



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**COSTOS INICIALES DE EDIFICIOS DE C/R EN LA  
ZONA IIIb CONSIDERANDO DISTINTAS  
COMBINACIONES DE FACTORES DE CARGA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERA CIVIL**

**P R E S E N T A :**

**ITZEN VELÁZQUEZ REYES**



**DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. SONIA ELDA RUIZ GÓMEZ**

**MÉXICO D.F., SEPTIEMBRE DE 2015**





UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Señorita  
ITZEN VELÁZQUEZ REYES  
Presente

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/062/15

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora DRA. SONIA ELDA RUIZ GÓMEZ, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"COSTOS INICIALES DE EDIFICIOS DE C/R EN LA ZONA IIIb CONSIDERANDO DISTINTAS COMBINACIONES DE FACTORES DE CARGA"**

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ZONIFICACIÓN DEL VALLE DE MÉXICO
- III. ESTRUCTURAS DE C/R EXISTENTES EN LA ZONA IIIb
- III. DISEÑO DE LOS EDIFICIOS USANDO DIFERENTES COMBINACIONES DE FACTORES DE CARGA
- IV. COSTOS INICIALES DE LOS EDIFICIOS CORRESPONDIENTES A LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE FACTORES DE CARGA
- V. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- ANEXO A. DIMENSIONES DE VIGAS Y COLUMNAS DE LOS EDIFICIOS DE 4, 6, 8, 10, 12 Y 20 NIVELES
- ANEXO B. CUANTÍAS DE ACERO EN VIGAS Y COLUMNAS DE LOS EDIFICIOS DE 4, 6, 8, 10, 12 Y 20 NIVELES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 22 de junio del 2015.  
EL PRESIDENTE

  
M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH\*gar.



## AGRADECIMIENTOS

A mis padres por ser las personas que me enseñaron el significado del esfuerzo y la dedicación, por su apoyo incondicional y todas las palabras de aliento que siempre me motivaron a continuar. Porque siempre he admirado su perseverancia.

A Ivonne por todo el apoyo que tiernamente me ha brindado y por las innumerables noches que me acompañó en mi desvelo.

A Julio César por cada uno de los maravillosos días que compartimos, porque admiro la determinación y pasión que siempre muestra. Porque me mostró lo infinito que puede llegar a ser el conocimiento.  $\pi$

A mis amigas, Abril y Mónica por permanecer sosteniendo mi mano durante los soleados días y las impetuosas tormentas. Porque jamás he dudado de su amistad.

A mis profesores, a los que siempre he admirado por su calidad de pensamiento.

A la UNAM por ser la puerta a un universo más infinito del que jamás pudiera llegar a imaginarse.

A la Dra. Sonia Ruiz por siempre enseñarme a superar las dificultades, por el tiempo y dedicación que permitieron concluir el presente.

Se agradece a la Dirección General del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM por su apoyo a través del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) al proyecto “Optimización multi-objetivo en diseño estructural, incluyendo estructuras con disipación de energía” con clave IN102114.



El mundo se acercaba a él velozmente, desde muy lejos, con una magnitud en la que hasta entonces no había reparado. La percepción de ese mundo desconocido fue para él como un trueno distante, que retumbaba en la lejanía y se disolvía en la nada.



## CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>13</b>
1.1. HIPÓTESIS .....	13
1.2. OBJETIVOS .....	14
1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	14
<b>CAPÍTULO 2. ZONIFICACIÓN DEL VALLE DE MÉXICO</b> .....	<b>15</b>
2.1. ZONIFICACIÓN DEL DISTRITO FEDERAL PARA FINES DE DISEÑO SÍSMICO .....	15
2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS SÍSMICAS SEGÚN EL RCDF-04 .....	21
2.3. DIVISIÓN DE LA ZONA III .....	25
<b>CAPÍTULO 3. ESTRUCTURAS DE C/R EXISTENTES EN LA ZONA IIIb</b> .....	<b>29</b>
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA IIIb .....	29
3.2. ACONTECIMIENTOS SÍSMICOS RELEVANTES EN LA ZONA EN ESTUDIO .....	33
3.3. LEVANTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES.....	34
<b>CAPÍTULO 4. DISEÑO DE EDIFICIOS USANDO DIFERENTES COMBINACIONES DE FACTORES DE CARGA</b> .....	<b>41</b>
4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL Y GEOMETRÍA DE LOS EDIFICIOS .....	41
4.2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL.....	41
4.3. HIPÓTESIS Y MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS .....	42
4.4. ESPECTRO DE DISEÑO SÍSMICO .....	43
4.5. MODELACIÓN NUMÉRICA DE LOS EDIFICIOS .....	45
4.6. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LOS ELEMENTOS .....	47
4.7. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ELEMENTOS .....	48
4.8. CARGAS ACTUANTES .....	49
4.9. COMBINACIÓN DE CARGAS.....	50
4.10. DISEÑO DE LOS EDIFICIOS.....	51
<b>CAPÍTULO 5. COSTOS INICIALES DE LOS EDIFICIOS CORRESPONDIENTES A LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE FACTORES DE CARGA</b> .....	<b>59</b>
5.1. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE UNA ESTRUCTURA DE C/R.....	59
5.2. COSTO DIRECTO, INDIRECTO Y UTILIDAD .....	60
5.3. COSTO INICIAL DEL ACERO Y EL CONCRETO .....	60
5.4. COSTO UNITARIO DE LOS MATERIALES.....	62
5.5. COSTO INICIAL DEL ACERO.....	63
5.6. COSTO INICIAL DEL CONCRETO .....	65
5.7. COSTOS INICIALES TOTALES DE LOS EDIFICIOS DE C/R .....	68
5.8. COMPARACIÓN DE LOS COSTOS INICIALES TOTALES DE LAS ESTRUCTURAS CON DIFERENTES FACTORES DE CARGA .....	70
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>75</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>77</b>
<b>ANEXO A. DIMENSIONES DE VIGAS Y COLUMNAS DE LOS EDIFICIOS DE 4, 8, 10, 12 Y 20 NIVELES</b> .....	<b>79</b>

<b>ANEXO B. CUANTÍAS DE ACERO EN VIGAS Y COLUMNAS DE LOS EDIFICIOS DE 4, 8, 10, 12 Y 20 NIVELES.....</b>	<b>85</b>
--	-----------

## RESUMEN

Se determinan y comparan los costos iniciales de edificios de concreto reforzado con 4, 6, 8, 10, 12, 15 y 20 niveles con 3 y, alternativamente 4 crujiás. Para el diseño de los edificios se consideran 10 diferentes combinaciones de factores de carga. Las edificaciones son para uso de oficinas y se localizan en la zona IIIb del valle de México.

La zonificación del valle de México para diseño sísmico, ubica a la zona IIIb en terreno blando, donde los efectos locales y las características particulares del subsuelo agravan los efectos durante los eventos sísmicos. Para actualizar la información sobre las estructuras ubicadas en esta zona se realizó un levantamiento, considerando las estructuras pertenecientes al Grupo B y clasificándolas de acuerdo a su número de niveles.

La estimación del costo inicial se integra por el costo directo, el indirecto y la utilidad. Los costos iniciales se normalizan con respecto al costo inicial de la estructura diseñada con los factores de carga que se especifican en el RCDF-04 ( $1.1CM+1.1CV+1.1CS$ ).

El costo inicial depende del volumen de material (que es función del número de niveles y de crujiás), y de la combinación de factores de carga. Dicho costo está constituido mayoritariamente por el costo del acero, que es alrededor del 82%, mientras que el costo del concreto es del 18%.

Se concluye que el factor correspondiente a las cargas sísmicas es el que más influye en la variación de los costos iniciales, pues el costo inicial total disminuye ó se incrementa con respecto al diseño que considera el factor de carga que indica el RCDF-04 ( $FCS=1.1$ ). Se obtiene la combinación óptima de factores de manera que el costo inicial sea el mínimo.



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

Una parte considerable de México está ocupada por dos regiones sísmicas, la primera región se localiza al extremo norte del Golfo de California y la segunda es la zona de subducción de la costa de Pacífico. En esta región se han producido los sismos más fuertes que afectan a la Ciudad de México.

Esta condición se ve agravada debido a que el subsuelo del Distrito Federal presenta características particulares que han sido objeto de innumerables estudios, por lo que los diferentes reglamentos para construcciones han modificado la zonificación del valle de México con el fin de obtener diseños estructurales que ante la presencia de una acción sísmica, el comportamiento real de la estructura sea muy similar al que teóricamente se previó.

Las modificaciones en la zonificación del valle de México para diseño sísmico han sido impulsadas por eventos sísmicos de gran magnitud ocurridos en 1957 y 1985, durante los cuáles se puso de manifiesto la necesidad de promulgar nuevos reglamentos para la construcción que incluyeran las experiencias adquiridas de estos catastróficos eventos y nuevo conocimiento que permitiera evitar situaciones similares en un futuro.

En 1985 tuvo lugar el evento sísmico más catastrófico de la historia en la Ciudad de México, la mayor parte de los daños se presentaron en el centro de la ciudad, en donde el subsuelo está formado por una serie de arcillas extremadamente deformables con un periodo natural cercano a los 2 segundos. Ésta zona se encuentra ubicada en lo que actualmente el RCDF-04 considera como zona IIIb.

La sismicidad que se presenta en el valle de México es de las más activas a nivel mundial, por lo que el reglamento para construcciones siempre ha buscado salvaguardar la integridad tanto de las estructuras como de sus ocupantes, modificando la zonificación de valle de México para fines de diseño sísmico. Por lo que resulta importante conocer las características de la zonificación y enfocar la revisión de los factores que influyen en el diseño de las estructuras dentro de la zona IIIb, área en la que se han presentado las mayores afectaciones durante eventos sísmicos de gran magnitud. Además en la zona IIIb es necesario actualizar la información de las estructuras existentes, realizando una clasificación que resulte más práctica de analizar.

El diseño de una estructura dependerá de las especificaciones de diseño, si se utilizan diferentes combinaciones de carga a los especificados en el RCDF-04, el diseño mostrará variaciones. Ésta variación será reflejada en el volumen de los materiales, del cuál depende el costo inicial total de una edificación. Por lo que es deseable realizar una comparación de los costos iniciales totales del diseño de un conjunto de edificaciones en zona IIIb con diferentes factores de carga.

### 1.1. HIPÓTESIS

El costo inicial total de un edificio de concreto reforzado, mostrará variaciones en función del número de niveles de la estructura, el número de crujías y de la utilización de diversos factores de carga para su diseño.

## **1.2. OBJETIVOS**

El objetivo general de esta tesis es obtener los costos iniciales totales para estructuras con uso de oficinas en zona IIIb. Los edificios tendrán 4, 6, 8, 10, 12, 15 y 20 niveles; cada uno diseñado para 10 combinaciones diferentes de factores de carga, para 3 crujiás y, alternativamente para 4.

Los objetivos particulares son:

- Revisar la evolución de la zonificación del valle de México para fines de diseño sísmico, así como realizar un enfoque en la zona III.
- Describir la zona IIIb y realizar un levantamiento de las estructuras existentes actualmente.
- Obtener el diseño de edificios, el cuál dependerá del número de niveles, crujiás (3 ó 4) y la combinación de factores de carga utilizada.
- Determinar el costo inicial de los edificios y cuál combinación de factores de carga da lugar al menor costo total inicial.

## **1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES**

- El levantamiento de las estructuras existentes en zona IIIb se delimita a la Ciudad de México y a estructuras del Grupo B de acuerdo con el RCDF-04.
- Las aplicaciones de este estudio se limitan a estructuras de concreto reforzado de 4, 6, 8, 10, 12, 15 y 20 niveles con 3 y 4 crujiás; para uso de oficinas en zona IIIb.
- Los costos iniciales totales de los edificios incluyen a los costos directos, costos indirectos y utilidades.

## CAPÍTULO 2

### ZONIFICACIÓN DEL VALLE DE MÉXICO

La República Mexicana está situada en una de las regiones sísmicas más activas del mundo, ubicada dentro del área conocida como Cinturón Circumpacífico. La alta sismicidad en el país es debida principalmente a la interacción entre las placas de Norteamérica, Cocos, Pacífico, Rivera y la del Caribe. Al interactuar la Placa Norteamericana con la del Caribe, Rivera y Cocos se generan movimientos telúricos.

Aunque muchas de las zonas epicentrales se localizan en diversos puntos del Pacífico, la Ciudad de México se ha convertido en el receptor sísmico de todos ellos debido a los efectos locales y a que se encuentra relativamente cerca para experimentar sus efectos y daños, al presentarse sismos de magnitud significativa. La reglamentación referente a las construcciones realizadas dentro del Distrito Federal tiene como principal propósito salvaguardar las vidas humanas y las construcciones que éstas requieren para su desarrollo. Por ello, esta reglamentación ha sido sometida a cambios ligados a la ocurrencia de temblores intensos, pues estos eventos han dado pie a una serie de estudios y actividades que conducen a modificaciones en las disposiciones legales para reducir el nivel de riesgo.

Uno de los aspectos que se ha visto modificado dentro de la reglamentación es la zonificación del Distrito Federal para fines de diseño sísmico, debido a que el subsuelo de esta zona presenta características particulares que han sido objetos de muchos estudios. En este capítulo se expondrá el desarrollo de la zonificación del valle de México para fines de diseño sísmico, que dará pie para hacer una revisión de la zonificación vigente en el RCDF-04, principalmente se revisará la división de la zona III como antecedentes al diseño de edificios ubicados dentro la zona IIIb.

#### **2.1. ZONIFICACIÓN DEL DISTRITO FEDERAL PARA FINES DE DISEÑO SÍSMICO**

En 1925 el Ing. Roberto Gayol descubrió accidentalmente el hundimiento de la ciudad de México, suceso que causó gran polémica y abrió el camino a diversas investigaciones que permitieron tener una idea más clara de los fenómenos que ocurren en el subsuelo del valle de México y como éstos afectan a las estructuras de la zona.

A mediados del siglo XX, el Dr. Nabor Carrillo Flores explicó el fenómeno que causaba el hundimiento de la ciudad y emprendió el primer estudio científico del subsuelo para entender la problemática del mismo y tratar de dar soluciones, dirigiendo la Comisión y Coordinación de la Investigación Científica (CICIC) creada en 1942.

Durante aproximadamente cinco años consecutivos, comprendidos entre 1947 y 1952, se efectuaron gran número de sondeos y se realizó la extracción de más de 10000 especímenes del subsuelo. Además, se instalaron las primeras estaciones piezométricas con el fin conocer las alteraciones en las presiones hidrostáticas y su relación con el hundimiento regional. Durante este periodo de estudios e investigaciones se comenzó a tener una idea más acertada de la distribución de los materiales y sus respectivas propiedades mecánicas. Con base en los estudios realizados, Raúl J. Marsal y Marcos Mazari presentaron en 1959 “El subsuelo de la Ciudad de México”. En esta publicación se propuso la división del área comprendida por la Ciudad de México en tres zonas geotécnicas: zonas de Lomas, zona de Transición y zona del Lago. En la figura 2.1 es posible apreciar esta zonificación de la Ciudad de México.

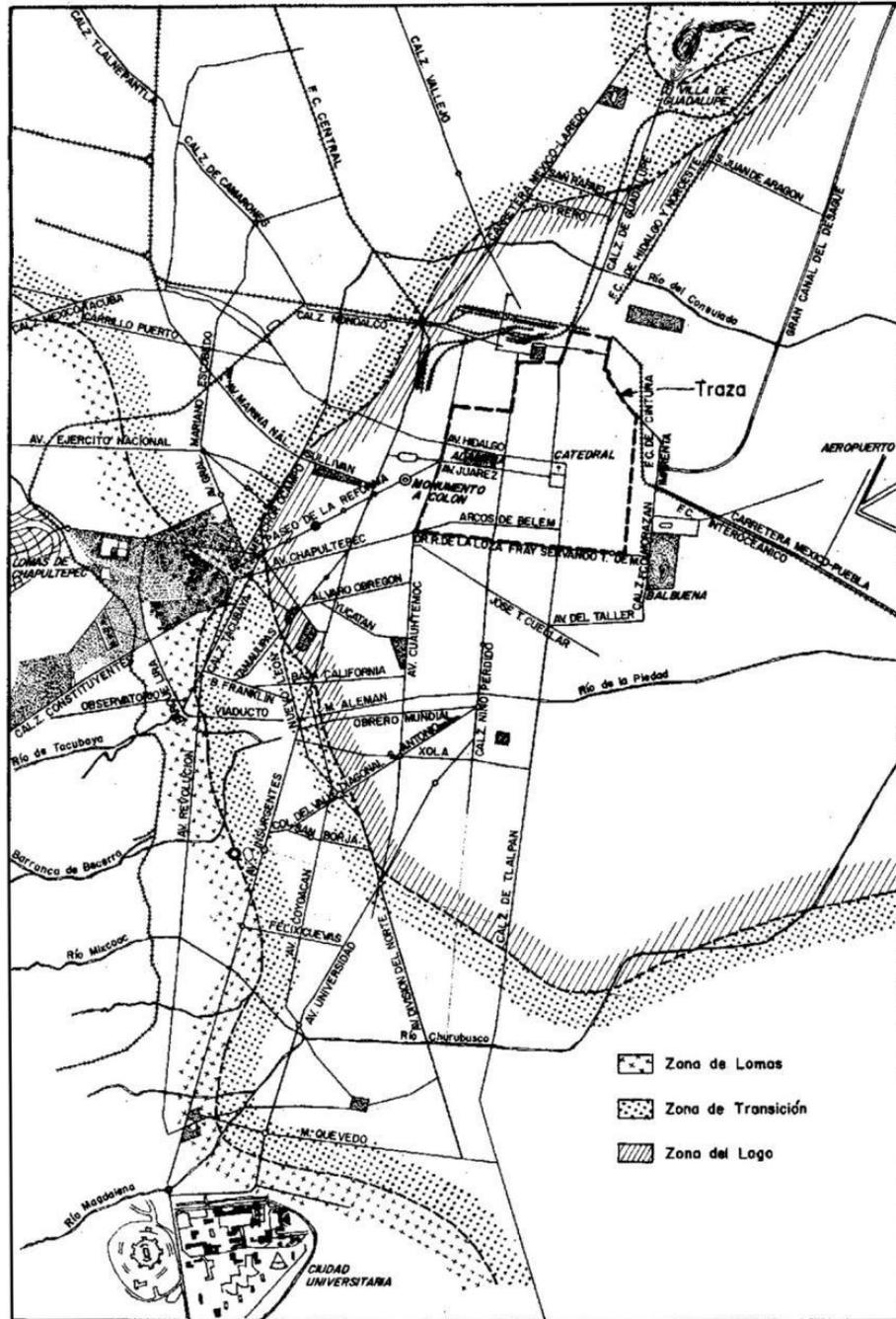
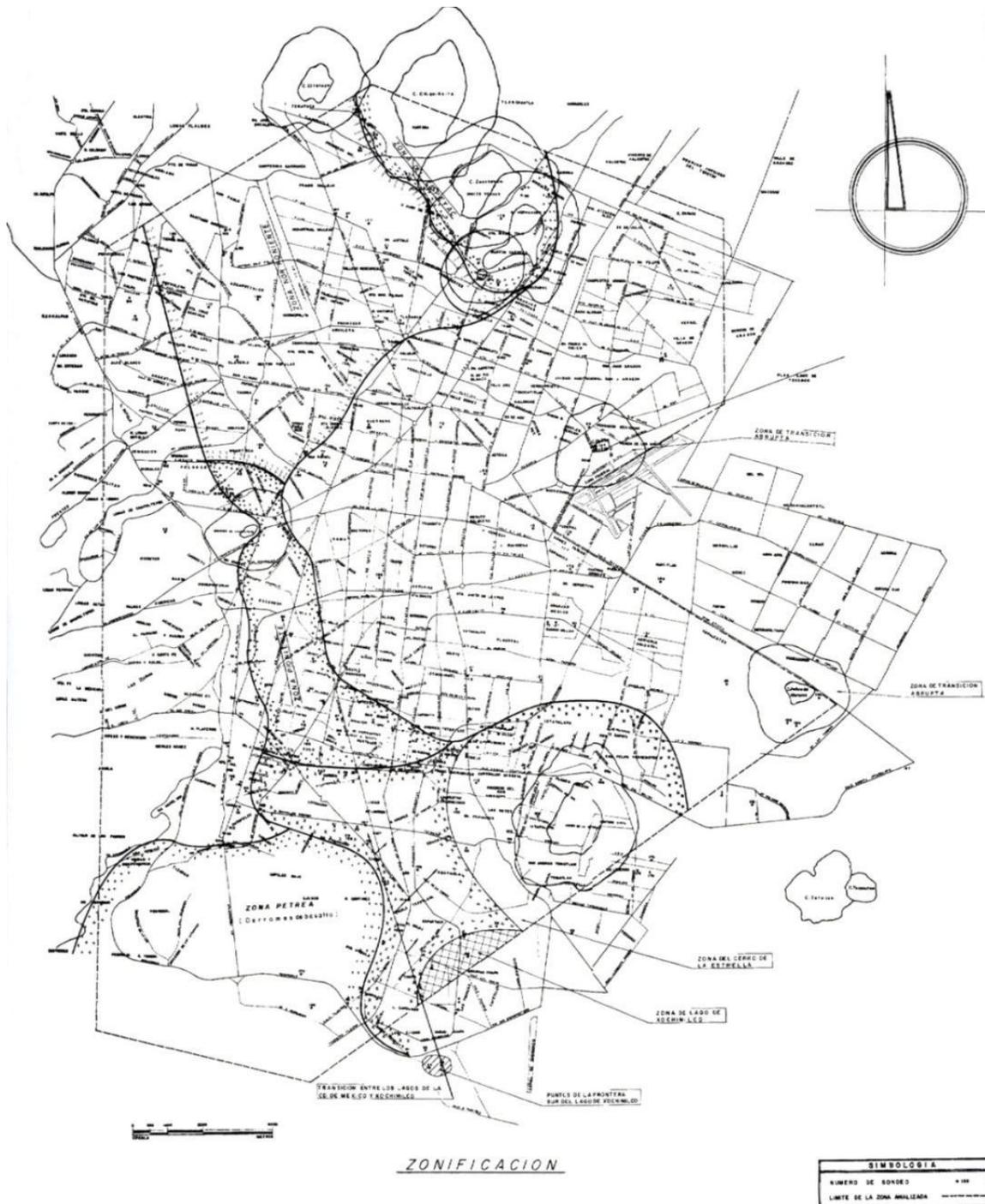


Figura 2.1 Zonificación de la Ciudad de México (Marsal y Mazari, 1959)

Para la actualización del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en 1966, se propuso una zonificación que difiere de la anterior. La zonificación apareció en el “Plano de Zonas de Compresibilidad de la Ciudad de México”. En ella se divide al subsuelo en zonas de baja y alta compresibilidad, como se muestra en la figura 2.2.





**Figura 2.3 Zonificación geotécnica (Marsal, 1978)**

En septiembre de 1985 se registraron sismos de alta intensidad los días 19 y 20. Estos sismos exigieron la revisión del diseño y construcción de estructuras comúnmente aceptados en la Ciudad de México, y en función de los daños sufridos a un gran número de estructuras, sobretodo las que se ubican en la zonas alta sismicidad, hubo un cambio radical en la normatividad relacionada con el diseño por sismo y en la zonificación para el diseño del mismo. Como una medida ante el peligro sísmico, el Departamento del Distrito Federal emitió las Normas de Emergencia que perduraron hasta la expedición del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 1987.

Un año más tarde la Comisión de Vialidad y Transporte Urbano (COVITUR) publicó el “Manual de Diseño Geotécnico”, en el cual se realizaba una zonificación geotécnica del área urbana basada en las propiedades de compresibilidad y resistencia de los depósitos característicos: lacustres, aluviales y volcánicos, como se muestra en la figura 2.4.

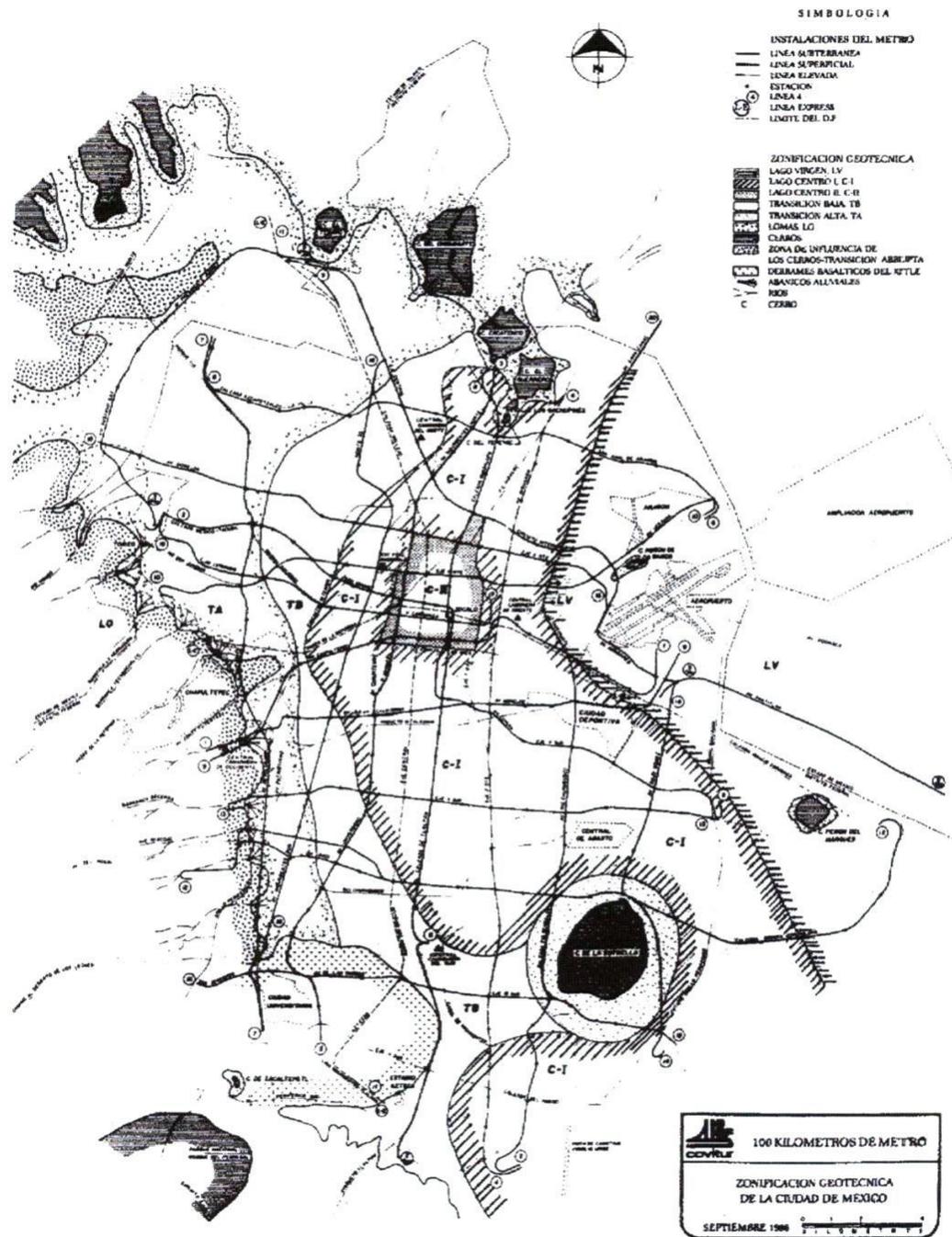
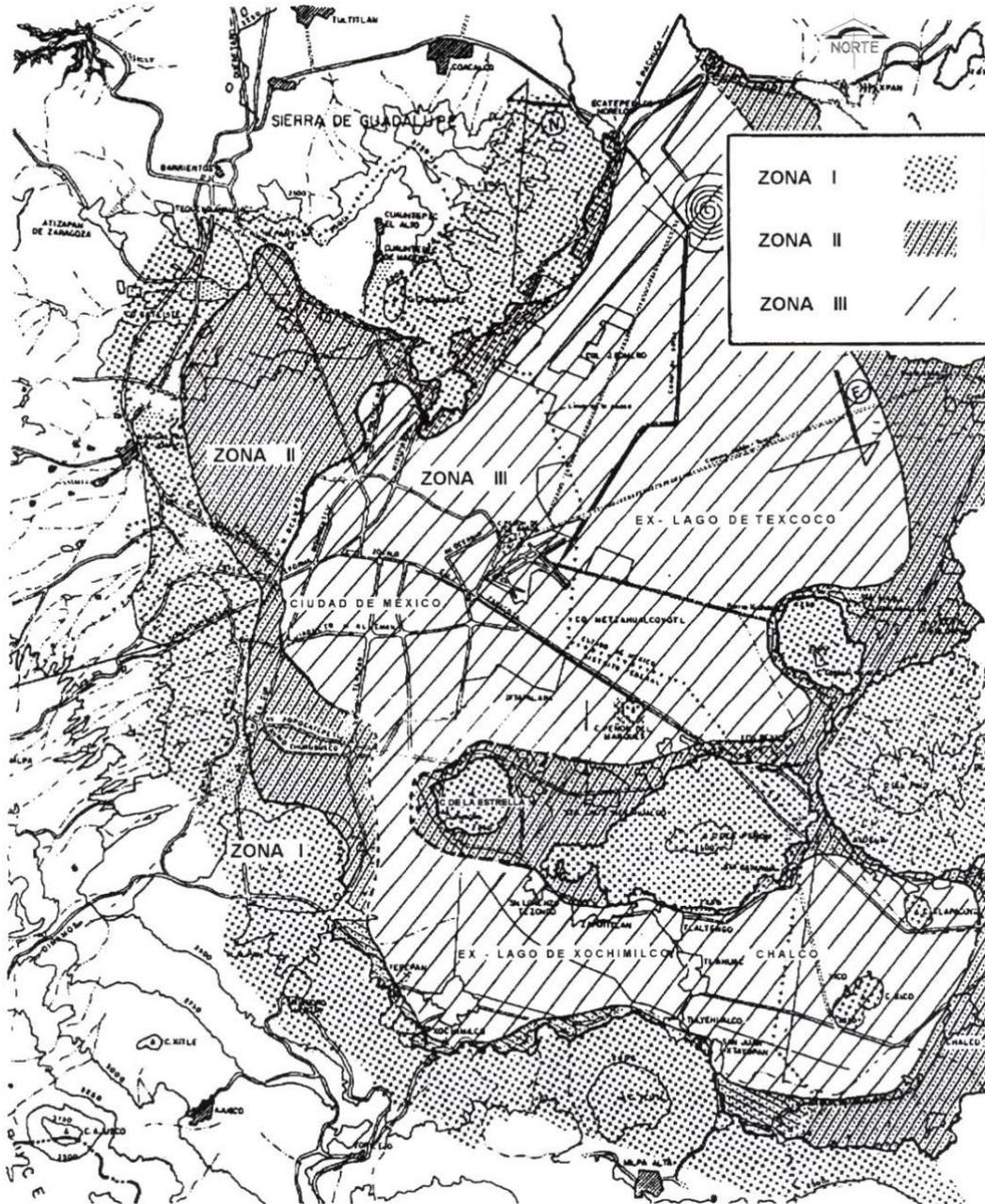


Figura 2.4 Zonificación geotécnica de la Ciudad de México (COVITUR, 1986)

Después de los sismos de 1985 se realizaron exploraciones en diferentes sitios del valle de México, los resultados obtenidos combinados con la información recopilada, permitieron en 1987 realizar una nueva zonificación que se muestra en la figura 2.5, la cual se introdujo en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) 1987, y se conservó en el RCDF-1995.



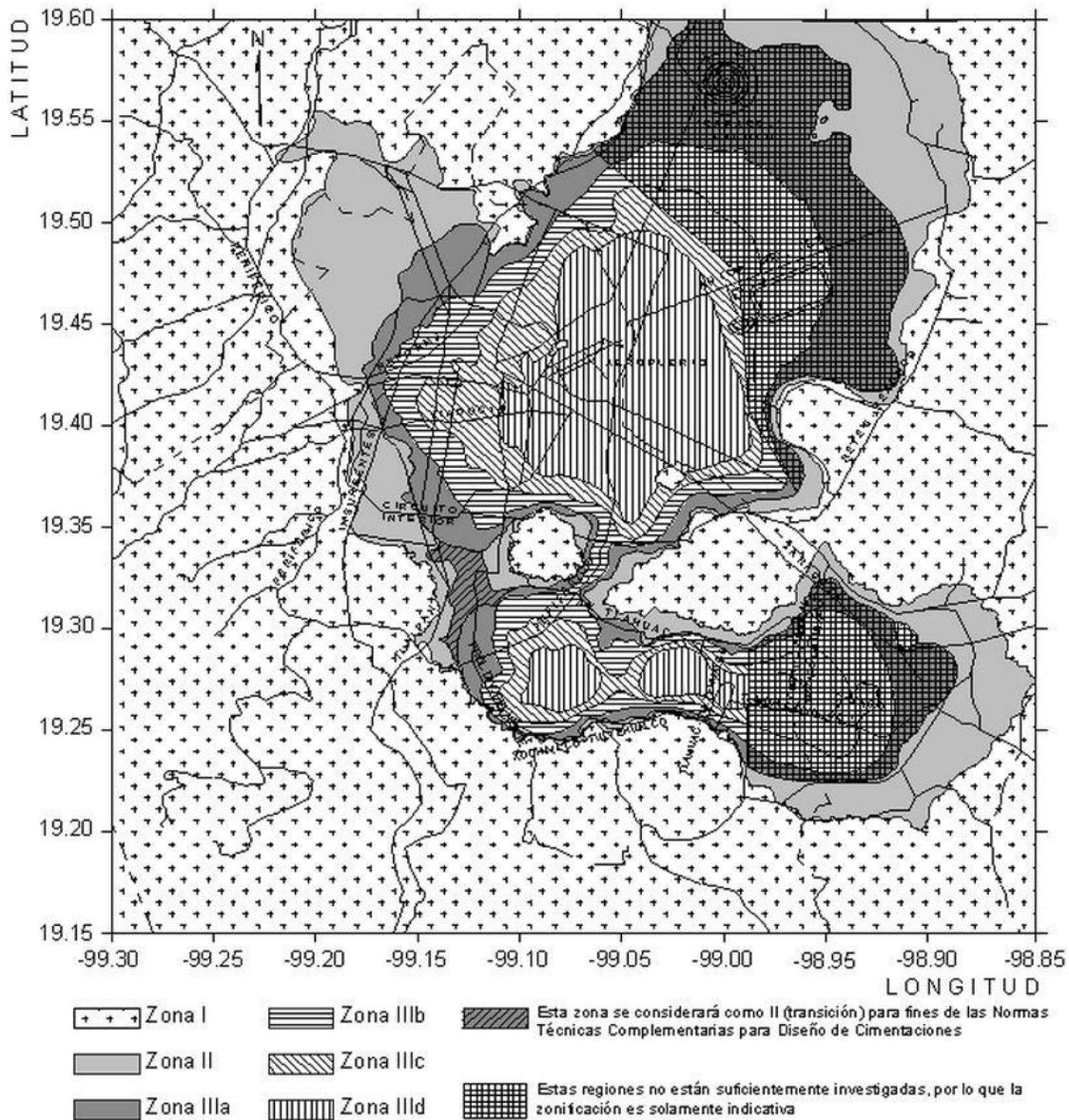
**Figura 2.5 Zonificación para diseño sísmico de la Ciudad de México (RCDF-1987)**

Diferentes instituciones han colaborado en el mejoramiento de la zonificación geotécnica del valle de México y la demarcación con mayor precisión de las fronteras que delimitan las Zonas I (Lomas), II (Transición) y III (Lago). Entre estas instituciones se puede mencionar al Instituto de Ingeniería de la UNAM, con la colaboración de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos (actualmente Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica) y el apoyo del Gobierno del Distrito Federal, entre otras.

Actualmente el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 2004 y sus Normas Técnicas Complementarias consideran la división del Distrito Federal en tres zonas según se fija en el artículo 170 del reglamento. La zonificación para fines de diseño sísmico queda dada por las zonas I, II y III. Adicionalmente la zona III se divide en cuatro subzonas (IIIa, IIIb, IIIc y IIId).

**2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS SÍSMICAS SEGÚN EL RCDF-04**

Los sedimentos que se depositaron a lo largo del tiempo formando las diferentes características del subsuelo son resultado de la orografía que se presenta en la Cuenca de México. En las zonas más lejanas a las sierras los espesores de dichos depósitos son mayores que en las zonas cercanas a los cerros y antiguos volcanes circundantes. Este aspecto se toma en cuenta en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) y en general se reconocen tres diferentes zonas que se pueden apreciar en el mapa que se encuentra en las Normas Técnicas Complementarias y que se presenta en la figura 2.6.



**Figura 2.6 Zonificación para diseño sísmico (RCDF-2004)**

La zonificación geotécnica de la Ciudad de México está realizada con base en las diferentes características del subsuelo. Estas se pueden apreciar en un corte transversal típico de la Cuenca de México que se muestra en la figura 2.7.

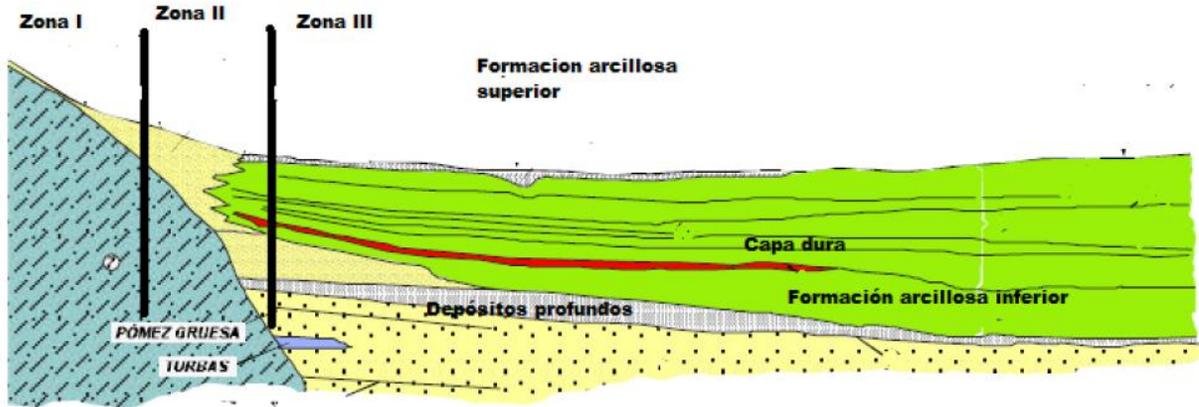


Figura 2.7 Corte transversal de la Cuenca de México

De acuerdo con el artículo 170 del RCDF-04, el valle de México se divide en tres zonas con las siguientes características:

*Zona I*

También conocida como Zona de Lomas debido a que se localiza en las partes más altas de la Cuenca de México. Se ubica al sur del valle de México y abarca desde las faldas de la Sierra de Chichinautzin hasta la Cuenca de Chalco, y al norte, abarca el Peñón de los Baños, la Sierra de Guadalupe, el Cerro del Chiquihuite, el Cerro del Tigre, el Cerro de la Estrella y la Sierra de Santa Catarina. En la figura 2.8 es posible apreciar una sección transversal de la zona de Chichinautzin-Lomas.

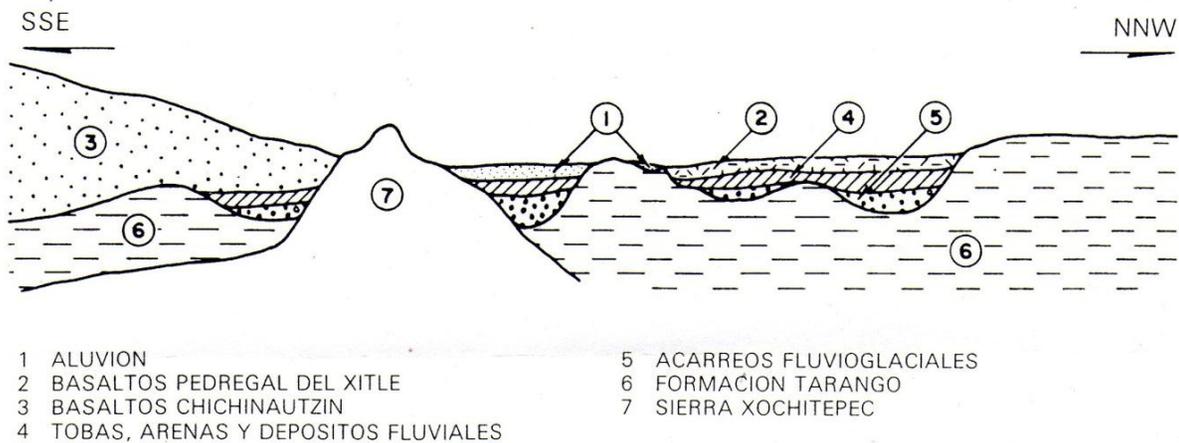


Figura 2.8 Sección Chichinautzin-Lomas cortando el Pedregal de San Ángel

Esta zona se caracteriza porque la mayor parte del suelo está constituida por mantos de lava y material piroclástico, principalmente en la zona que se encuentra más al sur del valle donde los espesores son de gran tamaño.

Los materiales del subsuelo son rocas o suelos duros que presentan poco deformabilidad y por lo general el Nivel de Aguas Freáticas (NAF) no se encuentra cerca de la superficie. Aunque también pueden existir depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos ya sea, intercalados o superficialmente. También es frecuente la presencia de oquedades en rocas, cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados.

### Zona II

La Zona de Transición (II), se considera como la zona en donde el espesor de los suelos blandos llega a profundidades de hasta 20 metros y el NAF puede presentarse en la superficie. En esta zona existen estratigrafías heterogéneas que combinan suelos blandos como arcillas o limos, con suelos más duros como arenas o arenas limosas. El espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros como se puede ver en la figura 2.9. Esta condición se atribuye a la intercalación entre suelo granulares y suelos finos producto de los diferentes niveles de agua alcanzados a lo largo de la historia geológica de los lagos.

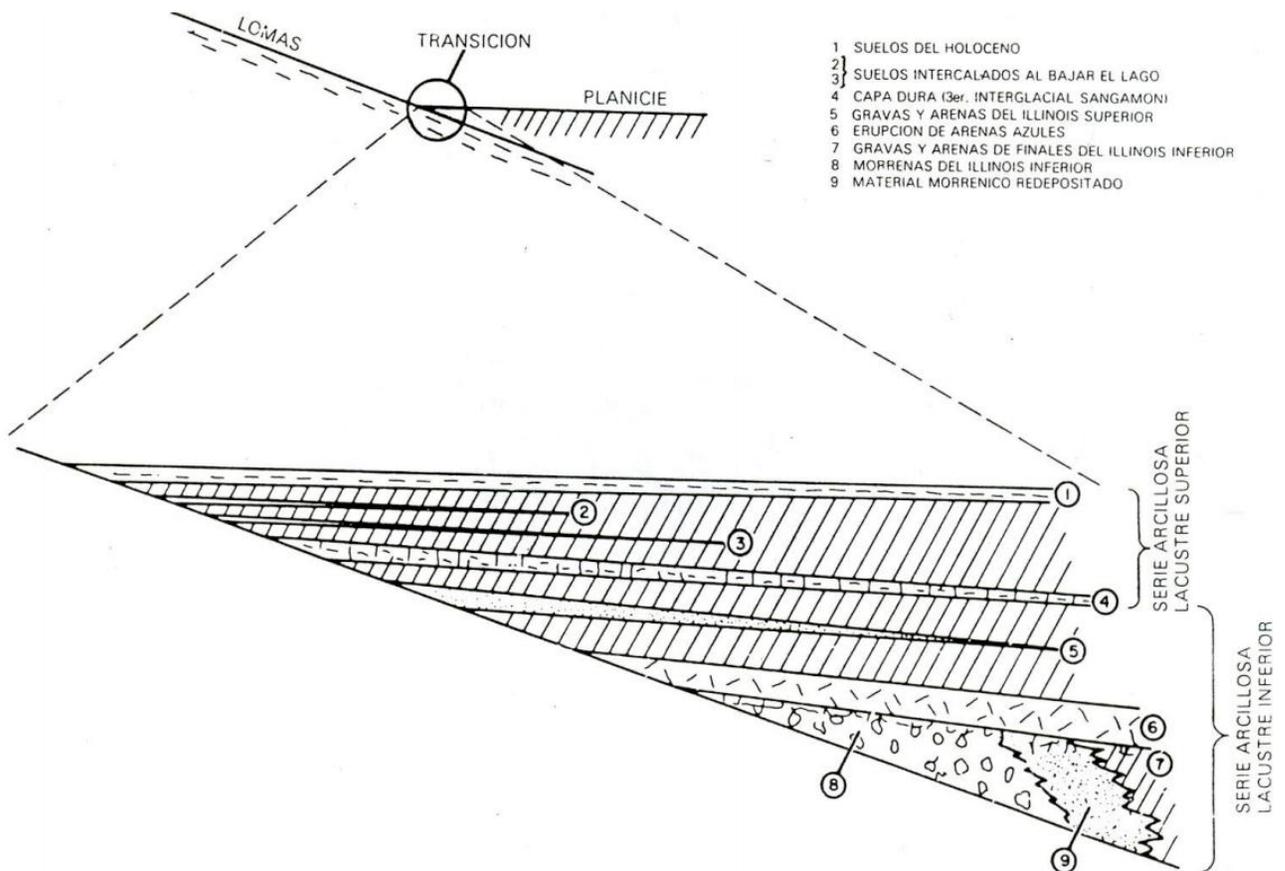


Figura 2.9 Estratigrafía de la Zona de Transición

En general, se tienen superficialmente los depósitos arcillosos o limosos orgánicos de la formación Becerra, cubriendo a estratos de arcilla volcánica muy compresibles y de espesores variables intercalados con capas de arena limosa compacta o arena limpia, las cuales descansan sobre mantos en los que el material predominante es la grava y la arena.

Adicionalmente, la zona de transición suele dividirse en dos fases, la de transición suave y la abrupta. Esta condición se da de acuerdo a la inclinación de la pendiente del macizo rocoso debajo de los diferentes estratos. En la transición abrupta la pendiente es mayor por lo que rápidamente se llega a la zona del Lago. En la transición suave la inclinación es menor y los cambios entre estratos son más graduales.

*Zona III*

La Zona Lacustre o del Lago (III) es conocida de esta manera debido a que se localiza en las regiones donde antiguamente existían lagos. En este caso en la Cuenca de México, los lagos de Texcoco y Xochimilco.

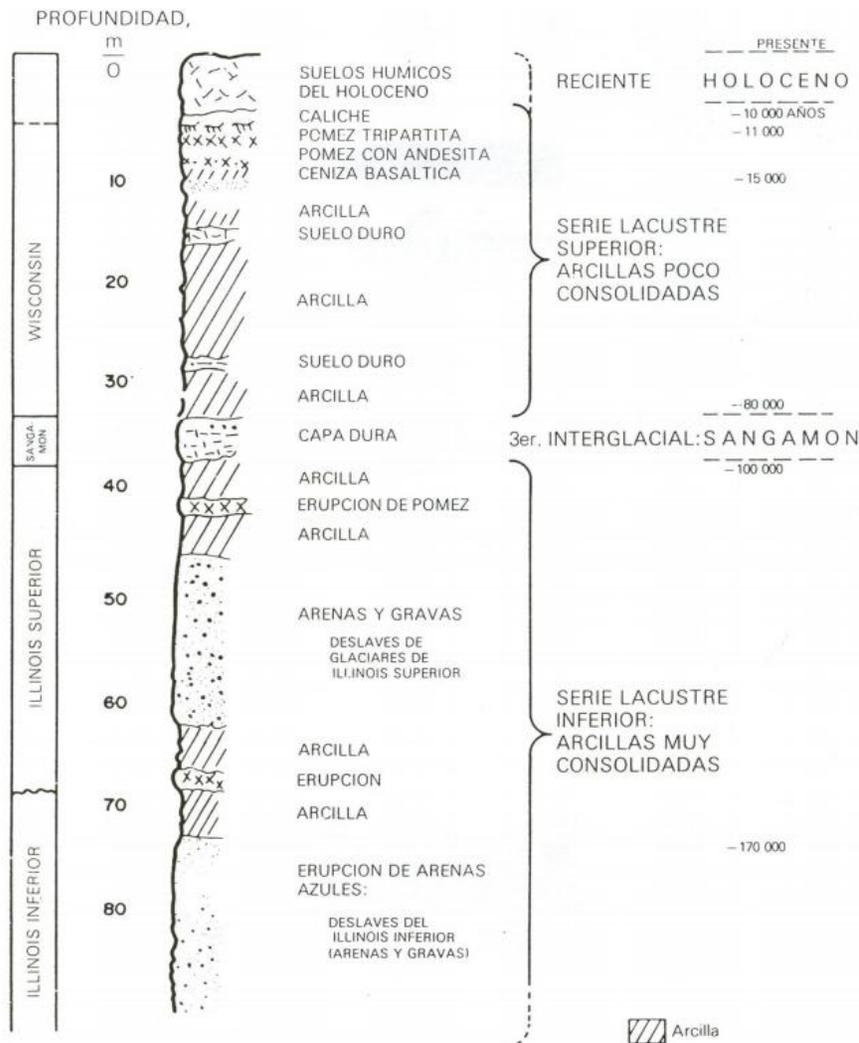


Figura 2.10 Estratigrafía de la planicie lacustre, Ciudad de México

Se caracteriza por tener grandes espesores de suelos blandos, en general mayores a 20 metros y se han observado casos en los que llegan a más de 100m. En esta zona la estratigrafía es más homogénea que en las zonas I y II porque entre los estratos de suelo blando existen lentes de arena volcánica. Los suelos en esta zona son predominantemente arcillas y limos de alta plasticidad, saturados y con grandes contenidos de agua, ya que el NAF usualmente se encuentra muy cercano a la superficie. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales. El espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

De acuerdo con las exploraciones del subsuelo, se ha encontrado que la estratigrafía de la zona se caracteriza por las siguientes capas:

- Costra superficial: constituida por depósitos areno-arcillosos o limosos. Este estrato puede alcanzar hasta los 10 metros de profundidad en algunas zonas de la ciudad.
- Formación arcillosa superior: formada por arcillas volcánicas extraordinariamente compresibles comprendidas entre blanda y media, intercaladas con pequeñas capas o lentes de materiales endurecidos por secado solar y de arena, ubicados entre 15 y 32 metros de profundidad.
- Primera capa dura: de unos 3 metros de espesor, constituida por suelos arcillosos o areno-limosos, compactos y rígidos, se encuentra a 33 metros bajo la superficie aproximadamente.
- Formación arcillosa inferior: de características similares a la formación arcillosa superior, presenta arcillas volcánicas, aunque más comprimidas y resistentes.
- Depósitos profundos: compuestos de arena con grava, separados por estratos de limo o arcilla arenosa.

La existencia o no de cada una de estas formaciones, así como su profundidad y espesor varía en cada zona la cuenca.

Las velocidades de propagación de las ondas de corte son bajas, alrededor de 80 m/s. Es esta característica, sumada al espesor de los estratos, lo que produce la amplificación de las ondas sísmicas (efecto de sitio). Las construcciones que se encuentran en esta zona suelen ser las más afectadas durante los sismos. Además se ha concluido que la explotación de los acuíferos ocasiona el problema de hundimiento regional en esta zona, generando grandes problemas en la infraestructura de la ciudad de México.

### **2.3. DIVISIÓN DE LA ZONA III**

Dentro de las Normas Técnicas Complementarias (2004) y de acuerdo con la zonificación del valle de México para fines de diseño por sismo, la zona III se divide en cuatro zonas: IIIa, IIIb, IIIc y IIId.

La subdivisión de la zona III está asociada con los espesores de los suelos blandos y con el periodo fundamental de vibración del terreno. En la figura 2.11 se muestran los respectivos valores de la profundidad de los depósitos firmes profundos ( $H_s$ ), dados en metros. Dichos espesores están asociados a curvas de nivel que pasan por las zonas que tienen las mismas características.

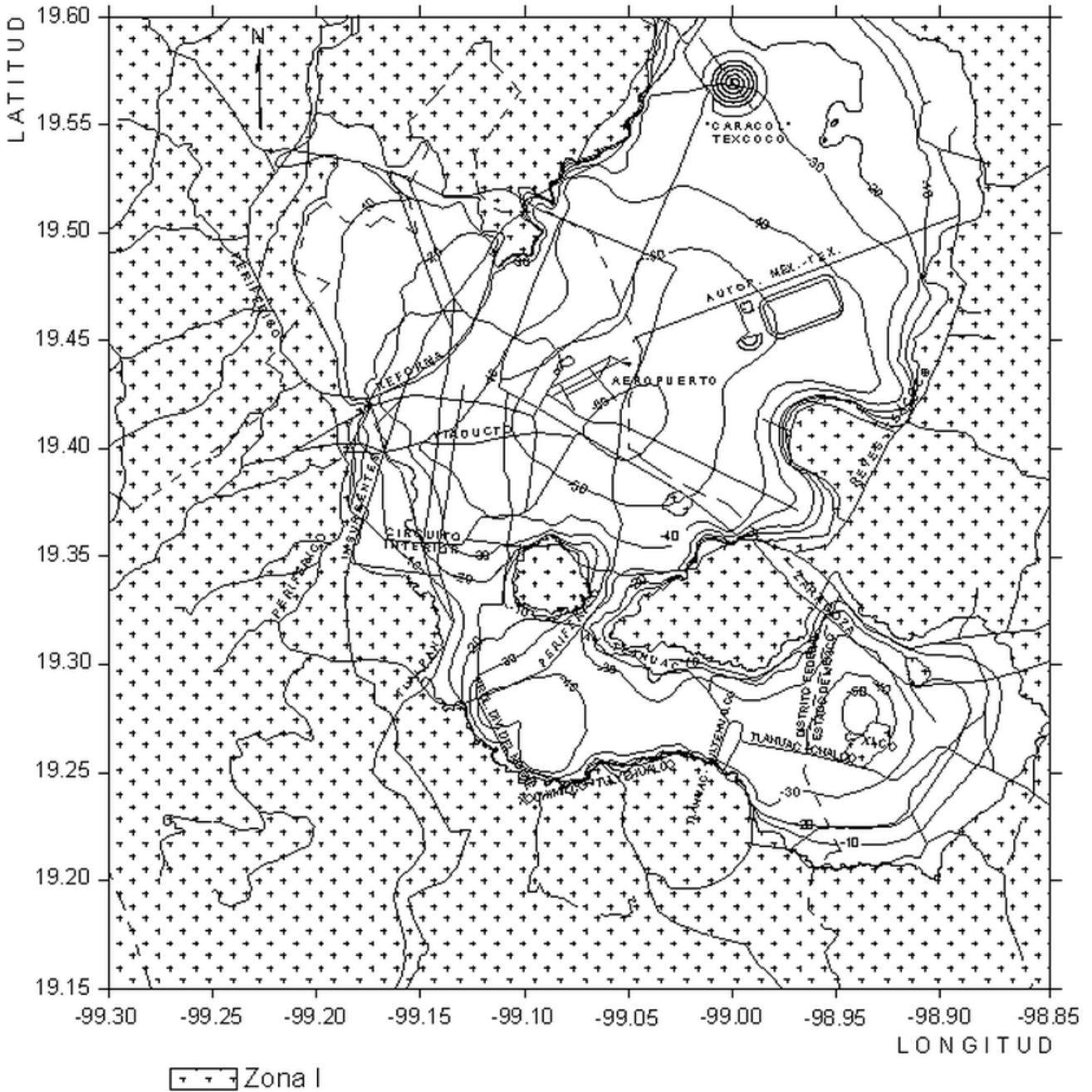


Figura 2.11 Valores de  $H_s$  en metros

En la figura 2.12 se muestra el periodo dominante más largo del terreno en el sitio de interés ( $T_s$ ) asociados a curvas sobrepuestas a las zonas que presentan el mismo periodo.

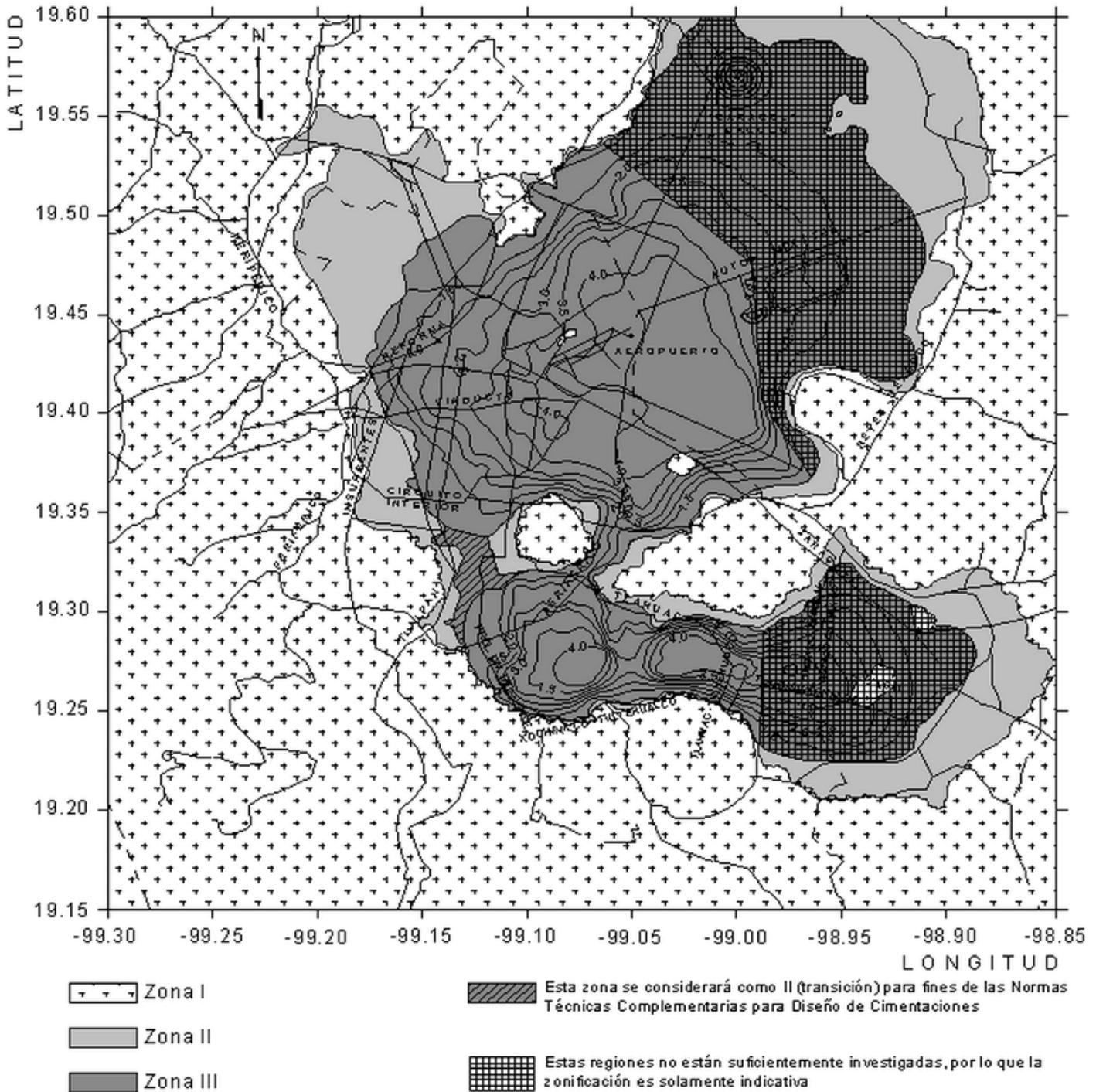


Figura 2.12 Periodos predominantes del suelo  $T_s$

Por lo que es posible observar en las figuras 2.11 y 2.12 la relación que existe entre el espesor de suelo blando y su periodo fundamental de vibración.



## **CAPÍTULO 3**

### **ESTRUCTURAS DE C/R EXISTENTES EN LA ZONA IIIb**

De acuerdo a los eventos sísmicos que han ocurrido a los largo del tiempo en el valle de México, la zona IIIb ha sido un área gravemente afectada por este tipo de sucesos. En la actualidad existe información de las estructuras dañadas durante el catastrófico evento de 1985, en donde la Delegación Cuauhtémoc comprendida mayoritariamente en esta zona de interés, presentó el mayor número de estructuras dañadas, que en este capítulo se describirá con mayor detalle.

Con el paso de los años la Ciudad de México y su periferia han sufrido cambios significativos como consecuencia del gran crecimiento de la población, a lo que la infraestructura ha ido adaptándose a las necesidades de este nuevo número de habitantes, hoy en día aproximadamente 8,8 millones. Por lo que resulta importante contar con información actualizada de la infraestructura existente dentro de la zona IIIb, en la que se han presentaron las afectaciones más significativas durante eventos sísmicos.

Por lo anterior, se realizó un levantamiento de edificios de concreto reforzado (C/R) existentes dentro de la zona IIIb comprendida dentro de los límites del Distrito Federal. Este levantamiento de estructuras se delimitó debido a que la mayor densidad de estructuras se encuentra dentro de la Ciudad de México por lo que las existentes en la periferia pueden despreciarse por ser un número muy bajo. El levantamiento que aquí se realizó considera estructuras del Grupo B, de acuerdo a la clasificación del RCDF-04; refiriéndose a edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas, locales comerciales y hoteles.

#### **3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA IIIb**

La zona IIIb se encuentra rodeada por las zonas IIIa y IIIc, predominando hacia el noreste del valle de México. Delimitando la zona IIIb por el Distrito Federal y de acuerdo con la zonificación del RCDF-04 como se puede apreciar en la figura 3.1, esta zona queda comprendida dentro de las siguientes Delegaciones del Distrito Federal:

- Tláhuac
- Xochimilco
- Iztapalapa
- Coyoacán
- Iztacalco
- Benito Juárez
- Cuauhtémoc
- Gustavo A. Madero

La Delegación donde predomina la zona IIIb, es la Cuauhtémoc, pues la zona IIIb abarca gran parte del área total de la delegación. Es en esta delegación en donde se encuentran construcciones históricas, edificios de gran importancia, así como un total de 42 museos.

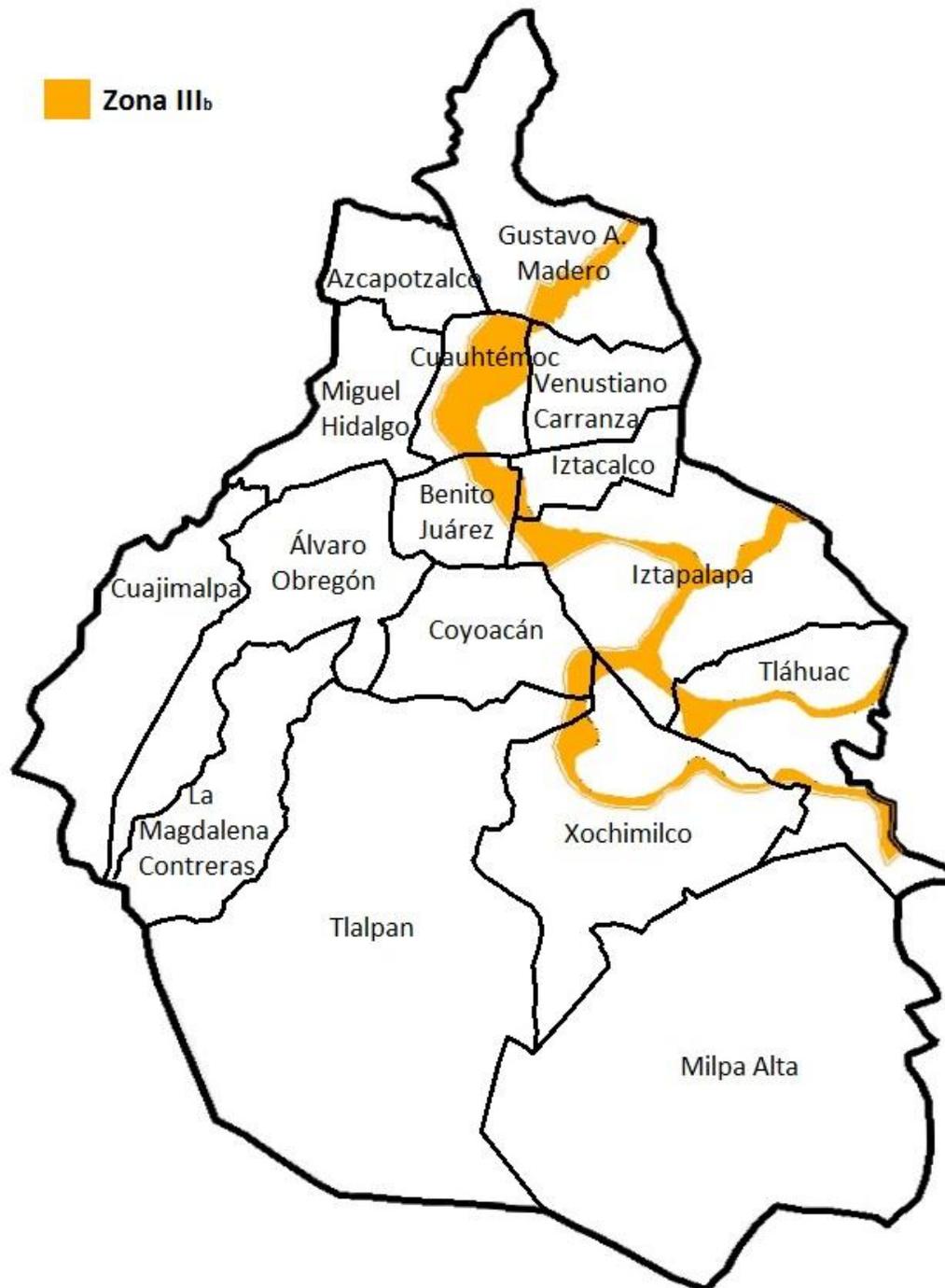


Figura 3.1 Zona IIIb en el Distrito Federal

Existen diferentes estructuras y zonas de gran importancia dentro de la zona IIIb que se pueden apreciar en la figura 3.2. Entre ellas se puede mencionar:

1. Ángel de la Independencia
2. Monumento a la Madre
3. Monumento a la Revolución Mexicana
4. Hemiciclo a Juárez
5. Alameda Central
6. Palacio de Bellas Artes
7. Centro Histórico de la Ciudad de México
8. Catedral Metropolitana de la Ciudad de México
9. El Conjunto Urbano Nonoalco Tlatelolco

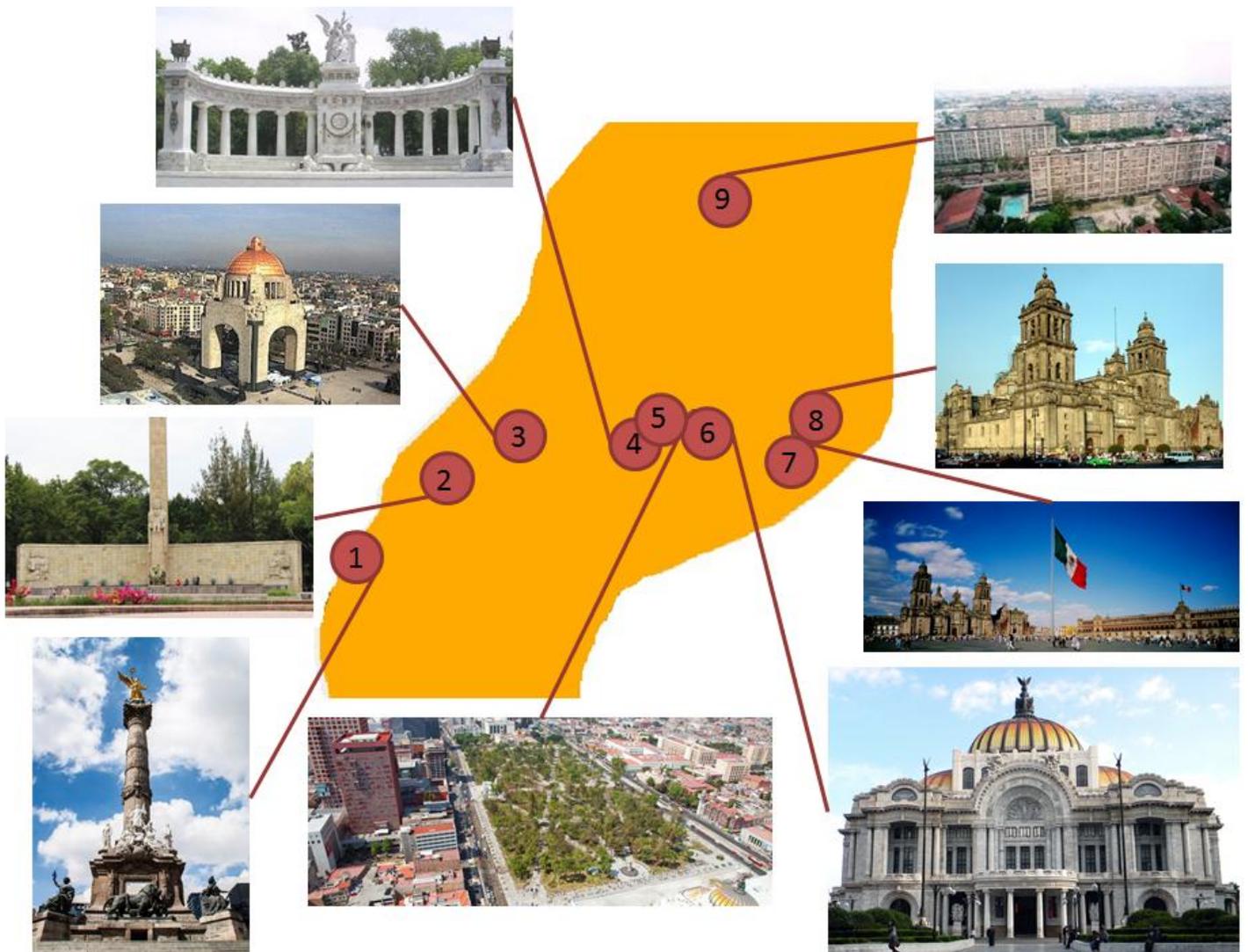


Figura 3.2 Estructuras importantes en zona IIIb

En la figura 3.3 es posible apreciar las vialidades de gran importancia que atraviesan la zona IIIb:

- Paseo de la Reforma
- Viaducto
- Insurgentes
- Circuito Interior
- Calzada de Tlalpan
- Anillo Periférico
- Avenida Tláhuac
- Eje 5 Sur
- Xola

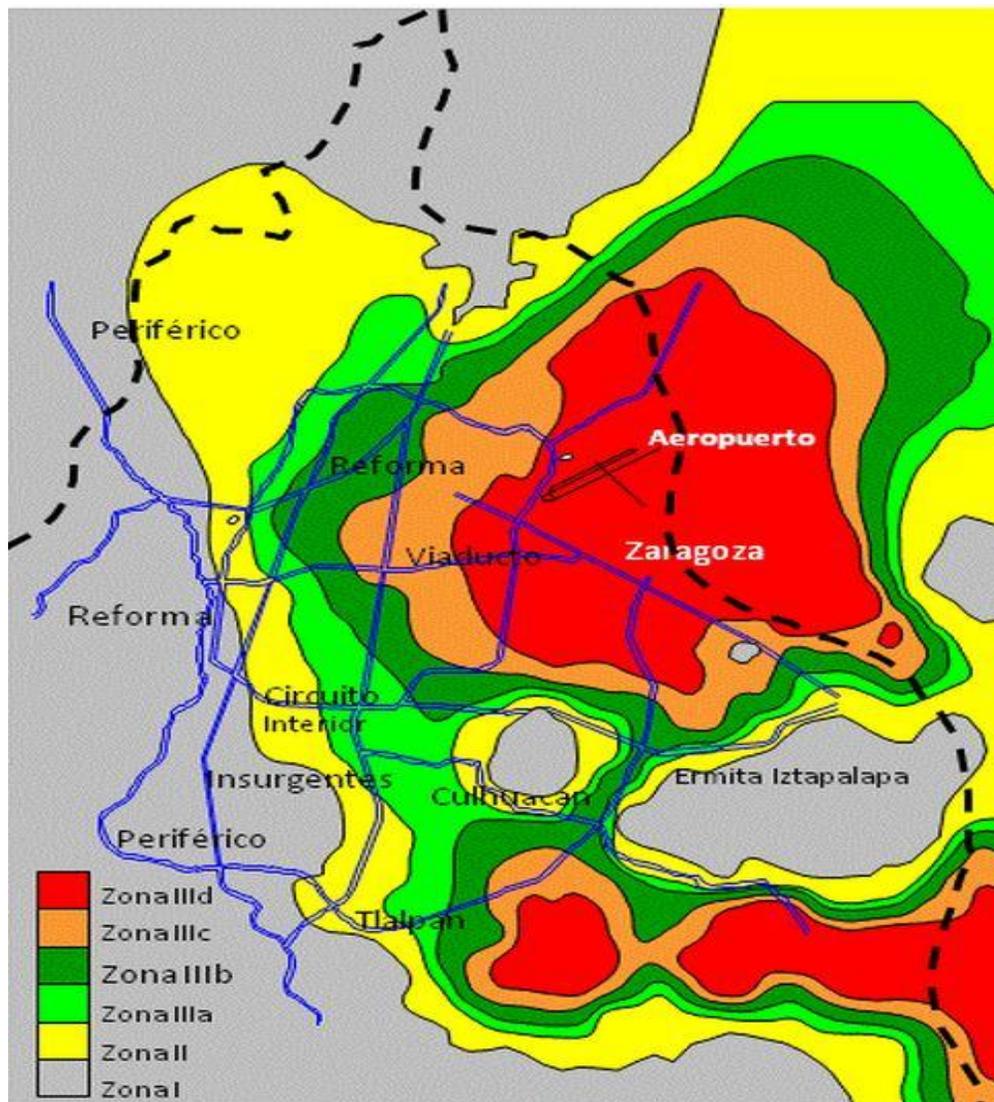


Figura 3.3 Vialidades dentro de la zona IIIb

### 3.2. ACONTECIMIENTOS SÍSMICOS RELEVANTES EN LA ZONA EN ESTUDIO

La actividad sísmica en la Ciudad de México, a la que se ve expuesta ante catástrofes que pudieran ser consecuencia de un sismo de magnitud considerable se debe principalmente a la subducción de placas Rivera y Cocos bajo la placa de Norteamérica, la interacción de las placas Rivera, Cocos y del Caribe, y también a la actividad cortical superficial en el continente.

A partir del siglo XX, y con el surgimiento de los sismógrafos, fue posible identificar con mayor precisión los epicentros de los temblores. Es por ello que en este siglo fue posible registrar 40 sismos de  $7.0 \leq M \leq 7.9$ , y seis con  $M \geq 8$ , la mayor parte de ellos originados en las costas de Pacífico.

En el Reglamento de 1942 se incluyó el diseño por sismo como consecuencia del sismo de 1942 de Michoacán, al observarse la relación entre el daño estructural y la composición del subsuelo. En 1979 ocurre otro sismo en las costas de Guerrero que produce daños en las estructuras ubicadas en la Colonia Roma, y provoca el daño de la Universidad Iberoamericana.

Durante septiembre de 1985 tuvo lugar el terremoto más fuerte registrado en la historia de México. El temblor afectó la zona centro, sur y occidente del país, así como el Distrito Federal. El epicentro del terremoto se localizó en el Océano Pacífico, frente a las costas del estado de Michoacán.

Antes de que se presentaran los desastrosos eventos sísmicos de 1985 se consideraba que el reglamento para construcciones vigente, satisfacía las condiciones necesarias para hacer frente a sismos de gran magnitud, pues tales regulaciones se fundaban en consideraciones antisísmicas y el comportamiento satisfactorio, hasta entonces, de las estructuras durante sismos intensos.

La Comisión Metropolitana de Emergencia del Distrito Federal estimó que 2831 edificios sufrieron daños estructurales, 880 quedaron en ruinas, 370 habitables después de importantes reparaciones y 1581 recuperables tras reparaciones menores.

Los daños observados en los edificios estuvieron determinados por las condiciones locales del subsuelo. Pues existe una fuerte correlación entre la distribución espacial del daño (sismo de 1985) y la ubicación de la zona lacustre. A partir del registro de acelerogramas se pudo concluir que la amplificación de las ondas sísmicas en la zona lacustre con respecto a la zona firme, fue de 10 a 100 veces. Las estructuras más dañadas se encontraron en la zona III con periodos entre 0.5 y 1.5 s, y por lo general entre 6 y 15 niveles (altura que fue muy común en las construcciones de la década de los setentas y ochentas). Esto sucede debido al fenómeno de ablandamiento estructural que ocurre a medida que se alarga el periodo efectivo de la estructura y se acerca al periodo dominante del suelo.

Una de las zonas más afectada durante este sismo, sin duda fue la delegación Cuauhtémoc ubicada en zona IIIb, en donde se presentó el colapso de varios edificios y sitios de interés general, en la figura 3.4 se aprecian algunas estructuras que colapsaron.

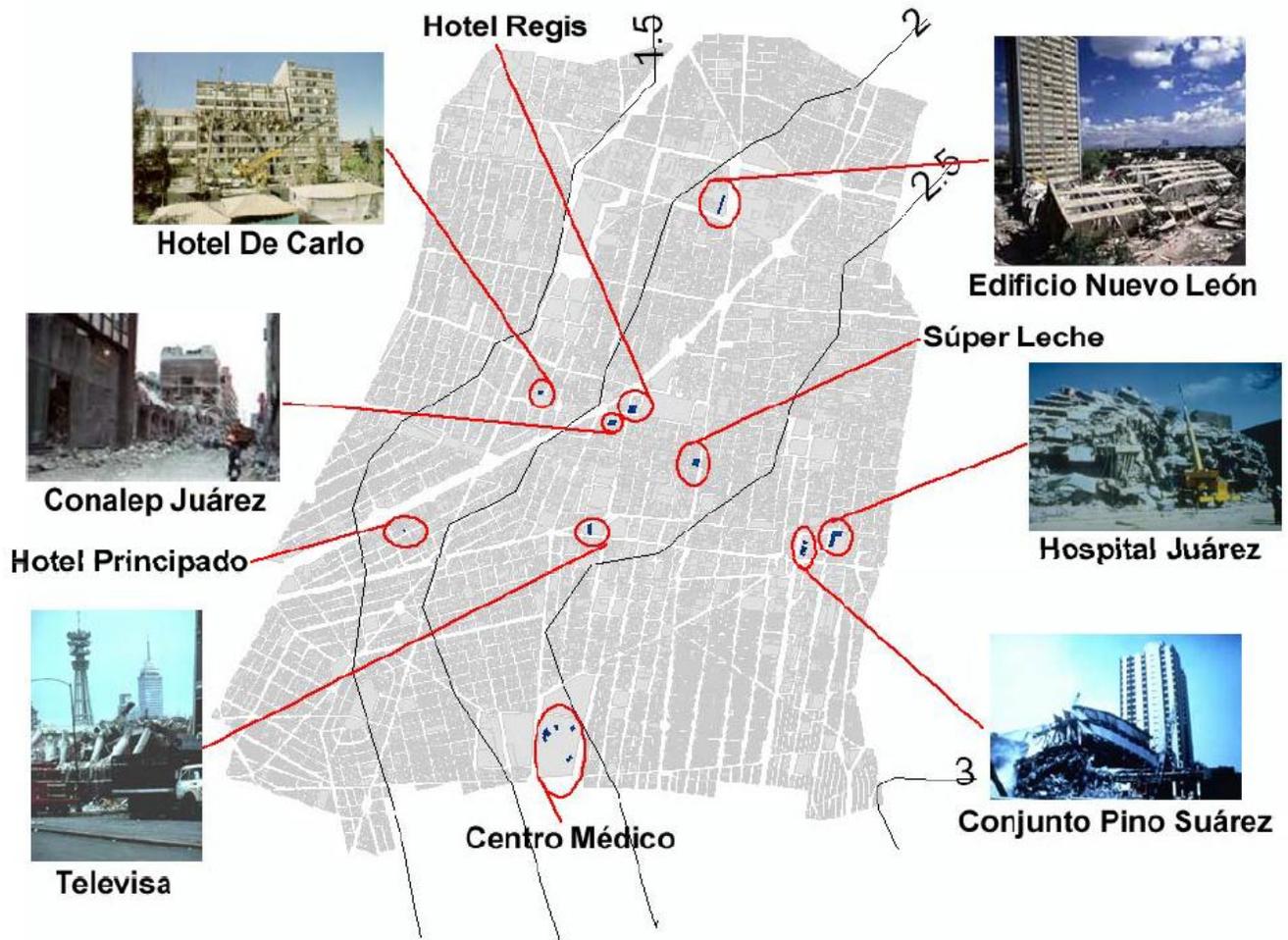


Figura 3.4 Colapso de estructuras en 1985

Por otra parte los daños del sismo de 1985 no sólo repercuten en las estructuras sino que pueden mencionarse otro tipo de daños.

### 3.3. LEVANTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

El levantamiento de edificios de C/R existentes en la zona IIIb realizado dentro de esta tesis, contempló estructuras clasificadas dentro del Grupo B de acuerdo con el RCDF-04. Por lo que se consideran edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas, locales comerciales y hoteles. La zona del levantamiento se delimitó al Distrito Federal, al considerar escasas las estructuras existentes en la periferia.

Las estructuras identificadas durante el levantamiento se clasificaron de acuerdo a los niveles de cada estructura asignándolas a una categoría, de manera que sea fácil de identificar en un mapa de la zona IIIb. En la siguiente tabla 3.1 se muestra la clasificación de las estructuras.

Tabla 3.1 Clasificación de estructuras de acuerdo a su número de niveles

Categoría	Niveles
1	1 - 4
2	5 - 8
3	9 - 12
4	13 - 17
5	> 18

La información se obtuvo a través del programa Google Earth que permite la utilización de capas; con las que se delimitó la zona IIIb. Una vez delimitada la zona de interés se realizó una exploración del área utilizando la vista de edificios en 3D, con la que es posible identificar el número de niveles de cualquier estructura; como se observa en la figura 3.5 donde se puede identificar un asentamiento de edificaciones destinado a viviendas.



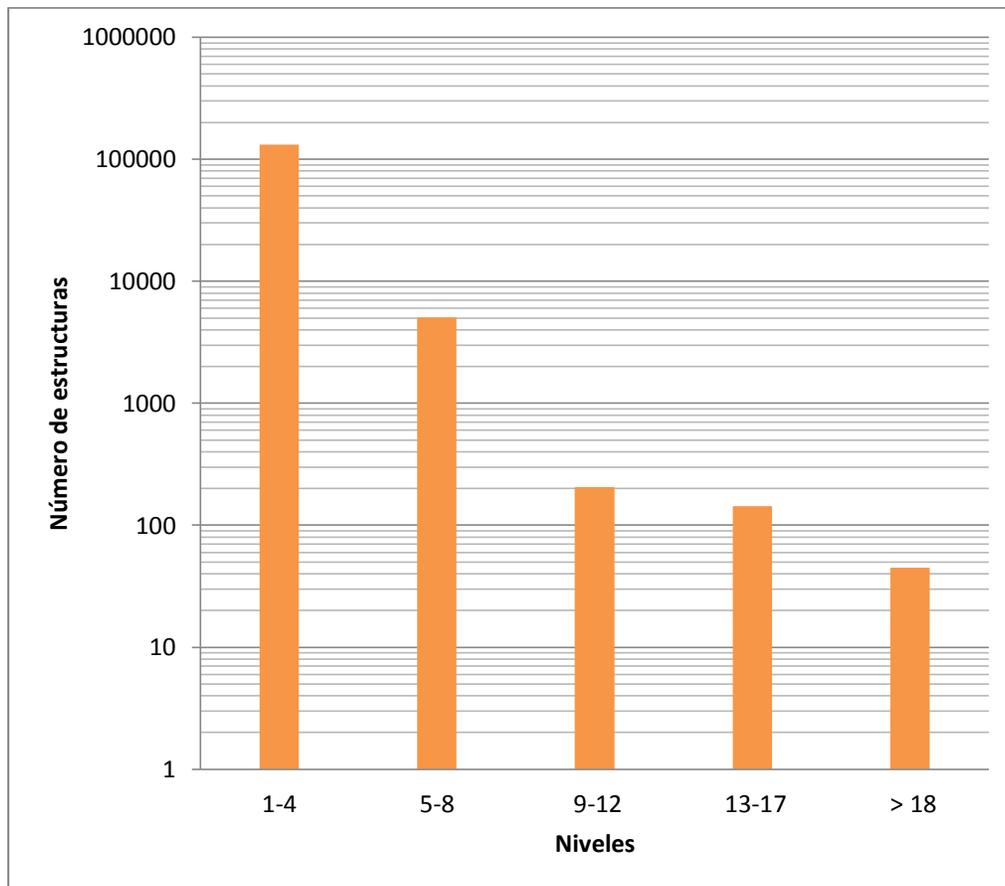
Figura 3.5 Vista en 3D de edificios

De acuerdo con el levantamiento de estructuras, existen 136 816 edificaciones pertenecientes al Grupo B, clasificadas de acuerdo al número de niveles en diferentes categorías (ver tabla 3.2).

**Tabla 3.2 Clasificación de estructuras en zona IIIb pertenecientes al Grupo B**

Categoría	Niveles	Número de estructuras	%
1	1-4	131366	96.02
2	5-8	5056	3.70
3	9-12	205	0.15
4	13-17	144	0.11
5	> 18	45	0.03

De acuerdo al levantamiento de estructuras se puede observar que el 96.02% pertenecen a la categoría 1, el 3.70% pertenece a la categoría 2, el 0.15% a la categoría 3, mientras que el 0.11% y el 0.03% corresponden a las categorías 4 y 5, respectivamente. En la siguiente gráfica (en escala logarítmica) se puede observar una diferencia significativa entre la categoría 1 y el resto de las categorías, siguiéndole la categoría 2. Esto se puede interpretar como resultado de que las categorías 3, 4 y 5 están concentradas en las áreas de mayor densidad demográfica, es decir, las edificaciones con mayor número de niveles se concentran en el centro de la Ciudad de México. Mientras que las categorías 1 y 2 se distribuyen casi uniformemente sobre toda la zona IIIb.



**Gráfica 3.1 Estructuras existentes en zona IIIb pertenecientes al Grupo B**

En la siguiente figura 3.6 se muestra un mapa de la zona IIIb con el levantamiento de las estructuras existentes pertenecientes al Grupo B, en donde de acuerdo a determinada categoría se puede identificar la aglomeración de edificaciones con el mismo número de niveles.

Como se mencionó anteriormente, en la mayoría de la zona IIIb predominan las categorías 1 y 2, lo que implica que sobre esta zona la mayoría de las estructuras son de 1 a 8 niveles. Mientras que las aglomeraciones pertenecientes a la Categoría 2, 3, 4 y 5, predominan en el centro de la ciudad.

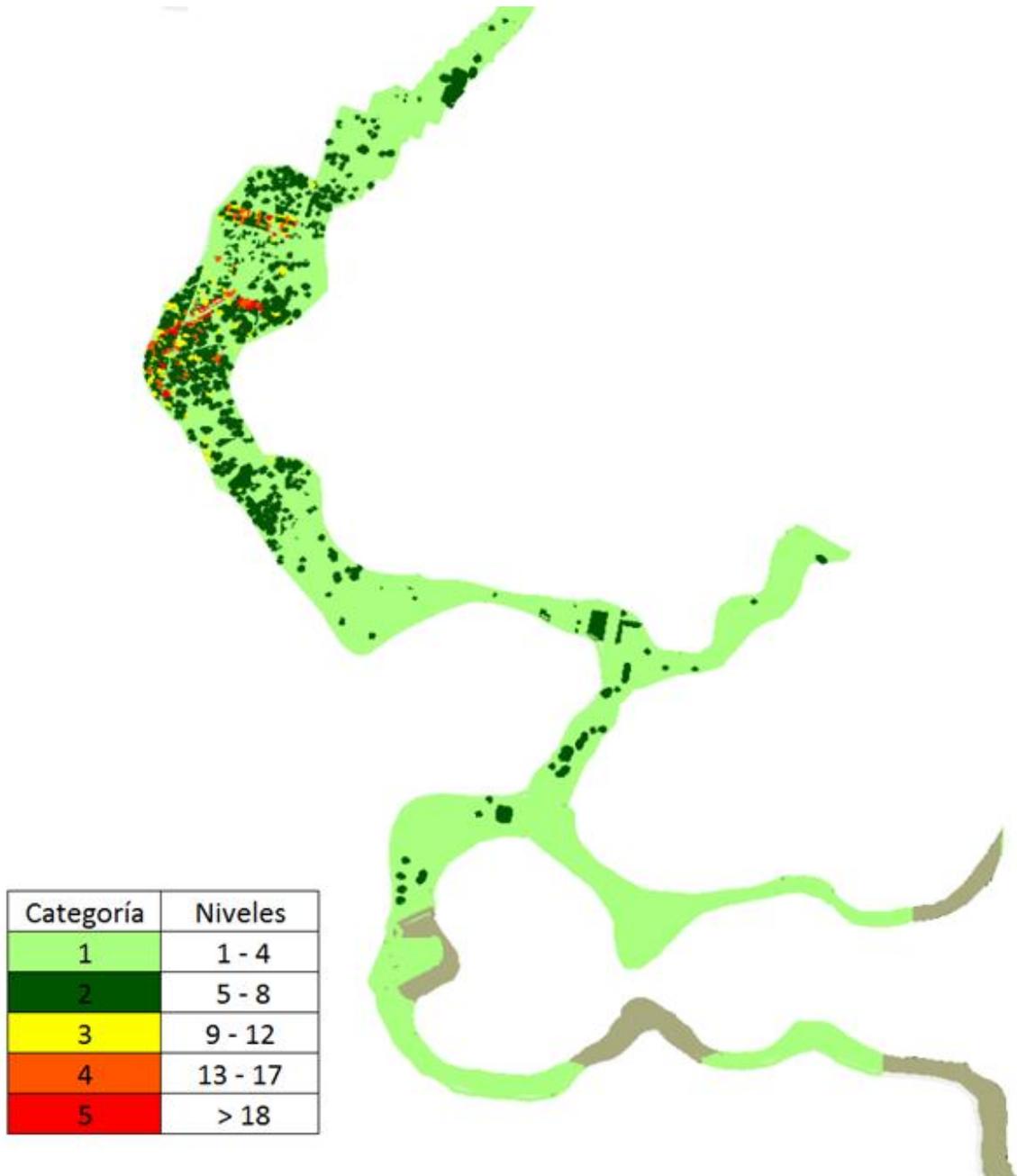


Figura 3.6 Mapa de estructuras pertenecientes al Grupo B en zona IIIb

En la figura 3.7 se muestran estructuras localizadas en el centro de la Ciudad de México, donde predominan edificios pertenecientes a las Categorías 2, 3 y 4. Las estructuras pertenecientes a la categoría 5 se encuentran también en esta misma zona como se observa en la misma figura. Estas estructuras están ubicadas en las colonias Centro, Guerrero, Juárez y Roma, así como en la avenida Insurgentes y Paseo de la Reforma, mayoritariamente.

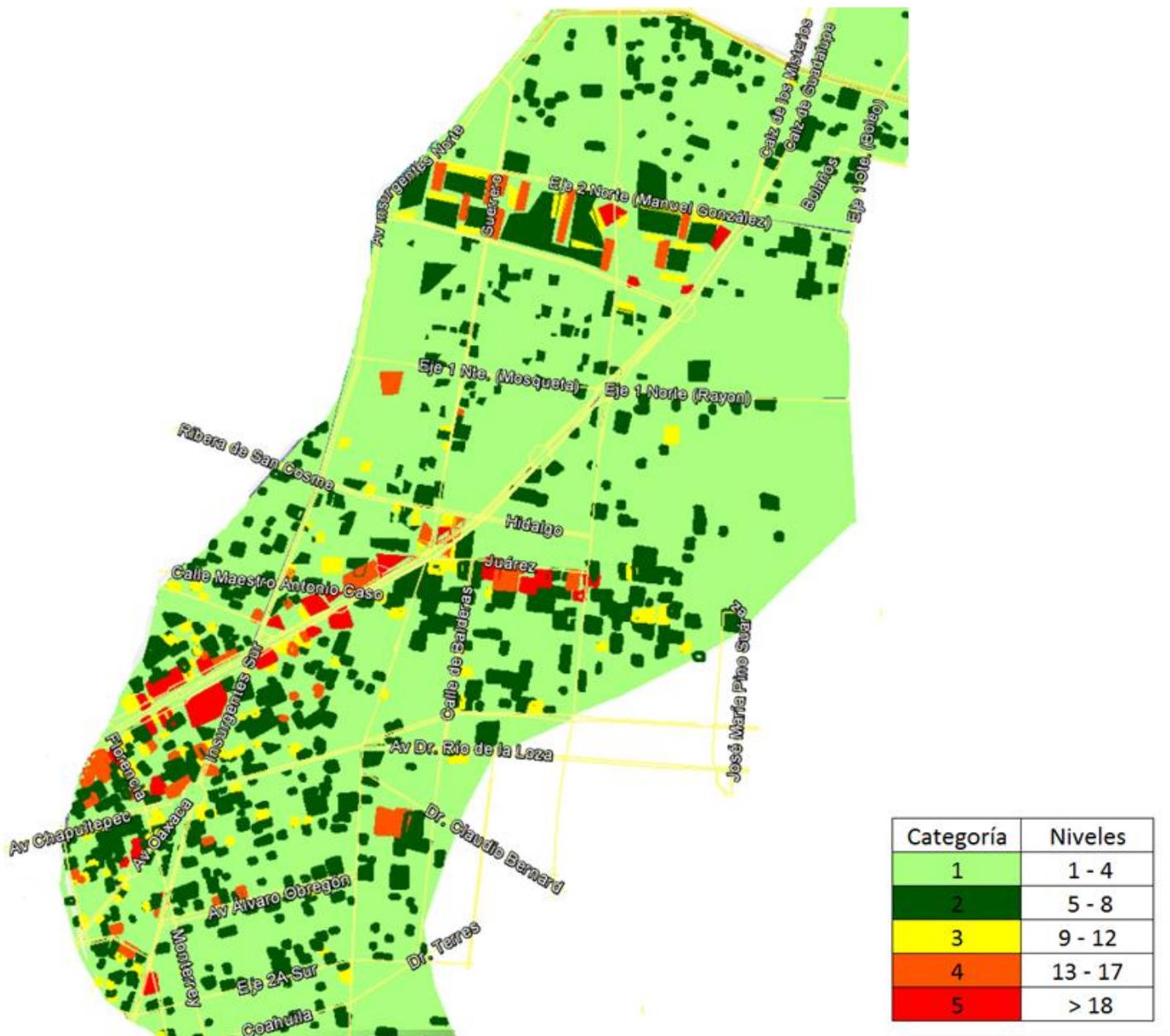


Figura 3.7 Área con mayor concentración de estructuras de las categorías 2, 3, 4 y 5

La figura 3.8 muestra con detalle el área con mayor densidad de estructuras pertenecientes a las categorías 2, 3, 4 y 5. En esta figura se pueden identificar algunas estructuras existentes en el área. Las imágenes proceden de la vista en 3D del software Google Earth que se utilizó para realizar el levantamiento. De igual forma esta figura muestra el total de estructuras en la categoría 5, que se ubican a los extremos de Paseo de la Reforma.

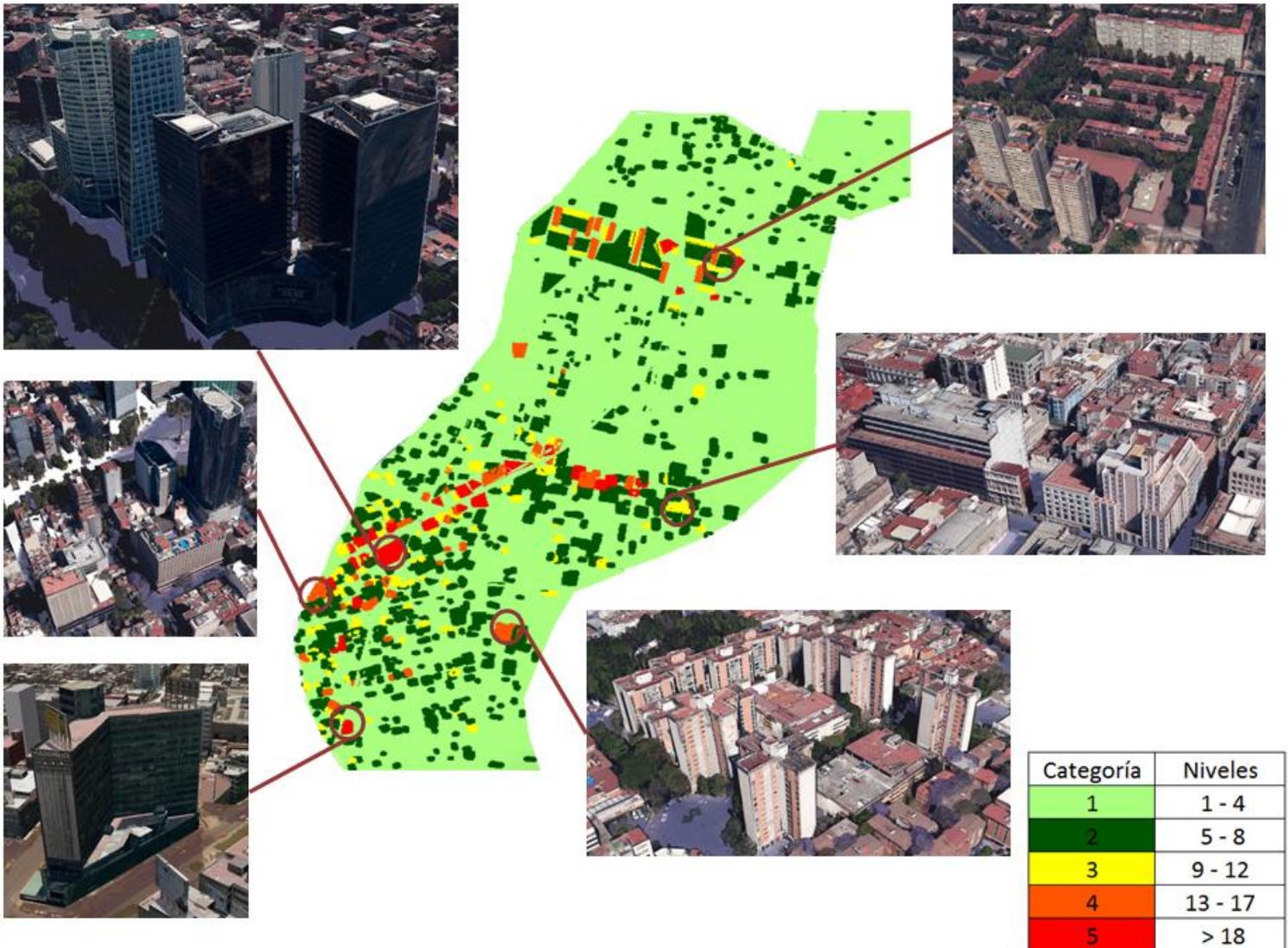


Figura 3.8 Estructuras en 3D



## CAPÍTULO 4

### DISEÑO DE EDIFICIOS USANDO DIFERENTES COMBINACIONES DE FACTORES DE CARGA

La normativa que existe actualmente para las construcciones en el Distrito Federal tiene como propósito que las estructuras tengan como fin mantener un balance entre confiabilidad, desempeño estructural y costo. Para mantener este objetivo el RCDF-04 presenta especificaciones de diseño correspondientes a una zonificación para el valle de México. Y de acuerdo a la zonificación para diseño por sismo que se presenta en este reglamento, la zona IIIb se identifica por las características del suelo de la Zona de Lago.

Los edificios diseñados en este capítulo, se suponen ubicados en la zona IIIb, zona donde las construcciones han sufrido mayores daños durante fuertes sismos. Para su diseño se supondrán como uso de oficinas y tendrán varias consideraciones geométricas presentadas con detalle en el desarrollo del capítulo. Se realizará el diseño estructural de acuerdo al RCDF-04 y sus NTC de edificios de 4, 6, 8, 10, 12, 15 y 20 niveles, cada uno con 3 crujías y 4 crujías. Se usarán diferentes combinaciones de carga además de las indicadas en el reglamento.

#### 4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL Y GEOMETRÍA DE LOS EDIFICIOS

Los edificios diseñados son de concreto reforzado. Estos se consideraron simétricos tanto en planta como en elevación. El diseño de las estructuras se realizó para edificios de 4, 6, 8, 10, 12, 15 y 20 niveles con 3 y alternativamente con 4 crujías. En todos los casos se consideró una altura de entrepiso constantes de 4 m.

En la tabla 4.1 se muestran las distancias entre apoyos que se utilizaron de acuerdo al número de niveles de las estructuras; diseñando cada uno de los edificios con 3 crujías, y posteriormente con 4 crujías.

Tabla 4.1 Separación entre apoyos para edificios con 3 y 4 crujías

Niveles	Distancia [m]
4, 6	6
8, 10, 12	8
15, 20	10

#### 4.2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Los edificios se diseñaron de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 2004 y sus Normas Técnicas Complementarias (NTC), en donde se indica que para el diseño sísmico de estructuras ubicadas en la zona II y III es recomendable aplicar las Normas de Apéndice A; por lo que el diseño se realizó de acuerdo a lo estipulado en éste último.

De acuerdo al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 2004, el Título Sexto referente a Seguridad Estructural de las edificaciones, artículo 170; los edificios diseñados se suponen ubicados en la zona IIIb, perteneciente a la Zona de Lago.

Dentro de este mismo Título y de acuerdo con el artículo 139, se clasifica a los edificios como estructuras del Grupo B, ya que su uso se considera como de oficinas.

A su vez el Grupo B se subdivide, clasificando a los edificios diseñados como B1; ya que todas las estructuras cumplen la condición de tener más de 15 m de altura total del edificio (estando dentro de la zona III). La altura se consideró constante de 4 m, y el edificio con menor número de niveles (cuatro) tiene más de 15 m, por lo que se considera que los demás edificios de mayor altura cumplirán este requisito.

De acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (2004), el factor de comportamiento sísmico ( $Q$ ) se usará como  $Q = 3$ .

El diseño de los edificios se realizó de tal manera que se cumplieran las condiciones de regularidad de las NTC para Diseño por Sismo que permitieran considerar a los edificios como estructuras regulares.

Para la revisión por cortante basal de los edificios, en el análisis dinámico de las estructuras en ningún caso la fuerza cortante horizontal en la base de la construcción ( $V_0$ ) se tomará menor que  $a_{\min}=0.05$  multiplicado por el valor del peso de la construcción en la base la estructura ( $W_0$ ).

Se revisó que la rigidez lateral de la estructura fuera suficiente para limitar los daños a elementos no estructurales, es decir, para las condiciones de servicio. Las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos producidos por las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso no excederán 0.004 veces las diferencias de elevaciones correspondientes.

Mientras que para la seguridad contra colapso considerando que el sistema estructural está dada por marcos dúctiles de concreto reforzado ( $Q = 3$ ), las distorsiones de entrepiso se limitaron a 0.03.

Se revisará que para las distintas combinaciones de acciones, la resistencia de diseño sea mayor o igual al efecto de las acciones, multiplicado por los factores de carga. Para ello se revisarán los estados límite de comportamiento de las edificaciones; el estado límite de falla se refiere a modos de comportamiento que ponen en peligro la estabilidad de las estructuras o parte de ellas, o su capacidad para resistir nuevas aplicaciones de carga. El estado límite de servicio incluye la ocurrencia de daños económicos o la presentación de condiciones que impiden el desarrollo adecuado de las funciones para las que se hayan diseñado las estructuras.

### **4.3. HIPÓTESIS Y MODELACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS**

En el análisis de los edificios no se consideran efectos de interacción suelo-estructura, por lo que los apoyos de la estructura serán tratados como empotramientos, es decir, se restringen todos los movimientos de traslación y rotación en los ejes  $x$ ,  $y$  y  $z$ .

El sistema de piso se considera como diafragmas rígidos, por lo que no existirá deformación axial ni flexión ante cargas contenidas en su plano. Debido a que los edificios son simétricos tanto en planta como en elevación se modelaron mediante marcos rígidos. Estos marcos serán estructuras a base marcos colados en el lugar diseñados por sismo, es decir, se consideraron como marcos dúctiles de concreto reforzado.

En los momentos de diseño y en las deformaciones laterales de las estructuras se incluyen los efectos de esbeltez valuados por medio del análisis de segundo orden que considera los efectos P-Delta en el análisis estructural. Por medio de este análisis estructural se obtuvieron las fuerzas y momentos internos tomando en cuenta los efectos de las deformaciones sobre dichas fuerzas y momentos.

#### 4.4. ESPECTRO DE DISEÑO SÍSMICO

En el análisis dinámico de los edificios se utilizó el espectro de diseño según se especifica en el Apéndice A de las NTC-04. Se consideran explícitamente los efectos del periodo dominante más largo del terreno ( $T_s$ ).

En el espectro de diseño se adoptó como ordenadas del espectro de aceleraciones para diseño sísmico,  $a$ , expresada como fracción de la gravedad y calculada como se muestra en la siguiente ecuación.

$$a = \begin{cases} a_0 + (\beta c - a_0) \frac{T}{T_a}; & \text{si } T \leq T_a \\ \beta c; & \text{si } T_a < T \leq T_b \\ \beta c p \left(\frac{T_b}{T}\right)^2; & \text{si } T > T_b \end{cases} \quad (4.1)$$

$$p = k + (1 - k) \left(\frac{T_b}{T}\right)^2 \quad \text{Variable usada para el cálculo de } a$$

$\beta = 1$  Factor de reducción por amortiguamiento, se considera unitario porque se ignora la interacción suelo-estructura

$T$  Periodo natural de vibración de la estructura

$T_s = 2.0s$  Periodo predominante más largo del terreno

Los parámetros que se requieren para el cálculo de las ordenas del espectro de aceleraciones  $a$  de la ecuación 1 se obtendrán usando las siguientes expresiones:

$$a_0 = \begin{cases} 0.1 + 0.15(T_s - 0.15); & \text{si } 0.5s \leq T_s \leq 1.5s \\ 0.25; & \text{si } T_s > 1.5s \end{cases} \quad (4.2)$$

$a_0$  Coeficiente de aceleración del terreno, valor de  $a$  que corresponde a  $T = 0$

$$c = \begin{cases} 0.28 + 0.92(T_s - 0.5); & \text{si } 0.5s < T_s \leq 1.5s \\ 1.2; & \text{si } 1.5s < T_s \leq 2.5s \\ 1.2 - 0.5(T_s - 2.5); & \text{si } 2.5s < T_s \leq 3.5s \\ 0.7; & \text{si } T_s > 3.5s \end{cases} \quad (4.3)$$

$c$  Coeficiente sísmico

$$T_a = \begin{cases} 0.2 + 0.65(T_s - 0.5); & \text{si } 0.5s < T_s \leq 2.5s \\ 1.5; & \text{si } 2.5s < T_s \leq 3.25s \\ 4.5 - T_s; & \text{si } 2.5s < T_s \leq 3.5s \\ 0.85; & \text{si } T_s > 3.9s \end{cases} \quad (4.4)$$

$T_a$  Periodo característico de los espectro de diseño

$$T_b = \begin{cases} 1.35; & \text{si } T_s \leq 1.125s \\ 1.2T_s; & \text{si } 1.25s < T_s \leq 3.55s \\ 0.85; & \text{si } T_s > 3.5s \end{cases} \quad (4.5)$$

$T_b$  Periodo característico de los espectro de diseño

$$k = \begin{cases} 2 - T_s; & \text{si } 0.5s \leq T_s \leq 16.5s \\ 0.35; & \text{si } T_s > 1.65s \end{cases} \quad (4.6)$$

$k$  Variable para calcular el factor de reducción por ductilidad

Evaluando las ecuaciones anteriores se tienen los siguientes parámetros:

$$a_0 = 0.25$$

$$c = 1.2$$

$$T_a = 0.2 + 0.65(2.0 - 0.5)$$

$$T_a = 1.175s$$

$$T_b = 1.2(2.0)s$$

$$T_b = 2.4s$$

$$k = 1.35$$

En la figura 4.1 se muestra el espectro de aceleraciones para diseño sísmico utilizando los parámetros anteriores.

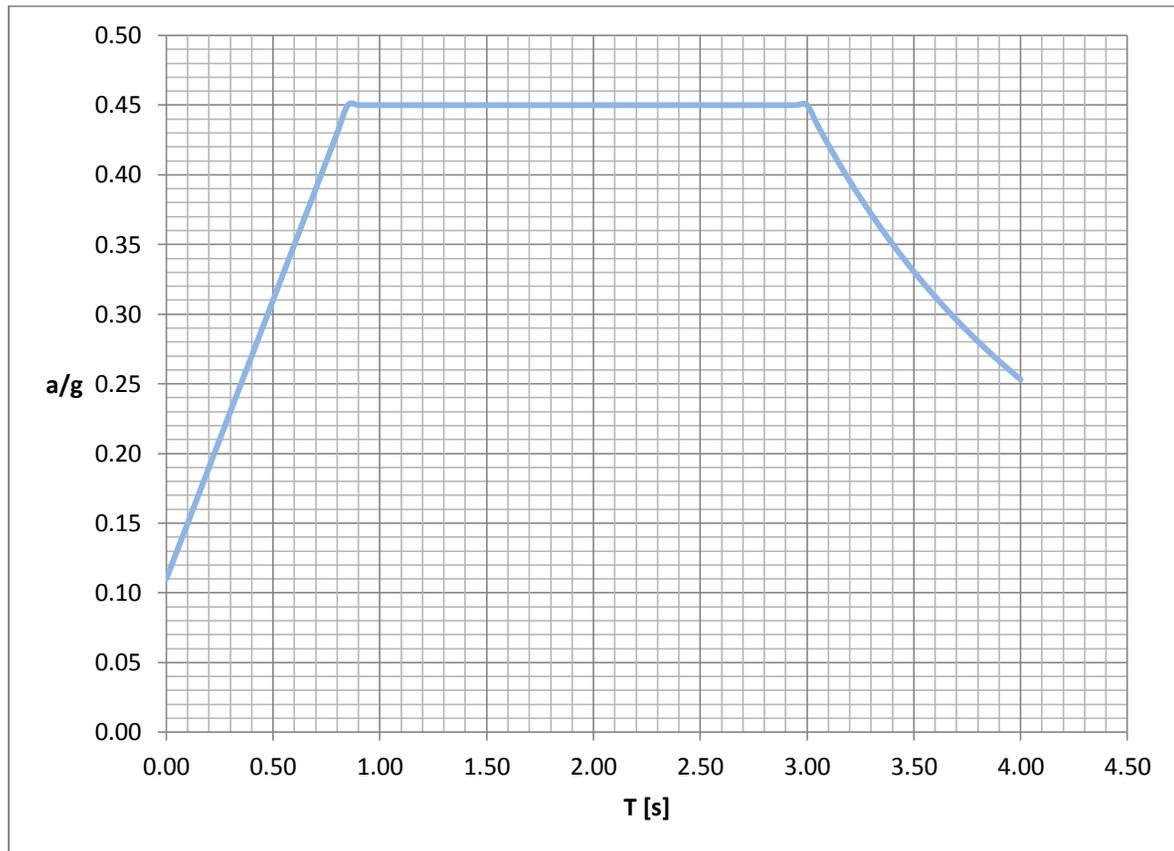


Figura 4.1 Espectro de aceleraciones para diseño sísmico, de acuerdo con el Apéndice A de las NTC-04

#### 4.5. MODELACIÓN NÚMÉRICA DE LOS EDIFICIOS

Los edificios se diseñaron con un modelo tridimensional en el programa ECOgcW, en el que la geometría de la estructura se define a través de un sistema global coordinado ortogonal tridimensional  $x$ ,  $y$  y  $z$ . Las plantas de los edificios son paralelas al plano  $x$ - $y$ , ubicando su altura en el eje  $z$ .

La geometría de los edificios se definió en el programa con retículas tridimensionales que permiten el ensamblado de los mismos. La definición de los elementos geométricos se realizó con la modelación de sólidos que cuentan con las características que se le especificaron al programa (espesor, módulo de elasticidad, densidad, relación de Poisson, etc). Para formar el diafragma rígido de cada nivel se emplearon tableros en los que se aplicaron cargas por unidad de área.

Para realizar un análisis a la estructura debido a la acción sísmica se hizo un análisis dinámico, en el cual ECOgcW da como resultado fuerzas sísmicas equivalentes que son aplicados a los estados de carga de sismo generados  $SIF_{x_1}$ ,  $SIF_{x_2}$ ,  $SIF_{y_1}$  y  $SIF_{y_2}$ . Estos corresponden a las fuerzas en cada dirección de sismo aplicadas con las excentricidades según el RCDF-04.

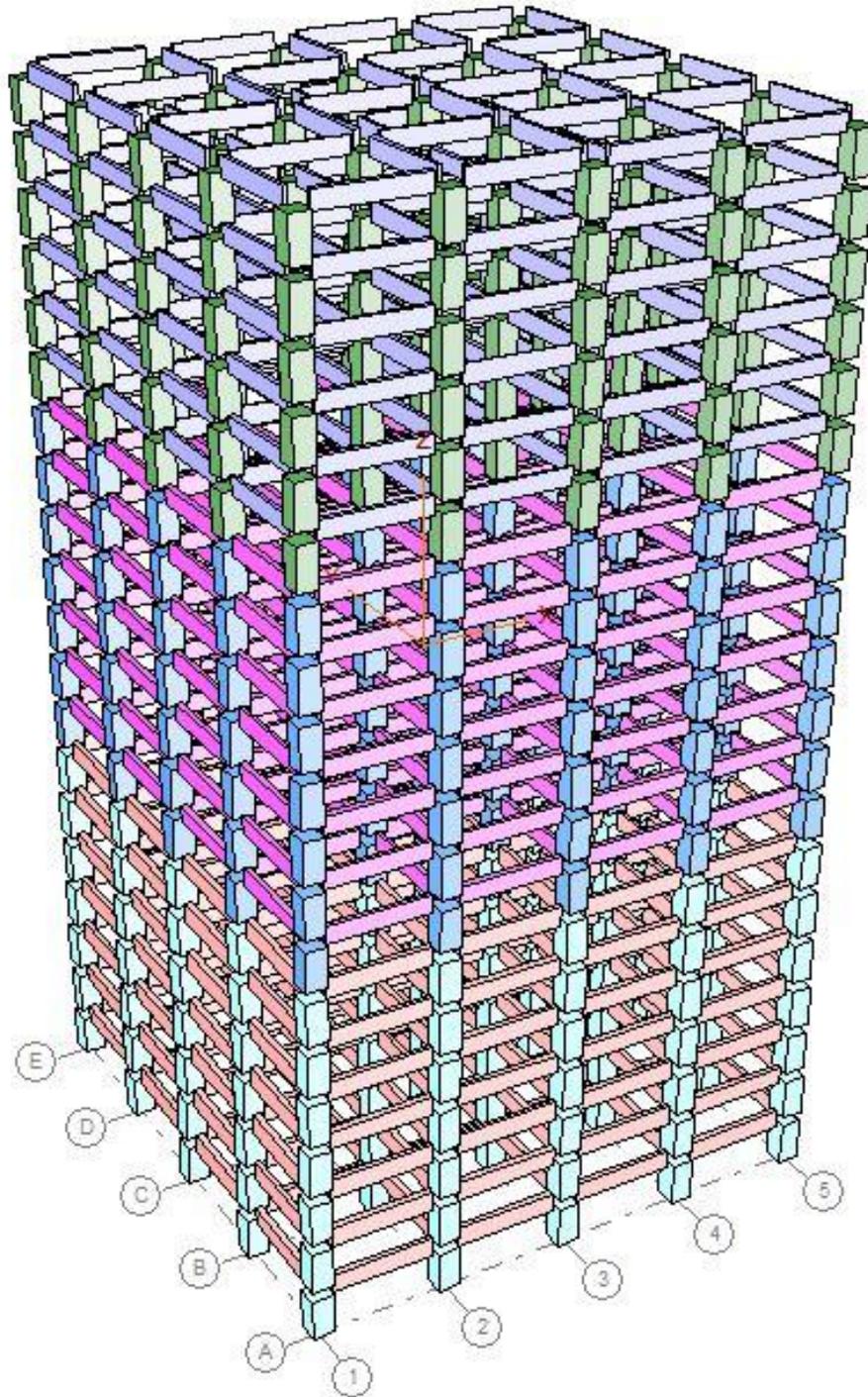


Figura 4.2 Modelo de una estructura en ECOgcW

#### 4.6. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LOS ELEMENTOS

Los elementos geométricos de las estructuras consisten en columnas de concreto reforzado con secciones cuadradas, vigas de concreto reforzado con secciones rectangulares y sistemas de pisos modelados como diafragmas rígidos.

La descripción general de la geometría de las vigas y la distribución del acero de refuerzo se muestran en la figura 4.3.

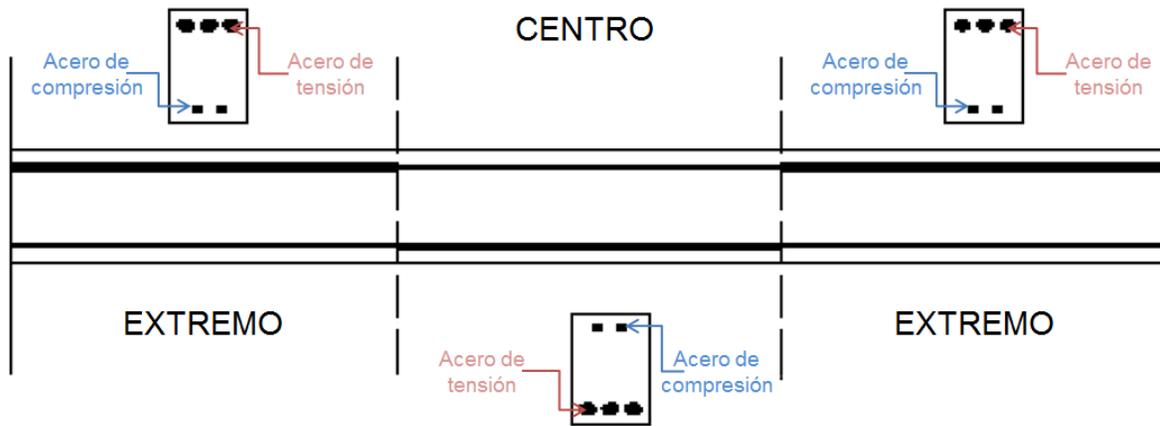


Figura 4.3 Secciones de una viga

Las vigas están definidas de acuerdo a los parámetros de la tabla 4.2.

Tabla 4.2 Parámetros de las vigas

Parámetro		Unidades
B	Base	cm
H	Peralte	cm
$AS_{ext superior}$	Acero de tensión (extremo superior)	cm <sup>2</sup>
$AS_{ext inferior}$	Acero de compresión (extremo inferior)	cm <sup>2</sup>
$AS_{cent superior}$	Acero de compresión (extremo superior)	cm <sup>2</sup>
$AS_{cent inferior}$	Acero de tensión (extremo inferior)	cm <sup>2</sup>
$S_{ext}$	Separación exterior (estribos)	cm
$S_{cen}$	Separación central (estribos)	cm

La geometría de las columnas se describe en la figura 4.4.

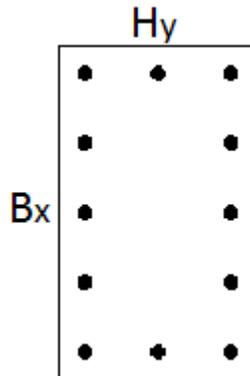


Figura 4.4 Sección de una columna

Los parámetros que definen a las columnas se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Parámetros de las columnas

Parámetro		Unidades
$B_x$	Base	cm
$H_y$	Peralte	cm
$A_{s_{columna}}$	Cuantía de acero	1
s	Separación (estribos)	cm

#### 4.7. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ELEMENTOS

De acuerdo al RCDF-04 las obras clasificadas dentro del grupo B1 usarán concreto clase I, por ello para el diseño de los edificios se consideró un concreto con las siguientes características:

Resistencia a compresión:

$$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

Módulo de elasticidad:

$$E_c = 14000\sqrt{f'c}$$

$$E_c = 221359 \text{ kg/cm}^2$$

Peso volumétrico:

$$\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$$

El acero de refuerzo tiene las siguientes características:

$$f_y = 2400 \text{ kg/m}^2$$

$$\gamma_s = 7850 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.8. CARGAS ACTUANTES

Las principales acciones que afectan a las estructuras, consideradas como fuerzas externas para el diseño de los edificios son:

Acciones permanentes:

- Carga muerta (CM). Es el conjunto de acciones que se producen por el peso propio de la construcción; incluye el peso propio de la estructura misma y el de elementos no estructurales que conservan una posición fija en la estructura.

Acciones variables:

- Carga viva máxima (CV). Es la que se debe al uso de la construcción, por lo que será la máxima intensidad que ésta pueda adquirir a lo largo de la vida esperada de la estructura.
- Carga viva instantánea (CV<sub>ins</sub>). Es el valor que pueda adquirir en un instante cualquiera dentro de la vida de la estructura, esto es en el instante en que ocurre la acción accidental.

Acciones accidentales:

- Acciones sísmicas (S). Son las que no se deben al funcionamiento normal de la estructura y que pueden alcanzar intensidades significativas sólo durante lapsos breves, en esta tesis la acción de un sismo.

En la tabla 4.4 se muestran los valores de la carga muerta (CM) para los distintos niveles de la estructura.

**Tabla 4.4 Cargas muertas**

Niveles	CM [t/m <sup>2</sup> ]
4, 6	0.518
8	0.542
10, 12	0.566
15, 20	0.590

Las cargas vivas máxima (CV) e instantánea ( $CV_{ins}$ ) de los entresijos y azotea, para oficinas de acuerdo con el RCDF-04 se muestra en la tabla 4.5. La azotea de los edificios diseñados se considera con pendiente no mayor de 5%.

**Tabla 4.5 Cargas vivas**

	Entresijo	Azotea
CV [t/ m <sup>2</sup> ]	0.25	0.10
$CV_{ins}$ [t/ m <sup>2</sup> ]	0.18	0.07

Las cargas se consideran uniformemente distribuidas sobre el área tributaria de cada elemento.

Por otra parte que la acción del sismo se tomará en cuenta para los efectos de ambas componentes del movimiento del terreno ( $S_x$  y  $S_y$ ), que se combinarán para cada dirección en la que se analice la estructura, el 100% de los efectos del componente y el 30% de los efectos en la dirección perpendicular a esta, con los signos que resulten más desfavorables para cada componente.

#### 4.9. COMBINACIÓN DE CARGAS

La seguridad de las edificaciones se verificó para el efecto combinado de todas las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente.

Es por ello que para las combinaciones que incluyan las acciones permanentes (CM), las acciones variables (CV) y únicamente una acción accidental (S) en cada combinación, y de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones 2004, se tomará un factor de carga de 1.1. Para la revisión del estado límite de servicio se tomará en todos los casos un factor de carga unitario. Estos dos casos se muestran en las primeras 2 líneas de la tabla 4.6 (combinaciones 1 y 2).

Además de las combinaciones de carga descritas anteriormente, se proponen otras combinaciones de carga en las que el factor de carga para las acciones permanentes ( $F_{CM}$ ) y el factor de carga para las acciones accidentales ( $F_{CS}$ ) varían entre 1.0, 1.1 y 1.2; considerando un factor de carga unitario para las acciones variables ( $F_{CV}$ ), como se muestra en la tabla 4.6.

**Tabla 4.6 Combinaciones de carga**

Combinación	$F_{CM}$	$F_{CV}$	$F_{CS}$
1	1.1	1.1	1.1
2	1.0	1.0	1.0
3	1.0	1.0	1.1
4	1.0	1.0	1.2
5	1.1	1.0	1.2
6	1.2	1.0	1.0
7	1.2	1.0	1.1
8	1.2	1.0	1.2
9	1.1	1.0	1.0
10	1.1	1.0	1.1

#### 4.10. DISEÑO DE LOS EDIFICIOS

De acuerdo con las secciones anteriores y conforme al RCDF-04, se realizó el diseño de los edificios de 4, 6, 8, 10, 12, 15 y 20 niveles con 3 crujiás, y alternativamente, con 4 crujiás.

Las dimensiones de las vigas y columnas se obtuvieron de acuerdo a los requerimientos de cada edificio. Como resultado de este proceso se obtuvo el diseño de 70 edificios con 3 crujiás en planta y 70 edificios con 4 crujiás. A modo ilustrativo, para el capítulo presente se mostrará detalladamente el diseño de un edificio de 6 niveles con 3 y alternativamente, 4 crujiás, así como un edificio de 15 niveles con 3 y, alternativamente con 4 crujiás en planta.

En la tabla 4.7 se muestra el dimensionamiento en centímetros de las vigas para el edificio de 6 niveles, en donde las dimensiones entre el edificio de 3 y 4 crujiás muestran variaciones. Sin embargo las dimensiones no muestran variaciones entre las distintas combinaciones con el mismo número de crujiás puesto que los factores de carga no afectan significativamente. Esto también se puede apreciar en las dimensiones del edificio de 15 niveles que se muestra en la tabla 4.8.

**Tabla 4.7 Dimensiones de vigas para edificio de 6 niveles**

Piso	3 Crujiás				4 Crujiás			
	1,2		3,4		1,2		3,4	
	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]						
1	25	60	20	55	25	65	20	50
2	25	60	20	55	25	65	20	50
3	25	60	20	55	25	65	20	50
4	25	60	20	55	25	65	20	50
5	25	60	20	55	25	65	20	50
6	25	60	20	55	25	65	20	50
7	25	60	20	55	25	65	20	50
8	25	60	20	55	25	65	20	50
9	25	60	20	55	25	65	20	50
10	25	60	20	55	25	65	20	50

**Tabla 4.8 Dimensiones de vigas para edificios de 15 niveles**

Piso	3 Crujiás						4 Crujiás					
	1,2,3,4,5		6,7,8,9,10		11,12,13,14,15		1,2,3,4,5		6,7,8,9,10		11,12,13,14,15	
	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]										
1	40	125	35	120	35	100	40	125	35	120	35	120
2	40	125	35	120	35	100	40	125	35	120	25	120
3	40	125	35	120	35	100	40	125	35	120	25	120
4	40	125	35	120	35	100	45	125	35	120	25	120
5	40	125	35	100	35	100	45	125	35	120	25	120
6	40	125	35	120	35	100	40	125	35	120	25	120
7	40	125	35	120	35	100	40	125	35	120	35	120
8	40	125	35	120	35	100	45	125	35	120	25	120
9	40	125	35	120	35	100	40	125	35	120	25	120
10	40	125	35	120	35	100	40	125	35	120	25	120

En las tablas 4.9 y 4.10 se muestran las dimensiones de las columnas correspondientes al edificio de 6 niveles y de 15 niveles, respectivamente. En donde se aprecia de igual forma que la variación de los factores de carga al aplicar diferentes combinaciones a los diseños no afecta significativamente, y las dimensiones no solo de vigas, sino también de columnas muestran mayores variaciones de un diseño de 3 o 4 crujiás a un diseño con una combinación de carga diferente.

**Tabla 4.9 Dimensión de columnas para edificio de 6 niveles**

Piso	3 Crujiás				4 Crujiás			
	1,2		3,4		1,2		3,4	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]						
1	60	60	50	50	60	60	55	55
2	60	60	50	50	60	60	55	55
3	60	60	50	50	60	60	55	55
4	65	65	55	55	65	65	55	55
5	60	60	50	50	65	65	55	55
6	60	60	50	50	60	60	55	55
7	60	60	50	50	60	60	55	55
8	60	60	50	50	65	65	55	55
9	60	60	50	50	60	60	55	55
10	60	60	50	50	60	60	55	55

**Tabla 4.10 Dimensión de columnas para edificio de 15 niveles**

Piso	3 Crujiás						4 Crujiás					
	1,2,3,4,5		6,7,8,9,10		11,12,13,14,15		1,2,3,4,5		6,7,8,9,10		11,12,13,14,15	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]										
1	145	145	140	140	130	130	155	155	145	145	135	135
2	145	145	140	140	130	130	155	155	145	145	135	135
3	145	145	140	140	130	130	155	155	145	145	135	135
4	150	150	140	140	130	130	160	160	150	150	140	140
5	150	150	140	140	130	130	160	160	150	150	140	140
6	145	145	140	140	130	130	155	155	145	145	135	135
7	145	145	140	140	130	130	155	155	145	145	135	135
8	150	150	140	140	130	130	160	160	150	150	140	140
9	145	145	140	140	130	130	155	155	145	145	135	135
10	145	145	140	140	130	130	155	155	145	145	135	135

Las dimensiones de vigas y columnas de los edificios de 4, 6, 8, 10, 12 y 20 niveles se presentan en el Anexo A.

Los periodos fundamentales de la estructura, es decir el tiempo que ésta toma en dar un ciclo completo, cuando experimenta vibración no forzada, se muestran en la tabla 4.11 para edificios con 3 crujiás, y en la tabla 4.12 para estructuras con 4 crujiás.

**Tabla 4.11 Periodo fundamental de edificios con 3 crujiás**

Combinación	T [s]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	0.998	1.242	1.385	1.539	1.728	1.915	2.169
2	0.998	1.242	1.385	1.539	1.728	1.915	2.169
3	0.998	1.242	1.385	1.539	1.728	1.915	2.153
4	0.972	1.189	1.385	1.539	1.728	1.898	2.123
5	0.972	1.242	1.385	1.539	1.728	1.898	2.081
6	0.998	1.242	1.385	1.539	1.728	1.915	2.169
7	0.998	1.242	1.385	1.539	1.728	1.915	2.169
8	0.972	1.242	1.385	1.539	1.728	1.898	2.096
9	0.972	1.242	1.385	1.539	1.728	1.915	2.169
10	0.972	1.242	1.385	1.539	1.728	1.915	2.169

**Tabla 4.12 Periodo fundamental de edificios con 4 crujiás**

Combinación	T [s]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	0.995	1.224	1.390	1.563	1.700	1.878	2.051
2	0.995	1.224	1.390	1.563	1.700	1.878	2.051
3	0.995	1.224	1.390	1.563	1.700	1.878	2.020
4	0.995	1.184	1.390	1.540	1.700	1.827	1.896
5	0.995	1.184	1.390	1.540	1.702	1.827	1.896
6	0.995	1.224	1.390	1.563	1.700	1.878	2.051
7	0.995	1.224	1.390	1.563	1.700	1.878	2.051
8	0.995	1.184	1.390	1.540	1.702	1.827	1.896
9	0.995	1.224	1.390	1.563	1.700	1.878	2.051
10	0.995	1.224	1.390	1.563	1.700	1.878	2.051

De acuerdo a los requisitos para marcos dúctiles presentados en las NTC, los miembros principales que trabajan esencialmente a flexión deberán tener una cuantía de acero longitudinal a tensión que no exceda de 0.025, en los miembros sometidos a flexocompresión la cuantía de refuerzo longitudinal no será menor que 0.01, ni mayor que 0.04.

Cumpliendo los requisitos anteriormente expuestos, se muestra en las tablas 4.13 y 4.14 el área de acero de refuerzo en vigas para un edificio de 6 niveles con 3 y 4 crujiás, respectivamente. En estas tablas se puede apreciar la variación de una combinación de factores de carga a otra, así como el aumento de la magnitud de acero al aumentar el edificio de 3 a 4 crujiás.

**Tabla 4.13 Cuantía de acero en vigas para edificio de 6 niveles con 3 crujiás**

Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1,2,3	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	19.1	17	18.8	20.1	21	17.4	19.3	21.1	17.2	19	
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.2	11.8	13.4	14.7	14.9	11.4	13	14.7	11.6	13.2	
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	4.1	3.7	4.1	4.3	4.4	3.8	4.1	4.5	3.8	4.1	
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	4.1	3.7	4.1	4.3	4.4	3.8	4.1	4.5	3.8	4.1	
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
4,5,6	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.8	12.3	13.5	14.3	15.1	12.7	14	15.3	12.5	13.8	
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	7.8	7	8	8.7	8.9	6.6	7.6	8.7	6.8	7.8	
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	3	2.7	2.9	3.1	3.2	2.8	3	3.2	2.7	3	
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	3	2.7	2.9	3.1	3.2	2.8	3	3.2	2.7	3	
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

**Tabla 4.14 Cuantía de acero en vigas para edificio de 6 niveles con 4 crujiás**

Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	25.5	23.9	25.8	26.8	26.9	24.2	26.1	27.1	24.1	26
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	20.4	16.9	21.5	22.9	22.8	18.5	21.1	22.5	18.7	21.3
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	5.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.2	5.7	5.9	5.1	5.6
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	5.5	5.1	5.6	5.8	5.9	5.2	5.7	5.9	5.1	5.6
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	15	15	10	10	15	10	10	15	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	20	20	20	15	15	20	20	15	20	20
4,5,6	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	18.4	17.6	18.1	20	20.3	17.2	18.5	19.8	17	18.3
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	12.6	8.2	12.9	10	9.8	10.7	12.4	14.2	10.9	12.7
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	4	5	4	5	5	3.8	4.1	4.4	3.7	4
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	4	5	4	5	5	3.8	4.1	4.4	3.7	4
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

En las tablas 4.15 y 4.16 se muestra el acero en vigas requerido para el edificio de 15 niveles.

**Tabla 4.15 Cuantía de acero en vigas para edificio de 15 niveles con 3 crujeas**

Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4,5	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	109	99.9	109	115	116	102	110	116	101	109
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	92.1	81.9	93.1	103	103	80.5	91.5	102	81.2	92.3
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	23.4	21.2	23.3	25.1	25.2	21.5	23.5	25.3	21.3	23.4
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	23.4	21.2	23.3	25.1	25.2	21.5	23.5	25.3	21.3	23.4
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6,7,8,9,10	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	92.6	85.3	92	98.2	98.7	86.4	93	99.2	85.9	92.5
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	75.7	67.4	76.6	86	85.4	66	75.2	84.6	66.7	75.9
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	19.9	18	19.8	21.4	21.5	18.3	20	21.7	18.2	19.9
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	19.9	18	19.8	21.4	21.5	18.3	20	21.7	18.2	19.9
	S <sub>ext</sub> [cm]	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11,12,13,14,15	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	54.9	49	53.9	59.2	60	50.6	55.5	60.8	49.8	54.7
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	34.9	31.4	35.8	40.5	39.8	30.1	34.4	39.1	30.8	36.1
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	12.1	11	11.9	12.9	13.1	11.3	12.2	13.2	11.1	12.1
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	12.1	11	11.9	12.9	13.1	11.3	12.2	13.2	11.1	12.1
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

**Tabla 4.16 Cuantía de acero en vigas para edificio de 15 niveles con 4 crujeas**

Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4,5	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	112	103	111	125	126	104	112	126	103	112
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	97	86.1	97.9	113	112	84.7	96.4	111	85.4	97.1
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	24.1	21.8	23.9	27.1	27.2	22	24.2	27.3	21.9	24.1
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	24.1	21.8	23.9	27.1	27.2	22	24.2	27.3	21.9	24.1
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6,7,8,9,10	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	94.7	87.3	94.1	97.7	98.2	88.3	95.1	98.7	87.8	94.6
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	79.7	70.8	80.6	66.2	85.7	69.4	79.2	85.1	70.1	79.9
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	20.5	18.5	20.3	21.3	21.4	18.8	20.6	21.5	18.7	20.5
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	20.5	18.5	20.3	21.3	21.4	18.8	20.6	21.5	18.7	20.5
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11,12,13,14,15	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	50	44.6	49.2	54.3	55	45.9	50.6	55.6	45.3	49.9
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	33.4	30	34.1	38.9	38.4	28.9	32.9	37.8	29.4	33.5
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	11	9.9	10.8	11.7	11.9	10.2	11.1	12	10.1	10.9
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	11	9.9	10.8	11.7	11.9	10.2	11.1	12	10.1	10.9
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Las cuantías de acero en vigas del edificio de 15 niveles presentan variaciones similares que el edificio de 6 niveles, ya que la cuantía de acero varía de una combinación a otra y de un edificio de 3 crujiás a uno de 4.

Las tablas 4.17 y 4.18 presentan las cuantías de acero en las columnas del edificio de 6 niveles, y las tablas 4.19 y 4.20 muestran las cuantías de acero en columnas para el edificio de 15 niveles. Estas cuantías presentan un comportamiento similar en su variación al de las cuantías en vigas, pues se muestra un cambio en la cuantía de una combinación a otra, y de un edificio de 3 crujiás a uno con 4 crujiás para un edificio con el mismo número de pisos.

**Tabla 4.17 Cuantía de acero en columnas para edificio de 6 niveles con 3 crujiás**

Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3	$A_{s_{columna}}$ [cm <sup>2</sup> ]	95.9	85.5	96.9	108	108	83.7	95.2	107	84.6	96
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4,5,6	$A_{s_{columna}}$ [cm <sup>2</sup> ]	49.1	42.1	49.3	42.2	56.6	41.5	49	56.5	41.8	49.1
	s [cm]	15	15	15	10	15	15	15	15	15	15

**Tabla 4.18 Cuantía de acero en columnas para edificio de 6 niveles con 4 crujiás**

Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3	$A_{s_{columna}}$ [cm <sup>2</sup> ]	102	91.1	103	111	110	89.3	102	109	90.2	102
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4,5,6	$A_{s_{columna}}$ [cm <sup>2</sup> ]	57.6	49.6	57.7	40.6	45	48.6	60	50.2	49.1	57.3
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

**Tabla 4.19 Cuantía de acero en columnas para edificio de 15 niveles con 3 crujiás**

Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4,5	$A_{s_{columna}}$ [cm <sup>2</sup> ]	570	509	583	666	654	389	560	642	497	571
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6,7,8,9,10	$A_{s_{columna}}$ [cm <sup>2</sup> ]	196	196	196	196	196	196	196	196	196	196
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
11,12,13,14,15	$A_{s_{columna}}$ [cm <sup>2</sup> ]	169	169	169	169	169	169	169	169	169	169
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

**Tabla 4.20 Cuantía de acero en columnas para edificio de 15 niveles con 4 crujiás**

Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4,5	$A_{s_{columna}}$ [cm <sup>2</sup> ]	662	592	676	738	725	546	651	712	579	663
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6,7,8,9,10	$A_{s_{columna}}$ [cm <sup>2</sup> ]	210	210	210	225	225	210	210	225	210	210
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
11,12,13,14,15	$A_{s_{columna}}$ [cm <sup>2</sup> ]	182	182	182	196	196	182	182	196	182	182
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

La cuantía de acero en vigas y columnas para edificios de 4, 8, 10, 12 y 20 niveles, con 3 y alternativamente con 4 crujiás, se muestran en el Anexo B.

En la tabla 4.21 se presentan las distorsiones de entrepiso para cada edificio con 3 crujiás y en la tabla 4.22 se presentan las distorsiones máximas de entrepiso para las estructuras con 4 crujiás.

Para seguridad contra colapso, las NTC indican que las distorsiones permisibles de entrepiso para marcos dúctiles se limitarán a 0.03. En las siguientes tablas puede verificarse que la distorsión de entrepiso esta dentro del límite permisible.

**Tabla 4.21 Distorsión de entrepiso para edificios con 3 crujiás**

Combinación	Drift [1]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	0.02946	0.0302	0.02911	0.02958	0.3018	0.0293	0.02925
2	0.02946	0.0302	0.02911	0.02958	0.3018	0.0293	0.02925
3	0.02946	0.0302	0.02911	0.02958	0.3018	0.0293	0.02912
4	0.02499	0.0275	0.02911	0.02958	0.3018	0.02916	0.02892
5	0.02499	0.0302	0.02911	0.02958	0.3018	0.02916	0.02689
6	0.02946	0.0302	0.02911	0.02958	0.3018	0.0293	0.02925
7	0.02946	0.0302	0.02911	0.02958	0.3018	0.0293	0.02925
8	0.02499	0.0302	0.02911	0.02958	0.3018	0.02916	0.02658
9	0.02499	0.0302	0.02911	0.02958	0.3018	0.0293	0.02925
10	0.02499	0.0302	0.02911	0.02958	0.3018	0.0293	0.02925

**Tabla 4.22 Distorsión de entrepiso para edificios con 4 crujiás**

Combinación	Drift [1]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	0.02942	0.02984	0.02964	0.02908	0.02939	0.02994	0.02634
2	0.02942	0.02984	0.02964	0.02908	0.02939	0.02994	0.02634
3	0.02942	0.02984	0.02964	0.02908	0.02939	0.02994	0.02588
4	0.02942	0.02966	0.02964	0.02908	0.02939	0.02887	0.02310
5	0.02942	0.02966	0.02964	0.02908	0.03045	0.02897	0.02310
6	0.02942	0.02984	0.02964	0.02908	0.02939	0.02994	0.02634
7	0.02942	0.02984	0.02964	0.02908	0.02939	0.02994	0.02634
8	0.02942	0.02966	0.02964	0.02908	0.03045	0.02897	0.02310
9	0.02942	0.02984	0.02964	0.02908	0.02939	0.02994	0.02634
10	0.02942	0.02984	0.02964	0.02908	0.02939	0.02994	0.02634



## CAPÍTULO 5

### COSTOS INICIALES DE LOS EDIFICIOS CORRESPONDIENTES A LAS DIFERENTES COMBINACIONES DE FACTORES DE CARGA

El análisis de costos de una estructura es muy importante, pues la consumación de un proyecto de ciertas características depende del costo total de la estructura o la estructura está en función de un costo determinado.

Es por ello que en este capítulo se obtendrán los costos iniciales de acuerdo al volumen de material obtenido de los 140 edificios diseñados, el método empleado para obtener el costo inicial de los materiales y posteriormente el costo inicial total se explica con detalle en este capítulo.

La obtención de los costos totales iniciales permitirá realizar una comparación, pues aunque el diseño de los edificios tiene como base las mismas características, existen tres factores que harán variar estos costos iniciales: el número de niveles, el número de crujías y la combinación de factores de carga.

Lo anterior permitirá mostrar la variación de los costos entre el diseño de un edificio con los factores de carga establecidos en el RCDF-04 y el costo de una estructura considerando factores de carga distintos a los de este reglamento.

#### 5.1. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE UNA ESTRUCTURA DE C/R

El concreto cuyas características de resistencia, versatilidad, durabilidad y economía, lo han convertido en el material de construcción más utilizado en todo el mundo; por ello el concreto reforzado se ha convertido en el material perfecto para la construcción de viviendas y edificaciones, así como estructuras de todo tipo gracias a su maleabilidad para adaptarse a una gran cantidad de formas y a la facilidad para manejarlo que proporciona a los trabajadores durante la construcción. Debido a esto, el concreto reforzado representa un costo relativamente alto en la estimación del costo total de una estructura, que debe de ser estimado considerando varios factores.

Uno de los métodos más empleados para la estimación del costo de una estructura es asignar un porcentaje a cada uno de los costos por unidad de área o volumen según sea el caso con base en una cuantificación de material. Por lo que la cuantificación de materiales se puede considerar como la primera parte de una estimación de costos, sin embargo la importancia de la cuantificación también radica en que es fundamental para la estimación de todo el proceso constructivo de la estructura, pues es necesario determinar la cantidad de materiales que se requerirán en el proceso de construcción.

La cuantificación de material se realiza con base en un diseño que proporcione las dimensiones, tipo de material y la localización específica de los elementos. Esto proporcionará los datos necesarios para determinar el área utilizable de la construcción, volumen o número de unidades utilizadas. Y conforme a publicaciones recientes, y de acuerdo al tipo de construcción que más se aproxime al campo del proyecto, se asociará un costo unitario que permitirá realizar la estimación del costo de una estructura.

Este procedimiento consiste básicamente en la estandarización de costos por área, volumen o unidad utilizada, y puede proporcionar un método bastante útil para la estimación de un proyecto. Sin embargo la cuantificación de material en muchos de los casos es un proceso tedioso para determinar las cantidades necesarias para la construcción. Además es un proceso en el que se debe de ser muy cuidadoso, de tal forma que se produzca la cuantificación correcta de todos los materiales de la estructura.

## 5.2. COSTO DIRECTO, INDIRECTO Y UTILIDAD

La estimación del costo total de una estructura se divide en tres componentes: costos directos, costos indirectos y utilidades.

Los costos directos son las erogaciones aplicadas exclusivamente, vinculadas, asignadas e imputables a la ejecución física de un concepto de trabajo, por lo que se define como la suma de los materiales, mano de obra y equipo necesario para la realización de un proceso productivo. Aunque este costo varía de una estructura a otra, puede convertirse en una erogación constante para una obra específica o para un rango de obras promedio. El costo de mano de obra es el que deriva de las erogaciones que hace el contratista por el pago de salarios reales al personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo que se trate.

Los costos indirectos son considerados como aquellos costos que no llegan a ser una parte final de la instalación, pero que son requeridos para llevar a cabo esta labor. Por ello no pueden asignarse a un concepto de trabajo en particular así que tienen que ser distribuidos ya que pueden incluir en forma no limitativa a la administración de campo, supervisión directa, herramientas mayúsculas, transporte de maquinaria o equipo de construcción, costos de arranque, cuotas, seguros, impuestos, cargos de oficinas de campo y centrales. Además, este rubro contempla prestaciones laborales y sociales correspondientes al personal (técnico, administradores), materiales (consumibles), equipo (computadoras, vehículos) y servicios (renta de locales).

La utilidad, por lo general se considera antes de impuestos sobre la renta y es el remanente de los ingresos menos los egresos. Es la ganancia que debe percibir el contratista por la ejecución del concepto de trabajo.

## 5.3. COSTO INICIAL DEL ACERO Y EL CONCRETO

La estimación del costo total de una estructura está dada por la función de costos que se muestra en la ecuación 5.1, donde se representa como la suma total del costo inicial y el costo asociado a los daños acumulados a lo largo de la vida útil de la estructura.

$$C_T = C_i + C_d \quad (5.1)$$

Donde

- $C_T$  Costo total de la estructura
- $C_i$  Costo inicial
- $C_d$  Costo asociado a los daños

El costo inicial está integrado por el costo directo, costo indirecto y utilidad.

Con base en el diseño de la estructura se puede hacer una estimación del costo inicial en función del costo de los materiales empleados para la construcción del edificio. El costo directo (CDI), que considera el material y la mano de obra se aproxima como el 40% del costo del material cuantificado como se puede ver en la ecuación 5.2.

$$CDI = 1.4CM \quad (5.2)$$

Donde

*CDI* Costo directo

*CM* Costo del material

El costo indirecto (*CIN*) se considera como el 20% del costo directo (*CDI*).

$$CIN = 0.2CDI \quad (5.3)$$

Donde

*CIN* Costo indirecto

Mientras que la utilidad (*UM*) se estima como el 15% de la suma del costo directo (*CDI*) y el costo indirecto (*CIN*).

$$UM = 0.15(CDI + CIN) \quad (5.4)$$

Donde

*UM* Utilidad

Con base en que la estimación del costo inicial de una estructura (*CI*) está compuesto por el costo directo, el costo indirecto y la utilidad es posible obtener la ecuación 5.5.

$$CI = CDI + CIN + UM \quad (5.5)$$

Donde

*CI* Costo inicial

El costo inicial puede expresarse en función del costo del material como se muestra en la ecuación 5.6.

$$CI = 1.93CM \quad (5.6)$$

La ecuación 5.6 puede calcular el costo inicial de una estructura con base en el material que se requiera. Por lo que para una edificación de concreto reforzado se puede calcular el costo inicial de la estructura obteniendo el volumen de concreto de acuerdo al diseño. Asimismo, se puede calcular el costo inicial de la estructura considerando el peso del acero estructural.

Si para calcular el costo inicial se consideran ambos parámetros, tanto concreto como acero de refuerzo es posible obtener una aproximación del costo inicial total de una edificación como se muestra en la ecuación 5.7.

$$C_{IT} = C_{ic} + C_{ia} \quad (5.7)$$

Donde

- $C_{IT}$  Costo inicial total
- $C_{ic}$  Costo inicial correspondiente a concreto
- $C_{ia}$  Costo inicial correspondiente a acero

#### 5.4. COSTO UNITARIO DE LOS MATERIALES

Una vez realizada la cuantificación de los materiales, el siguiente paso para determinar el costo inicial de una edificación es determinar el costo de cada uno de los materiales. Para obtener el costo del material utilizado es necesario utilizar el costo unitario de cada uno de los materiales.

El costo unitario de cada material es proporcionado por los proveedores, como importe de la remuneración o pago total que debe cubrirse al contratista para adquirir o producir todos los materiales necesarios por unidad de concepto terminado, ejecutado correctamente conforme al proyecto, normas de calidad y especificaciones de construcción generales y particulares de construcción requerida por las dependencias o entidad.

En el análisis de costos se consideran valores actuales de precios unitarios. En donde el costo unitario del concreto representa el total del costo directo como la suma de todos los costos incluyendo mano de obra, mientras que el costo unitario del acero de refuerzo considera un costo unitario promedio, es decir, independientemente del diámetro de la varilla.

En la tabla 4.1 se muestran los costos unitarios del concreto y del acero, utilizados para calcular el costo inicial total de las edificaciones (F. García Jarque (2014); R. Ganados (2014), comunicación personal).

**Tabla 5.1 Costo unitario de los materiales**

Material	Costo unitario [M.N.]
Concreto $f'c=250$ [kg/cm <sup>2</sup> ]	1500/m <sup>3</sup>
Acero	9000/t

### 5.5. COSTO INICIAL DEL ACERO

Un adecuado diseño estructural proporcionará cantidades óptimas de material de las que dependerá el costo inicial. Y de acuerdo a la ecuación 5.6, el costo inicial deberá considerar los costos directos, indirectos y utilidades, como se expresa en la siguiente ecuación (ver ec. 5.6).

$$C_{ia} = 1.93CM_a \quad (5.8)$$

Donde

$C_{ia}$  Costo inicial correspondiente a acero  
 $CM_a$  Costo del acero

A su vez el costo del acero puede calcularse de acuerdo a la ecuación 5.9, en donde estará en función del volumen de material, densidad y de su costo unitario.

$$CM_a = V_a(\gamma_a)(C_{ua}) \quad (5.9)$$

Donde

$V_a$  Volumen del acero [m<sup>3</sup>]  
 $\gamma_a$  Densidad del acero [t/m<sup>3</sup>]  
 $C_{ua}$  Costo unitario del acero [M.N./t]

Sustituyendo la ecuación 5.9 en la 5.8 se obtiene la ecuación 5.10, que representa una ecuación directa para calcular el costo inicial del acero de refuerzo.

$$C_{ia} = 1.93(V_a)(\gamma_a)(C_{ua}) \quad (5.10)$$

La densidad del acero se considera como:

$$\gamma_a = 9.85 \frac{t}{m^3}$$

El programa ECOgcW proporcionó el volumen de acero de refuerzo en metros cúbicos, requerido para cada uno de los edificios de acuerdo a su diseño. Este volumen se muestra en la tabla 5.2 para edificios con 3 crujiás y en la tabla 5.3 para edificios con 4 crujiás.

En ambas tablas se observa que el volumen de acero varía de una combinación a otra, y a su vez este volumen aumenta conforme el número de niveles del edificio incrementa, y el número de crujiás pasa de 3 a 4.

**Tabla 5.2 Volumen de acero para edificios con 3 crujiás**

Combinación	V <sub>a</sub> [m <sup>3</sup> ]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	12.082	23.305	71.500	112.531	170.981	347.309	587.229
2	10.818	21.076	66.770	106.000	161.536	325.838	550.700
3	11.993	23.316	71.308	112.653	171.832	348.872	593.723
4	12.746	25.362	76.064	120.366	182.879	374.520	641.054
5	12.752	25.608	76.198	119.778	191.975	371.814	639.609
6	10.975	21.031	66.869	105.878	160.722	325.052	545.975
7	12.160	23.178	71.640	112.784	171.197	346.954	584.562
8	12.832	25.607	76.473	123.909	181.775	370.401	633.579
9	10.606	21.045	66.917	106.063	160.717	325.316	546.994
10	11.612	23.211	71.451	112.690	170.984	347.304	587.956

**Tabla 5.3 Volumen de acero para edificios con 4 crujiás**

Combinación	V <sub>a</sub> [m <sup>3</sup> ]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	20.798	39.613	125.341	183.777	279.794	579.471	1020.165
2	18.874	35.985	116.919	170.192	262.344	545.169	955.326
3	20.411	39.673	124.746	182.87	280.661	582.423	1045.399
4	22.36	42.645	133.369	196.207	289.564	638.512	1152.674
5	22.197	42.357	133.55	195.996	292.994	635.431	1148.89
6	18.999	36.042	117.73	171.699	262.741	545.169	954.763
7	20.475	39.697	125.792	184.604	280.201	579.471	1021.257
8	22.255	42.217	134.119	196.477	292.736	633.053	1154.282
9	18.978	35.997	117.366	170.99	262.073	543.578	952.382
10	20.422	39.582	125.212	183.583	262.073	579.537	1020.278

Aplicando la ecuación 5.10 y utilizando el volumen de acero proporcionado por el software de diseño estructural, se obtuvieron los costos iniciales del acero de refuerzo para estructuras con 3 crujiás y con 4 crujiás. Esto se muestra en las tablas 5.4 y 5.5, respectivamente. Debido a que el costo inicial del material depende del volumen de éste, los costos iniciales del acero muestran una variación que es proporcional a su volumen.

**Tabla 5.4 Costo inicial de acero para edificios con 3 crujeas**

Combinación	$C_{ia}$ [M.N.]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	1647435	3177742	9749347	15344108	23314029	47357145	80071317
2	1475083	2873807	9104390	14453577	22026161	44429478	75090423
3	1635300	3179242	9723167	15360743	23430066	47570267	80956803
4	1737974	3458223	10371669	16412446	24936375	51067487	87410598
5	1738793	3491766	10389940	16332269	26176655	50698512	87213565
6	1496491	2867671	9117889	14436942	21915168	44322303	74446148
7	1658071	3160425	9768436	15378606	23343481	47308739	79707659
8	1749701	3491630	10427438	16895550	24785839	50505843	86391348
9	1446176	2869580	9124434	14462167	21914486	44358301	74585093
10	1583348	3164924	9742665	15365789	23314438	47356463	80170446

**Tabla 5.1 Costo inicial de acero para edificios con 4 crujeas**

Combinación	$C_{ia}$ [M.N.]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	2835901	5401411	17090809	25058821	38151171	79013478	139104088
2	2573555	4906717	15942432	23206445	35771785	74336246	130262999
3	2783132	5409592	17009678	24935147	38269390	79415997	142544858
4	3048887	5814838	18185463	26753707	39483354	87063985	157172287
5	3026661	5775568	18210143	26724937	39951050	86643876	156656322
6	2590599	4914489	16053015	23411931	35825918	74336246	130186231
7	2791858	5412865	17152305	25171586	38206667	79013478	139252988
8	3034569	5756478	18287729	26790523	39915871	86319625	157391545
9	2587736	4908353	16003382	23315256	35734833	74119306	129861571
10	2784632	5397184	17073220	25032368	35734833	79022478	139119497

## 5.6. COSTO INICIAL DEL CONCRETO

Al igual que para el acero de refuerzo, el costo inicial del concreto dependerá de su volumen y costo unitario y deberá incluir los costos directos, costos indirectos y utilidades, como se indica en la ecuación 5.11

$$C_{ic} = 1.93CM_c \quad (5.11)$$

Donde

$C_{ic}$  Costo inicial correspondiente al concreto  
 $CM_c$  Costo del concreto

El costo del concreto puede calcularse con la ecuación 5.12. Dicho costo es función del volumen de material y de su costo unitario.

$$CM_c = V_c(C_{uc}) \quad (5.12)$$

Donde

$V_c$  Volumen del concreto [ $m^3$ ]

$C_{uc}$  Costo unitario del concreto [M.N./ $m^3$ ]

Sustituyendo la ecuación 5.12 en la 5.11 se puede calcular el costo inicial del concreto.

$$C_{ic} = 1.93(V_c)(C_{uc}) \quad (5.13)$$

El software de diseño estructural ECOgcW proporciona el volumen en metros cúbicos del concreto. Los resultados se muestran en las tablas 5.6 y 5.7.

**Tabla 5.6 Volumen de concreto para edificios con 3 crujeas**

Combinación	$V_c [m^3]$						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	120.88	229.44	749.76	1144	1673.6	3364.8	5459.56
2	120.88	229.44	749.76	1144	1673.6	3364.8	5459.56
3	120.88	229.44	749.76	1144	1673.6	3364.8	5534.6
4	126.32	251.52	749.76	1144	1673.6	3412	5691.4
5	126.32	229.44	749.76	1144	1673.6	3412	5804.8
6	120.88	229.44	749.76	1144	1673.6	3364	5459.8
7	120.88	229.44	749.76	1144	1673.6	3364	5459.56
8	126.32	229.44	749.76	1144	1673.6	3412	5725.28
9	126.32	229.44	749.76	1144	1673.6	3364	5459.56
10	126.32	229.44	749.76	1144	1673.6	3364	5459.56

**Tabla 5.7 Volumen de concreto para edificios con 4 crujeas**

Combinación	$V_c [m^3]$						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	214.90	387.75	1265.45	1787.35	2705.80	5603.75	9962.25
2	214.90	387.75	1265.45	1787.35	2705.80	5603.75	9962.25
3	214.90	387.75	1265.45	1787.35	2705.80	5603.75	10314.00
4	214.90	406.50	1265.45	1828.35	2746.00	5950.00	11339.00
5	214.90	406.50	1265.45	1828.35	2653.20	5950.00	11339.00
6	214.90	387.75	1265.45	1787.35	2705.80	5603.75	9962.25
7	214.90	387.75	1265.45	1787.35	2705.80	5603.75	9962.25
8	214.90	406.50	1265.45	1828.35	2653.20	5950.00	11339.00
9	214.90	387.75	1265.45	1787.35	2705.80	5603.75	9962.25
10	214.90	387.75	1265.45	1787.35	2705.80	5603.75	9962.25

Ya que el volumen de concreto depende de las dimensiones de los elementos estructurales, y las dimensiones tanto en las vigas como en las columnas presentan poca variación, el volumen de concreto presenta pocos cambios al utilizar diferentes combinaciones de factores de carga. Aunque este volumen incrementa de acuerdo al número niveles, y de acuerdo al diseño de un edificio con 3 crujiás o uno con 4 crujiás.

Utilizando la ecuación 5.13 se obtuvo el costo inicial del concreto para cada uno de los diferentes diseños. Este costo se muestra en la tabla 5.8 para edificios con 3 crujiás y en la 5.9 para edificios con 4 crujiás. Los costos iniciales del concreto tendrán la misma variación que el volumen, ya que el costo inicial depende de este parámetro.

**Tabla 5.8 Costo inicial de concreto para edificios con 3 crujiás**

Combinación	C <sub>ic</sub> [M.N.]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	349948	664229	2170555	3311880	4845072	9741096	15805426
2	349948	664229	2170555	3311880	4845072	9741096	15805426
3	349948	664229	2170555	3311880	4845072	9741096	16022667
4	365696	728150	2170555	3311880	4845072	9877740	16476603
5	365696	664229	2170555	3311880	4845072	9877740	16804896
6	349948	664229	2170555	3311880	4845072	9738780	15806121
7	349948	664229	2170555	3311880	4845072	9738780	15805426
8	365696	664229	2170555	3311880	4845072	9877740	16574686
9	365696	664229	2170555	3311880	4845072	9738780	15805426
10	365696	664229	2170555	3311880	4845072	9738780	15805426

**Tabla 5.9 Costo inicial de concreto para edificios con 4 crujiás**

Combinación	C <sub>ic</sub> [M.N.]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	622136	1122536	3663478	5174378	7833291	16222856	28840714
2	622136	1122536	3663478	5174378	7833291	16222856	28840714
3	622136	1122536	3663478	5174378	7833291	16222856	29859030
4	622136	1176818	3663478	5293073	7949670	17225250	32826405
5	622136	1176818	3663478	5293073	7681014	17225250	32826405
6	622136	1122536	3663478	5174378	7833291	16222856	28840714
7	622136	1122536	3663478	5174378	7833291	16222856	28840714
8	622136	1176818	3663478	5293073	7681014	17225250	32826405
9	622136	1122536	3663478	5174378	7833291	16222856	28840714
10	622136	1122536	3663478	5174378	7833291	16222856	28840714

**5.7. COSTOS INICIALES TOTALES DE LOS EDIFICIOS DE C/R**

Los costos totales de los edificios dependen del costo inicial del acero y del costo inicial del concreto, en los que están incluidos los costos directos, costos indirectos y utilidades. Utilizando la ecuación 5.7 se puede obtener el costo total inicial de cada estructura como la suma de éstos dos parámetros.

$$C_{IT} = C_{ic} + C_{ia} \tag{5.7}$$

El costo total para edificios con 3 crujiás se muestra en la tabla 5.10 y para edificios con 4 crujiás en la tabla 5.11. Ambas tablas muestran variación en el costo total de acuerdo al número de niveles, a la combinación de factores de carga y al número de crujiás (3 ó 4).

**Tabla 5.10 Costo inicial total para edificios con 3 crujiás**

Combinación	C <sub>IT</sub> [M.N.]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	1997383	3841970	11919902	18655988	28159101	57098241	95876743
2	1825031	3538036	11274945	17765457	26871233	54170574	90895849
3	1985247	3843470	11893722	18672623	28275138	57311363	96979470
4	2103671	4186373	12542224	19724326	29781447	60945227	103887201
5	2104489	4155995	12560495	19644149	31021727	60576252	104018461
6	1846438	3531900	11288444	17748822	26760240	54061083	90252269
7	2008018	3824653	11938992	18690486	28188553	57047519	95513085
8	2115397	4155858	12597993	20207430	29630911	60383583	102966033
9	1811872	3533809	11294989	17774047	26759558	54097081	90390520
10	1949045	3829153	11913221	18677669	28159510	57095243	95975873

**Tabla 5.11 Costo inicial total para edificios con 4 crujiás**

Combinación	C <sub>IT</sub> [M.N.]						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	3458036	6523947	20754287	30233199	45984462	95236335	167944802
2	3195690	6029253	19605910	28380823	43605076	90559103	159103713
3	3405267	6532128	20673156	30109526	46102681	95638853	172403888
4	3671022	6991655	21848941	32046781	47433024	104289235	189998692
5	3648796	6952385	21873621	32018010	47632064	103869126	189482727
6	3212735	6037025	19716493	28586310	43659209	90559103	159026945
7	3413994	6535401	20815783	30345964	46039958	95236335	168093701
8	3656705	6933295	21951207	32083596	47596885	103544875	190217950
9	3209871	6030889	19666860	28489634	43568124	90342163	158702285
10	3406767	6519720	20736697	30206746	43568124	95245334	167960210

Debido a que el costo inicial total de una estructura está constituido por el costo inicial del acero y el costo inicial del concreto, una vez que se ha obtenido el costo inicial total puede desglosarse para conocer el porcentaje que se atribuye cada material. En las tablas 5.12 y 5.13 se muestran las variaciones de los porcentajes del costo inicial de cada material para edificios con 3 crujiás. De esto se puede deducir que el porcentaje promedio del costo inicial de acero es del 82.5, mientras que el porcentaje promedio del costo inicial del concreto es del 17.5

**Tabla 5.12 Porcentaje del costo inicial del acero para edificios con 3 crujiás**

Combinación	%C <sub>ia</sub>						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	82.5	82.7	81.8	82.2	82.8	82.9	83.5
2	80.8	81.2	80.7	81.4	82.0	82.0	82.6
3	82.4	82.7	81.8	82.3	82.9	83.0	83.5
4	82.6	82.6	82.7	83.2	83.7	83.8	84.1
5	82.6	84.0	82.7	83.1	84.4	83.7	83.8
6	81.0	81.2	80.8	81.3	81.9	82.0	82.5
7	82.6	82.6	81.8	82.3	82.8	82.9	83.5
8	82.7	84.0	82.8	83.6	83.6	83.6	83.9
9	79.8	81.2	80.8	81.4	81.9	82.0	82.5
10	81.2	82.7	81.8	82.3	82.8	82.9	83.5

**Tabla 5.13 Porcentaje del costo inicial del concreto para edificios con 3 crujiás**

Combinación	%C <sub>ic</sub>						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	17.5	17.3	18.2	17.8	17.2	17.1	16.5
2	19.2	18.8	19.3	18.6	18.0	18.0	17.4
3	17.6	17.3	18.2	17.7	17.1	17.0	16.5
4	17.4	17.4	17.3	16.8	16.3	16.2	15.9
5	17.4	16.0	17.3	16.9	15.6	16.3	16.2
6	19.0	18.8	19.2	18.7	18.1	18.0	17.5
7	17.4	17.4	18.2	17.7	17.2	17.1	16.5
8	17.3	16.0	17.2	16.4	16.4	16.4	16.1
9	20.2	18.8	19.2	18.6	18.1	18.0	17.5
10	18.8	17.3	18.2	17.7	17.2	17.1	16.5

Para edificios con 4 crujiás, en la tabla 5.14 se muestra la variación del porcentaje del costo inicial del acero para edificios de 4 niveles y en la tabla 5.15 el porcentaje del costo inicial del concreto. De manera similar, el porcentaje de costo inicial del acero es de 82.5 y el del concreto de 17.5.

**Tabla 5.14 Porcentaje del costo inicial del acero para edificios con 4 crujiás**

Combinación	%C <sub>ia</sub>						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	82.0	82.8	82.3	82.9	83.0	83.0	82.8
2	80.5	81.4	81.3	81.8	82.0	82.1	81.9
3	81.7	82.8	82.3	82.8	83.0	83.0	82.7
4	83.1	83.2	83.2	83.5	83.2	83.5	82.7
5	82.9	83.1	83.3	83.5	83.9	83.4	82.7
6	80.6	81.4	81.4	81.9	82.1	82.1	81.9
7	81.8	82.8	82.4	82.9	83.0	83.0	82.8
8	83.0	83.0	83.3	83.5	83.9	83.4	82.7
9	80.6	81.4	81.4	81.8	82.0	82.0	81.8
10	81.7	82.8	82.3	82.9	82.0	83.0	82.8

**Tabla 5.15 Porcentaje del costo inicial del concreto para edificios con 4 crujiás**

Combinación	%C <sub>ic</sub>						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	18.0	17.2	17.7	17.1	17.0	17.0	17.2
2	19.5	18.6	18.7	18.2	18.0	17.9	18.1
3	18.3	17.2	17.7	17.2	17.0	17.0	17.3
4	16.9	16.8	16.8	16.5	16.8	16.5	17.3
5	17.1	16.9	16.7	16.5	16.1	16.6	17.3
6	19.4	18.6	18.6	18.1	17.9	17.9	18.1
7	18.2	17.2	17.6	17.1	17.0	17.0	17.2
8	17.0	17.0	16.7	16.5	16.1	16.6	17.3
9	19.4	18.6	18.6	18.2	18.0	18.0	18.2
10	18.3	17.2	17.7	17.1	18.0	17.0	17.2

### 5.8. COMPARACIÓN DE LOS COSTOS INICIALES TOTALES DE LAS ESTRUCTURAS CON DIFERENTES FACTORES DE CARGA

El diseño sísmico, de acuerdo al RCDF-04 utiliza la combinación de factores de carga: 1.1CM + 1.1CV + 1.1CS; estos factores de carga corresponden a la primera combinación (1) utilizada para el diseño de los edificios (ver tabla 4.6).

El costo inicial total de las estructuras correspondientes al mismo número de niveles y mismo número de crujiás, se normalizó con base al costo inicial total del edificio que se diseñó para la combinación 1 de factores de carga, como se muestra a continuación:

$$\frac{C_{IT}}{C_{IT\ RCDF-04}} \quad (5.14)$$

$C_{IT\ RCDF-04}$  Costo inicial total correspondiente a los factores de carga del RCDF-04  
 $C_{IT}$  Costo inicial total

La normalización de los costos iniciales totales para edificios con 3 crujiás se muestra en la figura 5.16, y para edificios con 4 crujiás se muestra en la tabla 5.17.

**Tabla 5.16 Costo inicial total normalizado para edificios con 3 crujiás**

Combinación	$C_{IT} / C_{IT\ RCDF04} [1]$						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.914	0.921	0.946	0.952	0.954	0.949	0.948
3	0.994	1.000	0.998	1.001	1.004	1.004	1.012
4	1.053	1.090	1.052	1.057	1.058	1.067	1.084
5	1.054	1.082	1.054	1.053	1.102	1.061	1.085
6	0.924	0.919	0.947	0.951	0.950	0.947	0.941
7	1.005	0.995	1.002	1.002	1.001	0.999	0.996
8	1.059	1.082	1.057	1.083	1.052	1.058	1.074
9	0.907	0.920	0.948	0.953	0.950	0.947	0.943
10	0.976	0.997	0.999	1.001	1.000	1.000	1.001

**Tabla 5.17 Costo inicial total normalizado para edificios con 4 crujiás**

Combinación	$C_{IT} / C_{IT\ RCDF04} [1]$						
	4 Niveles	6 Niveles	8 Niveles	10 Niveles	12 Niveles	15 Niveles	20 Niveles
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	0.924	0.924	0.945	0.939	0.948	0.951	0.947
3	0.985	1.001	0.996	0.996	1.003	1.004	1.027
4	1.062	1.072	1.053	1.060	1.032	1.095	1.131
5	1.055	1.066	1.054	1.059	1.036	1.091	1.128
6	0.929	0.925	0.950	0.946	0.949	0.951	0.947
7	0.987	1.002	1.003	1.004	1.001	1.000	1.001
8	1.057	1.063	1.058	1.061	1.035	1.087	1.133
9	0.928	0.924	0.948	0.942	0.947	0.949	0.945
10	0.985	0.999	0.999	0.999	0.947	1.000	1.000

Los costos iniciales totales normalizados pueden apreciarse en la figuras 5.1 y 5.2 para edificios con 3 y 4 crujiás, respectivamente.

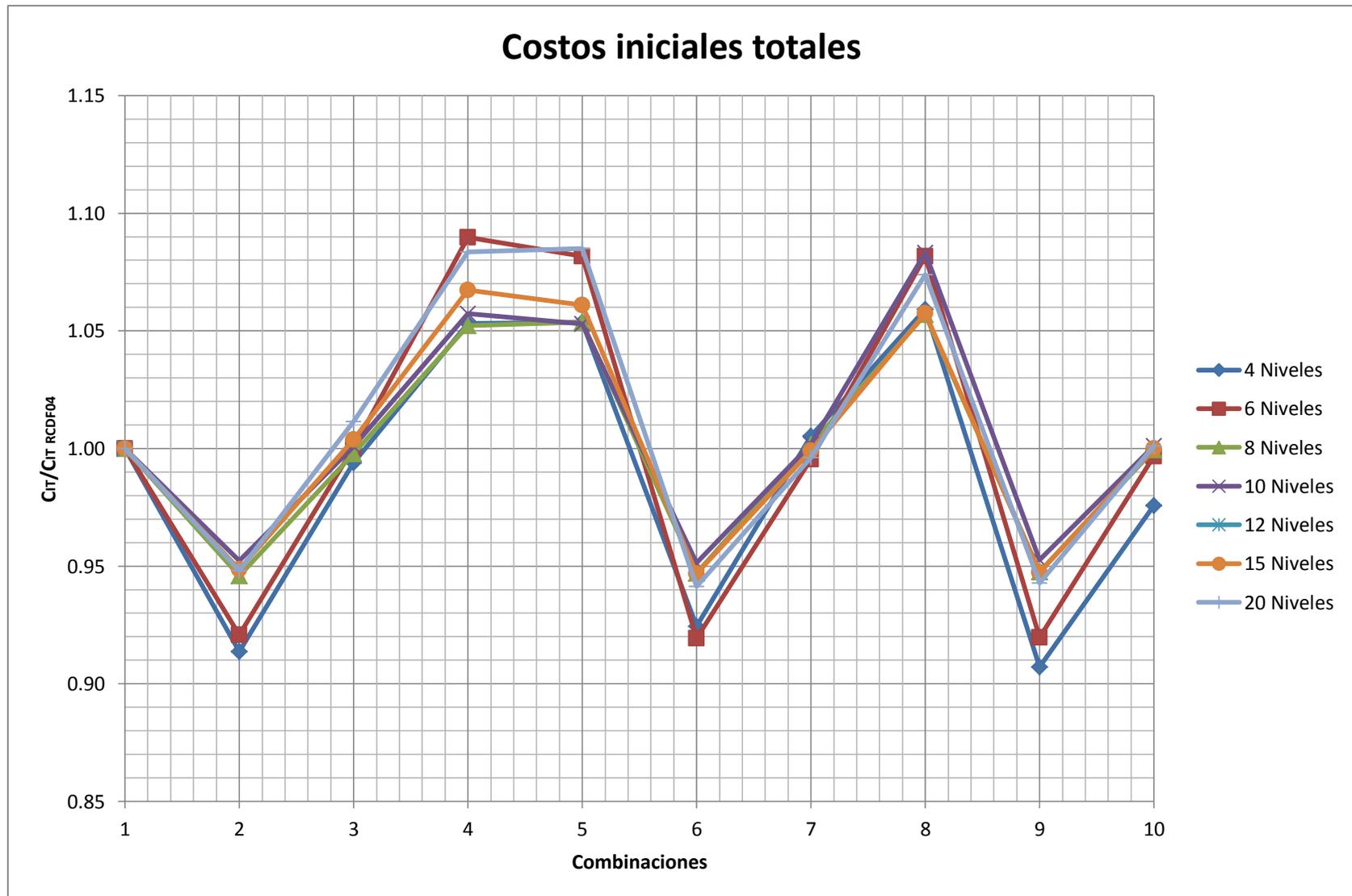


Figura 5.1 Costo inicial total normalizado para edificios con 3 crujías

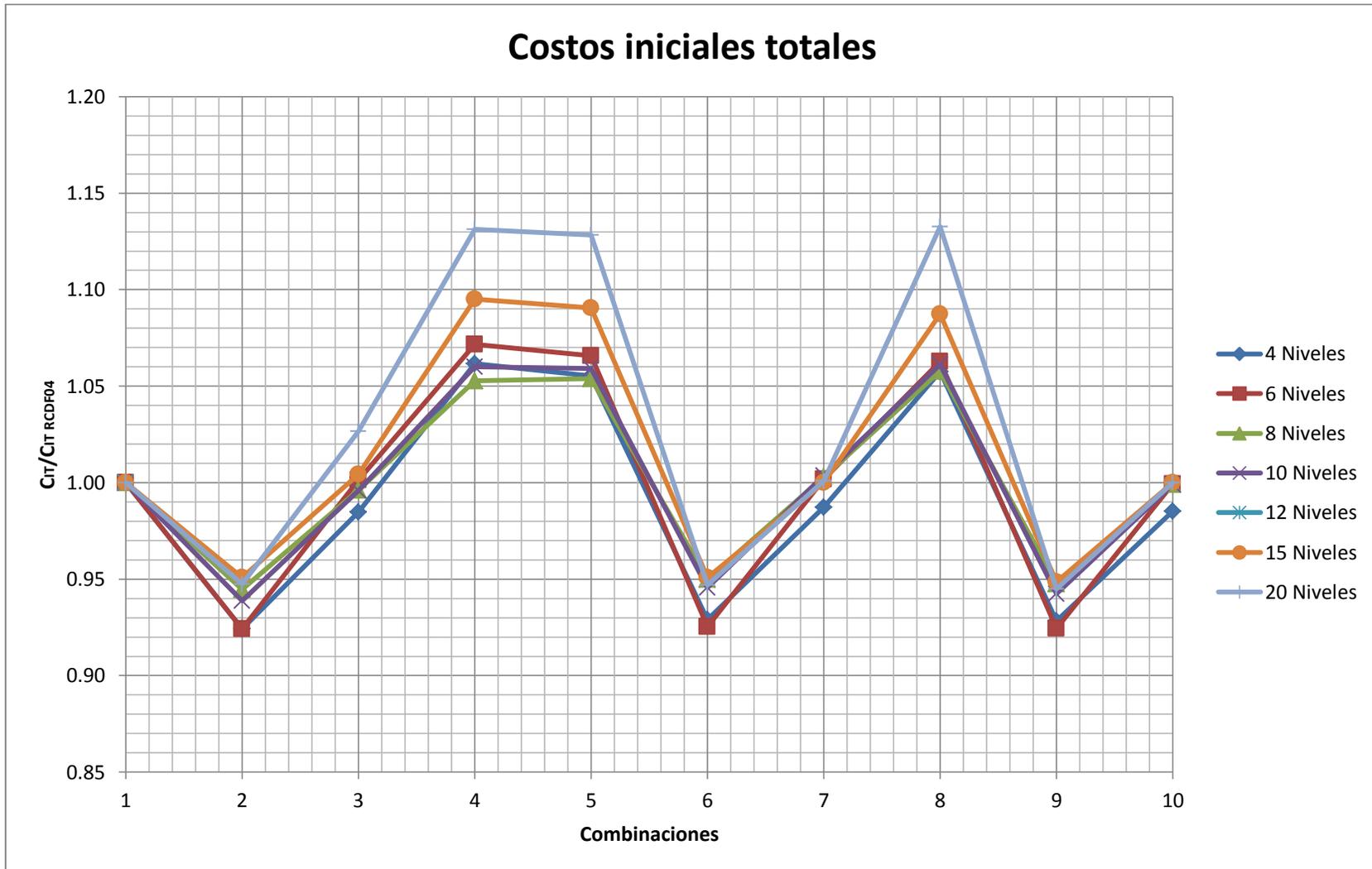


Figura 5.2 Costo inicial total normalizado para edificios con 4 crujías

En las gráficas 5.1 y 5.2 se observa que la variación de los costos iniciales se comporta de manera similar en algunas combinaciones de factores de carga. Los costos iniciales totales con magnitudes similares de acuerdo a la combinación de factores de carga pueden agruparse de acuerdo a la siguiente forma:

**Tabla 5.18 Clasificación de las combinaciones con diferente factor de carga**

Grupo 1			
Combinación	F <sub>CM</sub>	F <sub>CV</sub>	F <sub>CS</sub>
2	1.0	1.0	1.0
6	1.2	1.0	1.0
9	1.1	1.0	1.0

Grupo 2			
Combinación	F <sub>CM</sub>	F <sub>CV</sub>	F <sub>CS</sub>
1	1.1	1.1	1.1
3	1.0	1.0	1.1
7	1.2	1.0	1.1
10	1.1	1.0	1.1

Grupo 3			
Combinación	F <sub>CM</sub>	F <sub>CV</sub>	F <sub>CS</sub>
4	1.0	1.0	1.2
5	1.1	1.0	1.2
8	1.2	1.0	1.2

Los resultados anteriores muestran que la combinación de factores de carga influye en la variación de los costos iniciales totales de las estructuras.

## CONCLUSIONES

El levantamiento de estructuras de concreto reforzado pertenecientes al Grupo B en la zona IIIb mostró que existían 136 816 estructuras, de las cuáles el 96.02% tienen entre 1 y 4 niveles, el 3.70% tienen de 5 a 8 niveles, el 0.15% entre 9 y 12 niveles, mientras que el 0.11% tienen entre 13 y 17 niveles, y únicamente el 0.03% (45 edificios) tienen más de 18 niveles. La distribución de las estructuras de acuerdo al número de niveles muestra que las edificaciones con un número de niveles mayor a 9 se concentran en el centro de la ciudad y avenidas importantes como lo es Paseo de la Reforma (ver figura 3.19). Las estructuras de concreto reforzado que predominan, distribuidas casi uniformemente sobre la zona IIIb son las estructuras que tienen entre 1 y 4 niveles (ver figura 3.18).

Los costos iniciales totales están integrados en su mayor parte por el costo correspondiente al acero, el cual está representado por el 82.5%, y el costo correspondiente al concreto únicamente representa el 17.5%.

Los costos iniciales totales para los edificios con 3 crujiás presentan una variación máxima del 10% respecto al costo inicial total del edificio diseñado para la primera combinación de factores de carga (ver tabla 4.6) que corresponde a la combinación de factores de carga propuesta en el RCDF-04, mientras que los costos iniciales totales para los edificios con 4 crujiás tienen una variación máxima del 13% respecto al costo inicial del edificio diseñado para la primera combinación de carga.

La variación de los costos iniciales totales es en función de la combinación de factores de carga que se utilice para el diseño. El factor de carga que tiene mayor impacto sobre los costos iniciales totales es el factor de carga para las acciones accidentales (FCS).

Los costos iniciales totales de los edificios que se diseñaron con  $FCS = 1.1$  presentan costos iniciales totales, similares a la estructura diseñada de acuerdo a lo que el RCDF-04 recomienda, pues esta combinación de factores de carga presenta el mismo FCS. Los costos iniciales totales correspondientes a las estructuras diseñadas con  $FCS = 1.0$  son menores, y los costos iniciales totales correspondientes a edificaciones con  $FCS = 1.2$  son mayores con respecto a las diseñadas con  $FCS = 1.1$ .

Los costos iniciales totales para las estructuras diseñadas con  $FCS = 1.0$  son similares y corresponden a las combinaciones 2, 6 y 9, los edificios diseñados con  $FCS = 1.1$  presentan costos que presentan poca variación entre ellos y corresponden a las combinaciones 1, 3, 7 y 10, finalmente las combinaciones 4, 5 y 6 presentan costos iniciales totales parecidos y estas edificaciones utilizan  $FCS = 1.2$ .



## BIBLIOGRAFÍA

Angulo, J., Ismael, E., Lermo, J. y Martínez González, J. (2011). *Efectos del hundimiento regional en los cambios de periodo dominante del suelo de la cuenca de México: propuesta de nuevos mapas para las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTCDS)*. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, México, Aguascalientes.

Bazán, E. y Meli, R. (2013). *Diseño sísmico de edificios*. México, D.F. : Editorial Limusa.

Comisión de Vialidad y Transporte Urbano, COVITUR (1987). *Manual de diseño geotécnico*. México, D.F.

De Buen, O., Gómez Cruz, J.T., Noreña Casado, F., Prince, J., Ramírez Hubard, G. (...) y Téllez Arana, G. (1988). *Reto sísmico: Incrementar la seguridad y mantener el servicio de las centrales telefónicas*. México, D.F.: Editorial IDH

Díaz Rodríguez, J. A. (2006). *Los suelos lacustres de la ciudad de México*. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6(2) 11.

Marsal, R.J. (1986). *Notas sobre el diseño y construcción de cimentaciones en el Distrito Federal*. Sociedad de Mecánica de Suelos, México, D.F.

Marsal, R.J. y Mazari, M. (1959). *El subsuelo de la Ciudad de México*. Facultad de Ingeniería, UNAM, México, D.F.

Meli Piralla, R. (2009). *Diseño estructural (2da ed.)*. México, D.F. : Editorial Limusa.

Nunrapong, O., Phaobunjong, K. y Popescu, C. (2003). *Estimating building costs*. New York: Dekker.

RCDF (2004). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Administración Pública del Distrito Federal, Jefatura de Gobierno, México, D.F.

RCDF (2004). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal: Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo*. Administración Pública del Distrito Federal, Jefatura de Gobierno, México, D.F.

RCDF (2004). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal: Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto*. Administración Pública del Distrito Federal, Jefatura de Gobierno, México, D.F.

Silva Mercado, A. (2011). *Comparación entre espectros de sitio y espectros de diseño para las zonas sísmicas II, IIIa y IIIb del Distrito Federal*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, SMMS (1978). *El subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Área Urbana del Valle de México*. Memorias del Simposio, Sociedad de Mecánica de Suelos, México, D.F.

Suárez Salazar, C. (2008). *Costo y tiempo en edificación (3ra. Ed.)*. México, D.F. : Editorial Limusa.

Tenorio Jiménez, A. E. (2009). *Caracterización geotécnica del subsuelo del centro histórico de la ciudad de México*. Tesis de licenciatura. Instituto Politécnico Nacional, México, D.F.

Varela Alonso, L. (2009). *Ingeniería de costos: Teoría y práctica en construcción*. México, D.F. : Intercost.

## ANEXO A

### DIMENSIONES DE VIGAS Y COLUMNAS DE LOS EDIFICIOS DE 4, 8, 10, 12 Y 20 NIVELES

#### 1. Dimensiones de vigas

Edificio de 4 niveles								
Piso	3 Crujías				4 Crujías			
	1,2		3,4		1,2		3,4	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]						
1	25	55	20	50	25	55	20	40
2	25	55	20	50	25	55	20	40
3	25	55	20	50	25	55	20	40
4	25	55	20	50	25	55	20	40
5	25	55	20	50	25	55	20	40
6	25	55	20	50	25	55	20	40
7	25	55	20	50	25	55	20	40
8	25	55	20	50	25	55	20	40
9	25	55	20	50	25	55	20	40
10	25	55	20	50	25	55	20	40

Edificio de 8 niveles												
Piso	3 Crujías						4 Crujías					
	1,2,3		4,5,6		7,8		1,2,3		4,5,6		7,8	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]										
1	35	80	35	70	30	55	35	85	35	70	30	45
2	35	80	35	70	30	55	35	85	35	70	30	45
3	35	80	35	70	30	55	35	85	35	70	30	45
4	35	80	35	70	30	55	35	85	35	70	30	45
5	35	80	35	70	30	55	35	85	35	70	30	45
6	35	80	35	70	30	55	35	85	35	70	30	45
7	35	80	35	70	30	55	35	85	35	70	30	45
8	35	80	35	70	30	55	35	85	35	70	30	45
9	35	80	35	70	30	55	35	85	35	70	30	45
10	35	80	35	70	30	55	35	85	35	70	30	45

Edificio de 10 niveles												
Piso	3 Crujías						4 Crujías					
	1,2,3,4		5,6,7		8,9,10		1,2,3,4		5,6,7		8,9,10	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]										
1	35	90	35	75	35	65	35	90	35	80	30	70
2	35	90	35	75	25	65	35	90	35	80	30	70
3	35	90	35	75	25	65	35	90	35	80	30	70
4	35	90	35	75	25	65	35	90	35	80	30	70
5	35	90	35	75	25	65	35	90	35	80	30	70
6	35	90	35	75	25	65	35	90	35	80	30	70
7	35	90	35	75	25	65	35	90	35	80	30	70
8	35	90	35	75	25	65	35	90	35	80	30	70
9	35	90	35	75	25	65	35	90	35	80	30	70
10	35	90	35	75	25	65	35	90	35	80	30	70

Edificio de 12 niveles												
Piso	3 Crujías						4 Crujías					
	1,2,3,4		5,6,7,8		9,10,11,12		1,2,3,4		5,6,7,8		9,10,11,12	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]										
1	35	95	35	85	30	75	35	95	35	90	30	75
2	35	95	35	85	30	75	35	95	35	90	30	75
3	35	95	35	85	30	75	35	95	35	90	30	75
4	35	95	35	85	30	75	40	100	35	85	30	80
5	35	95	35	85	30	75	40	95	35	85	25	75
6	35	95	35	85	30	75	35	95	35	90	30	75
7	35	95	35	85	30	75	35	95	35	90	30	75
8	35	95	35	85	30	75	40	95	35	85	25	75
9	35	95	35	85	30	75	35	95	35	90	30	75
10	35	95	35	85	30	75	35	95	35	90	30	75

Edificio de 20 niveles												
Piso	3 Crujías						4 Crujías					
	1,2,3,4,5,6,7		8,9,10,11,12,13,14		15,16,17,18,19,20		1,2,3,4,5,6,7		8,9,10,11,12,13,14		15,16,17,18,19,20	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]										
1	40	150	35	135	35	110	50	145	45	135	35	130
2	40	150	35	135	35	110	50	145	45	135	35	130
3	40	150	35	135	35	110	50	145	45	135	35	130
4	40	150	35	135	35	110	55	150	45	140	35	130
5	40	150	40	135	35	110	55	150	45	140	35	130
6	40	150	35	135	35	110	50	145	45	135	35	130
7	40	150	35	135	35	110	50	145	45	135	35	130
8	40	150	40	135	35	110	55	150	45	140	35	130
9	40	150	35	135	35	110	50	145	45	135	35	130
10	40	150	35	135	35	110	50	145	45	135	35	130

## 2. Dimensiones en columnas

Edificio de 4 niveles									
Piso	3 Crujías				4 Crujías				
	1,2		3,4		1,2		3,4		
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]							
1	50	50	40	40	55	55	50	50	
2	50	50	40	40	55	55	50	50	
3	50	50	40	40	55	55	50	50	
4	50	50	45	45	55	55	50	50	
5	50	50	45	45	55	55	50	50	
6	50	50	40	40	55	55	50	50	
7	50	50	40	40	55	55	50	50	
8	50	50	45	45	55	55	50	50	
9	50	50	45	45	55	55	50	50	
10	50	50	45	45	55	55	50	50	

Edificio de 8 niveles												
	3 Crujías						4 Crujías					
Piso	1,2,3		4,5,6		7,8		1,2,3		4,5,6		7,8	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]										
1	95	95	85	85	75	75	95	95	90	90	85	85
2	95	95	85	85	75	75	95	95	90	90	85	85
3	95	95	85	85	75	75	95	95	90	90	85	85
4	95	95	85	85	75	75	95	95	90	90	85	85
5	95	95	85	85	75	75	95	95	90	90	85	85
6	95	95	85	85	75	75	95	95	90	90	85	85
7	95	95	85	85	75	75	95	95	90	90	85	85
8	95	95	85	85	75	75	95	95	90	90	85	85
9	95	95	85	85	75	75	95	95	90	90	85	85
10	95	95	85	85	75	75	95	95	90	90	85	85

Edificio de 10 niveles												
	3 Crujías						4 Crujías					
Piso	1,2,3,4		5,6,7		8,9,10		1,2,3,4		5,6,7		8,9,10	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]										
1	110	110	100	100	90	90	100	100	95	95	90	90
2	110	110	100	100	90	90	100	100	95	95	90	90
3	110	110	100	100	90	90	100	100	95	95	90	90
4	110	110	100	100	90	90	105	105	95	95	90	90
5	110	110	100	100	90	90	105	105	95	95	90	90
6	110	110	100	100	90	90	100	100	95	95	90	90
7	110	110	100	100	90	90	100	100	95	95	90	90
8	110	110	100	100	90	90	105	105	95	95	90	90
9	110	110	100	100	90	90	100	100	95	95	90	90
10	110	110	100	100	90	90	100	100	95	95	90	90

Edificio de 12 niveles												
Piso	3 Crujías						4 Crujías					
	1,2,3,4		5,6,7,8		9,10,11,12		1,2,3,4		5,6,7,8		9,10,11,12	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]										
1	120	120	115	115	110	110	120	120	115	115	110	110
2	120	120	115	115	110	110	120	120	115	115	110	110
3	120	120	115	115	110	110	120	120	115	115	110	110
4	120	120	115	115	110	110	120	120	115	115	110	110
5	120	120	115	115	110	110	120	120	115	115	105	105
6	120	120	115	115	110	110	120	120	115	115	110	110
7	120	120	115	115	110	110	120	120	115	115	110	110
8	120	120	115	115	110	110	120	120	115	115	105	105
9	120	120	115	115	110	110	120	120	115	115	110	110
10	120	120	115	115	110	110	120	120	115	115	110	110

Edificio de 20 niveles												
Piso	3 Crujías						4 Crujías					
	1,2,3,4,5,6,7		8,9,10,11,12,13,14		15,16,17,18,19,20		1,2,3,4,5,6,7		8,9,10,11,12,13,14		15,16,17,18,19,20	
Combinación	B <sub>x</sub> [cm]	H <sub>y</sub> [cm]										
1	165	165	155	155	145	145	165	165	160	160	155	155
2	165	165	155	155	145	145	165	165	160	160	155	155
3	170	170	155	155	145	145	175	175	165	165	155	155
4	180	180	155	155	145	145	185	185	175	175	165	165
5	180	180	155	155	145	145	185	185	175	175	165	165
6	165	165	155	155	145	145	165	165	160	160	155	155
7	165	165	155	155	145	145	165	165	160	160	155	155
8	175	175	155	155	145	145	185	185	175	175	165	165
9	165	165	155	155	145	145	165	165	160	160	155	155
10	165	165	155	155	145	145	165	165	160	160	155	155



## ANEXO B

### CUANTÍAS DE ACERO EN VIGAS Y COLUMNAS DE LOS EDIFICIOS DE 4, 8, 10, 12 Y 20 NIVELES

#### 1. Cuantías de acero en vigas para edificios con 3 crujiás

Edificio de 4 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	12.7	11.4	12.5	13.6	14	11.8	12.9	14	11.6	12.7
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	7.6	6.9	7.8	8.7	8.9	6.5	7.5	8.4	6.6	7.6
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
3,4	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	9.5	8.5	9.2	9.6	9.8	8.9	9.7	10	8.4	9.1
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	4.4	4	4.3	4.4	4.5	4.2	4.5	4.6	3.9	4.2
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Edificio de 8 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	47.7	43.8	47.3	50.8	51.1	44.5	48	51.4	44.2	47.6
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	38.9	34.4	39.4	43	42.7	33.6	38.5	42.4	34	39
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	10.4	9.4	10.3	11.2	11.3	9.6	10.5	11.4	9.5	10.4
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	10.4	9.4	10.3	11.2	11.3	9.6	10.5	11.4	9.5	10.4
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	15	15	15	15	10	15	15	15	15	15
4,5,6	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	39.5	38.7	41.7	47.7	45.1	39.4	42.4	45.4	39.1	42.1
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	27.2	27.7	31.8	35.7	36.3	26.8	30.8	34.9	27.3	31.3
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	8.6	8.4	9.1	9.9	10	8.5	9.3	10.1	8.4	9.2
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	8.6	8.4	9.1	9.9	10	8.5	9.3	10.1	8.4	9.2
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	10	10	15	10	10	15	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	20	20	20	15	15	20	15	15	15	15
7,8	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	22.6	20	21.8	23.4	23.8	21.2	23	24.3	20.6	22.4
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	10	9	9.7	10.4	10.7	9.5	10.2	10.9	9.3	10
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	5.8	4.3	5.8	5.8	5.8	6.4	5.8	5.8	5.8	5.8
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	6.4	5.8	5.8	5.8	5.8
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Edificio de 10 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	56.2	51.6	55.8	60	30.3	52.3	56.4	60.6	52	56.1
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	47.9	43.6	48.3	52.5	52.2	42.7	47.7	51.8	43.2	48
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	12.4	11.2	12.3	13.4	13.5	11.4	17.4	13.6	11.3	12.4
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	12.4	11.2	12.3	13.4	13.5	11.4	17.4	13.6	11.3	12.4
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5,6,7	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	47.3	43.4	46.8	50.3	50.6	44.1	47.5	51	43.7	47.2
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	37.6	33.5	38.1	41.5	41.2	32.5	37.4	40.8	33	37.7
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	10.4	9.4	10.3	11.2	11.3	9.6	10.5	11.4	9.5	10.4
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	10.4	9.4	10.3	11.2	11.3	9.6	10.5	11.4	9.5	10.4
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	15	15	15	15	10	15	15	10	15	15
8,9,10	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	27.3	25.1	26.9	28.6	29	25.8	27.6	29.4	25.4	27.2
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	15.2	13.6	15.7	18	17.5	12.7	14.8	17	13.1	15.3
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	6	5.4	5.8	6.3	6.4	5.6	6	6.5	5.5	5.9
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	6	5.4	5.8	6.3	6.4	5.6	6	6.5	5.5	5.9
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Edificio de 12 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	68.2	62.6	67.9	73.1	73.4	63.2	68.5	73.7	62.9	68.2
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	60.2	55.3	60.3	65.8	65.5	54.7	59.9	65.2	55	60.2
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	15.5	14	15.4	16.8	18.9	14.1	15.5	17	14.1	15.5
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	15.5	14	15.4	16.8	18.9	14.1	15.5	17	14.1	15.5
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	5	5	5	5	5	5	5
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	10	10	10	10	10	10	10
5,6,7,8	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	80.1	55.2	59.7	84.3	84.6	55.8	80.4	64.9	55.5	80.1
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	51.3	47.1	51.7	56.2	55.9	46.5	51	55.6	46.8	51.4
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.6	12.3	13.5	14.7	14.8	12.4	13.8	14.9	12.4	13.8
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.6	12.3	13.5	14.7	14.8	12.4	13.8	14.9	12.4	13.8
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	5	5	5	5	5	5	5
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	10	10	10	10	10	10	10
9,10,11,12	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	35.9	33	35.4	37.9	38.2	33.7	36.1	38.6	33.3	35.8
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	24.1	21.5	24.6	27.9	27.4	20.6	23.7	27	21	24.2
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	7.8	7	7.6	8.3	8.4	7.2	7.8	8.5	7.1	7.7
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	7.8	7	7.6	8.3	8.4	7.2	7.8	8.5	7.1	7.7
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	20	20	20	20	20	20	20

Edificio de 20 niveles												
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1,2,3,4,5, 6,7	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	132	121	130	138	136	122	132	137	121	132	
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	113	101	114	125	122	98.9	112	122	99.7	113	
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	28.3	25.6	27.9	29.9	29.5	25.9	28.4	29.8	25.8	28.3	
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	28.3	25.6	27.9	29.9	19.5	25.9	28.4	29.8	25.8	28.3	
	S <sub>ext</sub> [cm]	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	S <sub>cen</sub> [cm]	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
8,9,10,11, 12,13,14	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	109	100	108	116	123	101	109	124	101	109	
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	92	81.7	93.3	103	106	80.1	91.3	105	80.9	92.2	
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	23.6	21.4	32.4	25.5	26.6	21.7	23.7	28.7	21.5	23.6	
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	23.6	21.4	32.4	25.5	26.6	21.7	23.7	28.7	21.5	23.6	
	S <sub>ext</sub> [cm]	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	S <sub>cen</sub> [cm]	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
15,16,17, 18,19,20	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	62.6	55.9	61.7	68	65.1	57.5	63.3	65.8	56.7	62.4	
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	41.3	37.1	42.5	48.3	44.3	35.6	40.7	43.3	36.4	41.4	
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.8	12.5	13.6	14.7	14.2	12.8	13.9	14.4	12.6	13.7	
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.8	12.5	13.6	14.7	14.2	12.8	13.9	14.4	12.6	13.7	
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

## 2. Cuantías de acero en vigas para edificios con 4 crujeas

Edificio de 4 niveles												
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1,2	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	19.9	17.9	19.7	21.1	21.3	18.4	20	21.4	18.2	19.8	
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.9	12.5	14.2	16	15.8	12.1	13.8	15.6	12.3	14	
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	4.2	3.8	4.2	4.5	4.6	3.9	4.3	4.6	3.9	4.2	
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	4.2	3.8	4.2	4.5	4.6	3.9	4.3	4.6	3.9	4.2	
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
3,4	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.7	14.4	13.4	16	16.4	15.3	16.1	16.9	14.8	15.6	
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	6.3	6.7	8.3	7.6	7.9	7.2	7.7	8.2	7	7.4	
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	3.3	6.7	3.3	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	3.3	6.7	3.3	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	6.7	
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
	S <sub>cen</sub> [cm]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	

Edificio de 8 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	51.2	47.1	49.5	52.9	53.4	47.7	51.5	55.2	47.4	51.2
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	43	38.2	33.9	38.5	37.8	37.4	42.7	46.5	37.8	43
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	11.2	10.2	10.8	11.7	11.8	10.3	11.3	12.3	10.2	11.2
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	11.2	10.2	10.8	11.7	11.8	10.3	11.3	12.3	10.2	11.2
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	15	15	10	10	15	10	10	15	10
4,5,6	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	43.3	39.8	42.9	45.7	46.3	40.5	43.6	46.7	40.1	43.2
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	33	29.3	24.4	28	27.2	28.3	32.6	36.4	28.8	33.2
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	9.5	8.6	9.4	10.2	10.3	8.8	9.6	10.4	8.7	9.5
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	9.5	8.6	9.4	10.2	10.3	8.8	9.6	10.4	8.7	9.5
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	15	10	10	10	15	10	10	15	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
7,8	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	22.7	25.2	26.3	27.3	28.4	27.1	28.2	29.4	26.1	27.3
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	10.5	11.9	12.6	13.3	13.8	13	13.7	14.4	12.4	13.1
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	7.2	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	7.2	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Edificio de 10 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	60.3	55.4	59.9	62.3	62.6	56	60.5	62.9	55.7	60.2
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	51.8	47.7	52.2	54.8	54.5	47	51.6	54.2	47.3	51.9
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.5	12.2	13.4	14	14.1	12.4	13.6	14.2	12.3	13.5
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.5	12.2	13.4	14	14.1	12.4	13.6	14.2	12.3	13.5
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5,6,7	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	51.9	47.7	51.5	54.5	54.9	48.4	52.2	55.2	48	51.8
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	42.2	38.3	42.6	45.8	45.4	37.2	41.9	45.1	37.8	42.2
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	11.5	10.4	11.4	12.2	12.3	10.6	11.6	12.4	10.5	11.5
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	11.5	10.4	11.4	12.2	12.3	10.6	11.6	12.4	10.5	11.5
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	15	10	10	10	15	10	10	15	10
8,9,10	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	32.3	29.7	31.5	31.7	32	31.1	32.8	32.4	30.4	32.1
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	14.6	13.2	14.2	19.6	19.2	13.9	14.9	18.7	13.6	14.5
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	8.8	8.8	8.8	6.8	6.9	8.8	8.8	7	9.2	8.8
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	8.8	8.8	8.8	6.8	6.9	8.8	8.8	7	9.2	8.8
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	15	15	15	10	15	15	15
	S <sub>cen</sub> [cm]	25	25	25	20	20	25	25	20	25	25

Edificio de 12 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	69	63.3	68.6	79.8	79.4	63.9	69.2	79.8	63.6	68.9
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	60.9	56	61.3	72.1	71	55.4	30.7	70.7	55.7	61
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	15.7	14.2	15.6	18	18.1	14.3	15.7	18.2	14.2	15.7
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	15.7	14.2	15.6	18	18.1	14.3	15.7	18.2	14.2	15.7
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5,6,7,8	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	60.4	55.5	60	63	64.3	58.8	63.6	64.6	58.5	63.3
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	51.3	47.2	51.7	54.7	55.6	49.6	54.4	55.2	49.9	54.7
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.5	12.2	13.4	14.3	14.7	13.1	14.4	14.8	13	14.3
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	13.5	12.2	13.4	14.3	14.7	13.1	14.4	14.8	13	14.3
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
9,10,11,12	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	35.3	32.4	34.8	40.5	36.1	33.1	35.5	36.5	32.8	35.2
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	23.3	20.8	23.8	30.7	27.1	19.9	22.9	26.8	20.4	23.4
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	7.6	6.9	7.5	8.8	8.1	7.1	7.7	8.2	7	7.6
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	7.6	6.9	7.5	8.8	8.1	7.1	7.7	8.2	7	7.6
	S <sub>ext</sub> [cm]	15	15	15	10	15	15	15	15	15	15
	S <sub>cen</sub> [cm]	20	20	20	15	15	20	20	15	20	20

Edificio de 20 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4,5, 6,7	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	152	136	151	158	159	137	152	159	137	152
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	139	123	139	147	146	122	139	146	123	139
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	32.3	29.2	32	33.9	34	29.4	32.3	34.1	29.3	32.3
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	32.2	29.2	32	33.9	34	29.4	32.3	34.1	29.3	32.3
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8,9,10,11, 12,13,14	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	130	117	128	133	133	118	130	69.7	116	130
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	118	104	117	123	122	104	117	57.1	104	118
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	27.7	25.1	27.3	28.3	28.4	25.3	27.8	15.5	25.2	27.7
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	27.7	25.1	27.3	28.3	28.4	25.3	27.8	15.5	25.2	27.7
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15,16,17, 18,19,20	AS <sub>ext superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	65.5	58.6	64.8	68.8	69.2	59	65.9	69.7	59	65.4
	AS <sub>ext inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	53.1	47.6	53.6	57.9	57.2	47	52.7	57.1	47.2	53.1
	AS <sub>cent superior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	14.6	13.3	14.5	15.3	15.4	13.4	14.7	15.5	13.4	14.6
	AS <sub>cent inferior</sub> [cm <sup>2</sup> ]	14.6	13.3	14.5	15.3	15.4	13.4	14.7	15.5	13.4	14.6
	S <sub>ext</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	S <sub>cen</sub> [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

### 3. Cuantías de acero en columnas para edificios con 3 crujeas

Edificio de 4 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	64.39	57.44	65.04	73.62	73.1	56.26	63.94	75.6	57.56	65.31
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
3,4	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	45.19	39.01	44.84	41.34	38.38	39.26	39.26	39.26	32.56	35.46
	s [cm]	10	10	10	15	15	10	15	15	15	15

Edificio de 8 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	190.25	169.63	193.31	217.04	214.51	145.74	187.96	212.03	166.73	190.59
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4,5,6	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
7,8	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25	56.25
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Edificio de 10 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	242.29	216.32	246.94	277.6	273.65	187.24	238.72	123.2	211.92	242.76
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5,6,7	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
8,9,10	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Edificio de 12 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	348.85	311.51	354.43	397.33	392.61	276.77	344.54	388.06	306.09	349.38
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5,6,7,8	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
9,10,11,12	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Edificio de 20 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4,5,6,7	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	729.84	653.28	837.02	968.36	945.79	568.57	712.8	844.77	632.85	792.53
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8,9,10,11,12,13,14	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	240.3	240.3	240.3	240.3	240.3	240.3	240.3	240.3	240.3	240.3
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
15,16,17,18,19,20	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	210.3	210.3	210.3	210.3	210.3	210.3	210.3	210.3	210.3	210.3
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

#### 4. Cuantías de acero en columnas para edificios con 4 crujeías

Edificio de 4 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	70.51	63.01	71.26	79.54	78.94	61.64	69.97	78.34	62.32	70.61
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3,4	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	45.41	40.32	45.398	50.5	50.48	33.71	40.43	50.47	36.51	45.33
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Edificio de 8 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	215.47	192.09	218.33	244.62	242.26	192.23	213.34	240.02	189.35	215.78
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4,5,6	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	81	81	81	81	81	81	81	84.54	84.54	84.54
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
7,8	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25	72.25
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Edificio de 10 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	293.75	261.97	296.99	316.06	312.79	247.15	291.35	309.69	258.79	294.07
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5,6,7	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	90.25	90.25	90.25	90.25	90.25	90.25	90.25	90.25	90.25	30.25
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
8,9,10	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	81	81	81	81	81	81	81	81	81	81
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Edificio de 12 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	391.91	350.04	397.01	348.81	401.42	340.28	387.97	396.98	345.08	392.41
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5,6,7,8	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25	132.25
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
9,10,11,12	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	121	121	121	121	110.25	121	121	110.25	121	121
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Edificio de 20 niveles											
Piso	Combinación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2,3,4,5,6,7	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	811.52	725.19	862.76	1000.8	916.22	593.26	794.54	892.92	704.6	813.35
	s [cm]	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8,9,10,11, 12,13,14	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	256	256	272.25	306.25	306.25	256	256	306.25	256	256
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
15,16,17, 18,19,20	AS <sub>columna</sub> [cm <sup>2</sup> ]	240.25	240.25	240.25	272.25	272.25	240.25	240.25	272.25	240.25	240.25
	s [cm]	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15