



**Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**

**PROCEDIMIENTO RECOMENDADO PARA EL DISEÑO
ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO DE 4 NIVELES, FORMADO
CON MARCOS DE CONCRETO REFORZADO, UTILIZANDO LAS
NORMAS AGIES 2002.**

Laura Mabely Gómez Villagran

ASESORADA POR

ING. JUAN MIGUEL RUBIO ROMERO

GUATEMALA, MAYO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROCEDIMIENTO RECOMENDADO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN
EDIFICIO DE 4 NIVELES, FORMADO CON MARCOS DE CONCRETO REFORZADO,
UTILIZANDO LAS NORMAS AGIES 2002.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LAURA MABELY GÓMEZ VILLAGRAN

ASESORADA POR ING. JUAN MIGUEL RUBIO ROMERO.

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Ing. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Fredy Enrique Ríos Godinez.
EXAMINADOR	Ing. Armando Ola Hernández.
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales.
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROCEDIMIENTO RECOMENDADO PARA EL DISEÑO DE UN EDIFICIO DE 4 NIVELES, FORMADO CON MARCOS DE CONCRETO REFORZADO, UTILIZANDO LAS NORMAS AGIES 2002.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 23 de febrero de 2004.

Laura Mabely Gómez Villagran

AGRADECIMIENTOS

- DIOS** Por sus infinitas bendiciones que siempre derramo sobre mi.
- A MIS PADRES** Por el amor, confianza e incondicional apoyo que siempre me brindaron.
- A MIS HERMANOS** Por su comprensión en todo momento.
- A MI ASESOR** Ing. Juan Migue Rubio Romero, por su valiosa colaboración en este trabajo, y principalmente por su desinteresado apoyo.
- A MI FAMILIA** Por su apoyo y comprensión.
- A MI CASA DE ESTUDIOS.** Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Por permitirme optar a este título.
- A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS** Por el apoyo y cariño que siempre me brindaron.

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

MI PATRIA

Guatemala.

MIS PADRES

Carlos H. Gómez Quiñónez
Tomy Villagrán Úrizar de Gómez

MIS HERMANOS

Dina Marisol Gómez Villagrán
Carlos Francisco Gómez Villagrán

MI PRIMO

Cristian Roberto Natareno Villagrán (+)
Por el valioso ejemplo de dedicación que me
enseño.

MI FAMILIA

MI CASA DE ESTUDIOS

Universidad San Carlos de Guatemala.
Facultad de Ingeniería.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX

1. DIMENSIONES PRELIMINARES Y CARGAS

1.1	Modelo de la estructura.....	1
1.2	Dimensiones preliminares y cargas.....	2
1.2.1	Cargas de uso.....	2
1.2.2	Aspectos que influyen en las dimensiones.....	4
1.2.2.1	Vigas.....	4
1.2.2.2	Columnas.....	5
1.2.2.3	Zapatatas.....	7

2. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN

2.1	Metodología de diseño.....	12
2.1.1	Solicitaciones.....	12
2.1.1.1	Nivel de protección sísmica.....	14
2.1.1.1.1	Obras críticas.....	15
2.1.1.1.2	Obras esenciales.....	15
2.1.1.1.3	Obras importantes.....	15
2.1.1.1.4	Obras ordinarias.....	16
2.1.2	Sitio.....	17
2.1.2.1	Condición del terreno.....	17
2.1.2.2	Clasificación de dictámenes geotécnicos.....	19
2.1.3	Método de análisis y modelo analítico.....	20
2.1.3.1	Parámetros de sismoresistencia.....	21
2.1.3.1.1	Factor de reducción de respuesta sísmica para el estado límite de cedencia.....	21
2.1.3.1.2	Factor genérico de reducción de respuesta sísmica.....	22
2.1.3.1.3	Factor de calidad sismorresistente.....	25
2.1.3.2	Configuración de la edificación.....	26
2.1.3.2.1	Número de tramos.....	26
2.1.3.2.2	Número de ejes estructurales.....	29
2.1.3.2.3	Presencia de muros o riostras.....	30
2.1.3.2.4	Regularidad en planta.....	31
2.1.3.2.5	Excentricidad en planta.....	33
2.1.3.2.6	Regularidad vertical.....	36
2.1.4	Análisis gravitacional.....	39

2.1.5	Análisis sísmico.....	40
2.1.5.1	Método de la carga estática equivalente.....	41
2.1.5.1.1	Cortante basal estático equivalente.....	41
2.1.5.1.2	Coeficiente sísmico para el estado límite de servicio.....	42
2.1.5.1.3	Coeficiente sísmico para el estado límite de cedencia.....	46
2.1.5.1.4	Cortante basal estático de cedencia.....	47
2.1.5.1.5	Distribución vertical de las fuerzas sísmicas.....	47
3.	ANÁLISIS DE MARCOS	
3.1	Cargas.....	51
3.1.1	Integración de cargas.....	52
3.2	Análisis de marcos.....	54
3.2.1	Análisis del marco 1 por carga sísmica.....	59
3.2.2	Análisis del marco 1 por carga viva.....	62
3.2.3	Análisis del marco 1 por carga muerta.....	65
3.2.4	Análisis del marco 2 por carga sísmica.....	68
3.2.5	Análisis del marco 2 por carga viva.....	71
3.2.6	Análisis del marco 2 por carga muerta.....	74
3.2.7	Análisis del marco A por carga sísmica.....	77
3.2.8	Análisis del marco A por carga viva.....	78
3.2.9	Análisis del marco A por carga muerta.....	79
3.2.10	Análisis del marco B por carga sísmica.....	80
3.2.11	Análisis del marco B por carga viva.....	81
3.2.12	Análisis del marco B por carga muerta.....	83

4. COMBINACIONES DE CARGAS

4.1	Combinaciones de carga para el diseño por el método de esfuerzos de servicio.....	83
4.2	Combinaciones de carga por el método de la resistencia a la cedencia.....	86
4.3	Combinaciones de carga para diseño sismorresistente.....	87
4.4	Combinaciones de carga para cimentaciones.....	87
4.5	Límites de deformación sísmica.....	93
4.5.1	Desplazamientos laterales provocados por sismo.....	93
4.5.1.1	Límites de deformación sísmica.....	93
4.5.2	Desplazamientos laterales para el estado límite de cedencia.....	95
4.5.2.1	Desplazamientos laterales post-elásticos.....	95
4.5.2.1.1	Derivas sísmicas en dirección X.....	95
4.5.2.1.2	Def. post-elástica global en X.....	97
4.5.2.1.3	Derivas sísmicas en dirección Y.....	98
4.5.2.1.4	Def. post-elástica global en Y.....	99
	CONCLUSIONES.....	101
	RECOMENDACIONES.....	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Isométrico de la estructura	1
2	Vista en planta	2
3	Cargas vivas en edificaciones	3
4	Sección viga tipo V-1	4
5	Sección viga tipo V-2	4
6	Sección viga tipo V-3	4
7	Distribución de cargas sobre una zapata	10
8	Aceleraciones máximas para un sismo	13
9	Mapa de macrozonificación sísmica en Guatemala	14
10	Nivel de protección sísmica.	16
11	Factor genérico de reducción de respuesta sísmica	27
12	Planta, para el cálculo de q_1	28
13	Planta ashurada	31
14	Ubicación del centro de masa y el centro de rigidez	34
15	Guía para establecer el índice de calidad Q	38
16	Funciones de amplificaciones dinámicas	44
17	Valores de los periodos T_A y T_B .	44
18	Distribución de cargas laterales para el eje X	50
19	Distribución de cargas laterales para el eje y	50
20	Identificación de las áreas tributarias en planta	52
21	Distribución de cargas sobre el marco eje 1	55
22	Distribución de cargas sobre el marco eje 2	55
23	Distribución de cargas sobre el marco eje A	56

24	Distribución de cargas sobre el marco eje B	56
25	Gráfica de momentos, aplicados al elemento 1, nodo 1-2.	92
26	Desplazamientos laterales post-elásticos y derivas sísmicas en dirección X.	97
27	Desplazamientos laterales post-elásticos y derivas sísmicas en dirección Y.	99

TABLAS

I	Capacidad de carga del terreno	8
II	Número de tramos q_1	26
III	Número de tramos q_2	29

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
P_u	Carga última
f'_c	Resistencia del concreto
F_y	Fluencia del acero
ϕ	Factor de reducción
A_s	Área de acero
A_g	Área de la sección transversal de un elemento
C_v	Carga viva
C_m	Carga muerta
V_s	Valor soporte del suelo
Σ	Sumatoria
h	Altura
A_F	Área de la base de la zapata
d	Peralte
r	Recubrimiento
I_o	Índice de sismicidad
A_o	Aceleración del sismo básico
A_f	Aceleración del suelo producida por el sismo frecuente
R_o	factor genérico de reducción de respuesta
Q	Factor específico de calidad sismorresistente
q	Índice de calidad sismorresistente
L	Longitud
A_p	Área perimetral

Ad	Área del diafragma
Es	Módulo de Elasticidad
I	Inercia
S1	Perfil del suelo 1
C1	Nivel de protección sísmica 1
W_n	Peso de la estructura para el nivel n
Sc	Sobrecarga
V_{BS}	Corte basal estático equivalente de servicio
V_B	Corte basal estático equivalente de cedencia
C_{SS}	Coeficiente sísmico para el estado límite de servicio.
C_S	Coeficiente sísmico para el estado límite de cedencia.
Sf (T)	Demanda sísmica correspondiente al sismo de servicio.
D (T)	Función de amplificación dinámica de respuesta máxima del oscilador elástico.
T	Período de vibración
Te	Período de vibración empírica
Sa (T)	Demanda sísmica de diseño para una estructura con período T.
Fjs	Cortante de servicio en el nivel j
Fj	Cortante de cedencia en el nivel j
δ	Peso específico del concreto
P_{pVIGA}	Peso propio de la viga
$P_{pcolumna}$	Peso propio de la columna
Wcm	Carga muerta distribuida
Wcv	Carga viva distribuida

M	Carga muerta
V	Carga viva
S	Carga sísmica
Es	Carga por empuje del suelo
Ef	Carga por empuje de fluidos
W	Carga por viento
A	Asentamiento
Qs	Capacidad soporte permisible del suelo
Qu	Capacidad límite del suelo
Fs	Factor de seguridad

GLOSARIO

Aceleración	Acción y efecto de acelerar. Magnitud vectorial que caracteriza la variación de velocidad de un móvil. Se define como la derivada del vector velocidad respecto al tiempo. Se mide en cm/seg^2 y m/seg^2 . La aceleración puede ser positiva o negativa, según aumente o disminuya.
Axial	Carga axial, es la carga que se proyecta a través del eje de un elemento.
Azotea	Cubierta llana de un edificio, dispuesta para poder andar por ella.
Basal	Cuerpo formado por la basa y el pedestal de una columna.
Configuración	Disposición de las partes que componen un cuerpo y le dan su peculiar figura.
Deformación	Acción y efecto de deformar o deformarse. Efecto causado por una fuerza al actuar sobre un cuerpo.

Diafragma	Separación que intercepta la comunicación entre dos partes de algo.
Dúctil	Son los materiales que admiten grandes deformaciones mecánicas en el frío sin llegar a romperse. Se aplica a los metales que mecánicamente se pueden extender en alambres o hilos.
Elasticidad	Calidad de elástico. Una de las propiedades generales de los cuerpos en virtud de la cual recobran su extensión y figura primitivas tan pronto como cesa la acción de la fuerza que las alteraba.
Estratigrafía	Parte de la geología, que estudia la disposición y caracteres de las rocas estratificadas.
Estructura	Distribución y orden de las partes de un edificio. Armadura que sirve de sustentación de un edificio.
Excentricidad	Que está fuera del centro o que tiene un centro diferente.
Geotecnia	Ciencia que estudia las estructuras tectónicas y las características técnicas de los materiales de la corteza terrestre desde el punto de vista de su uso y la utilización en la ingeniería.

Inercia	Propiedad de la materia por la cual tiende a permanecer en su estado de reposo o en movimiento.
Isométrico	Aplicación proyectiva entre dos espacios métricos que conserva la distancia; es decir, tal que para cualquier par de puntos del primer espacio, la distancia entre ellos es igual a la distancia entre sus transformados.
Rigidez	Relación entre la carga soportada y la deformación producida en un elemento o un conjunto estructural. También puede definirse como la carga necesaria para producir una deformación unitaria.
Simétrico	Pertenece a la simetría. De aquellos cuerpos o figuras que se corresponden por una simetría. Al haber distintos tipos de simetría, debe concretarse si se trata de figuras respecto de un punto, una recta o un plano.

RESUMEN

El análisis del siguiente trabajo está basado en las características de la edificación y su ubicación, consta de un área de 384 m², con cuatro niveles de 3.5 m de altura cada una, será utilizado específicamente para aulas, por esta razón la Norma AGIES lo clasifica como una obra importante. Esta ubicado en la zona 4.2, especificada en el mapa de macrozonificación sísmica de Guatemala. El edificio está compuesto por siete marcos en el eje x, y dos en el eje y, son marcos especiales de concreto reforzado, por lo que AGIES lo clasifica como un sistema de marcos E2.2.

Con lo anteriormente mencionado, la norma AGIES evalúa el comportamiento sísmico de la edificación a través del factor de calidad sismorresistente (Q), este factor se obtiene a través del los índices de calidad, que evalúan la redundancia estructural, donde se analiza el número de tramos (q_1), el número de ejes estructurales (q_2) y la presencia de muros o riostras (q_3). En la configuración de planta se analiza la regularidad y la excentricidad (q_4 y q_5), y la configuración vertical analiza la regularidad vertical (q_6) de la edificación.

El ejemplo los índices de calidad se encuentran dentro de los límites que requiere la norma. Luego se aplica el método de la carga estática equivalente para encontrar la fuerzas laterales que afectan la estructura y proceder al cálculo de los desplazamientos laterales para cada dirección.

OBJETIVOS

- **General**

Crear una guía que establezca un procedimiento para el análisis y diseño estructural, de edificios de concreto reforzado, formados por marcos. Se utiliza para el diseño las normas AGIES 2002.

- **Específico**

Integrar los conocimientos aprendidos en el área de estructuras durante el desarrollo de la carrera y utilizar las normas AGIES para diseñar edificios de concreto reforzado analizando el comportamiento de los marcos cuando están sujetos a cargas sísmicas. Se estudiará por separado los componentes que integran un sistema estructural, y se creará así un procedimiento para visualizar de mejor manera la forma de integrar cada uno de estos.

INTRODUCCIÓN

Un ingeniero civil es la persona, por excelencia, encargada de analizar, diseñar, planificar, dirigir y construir obras de beneficio para la comunidad. Utiliza su creatividad y su ingenio para aprovechar de la mejor manera los recursos que estén a su alcance, otorga de esta manera soluciones a determinados problemas que se puedan presentar. Para lograr esto necesita tener una serie de conocimientos técnicos para apoyarse, los cuales se obtienen a través de estudios e investigaciones.

A continuación se presenta una guía para el diseño estructural de un sistema de cargas aplicadas a una serie de elementos; los cuales deben soportar y distribuir las de la mejor manera para que la estructura soporte cargas, como las gravitacionales, sísmicas, el viento, empujes de suelos y de fluidos, etc, y así, éstas se transmitan a la cimentación y luego al suelo.

Las normas AGIES, analizan la estructura por el lugar en donde se encuentre ubicado, ya que son específicas para Guatemala y a la vez analizan las características geométricas de la estructuración, cuestión que otras normas no especifican en su análisis.

1. DIMENSIONES PRELIMINARES Y CARGAS

El siguiente modelo muestra la estructura de un edificio de cuatro niveles con una configuración regular, por razones de estudio se le asignará una ubicación ficticia al edificio. Estará ubicado en el municipio de Amatitlán, Guatemala. El edificio será utilizado específicamente para aulas, estará compuesto por un sistema estructural de marcos de concreto reforzado, es simétrico tanto en planta como en elevación; constará de siete marcos en el eje “X”, y dos marcos en el eje “Y”; cada nivel tendrá una altura de 3.5 m , por lo que la altura total del edificio será de 14 m, sin incluir la profundidad de la cimentación.

1.1 Modelo de la estructura

Figura 1. Isométrico de la estructura.

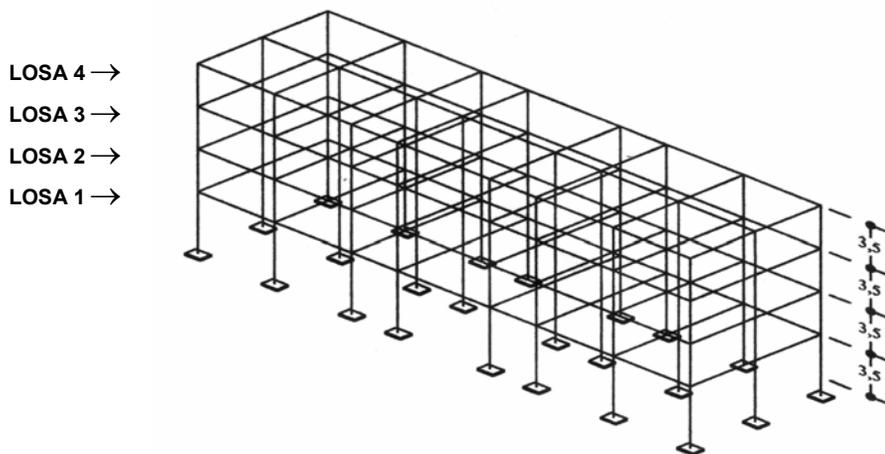
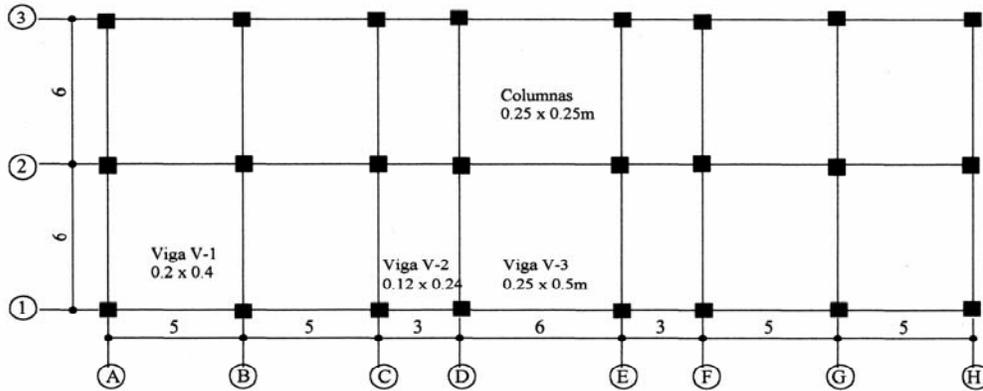


Figura 2. Vista en planta.



1.2 Dimensiones preliminares y cargas

1.2.1 Cargas de uso

Una determinada estructura deberá resistir distintas cargas, tales como cargas vivas, cargas muertas, sobrecarga, carga por sismo, cargas provocadas por el viento, empuje del suelo, por el agua, etc. Todas estas cargas se deben combinar para obtener una estructura resistente a ellas; para que una estructura resista se deben tomar en cuenta algunos aspectos como el sitio en donde se llevará a cabo la obra. En el capítulo 6 de AGIES 2002 NR-2, se especifica mejor lo del sitio de la obra. Se entiende por carga muerta todas las cargas de elementos permanentes de la construcción incluyendo el peso propio de la estructura, pisos, cielos, vidrios, etc.

Las cargas vivas son aquellas producidas por el uso y la ocupación de la edificación, en el Cuadro 3 se especifica los valores de cargas vivas según el uso del edificio, este cuadro fue tomado de las normas AGIES 2002 cap. 8 cuadro 8.1. La carga viva para el edificio será de 200kg/m².

Figura 3. Cargas vivas en edificaciones.

Tipo de ocupación o uso	Wv (Kg/m²)	Pv (Kg)
Vivienda	200	0
Oficina	250	800
Hospitales-encaminamientos y habitaciones	200	0
Hospitales-servicios médicos y laboratorio	350	800
Hoteles -alas de habitaciones	200	0
Hoteles -servicios y áreas públicas	500	800
Escaleras privadas	300	Ver 8.3.3 (d)
Escaleras públicas o de escape	500	Ver 8.3.3 (d)
Balcones, cornisas y marquesinas	300	0
Áreas de salida y/o de escape	500	0
Vestíbulos públicos	500	0
Plazas y áreas públicas	500	800
Salones de reunión		
Con asientos fijos	300	0
Sin asientos fijos	500	0
Escenarios y circulaciones	500	0
Instalaciones deportivas públicas		
Zonas de circulación	500	0
Zonas de asientos	400	0
Canchas deportivas	ver nota (a)	0
Aulas y escuelas	200	400
Bibliotecas		
Áreas de lectura	200	400
Depósito de libros	600	800
Almacenes		
Minoristas	350	800
Mayoristas	500	1200
Estacionamientos y garages		
Automóviles	250	Ver 8.3.3 (c)
Vehículos pesados	según vinculo	Ver 8.3.3 (c)
Rampas de uso colectivo	750	Ver 8.3.3 (c)
Corredores de circulación	500	Ver 8.3.3 (c)
Servicio y reparación	500	Ver 8.3.3 (c)
Bodegas		
Cargas livianas	600	800
Cargas pesadas	1200	1200
Fábricas		
Cargas livianas	400	800
Cargas pesadas	600	1200
Cubiertas pesadas (inciso 8.3.3(f))		
Azoteas de concreto con acceso	200	
Azoteas con acceso horizontal o inclinadas	100	
Azoteas inclinadas más de 20°	75 (b)	

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y sísmica. AGIES 2002, NR-2, Pág.28.

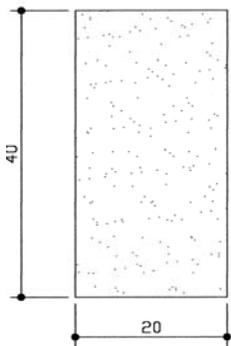
1.2.2 Aspectos que influyen en las dimensiones

1.2.2.1 Vigas

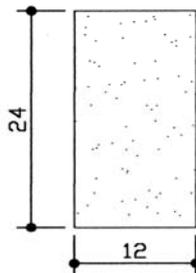
Una viga es un elemento estructural diseñado para resistir deformaciones por corte, deflexión y torsión. Para el predimensionamiento de una viga es necesario tomar en cuenta distintos aspectos, como las cargas que la viga soportará y la longitud que tendrá que cubrir; a través de ensayos se ha llegado a concluir que la longitud de la viga está relacionada con el peralte y la base. Por lo cual se puede obtener una sección aproximada de la viga para el diseño final. También es necesario determinar cómo la viga interactúa con los demás elementos del sistema estructural, el diseño adecuado de una viga es parte esencial en el comportamiento de todo el sistema.

El predimensionamiento de la sección de viga se puede hacer de la siguiente manera: por cada metro lineal de longitud de la viga el peralte aumenta 8cm y la base de la viga equivale a $\frac{1}{2}$ peralte (véase ACI 318-95). Las secciones preliminares de las vigas para el edificio se observan en las figuras 4, 5 y 6.

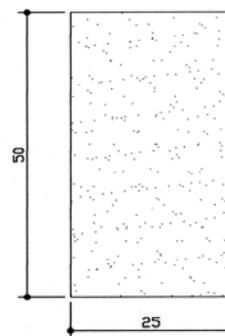
Figura 4. Viga V-1(L= 5m)



**Figura 5. Viga V-2
(L=3m)**



**Figura 6. Viga V-3
(L=6m)**



Estas secciones de viga son variables por los distintos claros que tiene cada una, por lo que se usará el tramo \overline{CD} Y \overline{EF} , que corresponde a la viga V-1, con un claro de 5m, ya que si se coloca una viga de sección muy pequeña en comparación con los otros tramos se formarían zonas débiles.

1.2.2.2 Columnas

La carga tributaria que una columna puede soportar está sujeta a las dimensiones de los claros. Cuando los claros son mayores significa que la columna tendrá una mayor carga, por lo tanto sus dimensiones serán mayores. Para obtener un diseño económico de columnas generalmente se recomienda emplear dimensiones grandes con menor cantidad de refuerzo; es más económico utilizar menor cantidad de barras de diámetro mayor, que utilizar gran cantidad de barras de un diámetro pequeño. No es conveniente variar las dimensiones de las columnas para adecuarlas a las cargas por nivel, se logra una mayor economía especialmente para edificios bajos y medianos, conservando las mismas dimensiones de columna en todo el edificio y variando el refuerzo en cada nivel¹. Esto es relativo, ya que un estudio más específico puede dar lo contrario, según las condiciones en las que el proyecto se realice. El dimensionamiento preliminar de las columnas con sección constante facilita los cálculos del costo aproximado de la estructura y para el cálculo de los marcos. Para seleccionar la primera dimensión de la columna se aconseja considerar un porcentaje de refuerzo para cumplir con los momentos finales de la columna, incluyendo los efectos de esbeltez. Un diseño económico se encuentra en el rango de 1% al 2% de refuerzo.

¹

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. **Diseño de edificios de concreto de poca altura**. (México: Editorial Limusa, S.A. 1990) p. 171

El dimensionamiento de las columnas comienza con las que soportan mayor carga, por lo tanto son las que se encuentran en el primer nivel. Se sabe que para economizar se puede utilizar la misma dimensión de la columna en todos los niveles y sólo debe de variar la cantidad de refuerzo por nivel, para iniciar el cálculo se puede seleccionar un porcentaje menor que el 1% para el mayor P_u , es decir el del primer nivel.

Cálculos

Columnas que soportan mayor carga (B,2) Y (G,2)

Datos de carga:

El espesor de la losa es de 14cm.

Azotea:

Carga viva = 200Kg/m² (Cuadro 3)

Carga muerta = 2,400Kg/m³*0.14m = 336 Kg/m²

Entrepiso:

Carga viva = 200 kg/m² (cuadro 3)

Carga muerta = 0.14m*2,400 kg/m³ =336kg/m² + Sobre carga

Carga muerta = 336kg/m² + 90 kg/m² = 426 kg/m²

Carga total factorizada

Azotea:

$$P_u = 1.4C_m + 1.7C_v$$

$$P_u = 1.4(336\text{kg/m}^2 *5\text{m} *6\text{m}) + 1.7 (200\text{kg/m}^2 *5 *6)$$

$$P_u = 24.31 \text{ ton.}$$

Entrepiso:

$$P_u = 1.4C_m + 1.7C_v$$

$$P_u = 1.4(426\text{kg/m}^2 *5\text{m} *6\text{m} *3) + 1.7 (200\text{kg/m}^2 *5 \text{m} *6\text{m} *3)$$

$$P_u = 84.28 \text{ ton.}$$

$$\Sigma P_u = 24.31\text{ton} + 84.28\text{ton} = 108.59 \text{ ton}$$

Datos para el diseño:

$$f'c = 281 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 4,220 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 0.7$$

$$A_s = 0.8 \%$$

$$P_u = \phi(f'cA_g + F_yA_s) = \phi(f'cA_g + F_y\rho A_g)$$

$$108590 \text{ kg} = 0.7(281 \text{ kg/cm}^2 \cdot A_g + 4220 \text{ kg/cm}^2 \cdot 0.008 A_g)$$

$$108590 = (196.7 + 33.76) A_g = 230.46 A_g$$

$$A_g = 471.19 \text{ cm}^2$$

$$\sqrt{A_g} = 21.71 \text{ cm.}$$

A_g es el área de la sección transversal de la columna supuesta cuadrada, por lo que uno de los lados tiene una longitud de 21.71cm la cual se aproxima a 25cm, entonces la sección de la columna es 25cm x 25cm, que sería su dimensión preliminar.

1.2.2.3 Zapatas

Para el diseño de zapatas reforzadas se debe de tomar en cuenta distintos factores; uno de ellos es el factor económico, otros factores serían el tipo de suelo, las condiciones del lugar y el tamaño del edificio. El precio actual en el mercado del concreto y del acero es un parámetro muy importante. Las presiones permisibles del suelo generalmente son calculadas por un experto en mecánica de suelos, algunas veces se pueden determinar por medio de reglamentos locales, si los hubiera para determinar la capacidad de carga, en ausencia de tal información se pueden realizar pruebas de carga y sondeos. Cuando la construcción sea demasiado grande siempre se pueden realizar pruebas, la tabla I puede ser una referencia conveniente, los valores que se presentan son promedios de varios reglamentos de construcción.

Tabla I. Capacidad de carga del terreno, en Ton/m²

Suelo acuoso	4.9
Arcilla suelta	9.8
Arcilla compacta	19.5
Arena mojada	19.5
Arena revuelta con arcilla	19.5
Arena seca fina	29.3
Arcilla dura	39.1
Arena seca gruesa	39.1
Grava	58.6
Grava y arena bien cementadas	78.1
Arcilla o pizarras duras	97.6
Roca media	195.3
Roca sólida	781.2

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Diseño de edificios de concreto de poca altura, tabla 7.1, pág. 243.

Para el dimensionamiento preliminar de las zapatas es necesario conocer la carga P_u total que va soportar la zapata. El valor soporte del suelo, que se utilizará es 29.3 ton/m² según la tabla anterior, las cargas se distribuyen como se muestra en la figura 7.

Cálculo:

Datos:

$$C_v = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$C_m = 426 \text{ kg/m}^2$$

$$C_m \text{ techo} = 336 \text{ kg/m}^2$$

$$V_s = 29.3 \text{ ton/m}^2$$

Zapata tipo 1

$$\text{Area} = 2.5 \text{ m} \times 3.0 \text{ m} = 7.5 \text{ m}^2$$

$$P_{cv} = 200 \text{ kg/m}^2 \times 7.5 \text{ m}^2 = 1.5 \text{ ton} \times 4 \text{ niveles (piso + techo)} = 4.5 \text{ Ton}$$

$$P_{cm} = 426 \text{ kg/m}^2 \times 7.5 \text{ m}^2 = 3.2 \times 3 \text{ niveles} = 9.6 \text{ Ton}$$

$$P_{cm \text{ techo}} = 336 \text{ kg/m}^2 \times 7.5 \text{ m}^2 = 2.52 \text{ Ton.}$$

$$P \text{ propio columna} = (0.4 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}) \times 3.5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 4 \text{ col}$$

$$P_p = 5.38 \text{ Ton.}$$

$$\sum P_u = 4.5 \text{ ton.} + 9.6 \text{ ton} + 2.5 \text{ ton} + 5.4 \text{ ton} = 22 \text{ ton.}$$

Dimensiones:

Sección:

$$\frac{Pu}{Vs} = \frac{22Ton}{29.3Ton/m^2} = 0.75m^2 \quad \rightarrow \quad \sqrt{0.75m^2} = 0.9$$

Lo anterior da el área de la sección de la zapata, por lo tanto para conocer la longitud de los lados de la zapata se le debe extraer al resultado una raíz cuadrada.

Peralte:

$$h = d + 10$$

$$h = 8.32x\sqrt{\frac{PuC^2}{Af}} + 10 \geq 15cm \quad (\text{reglamento ACI 318-95})$$

donde:

Pu = Carga de columna factorizada.

Af = Area de la base de la zapata

C = distancia mayor desde el rostro de la columna hasta el borde de la zapata cm

h = peralte total de la zapata

$$h = 8.32\sqrt{\frac{22ton \times 0.3^2}{0.75}} + 10 = 23.52cm$$

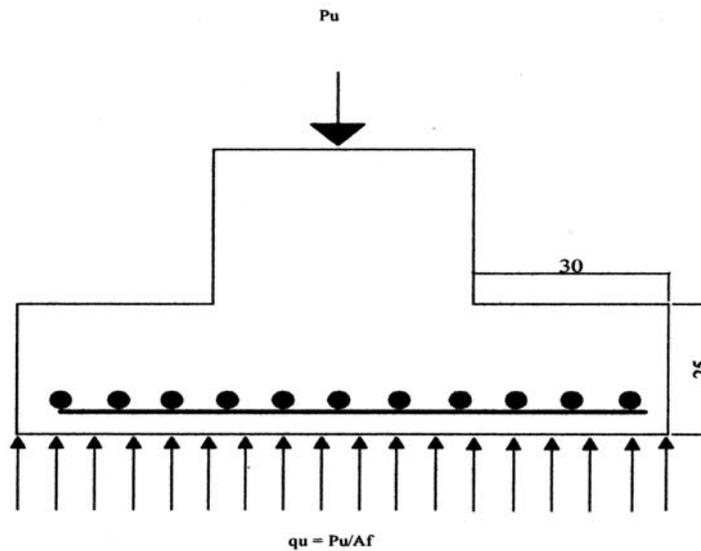
Z-1

Sección = 1.0 x1.0m

d(peralte) = 15cm

r (recubrimiento) = 10cm

Figura 7. Distribución de cargas sobre una zapata



En base a los cálculos anteriores se repite el mismo procedimiento para las demás zapatas, los resultados son:

Z-2

Sección = 1.2 x 1.2m
 d(peralte) = 20cm
 r (recubrimiento) = 10cm

Z-6

Sección = 1.12 x 1.12m
 d(peralte) = 18cm
 r (recubrimiento) = 10cm

Z-3

Sección = 1.6 x 1.6m
 d(peralte) = 28cm
 r (recubrimiento) = 10cm

Z-7

Sección = 1.6 x 1.6m
 d(peralte) = 27cm
 r (recubrimiento) = 10cm

Z-4

Sección = 1.1 x 1.1m
 d(peralte) = 17cm
 r (recubrimiento) = 10cm

Z-5

Sección = 1.5 x 1.5m
 d(peralte) = 25cm
 r (recubrimiento) = 10cm

2. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN

El diseño de un sistema estructural deberá cumplir con distintos requisitos. Debe tener resistencia y rigidez verticales para soportar las cargas gravitacionales, las cuales se especifican en las normas AGIES 2002 dentro de los límites de deformación. El sistema estructural debe de ser capaz de proporcionar resistencia y rigidez laterales en todas direcciones para resistir las cargas horizontales, también AGIES 2002 especifica claramente los límites en los cuales deben de estar las derivas.

Para que se logre un diseño óptimo de un sistema estructural se debe considerar distintos aspectos al momento de diseñar, como el análisis de las distintas cargas que pueden afectar al sistema; que pueden ser cargas gravitacionales, cargas causadas por el uso que se le dará a la edificación, viento, sismos, empuje de fluidos o suelo, etc.

Cargas gravitacionales se refiere al propio peso de la estructura y la carga viva; para calcular el peso de la estructura primero debe realizarse un dimensionamiento preliminar de los elementos que componen el sistema estructural.

Para estimar la carga sísmica de esta edificación, se hará referencia a las normas AGIES que son las recomendadas para la República de Guatemala, ya que los parámetros que estas normas requieren son específicos para este país, lo que dará resultados más precisos, y errores mínimos al momento de diseñar.

AGIES tiene una metodología de diseño para calcular las solicitaciones sísmicas y la distribución de carga para cada nivel. Se calcularán por el método de carga equivalente, por análisis modal o por análisis modal paso a paso. Para poder aplicar cada uno de los métodos mencionados es necesario cumplir con los requisitos especificados en la norma, para este ejemplo se aplica el método de carga estática equivalente porque cumple con los requisitos especificados en el numeral 1.4.2 de la norma NR-3, que están descritos en el inciso 2.1.5 de este texto. Con base a esta metodología de diseño especificada en el capítulo 1 numeral 1.1.3 NR-3 de AGIES, se guiará al usuario.

2.1 Metodología de diseño

2.1.1 Solicitaciones

Selección de las cargas vivas y la integración a las cargas muertas conforme al capítulo 8 de la norma NR-2. Determinar el nivel de protección sísmica que la edificación requiera según el capítulo 3 de la norma NR-2.

Las cargas vivas ya fueron calculadas se extrajeron de la figura 3, de acuerdo al uso que se le dará a la edificación; este será para aulas y tendrá una azotea de concreto accesible. Entonces la carga viva para piso será de 200kg/m^2 y para el techo será de 200kg/m^2 . Para el cálculo de las cargas muertas es necesario conocer el peso específico del concreto, que es $2,400\text{kg/m}^3$, conforme a este dato se sabe que la carga muerta para la azotea es de 336kg/m^2 , la carga de la losa de entrepiso es de 336kg/m^2 más la sobrecarga, por acabados, por lo cual entonces la carga muerta total de la losa es de 426kg/m^2 . (ver inciso 1.2.2.2)

La República de Guatemala está dividida por macrozonas que indican el índice de sismicidad según la zona en donde se encuentre ubicada la obra, este índice de sismicidad I_0 especificado en AGIES capítulo 3 inciso 3.2.1 varía de $I_0=2$ a $I_0=4$.

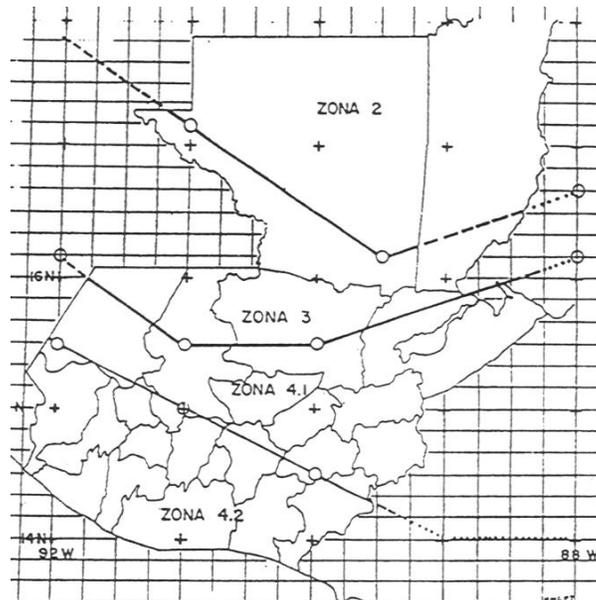
El I_0 es una medida relativa de la severidad esperada de un sismo en una determinada localidad, depende de la zona en la que se encuentre, y la zona se puede identificar por medio del mapa de macrozonificación, (ver figura 8 y 9). La aplicación del índice de sismicidad $I_0=5$ es para condiciones especiales o sismos severos.

Figura 8. Aceleraciones máximas efectivas para el sismo básico y para el sismo frecuente.

ZONA	I_0	A_0	A_f	Observaciones
2	2	0.15g	0.015g	Cuando sea necesario interpolar sobre líneas norte-sur.
3	3	0.15g a 0.40g	0.015 a 0.15g	
4.1	4	0.4g	0.15g a 0.20g	
4.2	4	0.4g	0.20g	

Fuente: AGIES 2002 NR-2, cuadro 3.2, pág. 12.

Figura 9. Mapa de macrozonificación sísmica de Guatemala.



Fuente: AGIES 2002 NR-2, figura 3.1, Pág. 12.

2.1.1.1 Nivel de protección sísmica

(Capítulo 3 NR-2 inciso 3.2.2)

El nivel de protección sísmica es una medida del grado de protección suministrado al público y a los usuarios, existen 5 niveles de protección: A, B, C, D, y E, la más alta protección es el nivel E.

El nivel de protección sísmica está en función del índice de sismicidad, y por la clasificación de obra en la que se encuentre la edificación.(ver figura 10).

2.1.1.1.1 Obras críticas

Son las obras indispensables para el desenvolvimiento socioeconómico de grandes sectores de población. Si una de estas obras fallara pondría en riesgo a un gran número de personas, son obras críticas las siguientes:

- Centrales energéticas
- Presas de gran tamaño
- Grandes puentes

2.1.1.1.2 Obras esenciales

Son las que deben permanecer operantes antes y después de un desastre, ejemplo:

- Hospitales con instalaciones de emergencia, cuidado intensivo y quirófano.
- Instalaciones de defensa civil.
- Bomberos
- Plantas de energía

2.1.1.1.3 Obras importantes

Son aquellas que albergan o pueden afectar a un gran número de personas; prestan un servicio importante pero no esencial, pueden albergar valores culturales o equipo de alto costo.

- Obras y edificaciones del estado que no son esenciales.
- Edificios educativos y guarderías públicos y privados.
- Hospitales y sanatorios, centros y puestos de salud públicos y privados, que no clasifiquen como esenciales.
- Prisiones, museos y similares.

2.1.1.1.4 Obras ordinarias

- Vivienda
- Comercio
- Edificios industriales
- Edificios agrícolas

Figura 10. Nivel de protección sísmica.

NDICE DE SISMICIDAD I_0	CLACIFICACIÓN DE OBRA				
	CRITICA	ESENCIAL	IMPORTANTE	ORDINADIA	UTILITARIA
5	E	E	D	C2	C1
4	E	D	C2	C1	B
3	D	C2	C1	B	B
2	C2	C1	B	B	A

Fuente: AGIES 2002 NR-2, 3.1 pág. 8.

Con lo anteriormente descrito se puede clasificar la estructura, primero por su tipo, el edificio será utilizado como centro educativo, ubicado en el municipio de Amatitlán del departamento de Guatemala; entonces respecto a estos datos se sabe que la edificación se clasifica como una obra importante, y por la ubicación en la que se encuentra se sabe por el mapa de macrozonificación sísmica (figura 9) que está en la zona 4.2, y por medio de la figura 8 se identifica que su índice de sismicidad es de $I_0=4$. Según la figura 10 el nivel de protección sísmica es C2.

2.1.2 Sitio

A continuación deberán tomarse en cuenta las condiciones del terreno en donde será construido el edificio. AGIES especifica las condiciones de sitio en el capítulo 6 de la norma NR-2, lo cual se analizará según las condiciones de este proyecto.

2.1.2.1 Condición del terreno

Deberá identificarse en donde será construido el edificio, no se debe realizar proyectos si existe una alta probabilidad de derrumbes, deslaves, licuación del suelo, o problemas por agentes meteorológicos, fracturas geológicas, sismos, etc. Las municipalidades son las encargadas de zonificar las áreas de mayor amenaza, a esto AGIES llama microzonificación, las amenazas se llaman “nulas”, “baja”, “mediana”, y “alta”. Si la municipalidad no tuviera una microzonificación del lugar entonces el proyectista deberá sujetarse al inciso 6.3 de la norma NR-2 AGIES 2002. El proyectista deberá establecer zonas de precaución si no existiera una microzonificación, se tomarán precauciones especiales conforme al nivel de protección sísmica y advertirá por escrito de esto a los propietarios del lugar.

Zonas de precaución con índice de sismicidad sísmica $I_0=5$

NR-2 2002 AGIES Capítulo 6

Estas zonas son:

- Flancos de barrancos
- Terrenos inclinados
- Franjas de terreno falladas o fisuradas
- Arenales y suelos granulares saturados
- Litorales, riveras y playas

Si en determinado lugar no existe una microzonificación, la persona encargada del diseño deberá documentar todos los estudios de suelo y dictámenes geotécnicos que realice, para que en el futuro sea utilizada esta información en las municipalidades. Estos dictámenes los especifica la norma NR-2, según la clasificación de obra.

- **Para obras utilitarias**, no se realizará ningún tipo de estudio, a menos que el propietario lo exigiera.
- **Para obras ordinarias**, será obligatorio un estudio de tipo I, si el proyecto estuviera en una microzona con un $I_0=5$, entonces se requerirá un estudio tipo IV.
- **Para obras importantes**, será obligatorio realizar un estudio tipo II, pero el ingeniero estructural puede solicitar un estudio tipo III, si el proyecto se encontrara en una microzona con índice de sismicidad. $I_0=5$, entonces el proyectista deberá recomendar por escrito si se realiza o no un estudio tipo IV.
- **Para obras esenciales**, se deben realizar obligatoriamente los estudios de tipo I, II, III y IV, se pueden reducir los estudios con la aprobación por escrito del ingeniero geotecnista, el ingeniero estructural y el propietario.
- **Para obras críticas**, será obligatorio realizar los estudios de tipo I, II, III, IV y V, también se incluirá, ensayos de laboratorio y pruebas de campo.

Lo anteriormente mencionado clasifica qué tipo de dictámenes geotécnicos es necesario realizar para cada clasificación de obra; para este proyecto como está clasificado como una obra importante es necesario realizar un estudio de tipo II, en dado caso que el ingeniero estructural lo solicitara se debe de realizar un estudio tipo III, esta clasificación de dictámenes geotécnicos se especifican en la norma NR-2 inciso 6.4.2 de AGIES 2002, la cual dice:

2.1.2.2 Clasificación de dictámenes geotécnicos

Tipo I: es necesario un informe escrito del ingeniero o ingeniero civil geotecnista si fuera necesario, a juicio del primero.

Tipo II: verificación geológica del área general e investigación del subsuelo a cargo del ingeniero civil geotecnista, para determinar la capacidad portante del mismo; el tipo de material por encontrar con la presentación de perfiles estratigráficos; profundidad recomendable a cimentar; tipos de cimentación recomendable; empujes laterales y recomendaciones de estabilidad de cortes verticales mayores a de 2.0m durante la construcción.

Tipo III: investigación del subsuelo a cargo del ingeniero civil geotecnista, características para el diseño de estructuras especiales que requieran la evaluación de interacción suelo-estructura o para cimentaciones especiales que deban estudiarse en conjunto con el comportamiento elástico del subsuelo; tales como placas de cimentación, vigas en soporte elástico, pilotes o similar.

Tipo IV: investigación del subsuelo a cargo del ingeniero civil geotecnista, con el soporte eventual del ingeniero geólogo o

geofísico. En problemas tales como estudios de estabilidad de taludes, presencia de fallas geológicas, densificación de arenas por efectos sísmicos, problemas de posible licuación del suelo en arenas o arenas limosas, cimentación en arcillas, especialmente cuando se encuentran en riveras lacustre o marítimas, otros casos de cimentación en suelos problemáticos y en formaciones geológicas problemáticas. Esta investigación hará énfasis particular en las características dinámicas del suelo de cimentación.

Tipo VI: investigación del subsuelo a cargo del ingeniero civil geotecnista que requiera la participación activa del ingeniero geólogo y/o geofísico, como en el caso IV pero para obras de mayor complejidad y dimensiones.

2.1.3 Método de análisis y modelo analítico

La norma NR-3 capítulo 1 establece la manera de realizar el análisis estructural y en el inciso 1.4 se plantea el modelo analítico. La estructura se diseñará de modo que exista una transferencia de fuerzas por medio de una o varias rutas definidas, estas fuerzas producidas por los sismos son transferidas a cualquier punto de la estructura hasta la cimentación. Un sistema estructural deberá diseñarse para que tenga la resistencia, rigidez y ductilidad y satisfaga los límites de cedencia.

Para que los límites de cedencia se satisfagan, las estructuras se diseñarán como:

- Una estructura dúctil
- Una estructura de ductilidad limitada ($2 \geq R_0 \geq 1$)
- Una estructura que responde elásticamente
- Una combinación de las anteriores

2.1.3.1 Parámetros de sismoresistencia

Factor de reducción de respuesta sísmica

Factor genérico de reducción de respuesta sísmica

Factor de calidad sismorresistente.

2.1.3.1.1 Factor de reducción de respuesta sísmica para el estado límite de cedencia. (R)

Éste se utiliza para reducir la respuesta elástica de un sistema de grado de libertad a una respuesta post-elástica, R depende del sistema estructural.

$$R = 1.2R_0Q$$

donde:

R_0 = factor genérico de reducción de respuesta.

Q = factor específico de calidad sismorresistente.

2.1.3.1.2 Factor genérico de reducción de respuesta sísmica, (R_0)

Este valor depende del tipo de sistema estructural utilizado, especificado en la figura 11 y de los materiales constructivos a utilizar especificados en la normas (NR7, NR-8 y NR-9). Lo que especifica el inciso 1.5 NR-3 es el tipo de sistema estructural, cada estructura o cada parte significativa de la misma se clasificará, en cada dirección de análisis independientemente, de E1 a E5, si no es posible clasificarla en ninguna de estas categorías se clasificará como E6.

Sistema de cajón E1

Es un sistema estructural integrado con muros estructurales que soportan toda o casi toda la carga vertical, y las fuerzas sísmicas son soportadas por los propios muros estructurales.

Sistema de marcos E2

Sistema estructural integrado con marcos espaciales resistentes a flexión que soportan la carga vertical y además todas las sollicitaciones sísmicas. Todos los marcos deben estar unidos por diafragmas horizontales.

Sistemas de marcos ordinarios E2-1

Es un sistema E2 en el que los marcos deben cumplir únicamente requisitos sismorresistentes fundamentales.

Sistema de marcos espaciales E2-2

Es un sistema E2 en el que los marcos deben cumplir un número de requisitos adicionales a los especificados para marcos ordinarios con el objeto de incrementar su confiabilidad y su capacidad post-elástica (se define en las normas NR-7, NR-8 Y NR-9).

Sistema combinado de muros y marcos E3

Constituido por un marco espacial esencialmente completo que soporta la carga vertical. La totalidad de las solicitaciones sísmicas deben ser resistidas con muros estructurales o marcos arriostrados.

Sistema dual de muros y marcos

Constituido con un marco espacial esencialmente completo que soporta la carga vertical. Las solicitaciones sísmicas resisten en muros estructurales incorporados en algunos de los marcos o al incluir marcos arriostrados. Los marcos deben estar unidos por diafragmas horizontales y deben resistir las solicitaciones sísmicas en proporción a su rigidez relativa, tomando en cuenta la interacción entre muros y marcos. Los marcos espaciales deben resistir por sí mismos el 25% de las solicitaciones sísmicas especificadas cuando en el modelo estructural se anula la rigidez lateral de los muros (pero no rigidez axial) y la rigidez de las riostras.

Péndulo invertido

Es un sistema estructural en el cual los elementos que soportan la carga vertical resisten las fuerzas sísmicas actuando esencialmente como voladizos verticales aislados, sin acción del marco.

Combinación de sistemas estructurales

Cuando una edificación incorpore varios sistemas estructurales se aplicará lo siguiente:

- En cualquier piso y en cualquier dirección de análisis, el valor de R no debe exceder al menor de los valores obtenidos en el cuadro 1.1 de la norma NR-3, para los diferentes sistemas estructurales existentes en esa dirección, por encima del piso considerado.
- Los componentes comunes a varios sistemas estructurales se diseñarán y detallarán conforme a los requisitos correspondientes al mayor valor de R.

Sistemas estructurales para el nivel de protección A y B

Para estructuras con niveles de protección A o B se permite cualquier tipo de sistema estructural incluido en estas normas, sin restricciones.

Sistemas estructurales para el nivel de protección C

Para este tipo de sistemas existen distintos criterios que se especifican en el inciso 1.5.6 de la norma NR-3.

La estructura que se está diseñando es un sistema estructural formado por marcos de concreto reforzado, se sabe que es un sistema estructural E3, y se encuentra dentro del nivel de protección C2.

Con esta información observar la figura 11, extraída de la norma NR-3 cuadro 1.1, que nos da el valor del factor genérico de reducción de respuesta sísmica $R_o = 5.0$

2.1.3.1.3 Factor de calidad sismorresistente

Este factor evalúa el comportamiento de la edificación como resultado de las variaciones hechas por el diseñador, a una determinada configuración. Su valor numérico se integra para cada dirección de análisis mediante la ecuación siguiente:

$$Q = 1.0 + 0.01\sum q_i$$

Si Q baja a menos de 0.80 en cualquier dirección de análisis deberá modificarse al proyecto de forma que el valor de Q alcance a ser por lo menos 0.80. Los índices de calidad q_i se obtienen conforme al inciso 1.6 y con la guía del cuadro 1.2 de la norma NR-3, (ver figura 15). Para calcular los valores de los índices de calidad se hace referencia a lo indicado por la norma.

Cálculo del índice de calidad

2.1.3.2 Configuración de la edificación

Se especifican los valores de los índices de calidad q_{ien} en base a la redundancia estructural; ésta se verifica separadamente para cada dirección de análisis atendiendo al número de tramos, número de ejes estructurales y número de muros o riostras en cada dirección. Estos cálculos no se deben realizar para ciertos sistemas estructurales especificados en inciso 1.6 de la norma NR-3.

2.1.3.2.1 Número de tramos (q_1)

Tabla II. Número de tramos q_1

Número de tramos	Requisito	Índice q_1
4 o más	Tramo menor > 0.75 tramo mayor	+2.5
	Tramo menor < 0.45 tramo mayor	+1.5
3 tramos	Tramo menor > 0.75 tramo mayor	+1.5
	Tramo menor < 0.45 tramo mayor	0.00
2 tramos	Tramo menor > 0.70 tramo mayor	0.0
	Tramo menor < 0.45 tramo mayor	-2.5
1 tramo		-3.0
Ningún tramo	Es estructura tipo E5	-

Fuente: AGIES 2002 NR-3, Numeral 1.6.1.1, pág. 14.

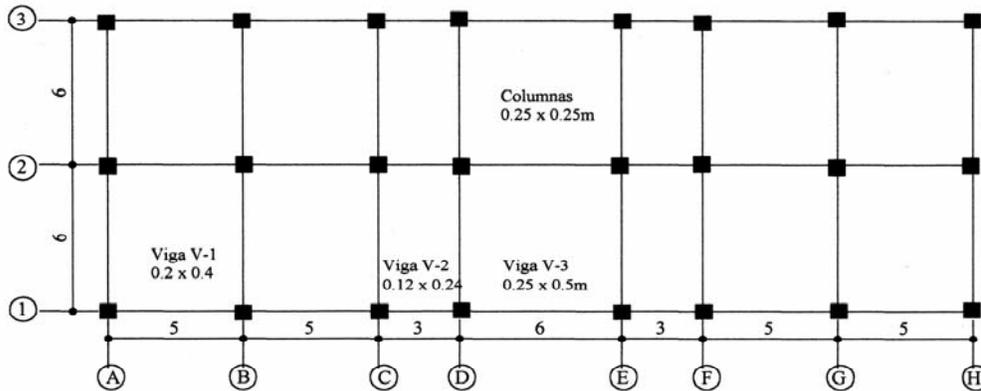
Figura 11. Factor genérico de reducción de respuesta sísmica (R_0).

Sistema estructural	Sistema vertical Sismoresistente	Factor R_0	
E1. Sistema de cajón	Con muros estructurales de mampostería reforzada	2.5	
	de concreto reforzado	3.5	
	de mampostería sin refuerzo	1.0	
	de mampostería reforzada interiormente.	1.7	
	de madera	4.0	
	de marcos arriostrados	3.0	
E2. Sistema de marcos	E2.1 marcos ordinarios	de acero estructural	3.5
		de concreto reforzado	1.7
	E2.2 marcos espaciales	de acero estructural	5.5
		de concreto reforzado	5.0
E3. Sistema combinado de muros y marcos	con muros de mampostería reforzada.	3.5	
	con muros de concreto reforzado.	4.5	
	con marcos arriostrados en vez de muros.		
	arriostres ordinarios	3.5	
	arriostres excéntricos	4.0	
E4. Sistema dual de muros y marcos	con muros de mampostería reforzada.	3.5	
	con muros de concreto reforzado.	5.5	
	con marcos arriostrados en vez de muros.		
	arriostres ordinarios	3.5	
	arriostres excéntricos		
E5. Péndulo invertido	de concreto reforzado		
	Confinado	2.0	
	Ordinario	no usar	
	de estructura de acero	1.0	
	Con detalles ordinarios	2.0	
	Con detalles sísmicos	2.5	
de estructura de madera			
E6. Otro tipo	clasificar como E5 o bien consultar exclusiones en los capítulos 8, 9 y 10 de la norma NR-3.		

Fuente: AGIES 2002 NR-3, Cuadro 1.1, pág. 6.

Cálculo de q_1

Figura 12. Planta, para el cálculo de q_1



Al observar la planta de la edificación se puede verificar lo siguiente:

Eje x

Eje	Número de tramos	Tramo mínimo (m)	Tramo máximo (m)	Rel. T_{\min} / T_{\max}	q_{1x}
1	7	3	6	0.5	1.5
2	7	3	6	0.5	1.5
3	7	3	6	0.5	1.5

Para los ejes 1, 2 y 3 la relación $T_{\min}/T_{\max} = 0.5$, según la tabla III está entre 0.45 y 0.75 para 4 o más tramos, entonces hay que interpolar o utilizar $q_{x1} = 1.5$ para ser conservador.

Eje y

Eje	Número de tramos	Tramo mínimo	Tramo máximo	Rel. T_{\min} / T_{\max}	q_{1y}
A	2	6	6	1.0	0
B	2	6	6	1.0	0
C	2	6	6	1.0	0
D	2	6	6	1.0	0
E	2	6	6	1.0	0
F	2	6	6	1.0	0
G	2	6	6	1.0	0
H	2	6	6	1.0	0

Para el eje y la relación $T_{\min}/T_{\max} = 1.0 > 0.7$, con lo cual $q_{1y} = 0.0$

2.1.3.2.2 Número de ejes estructurales (q_2)

Tabla III- Número de tramos q_2

Número de ejes estructurales	Requisitos	Indice q_2
5 o más		+2.5
4 ejes	$S_{\min} > 0.70 S_{\max}$	+2.5
	$S_{\min} > 0.45 S_{\max}$	0.0
3 ejes	$S_{\min} > 0.70 S_{\max}$	0.0
	$S_{\min} > 0.45 S_{\max}$	-2.5
2 o menos		-3.0

Fuente: AGIES 2002 NR-3, Numeral 1.6.1.2, pág. 14.

En dirección x, la estructura tiene 3 ejes, por lo tanto, de AGIES numeral 1.6.1.2 de la norma NR-3 se tiene que si una estructura tiene 3 ejes estructurales en una dirección, el valor de q_2 es

$$q_{2x} = +0.00 \text{ (Tabla III, de este texto)}$$

Cálculos:

$$S_{\min} = 6.0\text{m} \quad S_{\max} = 6.0\text{m}$$

$$0.7 S_{\max} = 0.7(6.0) = 4.2 \rightarrow S_{\min} > 0.7 S_{\max} \rightarrow 6.0 > 4.2 \Rightarrow q_{2x} = +0.00$$

En la dirección Y, la estructura tiene 8 ejes estructurales. Por lo tanto en AGIES numeral 1.6.1.2 de la norma NR-3 (ver tabla II), se tiene que si la estructura tiene 5 ó más ejes estructurales en una dirección, el valor de q_{2y} es:

$$S_{\min} = 3 \text{ y } S_{\max} = 6, \text{ al verificar en la tabla II se tiene que } q_{2y} = 2.5.$$

2.1.3.2.3 Presencia de muros o riostras (q_3)

Los muros estructurales sirven para resistir los efectos causados por la carga lateral, tienden a utilizarse en los edificios altos como complemento de los marcos, si se va a utilizar muros estructurales es necesario tomar una decisión tentativa en la etapa del proyecto con respecto a la localización y al esquema en planta. Muchos edificios se construyen con área hueca central para el transporte vertical (elevadores y escaleras) e instalaciones de servicio o un cubo de escaleras en uno o dos lugares lejos del centro.

Si se colocan muros de cerramiento de concreto o mampostería, deben brindar dos funciones, una como muros estructurales para resistir la carga lateral y como contraviento para el marco.

El edificio que se calcula en este trabajo, primero no tiene una altura considerable para colocarle muros estructurales, y dejaría de ser económico; tiene 4 niveles por lo que no entra en el rango de edificios altos, ya que el rango más bajo es de 5 pisos. Entonces, no se debe utilizar muros estructurales². Por lo que no se calculará el índice de calidad, sólo se especificará lo que indican las normas AGIES al respecto. AGIES numeral 1.6.1.3 dice que si la estructura tiene en al menos el 33% de sus ejes estructurales uno o más muros estructurales cuya relación L/h_m sea mayor que 1.5 o bien dos o más muros estructurales cuya relación L/h_m sea mayor que 0.67 se le asignará un índice de calidad $q_3 = +2.5$, siempre y cuando los muros no generen una planta irregular. Si en cada eje con muro hay al menos dos que estén acoplados entre sí con dinteles dúctiles se puede añadir +1.0 al índice q_3 .

2

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. **Diseño de edificios de concreto de poca altura**. (México: Editorial Limusa, S.A. 1990) p. 216

Donde en la relación L/h_m , L es la longitud en planta del muro y h_m es la mayor de las alturas libres del entrepiso en la edificación.

Para este caso caso:

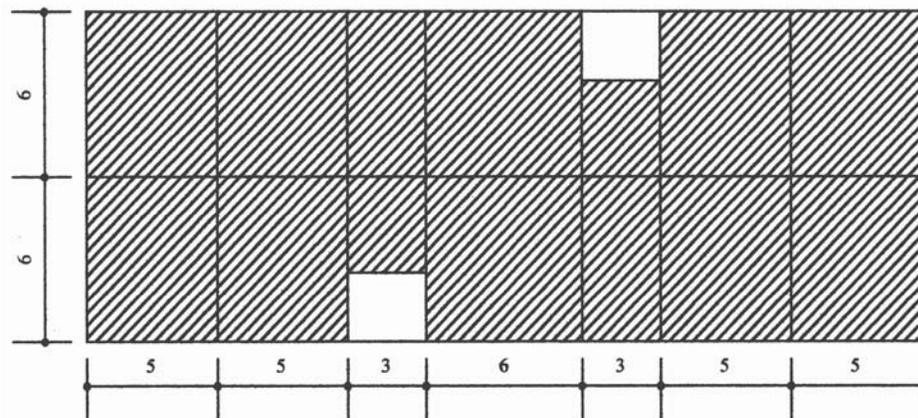
$$q_{3x} = q_{3y} = 0.00$$

2.1.3.2.4 Regularidad en planta (q_4)

Para el edificio analizado se puede observar que todas las plantas son iguales, por consiguiente solamente se analizarán las losas.

Se determina el área perimetral y el área del diafragma de la siguiente manera:

Figura.13. Planta Ashurada



El área real del diafragma es el área ashurada que se muestra en la figura 13, los agujeros que se muestran en la planta (espacios sin ashurar) son los agujeros interiores dentro del diafragma que servirán para la circulación vertical del edificio.

El área perimetral A_p y el área del diafragma se calcula de la siguiente manera:

Área perimetral	Área agujeros	Área real del diafragma	Relación A_p/A_d
$(6 + 6) \times (5 + 5 + 3 + 6 + 3 + 5 + 5) = 384 \text{ m}^2$	$(3 \times 2.5) \times 2 = 15 \text{ m}^2$	$A_d = A_p - A_a$ $A_d = 384\text{m}^2 - 15\text{m}^2 = 369\text{m}^2$	$384 / 369 = 1.04$

En la tabla anterior se observa que el área perimetral es mayor que el área del diafragma.

El numeral 1.6.2 de la norma NR-3 AGIES 2002, especifica la configuración de planta que dice:

- Los diafragmas de todos los pisos sobre el nivel del suelo no deberán contener variaciones abruptas en rigidez, ni esquinas salientes o entrantes que pudieran influenciar significativamente la distribución de las fuerzas laterales en la estructura. Si se cumple con lo especificado en este inciso se puede asignar un índice de calidad $q_4 = 2.5$ en cada dirección de análisis.

Se puede observar que el área del diafragma no afecta las fuerzas laterales en la estructura, porque la relación del área total es significativamente mayor, entonces cumple con el inciso (a) del numeral 1.6.2 de la norma NR-3.

$$q_4 = +2.5$$

2.1.3.2.5 Excentricidades en planta

Si la estructura cumple con el inciso (b) (i) o (b) (ii) del numeral 1.6.2 de la norma NR-3 podrá asignarse un índice de calidad $q_5 = +5.0$ para cada dirección de análisis. Si no se cumple con lo especificado en ninguno de los dos numerales entonces se asignará un índice de calidad $q_5 = -8.0$. No debe haber interpolación.

El inciso (b) (i) del numeral 1.6.2 de la norma NR-3 AGIES 2002 dice:

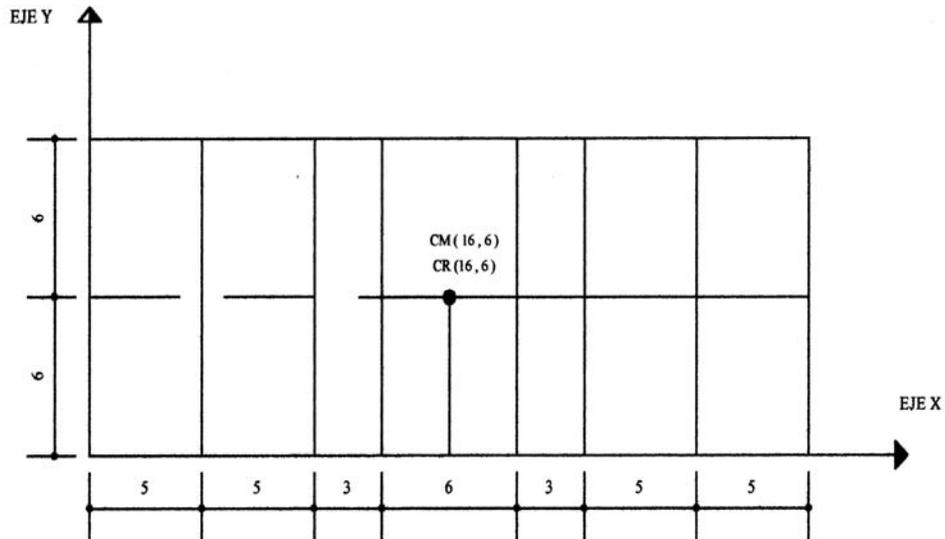
La distancia horizontal entre el centro de rigidez en cualquier nivel y el centro de masa de todos los niveles por arriba de dicho nivel no deberá exceder a 0.3 veces a la máxima dimensión en planta de la estructura para ese nivel particular, medida perpendicular en la dirección de la aplicación de las fuerzas laterales, ni cambiar de signo en cada uno de los niveles de la estructura.

El inciso (b) (ii) de la misma norma dice:

Bajo la acción de las fuerzas laterales estáticas equivalentes, la relación del desplazamiento horizontal medido en el extremo de los ejes transversales localizados en la dirección de la aplicación de las fuerzas laterales deberá estar comprendida dentro del intervalo de $3/7$ a $7/3$.

Se calcula la ubicación del centro de rigidez y el centro de masa de la estructural, con relación a lo descrito.

Figura 14. Ubicación del centro de masa y el centro de rigidez



Gráficamente en la planta de la figura 14 de la estructura se puede observar que por simetría el centro de masa, medido con respecto al eje de referencia X, está en el centro de la planta, ya que las columnas, muros, vigas y losas están distribuidas simétricamente.

Si la estructura no fuera simétrica se calcularía según el caso. Entonces el centro de masa está ubicado en el eje X a 16 metros y para el eje Y a 6 metros de distancia.

Coordenadas para el centro de rigidez para sismo en Y

Coordenadas:

Eje	Es (kg/cm ²) 12100√281	Iy Columna (cm ⁴)	Rigidez Col. ky = Es*Iy	Rigidez Eje. Ky=#col. *ky	Dist. Y (cm)	Ky * y
A	202832.9608	2.13 x 10 ⁵	7.5 x 10 ⁹	3*7.5x10 ⁹ = 2.25x10 ¹⁰	0	000
B	202832.9608	2.13 x 10 ⁵	7.5 x 10 ⁹	3*7.5x10 ⁹ = 2.25x10 ¹⁰	500	1.125x10 ¹³
C	202832.9608	2.13 x 10 ⁵	7.5 x 10 ⁹	3*7.5x10 ⁹ = 2.25x10 ¹⁰	1000	2.25x10 ¹³
D	202832.9608	2.13 x 10 ⁵	7.5 x 10 ⁹	3*7.5x10 ⁹ = 2.25x10 ¹⁰	1300	2.925x10 ¹³
E	202832.9608	2.13 x 10 ⁵	7.5 x 10 ⁹	3*7.5x10 ⁹ = 2.25x10 ¹⁰	1900	4.275x10 ¹³
F	202832.9608	2.13 x 10 ⁵	7.5 x 10 ⁹	3*7.5x10 ⁹ = 2.25x10 ¹⁰	2200	4.95x10 ¹³
G	202832.9608	2.13 x 10 ⁵	7.5 x 10 ⁹	3*7.5x10 ⁹ = 2.25x10 ¹⁰	2700	6.075x10 ¹³
H	202832.9608	2.13 x 10 ⁵	7.5 x 10 ⁹	3*7.5x10 ⁹ = 2.25x10 ¹⁰	3200	7.2x10 ¹³

$$\sum Ky = 1.8x10^{11} \quad \sum Ky*y = 2.88x10^{14}$$

$$I_{col} = 1/12 (40)^4 = 213333.33cm^4$$

$$\text{Centro de rigidez} = \sum Ky*y / \sum Ky$$

$$CRy = 2.88x10^{14} / 1.8x10^{11} = 1600cm \cong 16.0m$$

Este resultado indica que la coordenada en x del centro de rigidez coincide con el centro de masa, lo cual era de esperarse por la simetría del edificio y los materiales utilizados. Entonces el centro de masa y el centro de rigidez esta ubicados en el centro geométrico de la estructura (x = 16m, y = 6m).

Con lo anterior calculado se puede averiguar el índice de calidad q_6 por medio de los incisos del numeral 1.6.2, para el inciso (b) (i) que dice que la distancia entre el centro de masa y el centro de rigidez no debe de exceder 0.3 veces la máxima dimensión en planta, para lo cual se sabe que la máxima dimensión en planta es de 32 metros, y que $0.3 \times 32 = 9.6$, y el centro de masa en x es de 16 metros y el centro de rigidez en x es de 16 metros, entonces la distancia entre estos dos es de 0 metros, por lo tanto, no excede a 9.6 metros y con esto cumple el primer inciso.

Se le asigna un índice de calidad $q_5 = +5.0$.

2.1.3.2.6 Regularidad vertical

AGIES NR-3 numeral 1.6.3.1 dice que si una edificación cumple con la configuración vertical especificada en 1.6.3, se le podrá asignar un índice de calidad $q_6 = 0$, pero no cumpliera con una de las especificaciones entonces se le asignará un valor de $q_6 = -12.0$

El numeral 1.6.3 de la norma NR-3 dice lo siguiente:

- Los desplazamientos laterales o derivas de cada piso serán razonablemente proporcionales a la altura de ese piso sobre el nivel del suelo.
- La rigidez de cualquiera de los entrepisos de la estructura de ser mayor o igual a la rigidez del correspondiente entrepiso inmediato superior.
- Los tabiques, sillares y otros elementos secundarios o no estructurales no deberán contribuir a la rigidez lateral del entrepiso.

Con ello se concluye:

- La altura del piso

Nivel	Altura h por nivel	Desplazamiento LX	Desplazamiento LY	Relación Lx / Ly	Relación h/Lx
1	3.5	5+5+3+6+3+5+5=32	6+6= 12	2.67	0.11
2	7.0	32	12	2.67	0.22
3	10.5	32	12	2.67	0.33
4	14.0	32	12	2.67	0.44

La relación que existe entre la altura por nivel es proporcional al desplazamiento lateral, por lo tanto cumple con el primer inciso.

- Las rigidez del primer piso es exactamente igual a las de los pisos superiores;
- En el diseño de este edificio los tabiques, sillares y otros elementos estructurales no afectan la rigidez del marco y entrepisos.

Por lo que el sistema estructural cumple con los tres requisitos de configuración vertical, entonces el valor del índice de calidad es de $q_6 = 0$.

En el cuadro 1.2 de la norma NR-3 está descrita una guía de apoyo para calcular el índice de calidad Q para una edificación, (ver figura 15).

Figura 15. Guía para establecer el índice de calidad Q de una edificación

Edificación (nombre) Edificio de cuatro niveles para aulas					
Clasificación de la obra(inciso 1.3, norma NR-1) Obra importante					
Índice de sismicidad del sitio (inciso 3.2.1, norma NR-2) I₄					
Nivel de protección requerido (inciso 3.2.2, norma NR-2) C2 Asignado					
Perfil del suelo (inciso 3.3.3, norma NR-2) S₂					
Aceleración máxima efectiva del terreno: A_o = 0.40g (figura 3.1, NR-2)					
Descripción de la estructura (adjuntar planta esquemática)					
Número de pisos bajo el suelo 0 sobre el suelo 4.0					
Altura total bajo el suelo 1.5 sobre el suelo 14.0					
Longitud X _{max} bajo el suelo 32.0 sobre el suelo 32.0					
Longitud Y _{ax} bajo el suelo 12.0 sobre el suelo 12.0					
(Longitud X y Y son entre ejes extremos)					
Configuración de la edificación (índices q _i conforma a 1.6, norma NR-3)		Dirección de análisis		Valore q _i de referencia	
		X	Y	mínimo	máximo
Redundancia estructural					
Número de tramos		q_{x1} = +1.5	q_{y1} = 0.0	-3.0	+2.5
Número de ejes estructurales		q_{x2} = 0.0	q_{y2} = 2.5	-3.0	+2.5
Presencia de muros o riostras		q_{x3} = 0.0	q_{y3} = 0.0	0.0	+3.5
Configuración de planta					
Regularidad en planta		q₄ = +2.5		-4.0	+2.5
Excentricidad en planta		q_{x5} = +5.0	q_{y5} = +5.0	-8.0	+5.0
Configuración vertical					
Regularidad vertical		q_{x6} = 0.0	q_{y6} = 0.0	-12.0	0.0
Factor Q de calidad sismorresistente (Ec. 1.2, NR-3)		Q_x = 1.09	Q_y = 1.10	-30.0	+16.0
Factor genérico R _o de reducción de respuesta (Cuadro 1.1)		R_{ox} = 5.0	R_{oy} = 5.0		

Fuente: AGIES 2002 NR-3, Cuadro 1.2, pág. 17

Índice de calidad sismorresistente

$$Q = 1.0 + 0.01 \sum q_i \quad (\text{Ec. 1.2 NR-3})$$

$$Q_x = 1.0 + 0.01 \sum (1.5 + 0.0 + 0.0 + 2.5 + 5 + 0) = 1.09$$

$$Q_y = 1.0 + 0.01 \sum (0 + 2.5 + 0.0 + 2.5 + 5.0 + 0) = 1.10$$

Factor de reducción de respuesta

$$R = 1.2 R_o Q \quad (\text{Ec. 1.1 NR-3})$$

$$R_x = 1.2 * 5.0 * (1.09) = 6.54 \quad \text{y} \quad R_y = 1.2 * 5.0 * (1.10) = 6.6$$

2.1.4 Análisis gravitacional

Se calcularán las fuerzas internas en los elementos de la estructura correspondientes a las cargas gravitacionales, en esta sección se analizará la carga total de la edificación, es decir su carga muerta por nivel, desde la cimentación, las columnas, vigas y losas.

Peso total de la estructura

Peso específico del concreto $\delta_c = 2,400\text{kg} / \text{m}^3$

$$W_{\text{nivel}} = W_{\text{losa}} + W_{\text{viga}} + w_{\text{sc}} + W_{\text{columnas}}$$

$$W_{\text{losa}} = \text{Area de la losa} \times \text{espesor} \times \delta_c$$

$$W_{\text{viga}} = (\text{sección de la viga} \times \text{longitud} \times \delta_c) \times \# \text{ unidades}$$

$$w_{\text{sc}} = (\text{sección de la losa} \times \text{sobrecarga})$$

$$W_{\text{columnas}} = (\text{sección de la columna} \times \text{altura} \times \delta_c) \times \# \text{ unidades}$$

Cálculo:

Primer Nivel

$$W_{\text{losa}} = (16\text{m} \times 32\text{m} - 3\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2) \times (0.14\text{m}) \times (2,400\text{Kg}/\text{m}^3) = \mathbf{167\text{ton.}}$$

$$W_{\text{viga}}$$

$$V1 = 0.4\text{m} \times 0.2\text{m} \times 5\text{m} \times 2400\text{kg}/\text{m}^3 \times 12 = 11.52\text{ton}$$

$$V2 = 0.4\text{m} \times 0.2\text{m} \times 3\text{m} \times 2400\text{kg}/\text{m}^3 \times 6 = 3.46 \text{ ton}$$

$$V3 = 0.4\text{m} \times 0.2\text{m} \times 6\text{m} \times 2400\text{kg}/\text{m}^3 \times 19 = \underline{22.0\text{ton}}$$

$$\Sigma = \mathbf{36.98 \text{ ton}}$$

$$W_{\text{columnas}}$$

$$W_{\text{nivel } 1} = 0.25\text{m} \times 0.25\text{m} \times 1.75\text{m} \times 2400\text{kg}/\text{m}^3 \times 24 = 6.3 \text{ ton}$$

$$W_{\text{nivel } 2} = 0.25\text{m} \times 0.25\text{m} \times 3.5\text{m} \times 2400\text{kg}/\text{m}^3 \times 24 = \underline{12.6\text{ton}}$$

$$w_{\text{sc}} = 384\text{m}^2 \times 90\text{kg}/\text{m}^2 = 34.6\text{ton}$$

Pesos por nivel

$$W1 = 167\text{ton} + 36.98\text{ton} + 12.6\text{ton} + 34.6\text{ton} = 251.2\text{ton}$$

$$W2 = 1167\text{ton} + 36.98\text{ton} + 12.6\text{ton} + 34.6\text{ton} = 251.2\text{ton}$$

$$W3 = 251.2\text{ton}$$

$$W4 = 167\text{ton} + 36.98\text{ton} + 6.3\text{ton} + 34.6\text{ton} = 245\text{ton}$$

$$W_{\text{total}} = 245\text{ton} + 251.2\text{ton} + 251.2\text{ton} + 251.2\text{ton} = 998.6\text{ton}$$

$$W_{\text{total}} \cong 998.6\text{toneladas}$$

2.1.5 Análisis sísmico

Para realizar el análisis sísmico y su distribución a lo alto y ancho de la edificación se puede calcular por varios métodos especificados en las normas AGIES, que son :

- El método de fuerza estática equivalente (capítulo 2 NR-3)
- Análisis modal (capítulo 3 NR-3)
- Análisis dinámico paso a paso (capítulo 4 NR-3)

Existen limitaciones para el uso de uno y otro método, se puede utilizar el método de análisis de la carga equivalente si, solamente, uno de los tres criterios siguientes se satisface.

- La altura entre la base y el de cedencia nivel de la estructura no excede a 15m.

La altura del edificio es de 14 metros desde el suelo, por lo que no excede a 15m.

- El período fundamental de vibración calculado de acuerdo con el numeral 2.1.6.1 ó 2.1.6.2 no excede a 0.45 segundos.

$$T_{e-X} = \frac{0.09 * (5 + 3.5 + 3.5 + 3.5)}{\sqrt{(5 + 5 + 3 + 6 + 3 + 5 + 5)}}$$

Te en X = 0.25segundos

$$T_{e-Y} = \frac{0.09 * (5.0 + 3.5 + 3.5 + 3.5)}{\sqrt{(6 + 6)}}$$

Te en X = 0.40segundos

Por medio de los cálculos anteriores se puede observar que el período no excede a 45 segundos, por lo que cumple con este requisito.

- La estructura satisface los requisitos de regularidad horizontal y vertical de acuerdo con la sección 1.6 y tiene un período fundamental de vibración menor de 2.0 segundos.

La regularidad vertical analizada anteriormente para encontrar el valor del índice de calidad q_6 , en cual se puede ver que cumplía con los requisitos de regularidad vertical especificados en la norma NR-3 numeral 1.6.3. En conclusión el método más adecuado a utilizar para este edificio, es el de fuerza estática equivalente.

2.1.5.1 Método de la carga estática equivalente

2.1.5.1.1 Cortante basal estático equivalente (V_{Bs})

Expresión básica para el estado límite de servicio. El edificio se considerará fijo a la base y se verificará que los desplazamientos laterales permanezcan dentro del intervalo elástico en cada dirección de análisis, bajo la aplicación del cortante basal estático equivalente para el estado límite de servicio (V_{Bs}) dado por la siguiente ecuación.

$$V_{Bs} = C_{ss}W_s \dots\dots\dots(\text{Ec. 2.1 NR-3})$$

Donde:

C_{ss} : coeficiente sísmico para el estado límite de servicio; sirve para verificar que las deformaciones de los elementos de la estructura permanezcan dentro del intervalo elástico en cada dirección de análisis

W_s : es peso de la parte de la masa de la edificación capaz de generar fuerzas inerciales que contribuyan al cortante basal.

Se incluirá el 25% de la carga viva a la carga total si existieran almacenes y bodegas.

2.1.5.1.2 Coeficiente sísmico para el estado límite de servicio **C_{ss}**

$$C_{ss} = S_f(T) \dots\dots\dots(\text{Ec.2.3 NR-3})$$

Donde:

S_f(T) : es la demanda sísmica correspondiente al sismo de servicio para una estructura con un periodo T.

$$S_f(T) = A_f D(T)$$

Donde:

D(T) : función de amplificación dinámica de la respuesta máxima del oscilador elástico de un grado de libertad; es función del parámetro T, éste depende del tipo de perfil de suelo en el sitio de construcción. La función D(T) se especifica en la figura 3.2, 3.3 y 3.4 de la norma NR-2 y en los cuadros 3.3 y 3.4 de la misma norma.

Entonces se procede a calcular el cortante basal equivalente (V_{Bs})

$$V_{Bs} = C_{ss}W_s$$

W_s = carga muerta total de la edificación

$$W_1 = 251.2\text{ton}$$

$$W_2 = 251.2\text{ton}$$

$$W_3 = 251.2\text{ton}$$

$$W_4 = 245\text{ton}$$

$W_{total} \cong 998.6\text{toneladas}$

C_{ss} = coeficiente sísmico para el estado límite de cedencia

$$C_{ss} = S_f(T)$$

T = periodo de vibración

Es el periodo fundamental de vibración de la edificación, se le puede asignar el valor genérico T_e .

$$T_e = 0.09 h_n / (\sqrt{L}) \dots \dots \dots (\text{Ec. 2.5 NR-3})$$

Donde :

h_n : es la altura total del edificio, en metros, desde la base o nivel del terreno; la base es el primer nivel de la edificación restringido de vibrar libremente (usualmente nivel de plaza).

L : es la distancia entre los ejes estructurales externos en la dirección de análisis, medida en metros.

$$T_e \text{ en X} = \frac{0.09 * (5.0+3.5+3.5+3.5)}{\sqrt{(5+5+3+6+3+5+5+)}}$$

$T_e \text{ en X} = 0.25\text{segundos}$

$$T_e \text{ en Y} = \frac{0.09 * (5.0+3.5+3.5+3.5)}{\sqrt{((5+5+3+6+3+5+5))}} \rightarrow T_e \text{ en Y} = 0.40\text{segundos}$$

$S_f(T)$: es la demanda sísmica correspondiente al sismo de servicio, sismo frecuente para una estructura con periodo T .

$$S_f(T) = A_f D(T)$$

A_f = medida de la aceleración máxima del suelo producida por el sismo frecuente o de servicio. El Cuadro 8 muestra los valores de A_f .

$$A_f = 0.20g$$

Ubicado en la zona 4.2 con índice de sismicidad $I_0=4$.

$D(T)$: función de amplificación dinámica de la respuesta máxima del oscilador elástico de un grado de libertad. Depende del tipo de suelo Figura. 3.3 y cuadro 3.3 y 3.4 de la norma NR-2.(ver figuras 17 y 16).

Para un perfil de suelo S2

Figura 16. Funciones de amplificaciones dinámicas

Función de amplificación dinámica	
Cuando $T < T_A$	$D(T) = 1.0 + 1.5 T/T_A$
Cuando $0 < T < T_B$	$D(T) = 2.5$
Cuando $T \geq T_B$	$D(T) = 2.5 (T_B/T)^{0.67}$

Fuente: AGIES 2002, NR-2, Cuadro 3.3. Pág. 14.

Figura 17. Valores de los periodos T_A y T_B .

	Perfil del suelo		
	S1	S2	S3
T_A	0.12	0.12	0.12
T_B	0.40	0.60	1.0

Fuente: AGIES 2002, NR-2, Cuadro 3.4. Pág. 14.

Para un perfil de suelo S2 según la figura 17 dice que los valores de los periodos son :

$$T_A = 0.12 \quad T_B = 0.60$$

Función de amplificación dinámica: (ver figura 16)

Te en X = 0.25seg.

Te en Y = 0.40seg

Para el Eje X :

$D(T) = 2.5$ porque $\rightarrow 0 < T_{ex} = 0.25 < T_B = 0.60$

Para Eje Y:

$D(T) = 2.5$ porque $\rightarrow 0 < T_{ey} = 0.40 < T_B = 0.60$

Sismo frecuente

$$S_f(T) = A_f D(T)$$

$$S_f(T) = (0.20g) * (2.5) = 0.5$$

Coeficiente sísmico para el estado límite de servicio

$$C_{ss} = S_f(T)$$

$$C_{ss} = 0.5 \text{ (para ambas direcciones)}$$

Cortante basal estático equivalente (V_{Bs})

$$V_{Bs} = C_{ss} W_s$$

$$V_{Bs} = 0.5 * 998.6\text{ton}$$

$$V_{Bs} = 499.3\text{Ton}$$

El corte basal estático equivalente calculado a partir del coeficiente sísmico para el estado límite de servicio, solamente es necesario para revisar la acción de carga vertical, y no para el diseño de la estructura. Se utiliza el corte basal estático equivalente de cedencia, calculado en la siguiente sección.

**2.1.5.1.3 Coeficiente sísmico para el estado límite de cedencia
(C_S)**

$$C_S = \frac{S_a(T)}{R} \dots\dots\dots(\text{Ec. 2.3 NR-3})$$

Donde:

R: factor de reducción, se utiliza para reducir la respuesta elástica de un sistema de un grado de libertad

S_a(T) : demanda sísmica de diseño para una estructura con periodo T.

El valor de R ya calculados

$$R = 1.2 R_o Q \quad (\text{Ec. 1.1 NR-3})$$

$$R_x = 6.54$$

$$R_y = 6.60$$

$$S_a(T) = A_o D(T)$$

$$S_a(T) = 0.40g * 2.5$$

$$S_a(T) = 1.0$$

Coeficiente sísmico para el estado límite de cedencia

$$C_S = \frac{S_a(T)}{R}$$

Eje X

$$C_S = (1.0) / 6.54 = 0.1529$$

Eje Y

$$C_S = (1.0) / 6.6 = 0.1515$$

2.1.5.1.4 Cortante basal estático equivalente de cedencia (V_B)

$$V_B = C_S W_S$$

$$V_{BX} = 0.1529 * 998.6 \text{ton} = 152.7 \text{ton}$$

$$V_{BY} = 0.1515 * 998.6 \text{ton} = 151.28 \text{ton}.$$

2.1.5.1.5 Distribución vertical de las fuerzas sísmicas

El cortante basal de servicio V_{BS} y el cortante basal de cedencia V_B se distribuyen por medio de la siguiente ecuación:

$$F_{JS} = C_{VJ} V_{BS} \dots\dots\dots (\text{Ec. 2.7 y 2.8 NR-3})$$

$$F_J = C_{VJ} V_B$$

$$C_{VJ} = \frac{W_J h_J^k}{\sum (W_i h_i^k)}$$

F_{JS} : cortante de servicio en el nivel J

F_J : cortante de cedencia en el nivel J

K : $\rightarrow 1$ para $T \leq 0.55$

a) $0.75 + 0.5T$ para $T > 0.55$

W_i : peso asignado al nivel i

W_J : peso asignado al nivel J

h_i : es la altura en metros del nivel i sobre la base.

h_J : es la altura en metros del nivel "J" sobre la base de la edificación; la base es el primer nivel de la edificación restringido de vibrar libremente.

Cálculos:

$$C_{VJ} = \frac{W_j h_j^k}{\sum (W_i h_i^k)}$$

K = 0.55 porque Tex= 0.25 y Tey=0.40

Nivel	Peso (ton)	Altura h (metros)	h ^K (metros)	Wh ^K
1	251.20	3.5	3.5	879.2
2	251.20	7.0	7.0	1758.4
3	251.20	10.5	10.5	2637.60
4	245.00	14.0	14.0	3430.00

$$\sum Wh^k = 8,705.20$$

$$C_{V1} = (251.20\text{ton} \cdot 3.5\text{m}) / (8705.20\text{ton} \cdot \text{m}) = 0.101$$

$$C_{V2} = (251.20\text{ton} \cdot 7.0\text{m}) / (8705.20\text{ton} \cdot \text{m}) = 0.202$$

$$C_{V3} = (251.20\text{ton} \cdot 10.5\text{m}) / (8705.20\text{ton} \cdot \text{m}) = 0.303$$

$$C_{V4} = (245.00\text{ton} \cdot 14.0\text{m}) / (8705.20\text{ton} \cdot \text{m}) = 0.394$$

Distribución vertical

Para el estado límite de servicio

Estos resultados aplican para ambas direcciones.

$$F_{JS} = C_{VJ} V_{BS}$$

$$F_{S1} = (0.101)(499.3\text{Ton}) = 50.43\text{ton}$$

$$F_{S2} = (0.202)(499.3\text{Ton}) = 100.86\text{ton}$$

$$F_{S3} = (0.303)(499.3\text{Ton}) = 151.29\text{ton}$$

$$F_{S4} = (0.394)(499.3\text{Ton}) = 196.72\text{ton}$$

Para el estado límite de cedencia

$$V_{BX} = 0.1529 * 998.6 \text{ton} = 152.7 \text{ton}$$

$$V_{BY} = 0.1515 * 998.6 \text{ton} = 151.28 \text{ton}.$$

$$F_J = C_{VJ} V_B$$

Eje X

$$F_{J1} = (0.101)(152.7 \text{ton}) = 15.42 \text{ton}$$

$$F_{J2} = (0.202)(152.7 \text{ton}) = 30.84 \text{ton}$$

$$F_{J3} = (0.303)(152.7 \text{ton}) = 46.3 \text{ton}$$

$$F_{J4} = (0.394)(152.7 \text{ton}) = 60.2 \text{ton}$$

Eje Y

$$F_{J1} = (0.101)(151.3 \text{ton}) = 15.3 \text{ton}$$

$$F_{J2} = (0.202)(151.3 \text{ton}) = 30.6 \text{ton}$$

$$F_{J3} = (0.303)(151.3 \text{ton}) = 46.0 \text{ton}$$

$$F_{J4} = (0.394)(151.3 \text{ton}) = 60.0 \text{ton}$$

Se diseña con las cargas laterales para el estado límite de cedencia y no para el estado límite de servicio.

La distribución vertical puede verse en las figuras 18 y 19.

Figura 18. Distribución de cargas laterales para el eje X

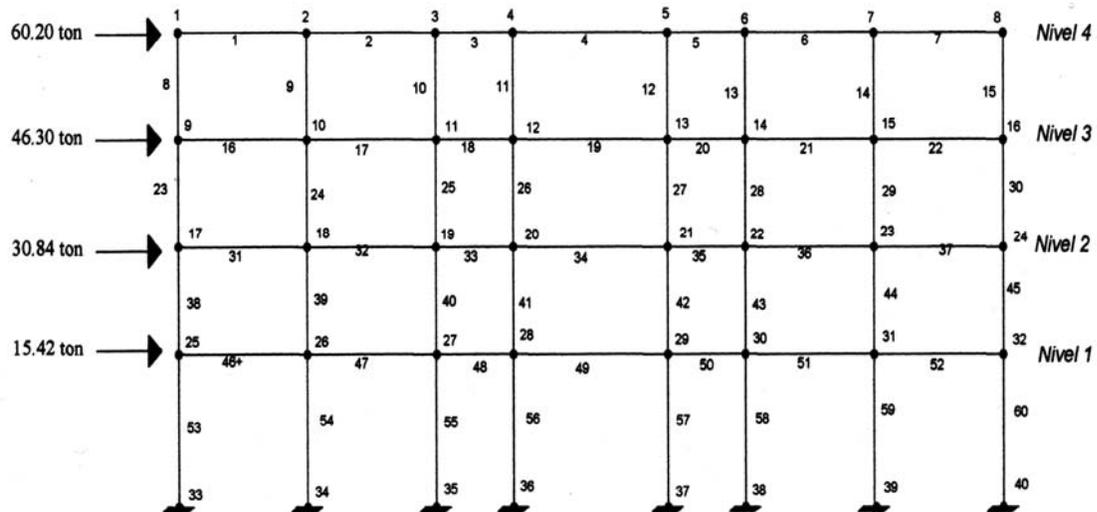
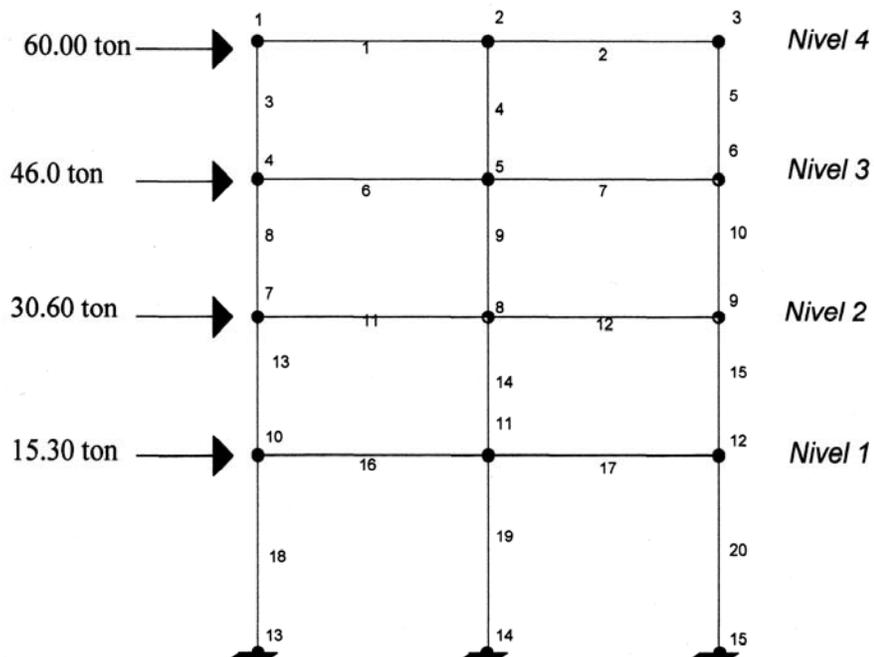


Figura 19. Distribución de cargas laterales para el eje y.



3. ANÁLISIS DE MARCOS

Para el diseño final de los componentes principales de la estructura como el de las losas, las vigas, las columnas y la cimentación, que son todos parte del marco, es necesario determinar por medio de análisis los efectos máximos de momento, cortante, torsión, carga axial u otros efectos de carga. Todos estos efectos de carga se determinan por medio del análisis de marcos; que se realiza primero con las dimensiones preliminares sugeridas al inicio del proyecto, si estas no cumplieran con los requisitos de diseño es necesario hacer cambios de dimensiones para cumplir con las normas y así obtener un diseño adecuado, que sea resistente y económico. La rigidez y exactitud del método puede simplificar enormemente el análisis de cargas por gravedad en los marcos de edificios.

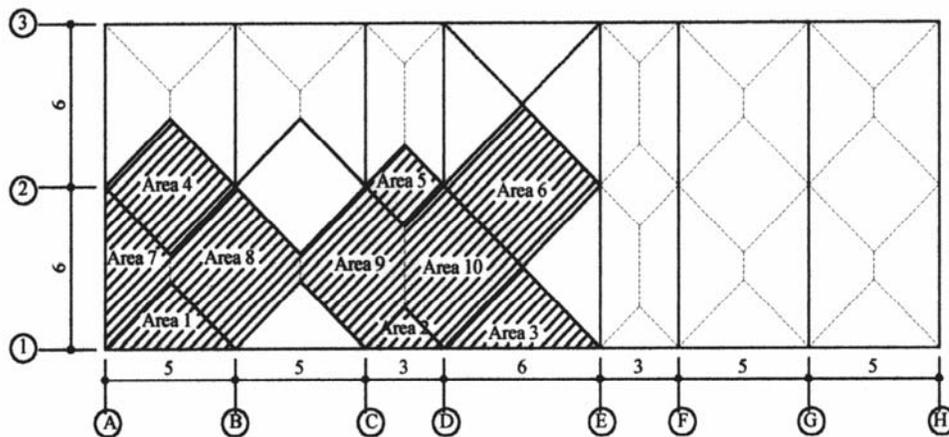
3.1 Cargas

Las cargas que afectarán al marco son las que producen el propio peso de la estructura, definidas como carga muerta $W_m = 998.6.00$ toneladas (ver inciso 2.1.4), la carga viva o cargas de uso definidas en el capítulo 1 numeral 1.2.1, que se refieren a las cargas que influyen en el diseño por el tipo de uso que a éste se le vaya a dar, con una carga viva de $W_v = 200\text{kg/m}^2$, (ver figura 3), y para la azotea de concreto accesible con una carga viva de igual magnitud, estos valores son definidos por las norma AGIES 2002.

Las cargas vivas y las cargas muertas se deben factorizar conforme la combinación de cargas como lo indican las normas AGIES especificadas en el capítulo 8 de la norma NR-2. También afectan al marco las cargas laterales causadas por el sismo, estas cargas fueron definidas en el capítulo 3 de este trabajo, basado en las normas AGIES 2002, que se distribuyen por nivel y para cada eje de análisis. Se toma en cuenta que para el diseño se utilizan las cargas laterales para los límites de cedencia, por ser más conservadoras que las de servicio, otro criterio que se podría tomar es que si el cortante de cedencia es menor que las fuerzas cortantes por servicio, entonces, se tomará para el diseño éstas últimas.

3.1.1 Integración de cargas

Figura 20. Identificación de las áreas tributarias en planta.



La integración de cargas se refiere a las carga tributaria que la losa transmite a las vigas, y por consiguiente a las columnas y al final a la cimentación. Este cálculo da por resultado las cargas muertas y las cargas vivas, sin factorizar, que los elementos horizontales del marco deben de soportar. Y así realizar un análisis de marcos por medio de cualquier método, o por medio de análisis computarizados que darán resultados más exactos.

Calculo de áreas tributarias

(ver figura 20)

No. área	$A = 1/2bh$ ó $At = 1/2(B + b)h$	Area (m ²)
1	$A = \frac{1}{2} * (5.0m) * (2.50m)$	6.25
2	$A = \frac{1}{2} * (3.0m) * (1.50m)$	2.25
3	$A = \frac{1}{2} * (6.0m) * (3.0m)$	9.00
4	$A = \frac{1}{2} * (5.0m) * (2.50m)*2$	12.5
5	$A = \frac{1}{2} * (3.0m) * (1.50m)*2$	4.50
6	$A = \frac{1}{2} * (6.0m) * (3.0m)*2$	18.0
7	$A = \frac{1}{2} * (7.0m) * (2.50m)$	8.75
8	$A = \frac{1}{2} * (5.0m) * (2.50m)*2$	17.5
9	$A = \frac{1}{2} * (7.0m) * (2.50m) + \frac{1}{2}(6+3)1.5$	15.5
10	$A = \frac{1}{2}(6+3)1.5 + \frac{1}{2}6*3$	15.75

Cálculo de las cargas en los ejes

Datos:

$$\delta_c = 2,400kg / m^3 \text{ (peso específico del concreto)}$$

$$t = 0.14m. \text{ (Espesor de la losa)}$$

$$Sc = 90 kg/m^2 \text{ (Sobre carga)}$$

Sólo se analizarán los ejes 1,2, A y B, porque en estos las cargas son mayores.

Eje 1 de A a B

Carga muerta de la losa

$$C_{m. losa} = \text{Espesor de la losa} \times \text{peso específico del concreto.}$$

$$C_{m. losa} = (0.14m)(2,400Kg/m^3) = 336 Kg/m^2$$

Carga muerta = carga muerta de la losa más la sobrecarga.

$$CM = C_{m. losa} + Sc$$

$$CM = 336kg/m^2 + 90kg/m^2$$

$$CM = 426 kg/m^2$$

Peso propio de la viga A-B = área de la viga multiplicado por peso propio del concreto.

$$P.p_{\text{viga}} = A_{\text{viga}} \times \delta_c \rightarrow P.p_{\text{viga}} = (0.2\text{m})(0.4\text{m})(2400\text{kg/m}^3)$$

$$P.p_{\text{viga}} = 192.0 \text{ kg/m}^2$$

Carga muerta tributaria

$$W_{CM} = \frac{C_M A_1}{L_{VIGA 1}}$$

$$W_{CM} = (426 \text{ kg/m}^2)(6.25\text{m}^2) / (5.0\text{m}) = 532.5\text{kg/m}$$

Carga viva tributaria

$$W_{CV} = \frac{C_V A_1}{L_{VIGA 1}}$$

$$W_{CV} = (200\text{kg/m}^2)(6.25\text{m}^2) / (5.0\text{m}) = 250\text{kg/m}^2$$

Los cálculos para los siguientes ejes no se incluirán, ya que son repetitivos, sólo los resultados se especifican en la siguiente tabla.

Eje	Cm (kg/m ²)	Cv (kg/m ²)	P.p.viga (kg/m ²)	WCv (kg/m)	WCm +Ppviga (kg/m)
1 de A-B	426	200	192	250	724.50
1 de C-D	426	200	69.12	150	388.62
1 de D-E	426	200	300	300	1578.00
2 de A-B	426	200	192	500	1257.00
2 de C-D	426	200	69.12	300	708.12
2 de D-E	426	200	300	600	1578.00
A de 1-2	426	200	300	291.67	921.25
B de 1-2	426	200	300	583.33	1542.00

3.2 Análisis de marcos

Luego de calcular todas las cargas vivas y muertas para los elementos horizontales del marco conforme a las cargas tributarias de las losas y al tener las cargas laterales por nivel se procede a analizar los marcos.

La distribución de cargas queda de la siguiente manera.

Figura.21. Distribución de cargas sobre el marco eje 1

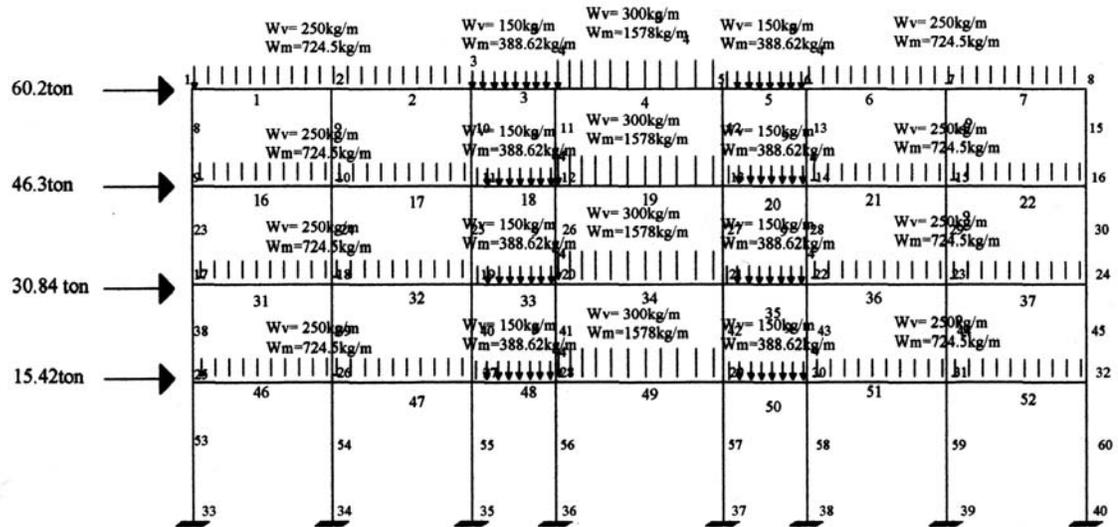


Figura. 22. Distribución de cargas sobre el marco eje 2.

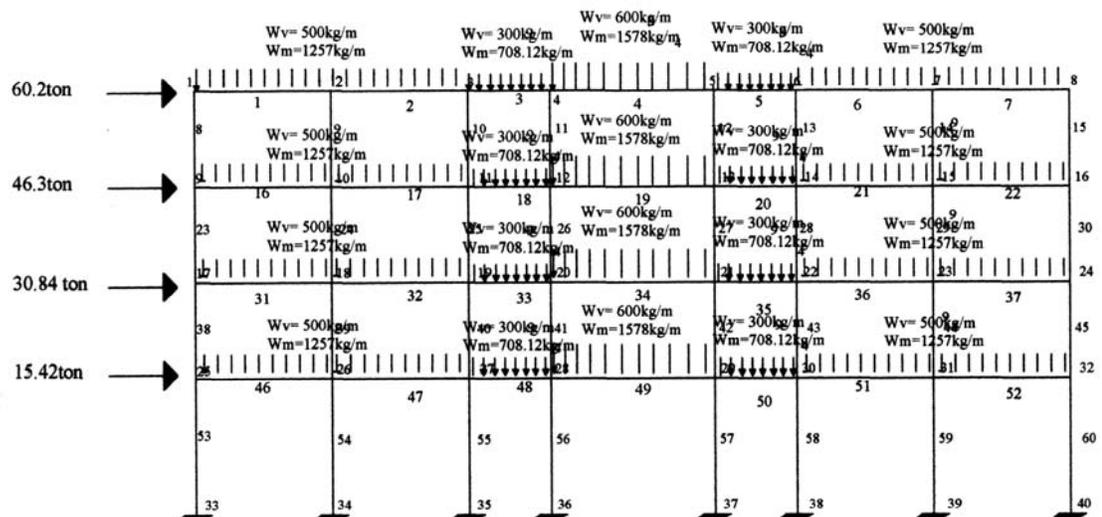


Figura 23. Distribución de cargas sobre el marco eje A

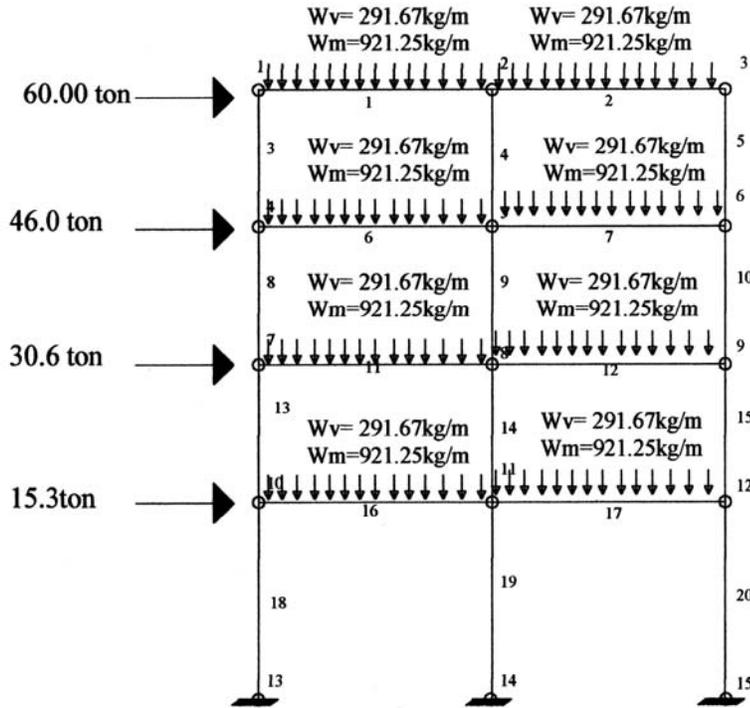
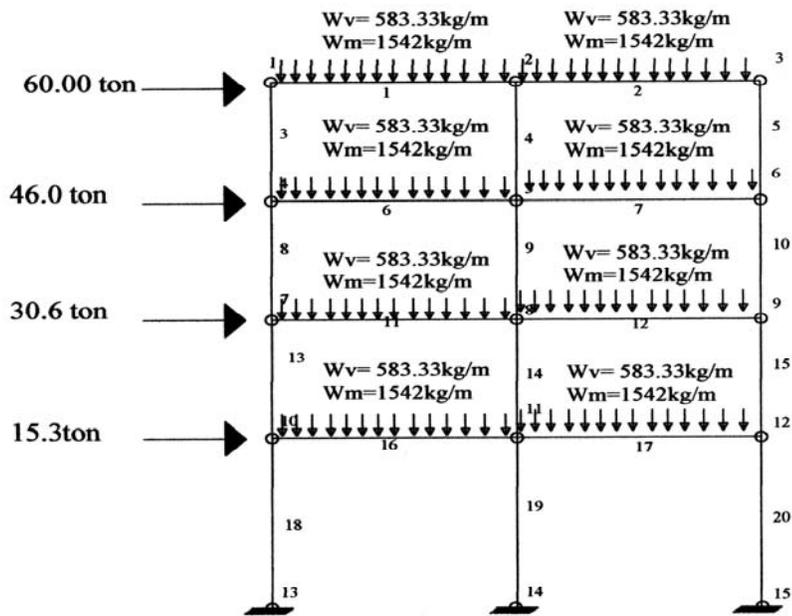


Figura 24. Distribución de cargas sobre el marco eje B.



Para realizar el análisis de marcos es necesario tomar en cuenta algunos criterios sobre el tipo de materiales que van a utilizar.

Datos:

$$f'c = 281 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Módulo de elasticidad } E = 12100 \sqrt{f'c}$$

$$\text{Inercia } I = 1/12bh^3$$

Elemento	Dimensiones (m)	Área (m ²)	Inercia (m ⁴)	Módulo de elasticidad (kg/m ²)
Columna	0.25x0.25	0.0625	0.00033	2028329608
V-1 (5m)	0.2x0.40	0.08	0.0011	2028329608
V-2 (3m)	0.20x0.40	0.8	0.0011	2028329608
V-3 (6m)	0.20x0.40	0.8	0.0011	2028329608

Resultados de los desplazamientos con las dimensiones preliminares

Desplazamiento para el eje X = 29cm

Desplazamiento para el eje Y = 29 cm

El cálculo de los marcos 1, 2, A y B, (no se encuentran por razones de espacio) muestra en los resultados que los desplazamientos en X para los ejes "X" y "Y" son demasiado grandes por lo que indica que se deben variar las dimensiones de los elementos para aumentar la rigidez de la estructura y disminuir los desplazamientos.

Entonces las nuevas dimensiones quedarían de la siguiente manera:

Elemento	Dimensiones (m)	Área (m²)	Inercia (m⁴)	Módulo de elasticidad (kg/m²)
Columna	0.60x0.80	0.48	0.0256	2028329608
V-1 (5m)	0.80x0.80	0.64	0.03413	2028329608
V-2 (3m)	0.80x0.80	0.64	0.03413	2028329608
V-3 (6m)	0.8x0.80	0.64	0.03413	2028329608

Con estas nuevas dimensiones para el marco, se procede a realizar el análisis del mismo, como ya se dijo, por métodos manuales o computarizados, como el fin de este trabajo no es explicar la manera de analizar marcos si no la de aplicar las normas AGIES 2002, entonces, para fines prácticos se utilizó la herramienta por medio de programas³ para resolver estructuras.

Los resultados tienen las dimensionales de longitud expresadas en metros y las de fuerza en kilogramos.

3

Jack MacCormac y Rudolf E. Elling **Programa para analizar estructuras.** (Ediciones Alfa Omega S.A. 1993)

3.2.1 Análisis del marco 1 por carga sísmica

- **Desplazamiento nodal mayor** → Delta X = 0.012m

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
33	-16730.520	-42531.640	49346.040
34	-20030.960	471.016	54707.890
35	-20327.930	-22825.230	55065.640
36	-19997.890	32242.780	54432.070
37	-19870.110	-30849.800	54062.060
38	-20047.920	23126.230	54285.680
39	-19542.860	519.745	53324.910
40	-16209.170	39846.940	47658.380

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-55776.4600	-3397.5820	10064.2700
1	2	-55776.4600	-3397.5820	-6923.6420
2	2	-46108.7200	-5041.4000	12170.9200
2	3	-46108.7200	-5041.4000	-13036.0800
3	3	-37604.7000	-2112.0330	3452.4860
3	4	-37604.7000	-2112.0330	-2883.6130
4	4	-29084.7000	-4592.9510	13827.8300
4	5	-29084.7000	-4592.9510	-13729.8700
5	5	-20722.2000	-1966.4310	2682.8190
5	6	-20722.2000	-1966.4310	-3216.4730
6	6	-12689.7200	-4754.1600	12390.5800
6	7	-12689.7200	-4754.1600	-11380.2100
7	7	-3827.5970	-3006.3710	6182.9490
7	8	-3827.5970	-3006.3710	-8848.9090
8	1	3397.5840	4423.3010	-10064.2700
8	9	3397.5840	4423.3010	5417.2720
9	2	1643.8160	9667.5220	-19094.6100
9	10	1643.8160	9667.5220	14741.7600
10	3	-2929.3720	8504.3530	-16488.6000
10	11	-2929.3720	8504.3530	13276.6700
11	4	2480.9060	8520.0720	-16711.4400
11	12	2480.9060	8520.0720	13108.7900
12	5	-2626.5130	8361.0630	-16412.6000
12	13	-2626.5130	8361.0630	12851.1200
13	6	2787.7430	8033.2620	-15607.0200
13	14	2787.7430	8033.2620	12509.3300
14	7	-1747.7930	8861.6570	-17563.2200
14	15	-1747.7930	8861.6570	13452.5600
15	8	-3006.3700	3827.5290	-8848.9640
15	16	-3006.3700	3827.5290	4547.4170
16	9	-41895.8900	-8478.9130	22904.8700

16	10	-41895.8900	-8478.9130	-19489.7000
17	10	-36249.6700	-9386.5230	23566.1000
17	11	-36249.6700	-9386.5230	-23366.5100
18	11	-29375.9200	-12113.0600	18150.1700
18	12	-29375.9200	-12113.0600	-18189.0200
19	12	-22978.0100	-7449.3550	22413.0400
19	13	-22978.0100	-7449.3550	-22283.0900
20	13	-16637.5800	-11725.3500	17681.9000
20	14	-16637.5800	-11725.3500	-17494.1600
21	14	-9843.8080	-8898.8150	22279.5600
21	15	-9843.8080	-8898.8150	-22214.5200
22	15	-4303.2960	-7746.8190	17945.0000
22	16	-4303.2960	-7746.8190	-20789.1000
23	9	11876.4900	8827.5330	-17487.6100
23	17	11876.4900	8827.5330	13408.7500
24	10	2551.4210	15312.6600	-28314.0400
24	18	2551.4210	15312.6600	25280.2800
25	11	-202.8178	15378.9900	-28240.0400
25	19	-202.8178	15378.9900	25586.4400
26	12	-2182.8290	14917.8700	-27493.2100
26	20	-2182.8290	14917.8700	24719.3200
27	13	1649.4650	14702.9900	-27113.8500
27	21	1649.4650	14702.9900	24346.5900
28	14	-38.7948	14825.5100	-27264.4400
28	22	-38.7948	14825.5100	24624.8700
29	15	-2899.7750	14401.5600	-26706.9400
29	23	-2899.7750	14401.5600	23698.5300
30	16	-10753.1800	8131.0200	-16241.7100
30	24	-10753.1800	8131.0200	12216.8500
31	17	-29676.0500	-12684.3800	33906.2100
31	18	-29676.0500	-12684.3800	-29515.7200
32	18	-25063.8700	-12636.9400	31869.5400
32	19	-25063.8700	-12636.9400	-31315.1700
33	19	-19991.2600	-20774.0200	31048.0500
33	20	-19991.2600	-20774.0200	-31274.0000
34	20	-15429.8000	-9551.0540	28720.7200
34	21	-15429.8000	-9551.0540	-28585.6000
35	21	-10867.0000	-20321.9100	30676.0300
35	22	-10867.0000	-20321.9100	-30289.7000
36	22	-5783.2930	-12129.7300	30184.7500
36	23	-5783.2930	-12129.7300	-30463.9100
37	23	-1178.1930	-11872.6900	27785.3700
37	24	-1178.1930	-11872.6900	-31578.0700
38	17	24560.8500	9991.3830	-20497.4800
38	25	24560.8500	9991.3830	14472.3300
39	18	2503.9840	19924.3700	-36104.9700
39	26	2503.9840	19924.3700	33630.3000
40	19	7934.2590	20452.5600	-36776.8200
40	27	7934.2590	20452.5600	34807.1600
41	20	-13405.7900	19479.7400	-35275.3300
41	28	-13405.7900	19479.7400	32903.7200
42	21	12420.3000	19265.5100	-34915.0700
42	29	12420.3000	19265.5100	32514.2200

43	22	-8230.9930	19908.8800	-35849.5700
43	30	-8230.9930	19908.8800	33831.5100
44	23	-3156.8140	19005.6800	-34550.6900
44	31	-3156.8140	19005.6800	31969.1900
45	24	-22625.8500	9309.4180	-19361.1900
45	32	-22625.8500	9309.4180	13221.7500
46	25	-8680.9440	-17970.7800	48778.9200
46	26	-8680.9440	-17970.7800	-41074.9700
47	26	-8574.6250	-14995.7800	38002.3000
47	27	-8574.6250	-14995.7800	-36976.6200
48	27	-8698.6720	-29886.7600	44404.5700
48	28	-8698.6720	-29886.7600	-45255.7100
49	28	-8179.9110	-11049.7600	33205.4500
49	29	-8179.9110	-11049.7600	-33093.0800
50	29	-7576.3370	-29479.2400	44709.7200
50	30	-7576.3370	-29479.2400	-43728.0000
51	30	-7436.5330	-14584.0000	36057.5000
51	31	-7436.5330	-14584.0000	-36862.5000
52	31	-6899.4320	-17221.0700	39496.1200
52	32	-6899.4320	-17221.0700	-46609.2300
53	25	42531.6400	16730.5200	-34306.5700
53	33	42531.6400	16730.5200	49346.0500
54	26	-471.0147	20030.9600	-45446.9300
54	34	-471.0147	20030.9600	54707.8900
55	27	22825.2300	20327.9300	-46574.0200
55	35	22825.2300	20327.9300	55065.6400
56	28	-32242.7900	19997.8900	-45557.3900
56	36	-32242.7900	19997.8900	54432.0700
57	29	30849.8000	19870.1100	-45288.5100
57	37	30849.8000	19870.1100	54062.0500
58	30	-23126.2300	20047.9200	-45953.9500
58	38	-23126.2300	20047.9200	54285.6700
59	31	-519.7446	19542.8600	-44389.3900
59	39	-519.7446	19542.8600	53324.9100
60	32	-39846.9400	16209.1700	-33387.5000
60	40	-39846.9400	16209.1700	47658.3800

3.2.2 Análisis del marco 1 por carga viva

Desplazamientos, reacciones y fuerzas en los elementos

Desplazamiento nodal mayor → Delta X = 0.0M

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
33	55.958	2623.143	-99.645
34	4.536	4647.936	-12.153
35	6.932	3803.862	-14.531
36	20.879	4325.043	-36.413
37	-20.878	4325.050	36.413
38	-6.932	3803.873	14.531
39	-4.537	4647.940	12.153
40	-55.958	2623.146	99.645

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-224.7603	638.2721	-453.2633
1	2	-224.7603	-611.7279	-386.9030
2	2	-208.8486	553.5006	-352.5514
2	3	-208.8486	-696.4994	-710.0483
3	3	-229.0562	250.1739	-747.7300
3	4	-229.0562	-199.8261	-672.2062
4	4	-326.6597	899.9999	-847.2552
4	5	-326.6597	-900.0001	-847.2558
5	5	-229.0567	199.8250	-672.2037
5	6	-229.0567	-250.1750	-747.7267
6	6	-208.8494	696.4988	-710.0465
6	7	-208.8494	-553.5012	-352.5525
7	7	-224.7606	611.7279	-386.9031
7	8	-224.7606	-638.2721	-453.2635
8	1	-638.2721	-224.7604	453.2634
8	9	-638.2721	-224.7604	-333.3981
9	2	-1165.2290	15.9117	-34.3517
9	10	-1165.2290	15.9117	21.3394
10	3	-946.6788	-20.2077	37.6811
10	11	-946.6788	-20.2077	-33.0458
11	4	-1099.8240	-97.6034	175.0522
11	12	-1099.8240	-97.6034	-166.5598
12	5	-1099.8230	97.6030	-175.0514
12	13	-1099.8230	97.6030	166.5592
13	6	-946.6758	20.2073	-37.6805
13	14	-946.6758	20.2073	33.0451
14	7	-1165.2290	-15.9111	34.3504
14	15	-1165.2290	-15.9111	-21.3383
15	8	-638.2719	224.7606	-453.2637

15	16	-638.2719	224.7606	333.3983
16	9	53.4190	685.5143	-633.3724
16	10	53.4190	-564.4857	-330.8008
17	10	19.7046	554.0314	-345.6434
17	11	19.7046	-695.9686	-700.4867
18	11	9.5945	315.4326	-789.3642
18	12	9.5945	-134.5674	-518.0704
19	12	12.2340	899.9999	-853.8600
19	13	12.2340	-900.0001	-853.8601
20	13	9.5946	134.5738	-518.0779
20	14	9.5946	-315.4262	-789.3586
21	14	19.7049	695.9679	-700.4845
21	15	19.7049	-554.0321	-345.6451
22	15	53.4190	564.4855	-330.8004
22	16	53.4190	-685.5145	-633.3730
23	9	-1323.7860	-171.3413	299.9744
23	17	-1323.7860	-171.3413	-299.7204
24	10	-2283.7440	-17.8026	36.1820
24	18	-2283.7440	-17.8026	-26.1271
25	11	-1958.0700	-30.3178	55.8276
25	19	-1958.0700	-30.3178	-50.2847
26	12	-2134.3980	-94.9639	169.2266
26	20	-2134.3980	-94.9639	-163.1471
27	13	-2134.3920	94.9636	-169.2259
27	21	-2134.3920	94.9636	163.1465
28	14	-1958.0730	30.3176	-55.8271
28	22	-1958.0730	30.3176	50.2845
29	15	-2283.7460	17.8031	-36.1828
29	23	-2283.7460	17.8031	26.1280
30	16	-1323.7850	171.3414	-299.9745
30	24	-1323.7850	171.3414	299.7206
31	17	3.5883	668.3524	-585.8943
31	18	3.5883	-581.6476	-369.1324
32	18	27.7183	570.5460	-389.0353
32	19	27.7183	-679.4540	-661.3057
33	19	43.4541	288.7014	-741.4468
33	20	43.4541	-161.2987	-550.3387
34	20	57.8328	900.0001	-858.5884
34	21	57.8328	-899.9999	-858.5877
35	21	43.4542	161.2968	-550.3378
35	22	43.4542	-288.7032	-741.4434
36	22	27.7186	679.4535	-661.3041
36	23	27.7186	-570.5465	-389.0366
37	23	3.5884	581.6475	-369.1323
37	24	3.5884	-668.3525	-585.8946
38	17	-1992.1350	-167.7530	286.1740
38	25	-1992.1350	-167.7530	-300.9615
39	18	-3435.9360	6.3275	-6.2242
39	26	-3435.9360	6.3275	15.9219
40	19	-2926.2250	-14.5821	29.8557
40	27	-2926.2250	-14.5821	-21.1816
41	20	-3195.6890	-80.5852	145.1014
41	28	-3195.6890	-80.5852	-136.9470

42	21	-3195.6950	80.5849	-145.1008
42	29	-3195.6950	80.5849	136.9465
43	22	-2926.2360	14.5821	-29.8556
43	30	-2926.2360	14.5821	21.1816
44	23	-3435.9390	-6.3271	6.2237
44	31	-3435.9390	-6.3271	-15.9213
45	24	-1992.1370	167.7530	-286.1740
45	32	-1992.1370	167.7530	300.9616
46	25	111.7944	631.0084	-481.1091
46	26	111.7944	-618.9916	-451.0669
47	26	100.9305	593.0106	-445.6746
47	27	100.9305	-656.9894	-605.6217
48	27	108.5803	220.6457	-646.9402
48	28	108.5803	-229.3543	-660.0021
49	28	168.2870	900.0001	-864.9299
49	29	168.2870	-899.9999	-864.9295
50	29	108.5805	229.3544	-660.0011
50	30	108.5805	-220.6456	-646.9359
51	30	100.9308	656.9891	-605.6208
51	31	100.9308	-593.0109	-445.6753
52	31	111.7945	618.9915	-451.0668
52	32	111.7945	-631.0085	-481.1093
53	25	-2623.1430	-55.9585	180.1476
53	33	-2623.1430	-55.9585	-99.6447
54	26	-4647.9370	-4.5364	10.5296
54	34	-4647.9370	-4.5364	-12.1526
55	27	-3803.8620	-6.9323	20.1307
55	35	-3803.8620	-6.9323	-14.5308
56	28	-4325.0430	-20.8785	67.9795
56	36	-4325.0430	-20.8785	-36.4130
57	29	-4325.0510	20.8785	-67.9793
57	37	-4325.0510	20.8785	36.4130
58	30	-3803.8730	6.9323	-20.1307
58	38	-3803.8730	6.9323	14.5309
59	31	-4647.9390	4.5365	-10.5298
59	39	-4647.9390	4.5365	12.1528
60	32	-2623.1460	55.9585	-180.1477
60	40	-2623.1460	55.9585	99.6448

3.2.3 Análisis del marco 1 por carga muerta

Desplazamientos, reacciones y fuerzas en los elementos

- Desplazamiento nodal mayor → Delta X = 0.0M

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
33	166.760	7581.958	-300.568
34	28.745	13716.400	-65.498
35	-26.488	11913.670	31.294
36	340.304	19367.390	-577.921
37	-340.305	19367.390	577.922
38	26.487	11913.670	-31.292
39	-28.745	13716.400	65.499
40	-166.761	7581.957	300.568

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-638.9432	1834.6700	-1292.0760
1	2	-638.9432	-1787.8300	-1174.9780
2	2	-614.5264	1667.5230	-1127.1610
2	3	-614.5264	-1954.9770	-1845.7940
3	3	-584.3444	927.9200	-1763.1160
3	4	-584.3444	-237.9399	-728.1458
4	4	-2172.9100	4734.0000	-3771.0610
4	5	-2172.9100	-4734.0000	-3771.0630
5	5	-584.3448	237.9413	-728.1469
5	6	-584.3448	-927.9186	-1763.1150
6	6	-614.5275	1954.9760	-1845.7930
6	7	-614.5275	-1667.5240	-1127.1620
7	7	-638.9431	1787.8310	-1174.9790
7	8	-638.9431	-1834.6690	-1292.0760
8	1	-1834.6700	-638.9434	1292.0750
8	9	-1834.6700	-638.9434	-944.2268
9	2	-3455.3580	24.4166	-47.8174
9	10	-3455.3580	24.4166	37.6405
10	3	-2882.8940	30.1822	-82.6785
10	11	-2882.8940	30.1822	22.9592
11	4	-4971.9430	-1588.5650	3042.9160
11	12	-4971.9430	-1588.5650	-2517.0620
12	5	-4971.9470	1588.5650	-3042.9160
12	13	-4971.9470	1588.5650	2517.0620
13	6	-2882.8920	-30.1827	82.6791
13	14	-2882.8920	-30.1827	-22.9601
14	7	-3455.3550	-24.4161	47.8166
14	15	-3455.3550	-24.4161	-37.6399

15	8	-1834.6680	638.9437	-1292.0760
15	16	-1834.6680	638.9437	944.2269
16	9	132.4227	1985.0270	-1835.0330
16	10	132.4227	-1637.4730	-966.1460
17	10	26.6532	1642.0620	-1086.6250
17	11	26.6532	-1980.4380	-1932.5650
18	11	-66.1913	1421.8850	-2048.6620
18	12	-66.1913	256.0253	468.2033
19	12	307.4253	4734.0000	-4180.0180
19	13	307.4253	-4734.0000	-4180.0200
20	13	-66.1912	-256.0241	468.2016
20	14	-66.1912	-1421.8840	-2048.6610
21	14	26.6532	1980.4370	-1932.5630
21	15	26.6532	-1642.0630	-1086.6270
22	15	132.4228	1637.4720	-966.1455
22	16	132.4228	-1985.0280	-1835.0340
23	9	-3819.6970	-506.5208	890.8059
23	17	-3819.6970	-506.5208	-882.0167
24	10	-6734.8870	-81.3529	158.1195
24	18	-6734.8870	-81.3529	-126.6157
25	11	-6285.2120	-62.6622	139.0581
25	19	-6285.2120	-62.6622	-80.2597
26	12	-9449.9260	-1214.9490	2131.1570
26	20	-9449.9260	-1214.9490	-2121.1630
27	13	-9449.9230	1214.9490	-2131.1580
27	21	-9449.9230	1214.9490	2121.1640
28	14	-6285.2120	62.6618	-139.0573
28	22	-6285.2120	62.6618	80.2591
29	15	-6734.8830	81.3535	-158.1205
29	23	-6734.8830	81.3535	126.6167
30	16	-3819.6900	506.5209	-890.8062
30	24	-3819.6900	506.5209	882.0170
31	17	24.5445	1937.9420	-1706.7210
31	18	24.5445	-1684.5580	-1073.2590
32	18	96.2625	1703.3700	-1227.1570
32	19	96.2625	-1919.1300	-1766.5600
33	19	262.2112	1178.8480	-1722.0620
33	20	262.2112	12.9883	65.6935
34	20	236.6323	4734.0000	-4187.7920
34	21	236.6323	-4734.0000	-4187.7920
35	21	262.2108	-12.9872	65.6910
35	22	262.2108	-1178.8470	-1722.0600
36	22	96.2625	1919.1300	-1766.5580
36	23	96.2625	-1703.3700	-1227.1590
37	23	24.5446	1684.5570	-1073.2590
37	24	24.5446	-1937.9430	-1706.7220
38	17	-5757.6330	-481.9763	824.7051
38	25	-5757.6330	-481.9763	-862.2119
39	18	-10122.8100	-9.6348	27.2821
39	26	-10122.8100	-9.6348	-6.4398
40	19	-9383.1980	103.2866	-124.7573
40	27	-9383.1980	103.2866	236.7459
41	20	-14170.9300	-1240.5280	2132.3200

41	28	-14170.9300	-1240.5280	-2209.5260
42	21	-14170.9200	1240.5280	-2132.3210
42	29	-14170.9200	1240.5280	2209.5260
43	22	-9383.1940	-103.2865	124.7573
43	30	-9383.1940	-103.2865	-236.7455
44	23	-10122.8100	9.6353	-27.2830
44	31	-10122.8100	9.6353	6.4407
45	24	-5757.6330	481.9763	-824.7053
45	32	-5757.6330	481.9763	862.2118
46	25	315.2160	1824.3230	-1395.4450
46	26	315.2160	-1798.1770	-1330.0810
47	26	296.1063	1795.4170	-1414.7470
47	27	296.1063	-1827.0830	-1493.9090
48	27	219.3068	703.3953	-1156.0190
48	28	219.3068	-462.4647	-794.6231
49	28	1119.5300	4734.0000	-4127.7480
49	29	1119.5300	-4734.0000	-4127.7500
50	29	219.3065	462.4649	-794.6234
50	30	219.3065	-703.3950	-1156.0180
51	30	296.1060	1827.0820	-1493.9080
51	31	296.1060	-1795.4180	-1414.7480
52	31	315.2159	1798.1770	-1330.0810
52	32	315.2159	-1824.3230	-1395.4460
53	25	-7581.9590	-166.7602	533.2336
53	33	-7581.9590	-166.7602	-300.5675
54	26	-13716.4000	-28.7448	78.2256
54	34	-13716.4000	-28.7448	-65.4983
55	27	-11913.6700	26.4877	-101.1449
55	35	-11913.6700	26.4877	31.2935
56	28	-19367.3900	-340.3043	1123.6000
56	36	-19367.3900	-340.3043	-577.9211
57	29	-19367.3900	340.3045	-1123.6010
57	37	-19367.3900	340.3045	577.9219
58	30	-11913.6700	-26.4872	101.1437
58	38	-11913.6700	-26.4872	-31.2923
59	31	-13716.4000	28.7452	-78.2267
59	39	-13716.4000	28.7452	65.4995
60	32	-7581.9570	166.7605	-533.2343
60	40	-7581.9570	166.7605	300.5684

3.2.4 Análisis del marco 2 por carga sísmica

- **Desplazamiento nodal mayor** → Delta X = 0.012M

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
33	-16730.520	-42531.640	49346.040
34	-20030.960	471.016	54707.890
35	-20327.930	-22825.230	55065.640
36	-19997.890	32242.780	54432.070
37	-19870.110	-30849.800	54062.060
38	-20047.920	23126.230	54285.680
39	-19542.860	519.745	53324.910
40	-16209.170	39846.940	47658.380

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-55776.4600	-3397.5820	10064.2700
1	2	-55776.4600	-3397.5820	-6923.6420
2	2	-46108.7200	-5041.4000	12170.9200
2	3	-46108.7200	-5041.4000	-13036.0800
3	3	-37604.7000	-2112.0330	3452.4860
3	4	-37604.7000	-2112.0330	-2883.6130
4	4	-29084.7000	-4592.9510	13827.8300
4	5	-29084.7000	-4592.9510	-13729.8700
5	5	-20722.2000	-1966.4310	2682.8190
5	6	-20722.2000	-1966.4310	-3216.4730
6	6	-12689.7200	-4754.1600	12390.5800
6	7	-12689.7200	-4754.1600	-11380.2100
7	7	-3827.5970	-3006.3710	6182.9490
7	8	-3827.5970	-3006.3710	-8848.9090
8	1	3397.5840	4423.3010	-10064.2700
8	9	3397.5840	4423.3010	5417.2720
9	2	1643.8160	9667.5220	-19094.6100
9	10	1643.8160	9667.5220	14741.7600
10	3	-2929.3720	8504.3530	-16488.6000
10	11	-2929.3720	8504.3530	13276.6700
11	4	2480.9060	8520.0720	-16711.4400
11	12	2480.9060	8520.0720	13108.7900
12	5	-2626.5130	8361.0630	-16412.6000
12	13	-2626.5130	8361.0630	12851.1200
13	6	2787.7430	8033.2620	-15607.0200
13	14	2787.7430	8033.2620	12509.3300
14	7	-1747.7930	8861.6570	-17563.2200
14	15	-1747.7930	8861.6570	13452.5600
15	8	-3006.3700	3827.5290	-8848.9640
15	16	-3006.3700	3827.5290	4547.4170

16	9	-41895.8900	-8478.9130	22904.8700
16	10	-41895.8900	-8478.9130	-19489.7000
17	10	-36249.6700	-9386.5230	23566.1000
17	11	-36249.6700	-9386.5230	-23366.5100
18	11	-29375.9200	-12113.0600	18150.1700
18	12	-29375.9200	-12113.0600	-18189.0200
19	12	-22978.0100	-7449.3550	22413.0400
19	13	-22978.0100	-7449.3550	-22283.0900
20	13	-16637.5800	-11725.3500	17681.9000
20	14	-16637.5800	-11725.3500	-17494.1600
21	14	-9843.8080	-8898.8150	22279.5600
21	15	-9843.8080	-8898.8150	-22214.5200
22	15	-4303.2960	-7746.8190	17945.0000
22	16	-4303.2960	-7746.8190	-20789.1000
23	9	11876.4900	8827.5330	-17487.6100
23	17	11876.4900	8827.5330	13408.7500
24	10	2551.4210	15312.6600	-28314.0400
24	18	2551.4210	15312.6600	25280.2800
25	11	-202.8178	15378.9900	-28240.0400
25	19	-202.8178	15378.9900	25586.4400
26	12	-2182.8290	14917.8700	-27493.2100
26	20	-2182.8290	14917.8700	24719.3200
27	13	1649.4650	14702.9900	-27113.8500
27	21	1649.4650	14702.9900	24346.5900
28	14	-38.7948	14825.5100	-27264.4400
28	22	-38.7948	14825.5100	24624.8700
29	15	-2899.7750	14401.5600	-26706.9400
29	23	-2899.7750	14401.5600	23698.5300
30	16	-10753.1800	8131.0200	-16241.7100
30	24	-10753.1800	8131.0200	12216.8500
31	17	-29676.0500	-12684.3800	33906.2100
31	18	-29676.0500	-12684.3800	-29515.7200
32	18	-25063.8700	-12636.9400	31869.5400
32	19	-25063.8700	-12636.9400	-31315.1700
33	19	-19991.2600	-20774.0200	31048.0500
33	20	-19991.2600	-20774.0200	-31274.0000
34	20	-15429.8000	-9551.0540	28720.7200
34	21	-15429.8000	-9551.0540	-28585.6000
35	21	-10867.0000	-20321.9100	30676.0300
35	22	-10867.0000	-20321.9100	-30289.7000
36	22	-5783.2930	-12129.7300	30184.7500
36	23	-5783.2930	-12129.7300	-30463.9100
37	23	-1178.1930	-11872.6900	27785.3700
37	24	-1178.1930	-11872.6900	-31578.0700
38	17	24560.8500	9991.3830	-20497.4800
38	25	24560.8500	9991.3830	14472.3300
39	18	2503.9840	19924.3700	-36104.9700
39	26	2503.9840	19924.3700	33630.3000
40	19	7934.2590	20452.5600	-36776.8200
40	27	7934.2590	20452.5600	34807.1600
41	20	-13405.7900	19479.7400	-35275.3300
41	28	-13405.7900	19479.7400	32903.7200
42	21	12420.3000	19265.5100	-34915.0700

42	29	12420.3000	19265.5100	32514.2200
43	22	-8230.9930	19908.8800	-35849.5700
43	30	-8230.9930	19908.8800	33831.5100
44	23	-3156.8140	19005.6800	-34550.6900
44	31	-3156.8140	19005.6800	31969.1900
45	24	-22625.8500	9309.4180	-19361.1900
45	32	-22625.8500	9309.4180	13221.7500
46	25	-8680.9440	-17970.7800	48778.9200
46	26	-8680.9440	-17970.7800	-41074.9700
47	26	-8574.6250	-14995.7800	38002.3000
47	27	-8574.6250	-14995.7800	-36976.6200
48	27	-8698.6720	-29886.7600	44404.5700
48	28	-8698.6720	-29886.7600	-45255.7100
49	28	-8179.9110	-11049.7600	33205.4500
49	29	-8179.9110	-11049.7600	-33093.0800
50	29	-7576.3370	-29479.2400	44709.7200
50	30	-7576.3370	-29479.2400	-43728.0000
51	30	-7436.5330	-14584.0000	36057.5000
51	31	-7436.5330	-14584.0000	-36862.5000
52	31	-6899.4320	-17221.0700	39496.1200
52	32	-6899.4320	-17221.0700	-46609.2300
53	25	42531.6400	16730.5200	-34306.5700
53	33	42531.6400	16730.5200	49346.0500
54	26	-471.0147	20030.9600	-45446.9300
54	34	-471.0147	20030.9600	54707.8900
55	27	22825.2300	20327.9300	-46574.0200
55	35	22825.2300	20327.9300	55065.6400
56	28	-32242.7900	19997.8900	-45557.3900
56	36	-32242.7900	19997.8900	54432.0700
57	29	30849.8000	19870.1100	-45288.5100
57	37	30849.8000	19870.1100	54062.0500
58	30	-23126.2300	20047.9200	-45953.9500
58	38	-23126.2300	20047.9200	54285.6700
59	31	-519.7446	19542.8600	-44389.3900
59	39	-519.7446	19542.8600	53324.9100
60	32	-39846.9400	16209.1700	-33387.5000
60	40	-39846.9400	16209.1700	47658.3800

3.2.5 Análisis del marco 2 por carga viva

Desplazamientos, reacciones y fuerzas en los elementos

Desplazamiento nodal mayor → Delta X = 0.0M

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
33	111.917	5246.287	-199.289
34	9.073	9295.872	-24.305
35	13.865	7607.723	-29.062
36	41.757	8650.087	-72.826
37	-41.757	8650.101	72.826
38	-13.865	7607.747	29.062
39	-9.073	9295.880	24.306
40	-111.917	5246.292	199.290

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-449.5205	1276.5440	-906.5266
1	2	-449.5205	-1223.4560	-773.8060
2	2	-417.6971	1107.0010	-705.1027
2	3	-417.6971	-1392.9990	-1420.0970
3	3	-458.1124	500.3477	-1495.4600
3	4	-458.1124	-399.6523	-1344.4120
4	4	-653.3193	1800.0000	-1694.5100
4	5	-653.3193	-1800.0000	-1694.5120
5	5	-458.1135	399.6500	-1344.4070
5	6	-458.1135	-500.3500	-1495.4530
6	6	-417.6987	1392.9980	-1420.0930
6	7	-417.6987	-1107.0020	-705.1050
7	7	-449.5212	1223.4560	-773.8062
7	8	-449.5212	-1276.5440	-906.5271
8	1	-1276.5440	-449.5208	906.5267
8	9	-1276.5440	-449.5208	-666.7962
9	2	-2330.4580	31.8235	-68.7033
9	10	-2330.4580	31.8235	42.6787
10	3	-1893.3580	-40.4153	75.3622
10	11	-1893.3580	-40.4153	-66.0915
11	4	-2199.6480	-195.2069	350.1045
11	12	-2199.6480	-195.2069	-333.1196
12	5	-2199.6450	195.2061	-350.1029
12	13	-2199.6450	195.2061	333.1183
13	6	-1893.3520	40.4146	-75.3609
13	14	-1893.3520	40.4146	66.0902
14	7	-2330.4590	-31.8221	68.7008
14	15	-2330.4590	-31.8221	-42.6766
15	8	-1276.5440	449.5211	-906.5273

15	16	-1276.5440	449.5211	666.7966
16	9	106.8380	1371.0290	-1266.7450
16	10	106.8380	-1128.9710	-661.6016
17	10	39.4093	1108.0630	-691.2869
17	11	39.4093	-1391.9370	-1400.9730
18	11	19.1890	630.8652	-1578.7280
18	12	19.1890	-269.1348	-1036.1410
19	12	24.4681	1800.0000	-1707.7200
19	13	24.4681	-1800.0000	-1707.7200
20	13	19.1891	269.1475	-1036.1560
20	14	19.1891	-630.8525	-1578.7170
21	14	39.4097	1391.9360	-1400.9690
21	15	39.4097	-1108.0640	-691.2902
22	15	106.8381	1128.9710	-661.6008
22	16	106.8381	-1371.0290	-1266.7460
23	9	-2647.5710	-342.6827	599.9487
23	17	-2647.5710	-342.6827	-599.4407
24	10	-4567.4890	-35.6052	72.3640
24	18	-4567.4890	-35.6052	-52.2542
25	11	-3916.1410	-60.6356	111.6552
25	19	-3916.1410	-60.6356	-100.5693
26	12	-4268.7960	-189.9278	338.4532
26	20	-4268.7960	-189.9278	-326.2942
27	13	-4268.7850	189.9271	-338.4519
27	21	-4268.7850	189.9271	326.2931
28	14	-3916.1460	60.6352	-111.6542
28	22	-3916.1460	60.6352	100.5690
29	15	-4567.4920	35.6062	-72.3657
29	23	-4567.4920	35.6062	52.2560
30	16	-2647.5700	342.6829	-599.9490
30	24	-2647.5700	342.6829	599.4412
31	17	7.1766	1336.7050	-1171.7890
31	18	7.1766	-1163.2950	-738.2648
32	18	55.4366	1141.0920	-778.0706
32	19	55.4366	-1358.9080	-1322.6110
33	19	86.9081	577.4027	-1482.8940
33	20	86.9081	-322.5973	-1100.6770
34	20	115.6655	1800.0000	-1717.1770
34	21	115.6655	-1800.0000	-1717.1750
35	21	86.9083	322.5936	-1100.6760
35	22	86.9083	-577.4064	-1482.8870
36	22	55.4372	1358.9070	-1322.6080
36	23	55.4372	-1141.0930	-778.0732
37	23	7.1768	1163.2950	-738.2646
37	24	7.1768	-1336.7050	-1171.7890
38	17	-3984.2700	-335.5060	572.3480
38	25	-3984.2700	-335.5060	-601.9231
39	18	-6871.8720	12.6549	-12.4485
39	26	-6871.8720	12.6549	31.8438
40	19	-5852.4510	-29.1641	59.7113
40	27	-5852.4510	-29.1641	-42.3632
41	20	-6391.3780	-161.1705	290.2028
41	28	-6391.3780	-161.1705	-273.8939

42	21	-6391.3900	161.1699	-290.2016
42	29	-6391.3900	161.1699	273.8930
43	22	-5852.4710	29.1641	-59.7112
43	30	-5852.4710	29.1641	42.3633
44	23	-6871.8770	-12.6543	12.4473
44	31	-6871.8770	-12.6543	-31.8427
45	24	-3984.2750	335.5061	-572.3480
45	32	-3984.2750	335.5061	601.9233
46	25	223.5889	1262.0170	-962.2183
46	26	223.5889	-1237.9830	-902.1338
47	26	201.8611	1186.0210	-891.3491
47	27	201.8611	-1313.9790	-1211.2430
48	27	217.1606	441.2914	-1293.8800
48	28	217.1606	-458.7086	-1320.0040
49	28	336.5740	1800.0000	-1729.8600
49	29	336.5740	-1800.0000	-1729.8590
50	29	217.1610	458.7089	-1320.0020
50	30	217.1610	-441.2911	-1293.8720
51	30	201.8616	1313.9780	-1211.2420
51	31	201.8616	-1186.0220	-891.3506
52	31	223.5889	1237.9830	-902.1337
52	32	223.5889	-1262.0170	-962.2186
53	25	-5246.2870	-111.9169	360.2953
53	33	-5246.2870	-111.9169	-199.2894
54	26	-9295.8730	-9.0729	21.0591
54	34	-9295.8730	-9.0729	-24.3052
55	27	-7607.7230	-13.8646	40.2614
55	35	-7607.7230	-13.8646	-29.0617
56	28	-8650.0860	-41.7570	135.9590
56	36	-8650.0860	-41.7570	-72.8261
57	29	-8650.1030	41.7569	-135.9585
57	37	-8650.1030	41.7569	72.8260
58	30	-7607.7460	13.8647	-40.2614
58	38	-7607.7460	13.8647	29.0619
59	31	-9295.8790	9.0730	-21.0595
59	39	-9295.8790	9.0730	24.3056
60	32	-5246.2920	111.9170	-360.2954
60	40	-5246.2920	111.9170	199.2896

3.2.6 Análisis del marco 2 por carga muerta

Desplazamientos, reacciones y fuerzas en los elementos

- Desplazamiento nodal mayor → Delta X = 0.0M

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
33	278.225	13218.460	-492.987
34	33.134	23810.620	-75.351
35	-111.570	18376.890	174.648
36	301.029	22307.460	-511.047
37	-301.030	22307.440	511.048
38	111.570	18376.890	-174.647
39	-33.134	23810.620	75.352
40	-278.226	13218.450	492.988

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-1146.1390	3209.8000	-2305.0700
1	2	-1146.1390	-3075.2000	-1968.5730
2	2	-1128.5040	2949.1040	-1929.3830
2	3	-1128.5040	-3335.8960	-2896.3650
3	3	-578.4807	1205.5150	-1836.2830
3	4	-578.4807	-918.8446	-1406.2750
4	4	-1889.5760	4734.0000	-3929.1560
4	5	-1889.5760	-4734.0000	-3929.1580
5	5	-578.4799	918.8459	-1406.2780
5	6	-578.4799	-1205.5140	-1836.2810
6	6	-1128.5050	3335.8960	-2896.3630
6	7	-1128.5050	-2949.1040	-1929.3850
7	7	-1146.1380	3075.2000	-1968.5720
7	8	-1146.1380	-3209.8000	-2305.0710
8	1	-3209.7980	-1146.1390	2305.0700
8	9	-3209.7980	-1146.1390	-1706.4170
9	2	-6024.3120	17.6349	-39.1891
9	10	-6024.3120	17.6349	22.5328
10	3	-4541.4150	550.0232	-1060.0820
10	11	-4541.4150	550.0232	864.9993
11	4	-5652.8410	-1311.0950	2522.8810
11	12	-5652.8410	-1311.0950	-2065.9510
12	5	-5652.8500	1311.0950	-2522.8820
12	13	-5652.8500	1311.0950	2065.9520
13	6	-4541.4110	-550.0242	1060.0840
13	14	-4541.4110	-550.0242	-865.0009
14	7	-6024.3080	-17.6341	39.1877
14	15	-6024.3080	-17.6341	-22.5315
15	8	-3209.7990	1146.1390	-2305.0700
15	16	-3209.7990	1146.1390	1706.4170

16	9	271.2486	3468.4450	-3238.7990
16	10	271.2486	-2816.5550	-1609.0770
17	10	140.3635	2865.9690	-1804.8050
17	11	140.3635	-3419.0310	-3187.4590
18	11	-75.7291	1489.8620	-1755.7320
18	12	-75.7291	-634.4978	-472.6844
19	12	235.2081	4734.0000	-4284.5110
19	13	235.2081	-4734.0000	-4284.5140
20	13	-75.7290	634.5007	-472.6888
20	14	-75.7290	-1489.8590	-1755.7280
21	14	140.3634	3419.0300	-3187.4560
21	15	140.3634	-2865.9700	-1804.8060
22	15	271.2487	2816.5550	-1609.0750
22	16	271.2487	-3468.4450	-3238.8010
23	9	-6678.2450	-874.8903	1532.3830
23	17	-6678.2450	-874.8903	-1529.7330
24	10	-11706.8300	-113.2504	218.2611
24	18	-11706.8300	-113.2504	-178.1153
25	11	-9450.2900	333.9307	-566.7263
25	19	-9450.2900	333.9307	602.0313
26	12	-11021.3500	-1000.1580	1745.8720
26	20	-11021.3500	-1000.1580	-1754.6800
27	13	-11021.3500	1000.1580	-1745.8730
27	21	-11021.3500	1000.1580	1754.6810
28	14	-9450.2940	-333.9315	566.7277
28	22	-9450.2940	-333.9315	-602.0325
29	15	-11706.8100	113.2511	-218.2624
29	23	-11706.8100	113.2511	178.1165
30	16	-6678.2290	874.8904	-1532.3830
30	24	-6678.2290	874.8904	1529.7340
31	17	24.8154	3372.2700	-2980.8670
31	18	24.8154	-2912.7300	-1832.0160
32	18	125.1418	2962.1280	-2047.4620
32	19	125.1418	-3322.8720	-2949.3190
33	19	249.2015	1357.3080	-1591.2060
33	20	249.2015	-767.0521	-705.8224
34	20	181.4693	4734.0000	-4277.6620
34	21	181.4693	-4734.0000	-4277.6650
35	21	249.2011	767.0547	-705.8273
35	22	249.2011	-1357.3050	-1591.2020
36	22	125.1417	3322.8710	-2949.3180
36	23	125.1417	-2962.1290	-2047.4620
37	23	24.8153	2912.7290	-1832.0150
37	24	24.8153	-3372.2710	-2980.8680
38	17	-10050.5100	-850.0748	1451.1340
38	25	-10050.5100	-850.0748	-1524.1280
39	18	-17581.6700	-12.9241	37.3298
39	26	-17581.6700	-12.9241	-7.9045
40	19	-14130.4800	457.9906	-756.0825
40	27	-14130.4800	457.9906	846.8848
41	20	-16522.4000	-1067.8900	1817.1580
41	28	-16522.4000	-1067.8900	-1920.4560
42	21	-16522.3900	1067.8900	-1817.1590

42	29	-16522.3900	1067.8900	1920.4570
43	22	-14130.4800	-457.9909	756.0832
43	30	-14130.4800	-457.9909	-846.8851
44	23	-17581.6700	12.9245	-37.3306
44	31	-17581.6700	12.9245	7.9052
45	24	-10050.5000	850.0753	-1451.1350
45	32	-10050.5000	850.0753	1524.1280
46	25	571.8494	3167.9470	-2422.2690
46	26	571.8494	-3117.0530	-2295.0330
47	26	551.6400	3111.9020	-2393.2550
47	27	551.6400	-3173.0980	-2546.2460
48	27	205.2194	1073.3090	-1316.1600
48	28	205.2194	-1051.0510	-1282.7720
49	28	972.0795	4734.0000	-4197.3260
49	29	972.0795	-4734.0000	-4197.3300
50	29	205.2188	1051.0520	-1282.7740
50	30	205.2188	-1073.3080	-1316.1580
51	30	551.6401	3173.0980	-2546.2460
51	31	551.6401	-3111.9020	-2393.2550
52	31	571.8497	3117.0520	-2295.0320
52	32	571.8497	-3167.9480	-2422.2700
53	25	-13218.4600	-278.2253	898.1399
53	33	-13218.4600	-278.2253	-492.9865
54	26	-23810.6200	-33.1337	90.3175
54	34	-23810.6200	-33.1337	-75.3509
55	27	-18376.8900	111.5702	-383.2025
55	35	-18376.8900	111.5702	174.6485
56	28	-22307.4600	-301.0294	994.0997
56	36	-22307.4600	-301.0294	-511.0475
57	29	-22307.4400	301.0297	-994.1002
57	37	-22307.4400	301.0297	511.0484
58	30	-18376.8900	-111.5698	383.2017
58	38	-18376.8900	-111.5698	-174.6474
59	31	-23810.6200	33.1341	-90.3186
59	39	-23810.6200	33.1341	75.3521
60	32	-13218.4500	278.2257	-898.1409
60	40	-13218.4500	278.2257	492.9876

3.2.7 Análisis del marco A por carga sísmica

Desplazamientos, reacciones y fuerzas en los elementos

Desplazamiento nodal mayor → $\Delta X = 0.036M \cong 3.6$

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
13	-46974.560	-114533.000	143118.800
14	-58111.710	516.950	161626.800
15	-46813.020	114016.000	142555.000

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-44725.5500	-10914.6500	35678.1700
1	2	-44725.5500	-10914.6500	-29809.7300
2	2	-15084.0700	-10830.3700	29699.7800
2	3	-15084.0700	-10830.3700	-35282.4300
3	1	10914.6500	15274.7400	-35678.2500
3	4	10914.6500	15274.7400	17783.4300
4	2	-84.2628	29641.0600	-59509.6100
4	5	-84.2628	29641.0600	44234.1700
5	3	-10830.3500	15084.0100	-35282.3300
5	6	-10830.3500	15084.0100	17511.5400
6	4	-32597.1200	-23965.0000	75847.8000
6	5	-32597.1200	-23965.0000	-67942.2100
7	5	-13410.9200	-23828.9800	67725.2900
7	6	-13410.9200	-23828.9800	-75248.6100
8	4	34879.6400	28677.6800	-58064.3400
8	7	34879.6400	28677.6800	42307.5400
9	5	-220.2897	48828.6600	-91433.3000
9	8	-220.2897	48828.6600	79466.9200
10	6	-34659.3000	28494.0300	-57737.2000
10	9	-34659.3000	28494.0300	41991.8600
11	7	-24793.3100	-35230.4600	111118.1000
11	8	-24793.3100	-35230.4600	-100264.7000
12	8	-5789.6070	-35080.8400	100011.4000
12	9	-5789.6070	-35080.8400	-110473.6000
13	7	70110.0900	34484.8000	-68810.7900
13	10	70110.0900	34484.8000	51885.9600
14	8	-369.9152	67831.2300	-120809.3000
14	11	-369.9152	67831.2300	116600.0000
15	9	-69740.0900	34283.6400	-68481.8000
15	12	-69740.0900	34283.6400	51510.9500
16	10	-2809.9580	-44422.9100	143639.9000
16	11	-2809.9580	-44422.9100	-122897.6000
17	11	-12529.4100	-44275.8800	122634.2000

17	12	-12529.4100	-44275.8800	-143021.1000
18	10	114533.0000	46974.5500	-91754.0000
18	13	114533.0000	46974.5500	143118.8000
19	11	-516.9485	58111.7100	-128931.8000
19	14	-516.9485	58111.7100	161626.8000
20	12	-114015.9000	46813.0300	-91510.1000
20	15	-114015.9000	46813.0300	142555.0000

3.2.8 Análisis del marco A por carga viva

Desplazamientos, reacciones y fuerzas en los elementos

- Desplazamiento nodal mayor → Delta X = 0.0m

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
13	83.107	3590.874	-142.226
14	.000	6818.412	.000
15	-83.107	3590.871	142.226

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-372.9251	875.5809	-747.7419
1	2	-372.9251	-874.4391	-744.3165
2	2	-372.9251	874.4391	-744.3167
2	3	-372.9251	-875.5809	-747.7418
3	1	-875.5802	-372.9250	747.7419
3	4	-875.5802	-372.9250	-557.4960
4	2	-1748.8800	.0000	.0000
4	5	-1748.8800	.0000	.0000
5	3	-875.5804	372.9250	-747.7419
5	6	-875.5804	372.9250	557.4958
6	4	112.8560	937.4841	-1007.4290
6	5	112.8560	-812.5359	-632.5841
7	5	112.8559	812.5359	-632.5842
7	6	112.8559	-937.4842	-1007.4290
8	4	-1813.0650	-260.0691	449.9331
8	7	-1813.0650	-260.0691	-460.3087
9	5	-3373.9500	.0000	.0001
9	8	-3373.9500	.0000	-.0001
10	6	-1813.0640	260.0691	-449.9330
10	9	-1813.0640	260.0691	460.3088
11	7	-16.4782	911.8690	-926.5491
11	8	-16.4782	-838.1511	-705.3949
12	8	-16.4782	838.1511	-705.3950
12	9	-16.4782	-911.8690	-926.5488
13	7	-2724.9330	-276.5473	466.2401
13	10	-2724.9330	-276.5473	-501.6754

14	8	-5050.2520	-.0001	.0001
14	11	-5050.2520	-.0001	-.0001
15	9	-2724.9310	276.5473	-466.2402
15	12	-2724.9310	276.5473	501.6754
16	10	193.4402	865.9406	-774.9846
16	11	193.4402	-884.0795	-829.4012
17	11	193.4403	884.0795	-829.4013
17	12	193.4403	-865.9406	-774.9845
18	10	-3590.8730	-83.1070	273.3093
18	13	-3590.8730	-83.1070	-142.2258
19	11	-6818.4120	.0000	.0001
19	14	-6818.4120	.0000	-.0001
20	12	-3590.8720	83.1070	-273.3092
20	15	-3590.8720	83.1070	142.2256

3.2.9 Análisis del marco A por carga muerta

Desplazamientos, reacciones y fuerzas en los elementos

- Desplazamiento nodal mayor → Delta X = 0.0m

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
13	262.140	11326.510	-448.616
14	.000	21506.980	.000
15	-262.140	11326.500	448.615

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-1176.2990	2761.8010	-2358.5640
1	2	-1176.2990	-2758.1990	-2347.7600
2	2	-1176.2990	2758.1990	-2347.7600
2	3	-1176.2990	-2761.8010	-2358.5640
3	1	-2761.8000	-1176.2990	2358.5650
3	4	-2761.8000	-1176.2990	-1758.4820
4	2	-5516.3980	.0000	.0001
4	5	-5516.3980	.0000	.0000
5	3	-2761.7970	1176.2990	-2358.5650
5	6	-2761.7970	1176.2990	1758.4810
6	4	355.9760	2957.0590	-3177.6830
6	5	355.9760	-2562.9410	-1995.3280
7	5	355.9759	2562.9410	-1995.3280

7	6	355.9759	-2957.0590	-3177.6830
8	4	-5718.8590	-820.3228	1419.2010
8	7	-5718.8590	-820.3228	-1451.9290
9	5	-10642.2800	-.0001	.0001
9	8	-10642.2800	-.0001	-.0002
10	6	-5718.8520	820.3228	-1419.2010
10	9	-5718.8520	820.3228	1451.9290
11	7	-51.9763	2876.2630	-2922.5670
11	8	-51.9763	-2643.7370	-2224.9910
12	8	-51.9764	2643.7370	-2224.9910
12	9	-51.9764	-2876.2630	-2922.5670
13	7	-8595.1200	-872.2991	1470.6380
13	10	-8595.1200	-872.2991	-1582.4090
14	8	-15929.7600	-.0002	.0003
14	11	-15929.7600	-.0002	-.0003
15	9	-8595.1090	872.2993	-1470.6380
15	12	-8595.1090	872.2993	1582.4090
16	10	610.1589	2731.3930	-2444.4950
16	11	610.1589	-2788.6070	-2616.1380
17	11	610.1590	2788.6070	-2616.1390
17	12	610.1590	-2731.3930	-2444.4950
18	10	-11326.5100	-262.1403	862.0857
18	13	-11326.5100	-262.1403	-448.6156
19	11	-21506.9700	-.0001	.0001
19	14	-21506.9700	-.0001	-.0003
20	12	-11326.5000	262.1402	-862.0857
20	15	-11326.5000	262.1402	448.6152

3.2.10 Análisis del marco B por carga sísmica

Desplazamientos, reacciones y fuerzas en los elementos

Desplazamiento nodal mayor → Delta X = 0.036M ≅ 3.6

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
13	-46974.560	-114533.000	143118.800
14	-58111.710	516.950	161626.800
15	-46813.020	114016.000	142555.000

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-44725.5500	-10914.6500	35678.1700
1	2	-44725.5500	-10914.6500	-29809.7300
2	2	-15084.0700	-10830.3700	29699.7800
2	3	-15084.0700	-10830.3700	-35282.4300
3	1	10914.6500	15274.7400	-35678.2500
3	4	10914.6500	15274.7400	17783.4300
4	2	-84.2628	29641.0600	-59509.6100
4	5	-84.2628	29641.0600	44234.1700
5	3	-10830.3500	15084.0100	-35282.3300
5	6	-10830.3500	15084.0100	17511.5400
6	4	-32597.1200	-23965.0000	75847.8000
6	5	-32597.1200	-23965.0000	-67942.2100
7	5	-13410.9200	-23828.9800	67725.2900
7	6	-13410.9200	-23828.9800	-75248.6100
8	4	34879.6400	28677.6800	-58064.3400
8	7	34879.6400	28677.6800	42307.5400
9	5	-220.2897	48828.6600	-91433.3000
9	8	-220.2897	48828.6600	79466.9200
10	6	-34659.3000	28494.0300	-57737.2000
10	9	-34659.3000	28494.0300	41991.8600
11	7	-24793.3100	-35230.4600	111118.1000
11	8	-24793.3100	-35230.4600	-100264.7000
12	8	-5789.6070	-35080.8400	100011.4000
12	9	-5789.6070	-35080.8400	-110473.6000
13	7	70110.0900	34484.8000	-68810.7900
13	10	70110.0900	34484.8000	51885.9600
14	8	-369.9152	67831.2300	-120809.3000
14	11	-369.9152	67831.2300	116600.0000
15	9	-69740.0900	34283.6400	-68481.8000
15	12	-69740.0900	34283.6400	51510.9500
16	10	-2809.9580	-44422.9100	143639.9000
16	11	-2809.9580	-44422.9100	-122897.6000
17	11	-12529.4100	-44275.8800	122634.2000
17	12	-12529.4100	-44275.8800	-143021.1000
18	10	114533.0000	46974.5500	-91754.0000
18	13	114533.0000	46974.5500	143118.8000
19	11	-516.9485	58111.7100	-128931.8000
19	14	-516.9485	58111.7100	161626.8000
20	12	-114015.9000	46813.0300	-91510.1000
20	15	-114015.9000	46813.0300	142555.0000

3.2.11 Análisis del marco B por carga viva

Desplazamientos, reacciones y fuerzas en los elementos

Desplazamiento nodal mayor → Delta X = 0.0M

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
13	170.961	7386.855	-292.575
14	.000	14026.290	.000
15	-170.961	7386.850	292.575

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-767.1514	1801.1740	-1538.1940
1	2	-767.1514	-1798.8260	-1531.1480
2	2	-767.1513	1798.8260	-1531.1480
2	3	-767.1513	-1801.1740	-1538.1940
3	1	-1801.1740	-767.1514	1538.1940
3	4	-1801.1740	-767.1514	-1146.8360
4	2	-3597.6540	.0000	.0000
4	5	-3597.6540	.0000	.0001
5	3	-1801.1720	767.1513	-1538.1940
5	6	-1801.1720	767.1513	1146.8360
6	4	232.1582	1928.5170	-2072.4020
6	5	232.1582	-1671.4830	-1301.3010
7	5	232.1582	1671.4830	-1301.3010
7	6	232.1582	-1928.5170	-2072.4020
8	4	-3729.6920	-534.9932	925.5662
8	7	-3729.6920	-534.9932	-946.9101
9	5	-6940.6210	-.0001	.0000
9	8	-6940.6210	-.0001	-.0002
10	6	-3729.6860	534.9932	-925.5660
10	9	-3729.6860	534.9932	946.9101
11	7	-33.8976	1875.8230	-1906.0220
11	8	-33.8976	-1724.1770	-1451.0810
12	8	-33.8976	1724.1770	-1451.0810
12	9	-33.8976	-1875.8230	-1906.0220
13	7	-5605.5130	-568.8907	959.1116
13	10	-5605.5130	-568.8907	-1032.0060
14	8	-10388.9700	-.0001	.0001
14	11	-10388.9700	-.0001	-.0001
15	9	-5605.5070	568.8907	-959.1118
15	12	-5605.5070	568.8907	1032.0060
16	10	397.9297	1781.3430	-1594.2360
16	11	397.9297	-1818.6570	-1706.1770
17	11	397.9298	1818.6570	-1706.1770

17	12	397.9298	-1781.3430	-1594.2360
18	10	-7386.8540	-170.9610	562.2298
18	13	-7386.8540	-170.9610	-292.5754
19	11	-14026.2900	.0000	.0000
19	14	-14026.2900	.0000	-.0001
20	12	-7386.8500	170.9610	-562.2297
20	15	-7386.8500	170.9610	292.5751

3.2.12 Análisis del marco B por carga muerta

Desplazamientos, reacciones y fuerzas en los elementos

Desplazamiento nodal mayor → Delta X = 0.0M

Reacciones:

Nodo	Fuerza X	Fuerza Y	Momento z
13	438.800	18959.590	-750.943
14	.000	36000.800	.000
15	-438.800	18959.580	750.943

Fuerzas y momentos en los extremos de los elementos:

Elemento	Nodo	F. Axial(x)	F.Cort.(y)	Momento(z)
1	1	-1969.0220	4623.0140	-3948.0320
1	2	-1969.0220	-4616.9860	-3929.9470
2	2	-1969.0220	4616.9860	-3929.9470
2	3	-1969.0220	-4623.0140	-3948.0310
3	1	-4623.0120	-1969.0220	3948.0320
3	4	-4623.0120	-1969.0220	-2943.5450
4	2	-9233.9760	.0000	.0000
4	5	-9233.9760	.0000	.0001
5	3	-4623.0130	1969.0220	-3948.0320
5	6	-4623.0130	1969.0220	2943.5440
6	4	595.8730	4949.8590	-5319.1630
6	5	595.8730	-4290.1410	-3340.0060
7	5	595.8727	4290.1410	-3340.0060
7	6	595.8727	-4949.8590	-5319.1640
8	4	-9572.8770	-1373.1490	2375.6200
8	7	-9572.8770	-1373.1490	-2430.4030
9	5	-17814.2500	.0000	-.0001
9	8	-17814.2500	.0000	-.0003
10	6	-9572.8660	1373.1490	-2375.6190
10	9	-9572.8660	1373.1490	2430.4030
11	7	-87.0038	4814.6130	-4892.1230
11	8	-87.0038	-4425.3870	-3724.4430

12	8	-87.0039	4425.3870	-3724.4420
12	9	-87.0039	-4814.6130	-4892.1230
13	7	-14387.4800	-1460.1530	2461.7190
13	10	-14387.4800	-1460.1530	-2648.8150
14	8	-26665.0300	-.0001	.0002
14	11	-26665.0300	-.0001	-.0001
15	9	-14387.4700	1460.1530	-2461.7200
15	12	-14387.4700	1460.1530	2648.8150
16	10	1021.3530	4572.1140	-4091.8720
16	11	1021.3530	-4667.8860	-4379.1880
17	11	1021.3530	4667.8860	-4379.1880
17	12	1021.3530	-4572.1140	-4091.8720
18	10	-18959.5900	-438.7999	1443.0560
18	13	-18959.5900	-438.7999	-750.9432
19	11	-36000.8000	.0000	-.0001
19	14	-36000.8000	.0000	.0000
20	12	-18959.5800	438.7999	-1443.0560
20	15	-18959.5800	438.7999	750.9431

4. COMBINACIONES DE CARGA

Las normas AGIES 2002 especifican dos métodos para el diseño de los elementos de la estructura por combinaciones de carga, uno especifica solamente las solicitaciones gravitacionales, viento, empuje laterales, o por efectos de temperatura, contracción o asentamiento. Este método de diseño es el de esfuerzos de servicio o método de resistencia mejor conocido como de resistencia última, especificado en el capítulo número 8 numeral 8.5.2, de la norma NR-2. El otro método norma que se utilizará es el método de resistencia para solicitaciones sísmicas, especificado en el numeral 8.5.4 de la norma NR-2, y por último se diseñará las dimensiones de la cimentación de acuerdo a las combinaciones que propone el numeral 8.5.6 de la norma NR-2.

4.1 Combinaciones de carga para el diseño por el método de esfuerzos de servicio

Cargas de gravedad.....	M + V
Cargas de viento.....	M + V ± W
Empujes laterales	M + V + E _f M + V + E _s
Efectos de temperatura, contracción o asentamiento...	M + V ± A

Combinaciones de carga para sismo de servicio

Para revisar el estado límite de servicio, es decir, con el fin de controlar las deformaciones y verificar que ningún elemento llegue a la fluencia debido al sismo frecuente de todos los sistemas constructivos incluyendo concreto, acero, madera y mampostería.

$$M + V \pm S_s$$

$$M \pm S_s$$

Donde S_s está en función del sismo frecuente $S_F(T)$, calculado de acuerdo a la ecuación 3.2 de la norma NR-2.

4.2 Combinaciones de carga para el diseño por el método de resistencia a la cedencia

También llamado método de resistencia y menos correctamente llamado método de resistencia última, se utilizarán las siguientes combinaciones.

Cargas por gravedad	1.4M + 1.7V
Cargas por viento.....	0.75(1.4M + 1.7V ± 1.7w)
Empuje de fluidos.....	1.4m+ 1.7v + 1.4E _F
Efecto de temperatura, contracción o asentamiento...	1.4M ± 1.4A
	0.75(1.4M + 1.7A ± 1.7V)

4.3 Combinaciones de carga para diseño sismorresistente

$$1.2M + V \pm S$$

$$0.8 \pm S$$

Muros y columnas

$$M \pm S$$

4.4 Combinaciones de carga para cimentaciones

Para dimensionar el tamaño de la cimentación y para verificar los esfuerzos en el suelo se utilizarán los siguientes criterios.

- Para solicitaciones gravitacionales, de viento y otros empujes se usarán las siguientes combinaciones.

Cargas por gravedad.....M + V

Cargas de vientoM + V \pm W

Empuje de fluidos..... M + V + E_f

Empuje de suelos..... M + V + E_s

Asentamiento, temperatura y/o retracciones M + V + A

Los esfuerzos de la masa de suelo correspondientes a las solicitaciones anteriores no excederán la capacidad soporte permisible (Q_s) del suelo, según se define en el inciso 6.2.2.1 de la norma NR-3. Cuando intervienen cargas transitorias, como las de viento y algunos tipos de empujes, pueden incrementar la capacidad soporte permisible entre $1.33Q_s$ y $1.5Q_s$ según lo indique el ingeniero geotécnico.

La excentricidad de las solicitaciones gravitacionales respecto al centroide del cimiento no deberá exceder un octavo de la longitud del cimiento en la dirección analizada. En el caso de cargas de viento y otros efectos no deberá exceder un sexto de la longitud del cimiento.

- Para solicitaciones sísmicas se usarán las siguientes combinaciones

$$1.2M + V \pm S$$

$$M \pm S$$

Lo anterior se establece por medio de la teoría elástica y no excederá a la capacidad límite (Q_U) del suelo definido en el numeral 6.2.2.3 de la norma NR-3, la capacidad límite a usarse en el diseño la establecerá el ingeniero geotécnico, como guía se usará la que define la ecuación 8.27 de la norma NR-2.

$$Q_U = FSQ_S\phi$$

Donde:

Q_S : es la capacidad soporte de servicio del suelo.

FS : es el factor de seguridad originalmente utilizado para obtener Q_S a partir de los resultados de los ensayos de suelo. (orden del 3 al 5)

ϕ : es un factor de reducción de capacidad que puede estimarse alrededor de 0.67. La excentricidad de la combinación de cargas no excederá un cuarto de la longitud de la cimentación en la dirección considerada.

Respecto a lo anterior y con base a los diagramas de la sección 3.1.2 de este texto se tiene las siguientes combinaciones.

Combinación de cargas

Eje X, marco 1

Elm.	Nodo	CV	CM	CS	1.4M+1.7V	1.2M+V+S	1.2M+V-S	0.8M+S	0.8M-S	M+S	M-S
1	1	-0,45	-1,29	10,06	-2,58	8,06	-12,07	9,03	-11,10	8,77	-11,36
1	2	-0,39	-1,17	-6,92	-2,30	-8,72	5,13	-7,86	5,98	-8,10	5,75
2	2	-0,35	-1,13	12,17	-2,18	10,47	-13,88	11,27	-13,07	11,04	-13,30
2	3	-0,71	-1,85	-13	-3,79	-15,96	10,11	-14,51	11,56	-14,88	11,19
3	3	-0,75	-1,76	3,452	-3,74	0,59	-6,32	2,04	-4,86	1,69	-5,22
3	4	-0,67	-0,73	-2,88	-2,16	-4,43	1,34	-3,47	2,30	-3,61	2,16
4	4	-0,85	-3,77	13,83	-6,72	8,46	-19,20	10,81	-16,84	10,06	-17,60
4	5	-0,85	-3,77	-13,7	-6,72	-19,10	8,36	-16,75	10,71	-17,50	9,96
5	5	-0,67	-0,73	2,683	-2,16	1,14	-4,23	2,10	-3,27	1,95	-3,41
5	6	-0,75	-1,76	-3,22	-3,74	-6,08	0,35	-4,63	1,81	-4,98	1,45
6	6	-0,71	-1,85	12,39	-3,79	9,47	-15,32	10,91	-13,87	10,54	-14,24
6	7	-0,35	-1,13	-11,4	-2,18	-13,09	9,68	-12,28	10,48	-12,51	10,25
7	7	-0,39	-1,17	6,183	-2,30	4,39	-7,98	5,24	-7,12	5,01	-7,36
7	8	-0,45	-1,29	-8,85	-2,58	-10,85	6,85	-9,88	7,82	-10,14	7,56
8	1	0,453	1,29	-10,1	2,58	-8,06	12,07	-9,03	11,10	-8,77	11,36
8	9	-0,33	-0,94	5,417	-1,89	3,95	-6,88	4,66	-6,17	4,47	-6,36
9	2	-0,03	-0,05	-19,1	-0,13	-19,19	19,00	-19,13	19,06	-19,14	19,05
9	10	0,021	0,04	14,74	0,09	14,81	-14,68	14,77	-14,71	14,78	-14,70
10	3	0,038	-0,08	-16,5	-0,05	-16,55	16,43	-16,55	16,42	-16,57	16,41
10	11	-0,03	0,02	13,28	-0,02	13,27	-13,28	13,30	-13,26	13,30	-13,25
11	4	0,175	3,04	-16,7	4,56	-12,88	20,54	-14,28	19,15	-13,67	19,75
11	12	-0,17	-2,52	13,11	-3,81	9,92	-16,30	11,10	-15,12	10,59	-15,63
12	5	-0,18	-3,04	-16,4	-4,56	-20,24	12,59	-18,85	13,98	-19,46	13,37
12	13	0,167	2,52	12,85	3,81	16,04	-9,66	14,86	-10,84	15,37	-10,33
13	6	-0,04	0,08	-15,6	0,05	-15,55	15,67	-15,54	15,67	-15,52	15,69
13	14	0,033	-0,02	12,51	0,02	12,51	-12,50	12,49	-12,53	12,49	-12,53
14	7	0,034	0,05	-17,6	0,13	-17,47	17,65	-17,52	17,60	-17,52	17,61
14	15	-0,02	-0,04	13,45	-0,09	13,39	-13,52	13,42	-13,48	13,41	-13,49
15	8	-0,45	-1,29	-8,85	-2,58	-10,85	6,85	-9,88	7,82	-10,14	7,56
15	16	0,333	0,94	4,547	1,89	6,01	-3,08	5,30	-3,79	5,49	-3,60
16	9	-0,63	-1,84	22,9	-3,65	20,07	-25,74	21,44	-24,37	21,07	-24,74
16	10	-0,33	-0,97	-19,5	-1,91	-20,98	18,00	-20,26	18,72	-20,46	18,52
17	10	-0,35	-1,09	23,57	-2,11	21,92	-25,22	22,70	-24,44	22,48	-24,65
17	11	-0,7	-1,93	-23,4	-3,90	-26,39	20,35	-24,91	21,82	-25,30	21,43
18	11	-0,79	-2,05	18,15	-4,21	14,90	-21,40	16,51	-19,79	16,10	-20,20
18	12	-0,52	0,47	-18,2	-0,23	-18,15	18,23	-17,81	18,56	-17,72	18,66

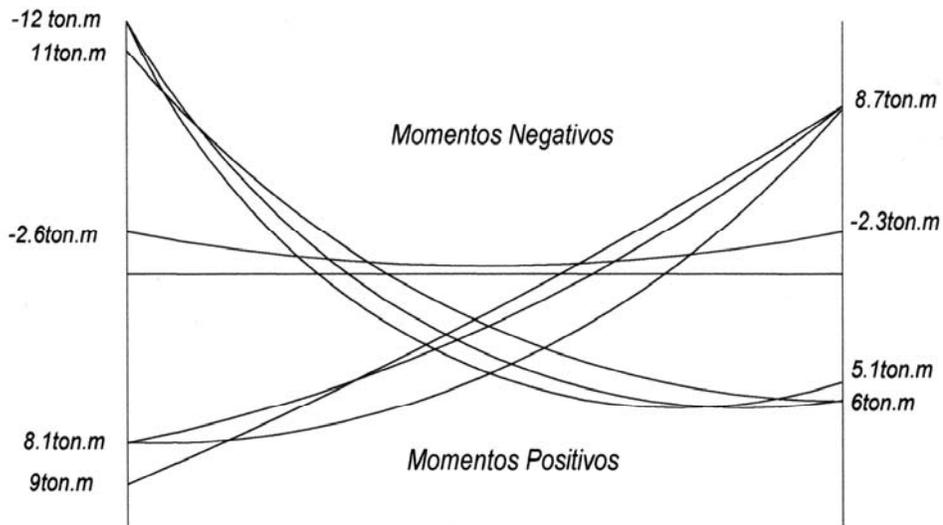
19	12	-0,85	-4,18	22,41	-7,30	16,54	-28,28	19,07	-25,76	18,23	-26,59
19	13	-0,85	-4,18	-22,3	-7,30	-28,15	16,41	-25,63	18,94	-26,46	18,10
20	13	-0,52	0,47	17,68	-0,23	17,73	-17,64	18,06	-17,31	18,15	-17,21
20	14	-0,79	-2,05	-17,5	-4,21	-20,74	14,25	-19,13	15,86	-19,54	15,45
21	14	-0,7	-1,93	22,28	-3,90	19,26	-25,30	20,73	-23,83	20,35	-24,21
21	15	-0,35	-1,09	-22,2	-2,11	-23,86	20,56	-23,08	21,35	-23,30	21,13
22	15	-0,33	-0,97	17,95	-1,91	16,45	-19,44	17,17	-18,72	16,98	-18,91
22	16	-0,63	-1,84	-20,8	-3,65	-23,62	17,95	-22,26	19,32	-22,62	18,95
23	9	0,3	0,89	-17,5	1,76	-16,12	18,86	-16,77	18,20	-16,60	18,38
23	17	-0,3	-0,88	13,41	-1,74	12,05	-14,77	12,70	-14,11	12,53	-14,29
24	10	0,036	0,16	-28,3	0,28	-28,09	28,54	-28,19	28,44	-28,16	28,47
24	18	-0,03	-0,13	25,28	-0,22	25,10	-25,46	25,18	-25,38	25,15	-25,41
25	11	0,056	0,14	-28,2	0,29	-28,02	28,46	-28,13	28,35	-28,10	28,38
25	19	-0,05	-0,08	25,59	-0,20	25,44	-25,73	25,52	-25,65	25,51	-25,67
26	12	0,169	2,13	-27,5	3,27	-24,77	30,22	-25,79	29,20	-25,36	29,62
26	20	-0,16	-2,12	24,72	-3,25	22,01	-27,43	23,02	-26,42	22,60	-26,84
27	13	-0,17	-2,13	-27,1	-3,27	-29,84	24,39	-28,82	25,41	-29,25	24,98
27	21	0,163	2,12	24,35	3,25	27,06	-21,64	26,04	-22,65	26,47	-22,23
28	14	-0,06	-0,14	-27,3	-0,29	-27,49	27,04	-27,38	27,15	-27,40	27,13
28	22	0,05	0,08	24,62	0,20	24,77	-24,48	24,69	-24,56	24,71	-24,54
29	15	-0,04	-0,16	-26,7	-0,28	-26,93	26,48	-26,83	26,58	-26,87	26,55
29	23	0,026	0,13	23,7	0,22	23,88	-23,52	23,80	-23,60	23,83	-23,57
30	16	-0,3	-0,89	-16,2	-1,76	-17,61	14,87	-16,95	15,53	-17,13	15,35
30	24	0,3	0,88	12,22	1,74	13,57	-10,86	12,92	-11,51	13,10	-11,33
31	17	-0,59	-1,71	33,91	-3,39	31,27	-36,54	32,54	-35,27	32,20	-35,61
31	18	-0,37	-1,07	-29,5	-2,13	-31,17	27,86	-30,37	28,66	-30,59	28,44
32	18	-0,39	-1,23	31,87	-2,38	30,01	-33,73	30,89	-32,85	30,64	-33,10
32	19	-0,66	-1,77	-31,3	-3,60	-34,10	28,53	-32,73	29,90	-33,08	29,55
33	19	-0,74	-1,72	31,05	-3,67	28,24	-33,86	29,67	-32,43	29,33	-32,77
33	20	-0,55	0,07	-31,3	-0,84	-31,75	30,80	-31,22	31,33	-31,21	31,34
34	20	-0,86	-4,19	28,72	-7,32	22,84	-34,60	25,37	-32,07	24,53	-32,91
34	21	-0,86	-4,19	-28,6	-7,32	-34,47	22,70	-31,94	25,24	-32,77	24,40
35	21	-0,55	0,07	30,68	-0,84	30,20	-31,15	30,73	-30,62	30,74	-30,61
35	22	-0,74	-1,72	-30,3	-3,67	-33,10	27,48	-31,67	28,91	-32,01	28,57
36	22	-0,66	-1,77	30,18	-3,60	27,40	-32,97	28,77	-31,60	28,42	-31,95
36	23	-0,39	-1,23	-30,5	-2,38	-32,33	28,60	-31,45	29,48	-31,69	29,24
37	23	-0,37	-1,07	27,79	-2,13	26,13	-29,44	26,93	-28,64	26,71	-28,86
37	24	-0,59	-1,71	-31,6	-3,39	-34,21	28,94	-32,94	30,21	-33,28	29,87
38	17	0,286	0,82	-20,5	1,64	-19,22	21,77	-19,84	21,16	-19,67	21,32
38	25	-0,3	-0,86	14,47	-1,72	13,14	-15,81	13,78	-15,16	13,61	-15,33
39	18	-0,01	0,03	-36,1	0,03	-36,08	36,13	-36,08	36,13	-36,08	36,13

39	26	0,016	-0,01	33,63	0,02	33,64	-33,62	33,63	-33,64	33,62	-33,64
40	19	0,03	-0,12	-36,8	-0,12	-36,90	36,66	-36,88	36,68	-36,90	36,65
40	27	0,145	0,24	34,81	0,58	35,24	-34,38	35,00	-34,62	35,04	-34,57
41	20	-0,14	2,13	-35,3	2,75	-32,85	37,70	-33,57	36,98	-33,14	37,41
41	28	-0,15	-2,21	32,9	-3,34	30,11	-35,70	31,14	-34,67	30,69	-35,11
42	21	0,137	-2,13	-34,9	-2,75	-37,34	32,49	-36,62	33,21	-37,05	32,78
42	29	-0,03	2,21	32,51	3,04	35,14	-29,89	34,28	-30,75	34,72	-30,30
43	22	0,021	0,12	-35,8	0,21	-35,68	36,02	-35,75	35,95	-35,72	35,97
43	30	0,006	-0,24	33,83	-0,32	33,55	-34,11	33,64	-34,02	33,59	-34,07
44	23	-0,02	0,01	-34,6	-0,02	-34,56	34,54	-34,55	34,56	-34,54	34,56
44	31	-0,29	-0,82	31,97	-1,64	30,69	-33,25	31,31	-32,63	31,14	-32,79
45	24	0,301	0,86	-19,4	1,72	-18,03	20,70	-18,67	20,05	-18,50	20,22
45	32	-0,48	-1,40	13,22	-2,77	11,07	-15,38	12,11	-14,34	11,83	-14,62
46	25	-0,45	-1,33	48,78	-2,63	46,73	-50,83	47,71	-49,84	47,45	-50,11
46	26	-0,45	-1,41	-41,1	-2,74	-43,22	38,93	-42,21	39,94	-42,49	39,66
47	26	-0,61	-1,49	38	-3,12	35,60	-40,40	36,81	-39,20	36,51	-39,50
47	27	-0,65	-1,16	-37	-2,72	-39,01	34,94	-37,90	36,05	-38,13	35,82
48	27	-0,66	-0,79	44,4	-2,23	42,79	-46,02	43,77	-45,04	43,61	-45,20
48	28	-0,86	-4,13	-45,3	-7,25	-51,07	39,44	-48,56	41,95	-49,38	41,13
49	28	-0,86	-4,13	33,21	-7,25	27,39	-39,02	29,90	-36,51	29,08	-37,33
49	29	-0,66	-0,79	-33,1	-2,23	-34,71	31,48	-33,73	32,46	-33,89	32,30
50	29	-0,65	-1,16	44,71	-2,72	42,68	-46,74	43,78	-45,63	43,55	-45,87
50	30	-0,61	-1,49	-43,7	-3,12	-46,13	41,33	-44,92	42,53	-45,22	42,23
51	30	-0,45	-1,41	36,06	-2,74	33,91	-38,20	34,93	-37,19	34,64	-37,47
51	31	-0,45	-1,33	-36,9	-2,63	-38,91	34,82	-37,93	35,80	-38,19	35,53
52	31	-0,48	-1,40	39,5	-2,77	37,34	-41,65	38,38	-40,61	38,10	-40,89
52	32	0,18	0,53	-46,6	1,05	-45,79	47,43	-46,18	47,04	-46,08	47,14
53	25	-0,1	-0,30	-34,3	-0,59	-34,77	33,85	-34,55	34,07	-34,61	34,01
53	33	0,011	0,08	49,35	0,13	49,45	-49,24	49,41	-49,28	49,42	-49,27
54	26	-0,01	-0,07	-45,4	-0,11	-45,54	45,36	-45,50	45,39	-45,51	45,38
54	34	0,02	-0,10	54,71	-0,11	54,61	-54,81	54,63	-54,79	54,61	-54,81
55	27	-0,01	0,03	-46,6	0,02	-46,55	46,60	-46,55	46,60	-46,54	46,61
55	35	0,068	1,12	55,07	1,69	56,48	-53,65	55,96	-54,17	56,19	-53,94
56	28	-0,04	-0,58	-45,6	-0,87	-46,29	44,83	-46,02	45,10	-46,14	44,98
56	36	-0,07	-1,12	54,43	-1,69	53,02	-55,85	53,53	-55,33	53,31	-55,56
57	29	0,036	0,58	-45,3	0,87	-44,56	46,02	-44,83	45,75	-44,71	45,87
57	37	-0,02	0,10	54,06	0,11	54,16	-53,96	54,14	-53,98	54,16	-53,96
58	30	0,015	-0,03	-46	-0,02	-45,98	45,93	-45,98	45,93	-45,99	45,92
58	38	-0,01	0,07	54,29	0,07	54,35	-54,22	54,34	-54,23	54,35	-54,22
59	31	0,012	-0,53	-44,4	-0,73	-45,02	43,76	-44,82	43,96	-44,92	43,86
59	39	-0,18	0,30	53,32	0,11	53,51	-53,14	53,57	-53,08	53,63	-53,02

60	32	0,1	-0,54	-33,4	-0,59	-33,94	32,84	-33,82	32,95	-33,93	32,85
60	40	0,1	0,311	47,66	0,61	48,13	-47,19	47,91	-47,41	47,97	-47,35

Por medio de la gráfica (ver figura 25), se puede observar que los valores de las diferentes combinaciones propuestas por AGIES, forman la envolvente de momentos. En la cual se observan los momentos máximos y mínimos por cada elemento, esta gráfica solamente representa el elemento uno de los nodos uno y dos. Los elementos y nodos están representados en las figuras 18 y 19.

Figura 25. Gráfica de momentos aplicados al elemento 1, nodo 1-2.



4.5 Límites de deformación sísmica

4.5.1 Desplazamientos laterales provocados por sismo

Los desplazamientos laterales se calcularán usando las mismas propiedades de rigidez que las utilizadas para el cálculo del período fundamental de vibración y de las fuerzas estáticas equivalentes. Los desplazamientos laterales provocados por sismo están limitados, AGIES especifica en el capítulo 9 de la norma NR-3 estos límites.

4.5.1.1 Límites de deformación sísmica

Los desplazamientos laterales post-elásticos de una edificación causados por el sismo básico no excederán los valores que el numeral 9.4.3 de la norma NR-2, especifica. Estos valores están clasificados con forme el nivel de protección sísmica de la edificación⁴, el capítulo 2 numeral 2.1.1.1 de este texto especifica el nivel de protección sísmica encontrado para esta edificación, el cual se encuentra en una zona 4.2, con un índice de sismicidad $I_0= 4$, y en el cuadro 10 especifica que es “Nivel de protección C2”.

4

Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. **Demandas estructurales, condición de sitio y niveles de protección.** (Guatemala: s.e. 2002) 35pp

Nivel de protección sísmica C2:

$\Delta_N \leq 0.0125h_N$ para la edificación globalmente;

$\Delta_i \leq 0.015(h_i - h_N)$ localmente entre dos entrepisos consecutivos.

Donde:

Δ_N, Δ_i son respectivamente la deriva lateral total de la edificación y la deriva del nivel "i", medidas en las mismas unidades que la altura de la edificación.

h_N, h_i son respectivamente la altura total de la edificación y la altura del nivel "i".

Lo que quiere decir que el límite de deformación sísmica local Δ_x para una edificación con nivel de protección sísmica C2, según AGIES numeral 9.4.3 (b) es de $\Delta_x = 1.15\%$ la altura del entrepiso. Y para el límite de deformación global Δ_N es de 1.25% la altura total del edificio medida desde la base o la plaza.

4.5.2 Desplazamientos laterales para el estado límite de cedencia

4.5.2.1 Desplazamientos laterales post-elásticos

4.5.2.1 Derivas sísmicas en dirección X

Las derivas sísmicas o deformaciones locales entre entrepisos se definen como la diferencia entre los desplazamientos laterales post-elásticos de un nivel en particular “i”, y el nivel inmediato inferior a él, “i-1”, por medio de la siguiente expresión:

$$\Delta_x = \delta_{oi} - \delta_{oi-1}$$

Donde:

δ_{oi} : desplazamiento lateral post-elástico en el nivel “i” producido por el sismo de diseño.

δ_{oi-1} : desplazamiento lateral post-elástico en el nivel “i-1” producido por el diseño.

El desplazamiento lateral post-elástico de cada piso “i”, se obtiene del producto del valor genérico de reducción de respuesta sísmica por el desplazamiento nominal a la fluencia, es decir:

$$\delta_{oi} = R_o \cdot \delta_y$$

Los valores del desplazamiento nominal a la fluencia δ_y , se obtiene por medio del análisis del estático equivalente, o por un programa que analice estructuras y los desplazamientos por nivel⁵.

5

Jack MacCormac y Rudolf E. Elling **Programa para analizar estructuras**. (Ediciones Alfa Omega S.A. 1993)

Los desplazamientos laterales post-elásticos se obtienen da la siguiente manera:

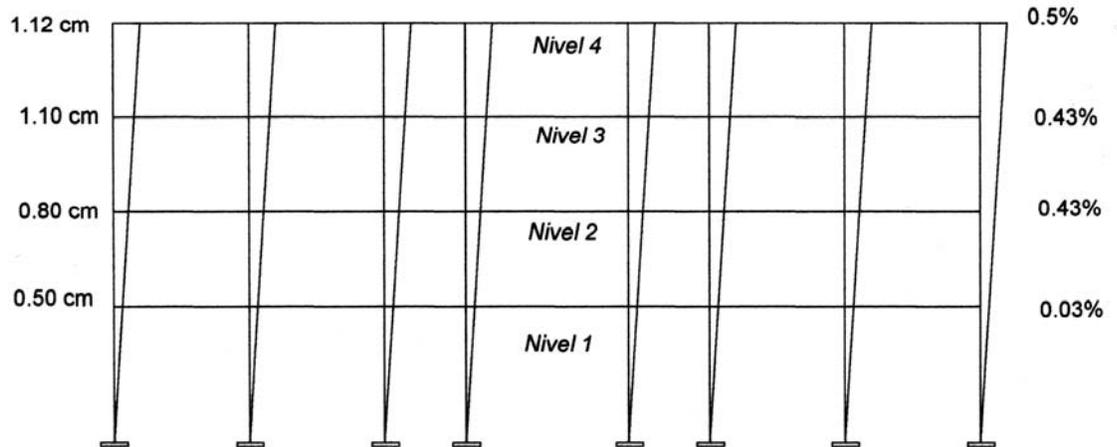
LOSA	R _o	δ_y (cm)	δ_{oi} (cm)
1	5.0	0.5	2.5
2	5.0	0.8	4.0
3	5.0	1.10	5.5
4	5.0	1.12	5.6

Las derivas sísmicas en dirección X, se pueden calcular con los desplazamientos laterales post-elásticos obtenidos en tabla anterior, de la siguiente manera:

Nivel	δ_{oi} (cm) (δ_{oi} en techo)	δ_{oi-1} (cm) (δ_{oi} en techo)	Δ_x (cm) (Δ_x por nivel)	h_x (m) (h_x por nivel)	Δ_x - Estimada Δ_x -Estimada = Δ_x / h_x (%)
1	2.5	0	2.5	5.0	0.5
2	4.0	2.5	1.5	3.5	0.43
3	5.5	4.0	1.5	3.5	0.43
4	5.6	5.5	0.1	3.5	0.03

De los cálculos anteriores se pueden observar que las derivas sísmicas en dirección X, son aceptables, ya que las derivas estimadas son menores que la deriva permisible de 1.15%.

Figura 26. Desplazamientos laterales post-elásticos y derivas sísmicas en dirección X.



4.5.2.1.2 Deformación post-elástica global en dirección X

La deformación post-elástica global se determina dividiendo el desplazamiento lateral post-elástico del último nivel, entre la altura total de la edificación.

$$\Delta_{N\text{-Estimada}} = \delta_{oi\text{-Azotea}} / h_N$$

Cálculo:

$$\Delta_{N\text{-Estimada}} = 5.6 / (5+3.5+3.5+3.5)$$

$$\Delta_{N\text{-Estimada}} = 0.36$$

AGIES permite una deformación global para este tipo de estructura de 1.25%, con lo que se observa que el resultado 36% obtenido, está dentro del rango permisible, por lo tanto es aceptable.

4.5.2.1.3 Derivas sísmicas en dirección Y.

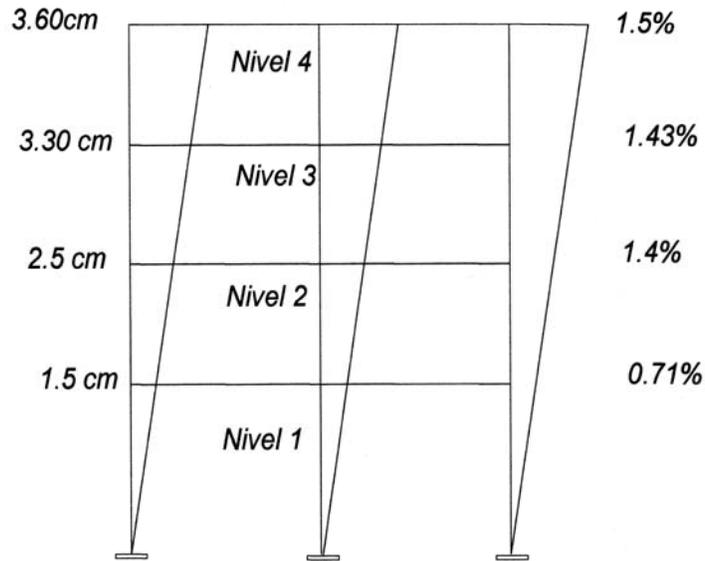
Son los mismos cálculos que para la deriva sísmica en dirección X, el único factor que cambia es el desplazamiento nominal a la fluencia δ_y , ya que el factor genérico de reducción de respuesta sísmica es el mismo para ambas direcciones.

LOSA	R _o	δ_y (cm)	δ_{oi} (cm)
1	5.0	1.5	7.5
2	5.0	2.5	12.5
3	5.0	3.3	16.5
4	5.0	3.8	19.0

Nivel	δ_{oi} (cm) (δ_{oi} en techo)	δ_{oi-1} (cm) (δ_{oi-1} en techo)	Δ_x (cm) (Δ_x por nivel)	h_x (m) (h_x por nivel)	Δ_x - Estimada Δ_x -Estimada = Δ_x / h_x (%)
1	7.5	0	7.5	5.0	1.50
2	12.5	7.5	5.0	3.5	1.43
3	16.5	12.5	4.0	3.5	1.14
4	19.0	16.5	2.5	3.5	0.71

De los cálculos anteriores se puede observar que las derivas sísmicas en dirección “Y” no son aceptables para el porcentaje especificado por AGIES en entresijos, ya que las derivas estimadas son mayores que la deriva permisible de 1.15% numeral 4.5.1.1.

Figura 27. Desplazamientos laterales post-elásticos y derivas sísmicas en dirección Y.



4.5.2.1.4 Deformación post-elástica global en dirección Y

La deformación post-elástica global se determina dividiendo el desplazamiento lateral post-elástico del último nivel, entre la altura total de la edificación.

$$\Delta_{N\text{-Estimada}} = \delta_{oi\text{-Azotea}} / h_N$$

Cálculo:

$$\Delta_{N\text{-Estimada}} = 19 / (5+3.5+3.5+3.5)$$

$$\Delta_{N\text{-Estimada}} = 1.22\%$$

AGIES permite una deformación global para este tipo de estructura de 1.25%, con lo que se observa que el resultado obtenido de 1.22% está dentro del rango permisible, por lo tanto cumple con lo requerido por la norma. Entonces para el eje "Y" no cumple con el porcentaje requerido para entrepisos, pero globalmente para la estructura si cumple.

CONCLUSIONES

1. Al utilizar otros códigos o recomendaciones originados en países con altas sismicidades como la de Guatemala, se procede a clasificar zonas con sismicidad que se supone son equivalentes a la nuestra. Esta suposición no es necesariamente correcta, ya que existen variaciones como la magnitud de los sismos, la distancia de falla que genera el sismo, las condiciones del lugar así como la variabilidad de las fuentes sísmicas, que no son las mismas para Guatemala. AGIES presenta un mapa de Guatemala donde identifica las zonas de mayor y menor riesgo y las aceleraciones máximas de suelo, lo cual da condiciones locales y más acertadas que otros métodos.
2. Para resultados que se encuentren dentro de los rangos recomendados por AGIES, para el índice de calidad q_1 (número de tramos) y el índice de calidad q_2 , (número de ejes estructurales), no es necesario interpolar, ya que la variación en el factor Q es despreciable.
3. El índice de calidad q_5 , es el que más cálculos lleva, ya que representa aproximadamente el 55% del trabajo en la integración del factor de calidad Q, es necesario siempre verificar la regularidad de la edificación, ya que a veces una estructura a simple vista pareciera regular pero al momento de calcular el índice de calidad q_5 , (excentricidades en planta) y el índice de calidad q_6 , (Isotropía en planta), pudiera dar resultados diferentes.

4. El índice de calidad sismorresistente Q , evalúa el comportamiento de la edificación ante un sismo. Además se puede determinar los probables puntos débiles de la estructura de acuerdo a cada uno de los índices de calidad.
5. El valor del factor de calidad Q , no debe ser menor que 0.80, ya que aunque una estructura tenga todos o casi todos los índices de calidad negativos, el factor Q de dicha estructura será mayor que 0.8, lo que indica que 0.8 es un valor muy conservador.
6. Los índices de calidad q_5 (excentricidades en planta) y q_6 (isotropía en planta) es mejor calcularlos de manera numérica que por la subjetividad del analista, ya que podría dar resultados diferentes a los supuestos.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar las normas AGIES, ya que limitan los análisis para una localidad específica del país, lo cual da resultados más precisos, en consecuencia el diseño será mucho mejor que si se utilizaran normas extranjeras.
2. Para obtener el índice de calidad q_1 , (número de tramos) de una estructura se recomienda utilizar como longitud del tramo, la distancia a ejes entre los apoyos consecutivos en lugar del claro libre entre soportes consecutivos, esto es aplicable a edificaciones similares a la calculada en este trabajo.
3. Se obtienen valores que están dentro de los recomendados por las normas AGIES, en el índice de calidad q_1 (número de tramos), y el índice de calidad q_2 (número de ejes estructurales), es mejor tomar el valor del índice de calidad menor que interpolar.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. **Bases generales de diseño y construcción.** (Colección NR-1) Guatemala: s.e., 2002. 7pp.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección. (Colección NR-2) Guatemala: s.e., 2002. 33pp.
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. Diseño estructural de edificaciones.(Colección NR-3) Guatemala: s.e., 2002. 70pp.
5. Ing. Arq. Peña Carrera, Pablo Francisco. **Criterios generales para el proyecto básico de estructuras de concreto.** s.a México: Editorial Limusa, 1990. 117pp.
6. Instituto mexicano del cemento y del concreto. **Diseño de edificios de concreto de poca altura.** s.a México: Editorial Limusa, 1990. 329pp
4. León Chang, Alfredo Jo. **Guía para el análisis sísmico de edificios utilizando la norma AGIES y comparación de la norma con el IBC 2000.** Tesis Ing. Civil, Universidad Mariano Gálvez, Facultad de Ingeniería, 2001. 255pp.