



Casa abierta al tiempo
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco

DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

POSGRADO EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

**EVALUACIÓN DE LA FLEXIBILIDAD DE DIAFRAGMA
EN SISTEMAS DE PISO UTILIZADOS EN EDIFICIOS
URBANOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN INGENIERÍA
ESTRUCTURAL**

P R E S E N T A:

KAREN LINETH CHINCHILLA PORTILLO

Tutor

DR. ARTURO TENA COLUNGA

México, D.F. 2012

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
General	2
Específicos	2
ANTECEDENTES	3
CAPÍTULO 1. DIAFRAGMA FLEXIBLE	5
CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE PISO MÁS COMÚNMENTE UTILIZADOS EN EDIFICIOS	7
2.1. Losa perimetralmente apoyada o en dos direcciones.....	7
2.2. Vigüeta y bovedilla	7
2.3. Losa reticular	8
2.4. Losa compuesta	8
CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS EN ESTUDIO	10
3.1. Sistemas de piso usado en viviendas	10
3.2. Sistemas de piso usado en edificios.....	10
3.3. Relaciones de aspecto a estudiar en sistemas de piso.....	10
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LOS MODELOS EN ESTUDIO	13
4.1. Generalidades	13
4.1.1. Propiedades mecánicas de los materiales	13
4.1.2. Cargas de Diseño.....	13
4.2. Diseño de losa perimetralmente apoyada	14
4.2.1. Propiedades y cargas.....	14
4.2.2. Diseño a Flexión.....	14
4.2.3. Revisión de Resistencia a Fuerza Cortante.....	15
4.2.4. Diseño Final.....	16
4.3. Diseño de losas con vigüeta y bovedilla.....	17
4.3.1. Propiedades y cargas.....	17
4.3.2. Diseño por manual técnico PREMEX	17
4.3.3. Diseño final	19
4.4. Diseño de Losacero.....	20
4.4.1. Propiedades y Cargas	20
4.4.2. Diseño por recomendación del despacho García Jarque Ingenieros.....	20
4.4.3. Diseño final	20
4.5. Diseño de losa reticular aligerada con bloques de poliestireno.....	21
4.5.1. Propiedades y Cargas	21
4.5.2. Diseño por recomendación del Despacho García Jarque Ingenieros	22

4.5.3. Diseño final	22
4.6. Diseño de Vigas Secundarias	22
4.6.1. Diseño a flexión y revisión por fuerza cortante	23
4.6.2. Revisión por deflexiones.....	24
4.6.3. Diseño final	25
CAPÍTULO 5. DISEÑO DE MARCOS.....	26
5.1. Propiedades y cargas.....	26
5.2. Diseño de Vigas	26
5.2.1. Diseño final	27
5.3. Diseño de Columnas	27
5.3.1. Diseño a flexocompresión.....	27
5.3.2. Revisión de resistencia a fuerza cortante	28
5.3.3. Diseño final	28
CAPÍTULO 6. MODELADO CON ELEMENTOS FINITOS.....	30
6.1. Generalidades	30
6.2. Losa perimetralmente apoyada.....	30
6.3. Losa vigueta y bovedilla	32
6.4. Losacero	34
6.5. Losa reticular aligerada con bloques de poliestireno	35
CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PISO.....	37
7.1. Criterios de Evaluación	37
7.2. Resultados del comportamiento del diafragma	38
7.2.1. Evaluación de Índices de flexibilidad	38
7.2.2. Evaluación de fuerzas de reacción	53
CONCLUSIONES.....	59
REFERENCIAS.....	61
APÉNDICE A. DISEÑO DE LAS VIGAS SECUNDARIAS EN UN SISTEMA DE PISO DE LOSACERO	63
APÉNDICE B. DISEÑO DE SISTEMA DE PISO RETICULAR ALIGERADO CON BLOQUES DE POLIESTIRENO	66
APÉNDICE C. MODELADO ORTOTRÓPICO	68
APÉNDICE D. TRANSFORMACIONES DE VIGUETA Y BOVEDILLA A ELEMENTOS SÓLIDOS	69

D.1. Transformación de Vigueta	69
D.1.1 Obtención de los módulos de elasticidad	70
D.1.2 Obtención de los módulos de rigidez a corte	71
APÉNDICE E. TRANSFORMACIONES DE LOSACERO A ELEMENTOS SÓLIDOS.....	73
E.1 Transformación de Losacero	73
E.1.1. Obtención de los Módulos de Elasticidad	73
E.1.2 Obtención de los módulos de rigidez a corte.....	75
APÉNDICE F. PERFILES DE DESPLAZAMIENTO.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Cargas vivas.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.2. Sobrecargas muerta.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.3. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.4. Carga total de la losa perimetralmente apoyada (kg/cm ²);	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.5. Resumen del diseño de la losa para vivienda.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.6. Resumen del diseño de la losa para oficinas	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.7. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.8. Carga total de la losa vigueta y bovedilla (kg/cm ²)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.9. Tabla de cargas (H= 16+4 cm) P.P =275 kg/cm ³ Manual PREMEX;	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.10. Resumen del diseño de la losa vigueta y bovedilla ..	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.11. Propiedades mecánicas de las materiales utilizadas;	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.12. Carga total de losacero (kg/m ²)	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.13. Resumen del diseño de la losacero con conectores .	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.14. Losacero sección 4: Claros máximos si apuntalamiento;	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.15. Dimensiones de bloques de poliestireno	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.16. Resumen del diseño de losa reticular para vivienda;	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.17. Resumen del diseño de losa reticular para oficina...	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 4.18. Resumen del diseño de vigas secundarias.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5.1. División de estructuras tipo según relación de aspecto	26
Tabla 5.2. Resumen del diseño de vigas principales para vivienda	27
Tabla 5.3. Resumen del diseño de vigas principales para oficina.....	27
Tabla 5.4. Resumen del diseño de columnas para vivienda.....	29
Tabla 5.5. Resumen del diseño de columnas para oficinas.....	29
Tabla 6.1. Estructuración de malla del modelo de losa perimetralmente apoyada para vivienda	31
Tabla 6.2. Estructuración de malla del modelo de losa perimetralmente apoyada para oficina	31
Tabla 6.3. Total de elementos finitos de losa perimetralmente apoyada para vivienda.....	31
Tabla 6.4. Total de elementos finitos de losa perimetralmente apoyada para oficina	32
Tabla 6.5. Transformaciones a secciones equivalentes del sistema de piso vigueta y bovedilla	32
Tabla 6.6. Estructuración de malla del modelo de vigueta y bovedilla para vivienda	33
Tabla 6.7. Total de elementos finitos para vigueta y bovedilla.....	34
Tabla 6.8. Transformaciones a secciones equivalentes del sistema de losacero	34
Tabla 6.9. Estructuración de malla del modelo de losacero.....	35
Tabla 6.10. Total de elementos finitos para losacero	35
Tabla 6.11. Estructuración de malla del modelo de losa reticular para vivienda	36
Tabla 6.12. Estructuración de malla del modelo de losa reticular para oficina.....	36
Tabla 6.13. Total de elementos finitos de losa reticular para vivienda.....	36
Tabla 6.14. Total de elementos finitos de losa reticular para oficina	36
Tabla 7.1. Índice ASCE-7 para losa perimetralmente apoyada vivienda	39

Tabla 7.2. Índice ASCE-7 para losa vigueta y bovedilla vivienda.....	39
Tabla 7.3. Índice ASCE-7 para losa reticular en vivienda.....	40
Tabla 7.4. Índice Tena-Cortés para losa perimetralmente apoyada en vivienda.....	40
Tabla 7.5. Índice Tena-Cortés para losa vigueta y bovedilla en vivienda.....	41
Tabla 7.6. Índice Tena-Cortés para losa reticular en vivienda.....	41
Tabla 7.7. Índice Ju-Lin para losa perimetralmente apoyada en vivienda.....	42
Tabla 7.8. Índice Ju-Lin para losa vigueta y bovedilla en vivienda.....	42
Tabla 7.9. Índice Ju-Lin para losa reticular en vivienda.....	43
Tabla 7.10. Índice ASCE-7 para losa perimetralmente apoyada oficina	46
Tabla 7.11. Índice ASCE-7 para losacero oficina.....	46
Tabla 7.12. Índice ASCE-7 para losa reticular oficina.....	47
Tabla 7.13. Índice Tena-Cortés para losa perimetralmente apoyada oficina	47
Tabla 7.14. Índice Tena-Cortés para losacero oficina.....	48
Tabla 7.15. Índice Tena-Cortés para losa reticular oficina.....	48
Tabla 7.16. Índice Ju-Lin para losa perimetralmente apoyada oficina	49
Tabla 7.17. Índice Ju-Lin para losacero oficina.....	49
Tabla 7.18. Índice Ju-Lin para losa reticular oficina.....	50
Tabla F.1. Perfil de desplazamientos (cm) de sistemas de piso infinitamente rígidos para vivienda.....	77
Tabla F.2. Perfil de desplazamientos (cm) de sistemas de piso infinitamente rígido para oficinas	77
Tabla F.3. Perfil de desplazamientos (cm) de losas perimetralmente apoyadas para vivienda.....	78
Tabla F.4. Perfil de desplazamientos (cm) de vigueta y bovedilla para vivienda	78
Tabla F.5. Perfil de desplazamientos (cm) de losas reticulares para vivienda	79
Tabla F.6. Perfil de desplazamientos (cm) de losas perimetralmente apoyadas para oficinas.....	79
Tabla F.7. Perfil de desplazamientos (cm) de losacero para oficinas	80
Tabla F.8. Perfil de desplazamientos (cm) de losas reticulares para oficinas	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Diafragmas rígido y flexible (Tena 2007)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 1.2. Comparación de deflexiones en diafragmas (OPS/OMS 2000).....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.1. Losa perimetralmente apoyada (Nilson 2001)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.2. Vigueta y Bovedilla (Manual PREMEX)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.3. Losa reticular (Nilson 2001)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.4. Edificios con losa reticular	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.5. Losacero (Manual Ingasa)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.6. Edificio con losacero	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.1. Relaciones de aspecto para edificios de vivienda.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3.2. Relaciones de aspecto para edificios de oficina.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.1. Vigueta (Manual PREMEX).....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.2. Bovedilla (Manual PREMEX)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.3. Lámina de acero sección 4 (Manual IMSA)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4.4. Distribución de vigas secundarias de edificios.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6.1. Solid-186 (Ansys 2009).....	30
Figura 6.2. Estructuración de malla del modelo de losa perimetralmente apoyada	31
Figura 6.3. Direcciones ortogonales de las propiedades mecánicas (Ansys 2009).....	32
Figura 6.4. Estructuración de malla del modelo de vigueta y bovedilla.....	33
Figura 6.5. Estructuración de malla del modelo losacero	34
Figura 6.6. Estructuración de malla del modelo losa reticular	35
Figura 7.1. Aplicación de carga lateral	37
Figura 7.2. Desplazamientos en losa perimetralmente apoyada vivienda	44
Figura 7.3. Desplazamientos en losa vigueta y bovedilla vivienda	44
Figura 7.4. Torsión en vigueta y bovedilla	45
Figura 7.5. Desplazamientos en losa reticular vivienda	45
Figura 7.6. Desplazamientos en losa perimetralmente apoyada oficinas.	51
Figura 7.7. Desplazamientos de losacero oficinas elaborados con programa Ansys.....	51
Figura 7.8. Torsión en losacero	52
Figura 7.9. Desplazamientos de losacero oficinas elaborados con programa Etabs	52
Figura 7.10. Desplazamientos de losa reticular oficina	53
Figura 7.11. Reacciones en losa perimetralmente apoyada en vivienda.....	54
Figura 7.12. Reacciones en vigueta y bovedilla en vivienda	55
Figura 7.13. Reacciones en losa reticular en vivienda.....	55
Figura 7.14. Reacciones en losa perimetralmente apoyada oficina.....	56
Figura 7.15. Reacciones en losacero oficina	57
Figura 7.16. Reacciones en losa reticular oficina.....	57
Figura A.1. Datos de entrada en hoja excel.....	63
Figura A.2. Posición del eje neutro en la sección compuesta (perfil metálico y losacero)	63
Figura A.3. Hoja Excel despacho García-Jarque Ingenieros.....	65
Figura B. 1. Datos de entrada de hoja excel	66
Figura B. 2. Hoja Excel despacho García-Jarque Ingenieros.....	67

INTRODUCCIÓN

Actualmente existe una variedad extensa de soluciones estructurales en lo concerniente a los sistemas de piso, variedad que obedece a las tecnologías constructivas que buscan una industria más sencilla, rápida o económica, pero estos avances sin el análisis adecuado pueden comprometer la integridad de la estructura.

Si retrocedemos en el tiempo, recordaremos que los primeros sistemas de piso con base en concreto reforzado son sistemas que se comportan como diafragmas rígidos, razón por la cual no es necesario un análisis ante cargas laterales, puesto que este tipo de diafragmas transfiere adecuadamente movimientos de cuerpo rígido sin experimentar deformaciones, más no podemos afirmar es el caso de los nuevos sistemas que están teniendo una gran demanda en estos días, situación que puede conducir a daños en dicha estructura.

La respuesta de una estructura con diafragma flexible ante cargas laterales difiere mucho de una con un diafragma rígido, sobre todo ante carga sísmica (Tena-Colunga y Abrams 1996), debido a que diferencia de los últimos, éstos no tienen tanta rigidez y/o resistencia. Un diafragma flexible en un sistema de piso conducirá a la estructura a experimentar mayores aceleraciones y desplazamientos en los elementos del centro, así como también disminuirá la torsión, al no estar conectados entre sí todos los grados de libertad de dicha estructura, por lo que podemos afirmar que la flexibilidad en el sistema de piso varía el comportamiento de la estructura, razón por la que no es apropiado bajo ningún motivo suponer que el mismo tratamiento de un diafragma rígido puede aplicarse a uno flexible.

OBJETIVOS

General

Determinar el comportamiento de diafragma que constituyen la losa perimetralmente apoyada, losacero, vigueta y bovedilla y losa reticular aligerada con bloques de poliestireno.

Específicos

- Desarrollar criterios de identificación de diafragmas flexibles.
- Establecer una comparación entre los criterios de evaluación de diafragma.
- Determinar la influencia de factores que flexibilizan un sistema de piso.
- Comparar los sistemas de piso de la losa perimetralmente apoyada, losa vigueta y bovedilla, losacero y losa reticular aligerada con bloque de poliestireno, en función del comportamiento del diafragma que forman.

ANTECEDENTES

El análisis y diseño estructural de edificios se fundamenta generalmente en la hipótesis del diafragma rígido, sin comprobar plenamente que el sistema de piso utilizado se comporte como tal, suposición que puede perjudicar el comportamiento de la estructura.

Esta inquietud ha surgido en muchos investigadores desde los años 60's. Entre los que vale la pena citar está el presentado por Kunnath et al. (1991), quienes resaltan que la influencia de un diafragma flexible es más pronunciada en estructuras largas y angostas, en forma de Y o L. En sus investigaciones proporcionan estudios paramétricos de estructuras y patrones de comportamiento para identificar la influencia de diafragmas flexibles.

Tena-Colunga y Abrams (1995), utilizando como ejemplo la estación de bomberos de Gilroy, estudiaron el comportamiento dinámico de una estructura con sistema de piso flexible con base en madera contrachapada. Utilizaron un análisis cuasi-dinámico tridimensional, el cual constituye una aproximación al análisis paso a paso dinámico riguroso, el cual según comparaciones con otros análisis, representa una herramienta confiable y computacionalmente más asimilable.

Tena-Colunga y Abrams (1996) estudiaron la influencia de los diafragmas flexibles en la respuesta sísmica; para ello, modelan tres edificios: la estación de bomberos de Gilroy, un edificio de oficinas en Palo Alto y un hotel en Oakland, modelándolos con diafragmas flexibles y diafragmas rígidos, encontrando que dinámicamente con diafragmas flexibles aumentan las aceleraciones de los muros; en cambio, los efectos de torsión se ven significativamente reducidos. Además, el periodo fundamental de las estructuras con diafragmas flexibles es notablemente más largo que con diafragmas rígidos.

De la Colina (1999) estudió los efectos de la flexibilidad en sistemas con torsión, concluyendo que esta condición conduce a una reducción del desplazamiento para sistemas con un periodo lateral de vibración mayor a 0.4 seg, de lo contrario, la flexibilidad puede inducir a un mayor desplazamiento.

Basu y Jain (2004) propusieron un método para analizar diafragmas flexibles, el cual se logra mediante la superposición de tres casos: cuando no hay torsión, cuando se amplifica la excentricidad estática, y cuando se presenta torsión accidental, recalcando la importancia de éstas últimas dos.

Lee et al. (2007) estudiaron la resistencia de diafragmas flexibles en estructuras de bajos riesgos como estacionamientos, quienes confirmaron que los desplazamientos laterales, aceleraciones y derivas que sufren estructuras con diafragmas flexibles están subestimados en los códigos UBC (Uniform Building Code).

León (2007) estudió el sistema de piso de vigueta y bovedilla, acentuando la importancia de una capa a compresión adecuada para no generar flexibilidad en el diafragma, además observó que el sistema de piso es más rígido cuando las viguetas coinciden con la dirección del sismo.

Vázquez y Pérez. (2008) compararon dos sistemas de piso de vigueta y bovedilla, uno con menor peralte, mayor espesor de capa, y el otro con mayor peralte, menor espesor de capa, encontrando que el primero siempre se comporta como sección compuesta, teniendo mayor ductilidad, capacidad de carga y curvatura, asimismo mayor desplazamiento. En cambio, el segundo sistema es más frágil, y al aumentarse la carga, ya no se comporta como sección compuesta, pero presenta mayor rigidez, por tanto mayor control de deflexiones.

Tena y Cortés (2009) estudiaron la condición de rigidez de diafragma para tres distintos sistemas de piso: losa perimetralmente apoyada, vigueta y bovedilla y losa plana aligerada con bloques de espuma de poliestireno, en estructuras de mampostería que cumplen con las limitaciones para aplicar el método simplificado de diseño sísmico de las NTCS-2004 (2004), y confirman que para ese tipo de estructuras propuestas, dicha condición de rigidez se cumple en cada uno de los sistemas de piso.

López et al (2001) compararon experimentalmente dos modelos a escala natural basados en marcos dúctiles de igual propiedades, uno de ellos utilizando losa perimetralmente apoyada, y el otro utilizando vigueta y bovedilla. Ambos modelos sometidos al mismo patrón de carga, concluyendo que en ambos sistemas, tanto el mecanismo de falla como el comportamiento carga lateral-desplazamiento lateral es bastante parecido, descartando cualquier diferencia significativa.

CAPÍTULO 1

DIAFRAGMA FLEXIBLE

Para que un sistema de piso se comporte como diafragma flexible ante cargas laterales (fig 1.1b), depende de (Tena 2007):

- **Materiales:** Los sistemas de piso de concreto reforzado suelen ser muy rígidos por su espesor y masividad, pero los sistemas de piso de concreto que utilizan grandes bloques de materiales ligeros con delgados firmes de compresión, forman retículas que difícilmente se comportan como diafragmas rígidos. El caso de un sistema de piso de madera contrachapada es un ejemplo típico de un diafragma flexible.
- **Condiciones de apoyo:** Los sistemas de piso que trabajan en una sola dirección no conforman diafragmas, como lo son los doble T, vigueta y bovedilla o losacero, salvo que se alternen sus direcciones, simulando un tablero de ajedrez, conectándose a elementos estructurales y utilizando un firme de compresión.
- **Relación de Aspecto:** Si la longitud mayor de la planta (l_2) es 2.5 veces mayor que la longitud menor (l_1), el diafragma puede comportarse como flexible.
- **Abertura en el diafragma:** Las aberturas de gran tamaño existentes en el diafragma, por efectos de iluminación, ventilación y relación visual entre pisos, ocasionan la aparición de zonas flexible dentro del diafragma, las cuales impiden el ensamblaje rígido de las estructuras verticales.

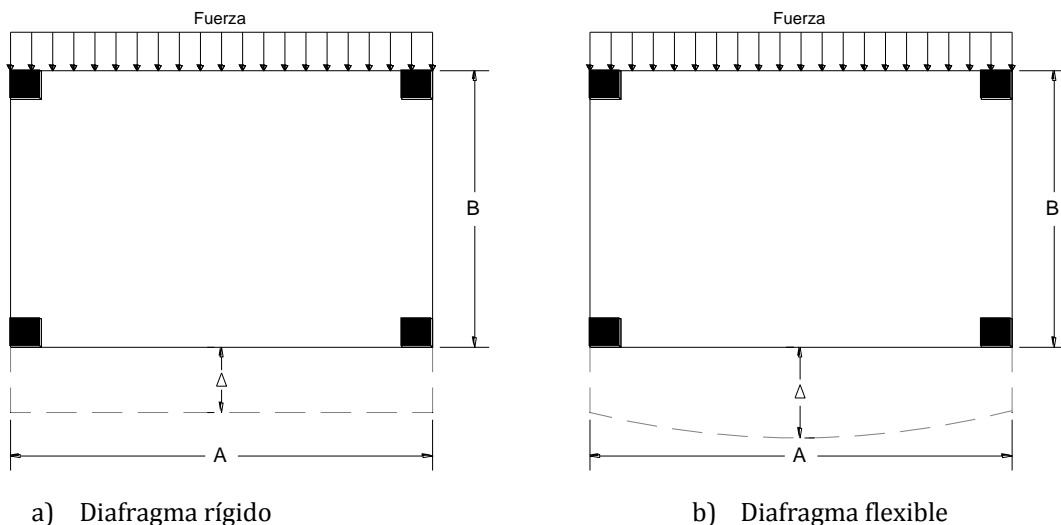


Figura 1.1. Diafragmas rígido y flexible (Tena 2007)

Un diafragma rígido es capaz de transmitir movimientos de cuerpo rígido sin que éste se deforme axialmente o se flexione ante cargas contenidas en su plano (fig 1.1a). En un análisis tridimensional debe transmitir seis movimientos: tres traslacionales (dos horizontales y uno vertical) y tres giros (dos respecto a ejes horizontales y uno con un respecto al eje vertical). Aunque los programas de análisis simplifican este concepto para edificios, reduciendo los seis movimientos a la mitad: dos traslaciones horizontales y un giro con respecto al eje vertical.

De esta forma se reduce la respuesta tridimensional de un edificio mediante condensaciones estática y subestructuraciones al cálculo de un sistema matricial de orden $3N$, donde N es el número de pisos de la estructura (Tena 2007).

Un diafragma flexible puede flexionarse ante cargas contenidas en su plano como una viga perdiendo compatibilidad de desplazamientos laterales en los marcos o muros, como se muestra en la figura 1.2.

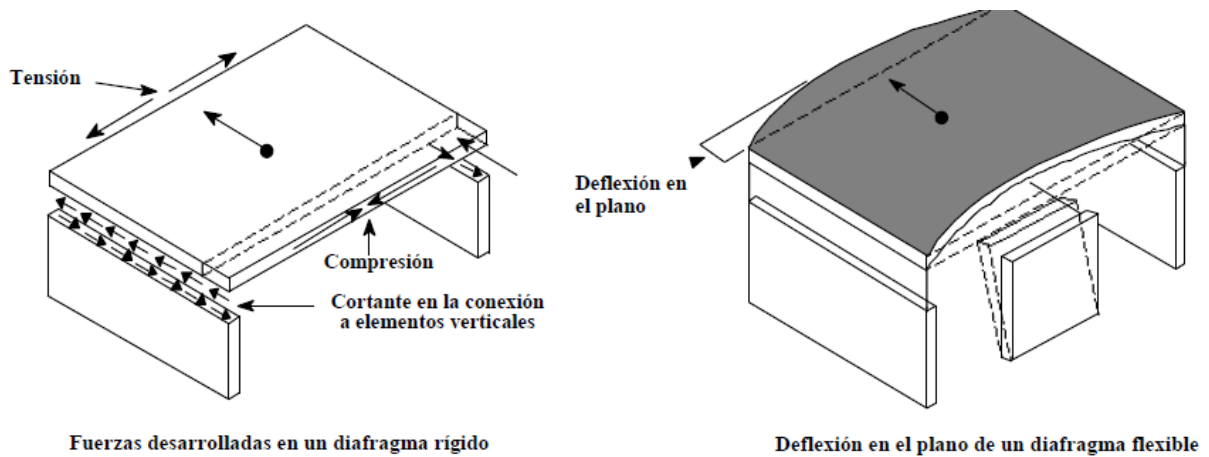


Figura 1.2. Comparación de deflexiones en diafragmas (OPS/OMS 2000)

El daño que puede ocasionar un sistema de piso con diafragma flexible sin la atención debida está asociado con el valor del desplazamiento relativo de un nivel respecto al anterior o deriva.

Muchos cuerpos normativos definen un diafragma como flexible si el desplazamiento lateral máximo del diafragma excede dos veces el desplazamiento lateral promedio del entrepiso. Sabiendo que el desplazamiento lateral promedio es la media de los desplazamientos laterales obtenidos en los elementos verticales resistentes adyacentes (marcos, muros).

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE PISO MÁS COMÚNMENTE UTILIZADOS EN EDIFICIOS

Una losa de concreto reforzado es una amplia placa plana, generalmente horizontal, cuyas superficies superior e inferior son paralelas entre sí. Entre algunas de las más comunes se encuentran la losa perimetralmente apoyada, vigueta y bovedilla, losa reticular y losacero.

2.1. Losa perimetralmente apoyada o en dos direcciones

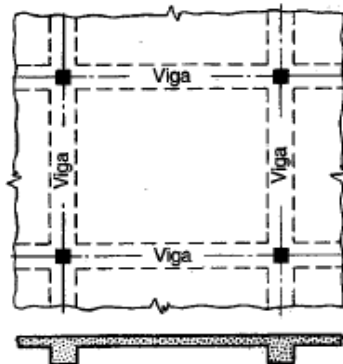


Figura 2.1. Losa perimetralmente apoyada (Nilson 2001)

En este sistema de piso, existen vigas en los cuatro lados, por lo que la losa trabaja en las dos direcciones, de forma que ésta se deflexa conformando una superficie en forma de plato, es decir, que en cualquier punto de este sistema de piso tiene curvatura en las dos direcciones principales, y puesto que los momentos flectores son proporcionales a las curvaturas, obtendremos momentos en las dos direcciones. Asimismo, puede suministrarse vigas intermedias, lo que nos permitirá reducir el espesor de la losa (Nilson 2001).

Si la relación entre la longitud y el ancho de un panel de la losa es mayor que un valor alrededor de dos, la mayor parte de la carga se transmite en la dirección corta hacia las vigas de apoyo y se obtiene acción en una dirección. Se utiliza para claros pequeños e intermedios como los usados en vivienda.

2.2. Vigueta y bovedilla

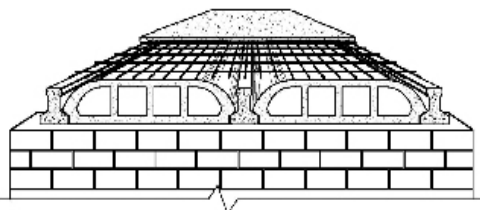


Figura 2.2. Vigueta y Bovedilla (Manual PREMEX)

Permiten la integración de vigas prefabricadas de concreto reforzado, o tipo armadura, con una capa de compresión colada en sitio.

Permiten la integración de vigas prefabricadas de concreto reforzado o tipo armadura, con una capa de compresión colada en sitio (Meli 2010).

La losa trabaja en una sola dirección, por lo que no es muy eficiente, pero por otra parte se aprovecha acero de mayor resistencia y se obtiene mayor peralte con menor cantidad de acero y concreto que con losas macizas, con dicho peralte logran un mejor aislamiento térmico y acústico.

La capa de compresión en sitio proporciona continuidad entre los distintos elementos. El elemento prefabricado es muy robusto y requiere apuntalamiento adicional, puesto que debe ser diseñado para el peso propio de todo el piso más las cargas de construcción.

2.3. Losa reticular

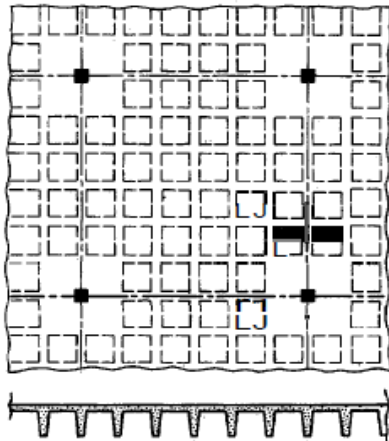


Figura 2.3. Losa reticular (Nilson 2001)

Esta losa surge con el fin de reducir carga muerta en la construcción de losas macizas, formando vacíos en un patrón rectilíneo mediante elementos. Se obtiene una construcción nervada en dos direcciones. Por lo general, los aligeramientos se omiten cerca de la columna, de manera que se forme una losa maciza para resistir mejor los momentos y cortantes en esta área, aun así presenta cierta dificultad en el diseño por cortante en la zona cercana a la columna. Es ideal para edificios por el aligeramiento logrado por los huecos que quedan formando parte de la losa (Nilson 2001).

En la actualidad es muy usual aligerar esta losa con bloques de espuma de poliestireno, el cual es un polímero termoplástico que tiene buena resistencia mecánica, eléctrica y térmica.

Las dimensiones de éstos bloques varían, actualmente estas medidas cada vez son mayores, como se puede observar en las construcciones de la ciudad de México, ilustradas en la figura 2.4



a) Insurgente Sur

b) Azcapotzalco

c) Polanco

Figura 2.4. Edificios con losa reticular

2.4. Losa compuesta

Este sistema de piso integra vigas de acero y una capa a compresión de concreto. Las vigas de acero de alma abierta o de secciones de láminas dobladas proporcionan soluciones más ligeras, por lo que la industria las prefiere (Meli 2010).

La función de la sección compuesta se logra vinculando, a través de los conectores de cortante, la viga metálica de soporte y el concreto. Esto permite vigas de menor altura y más livianas con ahorros en el peso del acero hasta del 40%, lo que da como resultado menores cargas verticales para la estructura y las cimentaciones del edificio, dando lugar también a importantes ahorros en todos los materiales involucrados en el parámetro de la altura (recubrimientos, revestimientos, pinturas, etc.)

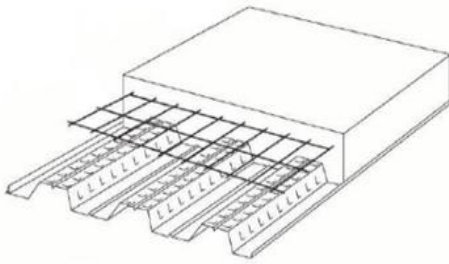


Figura 2.5. Losacero (Manual Ingasa)

Es un sistema de piso económico y da lugar a comportamientos menos dúctiles. Logra la simplificación de cimbras y soporta cargas elevadas.

La construcción es expedita por la eliminación del encofrado y los apuntalamientos, con la ventaja adicional de poder trabajar en varios niveles al mismo tiempo, poder llenar los sectores de losas de distintas ubicaciones y niveles según sea la conveniencia de la obra, y permitir también que otros gremios avancen con sus labores simultáneamente, ya que las áreas de trabajo están despejadas al no haber apuntalamientos.

Actualmente este sistema de piso es muy utilizado en edificios de claros grandes, como se puede observar en muchos edificios en etapa de construcción en el Distrito Federal.



Reforma

Figura 2.6. Edificio con losacero

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS EN ESTUDIO

Los modelos realizados se dividieron en dos grupos, uno enfocado a estructuras utilizadas para viviendas, y el otro para oficinas. En el primero se utilizaron claros de seis metros en ambas direcciones; en el segundo grupo los modelos se realizaron con claros de quince metros en su dirección larga, y diez metros en la dirección corta. Ambos grupos fueron constituidos por edificios de tres pisos.

3.1. Sistemas de piso usado en viviendas

Se estudiaron tres sistemas de piso para este uso:

- Losa perimetralmente apoyada: Diseñada según NTC-04, este sistema fue concebido como sistema referente, por poseer las características que conforman un diafragma rígido.
- Vigueta y bovedilla: Diseñada según manual PREMEX
- Losa reticular con casetones de 0.40 x 0.40 m: Diseñada según despacho García-Jarque Ingenieros.

3.2. Sistemas de piso usado en edificios

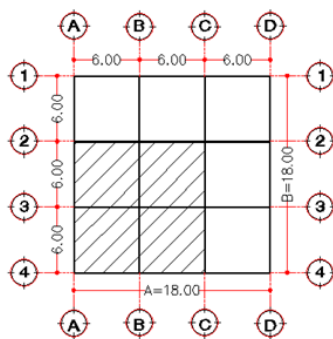
- Losa perimetralmente apoyada: Diseñada según NTC-04.
- Losacero: Diseñada según despacho García-Jarque y al manual IMSA.
- Losa reticular con casetones 1.00 x 1.00 m: Diseñada según despacho García-Jarque.

3.3. Relaciones de aspecto a estudiar en sistemas de piso.

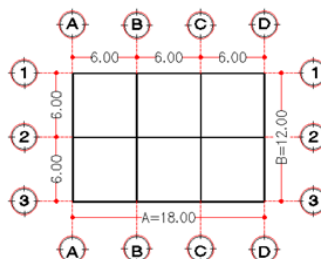
Para cada uno de los dos grupos de modelos conformados se hizo variar en su relación de aspecto, con el propósito de conocer su comportamiento según la planta va siendo más alargada. Nótese que las relaciones de aspecto utilizadas sobrepasan las mencionadas en la mayoría de reglamentos para definir a una estructura regular.

En el grupo de edificios para viviendas las relaciones de aspecto utilizadas fueron de uno (ya sea con dos y tres tableros por lado) hasta cuatro, haciéndolas variar en intervalos de media unidad.

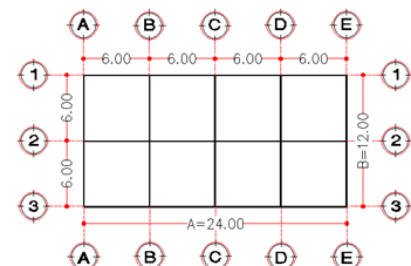
Estas relaciones para vivienda se observan en la figura 3.1.



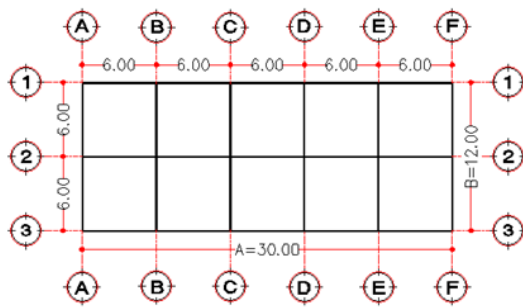
RELACIÓN DE ASPECTO: AB=1



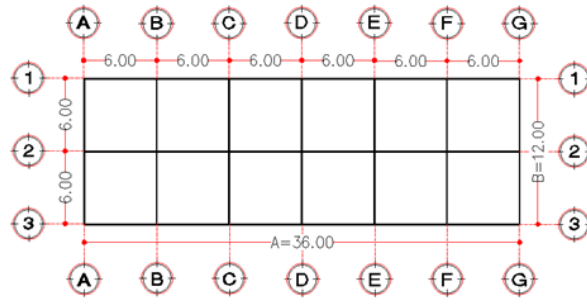
RELACIÓN DE ASPECTO: AB=1.5



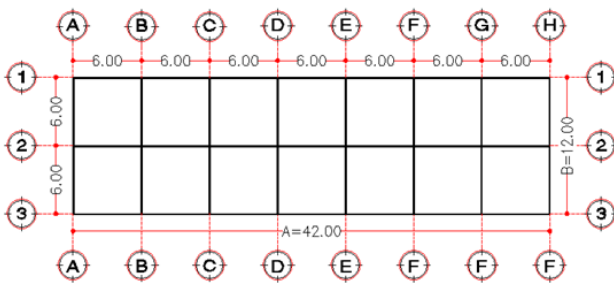
RELACIÓN DE ASPECTO: AB=2



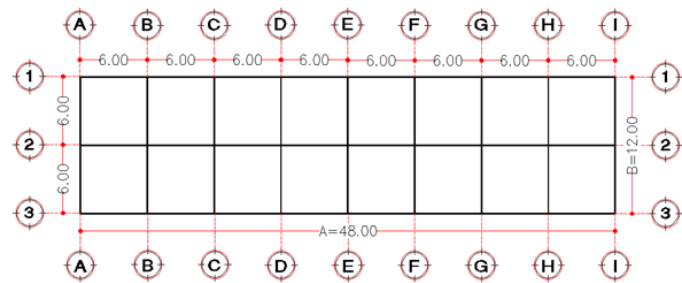
RELACIÓN DE ASPECTO: $AB=2.5$



RELACIÓN DE ASPECTO: $A/B=3$



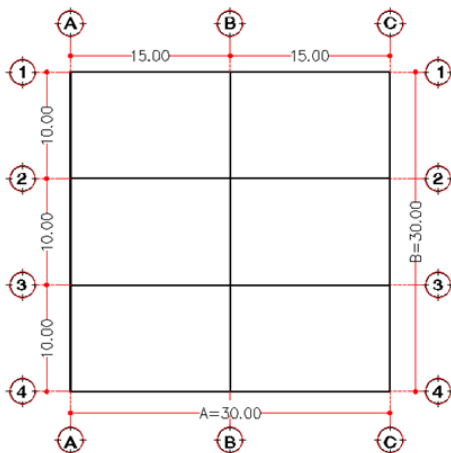
RELACIÓN DE ASPECTO: $AB=3.5$



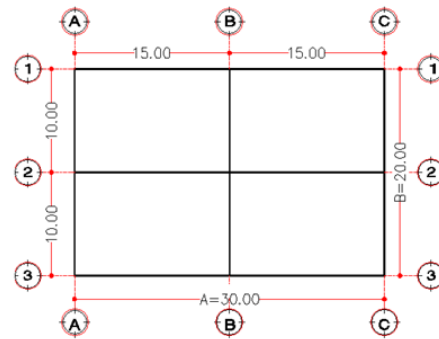
RELACIÓN DE ASPECTO: $AB=4$

Figura 3.1. Relaciones de aspecto para edificios de vivienda

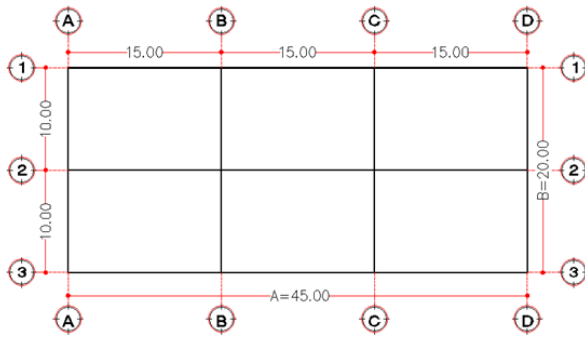
En el caso de edificios utilizados para oficinas, las relaciones de aspectos llegan a ser ligeramente mayores que las anteriores, variando de uno hasta nueve medios. Como se ilustra en la figura 3.2.



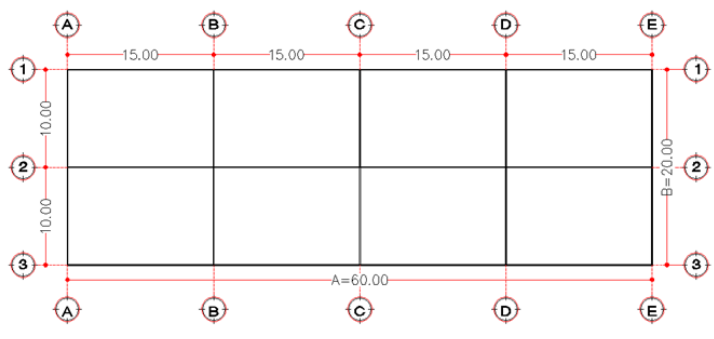
RELACIÓN DE ASPECTO: $AB=1$



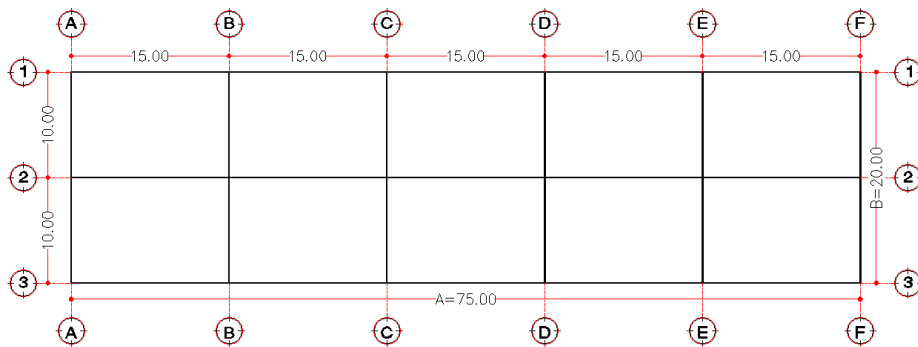
RELACIÓN DE ASPECTO: $A/B=1.5$



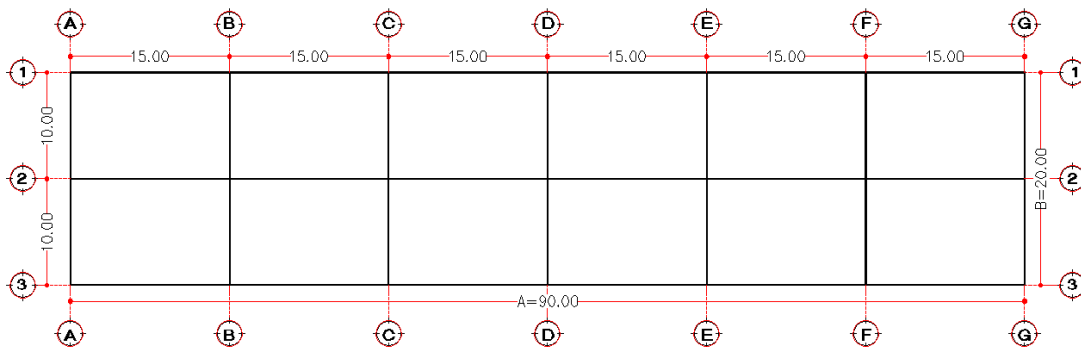
RELACIÓN DE ASPECTO: $A/B=2.25$



RELACIÓN DE ASPECTO: $A/B=3$



RELACIÓN DE ASPECTO: $A/B=3.75$



RELACIÓN DE ASPECTO: $A/B=4.5$

Figura 3.2.Relaciones de aspecto para edificios de oficina

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LOS MODELOS EN ESTUDIO

4.1. Generalidades

4.1.1. Propiedades mecánicas de los materiales

La resistencia de los materiales utilizados en los diferentes sistemas de piso analizados, fueron escogidos según su uso en la práctica. Las propiedades mecánicas se definieron acorde con lo que establecen las Normas Técnicas Complementarias de Concreto Reforzado (NTCC-2004) y el Manual de Diseño de Vigueta y Bovedilla PREMEX (PREMEX 2011). El concreto utilizado es Clase 1, cuyo peso volumétrico es 2,400 kg/m³ y su módulo elástico corresponde al obtenido por la ecuación 1.5.1.4 en las NTCC-2004.

$$E_c = 14,000\sqrt{f'_c} \quad (4.1)$$

El módulo de elasticidad de acero ordinario ($E=2 \times 10^6$ kg/cm²) y de presfuerzo (1.9×10^6 kg/cm²) utilizado, según la sección 1.5.2.

Los factores de resistencia utilizados en las ecuaciones propuestas, son los propuestos en la sección 1.7 de las normas anteriormente citadas. Para flexión se toma igual a 0.9 y para cortante o torsión 0.8.

4.1.2. Cargas de Diseño

Las cargas utilizadas, se tomaron de las Normas Técnicas Complementarias de Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de Edificaciones (NTCCA-2004).

Tabla 4.1. Cargas vivas

<i>Carga</i>	<i>Gravitacional (Kg/cm²)</i>	<i>Accidental (Kg/cm²)</i>
Entrepiso Vivienda	170	90
Entrepiso Edificio	250	180

Tabla 4.2. Sobrecargas muerta

<i>Concepto</i>	<i>Carga (Kg/cm²)</i>
Instalaciones	20
Acabados	20
Firme-2 cm	20
Sobrecarga NTC-04	40

En el diseño se consideraron las combinaciones de acciones permanentes y acciones variables (carga viva + carga muerta), factorizándolos por 1.4 y 1.1 respectivamente.

4.2. Diseño de losa perimetralmente apoyada

4.2.1. Propiedades y cargas

Las propiedades mecánicas de los materiales utilizados se reportan en la tabla 4.3, mientras que la carga total del sistema de piso, ya habiendo definido la cargas muerta y viva utilizadas, quedan especificadas en la tabla 4.4.

Tabla 4.3. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados

<i>Materiales</i>	<i>Resistencia (kg/cm²)</i>	<i>Módulo de Elasticidad (kg/cm²)</i>
Concreto	250	221359
Acero	4200	2000000

Tabla 4.4. Carga total de la losa perimetralmente apoyada (kg/cm²)

Peso propio en entrepiso para vivienda (11 cm)	264
Peso propio en entrepiso para oficina (12 cm)	288
Sobrecarga total	148
Carga viva en entrepiso para vivienda	170
Carga viva en entrepiso para oficina	250
Total en entrepiso para vivienda	582
Total en entrepiso para oficina	686

4.2.2. Diseño a Flexión

Las dimensiones de los tableros de entrepiso para vivienda y oficina diseñados se establecieron de seis metros de largo por tres metros de ancho y cinco metros de largo por cinco metros de ancho, respectivamente. Nótese que en el primer sistema el entrepiso se apoya en una viga secundaria a lo largo del tablero y en el segundo el sistema se apoya en una viga secundaria a lo largo del tablero, y dos vigas secundarios a lo ancho del mismo.

El sistema de piso perimetralmente apoyado fue diseñado conforme a las especificaciones 6.3.3 de NTCC-2004, utilizando los coeficientes de la tabla 6.1 de dicha norma, puesto que se satisfacen las siguientes limitaciones:

- Los tableros son aproximadamente rectangulares.
- La distribución de las cargas es aproximadamente uniforme en cada tablero.
- Los momentos flexionantes negativos en el apoyo común de dos tableros adyacentes difieren entre sí en una cantidad no mayor que 50 por ciento del menor de ellos.
- La relación entre carga viva y muerta no es mayor de 2.5 para losas monolíticas con sus apoyos, ni mayor de 1.5 en otros casos.

Para colocación del refuerzo, la losa se consideró dividida en cada dirección en dos franjas extremas y una central. Dado que la relación de claro corto a largo en las tres diferentes relaciones de aspecto de los

sistemas de piso es menor a 0.5, las franjas centrales tienen un ancho igual a la mitad del claro perpendicular a ellas, y cada franja extrema es igual a la cuarta parte del mismo.

Como lo establece el reglamento en su sección 6.3.3.5, el diseño del sistema de piso con base en la tabla 6.1 del mismo reglamento, se omite el cálculo de deflexiones si el perímetro del tablero dividido entre 250 no es menor que el peralte efectivo.

Al cálculo anterior, se le hace una corrección en los lados discontinuos, aumentando su longitud en 25%, debido a que las disposiciones anteriores son aplicables a losas donde el esfuerzo en el acero en condiciones de servicio es menor a 2520 Kg/cm², y la carga distribuida menor a 380 Kg/m². Como en el caso de las losas estudiadas no se cumple esta última limitación, se modifica multiplicando el peralte por el siguiente factor:

$$factor = 0.0324\sqrt{f_s W} \quad (4.2)$$

Los coeficientes de la tabla 6.1 de las NTCC-2004 multiplicados por $10^{-4}Wal^2$, dan momentos flexionantes por unidad de ancho. Para el diseño sólo se tomaron los momentos máximos en cada dirección, ya sea momento positivo momento negativo, por facilidades de construcción.

La resistencia a flexión de la losa fue obtenida con la ecuación 2.6 de la sección 2.2.4 de las NTCC-2004:

$$M_R = F_R b d^2 f_c'' q (1 - 0.5q) \quad (4.3)$$

$$q = \rho \frac{f_y}{f_c''} \quad (4.4)$$

Con las ecuaciones previas y las ayudas de diseño proporcionadas en el apéndice A del libro de González Cuevas (2004), se elaboraron los diseños finales.

El área de acero obtenida, debe de compararse con un área mínima, la cual se obtiene del mínimo de las siguientes expresiones, como la ecuación 2.2 de las NTCC-2004 para el refuerzo mínimo por flexión, la ecuación 5.3 de las NTCC-2004 para el refuerzo mínimo por cambios volumétricos y la cuantía mínima para losas protegidas de la intemperie, respectivamente, es decir:

$$A_{s,min} = 0.7 \frac{\sqrt{f_c'}}{f_y} b d \quad (4.5)$$

$$\alpha_{s1} = \frac{660x_1}{f_y(x_1 + 100)} \quad (4.6)$$

$$\rho_{min} = 0.002 \quad (4.7)$$

4.2.3. Revisión de Resistencia a Fuerza Cortante

La revisión contra fuerzas cortantes mayores a las que puede resistir la sección diseñada a flexión, es un requisito que establecen las NTCC-2004, en su sección 6.3.3.6.

Se supuso que la sección crítica se encuentra a un peralte efectivo del paño del apoyo. La fuerza cortante que actúa en un ancho unitario se calculó con la ecuación 6.8 de la misma sección:

$$V_u = \left(\frac{a_1}{2} - d \right) w \left[0.95 - 0.5 \frac{a_1}{a_2} \right] \tag{4.8}$$

Cuando existen bordes continuos y bordes discontinuos, se incrementa en 15 por ciento.

La resistencia de la losa a fuerza cortante, se calcula conforme a la ecuación 2.20 de las NTCC-2004:

$$V_R = 0.5 F_R b d \sqrt{f_c^*} \tag{4.9}$$

4.2.4. Diseño Final

Los diseños finales obtenidos para las losa de edificios para vivienda y para oficina se reportan sintéticamente en las tablas 4.5 y 4.6 respectivamente.

Tabla 4.5. Resumen del diseño de la losa para vivienda

T (cm)	a ₁ x a ₂ (cm)	Acero (cm)						Condición
		Borde Interno (-)		Borde Continuo (-)		(+)		
		Corto	Largo	Corto	Largo	Corto	Largo	
11	300x60	#3 @35	#3 @35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	Esquina
11	300x60	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	Discontinuidad
11	300x60	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	Discontinuidad
11	300x60	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	#3 @ 35	Interior

Tabla 4.6. Resumen del diseño de la losa para oficinas

T (cm)	a ₁ x a ₂ (cm)	Acero (cm)						Condición
		Borde Interno (-)		Borde Continuo (-)		(+)		
		Corto	Largo	Corto	Largo	Corto	Largo	
12	500x50	#3 @25	#3 @25	#3 @ 40	#3 @ 40	#3 @ 35	#3 @ 35	Esquina
12	500x50	#3 @ 35	#3 @ 25	#3 @ 30	#3 @ 40	#3 @ 40	#3 @ 35	Discontinuidad
12	500x50	#3 @ 30	#3 @ 25	#3 @ 40	#3 @ 40	#3 @ 35	#3 @ 35	Discontinuidad
12	500x50	#3 @ 30	#3 @ 30	#3 @ 40	#3 @ 40	#3 @ 35	#3 @ 35	Interior

4.3. Diseño de losas con vigueta y bovedilla

4.3.1. Propiedades y cargas

Las propiedades mecánicas de los materiales considerados y las cargas de diseño se presentan en las tablas 4.7 y 4.8 respectivamente.

Tabla 4.7. Propiedades mecánicas de los materiales utilizados

<i>Materiales</i>	<i>Resistencia</i>	<i>Módulo de Elasticidad (kg/cm²)</i>
Concreto firme	250	221359
Concreto bovedilla	275	232163
Concreto Vigueta	400	280000
Acero de refuerzo	4200	2000000
Acero de presfuerzo	17000	1900000
Malla	5000	2000000

Tabla 4.8. Carga total de la losa vigueta y bovedilla (kg/cm²)

Peso Propio (T-5,16+4)	275
Sobrecarga total	148
Carga viva	170
Total	593

4.3.2. Diseño por manual técnico PREMEX

La empresa Preforzados Mexicanos de Tizayuca (PREMEX) produce sistemas de piso prefabricados, entre ellos viguetas de concreto pretensado y bovedilla de arena-cemento.

PREMEX publicó un manual técnico (PREMEX 2011), en el cual hace recomendaciones de diseño y de construcción para los sistemas de piso que comercializa, así como las especificaciones de cada uno de los materiales utilizados.

El sistema lleva una losa de compresión, cuya función es integrar en forma monolítica la vigueta con la capa de compresión, ésta se construye en la obra, cuyo espesor se indica según la bovedilla a utilizar.

Conociendo de la tabla 4.8 que la sobrecarga (carga muerta superimpuesta + carga viva) equivale a 318 kg, multiplicándola por una franja de losa de ancho 75 cm, igual a la separación entre viguetas y utilizando L como la longitud del claro libre (5.7m), se determinaron los momentos positivos actuantes (Kim y Kim 2003):

$$M (+) = 0.08wL^2 \quad (4.10)$$

Asimismo, se calcula el momento flector útil del sistema de piso, y el momento resistente del piso, respectivamente. El momento resistente del piso, se obtiene a través de:

$$M_{iso} = \frac{wL^2}{8} \quad (4.11)$$

El momento obtenido con la ecuación 5.10 resultó menor al momento flector útil T-5 obtenido a través de los datos proporcionados en la tabla 4.9, y a la mitad del obtenido con la ecuación 4.11, por lo que dicha combinación (vigüeta+bovedilla+capa a compresión), cumplen los requisitos de la geometría y carga del edificio para vivienda.

Tabla 4.9. Tabla de cargas (H= 16+4 cm) P.P =275 kg/cm³ Manual PREMEX

Tipos Vigüeta	BOVEDILLA DE CEMENTO-ARENA						Claro (m)
	<i>Sobrecarga=Carga viva + Acabados (kg/m²)</i>						
	250	350	500	750	1000	1500	
T-0	3.07	2.81	2.55	2.20	1.97	1.67	
T-1	3.75	3.44	3.69	2.59	2.41	2.04	
T-4	4.28	3.92	3.52	3.36	2.74	2.33	
⇒ T-5	4.93	4.43	4.43	3.46	3.10	2.63	

El acero negativo trabaja con la carga vertical total (carga muerta total + carga viva), utilizando para el momento positivo la ecuación 4.10. Para el momento negativo, se emplea la ecuación 4.12:

$$M(-) = 0.1wL^2 \tag{4.12}$$

En ambas ecuaciones se utilizan las cargas factorizadas por 1.4. Con el momento positivo dividido entre dos, y el momento negativo, se obtuvo el área de acero requerido con la ecuación 4.13:

$$M_u = 0.9A_s f_y (0.9d) \tag{4.13}$$

Para obtener el refuerzo distribuido en el firme, se compara el área de acero mínimo obtenido con la ecuación 4.6, cuantía mínima para el control de agrietamiento, según MR Ingenieros Consultores (PREMEX 2011), y el acero mínimo requerido por cortante según ecuación 2.22 de las NTCC-2004:

$$\rho_{min} = 0.0025 \tag{4.14}$$

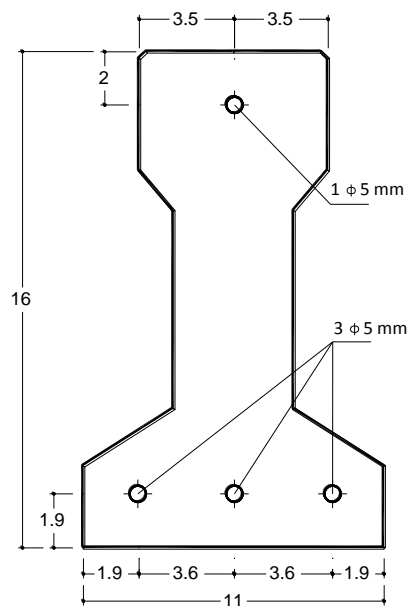
$$A_{v,min} = 0.3 \frac{\sqrt{f_c^*}}{f_y} b_s \tag{4.15}$$

4.3.3. Diseño final

Los diseños finales obtenidos para las losa de edificios para vivienda se reportan sintéticamente en la tabla 4.10 y en las figuras 4.1 y 4.2 se muestran los elementos prefabricados que forman parte del sistema de piso, con sus respectivas cotas en cm.

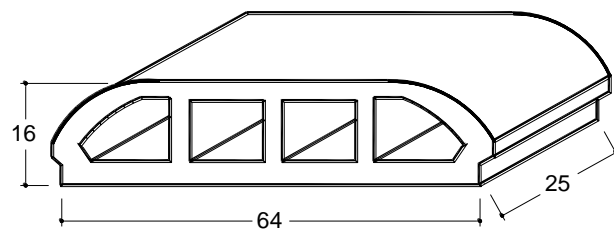
Tabla 4.10. Resumen del diseño de la losa vigueta y bovedilla

<i>Acero</i>	<i>Cantidad</i>
Acero de refuerzo negativo	2 # 3 @ 75 cm 3 # 4 @ 75 cm
Malla Electrosoldada	6/6, 6" x 6"



Vigueta T-5

Figura 4.2. Vigueta (Manual PREMEX)



Bovedilla

Figura 4.1. Bovedilla (Manual PREMEX)

4.4. Diseño de Losacero

4.4.1. Propiedades y Cargas

Las propiedades mecánicas de los materiales considerados y las cargas de diseño se presentan en las tablas 4.11 y 4.12 respectivamente.

Tabla 4.11. Propiedades mecánicas de los materiales utilizadas

<i>Materiales</i>	<i>Resistencia (kg/cm²)</i>	<i>Módulo de Elasticidad (kg/cm²)</i>
Concreto firme	200	173925
Lámina de acero	2320	2000000
Malla	5000	2000000

Tabla 4.12. Carga total de losacero (kg/m²)

Peso propio (lámina + firme)	205
Sobrecarga	148
Carga Viva	250
Carga Total	634

4.4.2. Diseño por recomendación del despacho García Jarque Ingenieros.

El despacho García Jarque Ingenieros es una reconocida empresa de diseño estructural en la ciudad de México, que se dedica a los diseños de proyectos estructurales desde hace varias décadas, por lo que tiene mucha experiencia en el diseño de sistemas de piso, entre ellos losacero.

El diseño de la losacero se realizó conforme a una hoja Excel proporcionada por dicho despacho, la cual fue programada de acuerdo a la reglamentación ACI y a las recomendaciones de la ASCE en cuanto a construcción compuesta. Esta hoja automatiza el cálculo del momento resistente, según la ubicación del eje neutro, y posteriormente el cálculo de la deflexión del sistema, para poder ser comparados contra el momento actuante en el sistema y la deflexión permitida, ambos calculados según las exigencias de las NTC. Esta hoja Excel se describe detalladamente en el Apéndice A.

El momento actuante se calcula, al igual que en el sistema de viga y bovedilla con la ecuación 4.11, afectado con los factores de carga correspondientes.

4.4.3. Diseño final

Los diseños finales obtenidos para las losa de edificios para oficinas se reportan sintéticamente en la tabla 4.13 y en la figura 4.3.

Tabla 4.13. Resumen del diseño de la losacero con conectores

<i>Materiales</i>	<i>Especificación</i>
Lámina de acero	Sección 4 calibre 22
Capa a compresión de concreto	6 cm
Malla electrosoldada	6/6, 6" x 6"
Viga Secundaria	W 18x86

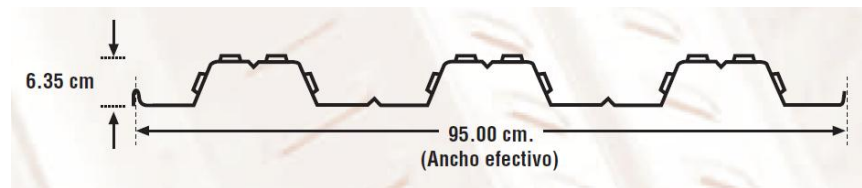


Figura 4.3. Lámina de acero sección 4 (Manual IMSA)

Tomando en cuenta las recomendaciones del Ing. Francisco García Jarque, la lámina de acero está apoyada cada 2.0 metros en las vigas secundarias, y el sistema de piso losacero diseñado según hoja Excel de García-Jarque Ingenieros tiene un momento resistente de 141,700 kg-m.

Cabe señalar que en función del espaciamiento de las vigas secundarias, es el calibre de la lámina de acero, el espesor del firme de concreto y el número de apoyos, según las recomendaciones del fabricante (IMSA 2010), como se observa en la tabla S4-5 de su manual, la cual se resume en la tabla 4.14 para calibre 22.

Tabla 4.14. Losacero sección 4: Claros máximos si apuntalamiento (m)

<i>Calibre</i>	<i>Apoyos</i>	<i>5 cm</i>	<i>6 cm</i>	<i>8 cm</i>	<i>10 cm</i>
Calibre 22	↑↑	2.12	2.04	1.90	1.79
	⇒ ↑↑↑	2.83	2.73	2.55	2.40
	↑↑↑↑	2.91	2.80	2.61	2.46

El diseño de la losacero fue revisado con el programa Vigas Compuestas y Vibraciones desarrollado por el Ing. Carlos Cincúnegui, donde se observó consistencia en los resultados.

4.5. Diseño de losa reticular aligerada con bloques de poliestireno

4.5.1. Propiedades y Cargas

Las propiedades y cargas utilizadas para el diseño de este sistema de piso, se encuentran especificados en las tablas 4.3 y 4.4. El tamaño de los casetones se resume en la tabla 4.15

Tabla 4.15. Dimensiones de bloques de poliestireno

<i>Ocupación del Edificio</i>	<i>Dimensión del bloque (cm)</i>
Vivienda	40x40
Oficina	100x100

4.5.2. Diseño por recomendación del Despacho García Jarque Ingenieros

El diseño de la losa reticular, al igual que el diseño de losacero, fue guiado por este reconocido despacho, proporcionándonos una hoja Excel programada, utilizando el método de los coeficientes propuestos por las NTC-04, para obtener los momentos en la nervadura, y en cuanto a la revisión por cortante, se consideró la fuerza cortante que la norma establece para una losa, además de tomar en cuenta todos los puntos de dicha revisión considerando la nervadura como una viga. Esta hoja se presenta a detalle en el apéndice B.

4.5.3. Diseño final

Los diseños finales obtenidos tanto para edificio de viviendas como de oficinas, se encuentran resumidos en las tablas 4.16 y 4.17 respectivamente.

Tabla 4.16. Resumen del diseño de losa reticular para vivienda

Espesor (cm)	Peralte de nervadura(cm)	Ancho de nervadura(cm)	Acero a flexión (dos camas)	Acero a cortante hasta 160 cm	Espesor firme (cm)	Acero en firme
30	27	15	2#3	#3@12 cm	5	6/6 6"x6"

Tabla 4.17. Resumen del diseño de losa reticular para oficina

Espesor (cm)	Peralte de nervadura (cm)	Ancho de nervadura (cm)	Acero a flexión (dos camas)	Acero a cortante hasta 240 cm	Espesor firme(cm)	Acero en firme
45	42	15	5#3	#3@20 cm	7	4/4 6"x6"

Las retículas que se encuentran en el perímetro de la columna formarán una losa maciza, para evitar falla por punzonamiento.

4.6. Diseño de Vigas Secundarias

Se elaboró un modelo utilizando el programa Sap2000 (CSI, 2005) en tres dimensiones, con marcos de tres crujeas en dirección x, y dos crujeas en dirección y, tanto de edificio para vivienda como para oficina, asignándoles las cargas gravitacionales correspondientes con su factor de 1.4, para diseñar las vigas secundarias.

Como se comentó anteriormente en el caso de edificios para vivienda de losa perimetralmente apoyada, se diseñó una viga de 6 metros en cada tablero paralela al eje x, dividiendo al tablero original en dos tableros de tres por seis metros; en el caso de edificios para oficina de losa perimetralmente apoyada se diseñaron tres vigas en cada tablero, dos de diez metros paralelas al eje y, espaciadas a cada cinco metros y una de quince metros paralela al eje x, dividiendo al tablero original en seis tableros de cinco por cinco metros, como se observa en las figuras 4.4 y 4.5

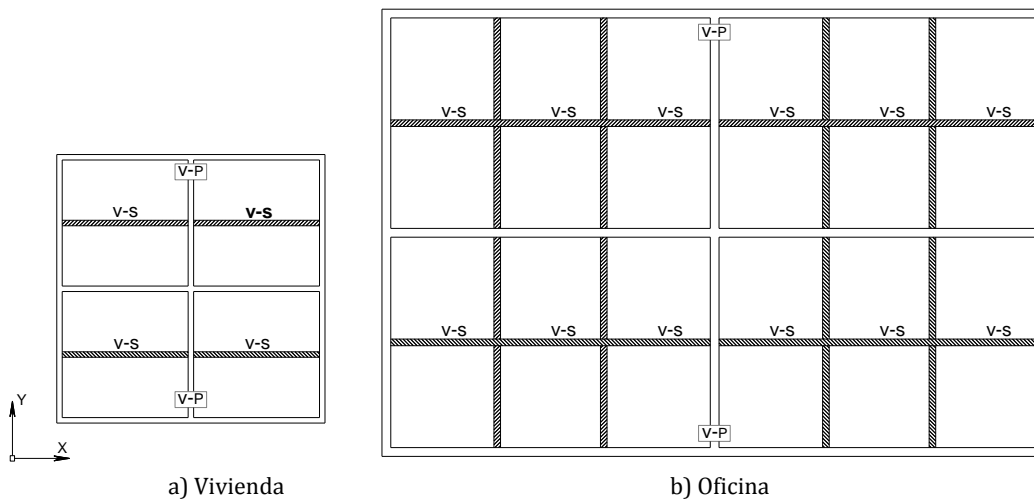


Figura 4.4. Distribución de vigas secundarias de edificios

4.6.1. Diseño a flexión y revisión por fuerza cortante

El diseño a flexión de las vigas se hizo según las recomendaciones de las NTCC-04, utilizando la ecuación 4.3 para obtener el peralte de la viga, suponiendo el 50% de la cuantía balanceada, la cual es obtenida a través de la ecuación 2.3 de las normas citadas previamente:

$$\rho_b = \frac{f_c''}{f_y} \frac{600\beta_1}{f_y + 600} \tag{4.16}$$

Después de obtenida el área de acero definitiva, se verificó mediante las siguientes expresiones que ésta se mantenga entre el intervalo delimitado por el área de hacer mínima y máxima definida en la sección 2.2 del reglamento utilizado:

$$A_{s,min} = \frac{0.7\sqrt{f_c'}}{f_y} bd \tag{4.17}$$

$$A_{s,max} = 0.75\rho_b bd \tag{4.18}$$

La revisión de la máxima fuerza cortante producida ante las cargas gravitacionales factorizadas actuantes en la viga se realizó, primero examinando que ésta no fuese superior a lo que en la sección 2.5.2.4 especifica la norma:

$$Vu \leq 2Frbd\sqrt{f_c^*} \tag{4.19}$$

Posteriormente se comparó contra la fuerza cortante que toma el concreto obtenida por la ecuación 4.9 anteriormente utilizada, en caso que la cuantía de la viga sea mayor o igual a 0.015, o en su defecto la ecuación 2.19 de la norma:

$$V_{cR} = F_R bd(0.2 + 20\rho)\sqrt{f_c''} \tag{4.20}$$

En caso de ser mayor la fuerza cortante aplicada que la tomada por el concreto, se empleó la ecuación 2.23 de la norma, para determinar el acero requerido para resistir la diferencia de las fuerzas.

$$s = \frac{F_R A_v f_y (\text{sen}\theta + \text{cos}\theta)}{V_{sR}} \quad (4.21)$$

Donde el espaciamiento denotado por s , es el menor obtenido por la ecuación 4.21. El acero obtenido de esta ecuación en todos los casos fue revisado con la ecuación 4.15.

El espaciamiento máximo en la zona plástica definida como $2h$ en la sección 7.2.3 de las NTCC-04, es el valor mínimo de las siguientes expresiones:

- 0.25d
- Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal más delgada
- 24 veces el diámetro de la barra del estribo
- 30 cm

Mientras que en la zona elástica los requisitos de separación máxima están regidos por:

- 60 cm
- 0.5d

Los factores de reducción utilizados son los mismos que se discutieron anteriormente en la sección 4.1.

4.6.2. *Revisión por deflexiones*

El cálculo de las deflexiones se realizó según propuestas de la sección 3.2 de las NTCC-04. Se obtuvieron con los momentos producidos por carga gravitacional sin factorizar.

Debido a que los edificios diseñados van a ser sometidos a acción de cargas laterales, se trabaja con la inercia agrietada, la cual se calcula despreciando la zona desde el eje neutro hasta la fibra en tensión más alejada.

Se obtuvieron las deflexiones inmediatas haciendo uso de la ecuación 11.10 del libro de González (2004)

$$a_i = \frac{5L^2}{48E_c I_{ag}} \left(M_c - \frac{M_i + M_d}{10} \right) \quad (4.22)$$

Las deflexiones diferidas se obtuvieron aplicando la ecuación 3.4 de la norma:

$$a = \frac{2}{1 + 50\rho'} \quad (4.23)$$

Las deflexiones obtenidas fueron comparadas con las permisibles, en este caso la deflexión máxima es definida por $L/240$ mas 0.5 cm.

4.6.3. Diseño final

Los diseños finales obtenidos para las losa de edificios para vivienda se reportan sintéticamente en la tabla 4.18.

Tabla 4.18. Resumen del diseño de vigas secundarias

<i>Tipo de Edificio</i>	<i>Dimensiones (cm)</i>		<i>Acero longitudinal</i>		<i>Acero transversal (cm)</i>	
	<i>B</i>	<i>h</i>	<i>(+)</i>	<i>(-)</i>	<i>L p (2h)</i>	<i>L elástica</i>
Vivienda	25	50	3#4	3#4	2#3@10	2#3@20
Edificio	40	80	3#8	4#8	4#3@15	4#3@30

CAPÍTULO 5 DISEÑO DE MARCOS

Se establecieron dos grupos en cada tipo de edificio-vivienda y oficina-. Estos grupos se dividieron en función de las relaciones de aspecto a estudiar. Las estructuras modelos de cada grupo constan de:

- Estructura I: Compuesta por marcos de tres crujiás en dirección x, y marcos de dos crujiás en dirección y.
- Estructura II: Compuesta por marcos de cinco crujiás en dirección x, y marcos de dos crujiás en dirección y.

La división de las relaciones de aspecto se reportan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1. División de estructuras tipo según relación de aspecto

<i>Tipo</i>	<i>Vivienda</i>	<i>Edificio</i>	<i>Relación aspecto</i>
I	1, 1.5, 2	1, 1.5, 2.25, 3	
II	2.5, 3, 3.5, 4	3.75, 4.5	

En ambos tipos de edificios, las altura de entrepiso es de 3.5 metros, constantes en todos los niveles.

5.1. Propiedades y cargas

Las propiedades de los materiales utilizados en el diseño de las vigas y columnas que componen cada marco, son las mismas anteriormente reportadas en la tabla 4.3.

Los marcos que componen cada estructura fueron diseñados para soportar la carga que produce el sistema de piso perimetralmente apoyado, y será el mismo para cada uno de los diferentes sistemas de piso estudiados. Fue propuesto de esta manera para asegurar que el contraste de la rigidez lateral que aporta el marco al sistema de piso, no sea una variante para determinar la condición rígida o flexible de dicho sistema de piso.

Los marcos fueron predimensionados con las cargas gravitacionales. Posteriormente se realizó un análisis estático, utilizando $c/Q' = 0.05$ para obtener las cargas que fueron aplicadas lateralmente en dirección x y y en cada entrepiso según lo estableció el análisis.

Se procedió a realizar el diseño final de vigas y columnas, mediante la condición más crítica entre la combinación de cargas permanentes y la de cargas permanentes y accidentales.

5.2. Diseño de Vigas

El diseño de vigas realizado fue bastante similar al descrito en la sección 4.4. Se utilizaron las mismas ecuaciones, añadiendo solamente la revisión de algunas condiciones propuestas en el capítulo de marcos dúctiles de las NTCC-04, que garantizan conexiones sin excentricidad:

- El cociente de la longitud de la viga entre su peralte debe ser mayor o igual a cuatro.
- El cociente de la longitud de la viga entre el ancho de la mismas debe ser menor o igual a treinta.
- El cociente de la altura y ancho de la viga debe ser menor o igual a tres.
- El ancho de la viga debe estar entre 25 y 65 cm.

5.2.1. Diseño final

Los diseños finales obtenidos para las losa de edificios para vivienda y oficina se reportan sintéticamente en la tabla 5.2 y 5.3, respectivamente.

Tabla 5.2. Resumen del diseño de vigas principales para vivienda

Tipo de Estructura	Dimensiones (cm)		Acero longitudinal		Acero transversal (cm)	
	<i>b</i>	<i>h</i>	(+)	(-)	<i>L p (2h)</i>	<i>L elástica</i>
I	25	50	3#6	3#6	2#3@10	2#3@20
II	25	50	3#6	3#6	2#3@10	2#3@20

Tabla 5.3. Resumen del diseño de vigas principales para oficina

Tipo de Estructura	Dimensiones (cm)		Acero longitudinal		Acero transversal (cm)	
	<i>b</i>	<i>h</i>	(+)	(-)	<i>L p (2h)</i>	<i>L elástica</i>
I	55	110	6#8	9#8	3#4@20	3#4@30
II	55	110	6#8	9#8	3#4@20	3#4@30

5.3. Diseño de Columnas

5.3.1. Diseño a flexocompresión

Las columnas se diseñaron tomando en cuenta la combinación más desfavorable de carga axial y momento flexionante, tal y como lo proponen las NTCC-04 en su sección 2.3.

Se propusieron columnas cuadradas, cuya área se obtuvo siguiendo los parámetros propuestos en la sección 7.3.1 de la norma mencionada:

- Dimensión transversal mínima debe ser de 30 cm
- El area transversal de la columna no debe ser menor que $\frac{P_u}{0.5f'_c}$
- La relación entre la dimensión lateral menor y la dimensión perpendicular debe ser mayor o igual que 0.4
- La relación entre la altura libre y la menor dimensión mínima debe ser de 15.

Las resistencias a flexión de las columnas en un nudo deben satisfacer la ecuación 7.2 de la norma:

$$\sum M_c = 1.5 \sum M_v \quad (5.1)$$

En dicha ecuación la cuantía de acero estará limitada por $\rho_{\min}=0.001$ y $\rho_{\max}=0.004$, según lo establece la norma en su sección 7.3.3. Posteriormente se revisa que los elementos mecánicos de la sección sean óptimos, según su diagrama de interacción.

5.3.2. Revisión de resistencia a fuerza cortante

Esta revisión fue realizada según lo estipulado en las NTCC-04, en los capítulos 2, 6 y 7. La longitud inelástica de la columna se determinó de acuerdo a la sección 7.3.4, en este caso rigió el criterio de la dimensión mayor transversal del miembro. El área de acero utilizada fue obtenida a partir de las siguientes ecuaciones:

$$A_{sh} = 0.3 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yh}} s b_c \quad (5.2)$$

$$A_{sh} = 0.09 \frac{f'_c}{f_{yh}} s b_c \quad (5.3)$$

Asimismo la separación máxima en esta longitud, está dada por las siguientes condiciones:

- La cuarta parte de la dimensión transversal menor
- Seis veces el diámetro de la barra longitudinal más gruesa
- 10 cm

Posteriormente, se revisa que tanto el cortante del elemento no sobrepase las limitaciones propuestas por la norma, con la ecuaciones 5.2 o 5.3.

La separación máxima de estribos en la longitud elástica es limitada por la sección 6.2.3 de la norma:

- $\frac{850}{\sqrt{f_y}}$ veces el diámetro de la barra longitudinal más delgada
- 48 diámetros de la barra del estribo
- La mitad de la menor dimensión

El cortante del elemento es comparado contra la suma del cortante del acero, obtenido con la ecuación 4.20 y la ecuación 4.19, multiplicada por la ecuación propuesta por la norma en la sección 2.5.1:

$$1 + 0.07 \frac{P_u}{A_g} \quad (5.4)$$

Igualmente, la carga axial que se le solicita al miembro, es comparada con un límite superior definido por:

$$F_R (0.7 f'_c A_g + 2000 A_s) \quad (5.5)$$

5.3.3. Diseño final

Los diseños finales obtenidos para las losa de edificios para vivienda y oficina se reportan sintéticamente en la tabla 5.4 y 5.5, respectivamente.

Tabla 5.4. Resumen del diseño de columnas para vivienda

<i>Tipo de Estructura</i>	<i>Dimensiones</i>		<i>Acero Transversal</i>	
	<i>transversales (cm)</i>	<i>Acero longitudinal</i>	<i>Lp (h)</i>	<i>L elástica</i>
I	40x40	4#8	4#3@10	4#3@20
II	40x40	4#8	4#3@10	4#3@20

Tabla 5.5. Resumen del diseño de columnas para oficinas

<i>Tipo de Estructura</i>	<i>Dimensiones</i>		<i>Acero Transversal</i>	
	<i>transversales (cm)</i>	<i>Acero longitudinal</i>	<i>Lp (h)</i>	<i>L elástica</i>
II	90x90	16#8	6#4@10	6#4@15
			6#4@10	6#4@15

CAPÍTULO 6

MODELADO CON ELEMENTOS FINITOS

6.1. Generalidades

Los modelos diseñados se analizaron por medio del software Ansys (Ansys 2009), en el cual la estructura fue solicitada a trabajar únicamente en el intervalo elástico. Anteriormente se modeló con Sap200, utilizando el elemento Shell-thick para la losa y elemento frame para vigas y columnas, pero para ser más precisos con el modelado ortotrópico, se decidió utilizar el elemento solid, además que de esta forma se puede modelar con más rigor las conexiones. Debido a facilidades y variedad de elementos solid en la galería estructural del software Ansys, fue precisamente éste el utilizado.

Posteriormente, para el análisis de flexibilidad de los sistemas de piso, cada modelo fue discretizado a través de un mallado con elementos finitos, garantizando la continuidad de la malla en los diferentes elementos de la estructura (losa, vigas y columna). Este mallado fue importado a Ansys en forma de archivo de texto, el cual se alimentó con el dibujo de la estructura en tres dimensiones.

El elemento utilizado para discretizar todos los sistemas de piso estudiados fue Solid-186, el cual es un elemento finito isoparamétrico de 20 nudos y tres grados de libertad, desplazamiento en x , desplazamiento en y y desplazamiento en z . Además con este elemento se puede modelar comportamiento isotrópico y ortotrópico.

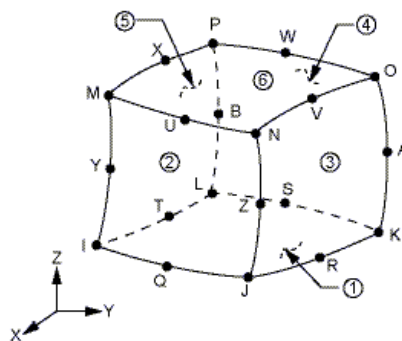


Figura 6.1. Solid-186 (Ansys 2009)

6.2. Losa perimetralmente apoyada

Para el modelado de esta losa, se requirieron los datos geométricos de cada sección, según lo especificó su respectivo diseño, expresado en la sección 4.2 y el Capítulo 5 para los marcos. Todos los elementos estructurales fueron modelados como elementos isotrópicos. Los elementos finitos utilizados, tienen diferentes dimensiones, de forma que coincidieran con los elementos finitos de los elementos vecinos, como se muestra en la figura 6.2.

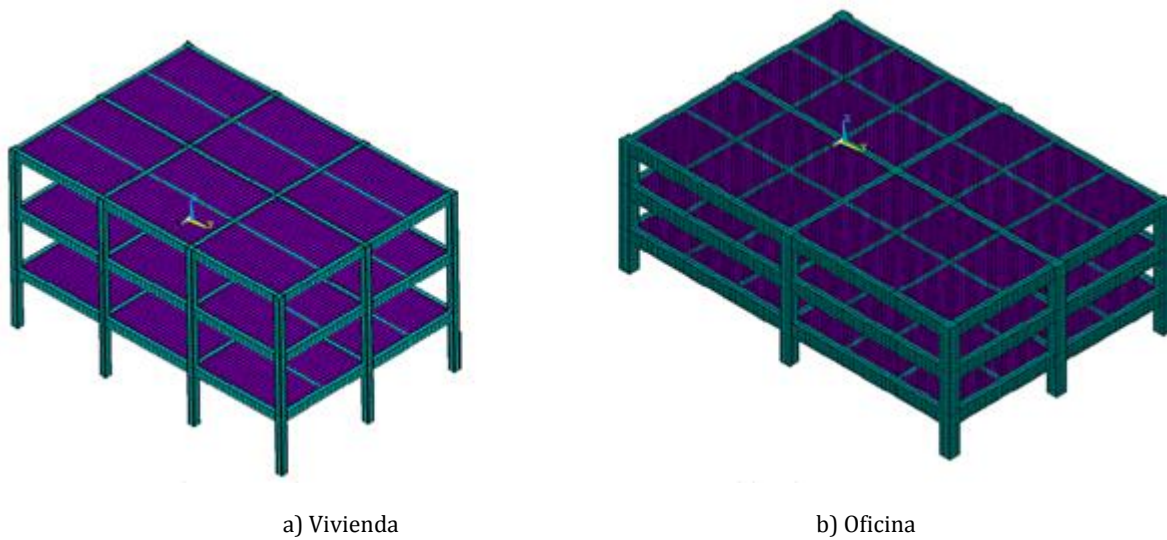


Figura 6.2. Estructuración de malla del modelo de losa perimetralmente apoyada

Las dimensiones de la malla y la cantidad de elementos utilizadas para elaborar los edificios se detallan en las tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4.

Tabla 6.1. Estructuración de malla del modelo de losa perimetralmente apoyada para vivienda

<i>Elemento</i>	<i>Mallado menor (cm)</i>	<i>Mallado mayor (cm)</i>	<i>Total elementos</i>
Columna	7.5x7.5x11	25x25x25	207
Viga	7.5x25x11	25x25x25	69
Losa	7.5x17.5x11	25x25x11	596

Tabla 6.2. Estructuración de malla del modelo de losa perimetralmente apoyada para oficina

<i>Elemento</i>	<i>Mallado menor (cm)</i>	<i>Mallado mayor (cm)</i>	<i>Total elementos</i>
Columna	17.5x17.5x12	17.5x17.5x22.67	352
Viga	15x17.5x12	20x27.5x22.67	644
Losa	15x17.5x12	20x20x12	3170

Tabla 6.3. Total de elementos finitos de losa perimetralmente apoyada para vivienda

<i>Relación Aspecto</i>	<i>Número de elementos</i>
1	17496
1.5	23049
2	29973
2.5	36897
3	43821
3.5	50754
4	57669

Tabla 6.4. Total de elementos finitos de losa perimetralmente apoyada para oficina

<i>Relación Aspecto</i>	<i>Número de elementos</i>
1	140676
1.5	96828
2.25	141726
3	186624
3.75	231522
4.5	276420

6.3. Losa vigueta y bovedilla

Con las propiedades y resultados propuestos anteriormente, se procedió a construir el modelo. Pero debido a las diferentes propiedades mecánicas de los elementos que conforman este sistema de piso, se idealizó como un material ortotrópico (Apéndice C), transformando sus propiedades de manera tal que a través de un cambio en su geometría puedan ser representados por las propiedades mecánicas de un solo material, y finalmente transformando sus secciones a formas prismáticas que faciliten su introducción en el software utilizado (Apéndice D).

Estas propiedades en las direcciones ortogonales se resumen en la tabla 6.5, cuyas orientaciones se ilustran en la figura 6.4

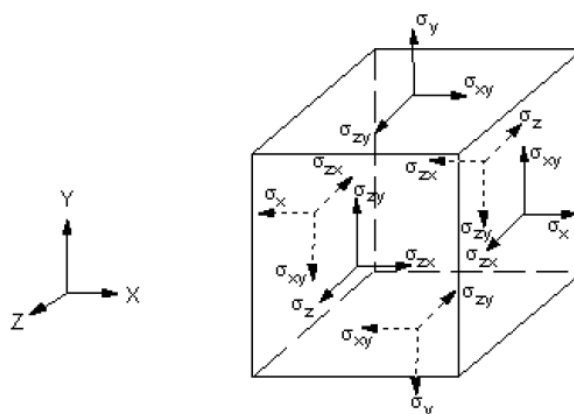


Figura 6.3. Direcciones ortogonales de las propiedades mecánicas (Ansys 2009)

Tabla 6.5. Transformaciones a secciones equivalentes del sistema de piso vigueta y bovedilla

<i>Elemento</i>	<i>t(cm)</i>	<i>EX(kg/cm²)</i>	<i>EY(kg/cm²)</i>	<i>EZ(kg/cm²)</i>	<i>GXY (kg/cm²)</i>	<i>GYZ(kg/cm²)</i>	<i>GXZ(kg/cm²)</i>
Vigueta	20	202192.45	135542.49	181547.52	64447.60	54844.92	54844.99
Bovedilla	20	159985.73	133416.13	126194.35	105513.75	25014.86	25014.86

Las direcciones del módulo de elasticidad y del módulo de rigidez al corte en el sistema de vigueta y bovedilla se esquetizan en la figura 6.4

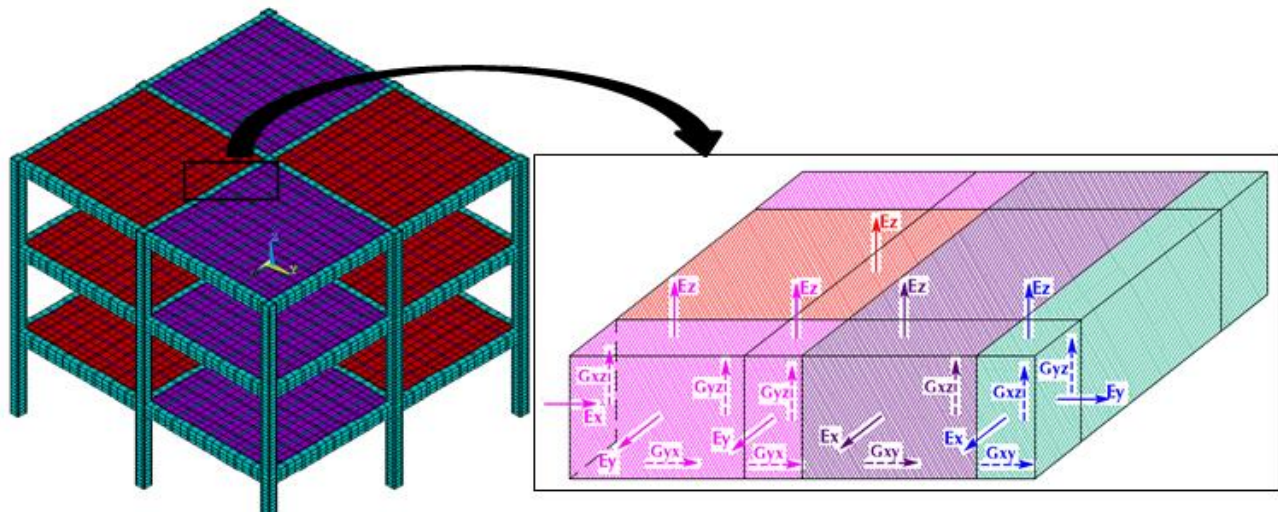


Figura 6.4. Colocación de propiedades ortogonales en vigueta y bovedilla

De igual forma que en el modelo de losa perimetralmente apoyada, se obtuvieron varias dimensiones de elementos finitos para garantizar la perfecta unión de los mismos, obteniendo el mallado detallado en las tablas 6.6 y 6.7 y mostrado en la figura 6.5

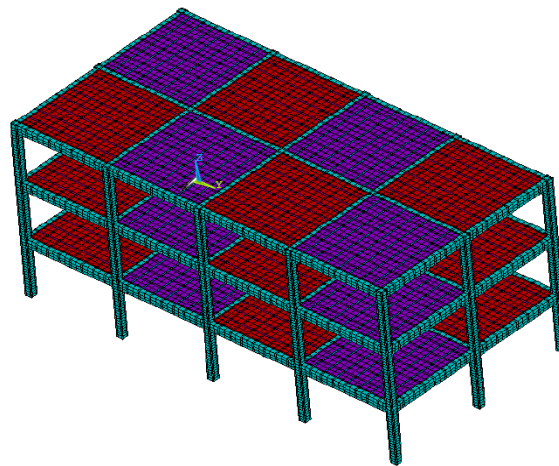


Figura 6.5. Estructuración de malla del modelo de vigueta y bovedilla

Tabla 6.6. Estructuración de malla del modelo de vigueta y bovedilla para vivienda

<i>Elemento</i>	<i>Mallado menor (cm)</i>	<i>Mallado mayor (cm)</i>	<i>Total elementos</i>
Columna	7.5x7.5x15	25x25x20	207
Viga	7.5x10x15	32.5x10x20	69
Bovedilla	7.5x32.5x20	32.5x32.5x20	446
Vigueta	25x10x15	25x25x20	175

Tabla 6.7. Total de elementos finitos para vigueta y bovedilla

<i>Relación Aspecto</i>	<i>Número de elementos</i>
1	15525
1.5	22149
2	28773
2.5	35397
3	42021
3.5	48645
4	55269

6.4. Losacero

Para modelar losacero se siguió un procedimiento análogo al utilizado con vigueta y bovedilla. Se realizó una transformación a elementos sólidos prismáticos explicada con mayor detalle en el Apéndice E. Los resultados de dichos cálculos se resumen en la tabla 6.8.

Tabla 6.8. Transformaciones a secciones equivalentes del sistema de losacero

<i>Elemento</i>	<i>t(cm)</i>	<i>EX(kg/cm²)</i>	<i>EY(kg/cm²)</i>	<i>EZ(kg/cm²)</i>	<i>GXY(kg/cm²)</i>	<i>GYZ(kg/cm²)</i>	<i>GXZ(kg/cm²)</i>
Losacero A	15	116567.31	312011.20	157029.46	44749.4576	65611.3599	65611.3599
Losacero B	15	14871.29	78335.820	78335.82	21740.6252	32743.7872	32743.7872

En la figura 6.6 se observa el mallado tipo que se siguió para todas las relaciones de aspecto.

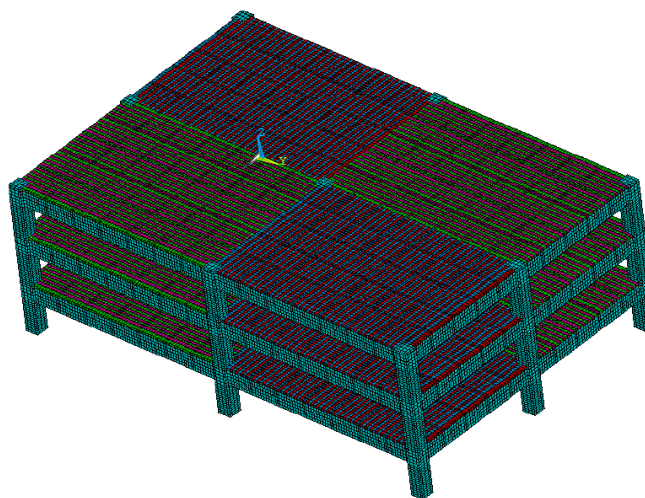


Figura 6.6. Estructuración de malla del modelo losacero

Las dimensiones del mallado de elementos finitos se condensa en la tabla 6.9 y la cantidad de elementos finitos por modelo en la tabla 6.10.

Tabla 6.9. Estructuración de malla del modelo de losacero

<i>Elemento</i>	<i>Mallado menor (cm)</i>	<i>Mallado mayor (cm)</i>	<i>Total elementos</i>
Columna	15x17.5x1.96	27.5x27.5x21.39	368
Viga	27.5x1.22x1.96	27.5x20x21.39	1106
Perfil W	27.5x1.22x1.96	27.5x20x21.39	644
Losacero	15x15x15	20x20x15	4516

Tabla 6.10. Total de elementos finitos para losacero

<i>Relación Aspecto</i>	<i>Número de elementos</i>
1	186720
1.5	128112
2.25	188112
3	248112
3.75	308112
4.5	361224

6.5. Losa reticular aligerada con bloques de poliestireno

Con las dimensiones señaladas en el diseño de los edificios tanto de vivienda como de oficina, correspondientes a este tipo de sistema de piso, se procesó el dibujo en Autocad, para luego generar el mallado y capturar las coordenadas en un archivo de texto, que se convierte en dato de entrada para Ansys, así como se han realizado todos los modelos anteriores. En este caso también se utilizó un modelado isotrópico, ya que para fines prácticos, el módulo de elasticidad de los bloques de poliestireno puede ser despreciado debido a que representa un porcentaje muy bajo de la rigidez del conjunto, dado que su módulo de elasticidad varía entre 15 y 108 kg/cm², dependiendo la densidad del casetón (Cortés 2009).

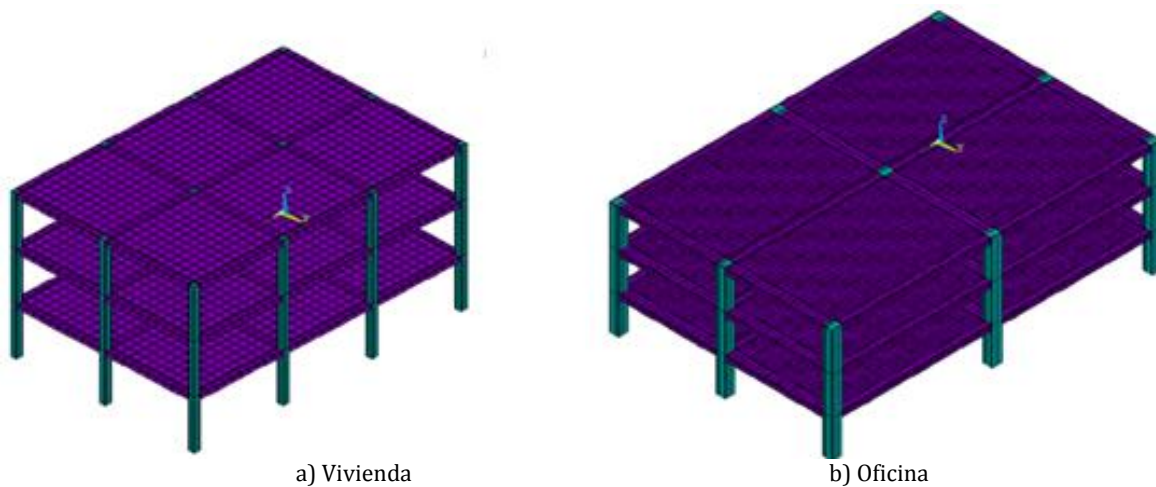


Figura 6.7. Estructuración de malla del modelo losa reticular

La variación y discretización de elementos finitos se sintetiza en las tablas 6.11 a 6.14 y en la figura 6.6.

Tabla 6.11. Estructuración de malla del modelo de losa reticular para vivienda

<i>Elemento</i>	<i>Mallado menor (cm)</i>	<i>Mallado mayor (cm)</i>	<i>Total elementos</i>
Columna	5x5x16	15x15x25	594
Losa	5x5x15	15x25x25	1125

Tabla 6.12. Estructuración de malla del modelo de losa reticular para oficina

<i>Elemento</i>	<i>Mallado menor (cm)</i>	<i>Mallado mayor (cm)</i>	<i>Total elementos</i>
Columna	7x15x15	37.5x45x20.33	648
Losa	7x5x15	15x25x20	5791

Tabla 6.13. Total de elementos finitos de losa reticular para vivienda

<i>Relación Aspecto</i>	<i>Número de elementos</i>
1	18846
1.5	26970
2	35094
2.5	43218
3	51342
3.5	59466
4	67590

Tabla 6.14. Total de elementos finitos de losa reticular para oficina

<i>Relación Aspecto</i>	<i>Número de elementos</i>
1	111528
1.5	74676
2.25	109530
3	144384
3.75	179238
4.5	214092

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS DE FLEXIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE PISO

Para obtener el perfil de desplazamientos laterales de los sistemas de piso se introdujo una carga aproximadamente de 5 ton/m, en forma de presión en ambos lados exteriores de la losa, la cual se modificó según el espesor del elemento finito que representa el sistema de piso en turno, para cada una de las relaciones de aspecto para los edificios de vivienda, siguiendo el mismo procedimiento se aplicó para edificios de oficina 7.5 ton/m por lado, como se ilustra en la figura 7.1

Paralelamente y tomando como base el modelo de la losa perimetralmente apoyada, se modificó el módulo de elasticidad de la losa, de forma tal que se pudiese considerar como infinitamente rígida, con módulo de elasticidad de 2.2×10^{10} kg/cm², (Apéndice F).

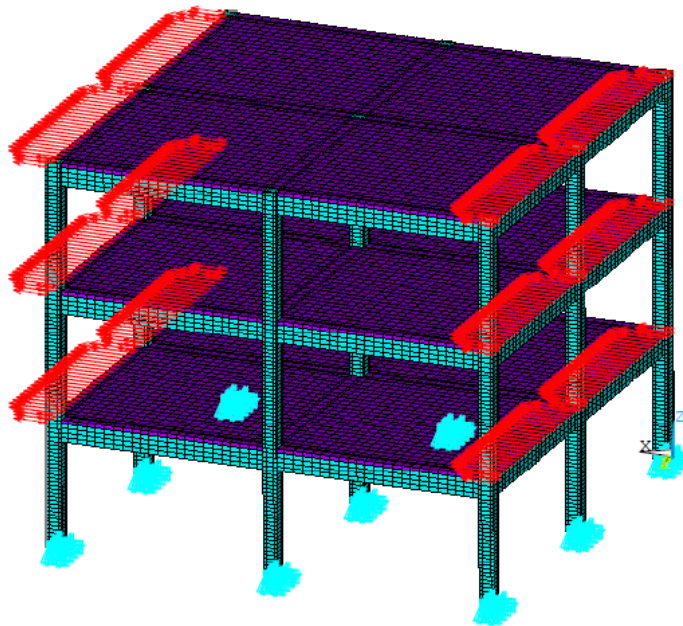


Figura 7.1. Aplicación de carga lateral

7.1. Criterios de Evaluación

Para determinar el comportamiento rígido o flexible del diafragma que conforma determinado sistema de piso, éste fue evaluado con cuatro criterios discutidos posteriormente.

Tres de éstos se evalúan tomando como parámetro los desplazamientos y el cuarto criterio toma como base la relación entre las fuerzas de reacción entre elementos verticales extremos y centrales.

El criterio que proponen las entidades estadounidenses como los documentos FEMA (Federal Emergency Management Agency), el reglamento UBC-97 (Uniform Building Code), la norma ASCE-7 (American Society of Civil Engineers), entre otros, consiste en el cociente del desplazamiento central del claro y el promedio de los desplazamientos de las esquinas del mismo:

$$R = \frac{\Delta_c}{0.5(\Delta_1 + \Delta_2)} \quad (7.1)$$

Este índice establece como límite dos, de modo tal que si $R \geq 2$, el sistema de piso se considera como diafragma flexible.

El índice propuesto en Tena y Cortés (2009), a partir de Ju-Lin (1999), el cual normaliza la diferencia del desplazamiento en el centro del claro del sistema de piso en estudio y el desplazamiento en el centro del claro de un sistema de piso de referencia con una rigidez infinita (el modelo donde se consideró que $E=2.2e10$ kg/cm²), con el último desplazamiento, que a diferencia de Ju-Lin, que lo normalizan con el primero. La propuesta Tena surge porque resulta de mayor interés la comparación el sistema de piso con un sistema de piso infinitamente rígido.

Índice Tena-Cortés:

$$R = \frac{\Delta c_{flex} - \Delta c_{rig}}{\Delta c_{rig}} \quad (7.2)$$

Índice Ju-Lin:

$$R = \frac{\Delta c_{flex} - \Delta c_{rig}}{\Delta c_{flex}} \quad (7.3)$$

Ju-Lin proponen que un índice (R) igual o mayor a 0.45 sugiere un comportamiento de diafragma flexible en la losa en cuestión y uno menor a 0.2 un comportamiento de diafragma rígido, de forma que para el intervalo de estos valores el comportamiento se considera como semi-rígido.

En la modificación del índice propuesto por Tena-Cortés este índice (R) sugiere un comportamiento de diafragma flexible cuando el índice exceda el límite de 0.85 y un comportamiento de diafragma rígido cuando dicho índice esté por debajo de 0.25, cuando éste se encuentre entre ambos valores se define como semi rígido.

7.2. Resultados del comportamiento del diafragma

Se determinó el comportamiento del diafragma a partir de las ampliaciones de desplazamiento en el centro de diafragma y de las ampliaciones en la fuerza de los elementos verticales centrales, en el caso de este estudio las reacciones de las columnas.

7.2.1. Evaluación de Índices de flexibilidad

A través del cálculo de los índices descritos en la sección anterior (ASCE-7, Ju-Lin, Tena-Cortés) se determinó el tipo de diafragma que constituyen los diversos sistemas de piso estudiados, a través de los perfiles de desplazamientos obtenidos (Apéndice F).

En las tablas 7.1 a 7.9 y figuras 7.2 a 7.5 se discute el comportamiento de los sistemas de piso utilizados para edificios de viviendas (tableros de seis metros por lado) y posteriormente en las siguientes tablas 7.10 a 7.18 y figuras 7.6 a 7.10, se hace para edificios de oficinas (tableros de diez por quince metros).

Tabla 7.1. Índice ASCE-7 para losa perimetralmente apoyada vivienda

A/B	Pisos	ÍNDICE POR CRUJIA							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	1	0.9688	0.9688						
	2	0.9901	0.9902						
	3	0.9972	0.9971						
1	1	0.9697	0.9755	0.9699					
	2	0.9905	0.9924	0.9905					
	3	0.9973	0.9979	0.9973					
1.5	1	0.9688	0.9749	0.9690					
	2	0.9902	0.9921	0.9902					
	3	0.9971	0.9978	0.9971					
2	1	0.9688	0.9752	0.9750	0.9690				
	2	0.9902	0.9921	0.9921	0.9902				
	3	0.9971	0.9978	0.9978	0.9971				
2.5	1	0.9689	0.9750	0.9751	0.9751	0.9691			
	2	0.9902	0.9921	0.9922	0.9922	0.9903			
	3	0.9971	0.9978	0.9978	0.9978	0.9971			
3	1	0.9689	0.9751	0.9752	0.9753	0.9753	0.9692		
	2	0.9901	0.9921	0.9922	0.9868	0.9987	1.0027		
	3	0.9971	0.9978	0.9978	0.9979	0.9979	0.9971		
3.5	1	0.9687	0.9749	0.9752	0.9754	0.9753	0.9752	0.9691	
	2	0.9901	0.9921	0.9922	0.9922	0.9923	0.9922	0.9902	
	3	0.9970	0.9978	0.9978	0.9979	0.9979	0.9978	0.9971	
4	1	0.9687	0.9750	0.9752	0.9753	0.9754	0.9754	0.9753	0.9692
	2	0.9901	0.9921	0.9922	0.9923	0.9923	0.9923	0.9923	0.9903
	3	0.9970	0.9978	0.9979	0.9979	0.9979	0.9979	0.9979	0.9971

Tabla 7.2. Índice ASCE-7 para losa vigueta y bovedilla vivienda

A/B	Pisos	ÍNDICE POR CRUJIA							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	1	0.9703	0.9697						
	2	0.9905	0.9903						
	3	0.9972	0.9971						
1	1	0.9705	0.9768	0.9705					
	2	0.9907	0.9928	0.9907					
	3	0.9972	0.9980	0.9972					
1.5	1	0.9705	0.9752	0.9705					
	2	0.9906	0.9921	0.9906					
	3	0.9972	0.9977	0.9972					
2	1	0.9706	0.9754	0.9767	0.9701				
	2	0.9906	0.9921	0.9925	0.9904				
	3	0.9972	0.9977	0.9979	0.9971				
2.5	1	0.9706	0.9754	0.9767	0.9754	0.9707			
	2	0.9906	0.9922	0.9926	0.9922	0.9907			
	3	0.9972	0.9978	0.9980	0.9978	0.9972			
3	1	0.9706	0.9755	0.9768	0.9757	0.9767	0.9700		
	2	0.9906	0.9922	0.9926	0.9922	0.9996	0.9901		
	3	0.9972	0.9978	0.9980	0.9978	0.9980	0.9971		
3.5	1	0.9706	0.9755	0.9768	0.9757	0.9770	0.9757	0.9707	
	2	0.9907	0.9922	0.9926	0.9922	0.9926	0.9922	0.9906	
	3	0.9972	0.9978	0.9979	0.9977	0.9974	0.9971	0.9964	
4	1	0.9704	0.9733	0.9768	0.9758	0.9771	0.9758	0.9768	0.9701
	2	0.9906	0.9921	0.9926	0.9923	0.9863	0.9923	0.9926	0.9905
	3	0.9972	0.9978	0.9980	0.9978	0.9980	0.9978	0.9979	0.9971

Tabla 7.3. Índice ASCE-7 para losa reticular en vivienda

A/B	Pisos	ÍNDICE POR CRUJIA							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	1	0.9727	0.9728						
	2	0.9910	0.9910						
	3	0.9969	0.9969						
1	1	0.9734	0.9764	0.9734					
	2	0.9913	0.9924	0.9913					
	3	0.9970	0.9976	0.9970					
1.5	1	0.9730	0.9763	0.9730					
	2	0.9911	0.9923	0.9911					
	3	0.9969	0.9975	0.9969					
2	1	0.9731	0.9765	0.9764	0.9731				
	2	0.9911	0.9923	0.9923	0.9911				
	3	0.9969	0.9975	0.9975	0.9999				
2.5	1	0.9733	0.9767	0.9767	0.9767	0.9732			
	2	0.9912	0.9924	0.9924	0.9924	0.9915			
	3	0.9970	0.9976	0.9976	0.9976	0.9970			
3	1	0.9733	0.9768	0.9769	0.9769	0.9767	0.9733		
	2	0.9912	0.9924	0.9924	0.9924	0.9924	0.9912		
	3	0.9970	0.9976	0.9976	0.9976	0.9977	0.9967		
3.5	1	0.9734	0.9769	0.9770	0.9770	0.9769	0.9768	0.9733	
	2	0.9913	0.9925	0.9925	0.9925	0.9925	0.9924	0.9913	
	3	0.9970	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976	0.9970	
4	1	0.9734	0.9769	0.9770	0.9771	0.9770	0.9768	0.9768	0.9733
	2	0.9913	0.9925	0.9925	0.9926	0.9925	0.9925	0.9924	0.9913
	3	0.9970	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976	0.9976	0.9970

Tabla 7.4. Índice Tena-Cortés para losa perimetralmente apoyada en vivienda

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	1	0.3676	0.3676						
	2	0.5551	0.5552						
	3	0.6173	0.6172						
1	1	0.3480	0.3500	0.3482					
	2	0.5347	0.5354	0.5348					
	3	0.5940	0.5944	0.5940					
1.5	1	0.3636	0.3658	0.3638					
	2	0.5509	0.5515	0.5509					
	3	0.6116	0.6121	0.6116					
2	1	0.3584	0.3630	0.3627	0.3588				
	2	0.5458	0.5470	0.5470	0.5459				
	3	0.6057	0.6066	0.6067	0.6058				
2.5	1	0.3543	0.3603	0.3625	0.3605	0.3546			
	2	0.5421	0.5439	0.5446	0.5440	0.5422			
	3	0.6016	0.6030	0.6035	0.6030	0.6016			
3	1	0.3501	0.3581	0.3625	0.3626	0.3584	0.3504		
	2	0.5389	0.5416	0.5432	0.5432	0.5549	0.5527		
	3	0.5982	0.6003	0.6015	0.6015	0.6004	0.5983		
3.5	1	0.3453	0.3556	0.3622	0.3645	0.3623	0.3559	0.3459	
	2	0.5357	0.5395	0.5422	0.5431	0.5422	0.5396	0.5359	
	3	0.5952	0.5980	0.6000	0.6007	0.6000	0.5981	0.5953	
4	1	0.3404	0.3526	0.3613	0.3659	0.3660	0.3616	0.3530	0.3410
	2	0.5323	0.5374	0.5413	0.5434	0.5434	0.5414	0.5376	0.5325
	3	0.5921	0.5959	0.5987	0.6002	0.6003	0.5987	0.5960	0.5923

Tabla 7.5. Índice Tena-Cortés para losa vigueta y bovedilla en vivienda

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	1	0.3385	0.3370						
	2	0.5097	0.5091						
	3	0.5651	0.5648						
1	1	0.3296	0.3327	0.3296					
	2	0.5003	0.5015	0.5003					
	3	0.5534	0.5541	0.5534					
1.5	1	0.3466	0.3466	0.3467					
	2	0.5172	0.5171	0.5172					
	3	0.5714	0.5714	0.5714					
2	1	0.3413	0.3429	0.3447	0.3398				
	2	0.5115	0.5119	0.5125	0.5109				
	3	0.5649	0.5653	0.5656	0.5646				
2.5	1	0.3369	0.3404	0.3437	0.3404	0.3370			
	2	0.5074	0.5084	0.5096	0.5084	0.5075			
	3	0.5604	0.5612	0.5620	0.5613	0.5604			
3	1	0.3332	0.3386	0.3439	0.3423	0.3402	0.3313		
	2	0.5045	0.5062	0.5081	0.5074	0.5173	0.5031		
	3	0.5572	0.5586	0.5598	0.5595	0.5587	0.5567		
3.5	1	0.3278	0.3355	0.3431	0.3437	0.3433	0.3358	0.3282	
	2	0.5001	0.5038	0.5073	0.5080	0.5080	0.5051	0.5025	
	3	0.5510	0.5571	0.5630	0.5675	0.5713	0.5738	0.5759	
4	1	0.3215	0.3281	0.3403	0.3427	0.3442	0.3384	0.3319	0.3192
	2	0.4958	0.4996	0.5034	0.5044	0.4951	0.5022	0.4993	0.4939
	3	0.5490	0.5518	0.5543	0.5551	0.5552	0.5532	0.5510	0.5472

Tabla 7.6. Índice Tena-Cortés para losa reticular en vivienda

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	1	0.3790	0.3791						
	2	0.5839	0.5840						
	3	0.6581	0.6581						
1	1	0.3482	0.3492	0.3483					
	2	0.5455	0.5457	0.5457					
	3	0.6124	0.6125	0.6125					
1.5	1	0.3606	0.3625	0.3606					
	2	0.5569	0.5573	0.5570					
	3	0.6253	0.6256	0.6254					
2	1	0.3472	0.3507	0.3499	0.3451				
	2	0.5404	0.5407	0.5401	0.5386				
	3	0.6064	0.6062	0.6056	0.6093				
2.5	1	0.3353	0.3416	0.3438	0.3413	0.3346			
	2	0.5255	0.5266	0.5269	0.5262	0.5250			
	3	0.5894	0.5897	0.5897	0.5892	0.5883			
3	1	0.3260	0.3342	0.3386	0.3382	0.3329	0.3236		
	2	0.5150	0.5166	0.5173	0.5167	0.5150	0.5123		
	3	0.5778	0.5781	0.5781	0.5775	0.5766	0.5748		
3.5	1	0.3160	0.3267	0.3337	0.3360	0.3335	0.3262	0.3152	
	2	0.5053	0.5080	0.5099	0.5104	0.5095	0.5072	0.5042	
	3	0.5675	0.5686	0.5693	0.5694	0.5689	0.5678	0.5663	
4	1	0.3082	0.3209	0.3301	0.3347	0.3345	0.3296	0.3204	0.3075
	2	0.4982	0.5020	0.5049	0.5063	0.5061	0.5044	0.5013	0.4972
	3	0.5606	0.5621	0.5633	0.5638	0.5637	0.5627	0.5613	0.5594

Tabla 7.7. Índice Ju-Lin para losa perimetralmente apoyada en vivienda

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	1	0.2688	0.2688						
	2	0.3570	0.3570						
	3	0.3817	0.3816						
1	1	0.2582	0.2592	0.2583					
	2	0.3484	0.3487	0.3484					
	3	0.3726	0.3728	0.3727					
1.5	1	0.2666	0.2678	0.2667					
	2	0.3552	0.3555	0.3552					
	3	0.3795	0.3797	0.3795					
2	1	0.2638	0.2663	0.2662	0.2641				
	2	0.3531	0.3536	0.3536	0.3531				
	3	0.3772	0.3776	0.3776	0.3772				
2.5	1	0.2616	0.2649	0.2661	0.2650	0.2618			
	2	0.3515	0.3523	0.3526	0.3523	0.3516			
	3	0.3756	0.3762	0.3764	0.3762	0.3756			
3	1	0.2593	0.2637	0.2660	0.2661	0.2638	0.2595		
	2	0.3502	0.3513	0.3520	0.3520	0.3569	0.3560		
	3	0.3743	0.3751	0.3756	0.3756	0.3751	0.3743		
3.5	1	0.2567	0.2623	0.2659	0.2671	0.2660	0.2625	0.2570	
	2	0.3488	0.3505	0.3516	0.3520	0.3516	0.3505	0.3489	
	3	0.3731	0.3742	0.3750	0.3753	0.3750	0.3743	0.3732	
4	1	0.2540	0.2607	0.2654	0.2679	0.2679	0.2656	0.2609	0.2543
	2	0.3474	0.3496	0.3512	0.3521	0.3521	0.3512	0.3496	0.3475
	3	0.3719	0.3734	0.3745	0.3751	0.3751	0.3745	0.3734	0.3720

Tabla 7.8. Índice Ju-Lin para losa vigueta y bovedilla en vivienda

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	1	0.2529	0.2521						
	2	0.3376	0.3374						
	3	0.3610	0.3609						
1	1	0.2479	0.2496	0.2479					
	2	0.3335	0.3340	0.3335					
	3	0.3563	0.3565	0.3563					
1.5	1	0.2574	0.2574	0.2574					
	2	0.3409	0.3408	0.3409					
	3	0.3636	0.3636	0.3636					
2	1	0.2545	0.2554	0.2564	0.2536				
	2	0.3384	0.3386	0.3389	0.3382				
	3	0.3610	0.3611	0.3613	0.3609				
2.5	1	0.2520	0.2539	0.2558	0.2539	0.2520			
	2	0.3366	0.3370	0.3376	0.3370	0.3366			
	3	0.3591	0.3595	0.3598	0.3595	0.3591			
3	1	0.2499	0.2530	0.2559	0.2550	0.2538	0.2489		
	2	0.3353	0.3361	0.3369	0.3366	0.3409	0.3347		
	3	0.3578	0.3584	0.3589	0.3588	0.3585	0.3576		
3.5	1	0.2469	0.2512	0.2554	0.2558	0.2556	0.2514	0.2471	
	2	0.3334	0.3350	0.3366	0.3369	0.3369	0.3356	0.3345	
	3	0.3553	0.3578	0.3602	0.3620	0.3636	0.3646	0.3654	
4	1	0.2433	0.2471	0.2539	0.2553	0.2561	0.2528	0.2492	0.2419
	2	0.3314	0.3331	0.3348	0.3353	0.3311	0.3343	0.3330	0.3306
	3	0.3544	0.3556	0.3566	0.3570	0.3570	0.3562	0.3552	0.3537

Tabla 7.9. Índice Ju-Lin para losa reticular en vivienda

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA							
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
1	1	0.2749	0.2749						
	2	0.3687	0.3687						
	3	0.3969	0.3969						
1	1	0.2583	0.2588	0.2583					
	2	0.3530	0.3530	0.3530					
	3	0.3798	0.3799	0.3799					
1.5	1	0.2650	0.2661	0.2650					
	2	0.3577	0.3579	0.3577					
	3	0.3847	0.3848	0.3848					
2	1	0.2577	0.2597	0.2592	0.2566				
	2	0.3508	0.3509	0.3507	0.3501				
	3	0.3775	0.3774	0.3772	0.3786				
2.5	1	0.2511	0.2546	0.2559	0.2544	0.2507			
	2	0.3445	0.3450	0.3451	0.3448	0.3443			
	3	0.3708	0.3710	0.3709	0.3707	0.3704			
3	1	0.2459	0.2505	0.2529	0.2527	0.2497	0.2445		
	2	0.3399	0.3406	0.3409	0.3407	0.3399	0.3387		
	3	0.3662	0.3663	0.3663	0.3661	0.3657	0.3650		
3.5	1	0.2401	0.2463	0.2502	0.2515	0.2501	0.2460	0.2397	
	2	0.3357	0.3369	0.3377	0.3379	0.3375	0.3365	0.3352	
	3	0.3621	0.3625	0.3628	0.3628	0.3626	0.3622	0.3616	
4	1	0.2356	0.2430	0.2482	0.2508	0.2507	0.2479	0.2427	0.2352
	2	0.3326	0.3342	0.3355	0.3361	0.3360	0.3353	0.3339	0.3321
	3	0.3592	0.3598	0.3603	0.3605	0.3605	0.3601	0.3595	0.3587

Como lo indica el índice de flexibilidad del reglamento ASCE-7, para las losas perimetralmente apoyadas, vigueta y bovedilla y losa reticular aligerada con bloques de poliestireno son prácticamente constantes y se encuentran muy cercanos a uno para todas las relaciones de aspecto A/B estudiadas, por lo que según esta clasificación constituyen diafragmas rígidos.

También se observa una disminución de desplazamiento en el centro del claro, lo cual probablemente se deba a una pequeña imperfección en el modelado o a un efecto tridimensional del módulo Poisson en un modelado isotrópico en el caso de losa perimetralmente apoyada y losa reticular aligerada y en un modelado ortotrópico en el caso de vigueta y bovedilla.

En cuanto al índice Ju-Lin, debido que los sistemas de piso de losa perimetralmente apoyada y vigueta y bovedilla en todas sus relaciones de aspecto se encuentra en el intervalo definido para diafragma semi-rígido ($0.2 < R < 4.5$), son considerados como tal.

Gráficamente los resultados se aprecian como lo sugieren las figuras a continuación.

LOSA PERIMETRALMENTE APOYADA

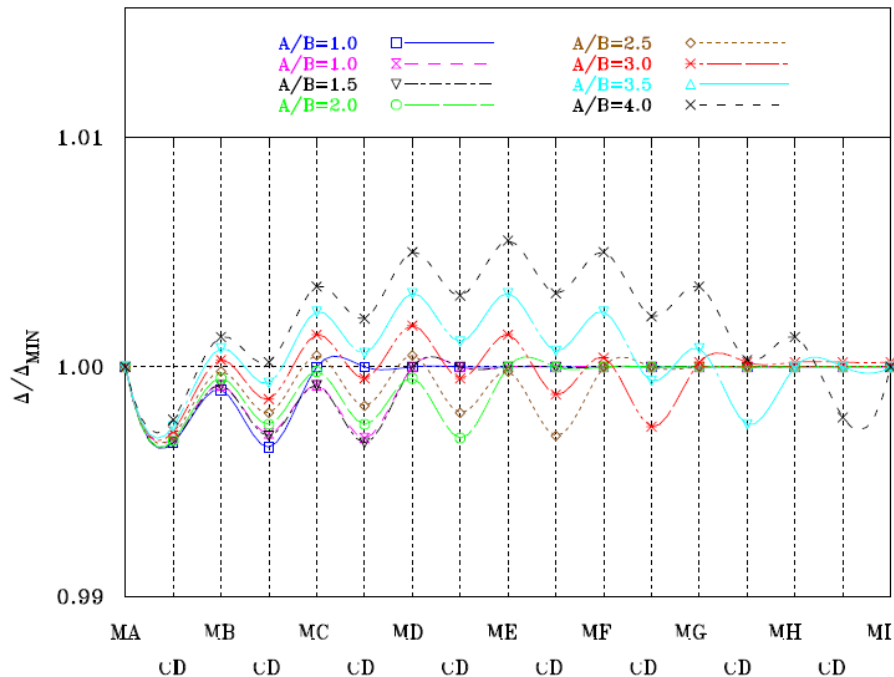


Figura 7.2. Desplazamientos en losa perimetralmente apoyada vivienda

Como se puede apreciar en forma gráfica (figura 7.2), este tipo de sistema de piso constituye un diafragma rígido en todas sus relaciones de aspecto. Se aprecia una pequeña amplificación (despreciable para fines prácticos) en el centro de la planta a medida que la relación de aspecto se vuelve más alargada.

VIGUETA Y BOVEDILLA

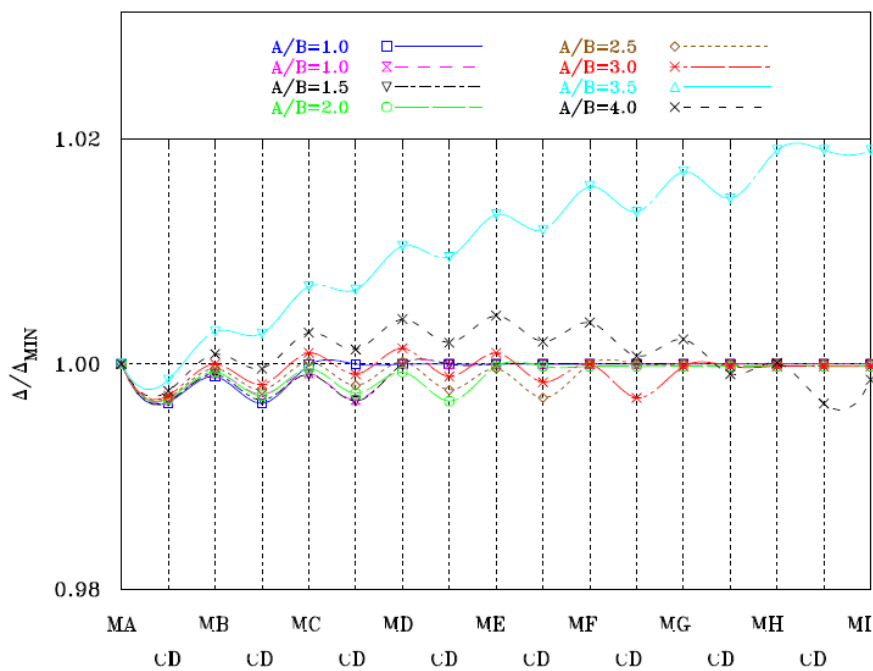


Figura 7.3. Desplazamientos en losa vigueta y bovedilla vivienda

Al igual que la losa perimetralmente apoyada, se observa un comportamiento similar de diafragma rígido en todas sus relaciones de aspecto. Asimismo a medida que la relación de aspecto aumenta el desplazamiento máximo se va pronunciando en el centro de la planta, a excepción de la relación de 3.5, donde se observa una pequeña torsión que genera un mayor desplazamiento en una de las esquinas, esta torsión pudo ser favorecida en algunos casos por la asimetría de los tableros con respecto al eje centroidal de la dirección larga, ya que la distribución de éstos como tablero de ajedrez propicia una ligera excentricidad con respecto a ese eje.

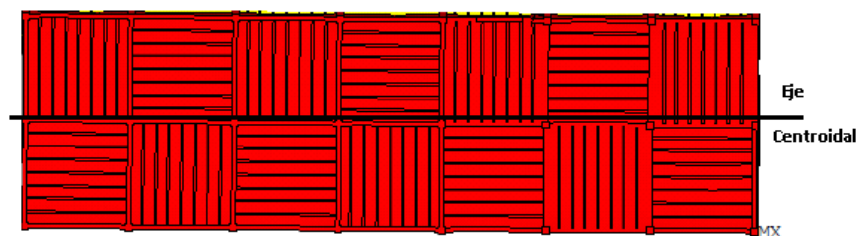


Figura 7.4. Torsión en vigueta y bovedilla

Se realizó un modelo de relación de aspecto 3, donde se utilizó un bovedilla de menor resistencia, con módulo de elasticidad de 32000 kg/cm², lo que tuvo como consecuencia que la estructura se someta a un desplazamiento mayor (2.7 cm más), pero el índice de flexibilidad de ASCE-07 no se vio afectado.

En la figura 7.4 se ilustra el perfil de desplazamientos obtenido para losa reticular aligerada con bloques de espuma de poliestireno de 40 x 40 cm, al igual que en los demás sistemas de piso hasta ahora expuestos, presenta ampliificaciones de desplazamiento despreciables.

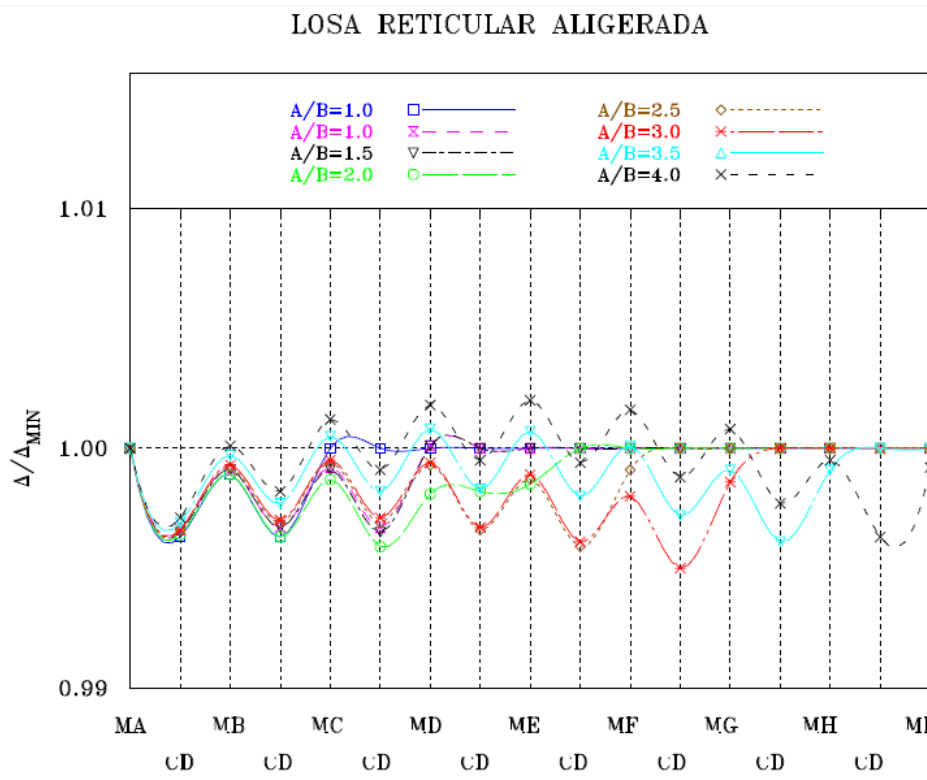


Figura 7.5. Desplazamientos en losa reticular vivienda

La evaluación de índices y desplazamientos para sistemas de piso de oficinas se resumen a continuación.

Tabla 7.10. Índice ASCE-7 para losa perimetralmente apoyada oficina

A/B	Pisos	ÍNDICE POR CRUJIA					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	1	0.9291	0.9296				
	2	0.9803	0.9806				
	3	0.9980	0.9982				
1.5	1	0.9405	0.9216				
	2	0.9777	0.9780				
	3	0.9973	0.9974				
2.25	1	0.9191	0.9306	0.9201			
	2	0.9767	0.9815	0.9772			
	3	0.9966	0.9990	0.9968			
3	1	0.9173	0.9288	0.9290	0.9185		
	2	0.9755	0.9810	0.9810	0.9762		
	3	0.9963	1.0061	1.0061	0.9967		
3.75	1	0.9179	0.9276	0.9276	1.0214	0.9179	
	2	0.9756	0.9809	0.9812	0.9830	0.9766	
	3	0.9955	0.9860	0.9994	0.9869	0.9962	
4.5	1	0.9162	0.9266	0.9261	0.9258	0.9262	0.9169
	2	0.9753	0.9803	0.9805	0.9809	0.9808	0.9760
	3	0.9959	0.9989	1.0061	1.0058	0.9982	0.9958

Tabla 7.11. Índice ASCE-7 para losacero oficina

A/B	Pisos	ÍNDICE POR CRUJIA					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	1	0.9892	0.9471				
	2	1.0486	1.0517				
	3	1.0261	1.1866				
1.5	1	0.9185	0.9583				
	2	1.0086	1.0831				
	3	1.0142	1.0185				
2.25	1	0.9120	0.9664	0.9131			
	2	1.0003	1.0035	1.0014			
	3	1.0061	1.0188	1.0069			
3	1	0.9315	0.9649	0.9243	0.9459		
	2	0.9806	1.0045	1.0049	0.9944		
	3	1.0064	1.0177	1.0075	1.0138		
3.75	1	0.9117	0.9590	0.9201	0.9587	0.9111	
	2	0.9801	1.0002	0.9840	1.0001	0.9796	
	3	1.0064	1.0169	1.0069	1.0169	1.0064	
4.5	1	0.9168	1.0779	1.0774	1.0777	1.0652	0.9399
	2	0.9804	0.9998	0.9832	0.9981	0.9832	0.9942
	3	1.0060	1.0164	1.0054	1.0156	1.0058	1.0158

Tabla 7.12. Índice ASCE-7 para losa reticular oficina

A/B	Pisos	ÍNDICE POR CRUJIA					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	1	0.9689	0.9553				
	2	0.9883	0.9827				
	3	0.9952	0.9885				
1.5	1	0.9668	0.9544				
	2	0.9873	0.9820				
	3	0.9950	0.9887				
2.25	1	0.9607	0.9554	0.9533			
	2	0.9844	0.9840	0.9821			
	3	0.9944	0.9911	0.9887			
3	1	0.9572	0.9547	0.9548	0.9628		
	2	0.9821	0.9842	0.9842	0.9820		
	3	0.9932	0.9915	0.9915	0.9889		
3.75	1	0.9548	0.9540	0.9537	0.9539	0.9522	
	2	0.9802	0.9840	0.9842	0.9840	0.9819	
	3	0.9917	0.9916	0.9919	0.9916	0.9890	
4.5	1	0.9532	0.9535	0.9529	0.9529	0.9535	0.9521
	2	0.9785	0.9838	0.9841	0.9840	0.9838	0.9821
	3	0.9901	0.9917	0.9921	0.9921	0.9917	0.9891

Tabla 7.13. Índice Tena-Cortés para losa perimetralmente apoyada oficina

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	1	0.5245	0.5244				
	2	0.7160	0.7149				
	3	0.8044	0.8027				
1.5	1	0.5465	0.5161				
	2	0.7045	0.7050				
	3	0.7926	0.7929				
2.25	1	0.5041	0.5475	0.5059			
	2	0.7067	0.7337	0.7077			
	3	0.7980	0.8157	0.7987			
3	1	0.4903	0.5514	0.5526	0.4938		
	2	0.6991	0.7495	0.7505	0.7031		
	3	0.7936	0.8321	0.8334	0.7982		
3.75	1	0.4778	0.5453	0.5635	0.7011	0.4772	
	2	0.6851	0.7512	0.7736	0.7546	0.6863	
	3	0.7820	0.8153	0.8579	0.8157	0.7818	
4.5	1	0.4624	0.5372	0.5631	0.5586	0.5376	0.4641
	2	0.6681	0.7459	0.7837	0.7839	0.7466	0.6696
	3	0.7627	0.8343	0.8727	0.8709	0.8385	0.7639

Tabla 7.14. Índice Tena-Cortés para losacero oficina

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	1	0.4834	0.3974				
	2	0.5920	0.5836				
	3	0.6524	1.2856				
1.5	1	0.3894	0.4562				
	2	0.5386	0.6527				
	3	0.6184	0.6268				
2.25	1	0.3558	0.4818	0.3595			
	2	0.5274	0.6039	0.5299			
	3	0.6035	0.6598	0.6055			
3	1	0.3685	0.4870	0.4258	0.4015		
	2	0.5171	0.6218	0.6243	0.5494		
	3	0.5957	0.6818	0.6672	0.6192		
3.75	1	0.3207	0.4688	0.4319	0.4683	0.3196	
	2	0.4974	0.6189	0.6228	0.6188	0.4970	
	3	0.5772	0.6833	0.6973	0.6834	0.5770	
4.5	1	0.3055	0.5702	0.5708	0.5387	0.5325	0.3581
	2	0.4777	0.6100	0.6307	0.6561	0.5849	0.5069
	3	0.5586	0.6785	0.7103	0.7256	0.6631	0.5750

Tabla 7.15. Índice Tena-Cortés para losa reticular oficina

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	1	2.8386	2.8252				
	2	4.0150	4.0067				
	3	4.9489	4.9409				
1.5	1	2.8642	2.8671				
	2	4.0020	4.0029				
	3	4.9475	4.9484				
2.25	1	2.7308	2.8192	2.7351			
	2	3.8630	3.9209	3.8661			
	3	4.7702	4.7702	4.7730			
3	1	2.6632	2.7782	2.7802	2.7030		
	2	3.7852	3.8765	3.8794	3.7932		
	3	4.6825	4.6952	4.6990	4.6943		
3.75	1	2.6096	2.7267	2.7516	2.7241	2.6059	
	2	3.7225	3.8261	3.8560	3.8246	3.7196	
	3	4.6151	4.6388	4.6499	4.6379	4.6127	
4.5	1	2.5775	2.6919	2.7202	2.7103	2.6934	2.5783
	2	3.6766	3.7876	3.8318	3.8314	3.7878	3.6769
	3	4.5616	4.6001	4.6258	4.6198	4.6106	4.5616

Tabla 7.16. Índice Ju-Lin para losa perimetralmente apoyada oficina

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	1	0.3440	0.3440				
	2	0.4173	0.4169				
	3	0.4458	0.4453				
1.5	1	0.3534	0.3404				
	2	0.4133	0.4135				
	3	0.4422	0.4422				
2.25	1	0.3352	0.3538	0.3360			
	2	0.4141	0.4232	0.4144			
	3	0.4438	0.4493	0.4440			
3	1	0.3290	0.3554	0.3559	0.3305		
	2	0.4115	0.4284	0.4287	0.4128		
	3	0.4425	0.4542	0.4546	0.4439		
3.75	1	0.3233	0.3529	0.3604	0.4121	0.3230	
	2	0.4066	0.4290	0.4362	0.4301	0.4070	
	3	0.4388	0.4491	0.4618	0.4492	0.4388	
4.5	1	0.3162	0.3495	0.3603	0.3584	0.3496	0.3170
	2	0.4005	0.4272	0.4394	0.4394	0.4275	0.4010
	3	0.4327	0.4548	0.4660	0.4655	0.4561	0.4331

Tabla 7.17. Índice Ju-Lin para losacero oficina

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	1	0.3259	0.2844				
	2	0.3719	0.3685				
	3	0.3948	0.5625				
1.5	1	0.2803	0.3133				
	2	0.3501	0.3949				
	3	0.3821	0.3853				
2.25	1	0.2624	0.3251	0.2644			
	2	0.3453	0.3765	0.3464			
	3	0.3764	0.3975	0.3771			
3	1	0.2693	0.3275	0.2987	0.2865		
	2	0.3409	0.3834	0.3844	0.3546		
	3	0.3733	0.4054	0.4002	0.3824		
3.75	1	0.2428	0.3192	0.3016	0.3189	0.2422	
	2	0.3322	0.3823	0.3838	0.3823	0.3320	
	3	0.3660	0.4059	0.4108	0.4060	0.3659	
4.5	1	0.2340	0.3631	0.3634	0.3501	0.3475	0.2637
	2	0.3233	0.3789	0.3868	0.3962	0.3690	0.3364
	3	0.3584	0.4042	0.4153	0.4205	0.3987	0.3651

Tabla 7.18. Índice Ju-Lin para losa reticular oficina

A/B	Pisos	ÍNDICE EN EL CENTRO DEL DIAFRAGMA POR CRUJIA					
		C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	1	0.7395	0.7386				
	2	0.8006	0.8003				
	3	0.8319	0.8317				
1.5	1	0.7412	0.7414				
	2	0.8001	0.8001				
	3	0.8319	0.8319				
2.25	1	0.7320	0.7382	0.7323			
	2	0.7944	0.7968	0.7945			
	3	0.8267	0.8267	0.8268			
3	1	0.7270	0.7353	0.7355	0.7299		
	2	0.7910	0.7949	0.7951	0.7914		
	3	0.8240	0.8244	0.8245	0.8244		
3.75	1	0.7230	0.7317	0.7334	0.7315	0.7227	
	2	0.7882	0.7928	0.7941	0.7927	0.7881	
	3	0.8219	0.8227	0.8230	0.8226	0.8218	
4.5	1	0.7205	0.7291	0.7312	0.7305	0.7292	0.7205
	2	0.7862	0.7911	0.7930	0.7930	0.7911	0.7862
	3	0.8202	0.8214	0.8222	0.8221	0.8218	0.8202

Los índices ASCE-7 son todos aproximados a uno, independientemente del sistema de piso y relación de aspecto, por lo que concierne a este reglamento estos sistemas se catalogan como diafragmas rígidos.

Para edificios de oficinas y para todas las relaciones de aspecto, las losas perimetralmente apoyadas, conforme al índice de Ju y Lin, son semi-rígidas y potencialmente semi-flexibles, al obtener valores mayores que el límite propuesto por ellos de 0.2 para un diafragma rígido, pero normalmente inferiores a 0.45 para sugerir un análisis como diafragma flexible. En cambio, para la losa reticular aligerada, todos los diafragmas resultan flexibles para todas las relaciones de aspecto ($R > 0.45$), en muchos casos doblando la frontera de 0.45 de dicho índice. Para la losa acero el índice de Ju y Lin sugiere también que son semi-rígidas y potencialmente semiflexibles, por lo que no coincide con la clasificación de diafragma rígido evaluada con el reglamento americano ASCE-7, aunque cabe destacar que según este último reglamento aunque está dentro de la categoría de diafragma rígido, a comparación de los demás sistemas de piso, es el que exhibe un comportamiento menos rígido.

En términos generales los criterios presentan importantes diferencias en la clasificación del comportamiento de los diafragmas de los cuatro sistemas de piso estudiados en esta investigación.

En lo que se refiere a la evaluación Tena-Cortés se obtienen índices muy grandes, lo que hace más difícil poder encontrar una interpretación adecuada para los mismos.

Gráficamente los perfiles de desplazamiento de los sistemas de piso utilizados en edificios de oficinas se ilustran posteriormente.

En la figura 7.6 se ilustran los desplazamientos de losa perimetralmente apoyada, en la que observa una amplificación mayor en el centro del claro a comparación de la losa perimetralmente apoyada utilizada para edificios de vivienda, que puede ser consecuencia que este sistema fue diseñado con claros mayores.

LOSA PERIMETRALMENTE APOYADA

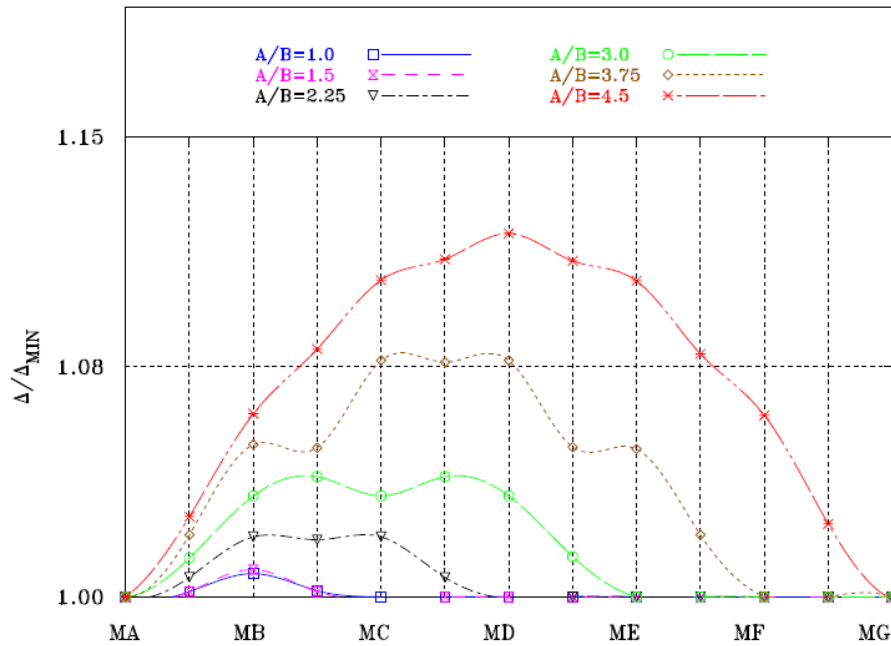


Figura 7.6. Desplazamientos en losa perimetralmente apoyada oficinas

LOSACERO RESULTADOS ANSYS

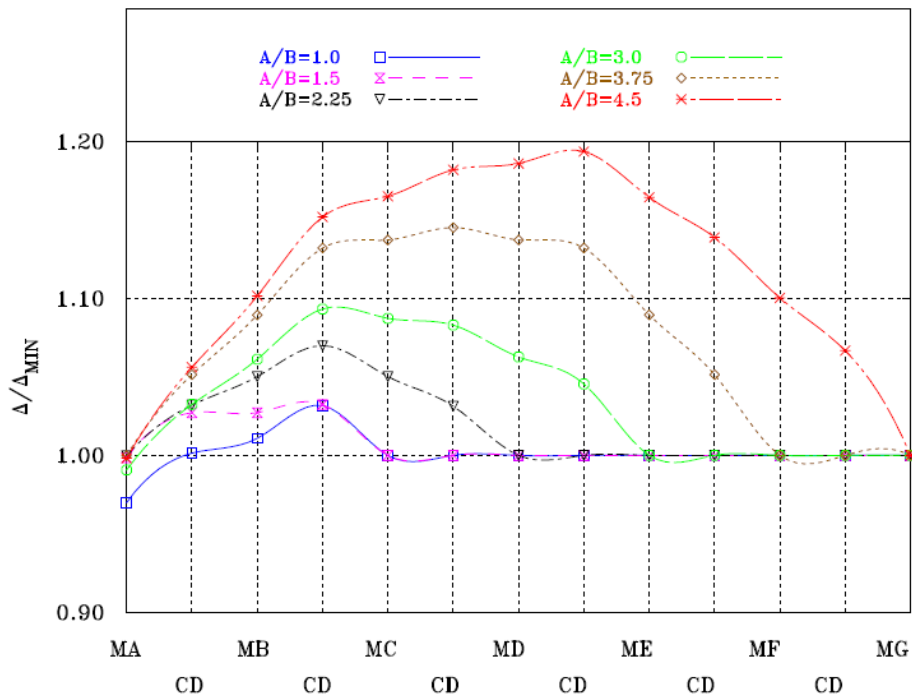


Figura 7.7. Desplazamientos de losacero oficinas elaborados con programa Ansys

En la figura 7.7 se observa que éste es el sistema de piso resulta ser menos rígido, pero de igual forma aunque si se observa una amplificación en el desplazamiento central, no es muy pronunciado, por lo que

para fines prácticos se puede considerar semi-rígido. De acuerdo a los índices de flexibilidad obtenidos, se observa que cuando la orientación del sistema de piso es perpendicular a la carga, tiende a ser ligeramente menos rígida, por lo que dicho índice es siempre mayor en el tablero orientado en tal disposición.

Al igual que en vigueta y bovedilla se observan componentes de torsión sobre todo en el caso cuando la relación de aspecto es igual a 1, aunque a diferencia de vigueta y bovedilla en este caso en particular el eje centroidal respecto al cual se presenta asimetría es el eje paralelo a la aplicación de la carga.

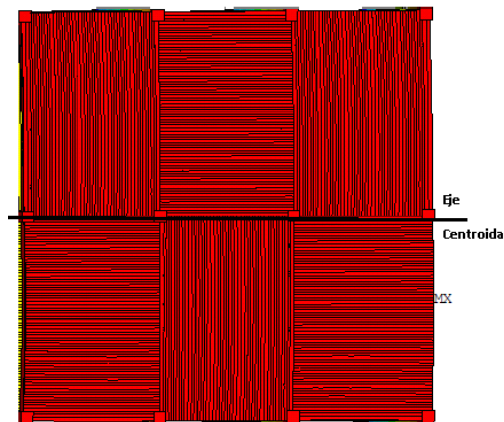


Figura 7.8. Torsión en losacero

LOSACERO RESULTADOS ETABS

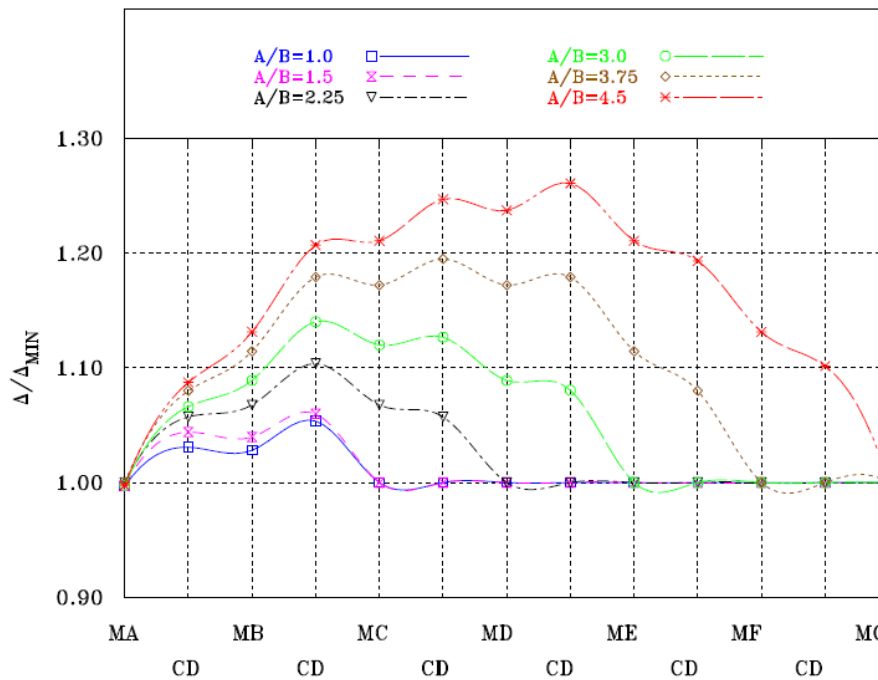


Figura 7.9. Desplazamientos de losacero oficinas elaborados con programa Etabs

Se realizaron modelos con las mismas dimensiones y geometría en el programa Etabs con su módulo para losacero, con el cual se obtuvieron desplazamientos ligeramente mayores que los obtenidos en Ansys, así como la amplificación en el centro del tablero, produciendo índice de flexibilidad de ASCE-7 mayores en un 10% en algunos casos que los tabulados con los resultados de Ansys, pero en términos generales los resultados fueron consistentes. Cabe destacar que en los resultados de Etabs, ésta componente de torsión es casi imperceptible, como se observa en la figura 7.9

LOSA RETICULAR ALIGERADA

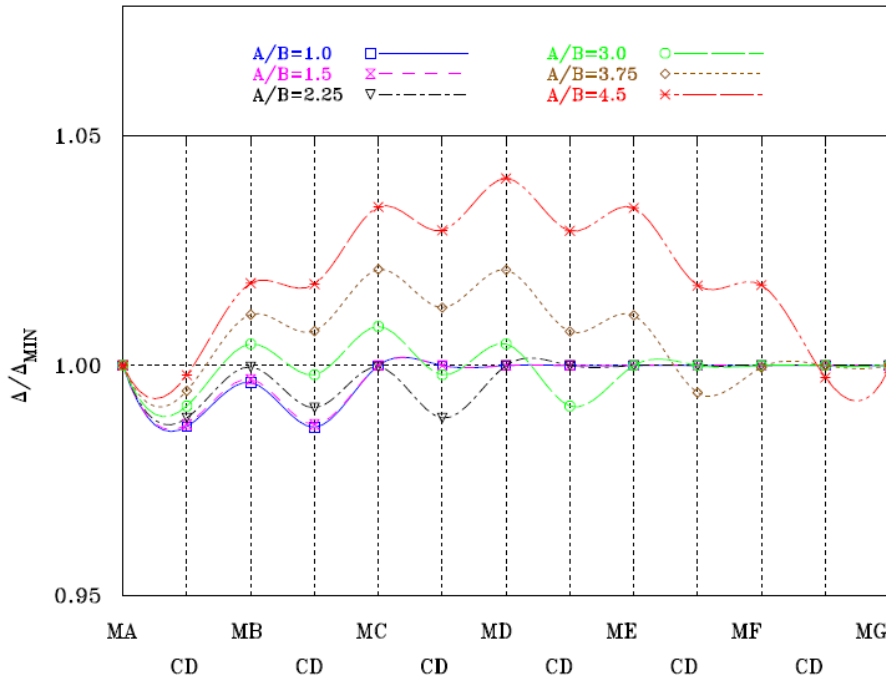


Figura 7.10. Desplazamientos de losa reticular oficina

Al igual que la losa reticular utilizada para vivienda, resulta ser un diafragma rígido, a pesar que las dimensiones de los casetones aumentan en 2.5 veces. Según este estudio si el diseño se realiza consecuentemente con la dimensión de casetón propuesto, este sistema sigue siendo rígido, al menos para las dimensiones propuestas en esta investigación.

7.2.2. Evaluación de fuerzas de reacción

Como anteriormente se mencionaba un diafragma flexible es producto de que el sistema de piso presenta mayores aceleraciones en el centro, por lo que transmite mayores fuerzas en los elementos centrales, comprometiendo así a la estructura. Al comportarse como un diafragma rígido estrictamente, las reacciones en cada uno de los marcos alineados con la dirección de la fuerza deberían ser de igual magnitud, por el contrario mientras más se comporte como diafragma flexible un sistema de piso, los elementos centrales tomarán más fuerza de la que soportan los elementos de la esquina

Por lo que hemos propuesto una clasificación tentativa de diafragmas en base a la amplificación de reacciones mostrada en la tabla 7.19, claro que estos límites están sujetos a estudios paramétricos futuros que constaten dichos valores.

Tabla 7.19. Clasificación de diafragma según reacciones

Intervalo	Clasificación de Diafragma
<20%	Rígido
20%-40%	Semi-rígido
40%-60%	Semi-flexible
>60%	Flexible

LOSA PERIMETRALMENTE APOYADA

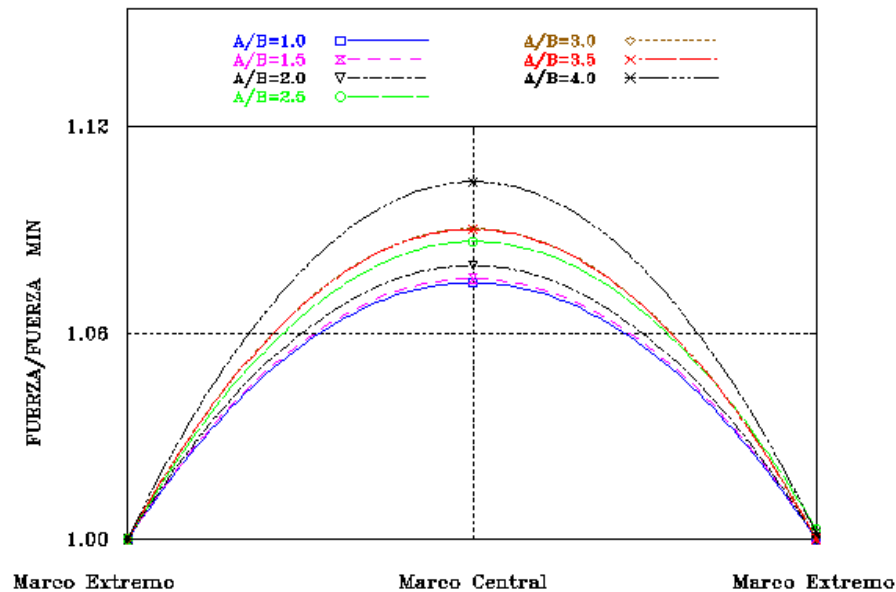


Figura 7.11. Reacciones en losa perimetralmente apoyada en vivienda

Se observa una amplificación mayor en fuerzas que en desplazamientos, lo que sugiere que el planteamiento del comportamiento del diafragma en función de fuerzas puede ser más conservador y seguro en una estructura que hacerlo en base a los desplazamientos. Aunque en este sistema esta amplificación es de tamaño moderado, por lo que se puede corroborar su comportamiento como diafragma rígido.

En la figura 7.12 se observa que la vigueta y bovedilla presenta un comportamiento de diafragma rígido, aunque de igual forma que en la losa perimetralmente apoyada, muestra un ampliación mayor que el presentado con los desplazamientos.

LOSA VIGUETA Y BOVEDILLA

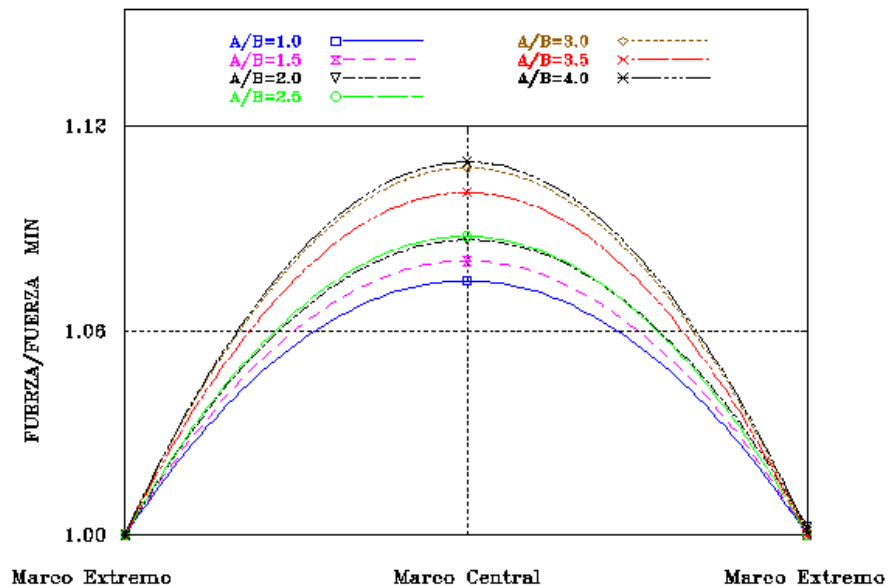


Figura 7.12. Reacciones en vigueta y bovedilla en vivienda

LOSA RETICULAR ALIGERADA

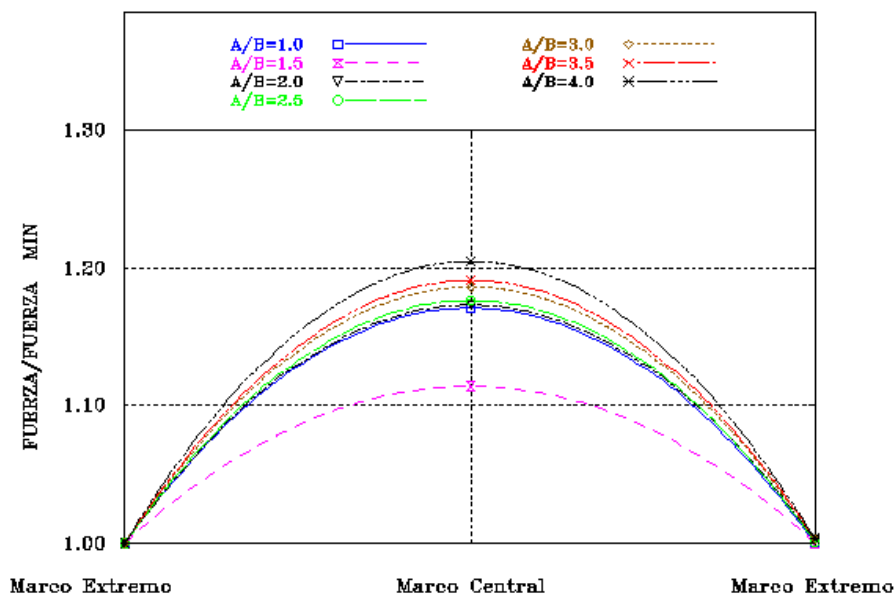


Figura 7.13. Reacciones en losa reticular en vivienda

En la figura 7.13 se observa que el aumento de fuerzas en este entrepiso es más notorio que en los demás sistemas previamente mostrados, sugiriendo que el sistema de piso puede llegar a ser menos rígido basándonos en la amplificación de las reacciones centrales, de lo que se estipula con el perfil de desplazamiento. Por lo tanto, se puede considerar un diafragma semi-rígido, particularmente para relaciones de aspecto $A/B > 4$, ya que a partir de esa relación la amplificación de las fuerzas actuantes en el marco central son mayores al 20%.

En lo que se refiere a los sistemas de piso utilizadas en oficina, en la figura 7.14 se ilustra la amplificación de fuerzas de losa perimetralmente apoyada, en la cual como producto del aumento del claro en estos sistemas de piso utilizados para oficinas, la amplificación de las fuerzas es mayor.

De igual manera, se puede considerar un diafragma semi-rígido, particularmente para relaciones de aspecto $A/B > 3$.

LOSA PERIMETRALMENTE APOYADA

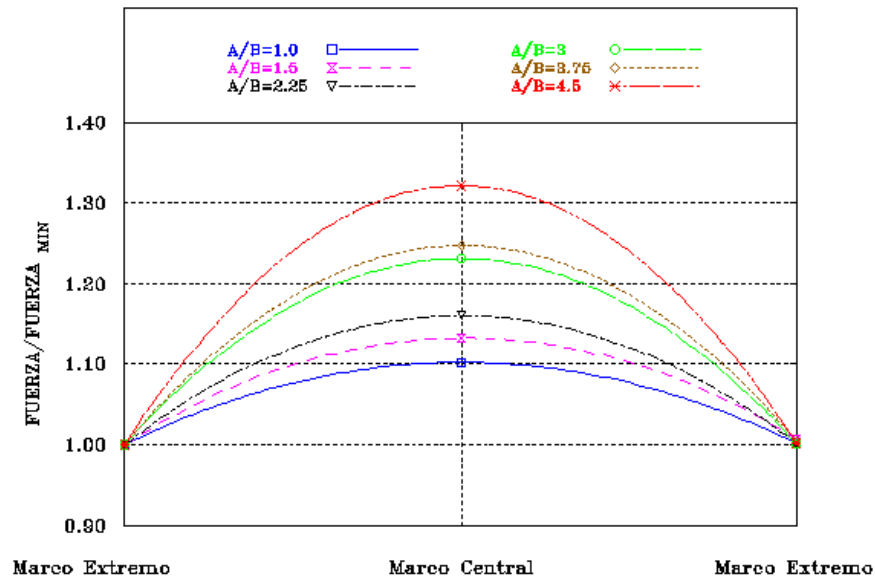


Figura 7.14. Reacciones en losa perimetralmente apoyada oficina

En la figura 7.15 se ilustra la distribución de fuerzas en la losa. En las relaciones de desplazamiento se pudo observar que este sistema de piso se comportaba como el menos rígido de los estudiados, pero es aquí más evidente cuando la amplificación de las fuerzas es casi la mitad mayor en el marco central que en los marcos extremos. Para fines prácticos, se puede considerar un diafragma semi-rígido, particularmente para relaciones de aspecto $A/B > 2.0$. También se aprecia que para $A/B = 4.5$, la amplificación es cercana al 50% y, en ese caso, el sistema tiende a comportarse como un diafragma semi-flexible.

LOSACERO

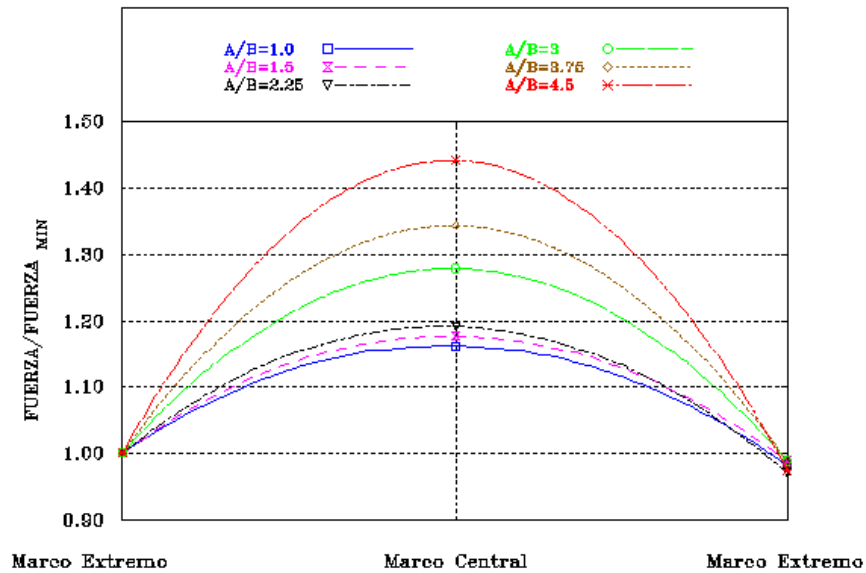


Figura 7.15. Reacciones en losacero oficina

LOSA RETICULAR ALIGERADA

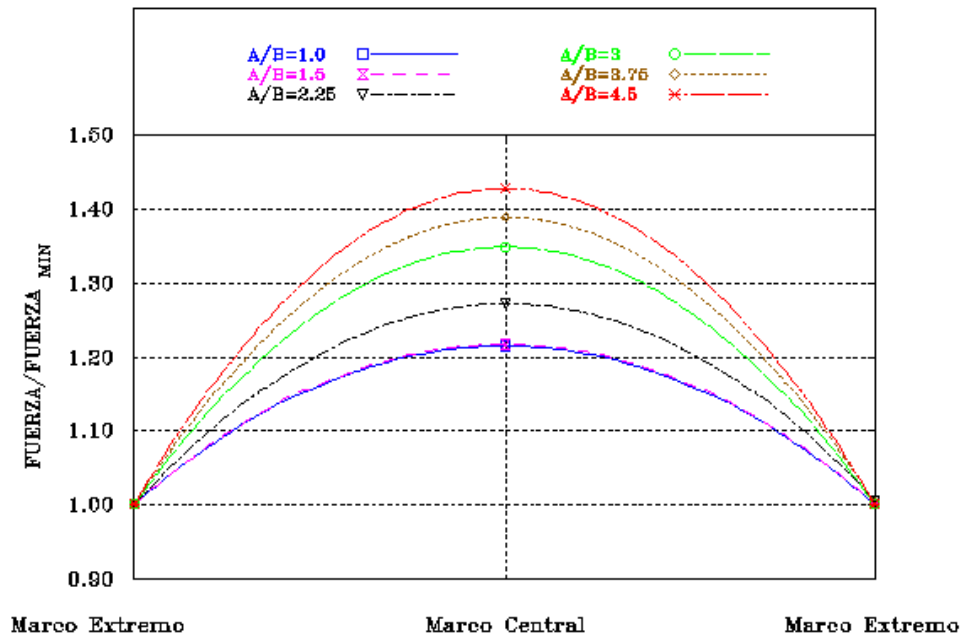


Figura 7.16. Reacciones en losa reticular oficina

En este sistema reticular parece un tanto más pronunciada la diferencia entre la amplificación de las fuerzas, con el valor obtenido cuando se obtuvo el valor del índice de flexibilidad de ASCE-07. Para fines prácticos, se puede considerar un diafragma semi-rígido para todas las relaciones de aspecto estudiadas,

como se observa en la figura 7.16. A partir de $A/B=4.5$ también tiende a comportarse como un diafragma semi-flexible.

En términos de este estudio se pueden clasificar estos sistemas de estudio como se muestra a continuación en las tablas 7.20 y 7.21.

Tabla 7.20. Cuadro Resumen de clasificación de diafragmas según reacciones en edificios de vivienda

Sistema de piso	Relaciones de Aspecto						
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
Perimetralmente apoyada	R	R	R	R	R	R	R
Vigueta y bovedilla	R	R	R	R	R	R	R
Losa reticular (40x40 cm)	R	R	R	R	R	R	SR

Tabla 7.21. Cuadro Resumen de clasificación de diafragmas según reacciones en edificios de oficina

Sistema de piso	Relaciones de Aspecto					
	1	1.5	2.25	3	3.75	4.5
Perimetralmente apoyada	R	R	R	SR	SR	SR
Losacero	R	R	R	SR	SR	SR
Losa reticular (100x100 cm)	SR	SR	SR	SR	SR	SF

CONCLUSIONES

En este estudio se determinó el comportamiento del diafragma que constituyen los sistemas de piso tales como losa perimetralmente apoyada, losa reticular aligerada con bloque de poliestireno, vigueta y bovedilla y losacero, tomando en cuenta dos de los factores identificados que favorecen un diafragma flexible, que son los materiales (espesor y módulo de elasticidad) y la relación de aspecto de la planta del edificio, los cuales utilizando el índice propuesto por ASCE-7, Ju-Lin y un criterio basado en las reacciones de los elementos verticales, presentaron un comportamiento de diafragma rígido, aunque se observó una ligera tendencia en la losacero y la losa aligerada con casetones de 1m de longitud por lado de no ser tan rígidos como los demás sistemas de piso, tendiendo a ser semi-rígidos y, para relaciones de aspecto grandes, incluso hasta semi-flexibles.

Cabe destacar que si bien es cierto que en ningún caso se obtuvieron amplificaciones importantes de los desplazamientos relativos en el centro del claro con respecto a los del perímetro para cada sistema, la amplificación de las fuerzas en los marcos centrales sí aumentó en algunos casos hasta en más de un 40%, lo que podría significar algún problema para la estructura en una sollicitación sísmica.

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio paramétrico, la relación de aspecto propuesta por las NTCS-2004 de limitar a 2.5 la relación de aspecto en planta para considerar a un edificio como regular parece razonable en la mayoría de los sistemas estudiados, salvo para losacero y losa aligerada con casetones de grandes dimensiones. Esto sugiere que esta cláusula debería ser revisada para estos últimos sistemas en aras de poder reducir dicho valor, si estudios posteriores concuerdan con esta investigación preliminar.

En el caso de los sistemas de vigueta y bovedilla y losacero, pareciera ser que el acomodo del sistema de piso en forma de tablero de ajedrez en ocasiones favorece la torsión, sobre todo cuando la distribución de tableros con una misma rigidez es asimétrica con respecto a un eje principal, que en este caso fue el eje centroidal de la planta paralelo a la dirección larga.

Es importante recalcar que todos los sistemas de piso fueron diseñados basándose en el cumplimiento de condiciones de carga y de servicio, por lo que tomando en cuenta la magnitud de los claros en ocasiones la condición predominante fue la de servicio, por lo que algunos de los elementos que conforman el sistema de piso resultaron de peralte importante.

Las observaciones hechas con los resultados obtenidos no se pueden generalizar para todos los sistemas de piso de estos tipos, ya que los resultados dependen mucho del material, geometría, diseño e hipótesis de modelado, sobre todo para los sistemas de piso de vigueta y bovedilla y losacero, donde hay más variedad en la selección de los elementos prefabricados y la calidad del firme utilizados.

Aunque los resultados nos indican que un sistema de piso bien diseñado, cumpliendo reglamentos y recomendaciones de los ingenieros de la práctica más experimentados nos pueden llevar a diseñar sistemas de piso que se comportan razonablemente como diafragmas rígidos, no se puede generalizar tal observación sin antes realizar otros estudios, como la elaboración de modelos de elementos finitos más detallados, como sería el caso de la vigueta y bovedilla y/o la losacero, modelando sus geometrías y materiales tal y como son (con todo rigor) con elementos sólidos de la galería disponible en el programa estructural utilizado, en lugar de utilizar secciones transformadas equivalentes, como se hizo en este estudio. Además, para este estudio se supuso una conexión perfecta entre los distintos elementos que

conforman los sistemas de piso prefabricados, obviando imperfecciones en las conexiones en sistemas de piso como la vigueta y bovedilla y/o losacero por no linealidades difíciles de cuantificar, por lo que resulta imperativo que para fines de catalogar que tipo de diafragma (rígido, semi-rígido, semi-flexible o flexible) constituyen los sistemas de piso compuestos y/o con elementos prefabricados, se pueda determinar experimental y analíticamente su comportamiento ante cargas laterales.

Tomando en cuenta que la losacero resulta ligeramente más flexible cuando se modela con la geometría real de sus elementos estructurales con el módulo del programa Etabs, es muy posible que el sistema de piso vigueta y bovedilla al realizarse un modelado similar a éste, resulta menos rígido de lo que fue catalogada con las transformaciones de sección hechas para modelar este entrepiso en Ansys.

En cuanto a la correspondencia entre los índices de desplazamiento del ASCE-7 y de Ju-Lin, se aprecia que el índice del ASCE-7 puede en muchos casos no ser conservador al clasificar a como rígido a un sistema de piso que lidera a diferencias no despreciables de los desplazamientos laterales relativos y al incremento de fuerzas en los marcos resistentes centrales con respecto a los de la periferia. Para esta investigación en particular el índice Tena-Cortés resulta no concluyente, siendo más fácil correlacionar los resultados obtenidos con Ju-Lin.

El alcance de esta tesis se limita a edificios regulares y simétricos, pero dado que en la práctica la mayoría de edificios dista mucho de los propuestos, es importante señalar que como trabajos futuros sería muy substancial que se analizaran edificios asimétricos tanto en geometría como en rigidez, porque las combinaciones de marcos a momento, muros y/o marcos contraventeados son muy frecuentes.

Es también conveniente realizar un estudio paramétrico extenso que permita sugerir maneras fáciles de evaluar condición de diafragma en relación a los características inherentes de los sistemas de piso como el espesor del firme de concreto, el peralte del sistema entre otros.

REFERENCIAS

ACI 318-08 (2008), "Building code requirements for structural concrete (ACI-318-08) and commentary (ACI 318R-08)", American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA

Ansys (2009), "Ansys 12.0.1", *Ansys Inc.* Estados Unidos.

Autocad(2010), *Autodesk, Inc.*, Estados Unidos.

ASCE-7 (2005), "Minimum design loads for buildings and other structures", ASCE Standard ASCE/SEI 7-05, American Society of Civil Engineers, ISBN 0-7844-0809-2.

Basu, D. y S. K. Jain (2004), "Seismic analysis of asymmetric buildings with flexible floor diaphragms", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 130, No. 8, pp. 1169-1176.

Boresi, A.P. y R. J. Schmidt, **Advanced Mechanics of Materials**, sexta edición, John Wiley & sons, Estados Unidos.

Cortés , J. A. (2009), "Evaluación de la flexibilidad de diafragma para sistemas de piso utilizados en estructuras de mampostería", *Proyecto Terminal II*, Departamento de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana, agosto.

CSI-2005 (2005), "CSI analysis reference manual for SAP2000, ETABS, and SAFE", *Computers and Structures, Inc.*, Berkeley, California, Estados Unidos, octubre.

De la Colina, J. (1999), "In plane floor flexibility effects on torsionally unbalanced systems", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 28, pp. 1705-1715.

González, O. M. (2004), **Aspectos Fundamentales de Concreto Reforzado**, tercera edición, Limusa, México.

Kunnath, S. K., N. Panahshashi y A. M. Reinhorn (1991), "Seismic response of RC building with inelastic floor diaphragms", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol.117, No. 4, pp. 1218-1237.

Kim, R. y J. Kim (2003), Timber design for the civil and structural professional engineering exams, *sexta edición*, Estados Unidos de América.

Lee, H. J., D. Kuchma y M. A. Aschheim (2007), "Strength based design of flexible diaphragms", *Engineering Structures*, Vol. 29, pp 1277-1295.

León, G. A. (2007), "Comportamiento sísmico de edificios con losa de vigueta y bovedilla, para distintas ubicaciones de las viguetas en planta", *Memorias, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, CDROM, Artículo V-07, pp. 1-23, noviembre.

Lopez, O, A.H. Cazamayor, E. Ortiz y H. Silva (2001) "Estudio experimental sobre el comportamiento de estructuras con sistema de piso de vigueta y bovedilla sujetas a cargas laterales", *Memorias, XIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Guadalajara, Jalisco, CDROM, pp. 1-15, noviembre.

Manual Losacero IMSA. <http://www.perfilesviaductotlalpan.com/ManualLosacero.pdf>

Manual Losacero INGASA. <http://es.scribd.com/doc/12475043/Losacero-Manual-01-de-02>

Manual PREMEX (2011). <http://www.premex.com.mx>

Meli, R. (2010), **Diseño estructural**, segunda edición, Limusa, México.

Nilson, A. H. (2001), **Diseño de estructuras de concreto**, duodécima edición, Mc Graw Hill, Colombia.

NTCC-2004 (2004), "Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto", *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.

NTCEM-2004 (2004), "Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas", *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.

NTCS-2004 (2004), "Normas técnicas complementarias para diseño por sismo", *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*, Gaceta Oficial del Departamento del Distrito Federal.

Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud (2000). **Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de la salud**, Estados Unidos de América.

Tena-Colunga, A. y D. P. Abrams (1995), "Simplified 3D Dynamic analysis of structures with flexible diaphragms", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 24, pp. 221-232.

Tena-Colunga, A. y D. P. Abrams (1996), "Seismic behavior of structures with flexible diaphragms", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol. 122, No. 4, pp. 439-445.

Tena, A. (2007), **Análisis de estructuras con métodos matriciales**, primera edición, Limusa, México.

Tena, A. y J. A. Cortés (2009), "Evaluación de la condición de diafragma rígido o flexible para el empleo del método simplificado en estructuras de mampostería", *Memorias, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*, Puebla, Puebla, CDRom, Artículo No. V-23, pp. 1-13, noviembre.

Tena, A. (2010), "Irregularidad estructural y su efecto en la respuesta sísmica de edificios", *Memorias V Congreso Iberoamericano de Ingeniería Civil en honor del Dr. José Grases*, Mérida, Venezuela, CD-ROM pp 1-57, noviembre.

UBC-97 (1997), "Uniform Building Code, 1997 edition," International Conference of Building Officials, Whittier, California, Vol. 2.

Vázquez, G. E. y M. A. Pérez (2008), "Estudio experimental de cambio de peralte en un sistema de losa prefabricada con vigueta pretensada y bovedilla aligerante de poliestireno", *Memorias, XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*, Veracruz, Veracruz, CDRom, pp. 1-19, noviembre.

APÉNDICE A DISEÑO DE LAS VIGAS SECUNDARIAS EN UN SISTEMA DE PISO DE LOSACERO

Los datos con que se alimenta la hoja proporcionado por García Jarque Ingenieros son los que se refieren a las propiedades de los materiales utilizados como la resistencia a compresión del concreto usado en el firme f'_c y la resistencia a fluencia del perfil f_y . Los siguientes datos de entrada se deben a la geometría de dicho perfil, como se muestra en la figura, es decir, el peralte del perfil d , el espesor del patín superior t_{fs} , el espesor del alma t_w , el espesor del patín inferior t_{fi} , el ancho del patín inferior b_{fi} y el ancho del patín superior b_{fs} . Posteriormente la hoja requiere del dato de la longitud del claro entre vigas principales L y el espaciamiento al que las vigas secundarias (perfil W) se colocan. Finalmente, se introduce el espesor propuesto del firme de concreto, y el peralte de la losacero que se ha elegido, como se muestra en la figura A.1

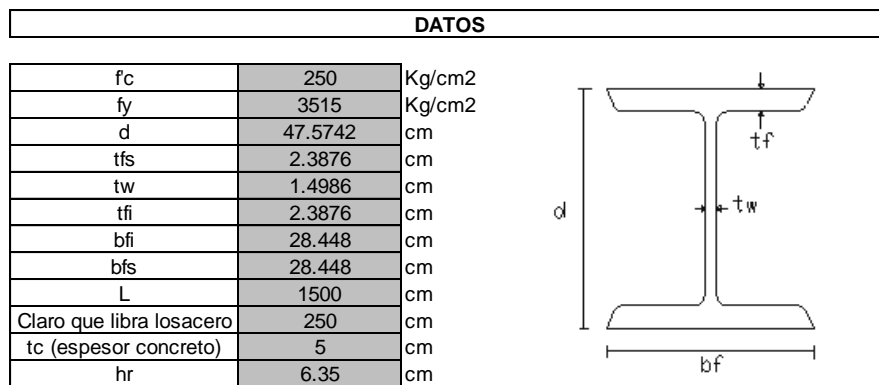


Figura A.1. Datos de entrada en hoja excel

Después de introducir los datos requeridos, se estima si el eje neutro se encuentra dentro del firme de concreto (CASO 1, figura A.2), de no ser así, se realiza un cálculo más preciso para saber si el eje neutro cae sobre el patín superior del perfil (CASO 2), y finalmente, si no cumple ninguno de los casos anteriores, se calcula a que profundidad del alma se encuentra dicho eje (CASO 3).

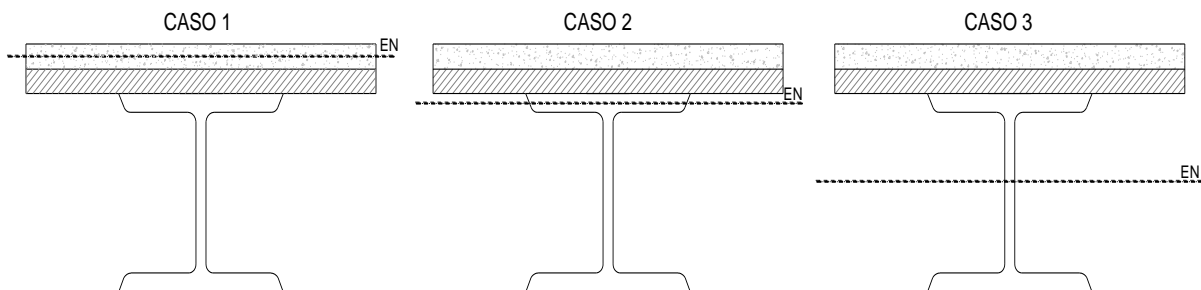


Figura A.2. Posición del eje neutro en la sección compuesta (perfil metálico y losacero)

Se deduce que el eje neutro se encuentra en el firme si la fuerza de compresión ejercida por el firme de concreto es mayor a la fuerza de tensión del perfil W utilizado. La fuerza de tensión se calcula como:

$$T = A_s f_y \quad (A.1)$$

La fuerza de compresión utilizando el bloque de compresión de Whitney, mencionado en la sección 10.7.2 del ACI-318:

$$C = 0.85 f'_c ab \quad (A.2)$$

Se obtiene el punto de aplicación de la fuerza T , calculando el centroide del perfil, con respecto al extremo superior del mismo d_t . Esta distancia sumada al peralte de la lámina y del firme a compresión menos la mitad de la profundidad del bloque de compresión a , cuando a fue definido como la menor cantidad entre el espesor de concreto t_c y $\frac{T}{0.85 f'_c b_e}$, donde el ancho efectivo es el definido por las NTC-04, en el apartado 3.6.2.2, constituyen el brazo del par resistente d_t , que multiplicado por la fuerza T , produce el momento nominal.

Si la fuerza de compresión C obtenida tomando en cuenta la contribución del concreto C_c más la contribución de una parte del perfil C_a , definida como:

$$C_a = \frac{T - C_c}{2} \quad (A.3)$$

es mayor o igual a la fuerza de tensión que produce el perfil restando la contribución del patín superior (T_a), se sabe que el eje neutro se encuentra dentro de esa área.

Se obtiene la distancia de la fibra extrema en compresión del perfil al eje neutro t_{pc}

$$t_{pc} = \frac{C_a}{f_y b_{fs}} \quad (A.4)$$

Al igual que en el caso anterior, se obtiene la distancia del punto de aplicación de la fuerza T al extremo del patín superior del perfil d_{t2} , usando el mismo procedimiento antes citado, con la única diferencia de la sustracción del área del patín superior.

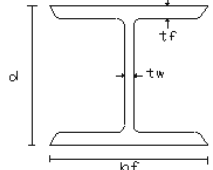
La suma de esta distancia más el peralte de la lámina y la mitad del espesor del firme constituyen el brazo de par resistente con la fuerza C_c , denotado por d'_2 . Asimismo, se calcula el brazo par resistente d''_2 con la fuerza C_a , restándolo a d_{t2} la mitad de t_c . La multiplicación de las fuerzas C_a y C_c , por su respectivo brazo de palanca nos proporciona el momento nominal de la sección.

Cuando la relación entre las fuerzas anteriores, resulta que la tensión es la que domina sobre la compresión, se deduce que el eje neutro se encuentra en el alma del perfil. Utilizando la misma mecánica del procedimiento del caso 2, se obtiene el momento resistente.

El cálculo del momento resistente de cada caso afectó al momento nominal con un factor de reducción de 0.85, señalado por las NTC sección 3.6.2.3, para vigas compuestas con conectores de cortante.

El momento resistente, así como de la deflexión del sistema de piso, se calculó ignorando la contribución de la lámina, así como lo estipula el ASCE en la sección 2.3.1.

Los cálculos descritos previamente, se condensan en la hoja excel mostrada en la figura A.3.

DATOS			
fc	250	Kg/cm ²	
fy	3515	Kg/cm ²	
d	46.7	cm	
tfs	1.92	cm	
tw	1.22	cm	
tft	1.92	cm	
bfi	28.2	cm	
bfs	28.2	cm	
L	1500	cm	
Claro que libra losacero	200	cm	
tc (espesor concreto)	6	cm	
hr	6.35	cm	
Ea	2040000	Kg/cm ²	
Ec	173925	Kg/cm ²	
		b efectivo	187.5
			100
			200
Caso 1	FALSO	141.19	Ton-m
Caso 2	VERDADERO	126.20	Ton-m
Caso 3	FALSO	135.56	Ton-m

Si el caso 1 es vdd no importan los otros 2 el resultado es el primero

Aa	160.58	Área de la sección
Aal	52.29	Área del alma
Aps	54.14	Área del patin superior
Api	54.14	Área del patin inferior
T	564428.86	Fuerza de tensión (Kg)
C	564428.86	Kg
a	6.00	Distancia a compresión efectiva cm
dt	23.35	Distancia del centro de gravedad de la sección a su borde superior en cm
d1	32.70	Brazo del par de fuerzas interiores cm
MR Caso 1	156.88	Ton-m
Cc	255000.0	Fuerza del concreto Kg
Ca	154714.43	Fuerza del acero compresion
C	409714.4290000	Compresion Total
T	374112.70	Tension Total
tpc	1.56	Distancia al EN a la rasante (dentro del patin del perfil)
dt2	34.74	Distancia del centro de gravedad de la sección a su borde superior del alma en cm
d'2	44.09	brazo de palanca del concreto a compresion
d"2	33.96	brazo de palanca del perfil a compresion
MR Caso 2	140.22	Ton-m
Cc	255000.00	
Ca	154714.43	
Aac	44.05	
hc	-8.27	
dc	1.69	
dt3	8.63	
d'3	47.42	
d"3	36.38	
Mr Caso 3	150.62	Ton-m
Fr	0.85	

CALCULO DE AREA E INERCIA TRANSFORMADA				
	A	Dist a ref	Dist Centroide	I
Firme de concreto	102.3089829	56.05	19.97	40817.23
Patin Superior	54.144	45.74	9.66	5073.24
Alma	52.2892	23.35	12.73	16472.88
Patin Inferior	54.144	0.96	35.12	66783.62
y	36.08			
Área total	160.58		I sección	129146.97 cm4
Peso (kg/m)	125.25			

L	1500	cm		
w	13.32	kg/cm		
E	2040000	Kg/cm ²	dmax	3.33
I	129146.97	cm ⁴	d permisible	3.43

Figura A.3. Hoja Excel despacho García-Jarque Ingenieros.

APÉNDICE B DISEÑO DE SISTEMA DE PISO RETICULAR ALIGERADO CON BLOQUES DE POLIESTIRENO

La hoja Excel cortesía del despacho García Jarque ingenieros (figura B.2), utilizada para este diseño, se nutre de varios datos, clasificados según la hoja como datos particulares y datos generales.

En el primer grupo se requieren datos referentes a la carga que debe soportar la losa, definida como w_a *distribuida*; seguidamente hace alusión a la geometría inherente de la losa en cuestión, es decir, las dimensiones de *lado largo* y *lado corto*, así como la ubicación del tablero a analizar, posteriormente, se ingresa datos referentes a la geometría propuesta del sistema de piso, como lo son el *peralte*, el *recubrimiento*, el *ancho de la nervadura* y el *ancho tributario*, y finalmente las propiedades de los materiales utilizados en la losa, como la especificación de la barra de acero a cortante utilizada, su resistencia a la fluencia y el número de ramas, expresadas como *# de estribos*, F_y *estribos*, *# ramas estribos*, respectivamente.

En el segundo grupo se solicitan los datos sobre la resistencia del acero a flexión, *acero* F_y y la resistencia del concreto, *concreto* $f'c$.

Estos datos de entrada se solicitan en la hoja excel, como se observa en la figura B.1

DATOS PARTICULARES	LOCALIZACIÓN	DATOS GENERALES																
w, distribuida = 0.75 ton/m ² Lado corto = 5.60 m Lado largo = 5.60 m Tipo de tablero 4 - DE ESQUINA Peralte de losa, H = 30 cm Recubrimiento, r = 3.0 cm # Acero / flexión = 4 FR, flexión = 0.9 FR, cortante = 0.8 Ancho de nervadura = 15.0 cm Ancho trib/nervadura = 1.15 m # DE ESTRIBO = 3 Fy, ESTRIBO = 4200 kg/cm ² # DE RAMAS, EST = 2	EJES LETRA: X1-X3 EJES NUM: Y2-Y3 NIVEL: SOTANOS NOTAS: F = Factor de incremento en % para el cortante último si existe discontinuidad. La relación de claros es: $m = \frac{a_1}{a_2} = 100$ C6 C7	Acero flex, Fy = 4200 kg/cm ² Concreto f'c = 250 kg/cm ² F. C. Verticales = 1.4 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #ffff00;"> <th colspan="3" style="text-align: center;">CÁLCULOS GENERALES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>f'c = 200 kg/cm²</td> <td>p, min = 0.002635</td> </tr> <tr> <td>f'c = 170.0 kg/cm²</td> <td>p, bal = 0.020238</td> </tr> <tr> <td></td> <td>p, max = 0.015179</td> </tr> </tbody> </table>	CÁLCULOS GENERALES			f'c = 200 kg/cm ²	p, min = 0.002635	f'c = 170.0 kg/cm ²	p, bal = 0.020238		p, max = 0.015179							
CÁLCULOS GENERALES																		
f'c = 200 kg/cm ²	p, min = 0.002635																	
f'c = 170.0 kg/cm ²	p, bal = 0.020238																	
	p, max = 0.015179																	
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #ffff00;"> <th colspan="4" style="text-align: center;">TIPOS DE TABLEROS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">7</td> <td style="text-align: center;">8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">9</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	TIPOS DE TABLEROS				1	2	3	4	5	6	7	8	9			
TIPOS DE TABLEROS																		
1	2	3	4															
5	6	7	8															
9																		

Figura B.1. Datos de entrada de hoja excel

Utilizando un procedimiento análogo al diseño de la losa perimetralmente apoyada, manejando los coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares, desplegados en las NTC-04, se obtuvieron los momentos actuantes en las nervaduras, multiplicando dicho momento por el ancho tributario de las nervaduras.

El área de acero obtenida debe ser mayor que la obtenida con la ecuación 4.17 y menor a la obtenida con la ecuación 4.18. La cuantía necesaria para garantizar un buen comportamiento a flexión fue obtenida a través de la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{2f_y M_u 100}{0.9 f_c'' (\text{anchotributario}) d^2 f_y}}}{f_y / f_c''} \quad (B.1)$$

El acero necesario para evitar falla por cortante se revisa con las ecuaciones 4.9 o 4.20 anteriormente mencionadas, según sea el caso. Además, se verifica que el cortante último que puede soportar la viga satisfaga la especificación de la norma en su inciso 2.5.2.4:

$$V_u \leq 2F_R b d \sqrt{f_c''} \quad (B.2)$$

La separación de los estribos obedece la ecuación (4.21), tomando en cuenta la sección 2.5.2.3 de la norma que establece separaciones máximas definidas por:

$$s \leq 0.5d \Rightarrow V_u > V_{cr}; V_u < 1.5F_R b d \sqrt{f_c''} \quad (B.3)$$

$$s \leq 0.25d \Rightarrow V_u > 1.5F_R b d \sqrt{f_c''} \quad (B.4)$$

A) DISEÑO A FLEXIÓN.

	TABLERO	ELEMENTOS MECÁNICOS	CLARO	COEFICIENTES			M _u (kg-m)	M _u bd ²	CUANTÍAS		condic	As,teo (cm ²)	NUM. BARRAS
				0.90	1.00	1.00			ρ,TEO	ρ,FINAL			
15	DE ESQUINA Dos lados adyacentes discontinuos	Negativo en bordes	corto	371	324	324	1227	1122	0.003086	0.003086	0.15	12	2
16		interiores	largo	360	324	324	1227	1122	0.003086	0.003086	0.15	12	2
17		Negativo en bordes	corto	219	190	190	719	6.58	0.001780	0.002635	0.09	11	2
18		discontinuos	largo	206	190	190	719	6.58	0.001780	0.002635	0.09	11	2
19		Positivo	corto	176	137	137	519	4.74	0.001275	0.002635	0.06	11	2
20			largo	138	137	137	519	4.74	0.001275	0.002635	0.06	11	2

B) DISEÑO A CORTANTE.

$$V_u = F \left[FC \left(\left(\frac{a_1}{2} - d \right) \left(0.95 - 0.5 \frac{a_1}{a_2} \right) w \right) \right] = 1580.9 \text{ kg}$$

Restricciones:

- 1) $V_u \leq 2.5 F_R b d \sqrt{f_c''}$
- 2) $H \leq 70 \text{ cm}$
- 3) $H/b \leq 6$

CUMPLE
CUMPLE
CUMPLE

$$V_{cr} = F_R b d (0.2 + 20p) \sqrt{f_c''} \quad \text{para } p < 0.015$$

$$V_{cr} = 0.5 F_R b d \sqrt{f_c''} \quad \text{para } p > 0.015$$

$$V_{cr} = 1199.2 \text{ kg}$$

REDUCCIÓN V_{cr}, (2) = NO

REDUCCIÓN V_{cr}, (3) = NO

$$\text{factor} = 1252$$

REDUCCIÓN V_{cr}, TOTAL = 0.0

$$V_{cr} = 1199.2 \text{ kg}$$

$$S, \text{teórica} = F_R \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{V_u - V_{cr}} \leq \frac{F_R \cdot A_v \cdot F_y}{3.5 b} = 90.9 \text{ cm}$$

$$S, \text{teórica} = 337.5$$

NO CUMPLE > S = 90.9 cm

Restricciones:

$$1) \text{ Si } 1.5 F_R b d \sqrt{f_c''} > V_u > V_{cr} \Rightarrow S_{max} = 0.5 d$$

$$2) \text{ Si } V_u > 1.5 F_R b d \sqrt{f_c''} \Rightarrow S_{max} = 0.25 d$$

$$V_u = 1580.9 \text{ kg}$$

$$V_{cr} = 1199.2 \text{ kg}$$

$$S_{max} = 13.5 \text{ cm} \text{ RIGE}$$

PARA LOS ESTRIBOS		
barra	área	
2	0.24	cm ²
3	0.71	cm ²
4	1.27	cm ²

SEPARACIONES	
S _A =	90.9
S _{teórica} =	337.5
S _{1j} =	13.5
S _{2j} =	

Figura B.2. Hoja Excel despacho García-Jarque Ingenieros.

APÉNDICE C

MODELADO ORTOTRÓPICO

La ortotropía es una forma de anisotropía, que es la propiedad general de la materia según la cual determinadas propiedades físicas, tales como elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc., varían según la dirección que sean examinados (diferente a un material isótropo que posee las mismas propiedades en todas las direcciones). La anisotropía de los materiales es más acusada en los sólidos cristalinos, debido a su estructura atómica y molecular regular.

Un material ortotrópico es aquel que posee dos o tres planos ortogonales entre sí llamados ejes ortotrópicos, de doble simetría rotacional, de forma que sus propiedades mecánicas son, en general, diferentes en las direcciones de cada uno de esos ejes. Algunos materiales como la madera, plásticos laminados, aceros laminados en frío, varios materiales compuestos, e incluso piezas forjadas se pueden tratar como materiales ortotrópicos (Boreni y Schmidt, 2003).

Debido a que algunos de los sistemas de piso estudiados, como vigueta y bovedilla, y losacero, están compuestos por diferentes materiales que presentan diferente disposición geométrica en sus direcciones ortogonales, fueron modelados ortotrópicamente considerando que de esta forma el comportamiento de la estructura se reproduce en forma más real.

El software Ansys, permite modelar la ortotropía, a través de la definición de los siguientes parámetros, en cada una de las direcciones.

- Módulo de elasticidad (EX, EY, EZ)
- Relación de Poisson (PRXY, PRYZ, PRXZ)
- Módulo de cortante (GXY, GYZ, GXZ)

Los módulos de elasticidad y cortante fueron calculados como se indican en los apéndices siguientes, la relación de Poisson utilizado fue 0.2 en todas las direcciones, al igual que la utilizada en materiales isotrópicos; sin embargo se verificó que en la ecuación presentada en la sección 2.1.1. del manual Ansys la variable h fuera siempre positiva.

$$h = 1 - (\nu_{xy})^2 \frac{E_y}{E_x} - (\nu_{yz})^2 \frac{E_z}{E_y} - (\nu_{xz})^2 \frac{E_z}{E_x} - 2\nu_{xy}\nu_{yz}\nu_{xz} \frac{E_z}{E_x} \quad (C.1)$$

APÉNDICE D TRANSFORMACIONES DE VIGUETA Y BOVEDILLA A ELEMENTOS SÓLIDOS

Para modelar vigueta y bovedilla a través de elementos sólidos se transforman las propiedades mecánicas y geométricas de los elementos que conforman este sistema de piso, utilizando el conocido principio de la sección transformada, válido en el intervalo de comportamiento elástico. Dichas transformaciones se efectuaron de forma tal que el elemento sólido mantuviera las mismas propiedades de flexión y corte.

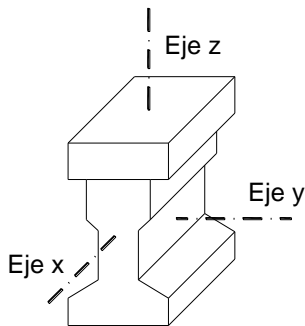
$$E_s I_s = E_{st} I_{st} \tag{D.1}$$

$$G_s A_s = G_{st} A_{st} \tag{D.2}$$

$$E_s I_s = E_{st} V_{st} \tag{D.3}$$

$$G_s V_s = G_{st} V_{st} \tag{D.4}$$

D.1. Transformación de Vigueta

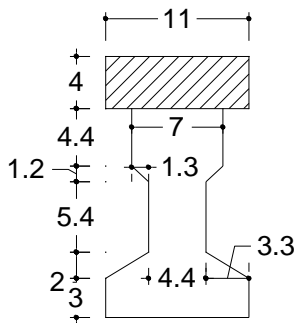


La transformación de la vigueta a un elemento sólido con geometría regular, se llevó a cabo únicamente considerando el concreto tanto de la vigueta, como del firme de compresión, despreciando el acero de presfuerzo y refuerzo del sistema.

La transformación propuesta es válida para reproducir el comportamiento de dicho sistema en el intervalo elástico, que es donde se realizaron los estudios.

Antes de transformar el sistema firme + vigueta a un elemento equivalente más accesible de ingresar en el programa estructural ANSYS, mediante la relación de sus módulos de elasticidad se uniformizó toda la sección con las propiedades de la vigueta.

Propiedades de la sección



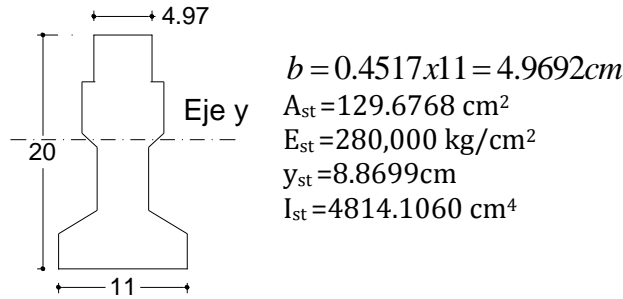
E vigueta=280000 kg/cm²

E concreto=126,491.1064 kg/cm²

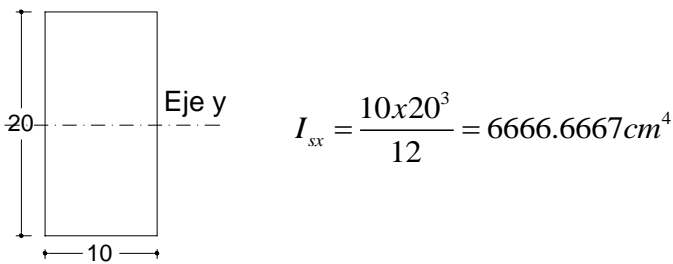
$$n = \frac{126,491.1064}{280000} = 0.4517$$

D.1.1 Obtención de los módulos de elasticidad

Los módulos de elasticidad en cada una de las tres direcciones, se obtiene proponiendo un espesor de flexión.



Proponiendo $t=20 \text{ cm}$ y $L_1=10 \text{ cm}$

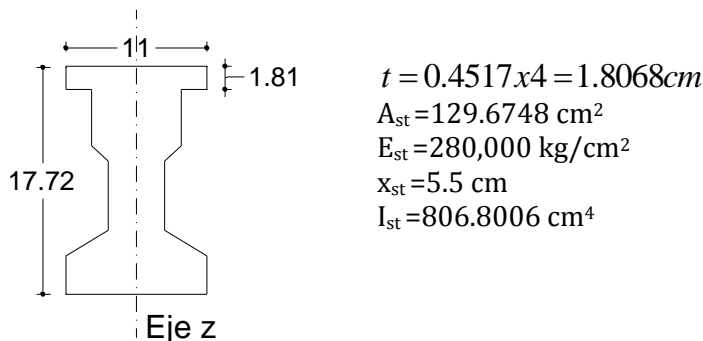


Utilizando la igualdad A.1 que garantiza la conservación de las propiedades a flexión, se obtiene el módulo de elasticidad (E_1) para el elemento Solid propuesto.

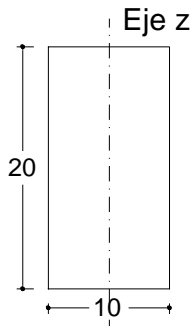
$$E_{sx} = \frac{I_{st} E_{st}}{I_{sx}}$$

$$E_{sx} = \frac{4814.1060 \times 280000}{6666.6667} = 202192.4520$$

Para la obtención del módulo de elasticidad E_y , se utiliza la inercia alrededor del eje z, y se realiza un procedimiento similar al anterior.



Proponiendo $L_2=10\text{ cm}$



$$I_{sy} = \frac{10 \times 20^3}{12} = 6666.6667$$

$$E_{sy} = \frac{806.8006 \times 280000}{6666.6667} = 33885.6252$$

Para la obtención de E_z , se utilizó la ecuación A.3

$$V_{st} = A_{st} \times L_2$$

$$V_{st} = 129.6768 \times 10 = 1296.7680$$

$$V_s = 10 \times 20 \times 10 = 2000$$

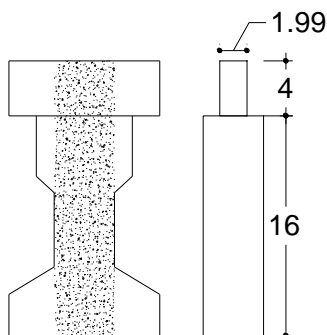
$$E_{sz} = \frac{V_{st} E_{st}}{V_s}$$

$$E_{sz} = \frac{1296.7680 \times 280000}{2000} = 181547.5200$$

D.1.2 Obtención de los módulos de rigidez a corte

Los módulos de rigidez al corte en cada una de las tres direcciones, se obtiene relacionando las áreas de corte tanto de la sección formada por el firme de compresión y la vigueta, y la del sólido propuesto.

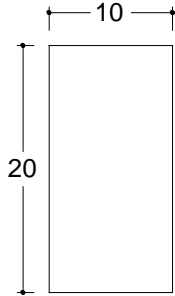
$$l_{st} = 0.4517 \times 4.4 = 1.9875$$



$$A_{st} = 4.4 \times 16 + 1.9875 \times 4 = 78.3499$$

$$G_{st} = \frac{280000}{2(1+0.2)} = 116666.6667$$

A través de la ecuación A.2 se obtuvo el módulo a corte, proponiendo $t=20$ cm

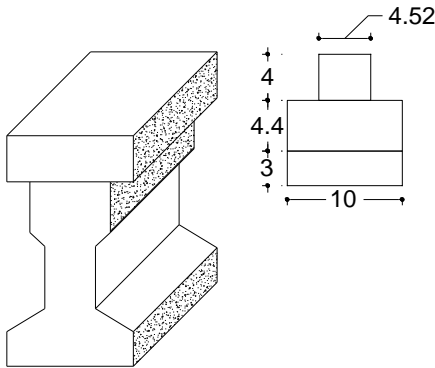


$$A_{sx} = \frac{20 \times 10}{1.2} = 166.6667$$

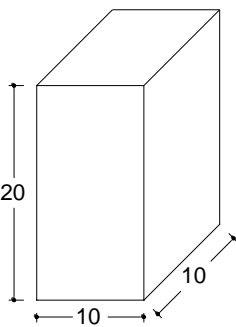
$$G_{sxz} = \frac{G_{st} A_{st}}{A_{sx}}$$

$$G_{sxz} = \frac{116666.6667 \times 78.3499}{166.6667} = 54844.9190$$

$$b = 0.4517 \times 10 = 4.5170$$



$$A_{st} = 4.4 \times 10 + 3 \times 10 + 4 \times 4.5170 = 92.068$$



$$A_{sy} = \frac{20 \times 10}{1.2} = 166.6667$$

$$G_{sxy} = \frac{116666.6667 \times 92.0680}{166.6667} = 64447.6$$

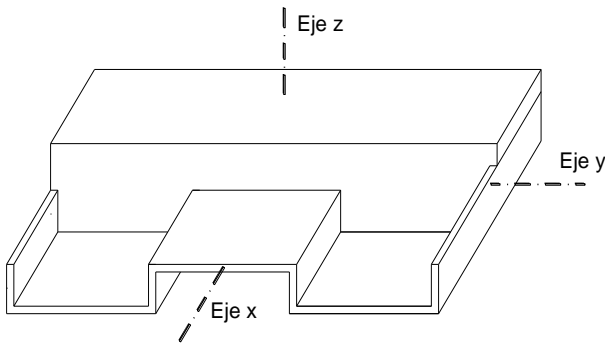
$$G_{syz} = 54844.9190$$

Análogamente a este procedimiento se obtuvieron las propiedades de la bovedilla

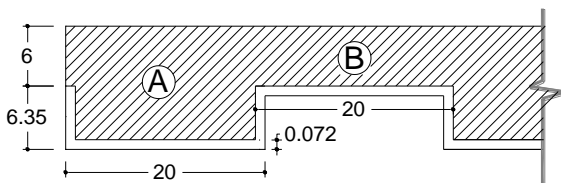
APÉNDICE E TRANSFORMACIONES DE LOSACERO A ELEMENTOS SÓLIDOS

Las transformaciones de la losacero idealizada de forma que las crestas de la lámina se intersectan en un ángulo de 90 grados a elementos Solid del software Ansys, se realizaron utilizando las mismas igualdades del apéndice anterior.

E.1 Transformación de Losacero



Propiedades de la sección



$E_{\text{acero}} = 2000000 \text{ kg/cm}^2$
 $E_{\text{concreto}} = 173925 \text{ kg/cm}^2$

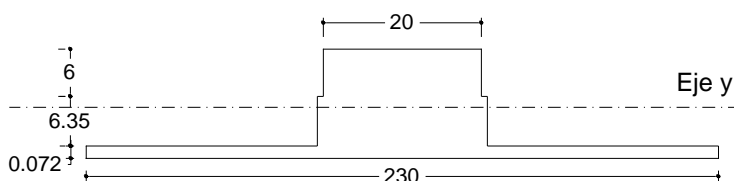
$$n = \frac{2000000}{173925} = 11.499$$

E.1.1. Obtención de los Módulos de Elasticidad

Los módulos de elasticidad en cada una de las tres direcciones, se obtiene proponiendo un espesor de flexión.

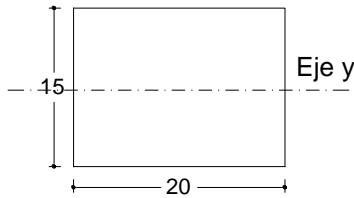
$$b = 20 \times 11.499 = 230 \text{ cm}$$

$$b = 0.072 \times 11.499 = 0.828 \text{ cm}$$



$A_{st} = 271.6123 \text{ cm}^2$
 $E_{st} = 173925 \text{ kg/cm}^2$
 $y_{st} = 5.7297 \text{ cm}$
 $I_{st} = 3769.9646 \text{ cm}^4$

Proponiendo $t=20$ cm y $L_1=20$ cm



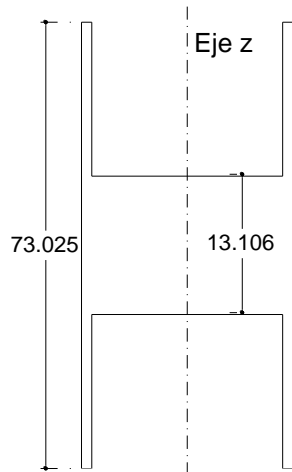
$$I_{sx} = \frac{20 \times 15^3}{12} = 5625 \text{ cm}^4$$

$$E_{sx} = \frac{I_{st} E_{st}}{I_{sx}}$$

$$E_{sx} = \frac{3769.9646 \times 173925}{5625} = 116567.3054$$

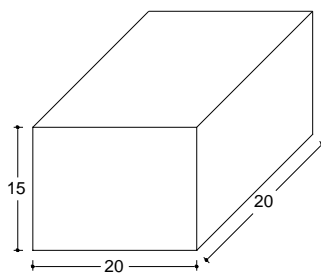
$$t = 6.35 \times 11.5 = 73.025 \text{ cm}$$

$$t = .072 \times 11.5 = 0.828 \text{ cm}$$



$$\begin{aligned} A_{st} &= 270.8572 \text{ cm}^2 \\ E_{st} &= 173925 \text{ kg/cm}^2 \\ x_{st} &= 10 \text{ cm} \\ I_{st} &= 17939.4109 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Proponiendo $L_2=20$ cm



$$I_{sy} = \frac{15 \times 20^3}{12} = 10000$$

$$E_{sy} = \frac{17939.4109 \times 173925}{10000} = 312011.2041$$

$$V_{st} = A_{st} \times L_2$$

$$V_{st} = 270.8572 \times 20 = 5417.144$$

$$V_s = 15 \times 20 \times 20 = 6000$$

$$E_{sz} = \frac{V_{st} E_{st}}{V_s}$$

$$E_{sz} = \frac{5417.144 \times 173925}{6000} = 157029.4617$$

E.1.2 Obtención de los módulos de rigidez a corte

Los módulos de rigidez al corte en cada una de las tres direcciones, se obtiene a través del espesor axial.

$$A_{st} = \frac{271.6123}{1.2} = 226.3436$$

$$G_{st} = \frac{173925}{2(1+0.2)} = 72468.75$$

A través de la ecuación A.2 se obtuvo el módulo a corte, proponiendo $t=20$ cm

$$A_{sx} = \frac{15 \times 20}{1.2} = 250$$

$$G_{sxz} = \frac{G_{st} A_{st}}{A_{sx}}$$

$$G_{sxz} = \frac{72468.75 \times 226.3436}{250} = 65611.3511$$

$$A_{st} = \frac{12.35 \times 20}{1.2} = 205.8333$$

$$A_{sy} = \frac{20 \times 20}{1.2} = 333.3333$$

$$G_{sxy} = \frac{72468.75 \times 205.8333}{333.3333} = 44749.4576$$

$$G_{syz} = 44749.4576$$

Anteriormente se ilustró el cálculo correspondiente a la losacero en su sección A, utilizando un procedimiento equivalente se obtuvieron los valores de la sección B de losacero resumidas en la tabla 6.8.

APÉNDICE F PERFILES DE DESPLAZAMIENTO

En las siguientes tablas se muestran los perfiles de desplazamientos utilizados para el cálculo de los índices evaluados en el capítulo 7.

Tabla F.1. Perfil de desplazamientos (cm) de sistemas de piso infinitamente rígidos para vivienda

A/B	Pisos	MA	CD	MB	CD	MC	CD	MD	CD	ME	CD	MF	CD	MG	CD	MH	CD	MI
1	1	2.5242	2.4900	2.5147	2.4900	2.5242												
	2	4.5663	4.5468	4.5589	4.5468	4.5663												
	3	5.6197	5.6111	5.6165	5.6111	5.6197												
1	1	2.0129	1.9865	2.0032	1.9867	2.0032	1.9865	2.0129										
	2	3.5639	3.5493	3.5584	3.5494	3.5584	3.5493	3.5693										
	3	4.3574	4.3509	4.3550	4.3510	4.3550	4.3509	4.3374										
1.5	1	2.7590	2.7219	2.7452	2.7220	2.7452	2.7219	2.7590										
	2	4.9569	4.9358	4.9490	4.9360	4.9490	4.9358	4.9569										
	3	6.0895	6.0803	6.0862	6.0805	6.0862	6.0803	6.0895										
2	1	2.9099	2.8711	2.8955	2.8712	2.8955	2.8712	2.8955	2.8711	2.9099								
	2	5.2099	5.1879	5.2016	5.1880	5.2017	5.1880	5.2016	5.1879	5.2099								
	3	6.3943	6.3848	6.3910	6.3852	6.3913	6.3852	6.3910	6.3849	6.3944								
2.5	1	3.0097	2.9696	2.9948	2.9698	2.9949	2.9699	2.9949	2.9698	2.9948	2.9696	3.0097						
	2	5.3762	5.3536	5.3677	5.3538	5.3679	5.3539	5.3679	5.3538	5.3678	5.3536	5.3762						
	3	6.5943	6.5846	6.5911	6.5852	6.5915	6.5854	6.5915	6.5852	6.5911	6.5847	6.5943						
3	1	3.0788	3.0380	3.0639	3.0385	3.0641	3.0390	3.0645	3.0391	3.0647	3.0391	3.0647	3.0391	3.0804				
	2	5.4934	5.4692	5.4836	5.4696	5.4841	5.4700	5.4844	5.4703	5.4846	5.4703	5.4846	5.4703	5.4934				
	3	6.7337	6.7241	6.7309	6.7250	6.7318	6.7257	6.7322	6.7259	6.7322	6.7258	6.7318	6.7253	6.7352				
3.5	1	3.1332	3.0917	3.1180	3.0921	3.1182	3.0925	3.1184	3.0926	3.1184	3.0925	3.1182	3.0921	3.0900	3.0917	3.1332		
	2	5.5812	5.5579	5.5726	5.5583	5.5730	5.5586	5.5732	5.5587	5.5732	5.5586	5.5730	5.5586	5.5726	5.5580	5.5812		
	3	6.8404	6.8306	6.8374	6.8315	6.8383	6.8322	6.8388	6.8324	6.8388	6.8322	6.8383	6.8316	6.8375	6.8306	6.8404		
4	1	3.1738	3.1319	3.1586	3.1325	3.1590	3.1331	3.1595	3.1335	3.1597	3.1335	3.1595	3.1331	3.1591	3.1326	3.1586	3.1319	3.1738
	2	5.6487	5.6252	5.6402	5.6257	5.6404	5.6262	5.6410	5.6265	5.6411	5.6265	5.6410	5.6262	5.6404	5.6258	5.6402	5.6253	5.6487
	3	6.9212	6.9114	6.9185	6.9126	6.9196	6.9136	6.9204	6.9141	6.9207	6.9141	6.9204	6.9141	6.9197	6.9127	6.9185	6.9115	6.9212

Tabla F.2. Perfil de desplazamientos (cm) de sistemas de piso infinitamente rígido para oficinas

A/B	Pisos	MA	CD	MB	CD	MC	CD	MD	CD	ME	CD	MF	CD	MG
1	1	0.5982	0.5720	0.5952	0.5725	0.5993								
	2	1.1644	1.1498	1.1630	1.1510	1.1667								
	3	1.4665	1.4607	1.4680	1.4625	1.4699								
1.5	1	0.8347	0.7960	0.8297	0.7954	0.8342								
	2	1.6611	1.6386	1.6582	1.6383	1.6605								
	3	2.1096	2.1009	2.1104	2.1006	2.1090								
2.25	1	0.9137	0.8756	0.9165	0.8840	0.9163	0.8746	0.9117						
	2	1.8019	1.7802	1.8040	1.7858	1.8036	1.7791	1.8000						
	3	2.2802	2.2732	2.2860	2.2783	2.2854	2.2721	2.2783						
3	1	0.9494	0.9134	0.9602	0.9314	0.9694	0.9309	0.9600	0.9124	0.9475				
	2	1.8726	1.8535	1.8818	1.8665	1.8879	1.8654	1.8800	1.8504	1.8681				
	3	2.3686	2.3641	2.3800	2.3751	2.3850	2.3735	2.3770	2.3592	2.3618				
3.75	1	0.9680	0.9351	0.9880	0.9622	1.0060	0.9718	1.0060	0.9625	0.9880	0.9355	0.9680		
	2	1.9122	1.8974	1.9320	1.9210	1.9480	1.9296	1.9481	1.9212	1.9315	1.8978	1.9122		
	3	2.4194	2.4195	2.4410	2.4410	2.4555	2.4486	2.4555	2.4410	2.4410	2.4198	2.4194		
4.5	1	0.9756	0.9452	1.0020	0.9795	1.0000	0.9974	1.0367	1.0000	1.0278	0.9788	1.0015	0.9444	0.9740
	2	1.9317	1.9212	1.9610	1.9547	1.9860	1.9731	1.9961	1.9729	1.9860	1.9541	1.9600	1.9200	1.9298
	3	2.4466	2.4512	2.4690	2.4825	2.5020	2.4997	2.5108	2.5020	2.4900	2.4772	2.4759	2.4500	2.4446

Tabla F.3. Perfil de desplazamientos (cm) de losas perimetralmente apoyadas para vivienda

A/B	Pisos	MA	CD	MB	CD	MC	CD	MD	CD	ME	CD	MF	CD	MG	CD	MH	CD	MI
1	1	3.5329	3.4054	3.4971	3.4054	3.5329												
	2	7.153	7.0708	7.1297	7.0711	7.153												
	3	9.1055	9.0750	9.0960	9.0740	9.1055												
1	1	2.7734	2.6778	2.7495	2.6820	2.7495	2.6782	2.7734										
	2	5.5072	5.4472	5.4916	5.4496	5.4916	5.4474	5.5072										
	3	6.9570	6.9353	6.9518	6.9373	6.9518	6.9355	6.9572										
1.5	1	3.8483	3.7115	3.8134	3.7176	3.8136	3.7120	3.8482										
	2	7.7425	7.6548	7.7193	7.6583	7.7194	7.6551	7.7425										
	3	9.8313	9.7988	9.8236	9.8022	9.8236	9.7991	9.8313										
2	1	4.0418	3.9000	4.0098	3.9135	4.0160	3.9127	4.0103	3.9013	4.0418								
	2	8.1098	8.0194	8.0880	8.0258	8.0912	8.0259	8.0882	8.0198	8.1098								
	3	10.2848	10.2522	10.2795	10.2587	10.2829	10.2589	10.2797	10.2526	10.2848								
2.5	1	4.1647	4.0217	4.1372	4.0399	4.1499	4.0465	4.1499	4.0404	4.1372	4.0227	4.1647						
	2	8.3469	8.2556	8.3280	8.2659	8.3350	8.2696	8.3350	8.2662	8.3280	8.2562	8.3469						
	3	10.5776	10.5456	10.5755	10.5561	10.5830	10.5600	10.5830	10.5564	10.5756	10.5462	10.5776						
3	1	4.2443	4.1015	4.2223	4.1266	4.2420	4.1405	4.2495	4.1411	4.2427	4.1283	4.2234	4.1041	4.2460				
	2	8.5078	8.4163	8.4930	8.4322	8.5052	8.4412	8.5100	8.4417	8.6000	8.5060	8.4337	8.4940	8.5091				
	3	10.7770	10.7467	10.7797	10.7622	10.7920	10.7712	10.7969	10.7717	10.7924	10.7638	10.7808	10.7491	10.7791				
3.5	1	4.3015	4.1594	4.2860	4.1915	4.3125	4.2125	4.3265	4.2199	4.3265	4.2130	4.3125	4.1926	4.2860	4.1610	4.3015		
	2	8.6246	8.5353	8.6160	8.5572	8.6342	8.5722	8.6447	8.5777	8.6447	8.5726	8.6342	8.5580	8.6161	8.5363	8.6246		
	3	10.9240	10.8960	10.9330	10.9170	10.9500	10.9312	10.9597	10.9364	10.9597	10.9316	10.9500	10.9177	10.9325	10.8969	10.9243		
4	1	4.3386	4.1980	4.3285	4.2370	4.3630	4.2651	4.3845	4.2800	4.3919	4.2803	4.3845	4.2660	4.3630	4.2384	4.3285	4.2000	4.3386
	2	8.7064	8.6195	8.7045	8.6491	8.7310	8.6716	8.7485	8.6839	8.7547	8.6842	8.7485	8.6723	8.7310	8.6502	8.7045	8.6208	8.7064
	3	11.0295	11.0038	11.0440	11.0317	11.0682	11.0528	11.0850	11.0642	11.0906	11.0645	11.0850	11.0535	11.0682	11.0327	11.0440	11.0050	11.0295

Tabla F.4. Perfil de desplazamientos (cm) de vigueta y bovedilla para vivienda

A/B	Pisos	MA	CD	MB	CD	MC	CD	MD	CD	ME	CD	MF	CD	MG	CD	MH	CD	MI
1	1	3.4528	3.3328	3.4170	3.3292	3.4494												
	2	6.9412	6.8642	6.9185	6.8618	6.9392												
	3	8.8113	8.7817	8.8015	8.7803	8.8102												
1	1	2.7327	2.6413	2.7104	2.6476	2.7103	2.6413	2.7326										
	2	5.3823	5.3250	5.3682	5.3293	5.3682	5.3250	5.3822										
	3	6.7803	6.7589	6.7752	6.7618	6.7752	6.7589	6.7803										
1.5	1	3.7947	3.6654	3.7589	3.6655	3.7589	3.6655	3.7947										
	2	7.5715	7.4886	7.5483	7.4883	7.5483	7.4888	7.5713										
	3	9.5859	9.5545	9.5770	9.5550	9.5770	9.5546	9.5859										
2	1	3.9844	3.8510	3.9510	3.8558	3.9551	3.8610	3.9510	3.8468	3.9800								
	2	7.9269	7.8415	7.9048	7.8435	7.9070	7.8470	7.9048	7.8386	7.9239								
	3	10.0230	9.9916	10.0161	9.9947	10.0188	9.9966	10.0160	9.9898	10.0211								
2.5	1	4.1048	3.9700	4.0757	3.9806	4.0860	3.9908	4.0860	3.9806	4.0756	3.9703	4.1048						
	2	8.1562	8.0702	8.1368	8.0756	8.1420	8.0820	8.1420	8.0757	8.1366	8.0703	8.1562						
	3	10.3053	10.2745	10.3014	10.2811	10.3071	10.2861	10.3071	10.2812	10.3014	10.2747	10.3053						
3	1	4.1848	4.0502	4.1611	4.0674	4.1780	4.0842	4.1840	4.0793	4.1780	4.0730	4.1621	4.0461	4.1801				
	2	8.3137	8.2282	8.2983	8.2384	8.3085	8.2491	8.3125	8.2457	8.3085	8.3000	8.2989	8.2225	8.3111				
	3	10.5001	10.4707	10.5002	10.4817	10.5102	10.4908	10.5144	10.4890	10.5105	10.4838	10.5000	10.4691	10.4981				
3.5	1	4.2383	4.1051	4.2210	4.1295	4.2450	4.1535	4.2589	4.1555	4.2590	4.1541	4.2450	4.1305	4.2220	4.1064	4.2391		
	2	8.4182	8.3373	8.4130	8.3583	8.4350	8.3787	8.4475	8.3825	8.4498	8.3824	8.4400	8.3663	8.4245	8.3511	8.4365		
	3	10.6088	10.5943	10.6400	10.6371	10.6820	10.6787	10.7200	10.7098	10.7500	10.7355	10.7760	10.7518	10.7900	10.7644	10.8175		
4	1	4.2705	4.1387	4.2590	4.1604	4.2900	4.1993	4.3085	4.2075	4.3150	4.2121	4.3070	4.1932	4.2870	4.1722	4.2555	4.1315	4.2620
	2	8.4960	8.4140	8.4915	8.4362	8.5144	8.4584	8.5280	8.4647	8.5320	8.4121	8.5260	8.4518	8.5090	8.4345	8.4850	8.4035	8.4839
	3	10.7314	10.7059	10.7410	10.7270	10.7610	10.7458	10.7741	10.7522	10.7771	10.7525	10.7710	10.7393	10.7550	10.7213	10.7320	10.6935	10.7169

Tabla F.5. Perfil de desplazamientos (cm) de losas reticulares para vivienda

A/B	Pisos	MA	CD	MB	CD	MC	CD	MD	CD	ME	CD	MF	CD	MG	CD	MH	CD	MI
1	1	3.5402	3.4338	3.5198	3.4339	3.5402												
	2	7.2753	7.2019	7.2595	7.2021	7.2756												
	3	9.3377	9.3037	9.3274	9.3039	9.3381												
1	1	2.7573	2.6782	2.7453	2.6805	2.7454	2.6783	2.7578										
	2	5.5388	5.4855	5.5284	5.4863	5.5287	5.4861	5.5396										
	3	7.0393	7.0153	7.0331	7.0162	7.0334	7.0160	7.0403										
1.5	1	3.8138	3.7034	3.7987	3.7088	3.7986	3.7034	3.8138										
	2	7.7607	7.6847	7.7469	7.6870	7.7469	7.6849	7.7611										
	3	9.9174	9.8826	9.9087	9.8842	9.9088	9.8830	9.9180										
2	1	3.9806	3.8679	3.9688	3.8782	3.9740	3.8759	3.9648	3.8619	3.9725								
	2	8.0707	7.9914	8.0550	7.9930	8.0547	7.9899	8.0488	7.9820	8.0578								
	3	10.2937	10.2564	10.2820	10.2557	10.2801	10.2520	10.2745	10.2753	10.2785								
2.5	1	4.0762	3.9652	4.0721	3.9842	4.0863	3.9910	4.0859	3.9833	4.0711	3.9633	4.0737						
	2	8.2447	8.1667	8.2337	8.1733	8.2384	8.1750	8.2371	8.1708	8.2300	8.1642	8.2381						
	3	10.5012	10.4653	10.4931	10.4685	10.4952	10.4687	10.4935	10.4650	10.4879	10.4583	10.4922						
3	1	4.1378	4.0284	4.1399	4.0541	4.1609	4.0679	4.1675	4.0668	4.1588	4.0507	4.1357	4.0227	4.1306				
	2	8.3634	8.2859	8.3549	8.2953	8.3622	8.2995	8.3631	8.2969	8.3570	8.2874	8.3444	8.2726	8.3480				
	3	10.6450	10.6090	10.6373	10.6128	10.6401	10.6136	10.6388	10.6100	10.6330	10.6038	10.6232	10.5913	10.6300				
3.5	1	4.1751	4.0687	4.1849	4.1023	4.2141	4.1244	4.2291	4.1316	4.2288	4.1237	4.2133	4.1008	4.1835	4.0663	4.1723		
	2	8.4411	8.3662	8.4389	8.3821	8.4527	8.3928	8.4597	8.3958	8.4587	8.3907	8.4498	8.3780	8.4340	8.3601	8.4337		
	3	10.7410	10.7073	10.7382	10.7161	10.7459	10.7218	10.7494	10.7229	10.7480	10.7190	10.7417	10.7105	10.7313	10.6988	10.7309		
4	1	4.2009	4.0971	4.2174	4.1378	4.2538	4.1672	4.2764	4.1822	4.2840	4.1817	4.2761	4.1658	4.2531	4.1363	4.2164	4.0950	4.1984
	2	8.5002	8.4279	8.5040	8.4499	8.5238	8.4666	8.5366	8.4751	8.5406	8.4742	8.5352	8.4642	8.5209	8.4459	8.4995	8.4223	8.4936
	3	10.8175	10.7856	10.8185	10.7984	10.8302	10.8080	10.8374	10.8125	10.8393	10.8114	10.8353	10.8046	10.8259	10.7928	10.8121	10.7778	10.8084

Tabla F.6. Perfil de desplazamientos (cm) de losas perimetralmente apoyadas para oficinas

A/B	Pisos	MA	CD	MB	CD	MC	CD	MD	CD	ME	CD	MF	CD	MG
1	1	0.9262	0.8720	0.9509	0.8727	0.9267								
	2	2.0017	1.9731	2.0240	1.9739	2.0017								
	3	2.6311	2.6357	2.6510	2.6364	2.6311								
1.5	1	1.2923	1.2310	1.3255	1.2059	1.2914								
	2	2.8380	2.7930	2.8753	2.7933	2.8369								
	3	3.7596	3.7661	3.7931	3.7661	3.7584								
2.25	1	1.3959	1.3170	1.4700	1.3680	1.4700	1.3171	1.3930						
	2	3.0664	3.0383	3.1550	3.0961	3.1540	3.0381	3.0637						
	3	4.0612	4.0873	4.1410	4.1368	4.1410	4.0868	4.0586						
3	1	1.4329	1.3612	1.5350	1.4450	1.5764	1.4453	1.5350	1.3629	1.4327				
	2	3.1566	3.1493	3.3000	3.2654	3.3574	3.2653	3.3000	3.1514	3.1564				
	3	4.1872	4.2402	4.3250	4.3515	4.3250	4.3515	4.3250	4.2422	4.1872				
3.75	1	1.4431	1.3819	1.5680	1.4869	1.6380	1.5194	1.6380	1.6373	1.5680	1.3819	1.4431		
	2	3.1832	3.1973	3.3710	3.3640	3.4880	3.4224	3.4880	3.3710	3.3706	3.2002	3.1832		
	3	4.2260	4.3115	4.4359	4.4312	4.5520	4.5492	4.5520	4.4321	4.4296	4.3115	4.2265		
4.5	1	1.4376	1.3823	1.5800	1.5057	1.6700	1.5591	1.6971	1.5586	1.6700	1.5050	1.5800	1.3827	1.4359
	2	3.1716	3.2048	3.4000	3.4128	3.5630	3.5194	3.6160	3.5194	3.5600	3.4131	3.4000	3.2056	3.1687
	3	4.2177	4.3281	4.4696	4.5585	4.6535	4.6819	4.7175	4.6796	4.6523	4.5519	4.4674	4.3179	4.2144

Tabla F.7. Perfil de desplazamientos (cm) de losacero para oficinas

A/B	Pisos	MA	CD	MB	CD	MC	CD	MD	CD	ME	CD	MF	CD	MG						
1	1	0.8395	0.8485	0.8760	0.8000	0.8133														
	2	1.7914	1.8305	1.7000	1.8227	1.7661														
	3	2.3395	2.4137	2.3651	3.3427	3.2690														
1.5	1	1.1732	1.1060	1.2350	1.1583	1.1823														
	2	2.5094	2.5212	2.4900	2.7077	2.5100														
	3	3.3047	3.4000	3.4000	3.4172	3.3100														
2.25	1	1.2469	1.1871	1.3564	1.3099	1.3544									1.1890	1.2500				
	2	2.5818	2.7190	2.8543	2.8642	2.8544									2.7219	2.5820				
	3	3.5345	3.6451	3.7118	3.7816	3.7118									3.6479	3.5343				
3	1	1.2726	1.2500	1.4112	1.3850	1.4597									1.3273	1.4123	1.2787	1.2913		
	2	2.7550	2.8120	2.9802	3.0270	3.0465									3.0300	2.9840	2.8670	2.7822		
	3	3.6195	3.7724	3.8774	3.9945	3.9725									3.9570	3.8825	3.8200	3.6536		
3.75	1	1.2740	1.2350	1.4352	1.4133	1.5121									1.3915	1.5125	1.4132	1.4356	1.2345	1.2743
	2	2.7610	2.8411	3.0365	3.1100	3.1822									3.1314	3.1825	3.1100	3.0370	2.8410	2.7631
	3	3.6293	3.8160	3.9540	4.1090	4.1273									4.1560	4.1275	4.1091	3.9543	3.8160	3.6295
4.5	1	1.2645	1.2340	1.4276	1.5380	1.4260	1.5667	1.4823	1.5387	1.3731	1.5000	1.4434	1.2826	1.2857						
	2	2.7386	2.8390	3.0530	3.1470	3.2422	3.2176	3.3032	3.2673	3.2438	3.0970	3.0561	2.8933	2.7643						
	3	3.6109	3.8205	3.9848	4.1669	4.2145	4.2752	4.2900	4.3175	4.2120	4.1198	3.9800	3.8587	3.6173						

Tabla F.8. Perfil de desplazamientos (cm) de losas reticulares para oficinas

A/B	Pisos	MA	CD	MB	CD	MC	CD	MD	CD	ME	CD	MF	CD	MG						
1	1	2.2568	2.1957	2.3366	2.1899	2.2479														
	2	5.8328	5.7662	5.9030	5.7627	5.8257														
	3	8.8063	8.6895	8.7732	8.6885	8.8062														
1.5	1	3.1587	3.0759	3.2872	3.0759	3.1587														
	2	8.2854	8.1962	8.4069	8.1962	8.2854														
	3	12.6571	12.4952	12.6197	12.4952	12.6572														
2.25	1	3.3199	3.2667	3.5337	3.3762	3.5337									3.2667	3.3199				
	2	8.6989	8.6572	8.9310	8.7878	8.9310									8.6572	8.6989				
	3	13.2686	13.1168	13.2642	13.1462	13.2642									13.1168	13.2686				
3	1	3.3786	3.3460	3.6450	3.5190	3.7270									3.5190	3.6440	3.3786	3.3746		
	2	8.8711	8.8693	9.1921	9.1020	9.3047									9.1020	9.1921	8.8693	8.8711		
	3	13.5538	13.4340	13.6170	13.5266	13.6687									13.5266	13.6170	13.4340	13.5538		
3.75	1	3.3942	3.3753	3.6947	3.5858	3.8230									3.6458	3.8223	3.5844	3.6929	3.3733	3.3923
	2	8.9280	8.9604	9.3225	9.2710	9.5207									9.3702	9.5197	9.2691	9.3197	8.9569	8.9239
	3	13.6616	13.5858	13.8132	13.7643	13.9474									13.8344	13.9463	13.7622	13.8101	13.5816	13.6562
4.5	1	3.3888	3.3815	3.7139	3.6162	3.8714	3.7106	3.9166	3.7103	3.8708	3.6151	3.7123	3.3793	3.3862						
	2	8.9209	8.9846	9.3788	9.3584	9.6458	9.5336	9.7304	9.5319	9.6441	9.3558	9.3750	8.9796	8.9115						
	3	13.6608	13.6327	13.9057	13.9023	14.1325	14.0628	14.2165	14.0608	14.1300	13.8985	13.9003	13.6259	13.6521						