensiones de las columnas con sección circular.

A. MARCO TEÓRICO

El predimensionamiento de columnas circulares y zapatas, dentro de este trabajo de investigación se realiza para marcos estructurales, los cuales a su vez se dividen en:

- ◆ Marcos ordinarios.
- ◆ Marcos ductilizados o especiales.

Los marcos ordinarios pueden resistir cargas de gravedad pero no las sísmicas, por lo que no se tomarán en consideración en este trabajo de investigación. Los marcos ductilizados ó especiales resisten la flexión por lo que pueden resistir movimientos sísmicos (Aguilera, 2001); este tipo de marcos serán los que se utilizarán para analizar los edificios de concreto reforzados dentro de este trabajo de investigación.

La estructura debe ser estable en todo momento para su correcto funcionamiento, es decir, que está deberá resistir todas las cargas que puedan afectarlo durante su vida útil; estas cargas son:

- ◆ Cargas gravitacionales.

- ▶ Cargas muertas: Son cargas de magnitud constante que permanecen en un mismo lugar; constan del peso propio de la estructura y de otras cargas que están permanentemente unidas a ella. En un edificio de concreto reforzado, algunas de las cargas muertas son la estructura en sí, las paredes, los pisos, las escaleras, los techos y la tubería. (MacCormac, 2002)
- ▶ Cargas vivas: Son cargas que pueden cambiar de magnitud y posición. Están incluyen cargas de materiales en bodegas, cargas de materiales de construcción, cargas de grúas viajeras, cargas de equipo en operación, etc. Por lo general, son cargas inducidas por la gravedad. (MacCormac, 2002)

Otros factores que van a afectar a la estructura analizada son:

- ◆ Dimensiones de la edificación.

- ▶ Altura de piso a piso: Distancia vertical de nivel a nivel.
- ▶ Numero de niveles: Niveles que tendrá la edificación.
- ▶ Distancia entre ejes estructurales: Distancia horizontal entre ejes medidos en planta.

- ◆ Resistencia de los materiales.

- ▶ Resistencia a la compresión del concreto f'_c : Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días del fraguado, es la propiedad principal para el diseño de elementos de concreto. (Nilsón, 2004)
- ▶ Limite de fluencia del acero f_y : Esfuerzo después del cual, el acero sufre deformaciones permanentes aun sin la carga que causa las deformaciones. (Nilsón, 2004)
- ▶ Capacidad soporte: Es la fuerza que ejerce el suelo sobre los cimientos de la estructura, es la diferencia entre su capacidad de carga última, el peso de la cimentación y el peso del relleno sobre ella.

- ◆ Cargas sísmica.

- ▶ Sismo: Se debe tomar en cuenta debido a que Guatemala se encuentra en una zona altamente sísmica. El sismo que afecta a la estructura se puede obtener de los métodos estático y dinámico, este último siendo el que se utilizó en los modelos generados por computadora.
- ▶ Corte basal (V): Fuerza cortante originada por fuerzas sísmicas a nivel de la base de la estructura (AGIES, 2000). Generada y distribuida en los marcos automáticamente por el programa de la computadora.
- ▶ I_E : Factor de importancia de ocupación, el cual se da dependiendo de cual será el uso del edificio analizado (IBC, 2000). (Anexo 1).
- ▶ R : Factor modificador de respuesta, el cual se da dependiendo de cómo serán analizados los marcos de la estructura. (IBC, 2000). (Anexo 2).
- ▶ W_m : Peso de la parte de la masa de la edificación capaz de generar fuerzas inerciales que contribuyan al cortante basal. Para

la integración del peso se asume que la parte de la masa que contribuye es $W_m = 1.0C_M + 0.25C_V$. (AGIES, 2000)

- ▶ Las deformaciones laterales de la edificación, no debe de exceder una deformación sísmica global $\Delta_N \leq 0.015 h_N$. (AGIES, 2000)
- ▶ Factores de rigidez por agrietamiento: Se utilizan debido a la deflexión lateral relativa, debe ser tomada en cuenta al usar un análisis de marco de primer orden con las propiedades de la sección. Para las columnas se utiliza $0.70I_g$ y para las secciones de las vigas se utiliza $0.35I_g$, de acuerdo con el Código ACI 318.02.

Las características de los elementos que se analizan dentro de este trabajo de investigación son:

◆ Columnas

Las columnas se definen como elementos que sostienen cargas a compresión y momentos flectores con respecto a uno o a los dos ejes de la sección transversal y esta acción de flexión puede producir fuerzas de tensión sobre una parte de la sección transversal. (Nilsón, 2004)

El refuerzo longitudinal es paralelo a la carga y la relación del área de acero A_{st} al área de la sección transversal bruta de concreto A_g está en el intervalo de 0.01 a 0.06, conforme al Código ACI 318.02 21.4.3.1. El límite inferior es necesario para garantizar una resistencia a momentos flectores no tenidos en cuenta en el análisis y para reducir los efectos del flujo plástico y de la retracción de fraguado del concreto sometido a compresión sostenida. (Nilsón, 2004), y el límite superior es el dictado por el código para zonas con riesgo sísmico.

Las columnas pueden dividirse en dos grandes categorías:

- ▶ Columnas cortas: en la cuales su capacidad de resistencia se rige por la resistencia de los materiales y por la geometría de la sección transversal.

- Columnas esbeltas en las cuales la resistencia puede reducirse en forma significativa por las deflexiones laterales.

La resistencia última nominal de una columna cargada axialmente puede encontrarse reconociendo la respuesta no lineal de los dos materiales (acero y concreto) por medio de:

$$P_n = 0.85f'_c(A_g + A_{st}) + A_{st}f_y$$

donde P_u = Carga axial última.

f'_c = Resistencia a compresión del concreto a los 28 días.

A_{st} = Área de acero de la columna.

f_y = Límite de fluencia del acero.

A_g = Área bruta de la columna.

Ésta es la resistencia de diseño para una columna cargada axialmente según el Código ACI 318.02 10.3.6.1, con la introducción de coeficientes de reducción de resistencia. Los coeficientes del ACI 318.02 son menores para columnas que para vigas; esto refleja la mayor importancia de la columna en una estructura. Además, estos coeficientes reflejan las diferencias en el comportamiento de columnas con estribos y de aquellas reforzadas en espiral.

SECCIÓN COLUMNA	TIPO DE REFUERZO	COEFICIENTE ϕ
Cuadrada ó rectangular	Estribos (flejes)	0.75
Circular	Espirales	0.7

El Código ACI 318.02 10.3.6.1, establece una limitación adicional en la resistencia de las columnas con el fin de compensar excentricidades de cargas no tratadas en el análisis. Este límite superior se toma igual a 0.85 veces la resistencia de diseño para columnas reforzadas en espiral, que son las que se analizan este trabajo de investigación:

$$P_n = 0.85(0.7) \left[0.85 f'_c (A_g + A_{st}) + A_{st} f_y \right]$$

(Nilson, 2004)

La carga máxima de diseño que se estipula para elementos cargados axialmente es mayor para aquellos reforzados en espiral, por lo que se concluye que las columnas reforzadas en espiral permiten una utilización más económica de los materiales, en particular para excentricidades pequeñas.

Una columna circular de concreto tiene resistencia aun sin confinamiento lateral. A medida que se aplica la carga, la columna se acorta longitudinalmente y se expande en sentido lateral. Una espiral poco espaciada que confine la columna, contrarresta esta expansión, esto produce una tensión circular en la espiral y aumenta al mismo tiempo de modo considerable la capacidad de carga del concreto confinado en el núcleo. Esto hace que la falla de un columna circular sea más gradual y dúctil, es decir, que este tipo de columna posee más tenacidad. (Nilson, 2004).

◆ Zapatas

Es aquella parte de la estructura que se coloca generalmente por debajo de la superficie del terreno y que transmite las cargas al suelo o roca subyacentes. Los dos requisitos esenciales en el diseño de cimentaciones son:

- ▶ El asentamiento total de la estructura debe estar limitado a una cantidad tolerablemente pequeña.
- ▶ El asentamiento diferencial de las distintas partes de la estructura se elimine.
- ▶ El espesor mínimo debe ser igual a 6 in. (ACI 318.02 15.7).

- ▶ La deformación máxima debe ser igual a 1 in (2.54 cm). (Bowles, 1997)

Con respecto al daño estructural, la eliminación de los asentamientos dentro de la misma estructura es incluso más importante que los límites impuestos sobre el asentamiento uniforme global. (Nilson, 2004).

Para limitar los asentamientos de la manera indicada, es necesario:

- ▶ Transmitir la carga de la estructura hasta un estrato de suelo que tenga la resistencia suficiente.
- ▶ Distribuir la carga sobre un área suficientemente grande para minimizar las presiones de contacto.

Si no se encuentran suelos adecuados justo debajo de la estructura, es necesario recurrir a cimentaciones profundas como pilotes o pilas, para transmitir la carga hasta estratos más profundos y de mayor firmeza. Si existe un suelo satisfactorio inmediatamente debajo de la estructura, es suficiente distribuir la carga mediante zapatas u otro tipo de cimentación si se desea.

Las zapatas pueden clasificarse como:

- ▶ Zapatas para muros.
- ▶ Zapatas para columnas.

Para zapatas concéntricas (zapatas para columnas), el área requerida se determina a partir de:

$$A_{req} = \frac{D + L}{q_a}$$

donde D es la carga muerta que soporta la zapata y L es la carga viva, ambas sin mayorar, la capacidad soporte del suelo es q_a .

Se debe observar que los tamaños de las zapatas se determinan para cargas de servicio y presiones del suelo sin amplificar, en contraste con el diseño a la resistencia de los elementos de concreto reforzado, en el cual se utilizan cargas mayoranas y resistencias nominales reducidas. Eso se debe a que, para el diseño de zapatas, la seguridad la proporcionan los factores de seguridad globales en contraste con los factores independientes de carga y coeficientes de reducción de resistencia que se utilizan para dimensionar elementos.

Todas las fuerzas axiales y los momentos flectores que actúan en la sección inferior de una columna deben transmitirse a la zapata en la superficie de contacto.

Una zapata se considera cargada excéntricamente si la columna que soporta no es concéntrica con el área de la zapata o si la columna transmite, en su unión con la zapata una carga vertical y un momento flector. En este caso el área de la zapata se toma de:

$$q = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

donde M es el momento flector actuante, c es la mitad del espesor de la zapata, I es la inercia de la sección de la zapata y “ q ” es la capacidad soporte promedio del suelo.

II. PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de la ciudad de Guatemala se han construido una gran cantidad de edificios en los últimos años, en su mayoría de concreto reforzado, utilizados en su mayoría para viviendas y oficinas. Una de las razones por la que se ha desarrollado tanto el sistema de construcción de edificios, es el optimizar el espacio de un determinado terreno y darle el mejor uso posible.

Para que ese espacio sea utilizado de la mejor forma posible se debe empezar por realizar un diseño arquitectónico apto, para lograr un diseño estructural que cumpla con la funcionalidad de la estructura y con sus detalles arquitectónicos, además debe cumplir con los requisitos de seguridad, diseño y construcción dados por los códigos de diseño estructural internacionales y normas específicas para la República de Guatemala.

El Ingeniero Estructural no sólo tiene la responsabilidad de dar un diseño seguro, si no también debe de analizar las diferentes opciones según las características de la estructura, para llegar a un diseño estructural mejor planteado. Diseño que deberá incluir toda la fase arquitectónica que le corresponde, respetando espacios y estética, basándose en la elección de las secciones de cada uno de los elementos que la conforman, los cuales son:

- ◆ Losas
- ◆ Vigas
- ◆ Columnas
- ◆ Zapatas

siendo los dos últimos, los más importantes dentro de un edificio de concreto reforzado ya que le dan la estabilidad a la estructura.

Al realizar el diseño estructural, se necesita una forma efectiva para dar rapidez al elaborarlo teniendo bases de apoyo para lograrlo y ganar

tiempo que al final significa la reducción de costos dentro de un proyecto, que en el caso de edificios de concreto reforzado, es de gran magnitud. Por lo que el predimensionamiento de los miembros de una estructura es de mucha ayuda, no solo para el correcto diseño de esta, sino también para agilizar el proceso.

Por lo que el problema que conlleva este trabajo de investigación, al cual le daremos una solución es:

¿Cuál es, en un diseño estructural, la correcta dimensión de columnas circulares y zapatas para edificios de concreto reforzado, según las diferentes características que posea la edificación?

A. OBJETIVOS

1. Generales

Determinar un predimensionamiento de columnas circulares y zapatas en edificios de concreto reforzado, los cuales están conformados por marcos especiales; para agilizar el dimensionamiento en el proceso de diseño estructural.

2. Específicos

- a. Utilizando las normas establecidas por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), lograr formar parámetros de dimensiones para columnas circulares y zapatas, aprobados para el diseño de edificios conformados por marcos especiales en toda la región guatemalteca.
- b. Utilizar las tablas y gráficas proporcionadas por la investigación finalizada para obtener un dimensionamiento de columnas circulares y zapatas, para edificios con diferentes niveles y luces

(distancias estructurales), por medio de la interpolación y la tendencia de la curvatura de la grafica.

- c. Incorporar a las normas utilizadas del AGIES 2000 (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica), a los lineamientos dados por el código ACI 318.02 (American Concrete Institute) y el IBC 2000 (Internacional Building Code), para que la elaboración del dimensionamiento cumpla con los requisitos de resistencia, deformación y eficiencia requeridos.

B. VARIABLES

1. Variables independientes

La variable independiente por manipulación es la que el investigador aplica según su criterio. No se puede modificar, pero se desea saber si influye sobre la variable dependiente.

- ◆ Cargas de gravedad.
- ◆ Cargas de sismo.
- ◆ Dimensiones del edificio.
 - ▶ Distancia de ejes estructurales.
 - ▶ Altura de piso a piso.
 - ▶ Numero de niveles.
- ◆ Resistencia de los materiales.
 - ▶ Resistencia a la compresión del concreto f'_c .
 - ▶ Limite de fluencia del acero f_y .
- ◆ Capacidad soporte del suelo.

2. Variables dependientes o asignadas.

La variable dependiente puede ser definida como los cambios sufridos por los sujetos como consecuencia de la manipulación de la variable independiente por parte del experimentador.

- ◆ Dimensiones de miembros estructurales.

- ▶ Columnas circulares.

- ▶ Zapatas.

C. DEFINICION DE VARIABLES

1. Definición de variables conceptuales:

Variables de índole teórica.

- ◆ Cargas de gravedad: Son cargas que actúan por el efecto de la gravedad, por lo que su dirección es en sentido vertical. Estas al aplicarlas a una estructura generan esfuerzos sobre la estructura misma del edificio. Dentro de estas cargas se incluyen:

- ▶ Carga muerta: Son aquellas que se mantienen constantes en magnitud y fijas en posición durante la vida de la estructura. La mayor parte de esta carga es el peso propio de la estructura, esta es calculada con aproximación de la configuración del diseño estructural, es decir de las dimensiones de los miembros que la conforman y de la densidad del material. (Nilson, 2004).

- ▶ Carga viva: Consiste en carga de ocupación, estas pueden ser total o parcial en su sitio o no estar presentes, y pueden cambiar de ubicación. Su magnitud y

distribución son inciertas en un momento dado, y sus máximas intensidades a lo largo de la vida de la estructura no se conocen con precisión. (Nilson, 2004).

- ◆ Carga de sismo: Es una carga equivalente lateral que actúa sobre la edificación, su corte basal se da con la siguiente expresión:

$$V = C_s W$$

(IBC, 2000)

- ▶ C_s : Coeficiente de respuesta sísmica dado por la siguiente expresión:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_E} \right)}$$

(IBC, 2000)

- ▶ W : Peso sísmico de la estructura. (IBC, 2000).
- ▶ I_E : Factor de importancia de ocupación= 1.00. (IBC, 2000). (Ver Anexo 1).
- ▶ R : Factor modificador de respuesta= 8. (IBC, 2000). (Ver Anexo 2).
- ▶ S_{DS} : Aceleración de diseño del espectro de respuesta, dado por la siguiente expresión:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

(IBC, 2000).

- ▶ S_{MS} : Aceleración máxima del espectro de respuesta, dado por la siguiente expresión:

$$S_{MS} = F_a S_s$$

(IBC, 2000).

- ▶ F_a : Coeficiente del sitio como función de la aceleración de respuesta espectral para periodos cortos (S_s)= 1.6. (IBC, 2000). (Ver Anexo 3).

- ▶ S_s : Aceleración espectral para periodos cortos.= 1.25. (IBC, 2000).

- ◆ Distancia entre ejes estructurales (luces): Distancia horizontal entre ejes estructurales de edificios, medidos en planta. (Nilson, 2004)
- ◆ Altura de piso a piso: Distancias verticales entre niveles de edificios, medidos en elevaciones. (Nilson, 2004)
- ◆ Número de niveles: Número de pisos que tendrá un edificio, dependiendo de la ocupación que se le dará. (Nilson, 2004)
- ◆ Resistencia a compresión del concreto (f'_c): Resistencia a compresión nominal de diseño que posee el concreto a los 28 días. Ésta se tomó de acuerdo a las especificaciones del Código ACI 318.02 21.2.4.1, para zonas altamente sísmicas,

el cual rige que $f'c \geq 210 \text{ Kg/cm}^2$. Se utilizo $f'c = 245 \text{ Kg/cm}^2$ para tener un factor de seguridad.

- ◆ Límite de fluencia del acero (f_y) : Es el esfuerzo en el cual el acero empieza a sufrir deformaciones permanentes , aun sin la carga que hizo que cediera. (Nilson, 2004). Ésta se tomó de acuerdo a las especificaciones del Código ACI 318.02 21.2.5, se toma el valor dado de $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.
- ◆ Capacidad soporte del suelo: Es la diferencia entre la capacidad de carga del suelo y el peso propio de la zapata y el relleno. 30 Ton/m^2 .
- ◆ Columnas: Elementos que trabajan axialmente y a flexión, cuya función es transmitir todas las cargas hacia la cimentación. (Nilson, 2004)
- ◆ Zapata: Parte de la estructura que se coloca debajo de la superficie del terreno y transmite las carga de la edificación al suelo. (Nilson, 2004)

2. Definición de variables operacionales:

VARIABLES QUE DAN BASES DE MEDICIÓN Y LA DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES.

- ◆ Cargas muertas: Se calculó de acuerdo con las dimensiones de los elementos del edificio, es decir su peso propio, adicionándole un valor por los elementos superpuestos dentro de la edificación.
- ◆ Cargas vivas: Estos valores se tomaron de acuerdo con las normas de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería

Estructural y Sísmica (AGIES 2000), para edificios de viviendas y oficinas.

- ◆ Cargas sísmicas: Se basó en el procedimiento del Código IBC 2000.
- ◆ Resistencia de los materiales: Se tomaron valores mediante las normas recomendadas por el Código ACI 318.02 para zonas de alta sismicidad.
- ◆ Capacidad soporte del suelo: Se tomó en base a un promedio del tipo de suelo en la ciudad de Guatemala.
- ◆ Columnas y zapatas: El predimensionamiento de ambos se fundamenta en el Código ACI 318.02, referencias bibliográficas y los modelos generados por computadora.

D. ALCANCES Y LÍMITES

1. Delimitación del tema

El tema se basa en elementos de concreto reforzado con un $f'c = 245 \text{ kg/cm}^2$ y un $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ (en cuanto a materiales), conformados por marcos especiales.

Los elementos que se evaluaron son: columnas circulares y zapatas. Los demás elementos que conforman los edificios, losas, vigas y columnas cuadradas, fueron evaluados en el trabajo *Predimensionamiento de losas, vigas y columnas en edificios de concreto reforzado*, previamente realizado por el Ing. José Efraín Aguilera Díaz.

Los modelos realizados por computadora se delimitaron también a una serie de limitaciones:

- ◆ Número de niveles: Se mantiene en un rango de 3 a 11 niveles.
- ◆ Distancia entre ejes estructurales (luces): Se mantiene en un rango de 4 a 10 metros. La distancia crítica utilizada, es la más conveniente de utilizar como luz máxima, para edificios, ya que una mayor puede generar espesores de losas demasiado grandes y el diseño se va volviendo antieconómico.
- ◆ Número de ejes estructurales: Se toman únicamente modelos de (2 x 4), (3 x 5) y (4 x 6).
- ◆ El uso de una sola sección para vigas, columnas y zapatas para toda la estructura.

2. Restricciones para realizar el trabajo

El predimensionamiento de columnas, es el problema principal ya que en el código ACI 318.02 solo se incluyen algunos requisitos por lo que se estudio determinadamente los modelos de los edificios generados en computadora.

Además los códigos utilizados no poseen información amplia acerca del diseño de zapatas por lo que su diseño se basó, casi en su totalidad, en sus deformaciones permisibles.

III. MÉTODO

A. SUJETO

1. Dimensionamiento de columnas

Este se realizó basándose en las variables que afectan al elemento. Las variables son las cargas de gravedad, de sismo, la distancia entre ejes estructurales, la altura de piso a piso, la resistencia a la compresión del concreto, el límite de fluencia del acero y el número de niveles, todas anteriormente descritas.

2. Dimensionamiento de zapatas

Se tomó en cuenta además de las cargas que la columna transmite a las zapatas, la distancia entre ejes estructurales, la resistencia a la compresión del concreto, el límite de fluencia del acero, el número de niveles y la dimensión de la columna; todas estas al igual que en el caso de las columnas, pero a diferencia de ella también se debe tomar en cuenta la variable de la capacidad soporte del suelo.

B. INSTRUMENTOS

Los instrumentos utilizados para la información recopilada dentro de este trabajo de investigación son:

- ◆ Como referencia para el dimensionamiento de losas y vigas, se tomaron datos del trabajo de investigación, *Predimensionamiento de losas, vigas y columnas en edificios de concreto reforzado*, realizado por el Ing. José Efraín Aguilera Díaz.
- ◆ Los modelos generados por computadora de edificios de concreto reforzado conformados por marcos especiales, utilizando los

programas ETABS para el dimensionamiento de columnas; y SAFE para el dimensionamiento de las zapatas.

Ya que las columnas y las zapatas son partes fundamentales dentro de una estructura, se deben tomar muestras que den un parámetro lo mas exacto posible. Por lo que se generaron 60 modelos de cada uno, dando un total de 120, edificaciones. Esto con el fin de llegar al dimensionamiento final de cada elemento de la forma más exacta y confiable posible.

- ◆ Se tomaron en cuenta referencias bibliográficas, para cumplir con las normas básicas que deben cumplir los diseños estructurales de edificios de concreto reforzado. Estas normas fueron obtenidas de Códigos como el ACI 318.02, IBC 2000 y el AGIES 2000.

C. PROCEDIMIENTO

El trabajo de investigación se realizó en dos partes:

- ◆ Teórica.
- ◆ Practica.

Se inicia con la investigación teórica, en la cual se toma la columna como el punto de partida, ya que este elemento es el encargado de transmitir las cargas del edificio a la zapata.

Pero anterior a esta investigación del dimensionamiento de columnas, se tomo el trabajo *Predimensionamiento de losas, vigas y columnas cuadradas*, realizado por el Ing. José Efraín Aguilera Díaz. De aquí se toman aproximaciones de las dimensiones de estos elementos en cada edificación analizada tomando como punto de partida el espesor de la losa, luego las dimensiones de las vigas (largo y ancho) y su continuación.

Se debe hacer referencia que al igual que en este caso, los datos para el predimensionamiento de losas y vigas también fueron tomados del Código ACI 318.02, por lo que se tiene una coherencia importante entre las dimensiones utilizadas y las que nos darán los resultados finales; además de dar un correcto seguimiento a la investigación ya iniciada.

En la investigación práctica, se diseñaron modelos de edificios de concreto reforzado por computadora, utilizando el programa ETABS para las columnas y el SAFE para las zapatas, los cuales fueron analizados para luego ir corroborando los dimensionamientos que se determinaron previamente en la investigación teórica.

Los modelos se inician asignando losas. Ya que se sabe que la luz crítica (distancia entre ejes estructurales), es de 10 metros, se toma ésta como punto de referencia para dar espesor uniforme a las losas utilizadas en todos los modelos, y ya con un espesor definido se asigna a cada modelo la dimensión de viga que se obtuvo de la investigación previa. Con los elementos anteriores asignados al modelo se dimensionan las columnas circulares hasta que la dimensión sea la adecuada, tomando en cuenta la dimensión mínima para columnas cuadradas según el código ACI 318.02 21.4.1.1.

Finalmente se importaron las fuerzas y momentos que actúan en la base del edificio, hacia el programa de computadora SAFE, ya que estas son las fuerzas que las zapatas deben asumir, y con ello se procede al dimensionamiento de las zapatas para cada edificación.

Consideraciones utilizadas en los modelos por computadora:

- ◆ Columnas:

- ▶ Geometría:

- Se inició en el modelo de 3 niveles, con luz (distancia entre ejes estructurales) de 4 metros y tramos de 2X4. Ya

que la dimensión de las columnas cuadradas dentro de este modelo es de 40cm X 40cm, se toma una columna circular de 45cm de diámetro para iniciar, basándose en la teoría expuesta en el trabajo *Predimensionamiento de losas, vigas y columnas en edificios de concreto reforzado*. La cual será verificada mas adelante, por lo que la dimensión puede disminuirse para optimizar la sección.

► Diseño:

Se utiliza un promedio de porcentaje de cuantía de acero igual a 2.50%, para no estar en los límites mínimos y máximos de porcentajes de acero tomados del Código ACI 318.02 21.4.3.1, para edificios en zonas de alta sismicidad.

ELEMENTO	CUANTÍA MÍNIMA	CUANTÍA MÁXIMA	CUANTÍA PROMEDIO
Columna	1.00%	6.00%	2.50%

Con estas consideraciones se inicio el análisis de los modelos, en los cuales se incluyen todas las variables que influyen dentro del diseño y que deben tener según las recomendaciones de los Códigos utilizados, incluyendo las cargas sísmicas. Luego del análisis se diseñan los elementos, en este caso las columnas circulares, las cuales deben cumplir, inicialmente, con el porcentaje de acero requerido (2.50) %, el cual esta dentro del rango de acero permisible como se menciona en el Marco Teórico, en el capítulo de Columnas.

Además de cumplir con el porcentaje de acero, la dimensión debe cumplir también con las deformaciones requeridas. Estas deformaciones no deben exceder $\Delta_N \leq 0.015 h_N$, en caso de que esto no se cumpliera se debía cambiar la dimensión de la sección aunque esta ya hubiera chequeado por porcentaje de acero.

► Proceso de cambio de geometría:

Para el predimensionamiento de columnas se tuvo una cuantía de acero promedio que debía cumplirse con la dimensión establecida, para no estar muy cerca de los límites superiores e inferiores de acero establecidos por el Código ACI 318.02 21.4.3.1.

Además de tomar en cuenta el acero, se consideraron otros factores en el diseño de edificios de concreto reforzado:

- Cargas gravitacionales
- Cargas sísmicas
- Resistencias de materiales

Con estos modelos se planea encontrar la sección adecuada para columnas circulares en edificios que contengan sólo las características tomadas en este trabajo de investigación.

Esta parte práctica se tomaron 60 modelos para edificios de concreto reforzados. Esta muestra se tomo para tener un parámetro mas amplio y tener una aproximación más certera para el correcto dimensionamiento de columnas circulares en edificios de concreto reforzado.

Para cada modelo generado por computadora de los edificios de concreto reforzado, se tomaron los siguientes datos:

- Integración de carga muerta superpuesta (no incluida el peso propio), asumido de valores típicos utilizados en edificios de concreto reforzado para uso de vivienda u oficinas. $CMS = 300Kg / m^2$.

- ▶ Valor asumido de carga viva, recomendado por La Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES 2000), para edificios de concreto reforzado para uso de vivienda u oficinas.
- ▶ Peso propio de la losa con un valor promedio de $290 \text{ Kg} / \text{m}^2$ debido a su espesor de 12 cm.
- ▶ Resistencia a la compresión del concreto $f'c = 245 \text{ Kg} / \text{cm}^2$.
- ▶ Límite de fluencia del acero $f_y = 4200 \text{ Kg} / \text{cm}^2$.
- ▶ I_E : Factor de importancia de ocupación = 1.00. (IBC, 2000). (Ver Anexo 1).
- ▶ R : Factor modificador de respuesta = 8. (IBC, 2000). (Ver Anexo 2).
- ▶ F_a : Coeficiente del sitio como función de la aceleración de respuesta espectral para periodos cortos (S_s) = 1.6. (IBC, 2000). (Anexo 3).
- ▶ S_s : Aceleración espectral para periodos cortos. = 1.25. (IBC, 2000).
- ▶ F_v : Coeficiente del sitio como función de la aceleración de respuesta espectral para periodos largos (S_1) = 0.6. (IBC, 2000). (Ver Anexo 3).
- ▶ S_1 : Aceleración espectral para periodos largos = 1.25 (IBC, 2000).
- ▶ Grupo de uso sísmico = III. (IBC, 2000). (Ver Anexo 5).
- ▶ Categoría de diseño sísmico = D. (IBC, 2000). (Ver Anexo 4).
- ▶ $W_m = 1.0 \text{ CM} + 0.25 \text{ CV}$
- ▶ Deformación global sísmica máxima permisible $\Delta_N \leq 0.015 h_N$, donde h_N es igual a la altura total de la edificación.
- ▶ Altura de piso a piso 3.50m
- ▶ Factores de rigidez por agrietamiento para Columnas $0.70 I_g$

Y las variables que afectan a cada modelo de los edificios de concreto reforzado son:

- ▶ Número de niveles: 3, 5, 7, 9, y 11.
- ▶ Número de ejes estructurales: (2 X 4), (3 X 5) y (4 X 6).
- ▶ Distancia entre ejes estructurales (luces): 4, 6, 8 y 10 metros.

Además de todas las variables antes descritas se generaron diferentes combinaciones de las cargas aplicadas para determinar cuál sería la más crítica y de allí continuar con el dimensionamiento, estas combinaciones son:

$$1.4D$$

$$1.2D+1.6L$$

$$1.2D+L$$

$$1.2D+L+E$$

$$0.9D+E$$

(IBC, 2000)

De cada uno de estos modelos se tomaron los datos de las dimensiones de las columnas circulares, las cuales deben cumplir con los requisitos de resistencia, deformación y eficiencia requeridos.

Con los datos obtenidos de los modelos se realizaron gráficos para tabular los resultados y las dimensiones mínimas que deben tener las columnas circulares en cada uno de los edificios de concreto reforzado. En el eje X se muestra la distancia entre ejes estructurales (luces), mientras que en el eje Y se muestra la dimensión del diámetro de las columnas. Cada gráfica representada es por niveles de la edificación analizada.

Para generar las cargas y el peso propio de los elementos de los modelos, se utilizó la integración automática del programa ETABS, y en él se realizaron el análisis estático y dinámico, de los marcos especiales que forman cada uno de los edificios de concreto reforzado.

- ◆ Zapatas:

- ▶ Geometría:

Se inician con una sección mínima dependiendo del área requerida, según la carga que soporte, el momento flexionante que resiste y la capacidad soporte del suelo, con un espesor de 0.3m.

- ▶ Diseño:

Para el diseño de las zapatas se toma en consideración principalmente la sección de la columna. Para cada zapata en la cual una columna va centrada sobre su superficie, es importante que esta tenga un margen considerable en ambas direcciones. Otra consideración básica es la distancia entre ejes estructurales (luces), ya que las dimensiones deben de ser menores a estas para que no se traslapen unas con otras.

El proceso de análisis de cada modelo, en donde se determina la dimensión requerida de las zapata para cada edificio de concreto reforzado, es basado en cada carga y variable tomada en cuenta para el diseño de las columnas. Ya que la columna es la encargada de traspasar las cargas del edificio a la zapata para esta finalmente distribuirla sobre el suelo.

Por lo que las cargas aplicadas a las zapatas fueron importadas de las reacciones de las columnas en la base del edificio, ya que se puede ver que en ellas se reflejan todas las variables tomadas para el dimensionamiento de las columnas incluyendo el peso propio de esta.

La característica mas importante de una zapata, es el que esta cumpla con la deformación permisible, la cual no debe exceder a 1 pulg \approx 2.54 cm (Bowles, 1997). En caso de que este límite se excediera se debe de hacer un cambio en la dimensión de la zapata, es decir su base y ancho, si esto no ayuda a disminuir su deformación se debe aumentar su espesor.

► **Proceso de cambio de geometría:**

Para cambiar las secciones de las zapatas, se debe de tener en cuenta no solo la deformación de esta, sino también el porcentaje de acero mínimo y máximo, el cual se toma como:

$$A_{s\min} = 0.0025bd$$

$$A_{s\max} = 3A_{s\min}$$

$$b = 1.00m$$

(Nilsón, 2004), siendo d el ancho de la zapata. Estas formulas dan como resultado la cantidad de acero requerido por metro lineal que tenga la zapata.

En el diseño de las zapatas se tomaron los siguientes factores:

- Cargas gravitacionales.
- Cargas sísmicas.
- Dimensiones de la columna circular.
- Dimensiones generales del edificio.
- Resistencia de los materiales.
- Capacidad soporte del suelo.

La parte práctica del diseño de zapatas, se basó en la toma de 60 modelos nuevos, a cada uno con las fuerzas de las reacciones de los modelos de las columnas de cada edificio de concreto reforzado, las cuales son las fuerzas que estas zapatas soportan en la estructura. Estos nuevos modelos se realizaron en el programa SAFE, dentro de los cuales se utilizaron, además de los datos tomados en los modelos de las columnas, los siguientes datos:

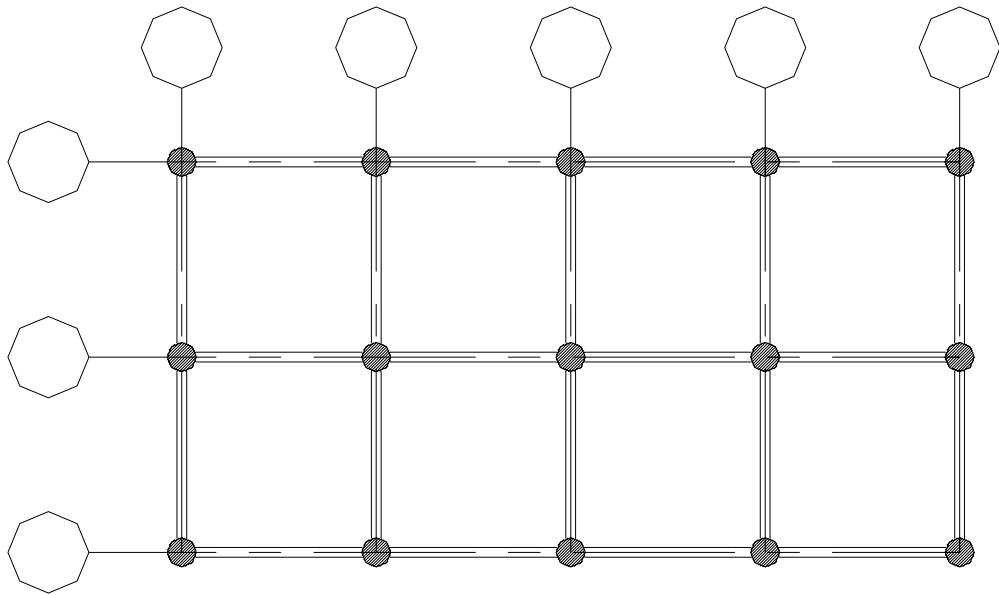
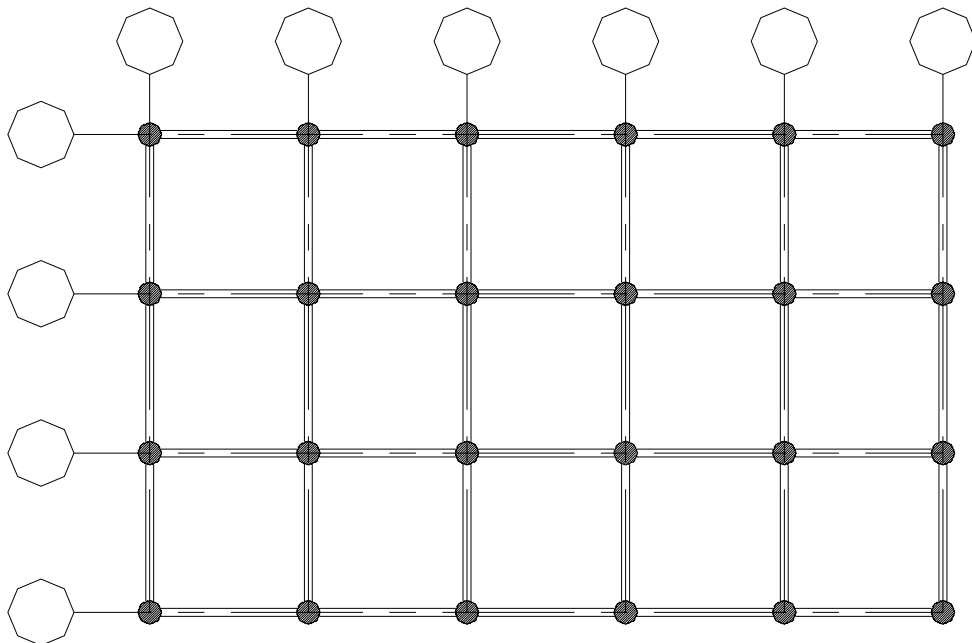
- ▶ Resistencia a la compresión del concreto. $f'c = 245 \text{ Kg/cm}^2$.
- ▶ Limite de fluencia del acero. $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$.
- ▶ Deformación máxima permisible. $\Delta \leq 2.54 \text{ cm}$.
- ▶ Nivel de la zapata bajo el suelo: 1.5m.
- ▶ Capacidad soporte del suelo: 30 Ton/m^2

Para generar los 60 modelos del diseño y análisis de zapatas se utilizaron las variables siguientes al igual que en el caso de los modelos de las columnas:

- ▶ Número de niveles: 3, 5, 7, 9, y 11.
- ▶ Número de ejes estructurales: (2 X 4), (3 X 5) y (4 X 6).
- ▶ Distancia entre ejes estructurales (luces): 4, 6, 8 y 10 metros.

Cada uno de los modelos se realizo para que las dimensiones obtenidas en cada zapata, cumplan con los requisitos de resistencia, deformación y eficiencia requeridos.

Se realizaron gráficos para tabular los resultados y las dimensiones mínimas que deben tener las zapatas en cada uno de los edificios de concreto reforzado. En el eje X se muestra la distancia entre ejes estructurales (luces), mientras que en el eje Y se muestra la dimensión de las zapatas y su espesor. Cada gráfica es representada por niveles de la edificación. Siendo el mismo formato de la representación de los resultados en el caso de las columnas circulares.

Modelos de 2 x 4 tramos.**Modelos de 3 x 5 tramos.**

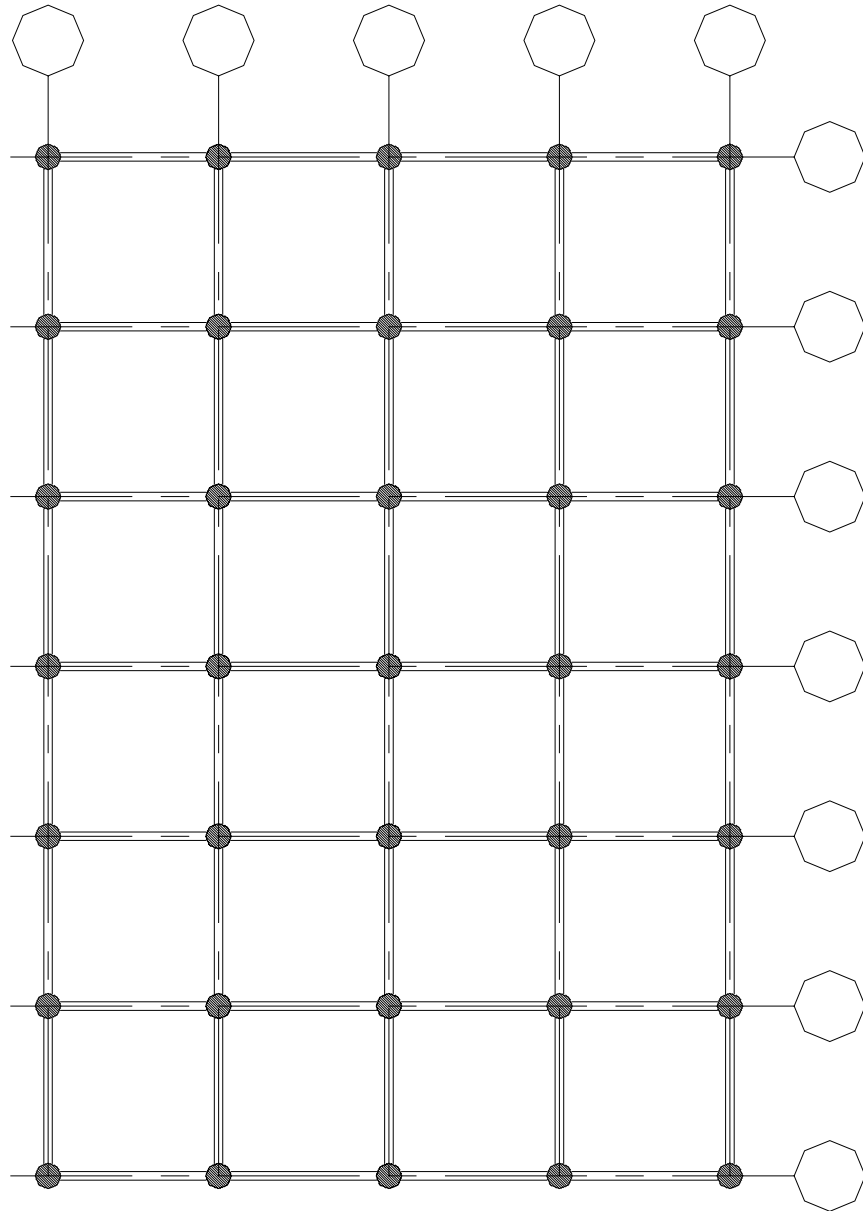
Modelos de 4 x 6 tramos.

Tabla No. 1: Modelos por computadora para edificios de concreto reforzado.

NÚMERO DE TRAMOS	NÚMERO DE NIVELES	LUCES			
		4	6	8	10
2X4	3	modelo 1	modelo 2	modelo 3	modelo 4
	5	modelo 13	modelo 14	modelo 15	modelo 16
	7	modelo 25	modelo 26	modelo 27	modelo 28
	9	modelo 37	modelo 38	modelo 39	modelo 40
	11	modelo 49	modelo 50	modelo 51	modelo 52
3X5	3	modelo 5	modelo 6	modelo 7	modelo 8
	5	modelo 17	modelo 18	modelo 19	modelo 20
	7	modelo 29	modelo 30	modelo 31	modelo 32
	9	modelo 41	modelo 42	modelo 43	modelo 44
	11	modelo 53	modelo 54	modelo 55	modelo 56
4X6	3	modelo 9	modelo 10	modelo 11	modelo 12
	5	modelo 21	modelo 22	modelo 23	modelo 24
	7	modelo 33	modelo 34	modelo 35	modelo 36
	9	modelo 45	modelo 46	modelo 47	modelo 48
	11	modelo 57	modelo 58	modelo 59	modelo 60

IV. RESULTADOS

A. INVESTIGACIÓN DE CAMPO

1. Predimensionamiento de columnas: Las recomendaciones para el dimensionamiento de columnas cuadradas, dadas por el Código ACI 318.02 Capítulo 21 son:

- ◆ La carga axial de la columna no debe ser mayor que (ACI 318.02 21.3.1.1):

$$\frac{A_g f'_c}{10}$$

A_g = Área de la columna.

f'_c = Resistencia a la compresión del concreto a los 28 días.

($f'_c = 245 \text{ Kg/cm}^2$)

- ◆ La dimensión menor de la sección transversal de la columna cuadrada no debe ser menor que 30 cm. (ACI 318.02 21.4.1.1)
- ◆ La relación de la altura (H) a el lado menor (b_c) no debe ser mayor a 15. (ACI 318.02 21.2)

La forma para predimensionar columnas utilizada, es por medio de su capacidad axial a la compresión, la cual se da por:

$$P_u = 0.7\phi[0.85f'_c A_g + A_{st} f_y]$$

P_u = Carga axial última.

ϕ = Coeficiente que depende del tipo de refuerzo transversal.

f'_c = Resistencia a compresión del concreto a los 28 días.

A_{st} = Área de acero de la columna.

f_y = Límite de fluencia del acero.

A_g = Área bruta de la columna.

De esta expresión se puede obtener el área bruta de la columna, despreciando el área de acero de esta.

a. Dimensión de columnas circulares: Se tomaron las consideraciones dadas por el Código ACI 318.02 10.8.3, para columnas cuadradas y rectangulares; el cual dicta que en caso de tener una sección diferente a una cuadrada o rectangular, se debe tomar una sección igual a la dimensión mayor de la columna, siempre manteniendo su forma poligonal, en este caso circular. De esto se toman las siguientes características para las columnas circulares:

- El área gruesa de la columnas es igual a:

$$A_g = \frac{\pi D^2}{4}$$

donde D es igual al diámetro de la columna.

- El área gruesa para la dimensión de la columna, según su capacidad axial a compresión es:

$$A_g = \frac{P_u}{0.7\phi 0.85 f'_c}$$

- La dimensión requerida de las columna circular está dada por:

$$D = \sqrt{\frac{4P_u}{\pi 0.7\phi 0.85 f'_c}}$$

Tomando en cuenta todas las recomendaciones dadas por el Código junto con las relaciones previamente descritas se obtuvieron los resultados de los modelos por computadora, realizados por el programa ETABS.

Estos resultados se presentan a continuación junto con un diagrama de la secciones de las columnas y como van conectadas a las vigas. La tabla también contiene el porcentaje de acero que posee la columna y su porcentaje de deformación, lo cuales tiene como límite 2.5% y 1.50% respectivamente.

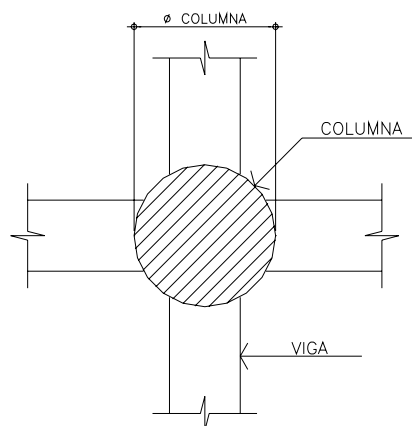


Tabla No. 2: Resultados obtenidos en modelos por computadora para columnas circulares

NÚMERO DE NIVELES	DISTANCIA DE LUCES (m)	NÚMERO DE TRAMOS	DIMENSIÓN COLUMNA CIRCULAR (cm)	% DE ACERO	SISMO EN X		SISMO EN X	
					Δ (m)	% Δ	Δ (m)	% Δ
3	4	2X4	60	1.00	0.027	1.44	0.028	1.48
3	4	3X5	60	1.00	0.028	1.45	0.027	1.41
3	4	4X6	60	1.00	0.028	1.49	0.028	1.47
3	6	2X4	70	1.00	0.027	1.40	0.028	1.48
3	6	3X5	70	1.00	0.027	1.41	0.029	1.49
3	6	4X6	70	1.00	0.027	1.43	0.029	1.49
3	8	2X4	80	1.00	0.028	1.46	0.028	1.46
3	8	3X5	80	1.00	0.028	1.47	0.028	1.47
3	8	4X6	80	1.00	0.028	1.47	0.028	1.47
3	10	2X4	90	1.50	0.028	1.48	0.028	1.48
3	10	3X5	90	1.50	0.028	1.48	0.028	1.48
3	10	4X6	90	1.50	0.028	1.48	0.028	1.48
5	4	2X4	65	1.00	0.047	1.47	0.047	1.47
5	4	3X5	65	1.00	0.047	1.47	0.047	1.47
5	4	4X6	65	1.00	0.047	1.47	0.047	1.47
5	6	2X4	75	1.00	0.047	1.49	0.048	1.50
5	6	3X5	75	1.00	0.047	1.49	0.048	1.50
5	6	4X6	75	1.00	0.047	1.49	0.048	1.50
5	8	2X4	90	1.10	0.047	1.49	0.048	1.50
5	8	3X5	90	1.10	0.047	1.49	0.048	1.50
5	8	4X6	90	1.10	0.047	1.49	0.048	1.50
5	10	2X4	110	1.70	0.047	1.47	0.047	1.47
5	10	3X5	110	1.70	0.047	1.47	0.047	1.47
5	10	4X6	110	1.70	0.047	1.47	0.047	1.47
7	4	2X4	65	1.00	0.067	1.50	0.067	1.50
7	4	3X5	65	1.00	0.067	1.50	0.067	1.50
7	4	4X6	65	1.00	0.067	1.50	0.067	1.50
7	6	2X4	80	1.00	0.067	1.50	0.067	1.50
7	6	3X5	80	1.00	0.067	1.50	0.067	1.50
7	6	4X6	80	1.00	0.067	1.50	0.067	1.50
7	8	2X4	100	1.40	0.067	1.50	0.067	1.50
7	8	3X5	100	1.40	0.067	1.50	0.067	1.50
7	8	4X6	100	1.40	0.067	1.50	0.067	1.50
7	10	2X4	125	2.40	0.067	1.50	0.067	1.50
7	10	3X5	125	2.40	0.067	1.50	0.067	1.50
7	10	4X6	125	2.40	0.067	1.50	0.067	1.50

**Tabla No. 2: Resultados obtenidos en modelos por computadora para columnas circulares.
(Continuación)**

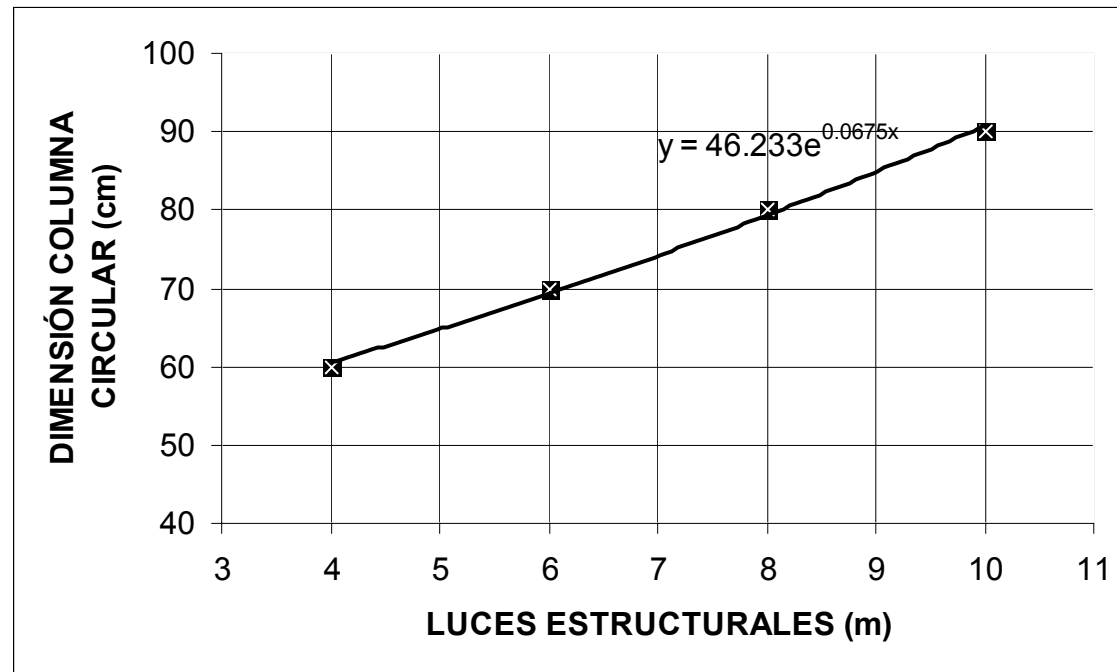
NÚMERO DE NIVELES	DISTANCIA DE LUCES (M)	NÚMERO DE TRAMOS	DIMENSIÓN COLUMNA CIRCULAR (cm)	% DE ACERO	SISMO EN X		SISMO EN X	
					Δ (m)	% Δ	Δ (m)	% Δ
9	4	2X4	70	1.00	0.08	1.46	0.08	1.46
9	4	3X5	70	1.00	0.08	1.46	0.08	1.46
9	4	4X6	70	1.00	0.08	1.46	0.08	1.46
9	6	2X4	95	1.30	0.08	1.47	0.08	1.47
9	6	3X5	95	1.30	0.08	1.47	0.08	1.47
9	6	4X6	95	1.30	0.08	1.47	0.08	1.47
9	8	2X4	110	1.60	0.09	1.49	0.09	1.49
9	8	3X5	110	1.60	0.09	1.49	0.09	1.49
9	8	4X6	110	1.60	0.09	1.49	0.09	1.49
9	10	2X4	150	2.30	0.09	1.50	0.09	1.50
9	10	3X5	150	2.30	0.09	1.50	0.09	1.50
9	10	4X6	150	2.30	0.09	1.50	0.09	1.50
11	4	2X4	70	1.00	0.11	1.50	0.11	1.50
11	4	3X5	70	1.00	0.11	1.50	0.11	1.50
11	4	4X6	70	1.00	0.11	1.50	0.11	1.50
11	6	2X4	95	1.70	0.10	1.49	0.10	1.49
11	6	3X5	95	1.70	0.10	1.49	0.10	1.49
11	6	4X6	95	1.70	0.10	1.49	0.10	1.49
11	8	2X4	115	2.00	0.10	1.49	0.10	1.49
11	8	3X5	115	2.00	0.10	1.49	0.10	1.49
11	8	4X6	115	2.00	0.10	1.49	0.10	1.49
11	10	2X4	155	2.40	0.10	1.49	0.10	1.49
11	10	3X5	155	2.40	0.10	1.49	0.10	1.49
11	10	4X6	155	2.40	0.10	1.49	0.10	1.49

De los resultados obtenidos se realizaron una serie de gráficas para representarlos de manera más clara. Estas gráficas están descritas según el número de niveles que posee la edificación analizada. En el eje X dentro de los gráficos, están representadas las distancias ente ejes estructurales (lucos), de los edificios; mientras que en el eje Y se encuentran las dimensiones de las secciones de las columnas circulares.

Las gráficas poseen una curva representativa de donde se puede encontrar las dimensiones de columnas circulares para edificios con características intercaladas dependiendo de las utilizadas dentro de este trabajo de investigación. Estas secciones se pueden obtener por medio de la interpolación de los resultados representados o siguiendo la ecuación de la tendencia de la curva.

GRÁFICO No. 1

Gráfico de predimensionamiento de columnas circulares para edificios de 3 niveles



CMS = 300 Kg/m²

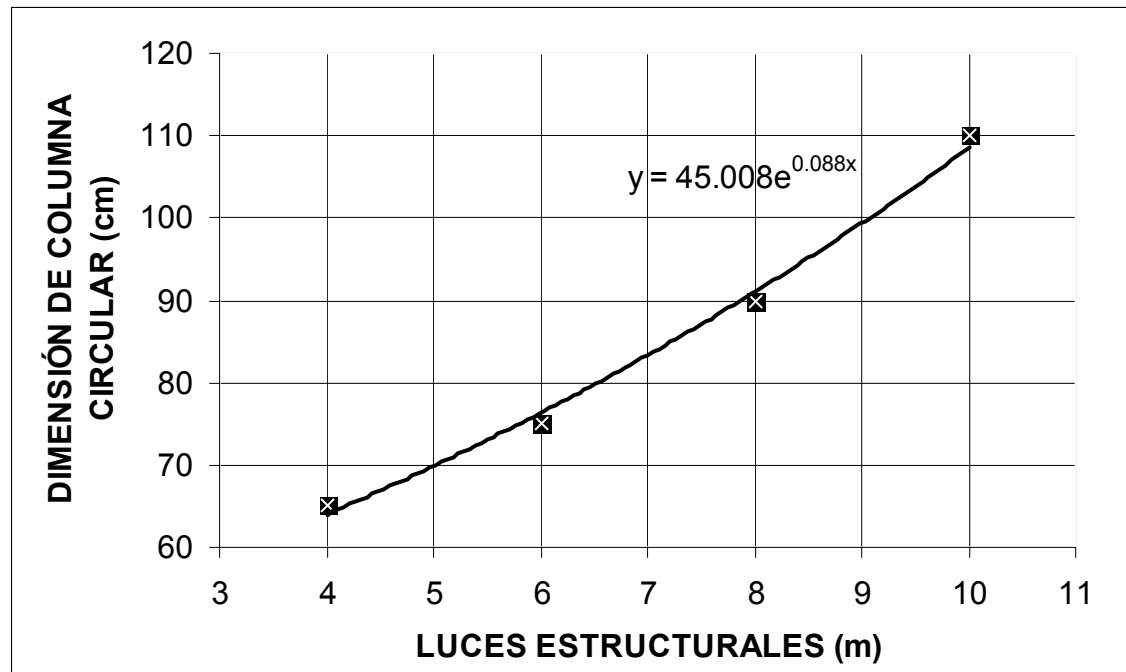
CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 2

Gráfico de predimensionamiento de columnas circulares para edificios de 5 niveles



CMS = 300 Kg/m²

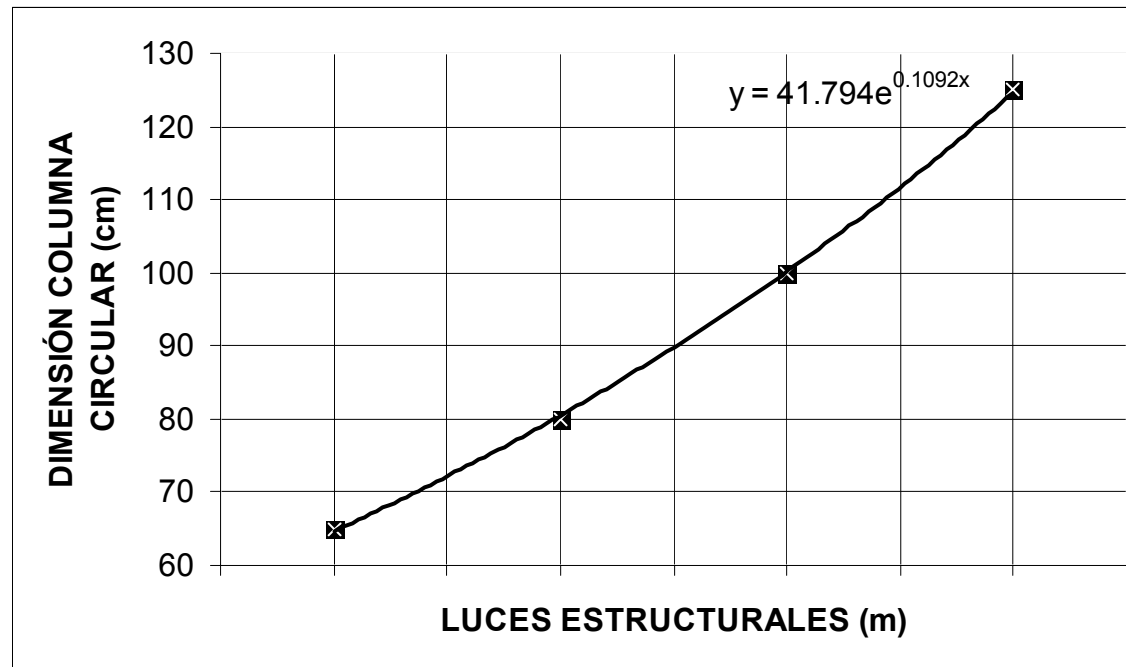
CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 3

Gráfico de predimensionamiento de columnas circulares para edificios de 7 niveles



CMS = 300 Kg/m²

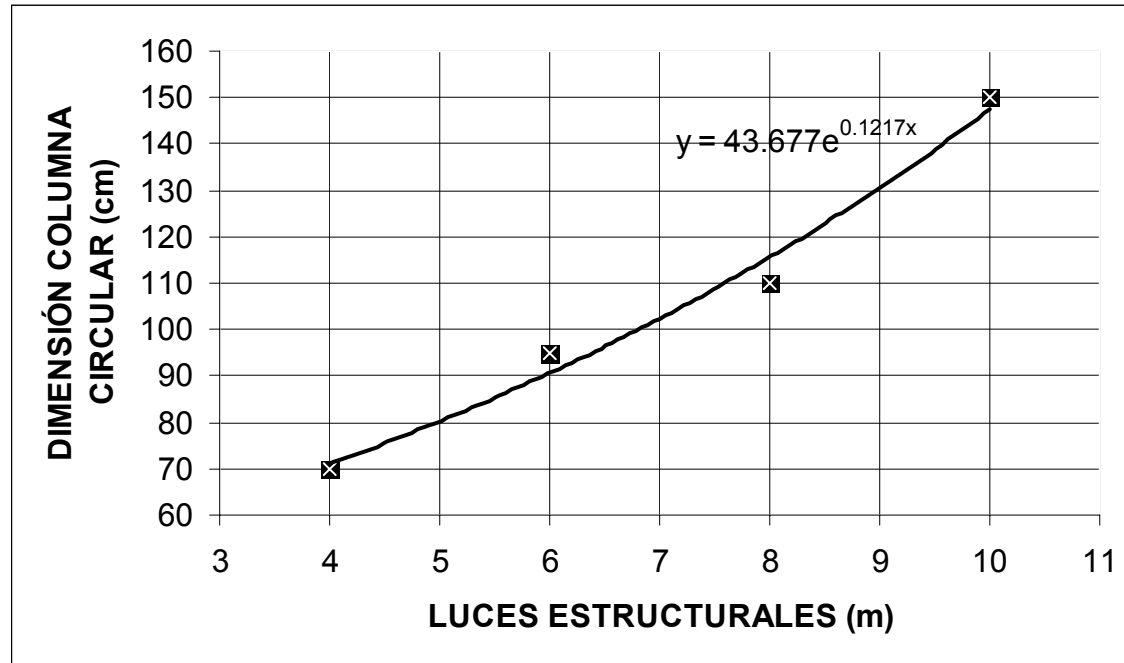
CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 4

Gráfico de predimensionamiento de columnas circulares para edificios de 9 niveles



CMS = 300 Kg/m²

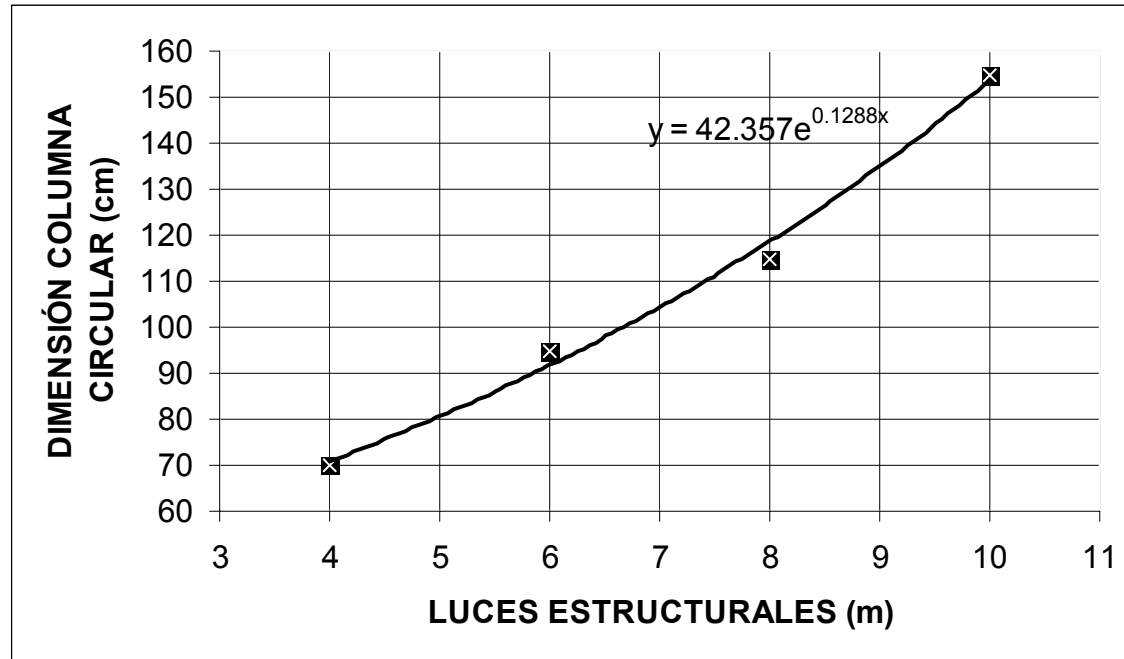
CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 5

Gráfico de predimensionamiento de columnas circulares para edificios de 11 niveles



CMS = 300 Kg/m²

CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

2. Predimensionamiento de zapatas: Se tomó en consideración el área requerida de la zapata, ésta se toma de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

M = Momento flexionante.

c = $\frac{1}{2}$ del espesor de la zapata.

P = Carga puntual.

I = Inercia de la sección.

q = Capacidad soporte del suelo.

a. Dimensión de zapatas: Para el predimensionamiento de zapatas cuadradas concéntricas, para columnas circulares, se toman en cuenta las siguientes consideraciones dadas por el código ACI 318.02 15.3:

Para zapatas diseñadas para soportar columnas circulares o con formas poligonales regulares, esta se puede reemplazar por una columna cuadrada con la misma área que la circular o poligonal.

Ya con las recomendaciones dadas por el Código junto con las equivalencias previamente descritas se obtuvieron los resultados de las dimensiones de zapatas de los modelos por computadora, realizados por el programa SAFE.

Estos resultados se presentan a continuación, incluyéndolos su cantidad de acero mínima y máxima y su deformación; junto con la planta de las zapatas y cómo va centrada a la columna:

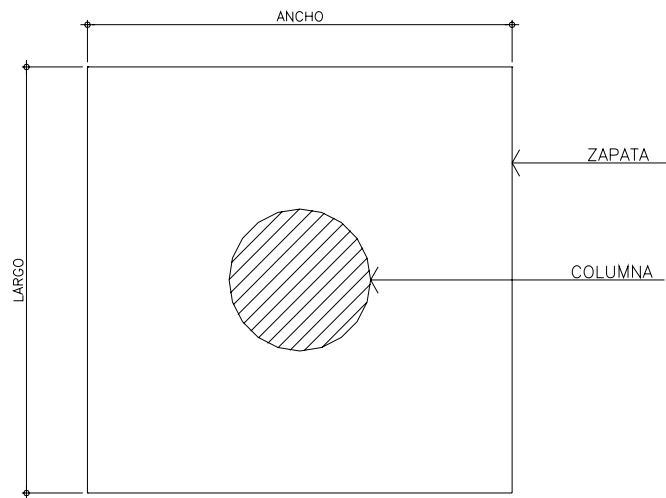


Tabla No. 3: Resultados obtenidos en modelos por computadora para zapatas.

NÚMERO DE NIVELES	DISTANCIA DE LUCES (m)	NÚMERO DE TRAMOS	DIMENSIÓN ZAPATAS			ACERO MÍNIMO (cm ² /m)	ACERO MÁXIMO (cm ² /m)	ACERO (cm ² /m)	Δ (cm)
			t(cm)	LARGO-X (m)	ANCHO-Y (m)				
3	4	2X4	35	2.00	2.00	6.25	18.75	18.43	2.09
3	4	3X5	35	2.00	2.00	6.25	18.75	18.43	2.09
3	4	4X6	35	2.00	2.00	6.25	18.75	18.43	2.09
3	6	2X4	35	3.00	3.00	6.25	18.75	18.50	2.40
3	6	3X5	35	3.00	3.00	6.25	18.75	18.50	2.40
3	6	4X6	35	3.00	3.00	6.25	18.75	18.50	2.40
3	8	2X4	45	4.00	4.00	8.75	26.25	26.11	2.20
3	8	3X5	45	4.00	4.00	8.75	26.25	26.11	2.20
3	8	4X6	45	4.00	4.00	8.75	26.25	26.11	2.20
3	10	2X4	45	5.00	5.00	8.75	26.25	26.23	2.09
3	10	3X5	45	5.00	5.00	8.75	26.25	26.23	2.09
3	10	4X6	45	5.00	5.00	8.75	26.25	26.23	2.09
5	4	2X4	45	3.00	3.00	8.75	26.25	26.01	1.87
5	4	3X5	45	3.00	3.00	8.75	26.25	26.01	1.87
5	4	4X6	45	3.00	3.00	8.75	26.25	26.01	1.87
5	6	2X4	45	4.00	4.00	8.75	26.25	26.15	1.96
5	6	3X5	45	4.00	4.00	8.75	26.25	26.15	1.96
5	6	4X6	45	4.00	4.00	8.75	26.25	26.15	1.96
5	8	2X4	55	5.00	5.00	11.25	33.75	29.12	2.20
5	8	3X5	55	5.00	5.00	11.25	33.75	29.12	2.20
5	8	4X6	55	5.00	5.00	11.25	33.75	29.12	2.20
5	10	2X4	60	6.50	6.50	12.50	37.50	36.70	2.40
5	10	3X5	60	6.50	6.50	12.50	37.50	36.70	2.40
5	10	4X6	60	6.50	6.50	12.50	37.50	36.70	2.40

**Tabla No. 3: Resultados obtenidos en modelos por computadora para zapatas.
(Continuación)**

NÚMERO DE NIVELES	DISTANCIA DE LUCES (M)	NÚMERO DE TRAMOS	DIMENSIÓN ZAPATAS			ACERO MÍNIMO (cm ² /m)	ACERO MÁXIMO (cm ² /m)	ACERO (cm ² /m)	Δ (cm)
			t(cm)	LARGO-X (m)	ANCHO-Y (m)				
7	4	2X4	50	3.00	3.00	10.00	30.00	28.61	2.38
7	4	3X5	50	3.00	3.00	10.00	30.00	28.61	2.38
7	4	4X6	50	3.00	3.00	10.00	30.00	28.61	2.38
7	6	2X4	50	4.50	4.50	10.00	30.00	28.96	2.08
7	6	3X5	50	4.50	4.50	10.00	30.00	28.96	2.08
7	6	4X6	50	4.50	4.50	10.00	30.00	28.96	2.08
7	8	2X4	65	5.50	5.50	13.75	41.25	32.70	2.37
7	8	3X5	65	5.50	5.50	13.75	41.25	32.70	2.37
7	8	4X6	65	5.50	5.50	13.75	41.25	32.70	2.37
7	10	2X4	75	7.50	7.50	16.25	48.75	44.68	2.42
7	10	3X5	75	7.50	7.50	16.25	48.75	44.68	2.42
7	10	4X6	75	7.50	7.50	16.25	48.75	44.68	2.42
9	4	2X4	50	3.50	3.50	10.00	30.00	26.45	2.24
9	4	3X5	50	3.50	3.50	10.00	30.00	26.45	2.24
9	4	4X6	50	3.50	3.50	10.00	30.00	26.45	2.24
9	6	2X4	50	5.00	5.00	10.00	30.00	28.56	2.47
9	6	3X5	50	5.00	5.00	10.00	30.00	28.56	2.47
9	6	4X6	50	5.00	5.00	10.00	30.00	28.56	2.47
9	8	2X4	70	6.50	6.50	15.00	45.00	40.46	2.43
9	8	3X5	70	6.50	6.50	15.00	45.00	40.46	2.43
9	8	4X6	70	6.50	6.50	15.00	45.00	40.46	2.43
9	10	2X4	90	8.50	8.50	20.00	60.00	56.35	2.47
9	10	3X5	90	8.50	8.50	20.00	60.00	56.35	2.47
9	10	4X6	90	8.50	8.50	20.00	60.00	56.35	2.47
11	4	2X4	60	3.50	3.50	12.50	37.50	35.77	2.42
11	4	3X5	60	3.50	3.50	12.50	37.50	35.77	2.42
11	4	4X6	60	3.50	3.50	12.50	37.50	35.77	2.42
11	6	2X4	70	5.50	5.50	15.00	45.00	36.65	2.52
11	6	3X5	70	5.50	5.50	15.00	45.00	36.65	2.52
11	6	4X6	70	5.50	5.50	15.00	45.00	36.65	2.52
11	8	2X4	80	7.50	7.50	17.50	52.50	46.45	2.57
11	8	3X5	80	7.50	7.50	17.50	52.50	46.45	2.57
11	8	4X6	80	7.50	7.50	17.50	52.50	46.45	2.57
11	10	2X4	100	9.50	9.50	22.50	67.50	64.35	2.56
11	10	3X5	100	9.50	9.50	22.50	67.50	64.35	2.56
11	10	4X6	100	9.50	9.50	22.50	67.50	64.35	2.56

Las dimensiones y espesores que se resaltan no son del todo confiables, pues son poco económicas. Pero se debe a que ésta cumple con la capacidad soporte promedio que se está considerando para los modelos, la cual es relativamente baja. En estos casos lo más económico es volver las zapatas aisladas a zapatas combinadas, o hacer una losa de cimentación debajo de toda el área del edificio.

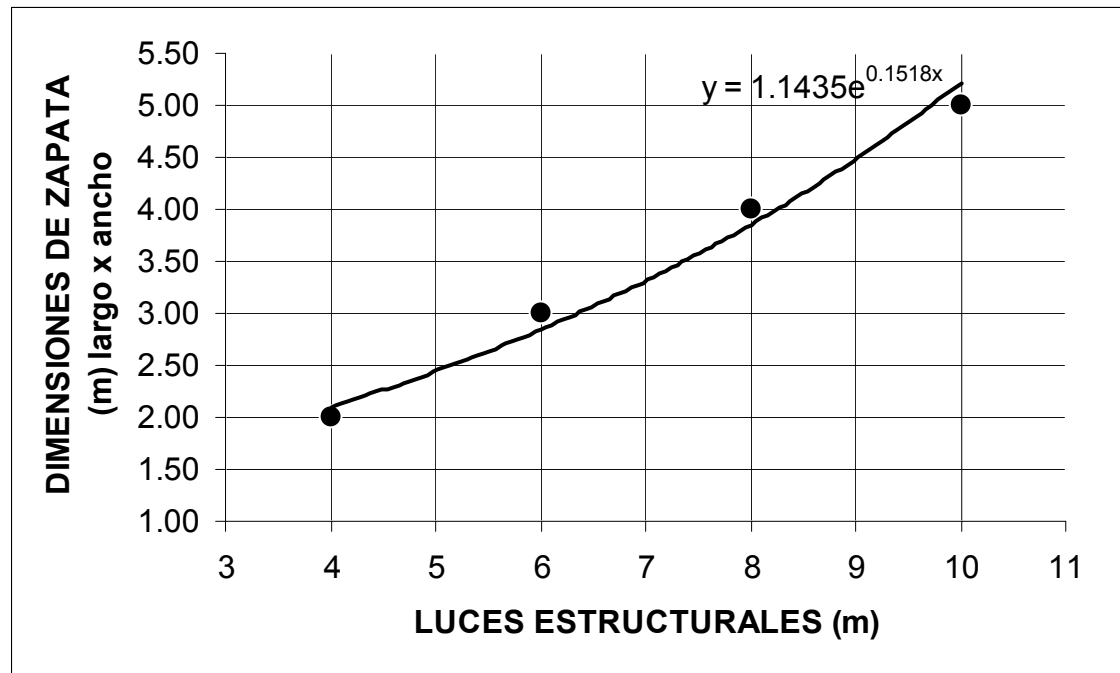
Al igual que en el caso de las columnas, se realizaron una serie de gráficas para representar de manera más clara los resultados obtenidos.

El eje X dentro de los gráficos, nuevamente, están representadas las distancias entre ejes estructurales (luces) de los edificios; mientras que en el eje Y se encuentran las dimensiones de las zapatas y su espesor.

Estas gráficas también se puede encontrar las dimensiones de zapatas, para edificios de concreto reforzado, con características intercaladas a partir de la curva representativa, por la interpolación o la utilización de la ecuación de la tendencia de la curva.

GRÁFICO No. 6

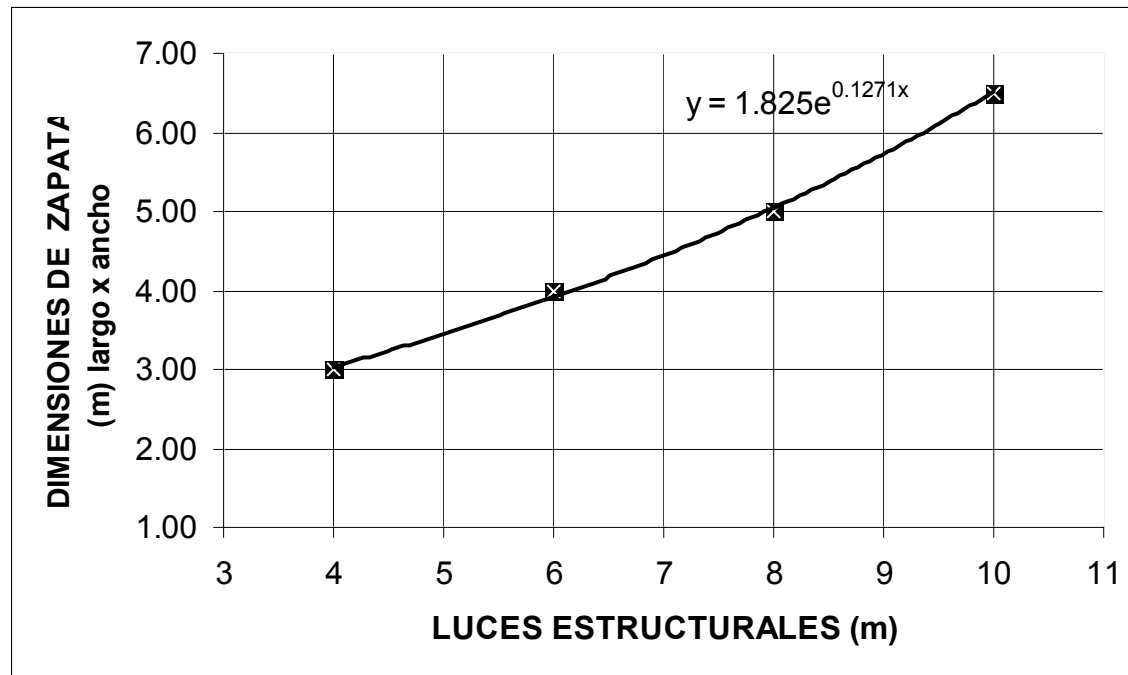
Gráfico de predimensionamiento de zapatas concéntricas para edificios de 3 niveles



CMS = 300 Kg/m²
CV = 250 Kg/m²
f'c = 245 Kg/cm²
fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 7

Gráfico de predimensionamiento de zapatas concéntricas para edificios de 5 niveles



CMS = 300 Kg/m²

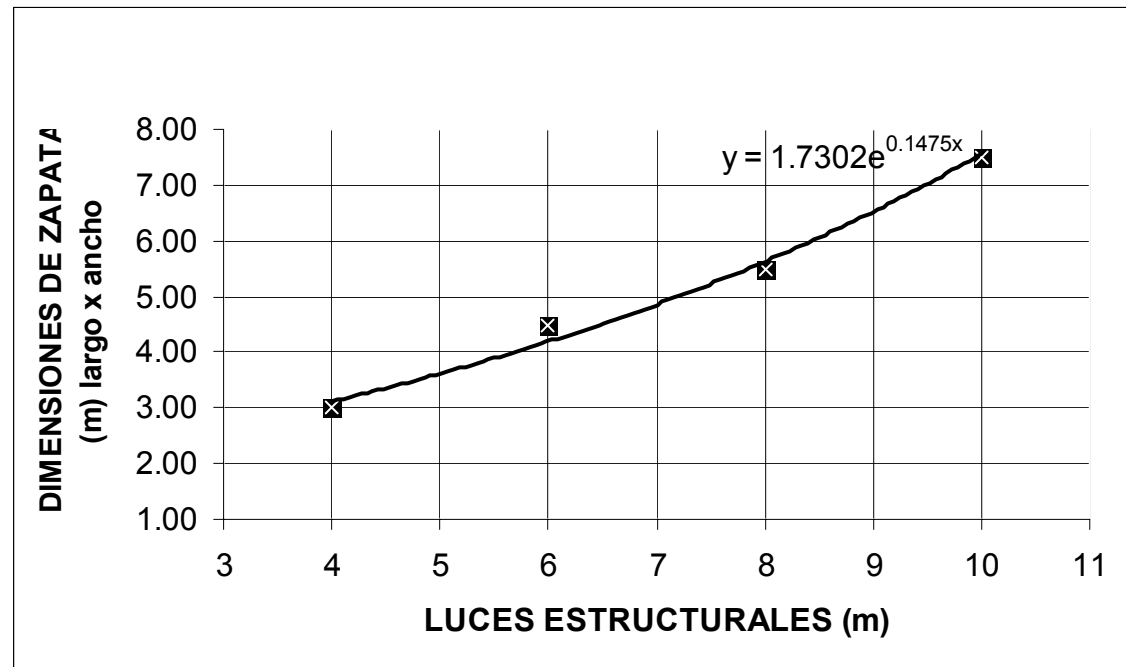
CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 8

Gráfico de predimensionamiento de zapatas concéntricas para edificios de 7 niveles



CMS = 300 Kg/m²

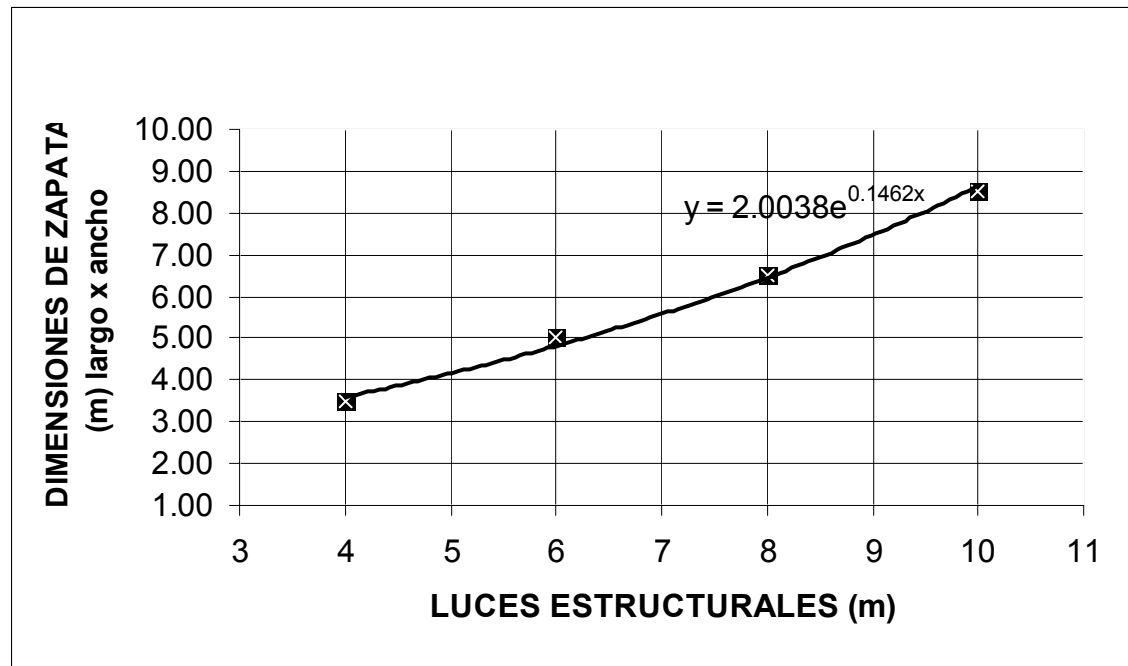
CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

f_y = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 9

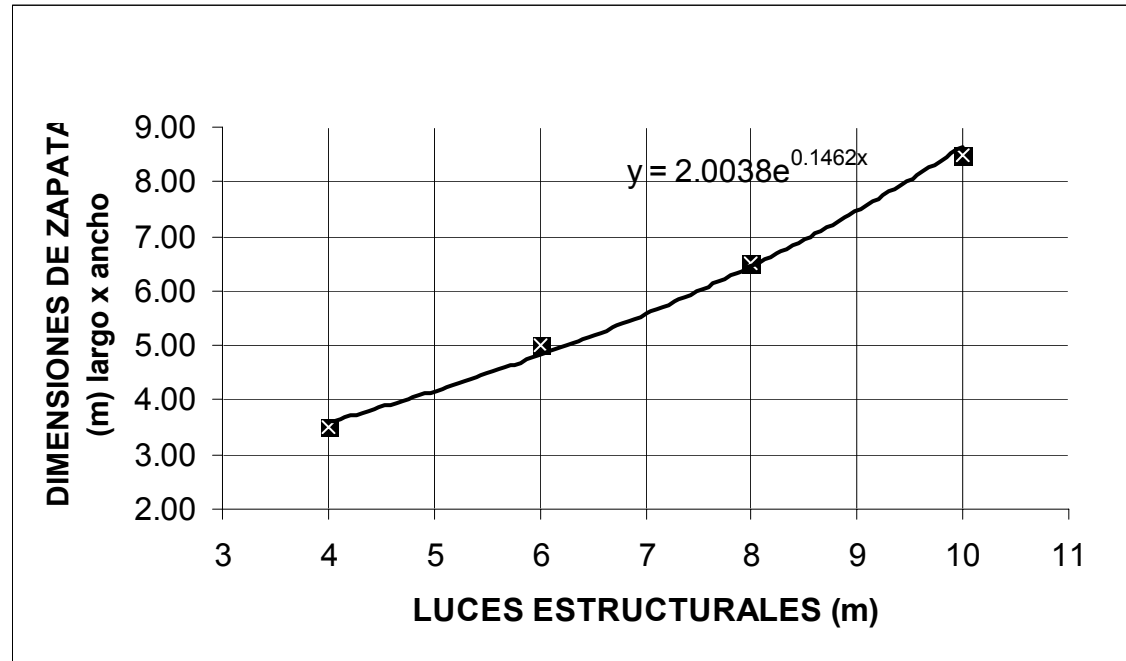
Gráfico de predimensionamiento de zapatas concéntricas para edificios de 9 niveles



CMS = 300 Kg/m²
CV = 250 Kg/m²
f'c = 245 Kg/cm²
fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 10

Gráfico de predimensionamiento de zapatas concéntricas para edificios de 11 niveles



CMS = 300 Kg/m²

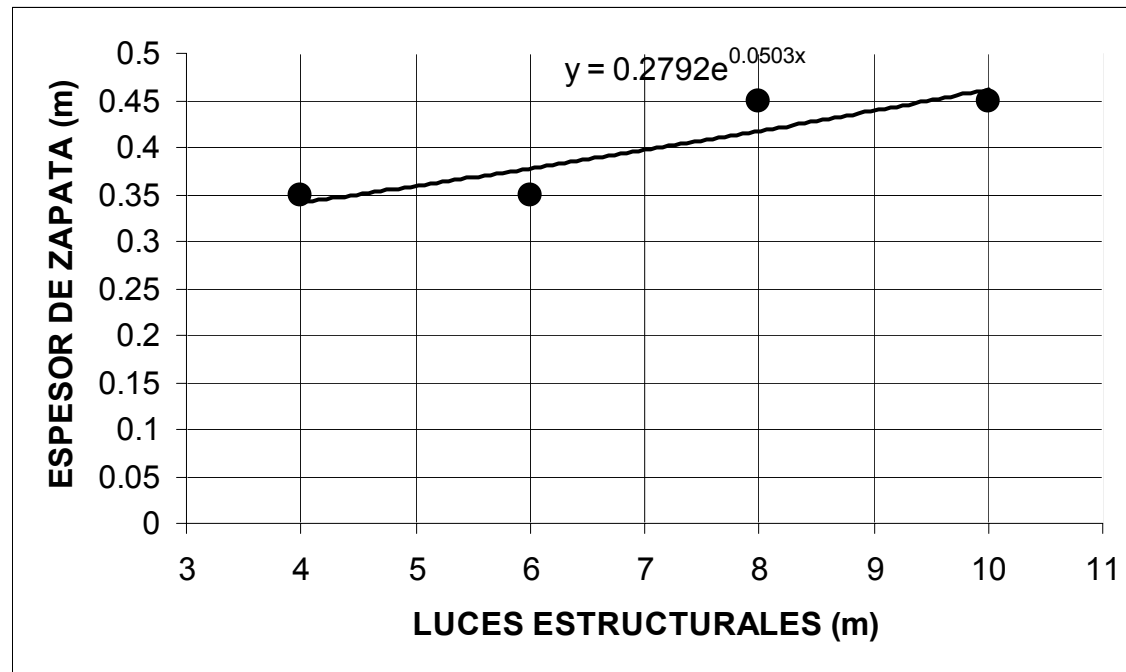
CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 11

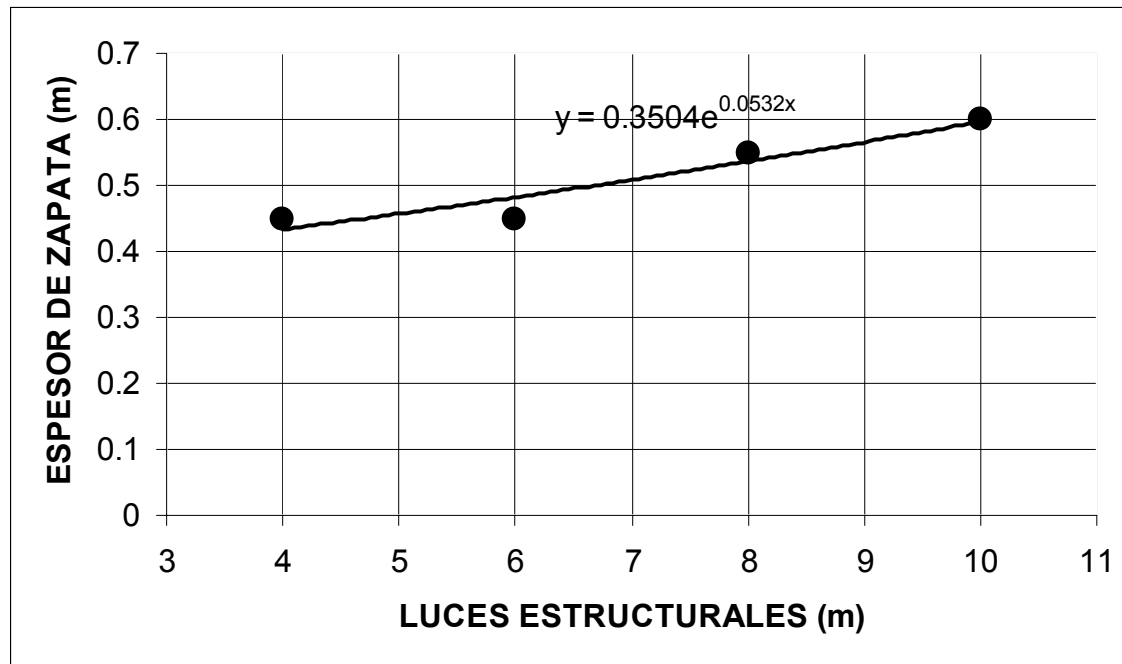
Gráfico de espesores de zapatas concéntricas para edificios de 3 niveles



CMS = 300 Kg/m²
CV = 250 Kg/m²
f'c = 245 Kg/cm²
fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 12

Gráfico de espesores de zapatas concéntricas para edificios de 5 niveles



CMS = 300 Kg/m²

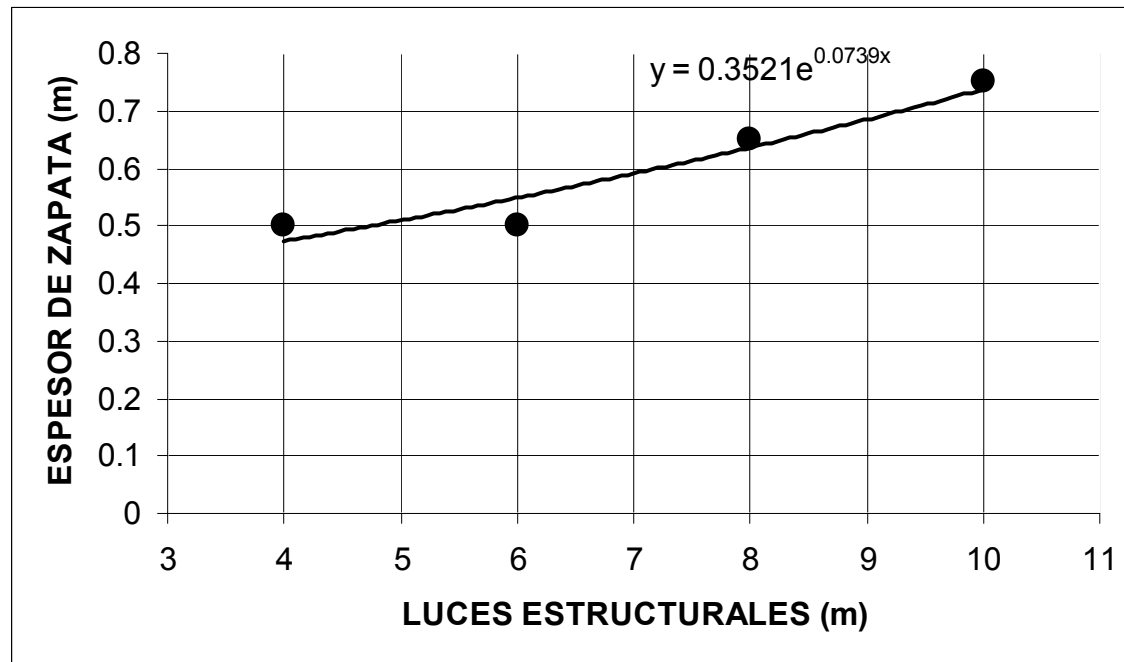
CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 13

Gráfico de espesores de zapatas concéntricas para edificios de 7 niveles



CMS = 300 Kg/m²

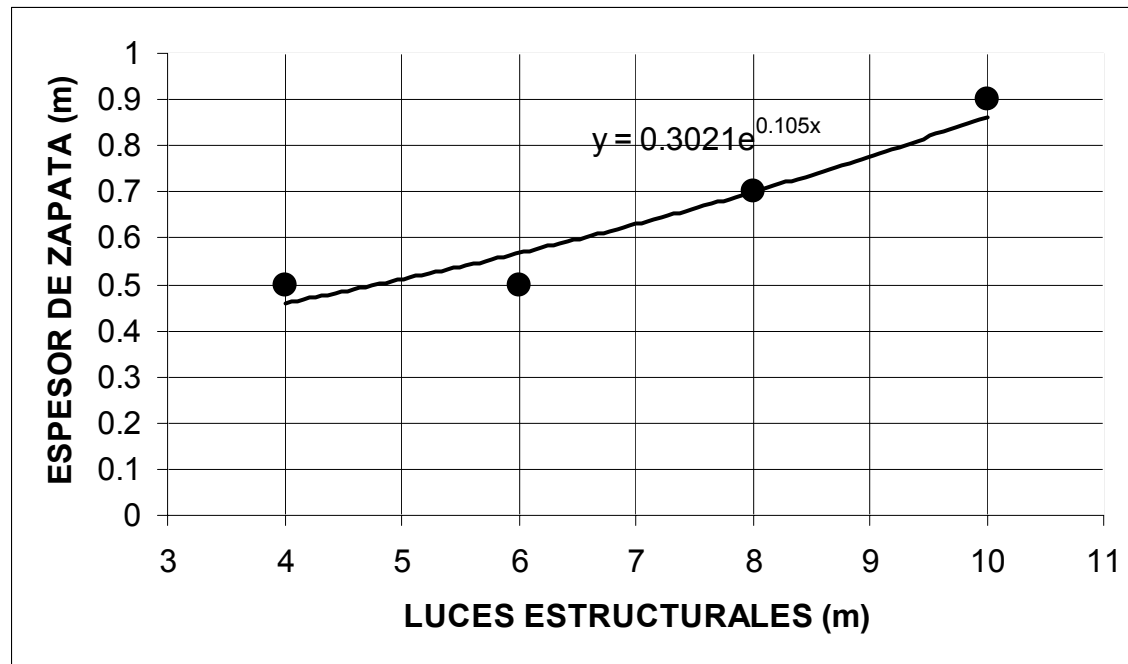
CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 14

Gráfico de espesores de zapatas concéntricas para edificios de 9 niveles



CMS = 300 Kg/m²

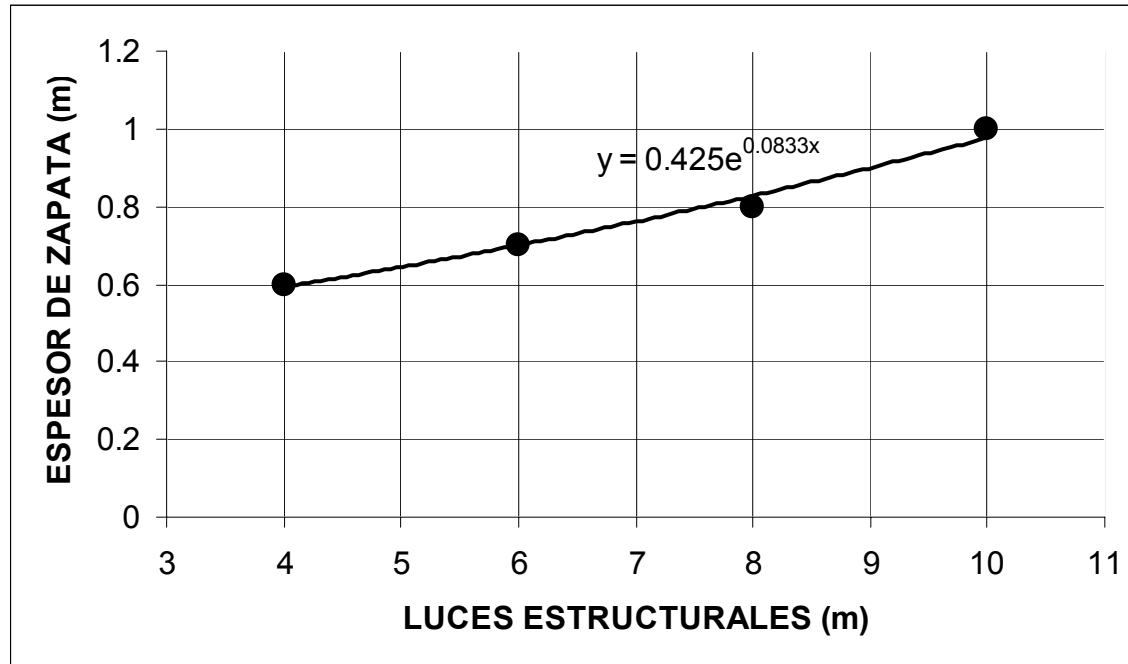
CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

GRÁFICO No. 15

Gráfico de espesores de zapatas concéntricas para edificios de 11 niveles



CMS = 300 Kg/m²

CV = 250 Kg/m²

f'c = 245 Kg/cm²

fy = 4200 Kg/cm²

B. COMPARACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS CON LOS RESULTADOS DADOS POR MODELOS POR COMPUTADORA:

1. Columnas: Para determinar las dimensiones de columnas en forma teórica, el Código ACI 318.02 dicta unas recomendaciones las cuales son:

- ◆ La dimensión de la sección transversal de una columna no debe ser menor de 30 cm. (ACI 318.02 21.4.1.1)
- ◆ Para columnas con secciones poligonales diferentes a una cuadrada o rectangular, se puede asumir una sección equivalente a la de una cuadrada con su misma sección. (ACI 318.02 10.8.3)

Por otra parte se harán comparaciones con las dimensiones de las columnas según la investigación realizada por el Ing. José Efraín Aguilera Díaz, titulada *Predimensionamiento de losas, vigas y columnas en edificios de concreto reforzado*. Hay que tener en cuenta que dentro de dicho trabajo no se predimensionaron columnas circulares, sólo cuadradas, pero sí se llegó a un factor para relacionar las secciones de ambos tipos de columnas por medio de sus inercias.

Esta relación de inercias se desarrolló de la siguiente manera:

Inercia columna cuadrada

$$I = \frac{b_c^4}{12}$$

donde b_c es la base de la columna.

Inercia columna circular

$$I = \frac{d_c^4}{64}$$

donde d_c es el diámetro de la columna.

Al igualar inercias y despejando el diámetro de la columna se obtiene:

$$\frac{b_c^4}{12} = \frac{d_c^4}{64}$$

$$d_c = 1.1415b_c$$

lo cual se aproxima a un factor de 1.15.

A continuación se presenta una tabla, en donde se comparan los resultados obtenidos del análisis de los modelos por computadora dentro de este trabajo de investigación, los resultados según el factor de relación de inercias del trabajo del Ing. Aguilera, esto derivándose de las secciones que se predimensionaron en dicha investigación para columnas cuadradas, y las dimensiones mínimas según el Código ACI 318.02 21.4.1.1 .

Tabla No.4: Comparación de secciones de columnas circulares entre modelos por computadora, relación de inercias y código ACI

NÚMERO DE NIVELES	DISTANCIA ENTRE EJES ESTRUCTURALES (m)	SECCIONES DE COLUMNAS (m)		
		MODELO POR COMPUTADORA	SEGÚN INVESTIGACIÓN POR INERCIAS (Aguilera, 2001)	CÓDIGO ACI
3	4	0.60	0.46	0.30
5	4	0.65	0.58	0.30
7	4	0.65	0.58	0.30
9	4	0.70	0.58	0.30
11	4	0.70	0.58	0.30
3	6	0.70	0.58	0.30
5	6	0.75	0.69	0.30
7	6	0.80	0.69	0.30
9	6	0.95	0.86	0.30
11	6	0.95	0.86	0.30
3	8	0.80	0.69	0.30
5	8	0.90	0.86	0.30
7	8	1.00	0.90	0.30
9	8	1.10	1.04	0.30
11	8	1.15	1.04	0.30
3	10	0.90	0.86	0.30
5	10	1.10	1.04	0.30
7	10	1.25	1.15	0.30
9	10	1.50	1.38	0.30
11	10	1.55	1.38	0.30

Se puede observar que las dimensiones de las columnas circulares resultantes de los modelos por computadora tienen una dimensión mayor que las columnas circulares según el factor de relación de inercias, por lo que la teoría a comprobar no es válida, ya que para que la columna cumpla con la deformación permisible, (que fue lo mas critico en el dimensionamiento de los modelos), las secciones de las columnas circulares deben tener más inercia que las columnas de sección cuadrada.

2. Zapatas: Para el dimensionamiento de zapatas, según la capacidad soporte utilizada se debe utilizar la relación:

$$q = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

M = Momento flexionante.

c = $\frac{1}{2}$ del espesor de la zapata.

P = Carga puntual.

I = Inercia de la sección.

q = Capacidad soporte del suelo.

En donde se utilizan las cargas que afectan a la estructura, el momento flexionante, la inercia de la sección y la capacidad soporte de suelo. Se deben tomar las cargas y los momentos mayores, para generalizar las dimensiones de toda la estructura.

La tabla que se presenta a continuación, nos da una comparación entre las dimensiones según la capacidad soporte utilizada (30 Ton/m²) de las zapatas de cada edificio, contra los resultados de los modelos generados por computadora, lo cuales son mayores ya que el sismo en la estructura tiene un volcamiento que hace que la zapata tenga una fuerza mayor que soportar.

Tabla No.5: Comparación de secciones de zapatas entre modelos por computadora vrs. Teóricos según capacidad soporte del suelo.

NÚMERO DE NIVELES	DISTANCIA ENTRE EJES ESTRUCTURALES (m)	DIMENSIONES DE ZAPATAS POR MODELO			FUERZA APLICADA (Ton)	MOMENTO (Ton-m)	DIMENSIONES DE ZAPATAS SEGÚN CAPACIDAD SOPORTE UTILIZADA			
		ESPESOR (cm)	LARGO (m)	ANCHO (m)			ESPESOR (cm)	LARGO (m)	ANCHO (m)	q (Ton /m2)
3	4	35	2.00	2.00	67.73	20.62	35	2.10	2.10	28.7132
5	4	45	3.00	3.00	127.20	46.97	45	2.80	2.80	29.0625
7	4	50	3.00	3.00	185.68	47.11	50	3.10	3.10	28.8089
9	4	50	3.50	3.50	244.75	58.27	50	3.45	3.45	29.077
11	4	60	3.50	3.50	315.93	107.20	60	4.00	4.00	29.7955
3	6	35	3.00	3.00	160.21	65.77	35	3.10	3.10	29.9175
5	6	45	4.00	4.00	289.79	88.57	45	3.80	3.80	29.7533
7	6	50	4.50	4.50	416.78	99.64	50	4.40	4.40	28.546
9	6	50	5.00	5.00	591.69	201.72	50	5.25	5.25	29.8314
11	6	70	5.50	5.50	746.71	203.21	70	5.70	5.70	29.5662
3	8	45	4.00	4.00	286.29	124.85	45	4.00	4.00	29.5977
5	8	55	5.00	5.00	489.17	218.17	55	5.10	5.10	28.6751
7	8	65	5.50	5.50	728.43	233.67	65	5.70	5.70	29.9907
9	8	70	6.50	6.50	974.71	283.60	70	6.50	6.50	29.2661
11	8	80	7.50	7.50	1216.67	373.91	80	7.20	7.20	29.4804
3	10	45	5.00	5.00	466.58	217.01	45	5.00	5.00	29.0797
5	10	60	6.50	6.50	806.08	227.06	60	6.00	6.00	28.6983
7	10	75	7.50	7.50	1209.39	397.03	75	7.25	7.25	29.2597
9	10	90	8.50	8.50	1597.98	562.29	90	8.25	8.25	29.4864
11	10	100	9.50	9.50	2096.96	710.07	100	9.30	9.30	29.5418

Para la determinación teórica se realizó una aproximación para encontrar las dimensiones mínimas según la capacidad soporte utilizada. Las dimensiones establecidas se obtuvieron cuando dicha dimensión mantenía una capacidad soporte aproximada a la utilizada dentro de este trabajo de investigación.

V. DISCUSIÓN

A. CONCLUSIONES

- ◆ La variable que influye de manera más grande en el predimensionamiento de columnas circulares en edificios de concreto reforzado es la distancia entre ejes estructurales (luces), ya que a medida en que esta va aumentando, aumentan las cargas y los momentos que las columnas deben soportar, debido a que su área tributaria es mayor.
- ◆ Los factores dados por el trabajo de investigación titulado *Predimensionamiento de losas, vigas y columnas en edificios de concreto reforzado*, realizado por el Ing. José Efraín Aguilera Díaz, para el dimensionamiento de columnas cuadradas, relacionados con columnas circulares, por medio de la inercia, dan dimensiones muy pequeñas para las secciones de las columnas circulares dentro de los edificios de concreto reforzado por lo que esta teoría no es válida debido a los márgenes de deformación que se deben mantener.
- ◆ El rango de factores de multiplicación para relacionar la sección de las columnas cuadradas con las columnas circulares es entre 1.2 a 1.5, esto es un intervalo ya que en algunos casos las dimensiones tienden a aumentar más debido a su deformación.
- ◆ En el predimensionamiento de columnas circulares la deformación es la más crítica por lo que los porcentajes de acero requeridos no llegaron totalmente al promedio que se decidió utilizar, sino que se mantuvieron en un rango entre el acero mínimo requerido y el promedio tomado como referencia.

- ◆ El predimensionamiento de zapatas se basa en el tamaño de la sección de la columna que esta sostiene, pero no depende de la forma de está, ya que si se tiene una columna con una geometría que no posea cuatro caras rectas sobre ella, se debe asumir una columna de sección cuadrada con las mismas dimensiones de la columna analizada, en este caso una columna circular.
- ◆ Las dimensiones de las zapatas deben cumplir, principalmente, con las deformaciones permisibles, pues este elemento es el principal para la estabilidad de la edificación; ya que transmiten toda la carga que afecta a la estructura, incluyendo el su peso propio, a los estratos de suelo sobre los que se construye.
- ◆ La capacidad soporte del suelo es básica para el dimensionamiento de las zapatas ya que ésta le da sus dimensiones mínimas, se tomo un promedio según el suelo de la ciudad de Guatemala para tener una idea más exacta y para tener un margen de error menor.
- ◆ Las secciones de zapatas para edificios de 11 niveles o más son antieconómicas, por lo que en la realidad éstas se reemplazarían por zapatas combinadas o losas de cimentación. Estas secciones son tan grandes debido a la capacidad soporte utilizada, la cual varía dependiendo del lugar donde se realice la construcción, por lo que las dimensiones de estas zapatas pueden disminuir.
- ◆ No es recomendable asignar a estructuras las dimensiones que el código requiere, ya que no se encuentran incluido el factor sísmico, por lo que en los modelos generados por computadora, las secciones son más grandes, pero además cumplen con los requisitos de deformación.

B. RECOMENDACIONES

- ◆ Es recomendable que al utilizar cualquiera de los gráficos para el predimensionamiento de columnas circulares y zapatas dados dentro de este trabajo de investigación, se analice si se han tomado todas las variables utilizadas para que la sección determinada sea lo más cercana posible a la que se necesitará para el edificio de concreto reforzado que se desee diseñar.
- ◆ Es recomendable que se haga un estudio de suelos del lugar donde se va a construir la edificación, previo al diseño, ya que si las condiciones del suelo no son buenas se deben colocar otros tipos de cimentación para que el edificio sea estable.
- ◆ Se recomienda que para el correcto diseño estructural de un edificio de concreto reforzado, se utilice el trabajo de investigación titulado *Predimensionamiento de losas, vigas y columnas en edificios de concreto reforzado*, realizado por el Ing. José Efraín Aguilera Díaz, previo a éste para tener las dimensiones mínimas de losas, vigas y columnas cuadradas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ◆ AGIES. 2000. *Normas Estructurales de Diseño y Construcción recomendadas para la republica de Guatemala*. Guatemala.
- ◆ Aguilera, José. 2001. *Predimensionamiento de losas, vigas y columnas en edificios de concreto reforzado*. Tesis Universidad Rafael Landivar. Guatemala, Guatemala. 75 págs.
- ◆ Bowles, Joseph. 1997. *Foundation análisis and design*. 5^a ed. Singapore, Mc Graw Hill. 1175 págs.
- ◆ McCormac, Jack C. 2002. *Diseño de Concreto Reforzado*. 4^a ed. México, Alfaomega. 784 págs.
- ◆ Nilson A. y G. Winter. 2004. *Diseño de Estructuras de Concreto*. 12^a ed. Colombia, Mc Graw Hill. 722 págs.

A. BIBLIOGRAFÍA

AGIES. 2000. *Normas Estructurales de Diseño y Construcción recomendadas para la republica de Guatemala*. Guatemala.

American Concrete Institute. 2002. *Bulding Code Requeriments for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318R-02)*.

Bowles, Joseph. 1997. *Foundation análisis and design*. 5^a ed. Singapore, Mc Graw Hill. 1175 págs.

IBC. 2000. *International Building Code*. Estados Unidos, Internacional Code Council, Inc.

McCormac, Jack C. 2002. *Diseño de Concreto Reforzado*. 4^a ed. México, Alfaomega. 784 págs.

Nilson A. y G. Winter. 2004. *Diseño de Estructuras de Concreto*. 12^a ed. Colombia, Mc Graw Hill. 722 págs.

VII. ANEXOS

ANEXO 1: Tabla factor de Importancia de ocupación.

**TABLE 1604.5
CLASSIFICATION OF BUILDINGS AND OTHER STRUCTURES FOR IMPORTANCE FACTORS**

CATEGORY ^a	NATURE OF OCCUPANCY	SEISMIC FACTOR I_E	SNOW FACTOR I_S	WIND FACTOR I_W
I	Buildings and other structures except those listed in Categories II, III and IV Buildings and other structures that represent a substantial hazard to human life in the event of failure including, but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Buildings and other structures where more than 300 people congregate in one area • Buildings and other structures with elementary school, secondary school or day-care facilities with capacity greater than 250 • Buildings and other structures with a capacity greater than 500 for colleges or adult education facilities 	1.00	1.0	1.00
II	<ul style="list-style-type: none"> • Health care facilities with a capacity of 50 or more resident patients but not having surgery or emergency treatment facilities • Jails and detention facilities • Any other occupancy with an occupant load greater than 5,000 • Power-generating stations, water treatment for potable water, wastewater treatment facilities and other public utility facilities not included in Category III • Buildings and other structures not included in Category III containing sufficient quantities of toxic or explosive substances to be dangerous to the public if released 	1.25	1.1	1.15
III	Buildings and other structures designated as essential facilities including, but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Hospitals and other health care facilities having surgery or emergency treatment facilities • Fire, rescue and police stations and emergency vehicle garages • Designated earthquake, hurricane or other emergency shelters • Designated emergency preparedness, communication, and operation centers and other facilities required for emergency response • Power-generating stations and other public utility facilities required as emergency back-up facilities for Category III structures • Structures containing highly toxic materials as defined by Section 307 where the quantity of the material exceeds the maximum allowable quantity of Table 307.7(2) • Aviation control towers, air traffic control centers and emergency aircraft hangars • Buildings and other structures having critical national defense functions • Water treatment facilities required to maintain water pressure for fire suppression 	1.50	1.2	1.15
IV	Buildings and other structures that represent a low hazard to human life in the event of failure including, but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Agricultural facilities • Certain temporary facilities • Minor storage facilities 	1.00	0.8	0.87 ^b

ANEXO 2: Tabla de modificador de respuesta.

TABLE 12.2-1 DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR SEISMIC FORCE-RESISTING SYSTEMS

Seismic Force-Resisting System	ASCE 7 Section where Detailing Requirements are Specified	Response Modification Coefficient, R^a	System Overstrength Factor, Ω_o^b	Deflection Amplification Factor, C_d^b	Structural System Limitations and Building Height (ft) Limit ^c				
					Seismic Design Category				
					B	C	D ^d	E ^d	F ^e
A. BEARING WALL SYSTEMS									
1. Special reinforced concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.6	5	2 ^{1/2}	5	NL	NL	160	160	100
2. Ordinary reinforced concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.4	4	2 ^{1/2}	4	NL	NL	NP	NP	NP
3. Detailed plain concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.2	2	2 ^{1/2}	2	NL	NP	NP	NP	NP
4. Ordinary plain concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.1	1 ^{1/2}	2 ^{1/2}	1 ^{1/2}	NL	NP	NP	NP	NP
5. Intermediate precast shear walls	14.2 and 14.2.3.5	4	2 ^{1/2}	4	NL	NL	40 ^k	40 ^k	40 ^k
6. Ordinary precast shear walls	14.2 and 14.2.3.3	3	2 ^{1/2}	3	NL	NP	NP	NP	NP
7. Special reinforced masonry shear walls	14.4 and 14.4.3	5	2 ^{1/2}	3 ^{1/2}	NL	NL	160	160	100
8. Intermediate reinforced masonry shear walls	14.4 and 14.4.3	3 ^{1/2}	2 ^{1/2}	2 ^{1/4}	NL	NL	NP	NP	NP
9. Ordinary reinforced masonry shear walls	14.4	2	2 ^{1/2}	1 ^{3/4}	NL	160	NP	NP	NP
10. Detailed plain masonry shear walls	14.4	2	2 ^{1/2}	1 ^{3/4}	NL	NP	NP	NP	NP
11. Ordinary plain masonry shear walls	14.4	1 ^{1/2}	2 ^{1/2}	1 ^{1/4}	NL	NP	NP	NP	NP
12. Prestressed masonry shear walls	14.4	1 ^{1/2}	2 ^{1/2}	1 ^{3/4}	NL	NP	NP	NP	NP
13. Light-framed walls sheathed with wood structural panels rated for shear resistance or steel sheets	14.1, 14.1.4.2, and 14.5	6 ^{1/2}	3	4	NL	NL	65	65	65
14. Light-framed walls with shear panels of all other materials	14.1, 14.1.4.2, and 14.5	2	2 ^{1/2}	2	NL	NL	35	NP	NP
15. Light-framed wall systems using flat strap bracing	14.1, 14.1.4.2, and 14.5	4	2	3 ^{1/2}	NL	NL	65	65	65
B. BUILDING FRAME SYSTEMS									
1. Steel eccentrically braced frames, moment-resisting connections at columns away from links	14.1	8	2	4	NL	NL	160	160	100
2. Steel eccentrically braced frames, non-moment-resisting, connections at columns away from links	14.1	7	2	4	NL	NL	160	160	100
3. Special steel concentrically braced frames	14.1	6	2	5	NL	NL	160	160	100
4. Ordinary steel concentrically braced frames	14.1	3 ^{1/4}	2	3 ^{1/4}	NL	NL	35 ^j	35 ^j	NP ^j
5. Special reinforced concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.6	6	2 ^{1/2}	5	NL	NL	160	160	100
6. Ordinary reinforced concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.4	5	2 ^{1/2}	4 ^{1/2}	NL	NL	NP	NP	NP
7. Detailed plain concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.2	2	2 ^{1/2}	2	NL	NP	NP	NP	NP
8. Ordinary plain concrete shear walls	14.2 and 14.2.3.1	1 ^{1/2}	2 ^{1/2}	1 ^{1/2}	NL	NP	NP	NP	NP
9. Intermediate precast shear walls	14.2 and 14.2.3.5	5	2 ^{1/2}	4 ^{1/2}	NL	NL	40 ^k	40 ^k	40 ^k
10. Ordinary precast shear walls	14.2 and 14.2.3.3	4	2 ^{1/2}	4	NL	NP	NP	NP	NP
11. Composite steel and concrete eccentrically braced frames	14.3	8	2	4	NL	NL	160	160	100
12. Composite steel and concrete concentrically braced frames	14.3	5	2	4 ^{1/2}	NL	NL	160	160	100
13. Ordinary composite steel and concrete braced frames	14.3	3	2	3	NL	NL	NP	NP	NP
14. Composite steel plate shear walls	14.3	6 ^{1/2}	2 ^{1/2}	5 ^{1/2}	NL	NL	160	160	100
15. Special composite reinforced concrete shear walls with steel elements	14.3	6	2 ^{1/2}	5	NL	NL	160	160	100
16. Ordinary composite reinforced concrete shear walls with steel elements	14.3	5	2 ^{1/2}	4 ^{1/2}	NL	NL	NP	NP	NP
17. Special reinforced masonry shear walls	14.4	5 ^{1/2}	2 ^{1/2}	4	NL	NL	160	160	100
18. Intermediate reinforced masonry shear walls	14.4	4	2 ^{1/2}	4	NL	NL	NP	NP	NP
19. Ordinary reinforced masonry shear walls	14.4	2	2 ^{1/2}	2	NL	160	NP	NP	NP
20. Detailed plain masonry shear walls	14.4	2	2 ^{1/2}	2	NL	NP	NP	NP	NP
21. Ordinary plain masonry shear walls	14.4	1 ^{1/2}	2 ^{1/2}	1 ^{1/4}	NL	NP	NP	NP	NP

TABLE 12.2-1 DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR SEISMIC FORCE-RESISTING SYSTEMS (continued)

Seismic Force-Resisting System	ASCE 7 Section where Detailing Requirements are Specified	Response Modification Coefficient, R^a	System Overstrength Factor, Ω_0^b	Deflection Amplification Factor, C_d^b	Structural System Limitations and Building Height (ft) Limit ^c				
					Seismic Design Category				
					B	C	D ^d	E ^d	F ^e
22. Prestressed masonry shear walls	14.4	1½	2½	1¾	NL	NP	NP	NP	NP
23. Light-framed walls sheathed with wood structural panels rated for shear resistance or steel sheets	14.1, 14.1.4.2, and 14.5	7	2½	4½	NL	NL	65	65	65
24. Light-framed walls with shear panels of all other materials	14.1, 14.1.4.2, and 14.5	2½	2½	2½	NL	NL	35	NP	NP
25. Buckling-restrained braced frames, non moment-resisting beam-column connections	14.1	7	2	5½	NL	NL	160	160	100
26. Buckling-restrained braced frames, moment-resisting beam-column connections	14.1	8	2½	5	NL	NL	160	160	100
27. Special steel plate shear wall	14.1	7	2	6	NL	NL	160	160	100
C. MOMENT-RESISTING FRAME SYSTEMS									
1. Special steel moment frames	14.1 and 12.2.5.5	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
2. Special steel truss moment frames	14.1	7	3	5½	NL	NL	160	100	NP
3. Intermediate steel moment frames	12.2.5.6, 12.2.5.7, 12.2.5.8, 12.2.5.9, and 14.1	4.5	3	4	NL	NL	35 ^{h,j}	NP ^k	NP ^k
4. Ordinary steel moment frames	12.2.5.6, 12.2.5.7, 12.2.5.8, and 14.1	3.5	3	3	NL	NL	NP ^h	NP ^h	NP ^l
5. Special reinforced concrete moment frames	12.2.5.5 and 14.2	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
6. Intermediate reinforced concrete moment frames	14.2	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
7. Ordinary reinforced concrete moment frames	14.2	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
8. Special composite steel and concrete moment frames	12.2.5.5 and 14.3	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
9. Intermediate composite moment frames	14.3	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
10. Composite partially restrained moment frames	14.3	6	3	5½	160	160	100	NP	NP
11. Ordinary composite moment frames	14.3	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
D. DUAL SYSTEMS WITH SPECIAL MOMENT FRAMES CAPABLE OF RESISTING AT LEAST 25% OF PRESCRIBED SEISMIC FORCES									
1. Steel eccentrically braced frames	14.1	8	2½	4	NL	NL	NL	NL	NL
2. Special steel concentrically braced frames	14.1	7	2½	5½	NL	NL	NL	NL	NL
3. Special reinforced concrete shear walls	14.2	7	2½	5½	NL	NL	NL	NL	NL
4. Ordinary reinforced concrete shear walls	14.2	6	2½	5	NL	NL	NP	NP	NP
5. Composite steel and concrete eccentrically braced frames	14.3	8	2½	4	NL	NL	NL	NL	NL
6. Composite steel and concrete concentrically braced frames	14.3	6	2½	5	NL	NL	NL	NL	NL
7. Composite steel plate shear walls	14.3	7½	2½	6	NL	NL	NL	NL	NL
8. Special composite reinforced concrete shear walls with steel elements	14.3	7	2½	6	NL	NL	NL	NL	NL
9. Ordinary composite reinforced concrete shear walls with steel elements	14.3	6	2½	5	NL	NL	NP	NP	NP
10. Special reinforced masonry shear walls	14.4	5½	3	5	NL	NL	NL	NL	NL
11. Intermediate reinforced masonry shear walls	14.4	4	3	3½	NL	NL	NP	NP	NP
12. Buckling-restrained braced frame	14.1	8	2½	5	NL	NL	NL	NL	NL
13. Special steel plate shear walls	14.1	8	2½	6½	NL	NL	NL	NL	NL

TABLE 12.2-1 DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR SEISMIC FORCE-RESISTING SYSTEMS (continued)

Seismic Force-Resisting System	ASCE 7 Section where Detailing Requirements are Specified	Response Modification Coefficient, R^a	System Overstrength Factor, Ω_0^d	Deflection Amplification Factor, C_d^b	Structural System Limitations and Building Height (ft) Limit ^c				
					Seismic Design Category				
					B	C	D ^d	E ^d	F ^e
E. DUAL SYSTEMS WITH INTERMEDIATE MOMENT FRAMES CAPABLE OF RESISTING AT LEAST 25% OF PRESCRIBED SEISMIC FORCES	12.2.5.1								
1. Special steel concentrically braced frames ^f	14.1	6	2½	5	NL	NL	35	NP	NP ^{h,k}
2. Special reinforced concrete shear walls	14.2	6½	2½	5	NL	NL	160	100	100
3. Ordinary reinforced masonry shear walls	14.4	3	3	2½	NL	160	NP	NP	NP
4. Intermediate reinforced masonry shear walls	14.4	3½	3	3	NL	NL	NP	NP	NP
5. Composite steel and concrete concentrically braced frames	14.3	5½	2½	4½	NL	NL	160	100	NP
6. Ordinary composite braced frames	14.3	3½	2½	3	NL	NL	NP	NP	NP
7. Ordinary composite reinforced concrete shear walls with steel elements	14.3	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
8. Ordinary reinforced concrete shear walls	14.2	5½	2½	4½	NL	NL	NP	NP	NP
F. SHEAR WALL-FRAME INTERACTIVE SYSTEM WITH ORDINARY REINFORCED CONCRETE MOMENT FRAMES AND ORDINARY REINFORCED CONCRETE SHEAR WALLS	12.2.5.10 and 14.2	4½	2½	4	NL	NP	NP	NP	NP
G. CANTILEVERED COLUMN SYSTEMS DETAILED TO CONFORM TO THE REQUIREMENTS FOR:	12.2.5.2								
1. Special steel moment frames	12.2.5.5 and 14.1	2½	1¼	2½	35	35	35	35	35
2. Intermediate steel moment frames	14.1	1½	1¼	1½	35	35	35 ^h	NP ^{h,i}	NP ^{h,i}
3. Ordinary steel moment frames	14.1	1¼	1¼	1¼	35	35	NP	NP ^{h,i}	NP ^{h,i}
4. Special reinforced concrete moment frames	12.2.5.5 and 14.2	2½	1¼	2½	35	35	35	35	35
5. Intermediate concrete moment frames	14.2	1½	1¼	1½	35	35	NP	NP	NP
6. Ordinary concrete moment frames	14.2	1	1¼	1	35	NP	NP	NP	NP
7. Timber frames	14.5	1½	1½	1½	35	35	35	NP	NP
H. STEEL SYSTEMS NOT SPECIFICALLY DETAILED FOR SEISMIC RESISTANCE, EXCLUDING CANTILEVER COLUMN SYSTEMS	14.1	3	3	3	NL	NL	NP	NP	NP

^aResponse modification coefficient, R , for use throughout the standard. Note R reduces forces to a strength level, not an allowable stress level.

^bReflection amplification factor, C_d , for use in Sections 12.8.6, 12.8.7, and 12.9.2

^cNL = Not Limited and NP = Not Permitted. For metric units use 30.5 m for 100 ft and use 48.8 m for 160 ft. Heights are measured from the base of the structure as defined in Section 11.2.

^dSee Section 12.2.5.4 for a description of building systems limited to buildings with a height of 240 ft (73.2 m) or less.

^eSee Section 12.2.5.4 for building systems limited to buildings with a height of 160 ft (48.8 m) or less.

^fOrdinary moment frame is permitted to be used in lieu of intermediate moment frame for Seismic Design Categories B or C.

^gThe tabulated value of the overstrength factor, Ω_0 , is permitted to be reduced by subtracting one-half for structures with flexible diaphragms, but shall not be taken as less than 2.0 for any structure.

^hSee Sections 12.2.5.6 and 12.2.5.7 for limitations for steel OMFs and IMFs in structures assigned to Seismic Design Category D or E.

ⁱSee Sections 12.2.5.8 and 12.2.5.9 for limitations for steel OMFs and IMFs in structures assigned to Seismic Design Category F.

^jSteel ordinary concentrically braced frames are permitted in single-story buildings up to a height of 60 ft (18.3 m) where the dead load of the roof does not exceed 20 psf (0.96 kN/m²) and in penthouse structures.

^kIncrease in height to 45 ft (13.7 m) is permitted for single story storage warehouse facilities.

ANEXO 3: Tabla de coeficientes del sitio según la aceleración espectral.

TABLE 1615.1.2(1)
VALUES OF SITE COEFFICIENT F_s AS A FUNCTION OF SITE CLASS
AND MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIODS (S_s)^a

SITE CLASS	MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIODS				
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	Note b	Note b	Note b	Note b	Note b

- a. Use straight-line interpolation for intermediate values of mapped spectral response acceleration at short period, S_s .
b. Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed to determine appropriate values, except that for structures with periods of vibration equal to or less than 0.5 second, values of F_s for liquefiable soils are permitted to be taken equal to the values for the site class determined without regard to liquefaction in Section 1615.1.5.1.

TABLE 1615.1.2(2)
VALUES OF SITE COEFFICIENT F_v AS A FUNCTION OF SITE CLASS
AND MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT 1-SECOND PERIOD (S_1)^a

SITE CLASS	MAPPED SPECTRAL RESPONSE ACCELERATION AT SHORT PERIODS				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	Note b	Note b	Note b	Note b	Note b

- a. Use straight-line interpolation for intermediate values of mapped spectral response acceleration at 1-second period, S_1 .
b. Site-specific geotechnical investigation and dynamic site response analyses shall be performed to determine appropriate values, except that for structures with periods of vibration equal to or less than 0.5 second, values of F_v for liquefiable soils are permitted to be taken equal to the values for the site class determined without regard to liquefaction in Section 1615.1.5.1.

ANEXO 4 : Tabla de clase de suelo del sitio.

TABLE 1615.1.1
SITE CLASS DEFINITIONS

SITE CLASS	SOIL PROFILE NAME	AVERAGE PROPERTIES IN TOP 100 feet, AS PER SECTION 1615.1.5		
		Soil shear wave velocity, \bar{v}_s , (ft/s)	Standard penetration resistance, \bar{N}	Soil undrained shear strength, \bar{s}_u , (psf)
A	Hard rock	$\bar{v}_s > 5,000$	N/A	N/A
B	Rock	$2,500 < \bar{v}_s \leq 5,000$	N/A	N/A
C	Very dense soil and soft rock	$1,200 < \bar{v}_s \leq 2,500$	$\bar{N} > 50$	$\bar{s}_u \geq 2,000$
D	Stiff soil profile	$600 \leq \bar{v}_s \leq 1,200$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$1,000 \leq \bar{s}_u \leq 2,000$
E	Soft soil profile	$\bar{v}_s < 600$	$\bar{N} < 15$	$\bar{s}_u < 1,000$
E	—	Any profile with more than 10 feet of soil having the following characteristics: 1. Plasticity index $PI > 20$, 2. Moisture content $w \geq 40\%$, and 3. Undrained shear strength $\bar{s}_u < 500$ psf		
F	—	Any profile containing soils having one or more of the following characteristics: 1. Soils vulnerable to potential failure or collapse under seismic loading such as liquefiable soils, quick and highly sensitive clays, collapsible weakly cemented soils. 2. Peats and/or highly organic clays ($H > 10$ feet of peat and/or highly organic clay where H = thickness of soil) 3. Very high plasticity clays ($H > 25$ feet with plasticity index $PI > 75$) 4. Very thick soft/medium stiff clays ($H > 120$ feet)		

For SI: 1 foot = 304.8 mm, 1 square foot = 0.0929 m², 1 pound per square foot = 0.0479 kPa. N/A = Not applicable

ANEXO 4: Tablas categoría de diseño sísmico.

TABLE 1616.3(1)
SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON
SHORT-PERIOD RESPONSE ACCELERATIONS

VALUE OF S_{DS}	SEISMIC USE GROUP		
	I	II	III
$S_{DS} < 0.167g$	A	A	A
$0.167g \leq S_{DS} < 0.33g$	B	B	C
$0.33g \leq S_{DS} < 0.50g$	C	C	D
$0.50g \leq S_{DS}$	D ^a	D ^a	D ^a

TABLE 1616.3(2)
SEISMIC DESIGN CATEGORY BASED ON
1-SECOND PERIOD RESPONSE ACCELERATION

VALUE OF S_{DI}	SEISMIC USE GROUP		
	I	II	III
$S_{DI} < 0.067g$	A	A	A
$0.067g \leq S_{DI} < 0.133g$	B	B	C
$0.133g \leq S_{DI} < 0.20g$	C	C	D
$0.20g \leq S_{DI}$	D ^a	D ^a	D ^a