



Universidad de San Carlos de Guatemala
Faculta de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PROGRAMAS PARA ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA
REFORZADA POR LOS MÉTODOS SIMPLISTA Y REALISTA**

Ricardo Augusto Alvarez Haase
Asesorado por Ing. Edgar Nehemías Monterroso Pérez

Guatemala, abril de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROGRAMAS PARA ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA
REFORZADA POR LOS MÉTODOS SIMPLISTA Y REALISTA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

RICARDO AUGUSTO ALVAREZ HAASE

ASESORADO POR: ING. EDGAR NEHEMIÁS MONTERROSO PÉREZ

AL CONFERÍRSE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2005

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	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Isuur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Fredy Enrique Ríos Godínez
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Armando Ola Hernández
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:

PROGRAMAS PARA ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA POR LOS MÉTODOS SIMPLISTA Y REALISTA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 17 de mayo de 2004.

Ricardo Augusto Alvarez Haase

El director de la escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del asesor y del visto bueno del Jefe del Área o revisor al trabajo del estudiante **Ricardo Augusto Alvarez Haase**, titulado **PROGRAMAS PARA ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA POR LOS MÉTODOS SIMPLISTA Y REALISTA** procede a la autorización del mismo.

Ing. Carlos Salvador Gordillo García
Director Escuela Ingeniería Civil

GUATEMALA, ABRIL DE 2005

El decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado **PROGRAMAS PARA ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA REFORZADA POR LOS MÉTODOS SIMPLISTA Y REALISTA** del estudiante **Ricardo Augusto Alvarez Haase** procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
Decano de la Facultad de Ingeniería

GUATEMALA, ABRIL DE 2005

DEDICATORIA

A Dios, por ser la fuente de sabiduría que me permitió culminar esta meta y poder iniciar otra etapa en mi vida.

A mi madre Ilse Haase A. por haberme dado la oportunidad de estudiar y por su apoyo incondicional en todo momento.

A mis hermanos Juan Pablo, Ana Lucía y Andrea Alejandra por el apoyo mostrado en todo momento.

A toda mi familia en general.

AGRADECIMIENTOS

A todos mis amigos y compañeros de estudios de la Facultad de Ingeniería por la amistad y ayuda que me brindaron en todo momento de la carrera.

Al Ingeniero Edgar Monterroso por su ayuda y colaboración para el desarrollo del presente trabajo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. MAMPOSTERÍA REFORZADA	
1.1 Mampostería	1
1.2 Elementos de un sistema de mampostería reforzada	1
1.2.1 Unidades de mampostería	2
1.2.2 Mortero	6
1.2.2.1 Tipificación de los morteros para juntas	7
1.2.2.2 Condiciones de utilización de los morteros	8
1.2.2.3 Proporciones de los componentes del mortero	9
1.2.3 Concreto y <i>graut</i>	10
1.2.3.1 Concreto	10
1.2.3.1.1 Condiciones de utilización del concreto	11
1.2.3.1.2 Proporciones de los componentes del concreto	12
1.2.3.2 <i>Graut</i>	13
1.2.3.2.1 Condiciones de utilización del <i>graut</i>	14

1.2.3.2.2	Proporciones de los componentes del <i>graut</i>	15
1.2.4	Acero de refuerzo	16
1.3	Esfuerzo básico de ruptura	18
1.3.1	Prismas	19
1.3.2	Procedimiento para determinar f_m	21
2.	CARGAS QUE AFECTAN A UNA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA REFORZADA	
2.1	Cargas	23
2.1.1	Cargas gravitacionales	23
2.1.1.1	Carga viva	23
2.1.1.2	Carga muerta	26
2.1.2	Cargas laterales	28
2.1.2.1	Carga de viento	28
2.1.2.2	Carga de sismo	28
2.2	Distribución de cargas gravitacionales	29
2.2.1	Áreas tributarias	29
2.2.2	Anchos tributarios	29
2.3	Análisis y distribución de cargas laterales	34
2.3.1	Acciones sísmicas de diseño	34
2.3.1.1	Dirección de análisis	34
2.3.1.2	Consideraciones de las cargas gravitacionales	34
2.3.1.3	Superposición de efectos torsionales y trasnacionales	35
2.3.1.4	Fuerzas sísmicas horizontales	35
2.1.3.5	Efectos torsionales	36

2.3.2	Estructuración sismo-resistente	37
2.3.2.1	Clasificación de las obras	37
2.3.2.2	Índice de sismicidad del sitio	39
2.3.2.3	Nivel de protección requerido	39
2.3.2.4	Perfil del suelo	42
2.3.2.5	Aceleración máxima efectiva del terreno	43
2.3.2.6	Tipo de estructura	43
2.3.2.7	Descripción de la estructura	45
2.3.2.8	Configuración de la edificación	45
2.3.3	Corte basal	51
3.	CRITERIOS GENERALES PARA EL ANÁLISIS	
3.1	Distribución de solicitaciones	57
3.1.1	Criterios de distribución de solicitaciones	57
3.2	Determinación de rigideces de muros	59
3.3	Limitación de efectos torsionales	64
3.4	Capacidad de redistribución	66
4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS PARA UNA ESTRUCTURA	
4.1	Análisis simplista	67
4.1.1	Consideraciones del análisis	67
4.1.2	Limitaciones del método simple	68
4.1.3	Procedimiento de análisis	68
4.2	Análisis realista	73
4.2.1	Consideraciones del análisis	73
4.2.2	Limitaciones del método real	74
4.2.3	Procedimiento de análisis	75
4.2.3.1	Arreglos en los que se descompone una estructura de mampostería	80

4.2.3.1.1	Arreglo en T	80
4.2.3.1.2	Arreglo en L	85
4.2.3.1.3	Arreglo en C	90
4.2.3.1.4	Arreglo en N	98
4.2.3.1.7	Arreglo en I	104
4.2.3.2	Cálculo de la rigidez torsionante	106
5.	PROGRAMAS DE APLICACIÓN	
5.1	Diagrama de flujo	111
5.2	Programa de aplicación del análisis simple	
114		
5.2.1	Limitaciones del programa	114
5.3	Programa de aplicación del análisis real	116
5.3.1	Limitaciones del programa	116
5.4	Ejemplo de aplicación	119
	CONCLUSIONES	167
	RECOMENDACIONES	169
	BIBLIOGRAFÍA	171
	ANEXOS	173

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Gráfica UBC	19
2	Planta de losa	30
3	Losa para áreas tributarias	31
4	Mapa macrozonas sísmicas	40
5	Función de ampliación dinámica	53
6	Distribución del corte basal en fuerzas por piso	56
7	Deformaciones de la estructura	60
8	Determinación de la rigidez	62
9	Distribución de la carga lateral en planta	69
10	Cálculo del momento de diseño	71
11	Arreglo en T	81
12	Localización del centroide del arreglo en T	82
13	Cálculo de R_{xy} del arreglo en T en dirección X (sismo en dirección Y)	82
14	Desmembrando el muro 2 del arreglo en T	83
15	Cálculo de R_{xy} del arreglo en T en dirección Y (sismo en dirección X)	84
16	Desmembrando el muro 1 del arreglo en T	85
17	Arreglo en L	86
18	Localización del centroide del arreglo en L	86
19	Cálculo de R_{xy} del arreglo en L en dirección X (sismo en dirección Y)	87

20	Desmembrando el muro 2 del arreglo en L	88
21	Cálculo de R_{xy} del arreglo en L en dirección Y (sismo en dirección X)	89
22	Desmembrando el muro 1 del arreglo en L	90
23	Arreglo en C	91
24	Localización del centroide del arreglo en C	92
25	Cálculo de R_{xy} del arreglo en C en dirección Y (sismo en dirección X)	93
26	Desmembrando el muro 1 del arreglo en C (sismo en X)	94
27	Desmembrando el muro 2 del arreglo en C (sismo en X)	94
28	Desmembrando el muro 3 del arreglo en C (sismo en X)	95
29	Cálculo de R_{xy} del arreglo en C en dirección X (sismo en dirección Y)	95
30	Desmembrando el muro 1 del arreglo en C (sismo en Y)	96
31	Desmembrando el muro 2 del arreglo en C (sismo en Y)	97
32	Desmembrando el muro 3 del arreglo en C (sismo en Y)	97
33	Arreglo en N	98
34	Localización del centroide del arreglo en N	98
35	Cálculo de R_{xy} del arreglo en N en dirección Y (sismo en dirección X)	100
36	Desmembrando el muro 1 del arreglo en N (sismo en X)	101
37	Desmembrando el muro 3 del arreglo en N (sismo en X)	101
38	Cálculo de R_{xy} del arreglo en N en dirección X (sismo en dirección Y)	102
39	Desmembrando el muro 1 del arreglo en N (sismo en Y)	103
40	Desmembrando el muro 2 del arreglo en N (sismo en Y)	103
41	Arreglo en I y localización del centroide	104
42	Cálculo de e_y (sismo en dirección X)	106

43	Cálculo de e_x (sismo en dirección Y)	107
44	Cálculo de la rigidez torsional del arreglo en C	108
45	Cálculo de e_y (sismo en dirección X) del arreglo en N	109
46	Cálculo de e_x (sismo en dirección Y) del arreglo en N	109
47	Cálculo de la rigidez torsional del arreglo en N	110
48	Símbolos utilizados en la diagramación	112
49	Diagrama para cambiar nivel de seguridad de las macros	112
50	Diagrama de análisis estructural	113
51	Diagrama para corte basal	113
52	Diagrama de flujo para el análisis simplista	115
53	Diagrama de flujo para el análisis realista	117
54	Planta baja de la estructura en análisis	120
55	Planta alta de la estructura en análisis	121
56	Elevación de la estructura	122
57	Diagramas de la distribución de fuerzas y momentos por piso	128
58	Numeración de los muros de la planta baja (análisis simplista)	129
59	Numeración de los muros de la planta alta (análisis simplista)	130
60	Centro de rigidez de la planta baja (análisis simplista)	136
61	Centro de rigidez de la planta alta (análisis simplista)	137
62	Numeración de los muros de la planta baja (análisis realista)	144
63	Numeración de los muros de la planta alta (análisis realista)	145
64	Centro de rigidez de la planta baja (sismo en dirección X - X)	148
65	Centro de rigidez de la planta baja (sismo en dirección Y - Y)	151
66	Centro de rigidez de la planta alta (sismo en dirección X - X)	154
67	Centro de rigidez de la planta alta (sismo en dirección Y - Y)	157

TABLAS

I	Requisitos para la elaboración ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular	3
II	Tipos de bloques más usados	5
III	Superficie de vacíos mayor de 25% del área total	6
IV	Tipificación de los morteros según su resistencia	7
V	Resistencia a compresión del mortero	8
VI	Proporciones de los morteros según la práctica actual	10
VII	Proporción en volumen de material con una carretilla de capacidad de 0.03 m ³ de concreto f'c 180 Kg / cm ²	12
VIII	Proporción en volumen de material con una carretilla de capacidad de 0.03 m ³ de concreto f'c 215 Kg / cm ²	13
IX	Límites del <i>graut</i>	15
X	Proporciones del <i>graut</i>	16
XI	Dimensiones del prisma para bloques de concreto	20
XII	Dimensiones del prisma para ladrillo tayuyo y tubular	20
XIII	Cargas vivas mínimas para una estructura de mampostería	24
XIV	Cargas muertas mínimas	27
XV	Índice de sismicidad	39
XVI	Nivel de protección requerido	41
XVII	Derivas laterales máximas según nivel de protección requerido	41
XVIII	Clasificación por tipo de estructura	44
XIX	Redundancia estructural q1 para número de tramos	46
XX	Número de ejes estructurales q2	46
XXI	Configuración en planta	48
XXII	Configuración vertical	49

XXIII	Guía para establecer la estructuración sismo resistente de una edificación e integrar el índice de calidad Q	50
XXIV	Período de vibración	52
XXV	Función de ampliación dinámica	53
XXVI	Factor de reducción de respuesta sísmica	54
XXVII	Distribución del corte basal	56
XXVIII	Cálculo de los momentos de diseño	73
XXIX	Datos generales	119
XXX	Guía para establecer la estructuración sismo resistente de una edificación e integrar el índice de calidad Q	123
XXXI	Distribución de la fuerza de sismo y el momento de volteo	127
XXXII	Determinación del centro de rigidez y el centro de masa del Primer nivel (análisis simplista)	131
XXXIII	Determinación del centro de rigidez y el centro de masa del segundo nivel (análisis simplista)	132
XXXIV	Resultados parciales para el análisis simplista	133
XXXV	Centro de masa combinado del primer nivel	134
XXXVI	Centro de masa combinado del segundo nivel	135
XXXVII	Momento de volteo del primer nivel (dirección X – X)	138
XXXVIII	Momento de volteo del primer nivel (dirección Y – Y)	139
XXXIX	Momento de volteo del segundo nivel (dirección X – X)	140
XL	Momento de volteo del segundo nivel $e_y^2 - e_{accidental}$ y (dirección X – X)	141
XLI	Momento de volteo del segundo nivel (dirección Y – Y)	142
XLII	Resultados finales del primer nivel para el análisis simplista	143
XLIII	Resultados finales del segundo nivel para el análisis simplista	143
XLIV	Cálculo del centro de rigidez del primer nivel (dirección X – X)	146

XLV	Cálculo de J_p del primer nivel (sismo en dirección X – X)	147
XLVI	Cálculo del centro de rigidez del primer nivel (dirección Y – Y)	149
XLVII	Cálculo de J_p del primer nivel (sismo en dirección Y – Y)	150
XLVIII	Cálculo del centro de rigidez del segundo nivel (dirección X – X)	152
XLIX	Cálculo de J_p del segundo nivel (sismo en dirección X – X)	153
L	Cálculo del centro de rigidez del segundo nivel (dirección Y – Y)	155
LI	Cálculo de J_p del segundo nivel (sismo en dirección Y – Y)	156
LII	Distribución de la carga a cada muro del primer nivel (X – X)	161
LIII	Distribución de la carga a cada muro del primer nivel (Y – Y)	162
LIV	Distribución de la carga a cada muro del segundo nivel (X – X)	163
LV	Distribución de la carga a cada muro del segundo nivel (Y – Y)	164
LVI	Resultados finales del primer nivel para el análisis realista	165
LVII	Resultados finales del segundo nivel para el análisis realista	166

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área efectiva al corte
A_o	Aceleración máxima efectiva del terreno
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica
Δ	Deformación
$\Delta x, \Delta y$	Cambio de posición en el plano de coordenadas
CM	Carga muerta
C.M.	Centro de masa
C.R.	Centro de rigidez
C_s	Coficiente sísmico de diseño
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
C.U.	Carga última
CV	Carga viva de diseño
d_i	Distancia entre el centro de rigidez de toda la estructura y el centro de rigidez de cada muro
D(T)	Función de ampliación dinámica
e	Excentricidad
E	Módulo de elasticidad en compresión
E_v	Módulo de elasticidad en corte
f'c	Resistencia del concreto a compresión a los 28 días
f'm	Esfuerzo básico de ruptura de la mampostería
F_y	Módulo de elasticidad del acero
F_j	Cortante del nivel j
Gal/m³	Galones por metro cúbico

h/d	Relación altura – largo del muro
h_i	Altura en metros del nivel del piso al nivel i
h_j	Altura en metros del nivel del piso al nivel j
I	Momento de inercia en dirección de la deformación
lo	Índice de sismicidad del sitio
Jp	Rigidez torsional del arreglo
K	Coeficiente que depende del período de la estructura
Kg / cm²	Kilogramos por centímetro cuadrado
Kg / cm³	Kilogramos por centímetro cúbico
M'	Momento flexionante
M''	Momento torsionante
P	Fuerza de piso
P'	Fuerza por efecto traslacional resistida por el elemento i
P''	Fuerza por efecto rotacional resistida por el elemento i
Q	Factor de calidad sismoresistente
q1-q7	Índices de calidad
R	Factor de reducción
R	Rigidez relativa del elemento estructural
Ro	Factor genérico de reducción de respuesta sísmica
Rx, Ry	Rigidez del arreglo paralela a la dirección de la carga lateral aplicada
Rxy	Rigidez del arreglo perpendicular a la dirección de la carga lateral aplicada
T	Período fundamental de vibración de la estructura.
Ta	Período de vibración que define el espectro sísmico de diseño
V_B	Corte basal
W_i	Peso del nivel i
W_j	Peso del nivel j

GLOSARIO

Aditivos	Son materiales que se utilizan como ingredientes del concreto y se adicionan a la mezcla antes o durante el proceso de mezclado. Tienen como función modificar las propiedades del concreto.
Celda	Es el espacio o vacío dentro de la unidad de mampostería ya sea bloque o ladrillo.
Consolidación	Eliminación de los vacíos dentro del concreto o del <i>graut</i> por medio de agitación, ya sea con vibrador o con paleta.
Derivas	Deformaciones postelásticas desarrolladas en una estructura después de varias excursiones fuera del rango elástico.
Diafragma rígido	Están constituidos por losas de concreto reforzado y son capaces de transmitir las fuerzas horizontales de corte a los elementos verticales en proporción a la rigidez de los mismos, además, son capaces de transmitir las fuerzas rotacionales causadas por la excentricidad de la masa con respecto al centro de rigidez de la estructura.

Ductilidad	Es la propiedad que permite que un material resista deformaciones plásticas sin fracturarse, cuando se somete a esfuerzos.
Excentricidad	Es la distancia entre el centro de masa y el centro de rigidez.
Fluidez	Consistencia necesaria que debe presentar el concreto o el <i>graut</i> para permitir una buena trabajabilidad del mismo.
<i>Graut</i>	Es un material cementicio que está conformado por cemento, arena, grava fina y la cantidad necesaria de agua que le proporcione una consistencia fluida para que tenga trabajabilidad.
Levantado	Es el incremento en altura de los muros por medio de la colocación de hileras de unidades de mampostería que deberán estar completamente horizontales y alineadas, unidas con mortero.
Mampostería reforzada	Está conformada por muros construidos con piezas prismáticas de piedra artificial, macizas o con celdas, unidas con mortero aglutinante, y reforzadas con concreto y acero ya sea confinado o integral.

Mortero	Está constituido por la unión de un aglomerante, cemento y/o cal y un agregado inerte, arena de río u otro, amasado con cierta cantidad de agua, produciéndose una mezcla pastosa homogénea.
Muros confinados	Son los muros de mampostería que tienen el refuerzo vertical y horizontal concentrados en elementos de concreto conocidos como mochetas y soleras respectivamente.
Revenimiento	Es una medida del grado de consistencia y de manejabilidad de la mezcla, revenirse es derramarse o bajarse en altura, siendo esta disminución la medida de revenimiento del grado de manejabilidad de la mezcla y el uso que se le puede dar.
Succión	Es la determinación de la razón inicial de absorción, consiste en sumergir dentro de agua una porción del ladrillo, durante un tiempo fijo, para determinar la cantidad de agua que se absorbe por capilaridad.

RESUMEN

En el presente trabajo se hará una descripción de dos métodos de análisis para estructuras de mampostería, siendo estos el análisis simplista y el análisis realista.

El primer método hace una idealización simple del análisis estructural, distribuyendo la carga lateral a los muros paralelos a la dirección en que ésta actúa, suponiendo dos efectos en la estructura, siendo estos traslación y rotación. El primero considera un desplazamiento en la dirección de la carga, mientras que el segundo una rotación con respecto al centro de corte de la estructura originándose cuando no coincide el centro de masa con el centro de corte, produciéndose una excentricidad y por ende un momento.

Toda la distribución está en función de la rigidez traslacional pero no toma en cuenta la rigidez torsionante para el efecto rotacional, así como otras características importantes del sistema como la geometría de los arreglos ni los esfuerzos que se inducen tanto en los muros paralelos como perpendiculares a la dirección de la carga lateral.

El otro método presentado sí toma en cuenta todas estas características importantes en una estructura, utilizando para ello los muros descompuestos en arreglos, los cuales se logran mientras exista continuidad, es decir que no existan interrupciones en su conformación. La distribución de la carga lateral está en función de los arreglos y en términos de la rigidez del mismo y de cada muro que lo conforma. Todo lo anterior permite hacer una distribución más real de la carga lateral sobre los muros.

Además se desarrollaron programas para ambos métodos de análisis que tienen como finalidad la reducción y la optimización del tiempo para la pronta obtención de resultados.

Estos programas fueron elaborados en Excel, la cual es una herramienta muy común, utilizándose para el desarrollo de las hojas de cálculo macros e hipervínculos, así como otros elementos propios de los programas con una presentación sencilla pero completa que llevará de la mano al usuario por medio de diagramas de flujo.

Para finalizar se presenta el análisis de una vivienda de dos niveles por los dos métodos en estudio, desarrollado como ejemplo de aplicación de los programas elaborados.

OBJETIVOS

- **General**

Elaborar programas que permitan la aplicación de los métodos de análisis estructural en mampostería reforzada que funcionen como herramientas de trabajo para la realización del análisis de dichas estructuras.

- **Específicos**

1. Mostrar la diferencia que existe entre los dos métodos de análisis con respecto a las características y consideraciones que toman en cuenta cada uno de ellos.
2. Orientar al profesional y / o calculista a descomponer las estructuras en arreglos para su posterior análisis en los programas.
3. Analizar como se comporta la estructura de mampostería reforzada dependiendo del tipo de arreglo que presentan los muros de corte.
4. Realizar ejemplos de aplicación de los programas en vías a la solución de problemas estructurales de mampostería reforzada.

INTRODUCCIÓN

La mampostería reforzada es un sistema constructivo para la satisfacción de necesidades de vivienda, pero lamentablemente en nuestro medio se descuida el análisis estructural que este sistema constructivo requiere, además de descargar dicha responsabilidad en manos empíricas.

Partiendo de lo anterior se puede inferir que la necesidad de instrumentos de cálculo para la aplicación de dicha base es grande y poco conocida. Por lo tanto, el presente trabajo pretende colaborar con la ingeniería nacional presentando una aplicación que realice el análisis estructural por los dos métodos que se enseñan en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos. Dichos métodos consisten en tomar el análisis simplista y realista de la estructura, diferenciándose entre ellos porque el primero considera únicamente a los muros paralelos a la carga que se aplica mientras que el segundo viene a considerar tanto la acción del muro paralelo como la del o los muros perpendiculares a la dirección de la carga.

Para una mejor comprensión se presenta un ejemplo de aplicación real, el cual se analizará por los dos métodos en estudio con el auxilio de los programas que son objeto del presente trabajo de investigación.

1. MAMPOSTERÍA REFORZADA

1.1 Mampostería

Está conformada por muros construidos con piezas prismáticas macizas o con celdas, unidas con mortero aglutinante.

La mampostería reforzada permite realizar construcciones en altura hasta unos seis pisos unidas como se mencionó anteriormente con mortero aglutinante y reforzados con varillas de acero, denominándose mampostería confinada si el refuerzo se concentra en elementos verticales y horizontales de concreto conocidos comúnmente como mochetas y soleras, mientras que si se localiza distribuido entre los elementos mampuestos se designa como mampostería integral, es decir que las varillas de acero corrugado estarán colocadas verticalmente entre los agujeros o celdas de las piezas prefabricadas.

1.2 Elementos de un sistema de mampostería reforzada

Los materiales con que se conforman los muros de mampostería son: las unidades prefabricadas para levantado o mampuestos, morteros, *graut* si es mampostería integral o reforzada interiormente, concreto si es mampostería confinada y acero de refuerzo.

1.2.1 Unidades de mampostería

Son las unidades prefabricadas usadas para el levantado de los muros de mampostería reforzada, generalmente son ladrillos de barro cocido o bloques huecos de concreto cuya función básica será dividir los ambientes y su función estructural soportar esfuerzos de compresión.

1.2.1.1 Ladrillos de barro cocido

Estas unidades de mampostería están hechas básicamente de barro o arcilla, pudiéndoseles adicionar otros materiales, están moldeados o extruídos con forma rectangular y endurecidos a altas temperaturas hasta su fusión incipiente, los ladrillos pueden ser elaborados de diferentes maneras.

- Ladrillos elaborados a mano: son ladrillos producidos por medios artesanales amasados o moldeados a mano o con maquinaria elemental que no prensa la pasta de arcilla.
- Ladrillos elaborados a máquina: son ladrillos producidos mediante procesos industriales con máquinas que amasan, moldean y prensan al vacío la masa de arcilla.

Este tipo de unidades deberá de cumplir con la norma COGUANOR NGO 41 022 en lo que se refiere tanto a la calidad como a las dimensiones, absorción y clasificación por resistencia, se puede clasificar por tipo, siendo estos: ladrillo macizo o tayuyo y ladrillo perforado o tubular, según la relación área neta / área gruesa medida sobre planos perpendiculares a la superficie de carga debiéndose respetar dicha relación, siendo para el ladrillo macizo o

tayuyo igual o mayor a 0.75, mientras que para el ladrillo perforado o tubular menor que 0.75.

Tabla I. Requisitos para la elaboración del ladrillo de barro cocido tayuyo, perforado y tubular

Tipo	Apariencia	Tolerancia en dimensiones	% de absorción 24 h. (b)	Succión gr/cm ² /min.	Resistencia (c)		Usos
					Flexión	Compresión	
					kg/cm ²	kg/cm ²	
A	a	Max. 4 mm	25	0 a 0.5	14 ó mayor	84 ó mayor	d
B	a	Max. 5 mm	25	0 a 0.5	11 ó mayor	56 ó mayor	e
C	a	Max. 5 mm	25	0 a 0.5	9 ó mayor	42 ó mayor	e

Fuente: Normas FHA páginas 8-11

Donde:

- a Ladrillo limpio, compacto, libre de rajaduras, reventaduras, combas, aristas, caras a escuadra, dimensiones parejas, color uniforme. Libre de partículas mayores de 0.32 cm, especialmente carbonato de calcio.
- b Este requisito no servirá de base para rechazar un ladrillo que en otros aspectos sea tolerable, sin embargo, se prefieren ladrillos de menor absorción.
- c Siempre se va a preferir ladrillo de mayor resistencia, entre varios que cumplan con los requisitos de la tabla I.

- d Paredes de carga.
- e Tabiques, verjas y en general paredes sin carga.

Determinación de la razón inicial de absorción (succión)

Consiste en sumergir dentro de agua una porción del ladrillo, durante un tiempo fijo para determinar la cantidad de agua que se absorbe por capilaridad, la práctica de sumergir brevemente en agua los ladrillos antes de su colocación es aconsejable en cualquier caso e imprescindible si la succión es mayor a 0.15 gr/cm²/min. para evitar la deshidratación del mortero. La succión se debe calcular con la siguiente expresión:

$$R_i = (m_f - m_i)/(A*t)$$

Donde:

- R_i Razón inicial de absorción, en gr/cm²/min.
- m_f Masa final del ladrillo en gramos.
- m_i Masa inicial del ladrillo en gramos.
- A Área del ladrillo en cm².
- t Tiempo igual a 1 minuto. Según norma ASTM C67-73

1.2.1.2 Bloques de concreto

Esta es una de las unidades más modernas utilizadas en la construcción de mampostería, su aceptación está justificada por las cualidades intrínsecas como la rapidez de ejecución, la facilidad en su manejo y la proporción adecuada en sus dimensiones. Este tipo de unidades generalmente poseen un gran porcentaje de vacíos, también deberán cumplir con la norma COGUANOR NGO 41 054 en lo que referente a calidad, dimensiones, porcentaje de

absorción y clasificación por resistencia. Se pueden considerar dos clases de bloques dependiendo del material que se utilice en su fabricación, siendo estos:

- Los bloques de concreto de peso normal que se utilizan para la construcción de paredes, columnas y vigas, siendo usualmente huecos para reducir su peso, pero también se pueden encontrar bloques sólidos.
- Los bloques de concreto liviano son de fácil manejo, únicamente pueden ser utilizados para muros interiores, porque no son muy resistentes al clima, el concreto utilizado emplea agregados livianos, seleccionados para poder reducir el peso del concreto como la piedra pómez o escoria roja de origen volcánico.

Actualmente existen una gran variedad de formas y tamaños de los bloques que le permiten al diseñador elegir adecuadamente el más apropiado, de acuerdo a sus necesidades.

Tabla II. Tipos de bloques más usados

USO	Medidas nominales (cm)			Medidas reales (cm)		
	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto	Largo
Bloque de pared o muro	20	20	40	19	19	39
	15	20	40	14	19	39
Medio bloque de pared o muro	20	20	20	19	19	19
	15	20	20	14	19	19
Bloque de tabique	10	20	40	9	19	39
Medio bloque de tabique	10	20	20	9	19	19

Estos datos son similares para los bloques tipo U, a excepción del bloque de tabique porque no hay block U para este tipo de unidad.

En la tabla III se muestran algunas características de los bloques de concreto.

Tabla III. Superficie de vacíos mayor de 25 % del área total

Tipo de bloque	Grosor mínimo de paredes del bloque	Variaciones permisibles para las 3 dimensiones	Resistencia a compresión a los 28 días (m)	Máxima absorción de agua 24 hrs. (n)
A	3.0 cm.	4 mm.	50 kg / cm ²	30%
B	2.5 cm.	4 mm.	35 kg / cm ²	30%
C	2.5 cm.	4 mm.	25 kg / cm ²	30%

Fuente: normas FHA páginas 8-10

Donde:

(m) = Resistencia sobre área bruta total

(n) = No servirá de base para rechazo del bloque pero se preferirá al bloque de menor absorción.

El bloque de pedrín debe ser del tipo A como mínimo.

El bloque de pómez debe ser del tipo C como mínimo.

1.2.2 Mortero

Los morteros usados para mampostería deberán ser una mezcla plástica de materiales cementantes y arena bien graduada que permita la unión de las unidades de mampostería para la correcta conformación de un elemento estructural (muro). La dosificación de dicha mezcla deberá de proveer las condiciones necesarias que permitan su trabajabilidad, capacidad para

retención de agua, teniendo en cuenta que servirá de apoyo para las unidades de mampostería, también deberá de contribuir a la resistencia a compresión del elemento estructural; el tamaño máximo nominal de las partículas que conforman la mezcla será de 2.5 mm.

1.2.2.1 Tipificación de los morteros para juntas

Los morteros utilizados en la ejecución de las juntas horizontales y verticales de los elementos estructurales de mampostería, se tipifican en función de su resistencia mínima a compresión a 28 días según lo indicado en la tabla IV.

Tabla IV. Tipificación de los morteros según su resistencia

Tipo de mortero	Calidad de resistencia	Resistencia mínima a la compresión a 28 días (Kg. / cm²)
I	Elevada	175
II	Intermedia	125
III	Normal	50

1.2.2.1.1 Resistencia a compresión

La resistencia a compresión del mortero va a estar en función directa a la dosificación de la mezcla, los morteros son clasificados en tres tipos: I, II, III. En la tabla V se indica la dosificación por volumen para cada tipo de mortero, así como su resistencia característica a la compresión.

Tabla V. Resistencia a compresión del mortero

Tipo de mortero	Proporción volumétrica			Resistencia a la compresión (Kg. / cm ²)
	Cemento	Cal	Arena	
I	1.00	-----	no menos de 2.25 y no más de 3	175
II	1.00	0.25 a 0.50	veces la suma de los volúmenes de cemento y cal usados	125
III	1.00	0.50 a 1.25		50

Fuente: Normas AGIES NR – 9 :2000 página 5

1.2.2.2 Condiciones de utilización de los morteros

Los morteros utilizados deberán satisfacer la totalidad de las condiciones que se detallan a continuación

- En ningún caso se podrán utilizar morteros cuya resistencia a compresión a 28 días sea menor que 50 Kg. / cm²
- El volumen de arena, medido en estado suelto y con humedad natural, deberá estar comprendido entre 2.25 y 3 veces la suma de los volúmenes correspondientes de cemento y de cal hidratada en pasta.
- Se utilizará la menor cantidad de agua compatible con la obtención de un mortero fácilmente trabajable y de adecuada adherencia con los mampuestos.
- No se admitirá el empleo de morteros que tengan únicamente cal como ligante.

- En las juntas que contengan armadura de refuerzo se emplearán exclusivamente morteros cementicios sin ningún contenido de cal.
- En general, en las juntas que no contengan armaduras de refuerzo, se utilizarán morteros elaborados con cal, ya que ésta mejora su trabajabilidad.
- En las juntas que no contengan armaduras de refuerzo, se admitirá el uso de morteros elaborados con cemento de albañilería.
- Los materiales aglomerantes y cementicios, los agregados y el agua a utilizar deberán satisfacer los requisitos de las normas COGUANOR correspondientes.
- El tamaño máximo de las partículas de arena será de 2,5 mm.

1.2.2.3 Proporciones de los componentes del mortero

Las proporciones en volúmenes, recomendadas para obtener los diferentes tipos de morteros se indican en la tabla V. Si se utiliza cemento de albañilería, las proporciones se determinarán en forma experimental.

En la tabla VI se indican las proporciones en volúmenes, usuales en la práctica actual, para los diferentes tipos de morteros.

Tabla VI. Proporciones de los morteros según la práctica actual

Tipo de mortero	Proporción			Resistencia a la compresión (Kg. / cm ²)
	Cemento	Cal	Arena	
I	1.00	-----	3.00	175
II	1.00	0.50	4.00	125
III	1.00	1.00	5.00	50
	1.00	1.00	6.00	

1.2.3 Concreto y *graut*

La utilización de cualquiera de estos dos elementos estará determinada como se mencionó anteriormente por el tipo de refuerzo vertical y horizontal que se pretenda colocar, es decir si va a ser confinado o concentrado.

1.2.3.1 Concreto

El concreto no es más que una mezcla heterogénea de arena, grava, cemento y agua que al fraguar adquiere las características de dureza y resistencia necesarias, en algunas ocasiones se les pueden agregar aditivos para modificar sus características.

La resistencia del concreto depende de muchos factores tales como los materiales, el diseño de la mezcla, el colado y curado.

El concreto puede ser de varios tipos, siendo actualmente los más conocidos el concreto de peso normal y el concreto liviano.

1.2.3.1.1 Condiciones de utilización del concreto

- La grava o pedrín utilizado en la elaboración del concreto no debe ser frágil ni tener tamaños mayores a 7 centímetros.
- La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto.
- Si se interrumpe la fundición, al dejar una junta de construcción, para continuar con la misma se debe de limpiar la superficie donde se colocará el concreto fresco y mojarse la misma con agua limpia.
- El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero de refuerzo.
- El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable, pueden usarse sin ensayos previos. Donde el lugar de abastecimiento sea poco profundo, la toma debe hacerse en forma que excluya sedimentos, toda hierba y otras materias perjudiciales.
- El concreto se debe mezclar solamente en la cantidad que sea necesaria para el uso inmediato.
- El concreto mezclado manualmente debe hacerse en bachadas no mayores de $\frac{1}{2}$ metro cúbico.

- La mezcla debe de hacerse sobre una plataforma lisa e impermeable, libre de cualquier material orgánico que afecte las características del concreto.

1.2.3.1.2 Proporciones de los componentes del concreto

Las proporciones en volúmenes, recomendadas para obtener los diferentes tipos de mezcla de concreto, se indican en la tabla VII.

Tabla VII. Proporción en volumen de material con una carretilla de capacidad de 0.03 m³ para 1 m³ de concreto f'c = 180 kg/cm²

Resistencia f' c = 180 Kg / cm ²							
Tamaño del piedrín	Tipo de arena	Dosificación por volumen					
		Cemento	Arena		Piedrín		Agua
		Sacos / m ³	Carretilla	m ³	Carretilla	m ³	Gal/m ³
3/4"	Seca	10	19.00	0.53	23.00	0.65	57.00
	Húmeda	10	19.50	0.55	23.00	0.65	49.00
	Mojada	10	22.00	0.62	23.00	0.65	20.00
1"	Seca	9.7	18.00	0.51	24.00	0.68	55.75
	Húmeda	9.7	19.00	0.53	24.00	0.68	48.00
	Mojada	9.7	21.50	0.60	24.00	0.68	20.00
1 1/2"	Seca	9.5	17.50	0.49	25.00	0.71	54.25
	Húmeda	9.5	18.00	0.51	25.00	0.71	47.00
	Mojada	9.5	20.75	0.58	25.00	0.71	20.50

Asentamiento: 12 centímetros

Uso: aceras, pisos y vías vehiculares.

Tabla VIII. Proporción en volumen de material con una carretilla de capacidad de 0.03 m³ para 1 m³ de concreto f'c = 215 kg/cm²

Resistencia f'c = 215 Kg / cm ²							
Tamaño del pedrín	Tipo de arena	Dosificación por volumen					
		Cemento	Arena		Piedrín		Agua
		Sacos / m ³	Carretilla	m ³	Carretilla	m ³	Gal/m ³
3/4"	Seca	10	19.00	0.53	23.00	0.65	57.00
	Húmeda	10	19.50	0.55	23.00	0.65	49.00
	Mojada	10	22.00	0.62	23.00	0.65	20.00
1"	Seca	9.7	18.00	0.51	24.00	0.68	55.75
	Húmeda	9.7	19.00	0.53	24.00	0.68	48.00
	Mojada	9.7	21.50	0.60	24.00	0.68	20.00
1 1/2"	Seca	9.5	17.50	0.49	25.00	0.71	54.25
	Húmeda	9.5	18.00	0.51	25.00	0.71	47.00
	Mojada	9.5	20.75	0.58	25.00	0.71	20.50

Asentamiento: 15 centímetros

Uso: cimientos, vigas y columnas

1.2.3.2 *Graut*

Las características de éste no son las de un concreto ni las de un mortero, pero sí es un material cementicio que está conformado por cemento, arena, grava fina y la cantidad necesaria de agua que le proporcione una consistencia fluida que le dé trabajabilidad, pero que a la vez sirva para reforzar a la mampostería, contribuyendo a la resistencia a compresión del muro. El *graüt* debe tener una resistencia mínima, a los 28 días, de 1.2 veces f'm y máxima de 1.5 veces f'm de la mampostería que se está inyectando.

Este tipo de material es utilizado para los muros que están reforzados interiormente, es decir que se vierte en las celdas de los elementos prefabricados alrededor del acero de refuerzo. Hay dos clases de *graüt* que se

utilizan en la construcción de mampostería siendo estos: *graut* fino y *graut* grueso, dependiendo de las dimensiones del agregado grueso que se utilice.

1.2.3.2.1 Condiciones de utilización del *graut*

Este material deberá de satisfacer la totalidad de las condiciones que se detallan a continuación.

- El volumen de arena, medido en estado suelto y con humedad natural, deberá estar comprendido entre 2.5 y 3 veces la suma del volumen correspondiente de cemento si se utiliza *graut* fino.
- El volumen de arena, medido en estado suelto y con humedad natural, deberá estar comprendido entre 2.25 y 3 veces la suma del volumen correspondiente de cemento si se utiliza *graut* grueso.
- Se utilizará *graut* fino cuando el espacio para el vaciado es pequeño, angosto o congestionado con refuerzo.
- Se utilizará *graut* fino cuando en la unidad prefabricada para levantado exista un espacio libre mínimo de 0.65 cm.
- Se utilizará *graut* grueso cuando el espacio entre la unidad de mampostería y el refuerzo de acero sea por lo menos 1.30 cm.
- Se utilizará *graut* grueso cuando las dimensiones mínimas de las celdas en las piezas de mampostería sean de 3.80 cm de ancho y 7.50 cm de largo.

Tabla IX. Límites de *graut*

Tipo de <i>graut</i>	Altura máxima para verter (Pies)	Dimensiones mínimas de las áreas libres totales dentro de espacios y celdas para <i>graut</i>	
		Mampostería múltiple	Mampostería de unidad hueca
Fino	1	3/4"	1 1/2" * 2"
Fino	5	1 1/2"	1 1/2" * 2"
Fino	8	1 1/2"	1 1/2" * 3"
Fino	12	1 1/2"	1 3/4" * 3"
Fino	24	2"	3" * 3"
Grueso	1	1 1/2"	1 1/2" * 3"
Grueso	5	2"	2 1/2" * 3"
Grueso	8	2"	3" * 3"
Grueso	12	2 1/2"	3" * 3"
Grueso	24	3"	3" * 4"

Fuente : Guía informativa para mampostería reforzada con lechada página 7

1.2.3.2.2 Proporciones de los componentes del *graut*

Las proporciones en volúmenes, recomendadas para obtener los diferentes tipos de *graut*, se indican en la tabla X.

Tabla X. Proporciones del *graut*

Tipo de <i>graut</i>	Proporción			Agua necesaria para garantizar revenimiento (cm)
	Cemento	Arena	Grava fina	
Fino	1.00	2.5 a 3.0	-----	20 a 25
Grueso ¹	1.00	2.25 a 3.0	1.0 a 2.0	20 a 25

Fuente: Guía informativa para mampostería reforzada con lechada, página 6

1.2.4 Acero de refuerzo

Este material es utilizado tanto para el refuerzo vertical como horizontal, consiste en varillas de acero corrugado debido a que mejora la adherencia con el concreto, deben de cumplir con las normas ASTM A703 o ASTM A615, siendo su equivalente la norma COGUANOR NGO 36 011. El uso de las varillas lisas estará limitado a estribos, eslabones y otros dispositivos de amarre. Existen diferentes resistencias del refuerzo, siendo las más utilizadas el grado 40, grado 60 y hasta grado 70 (alta resistencia).

1.2.4.1 Condiciones de utilización del acero

A continuación se presentan algunas condiciones para el uso de este material, las cuales se deberán satisfacer en su totalidad.

- En aplicaciones estructurales no se debe de utilizar el refuerzo grado 33 o acero comercial, ya que no posee ductilidad ni uniformidad.

¹ A pesar que los agregados para el *graut* están limitados a un tamaño máximo de 3/8" si el espacio para el *graut* es ancho (8 pulgadas o más entre los anchos del ladrillo), se puede usar un *graut* grueso con agregado de 3/4".

- Únicamente se utilizará acero comercial o grado 33 para aplicaciones secundarias como aceras, bordillos, etc.
- El acero grado 70 normalmente se usa en diámetros milimétricos, para refuerzo en voladizos, losas prefabricadas, etc.
- No se deben emplear varillas utilizadas anteriormente o rescatadas de escombros, porque pueden tener alguna falla que reduzca su resistencia nominal.
- Únicamente se permitirá el uso de varillas de acero para refuerzo con cierta cantidad de oxidación si no está suelta o presente alguna pérdida apreciable de la sección transversal.
- El alambre usado para el amarre de las varillas debe tener un diámetro de 1.5875 a 2.032 mm o calibre equivalente.
- El refuerzo debe estar firmemente sostenido durante la colocación del concreto.
- La longitud del traslape en tensión no deberá ser menor de 24 diámetros de la barra utilizada para grado 40, o 36 diámetros para grado 60, ni menor a 30 centímetros.
- Los traslapes en tensión deberán de localizarse alejados de los puntos donde se produce el momento máximo o de las zonas de altos esfuerzos de tensión.

- Se debe tener cuidado de que las varillas no queden torcidas ni presentar curvaturas no especificadas al momento de fundir el concreto.
- Las barras de acero deben de ser dobladas en frío, de lo contrario se afectaría su resistencia nominal.

1.3 Esfuerzo básico de ruptura (f'_m)

Una de las propiedades estudiadas teóricamente y por pruebas experimentales en la mampostería, es la resistencia bajo cargas perpendiculares a la superficie de juntas horizontales, es decir que está sometido a cargas de compresión.

El esfuerzo de ruptura f'_m es un valor muy importante para el diseñador, este valor se logra obtener con ensayos de laboratorio, utilizándose para estos ensayos prismas contruidos con bloques o ladrillos, por lo que los resultados que se obtienen están en función del tipo de bloque, ladrillo y mortero que se utilice.

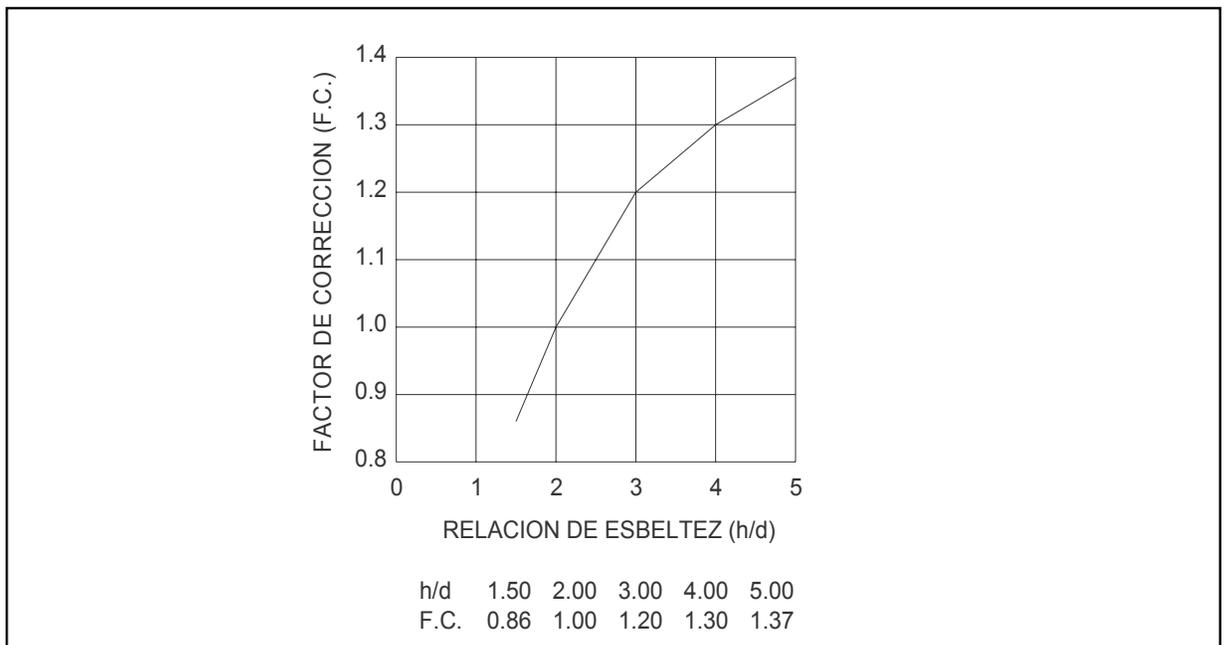
Los valores obtenidos pueden ser utilizados para determinar esfuerzos de trabajo (f_m) de muros de bloques o ladrillos, estos esfuerzos pueden ser de flexión, compresión y corte, utilizando para ello las fórmulas que existen, las cuales no son objeto del presente trabajo de investigación.

1.3.1 Prismas

Para la elaboración de los prismas se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- **Esbeltez.** La resistencia a compresión de elementos de sección constante pueden variar en función de la altura, para determinar el esfuerzo de ruptura se utilizarán las normas del UBC. El UBC sigue una norma análoga a la norma ASTM, en la cual se indica el factor de corrección por esfuerzos de compresión determinados experimentalmente en el laboratorio.

Figura 1. Grafica UBC



Donde: h Altura del prisma en pulgadas
 d Dimensión mínima del prisma en pulgadas

Para los prismas se tomará como relación de esbeltez la razón entre la altura y el espesor del muro.

- **Espesor de junta.** Según estudios realizados en el centro de investigaciones de la Facultad de Ingeniería se ha encontrado que la dimensión más adecuada para la cisa es de un centímetro.
- **Dimensiones de los prismas.** Se fabrican tomando en cuenta la norma UBC que indica la altura mínima y los límites de relación de esbeltez.

Tabla XI. Dimensión del prisma para bloques de concreto

Dimensiones	Prisma			
	Base (cm)	Espesor (cm)	Altura (cm)	Hileras
9 * 19 * 39 cm	39	9	39	2
14 * 19 * 39 cm	39	14	59	3
19 * 19 * 39 cm	39	19	59	3

Tabla XII. Dimensión del prisma para ladrillo tayuyo y tubular

Dimensiones	Prisma			
	Base (cm)	Espesor (cm)	Altura (cm)	Hileras
Tayuyo 6.5 * 11 * 23 cm	35.5	11	29	4
Tubular 6.5 * 11 * 23 cm	35.5	11	29	4
Tubular 9 * 14 * 29 cm	29	14	39	4

1.3.2 Procedimiento para determinar $f'm$

Para poder determinar el valor exacto del esfuerzo básico promedio de ruptura de los prismas de mampostería se deben de seguir cada uno de los siguientes pasos, tomando en cuenta que se deben de ensayar por lo menos tres prismas para tener mayor certeza en los resultados.

- A. Escoger el tipo de unidad de mampostería que se va a utilizar, si son bloques o ladrillos.
- B. Calcular el área bruta de la cara superior en cm^2 , este es el producto del largo total por el espesor de la unidad de mampostería.
- C. Realizar el ensayo de laboratorio para determinar la carga máxima que se puede aplicar al prisma. La carga debe ser hasta que se obtiene la ruptura.
- D. Determinar el esfuerzo de compresión que resiste cada prisma en función del área bruta.
- E. Determinar la esbeltez del prisma, siendo esta la altura/espesor de muro (h/d).
- F. Al conocer la relación de esbeltez, se procede a determinar el factor de corrección, según grafica UBC.
- G. Se debe corregir el valor del esfuerzo de compresión determinado en el inciso D, éste se calcula multiplicando el valor del esfuerzo de compresión por el factor de corrección calculado en el inciso F.

Esfuerzo real de ruptura = esfuerzo de ruptura del prisma * F.C.

- H. Calcular el esfuerzo promedio de los resultados obtenidos con los diferentes ensayos de los prismas en el inciso G.
- I. Las normas UBC recomiendan que se tome el menor valor obtenido en el inciso G y que se multiplique por 1.25, para que luego sea comparado con el resultado que se obtuvo en el inciso H, esto con el fin de tomar el menor de los dos valores.
- J. Finalmente se debe determinar el valor de f_m . Para poder obtener el f_m se divide el resultado calculado en el inciso anterior entre el factor de la relación A_e/A_b , esto con el fin de tener el f_m en función del área efectiva.

Donde:

A_e Área efectiva de la unidad de mampostería, siendo esta el área bruta menos el área de los agujeros y entrantes que en su sección tenga.

2. CARGAS QUE AFECTAN A UNA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERÍA REFORZADA

2.1 Cargas

Todo elemento de una estructura de mampostería reforzada tiene que soportar las cargas a las que va a ser sometido, sin exceder los máximos esfuerzos permisibles de los materiales utilizados. Para un diseño de una estructura de este tipo, se debe considerar los diferentes tipos de cargas que van a actuar directa o indirectamente, siendo estas las cargas gravitacionales y las cargas laterales.

2.1.1 Cargas gravitacionales

Son las cargas verticales que deben de ser soportadas por la estructura, estas son la carga viva y la carga muerta.

2.1.1.1 Carga viva

Son todas aquellas cargas para las que se diseña y que debe soportar una estructura debido al uso u ocupación que tendrá, estas cargas no son permanentes, ya que en algunos casos puede no estar presente, por lo que su magnitud y distribución son inciertas en determinado momento, esta carga puede incluir efectos ordinarios de impacto, vibración, producidos por maquinaria en movimiento.

A continuación se presentan algunas tabulaciones de valores de carga viva mínima que ha de soportar cada estructura de acuerdo a su función.

Tabla XIII. Cargas vivas mínimas para una estructura de mampostería

Ocupación o uso	Carga	Unidad
Almacenes		
Primer piso	500	kg/m ²
Pisos superiores	375	kg/m ²
Al por mayor en todos los pisos	600	kg/m ²
Áreas de reunión y teatros		
Con sillas fijas	300	kg/m ²
Con sillas móviles	500	kg/m ²
Plataformas (montaje)	500	kg/m ²
Pisos de escenarios	700	kg/m ²
Vestibulos	500	kg/m ²
Armerías y cuartos de adiestramiento	700	kg/m ²
Balcones		
Exteriores	500	kg/m ²
Para viviendas menores a 10 m ²	300	kg/m ²
Bibliotecas		
Salas de lectura	500	kg/m ²
Cuartos de almacenamiento	700	kg/m ²
Corredores en pisos superiores al primero	400	kg/m ²
Bodegas de almacenamiento		
Liviana	600	kg/m ²
Pesada	1,200	kg/m ²
Billares y áreas de recreación	375	kg/m ²
Comedores y restaurantes	500	kg/m ²
Corredores	500	kg/m ²

Edificios de oficinas		
Vestíbulos	500	kg/m ²
Oficinas	250	kg/m ²
Escaleras de emergencia		
En edificios	500	kg/m ²
En residencias unifamiliares	200	kg/m ²
Escuelas y colegios		
Salones de clase	200	kg/m ²
Corredores y pasillos	400	kg/m ²
Fábricas e industrias		
Liviana	600	kg/m ²
Pesada	1,200	kg/m ²
Garages		
Para automóviles	300	kg/m ²
Para buses o transporte pesado	Ver	AASHTO
Gimnasios, pisos principales	500	kg/m ²
Graderíos de estadios y coliseos	500	kg/m ²
Hospitales		
Salas de operación y laboratorios	300	kg/m ²
Cuartos privados	200	kg/m ²
Pabellones	200	kg/m ²
Corredores	400	kg/m ²
Hoteles y casas multifamiliares		
Cuartos privados y corredores adyacentes	200	kg/m ²
Salones públicos y corredores adyacentes	500	kg/m ²
Instituciones penales		
Celdas	200	kg/m ²
Corredores	500	kg/m ²

Marquesinas y toldos	375	kg/m ²
Patios y terrazas peatonales	500	kg/m ²
Residencial		
Viviendas	200	kg/m ²
Ambientes no habitables sin almacenamiento	50	kg/m ²
Ambientes no habitables con almacenamiento	100	kg/m ²
Ambientes habitables (dormitorios)	150	kg/m ²
Salones de baile	500	kg/m ²
Vías vehiculares y patios sometidos a tráfico	1,200	kg/m ²

Fuente: Diseño de estructuras de concreto con referencia del Instituto Nacional de Normas Americanas ANSI.

2.1.1.2 Carga muerta

Las cargas muertas de una estructura son aquellas que se mantienen constantes en magnitud y con una posición fija durante la vida útil de la estructura, su magnitud se puede calcular fácilmente según los volúmenes y pesos específicos.

Las cargas muertas pueden ser los pesos propios de losas, vigas, columnas, muros de corte, rellenos, repellos, cernidos mezclones y pisos, instalaciones eléctricas o mecánicas, etc., pero también se puede incluir en éstas al equipo fijo o maquinaria siempre que este sea de un peso definido o bien que esté unido a la estructura, por ejemplo, las torres de enfriamiento, equipos de elevador, equipos de quirófano para un hospital, maquinaria para talleres, etc. En la siguiente tabla se muestran algunas cargas de elementos utilizados en la mampostería reforzada, aunque algunos de estos elementos pueden variar, dependiendo de los materiales que se utilizarán en la

construcción, por lo que el analista deberá de investigar el peso de los mismos.
(ver tabla XIV).

Tabla XIV. Cargas muertas mínimas

Material	Unidad	Peso	
Pisos			
Concreto	Volumetrico	2,400	kg/m ³
Piso de granito y mezlón	5 cm de espesor	60	kg/m ²
Asfalto	1 cm de espesor	23	kg/m ²
Duela o <i>parquet</i>	1 cm de espesor	8	kg/m ²
Relleno de concreto ligero	Volumetrico	1,600	kg/m ³
Techos			
Impermeabilizante de tres capas de fieltro asfaltico con acabado de gravilla	-----	27	kg/m ²
Teja de cemento	-----	32	kg/m ²
Teja de barro	-----	100	kg/m ²
Revestimiento de madera	2.5 cm de espesor	15	kg/m ²
Repellos	1.0 cm de espesor	15	kg/m ²
Losa prefabricada	15 cm de espesor	240	kg/m ²
Losa prefabricada	20 cm de espesor	300	kg/m ²
Losa prefabricada	25 cm de espesor	340	kg/m ²
Muros			
Muro de block pómez de 10 cm	-----	160	kg/m ²
Muro de block pómez de 15 cm	-----	210	kg/m ²
Muro de block pómez de 20 cm	-----	250	kg/m ²
Muro divisorio de tablayeso	-----	60	kg/m ²
Mampostería de piedra	-----	2,500	kg/m ³
Mampostería de ladrillo común	-----	1,920	kg/m ³
mampostería reforzada de 20 cm con f'm = 80 kg/cm ²	-----	300	kg/m ²
Ladrillo perforado de 14 cm	-----	230	kg/m ²
Ladrillo tubular de 14 cm	-----	171	kg/m ²
Ladrillo tayuyo de 11 cm	-----	186	kg/m ²

Fuente: Diseño de estructuras de concreto con referencia del Instituto Nacional de Normas Americanas ANSI.

2.1.2 Cargas laterales

La carga lateral o bien carga horizontal es la que se produce debido a un sismo, viento, empuje, etc y difieren de las cargas gravitacionales debido a que las cargas horizontales son dinámicas mientras que las otras son estáticas, una de las características especiales de este tipo de carga es que son aplicadas en un periodo de tiempo muy corto. Para facilitar el cálculo de dichas cargas se sustituyen las cargas dinámicas por cargas estáticas, siempre y cuando se considere lo siguiente

- Se determine en forma apropiada la fuerza estática equivalente
- Se aplique apropiadamente a la estructura
- Tener en cuenta la verdadera naturaleza de esta fuerza

2.1.2.1 Cargas de viento

Este tipo de cargas producen una fuerza horizontal sobre la estructura de mampostería, la cual generalmente es muy pequeña en comparación con la carga de sismo, por lo que puede no ser tomada en cuenta, una característica de este tipo de fuerza es que las velocidades más grandes de viento ocurren en periodos de tiempo muy cortos.

2.1.2.2 Cargas de sismo

Son las cargas o fuerzas inducidas en una estructura debida a la vibración u oscilación de la superficie de la tierra causadas por un disturbio elástico o gravitacional de las masas que están buscando su equilibrio, creándose de esta manera ciertos ladeos en la misma que a su vez generan

determinados esfuerzos que se producen en los diferentes elementos que conforman a la estructura.

El análisis sísmico se puede simplificar utilizándose fuerzas estáticas que producirán el mismo efecto de ladeo de un sismo. La fuerza sísmica va a depender directamente del peso propio de la estructura y su punto de aplicación será en la base por considerarse fija o empotrada en la misma.

2.2 Distribución de cargas gravitacionales

La distribución de las cargas gravitacionales o verticales se puede hacer de dos maneras como

2.2.1 Áreas tributarias

Este método toma en cuenta el área tributaria que le corresponde a cada muro, esto se puede lograr asumiendo y trazando líneas a 45° en las losas, pudiéndose hacer de dos maneras, siendo la primera a ejes y la segunda a rostros internos de los apoyos.

2.2.2 Anchos tributarios

Este método esta recomendado por el código del Instituto Americano del Concreto:

- Para tramos cortos es: $(A/3)$
- Para tramos largos es: $(A/3) * (3 - m^2)/2$

Donde:

A = Longitud del lado más corto del claro a rostros internos

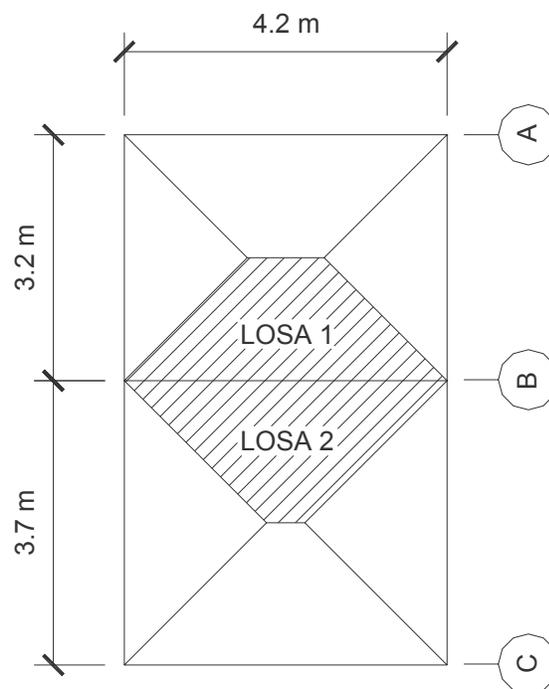
m = Relación del claro corto y largo (A / B)

B = Longitud del lado más largo del claro a rostros internos

Ejemplo 1

Calcular carga viva y carga muerta para el eje B por áreas y anchos tributarios.

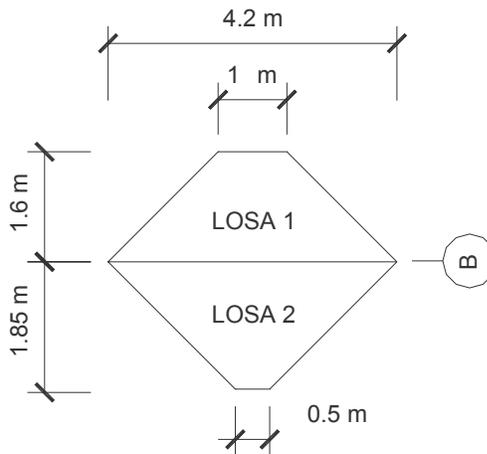
Figura 2. Planta de losa



- **Solución por áreas tributarias**

Se debe tomar en cuenta el área que le corresponde al muro del eje B, para ello se suman las áreas de las dos losas.

Figura 3. Losa para áreas tributarias



$$\text{Área} = \frac{(b_1 + b_2) * h}{2}$$

$$\text{Área} = \frac{(1.0 + 4.2) * 1.6}{2} + \frac{(0.5 + 4.2) * 1.85}{2} = 8.51 \text{ m}^2$$

Se asume un espesor de 0.09 m

$$\text{CM} = (\text{área tributaria}) * [(\text{peso específico del concreto}) * (\text{espesor de la losa}) + \text{sobrecarga}]$$

$$\text{CV} = (\text{área tributaria}) * [\text{valor de la carga viva según el uso u ocupación}]$$

$$\text{CM} = \frac{(8.51 \text{ m}^2) * [(2,400 \text{ kg / m}^3) * (0.09 \text{ m}) + 100 \text{ kg / m}^2]}{4.20 \text{ m}} = 640.28 \text{ kg / m}$$

$$\text{CV} = (8.51 \text{ m}^2) * (200 \text{ kg / m}^2) = 405.24 \text{ kg / m}$$

4.20 m

$$C. U. = 1.4 (640.28 \text{ kg / m }) + 1.7 (405.24 \text{ kg / m }) = 1,585.30 \text{ kg / m}$$

- **Solución por anchos tributarios**

Para ello se debe tomar en cuenta los dos anchos tributarios de las losas que actúan sobre el muro del eje B.

Paso 1: encontrar la relación $m = A / B$

$$m_1 = \frac{3.20 \text{ m}}{4.20 \text{ m}} = 0.76 > 0.50 \quad \text{trabaja en dos sentidos}$$

$$m_2 = \frac{3.70 \text{ m}}{4.20 \text{ m}} = 0.88 > 0.50 \quad \text{trabaja en dos sentidos}$$

Paso 2: encontrar anchos tributarios

Como se esta trabajando con el lado más largo, entonces se utiliza la fórmula para tramos largos.

$$\text{Losa 1: } \frac{(3.20 \text{ m})}{3} * \frac{[(3 - (0.76^2))]}{2} = 1.29 \text{ m}$$

$$\text{Losa 2: } \frac{(3.70 \text{ m})}{3} * \frac{[(3 - (0.88^2))]}{2} = 1.37 \text{ m}$$

Paso 3: Encontrar el espesor de la losa

Como las dos losas trabajan en dos sentidos se utiliza la siguiente expresión para determinar el espesor de la losa.

$$t = (2 a + 2 b) / 180$$

$$\text{Losa 1: } [(2 * 3.20) + (2 * 4.20)] / 180 = 0.082 \text{ m}$$

$$\text{Losa 2: } [(2 * 3.70) + (2 * 4.20)] / 180 = 0.087 \text{ m}$$

Entonces utilizar espesor de losa igual a 0.09 m

$$\text{CM} = (\text{suma de anchos tributarios}) * [(\text{peso específico del concreto}) * (\text{espesor de la losa}) + \text{sobrecarga}]$$

$$\text{CV} = (\text{suma de anchos tributarios}) * (\text{valor de la carga viva según el uso})$$

$$\text{CM} = (2.66 \text{ m}) * [(2,400 \text{ kg} / \text{m}^3) * (0.09 \text{ m}) + 100 \text{ kg} / \text{m}^2] = 840.56 \text{ kg} / \text{m}$$

$$\text{CV} = (2.66 \text{ m}) * (200 \text{ kg} / \text{m}^2) = 532.00 \text{ kg} / \text{m}$$

$$\text{C. U.} = 1.4 (840.56 \text{ Kg} / \text{m}) + 1.7 (532.00 \text{ kg} / \text{m}) = 2,081.18 \text{ kg} / \text{m}$$

Como se puede observar es más conservador el resultado que se obtiene al utilizar el método de los anchos tributarios que el obtenido con las áreas tributarias, quedará bajo criterio del diseñador que método empleará para la obtención de los resultados.

2.3 Análisis y distribución de cargas laterales

2.3.1 Acciones sísmicas de diseño

Las acciones sísmicas de diseño se esquematizarán convencionalmente como sistemas de fuerzas horizontales estáticas equivalentes, debido a que se facilita el analizarlas de esta manera.

2.3.1.1 Direcciones de análisis

Se admitirá que las fuerzas horizontales estáticas equivalentes a la acción sísmica actúan independientemente (no simultáneamente), según dos direcciones ortogonales de la construcción. Dichas direcciones de análisis se establecerán de la siguiente manera

- A. Si la estructura de la construcción está constituida por muros dispuestos según dos direcciones ortogonales, éstas deberán considerarse como direcciones de análisis.

- B. Si la planta de la construcción es aproximadamente simétrica con respecto a un eje, una de las direcciones de análisis deberá coincidir con dicho eje.

2.3.1.2 Consideraciones de las cargas gravitacionales

Las cargas gravitacionales que se deberán considerar para la determinación de las acciones sísmicas, estarán compuestas por las cargas permanentes y una fracción de la sobrecarga de servicio.

Dichas cargas gravitacionales podrán ser reemplazadas por un conjunto de cargas concentradas que, en general, se podrán suponer aplicadas a nivel de los entrepisos y techo de la construcción.

La carga gravitacional W_k que se supone concentrada en un determinado nivel k de la construcción se obtendrá sumando a las cargas correspondientes a dicho nivel (peso propio de vigas, losas, pisos, entrepisos, capas aislantes, cielo rasos, etc., y la fracción correspondiente de las sobrecargas de servicio), el peso propio de los elementos estructurales y no estructurales (muros, tabiques, columnas, etc.) que resulten comprendidos dentro del sector determinado por dos planos horizontales ubicados a la mitad de la altura de los dos pisos contiguos al nivel k considerado.

2.3.1.3 Superposición de efectos torsionales y traslacionales

Los efectos traslacionales y torsionales originados por la acción sísmica actuante según la dirección de análisis considerada, se superpondrán, aplicando según dicha dirección un sistema de fuerzas horizontales determinado de acuerdo a las fuerzas sísmicas horizontales y un momento torsor acumulado, establecido como se indica en los efectos torsionales.

2.3.1.4 Fuerzas sísmicas horizontales

El sistema de fuerzas horizontales equivalentes a la acción sísmica, que se aplica según la dirección de análisis considerada, se establece determinando primero el valor de la fuerza sísmica horizontal resultante (esfuerzo de corte en la base de la construcción), a partir de la cual se

determinan luego las fuerzas componentes del sistema, las cuales, a su vez, se suponen concentradas a nivel de los entresijos y techo de la construcción, en los que se han supuesto concentradas las cargas gravitacionales.

2.3.1.5 Efectos torsionales

Los efectos torsionales se establecerán considerando la no coincidencia entre el centro de rigidez C.R. de un nivel determinado y la recta de acción del esfuerzo de corte en dicho nivel.

Dicha excentricidad estática se modificará, con el propósito de tener en cuenta la amplificación dinámica correspondiente y las incertidumbres sobre la distribución real de las cargas gravitacionales y la posición efectiva del centro de rigidez C.R.

En cada nivel de la construcción, a los esfuerzos de corte traslacionales originados por las fuerzas sísmicas horizontales equivalentes, se superpondrán los esfuerzos de corte rotacionales originados por el momento torsor acumulado hasta dicho nivel. Se admitirá que en cada nivel, la fuerza sísmica horizontal actúa aplicada en el centro de masas C.M. correspondiente a dicho nivel.

La excentricidad va a ser producida, debido a que como se mencionó anteriormente la fuerza de sismo va a ser resistida por el muro de corte de manera proporcional a su rigidez, resistiendo cada muro la misma fuerza si éstos son del mismo tamaño y localizados simétricamente, de lo contrario algunos muros resistirán mayores fuerzas que otros creándose así los momentos torsionantes debido a la excentricidad, ya que la fuerza de sismo está localizada en el centro de masa, produciéndose una resultante con la

misma magnitud y sentido contrario que no es más que la resistencia de la estructura pero localizada en el centro de rigidez.

2.3.1.5.1 Limitación de los efectos torsionales

Los muros sismorresistentes se dispondrán en forma tal que, en todos los niveles, el esfuerzo de corte rotacional sobre cada muro no sea mayor que el correspondiente esfuerzo de corte traslacional originado por las fuerzas sísmicas horizontales.

2.3.2 Estructuración sismo resistente

Esta es una guía propuesta por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) para determinar la estructuración sismo resistente de una edificación e integrar el índice de calidad Q, para ello se debe cumplir con los siguiente requerimientos.

2.3.2.1 Clasificación de las obras

Se clasifica la obra dependiendo del impacto socio – económico que implique la falla o cesión de funciones de la misma, para ello existen cinco categorías que son:

- A. **Obras críticas:** estas son indispensables para el desenvolvimiento socio – económico de grandes sectores de la población; también se clasifican en esta categoría a las obras que al fallar pondrían en peligro a grandes cantidades de personas, como los puentes, centrales energéticas, etc.

- B. **Obras esenciales:** este tipo de obras no pueden fallar durante o después de un desastre natural por lo que deben de mantenerse en funcionamiento durante y después del mismo, entre estas están: hospitales con instalaciones de emergencia, quirófanos, instalaciones de defensa civil, bomberos, policía y comunicaciones asociadas con la atención de desastres, instalaciones de captación y tratamiento de agua, puentes sobre carreteras de primer orden, etc.
- C. **Obras importantes:** estas son aquellas que albergan o pueden afectar a gran número de personas, donde sus ocupantes estén restringidos a desplazarse, donde se presten servicios no esenciales después de un desastre, entre éstas están: edificios educativos y guarderías, edificaciones del estado no esenciales, hospitales, sanatorios y centros de salud públicos y privados, prisiones, museos, edificios mayores de 5 niveles o de 3,000 m² de área interior como teatros, cines, templos, mercados, auditorios, restaurantes, o similares que alojen a más de 300 personas, aquí no se incluyen estacionamientos.
- D. **Obras ordinarias:** entre éstas están aquellas que no se hayan mencionado anteriormente como: viviendas, comercios, edificios industriales y agrícolas que por su tamaño, función o volumen no se pueden clasificar en otra categoría.
- E. **Obras utilitarias:** entre éstas están aquellas que no se diseñan para albergar personas pero que en un momento determinado pueden utilizarse para ello en periodos de tiempo no prolongados, en caso de duda se pueden clasificar como obras ordinarias.

2.3.2.2 Índice de sismicidad del sitio (I_0)

Este es una medida relativa de la severidad que se espera del sismo en una localidad determinada, por lo que se necesita de un nivel de protección adecuado de la obra como se detalla en el nivel de protección requerido.

Las normas AGIES dividen el territorio de Guatemala en cuatro macrozonas caracterizadas cada una por su índice de sismicidad (tabla XV), además se requiere de la aplicación de un índice de sismicidad $I_0 = 5$ a nivel de microzona, que toma en cuenta condiciones localizadas como flacos de barrancos, terrenos inclinados, franjas de terreno falladas, peligro de derrumbe o deslave, arenales y suelos granulares saturados, litorales, riveras, playas, etc.

Tabla XV. Índice de sismicidad

Zona	I_0	A_0	A_f	Observaciones
2	2	0.15 g	0.015 g	cuando sea necesario interpolarlo sobre líneas norte - sur
3	3	0.15 a 0.40 g	0.015 a 0.15 g	
4.1	4	0.40 g	0.15 a 0.20 g	
4.2	4	0.40 g	0.20 g	

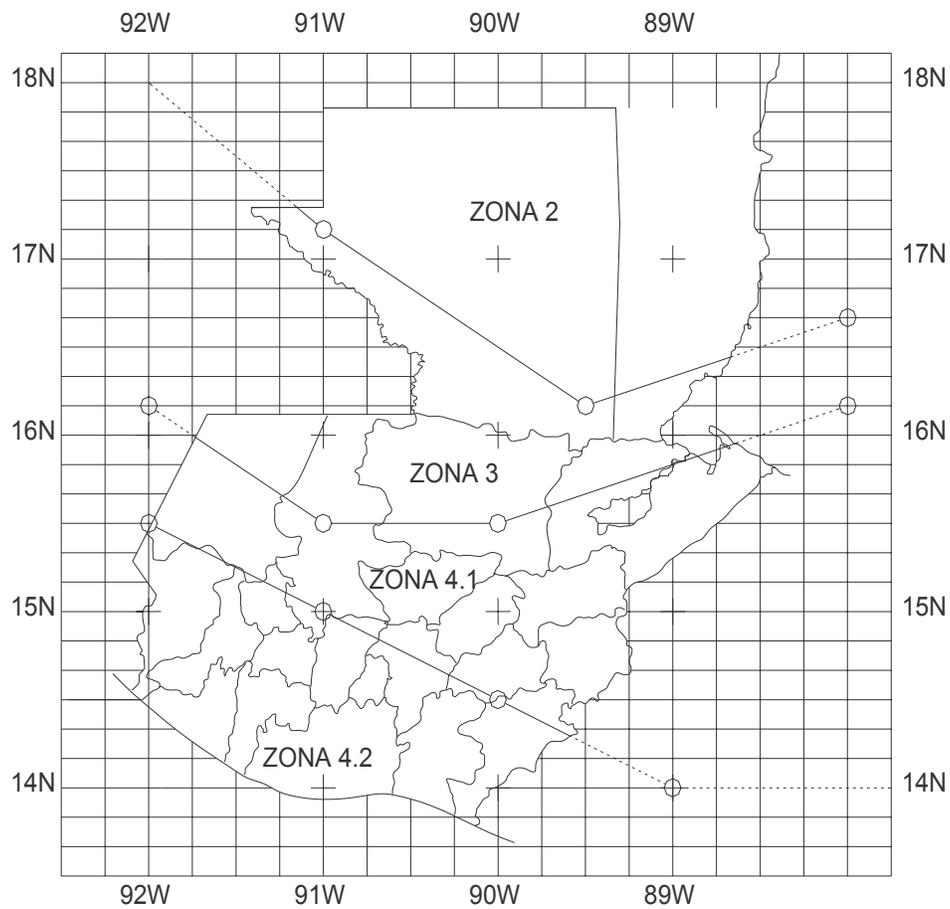
Fuente: Normas AGIES NR – 2: 2000 página. 12

2.3.2.3 Nivel de protección requerido

Este no es más que una medida del grado de protección suministrado al público y a los usuarios de las obras contra riesgos derivados de las solicitaciones de carga y amenazas naturales. Este valor es determinado por el índice de sismicidad y la clasificación de la obra. (ver tabla XVI).

El nivel de protección hace énfasis en la necesidad de proyectar edificaciones con un control explícito de su deformabilidad lateral, especialmente para sismos.

Figura 4. Mapa de macrozonas sísmicas



Fuente: Normas AGIES NR – 2: 2000 página. 12

Tabla XVI. Nivel de protección requerido

Índice de sismicidad I_0	Clasificación de la obra				
	Crítica	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
2	C2	C1	B	B	A
3	D	C2	C2	B	B
4	E	D	C2	C1	B
5	E	E	D	C2	C1
Nota: Ver clasificación de obra Ver índice de sismicidad					

Fuente: Norma AGIES NR – 2: 2000 página. 8

Donde:

A, B, C1, C2, D y E son los niveles de protección de la obra.

El cálculo de las derivas laterales depende del método de análisis. Estas deformaciones son postelásticas y se desarrollarían en las edificaciones después de varias excursiones fuera del rango elástico. No son derivas nominales al límite elástico del sistema estructural. En la tabla XVII se presentan los valores máximos para las derivas laterales.

Tabla XVII. Derivas laterales máximas según el nivel de protección requerido

Nivel de protección requerido	Deformaciones	Donde
A, B, C1	$\Delta n = 0.015 h_n$ $\Delta x = 0.018 (h_x - h_x - 1)$	$n =$ Deriva lateral total de la edificación $x =$ Deriva lateral del nivel x de la edificación $h_x =$ Altura del nivel x
C2	$\Delta n = 0.015 h_n$ $\Delta x = 0.3018 (h_x - h_x - 1)$	
D, E	$\Delta n = 0.015 h_n$ $\Delta x = 0.3018 (h_x - h_x - 1)$	

Fuente: Normas AGIES

2.3.2.4 Perfil del suelo

Las normas AGIES definen tres perfiles de suelo para poder establecer el espectro del sismo de diseño, los cuales son:

Perfil del suelo S1

Éste debe satisfacer cualquiera de las siguientes condiciones

- Roca de cualquier clase, este material se caracteriza por tener velocidades de onda de corte mayores a 800 metros / segundo.
- Suelo rígido cuyo basamento rocoso está a menos de 50 metros de profundidad, constituido por arenas, gravas densas o arcillas firmes.

Perfil del suelo S2

Éste debe satisfacer cualquiera de las siguientes condiciones:

- Suelo firme cuyo basamento rocoso esta a más de 50 metros de profundidad, está conformado por suelos granulares densos, limos densos cenizas volcánicas o arcillas firmes.
- Generalmente suelos firmes y estables cuyo perfil no se clasifica como S1 ni S3.

Perfil del suelo S3

Éste debe satisfacer cualquiera de las siguientes condiciones:

- Generalmente perfiles de suelo donde la velocidad de onda de corte del depósito es menor de 200 metros por segundo.
- Depósitos de más de 10 metros de espesor de cenizas, arenas o

limos sueltos o de densidad media.

- Depósitos de más de 10 metros de espesor de arcillas blandas o semiblandas con o sin estratos arenosos intermedios.
- Si existe alguna duda debe de tomarse el resultado más crítico de suponer perfil S2 y S3.

2.3.2.5 Aceleración máxima efectiva del terreno (A_o)

Éste no es más que un parámetro para el cálculo del sismo básico de diseño, A_o es una reducción de la aceleración máxima absoluta y se utiliza porque ocurre sólo una vez durante el sismo, es por esto que la aceleración efectiva intenta representar al conjunto de impulsos grandes de un sismo, los valores para cada zona están expresados en la tabla XV.

2.3.2.6 Tipo de estructura

Según las normas AGIES se clasifican a las estructuras en cinco tipos o familias fundamentales, las cuales se subdividen según sean los elementos verticales que sirvan para proporcionar resistencia y rigidez lateral, si existiera alguna duda se le puede clasificar como E6.

Para el análisis de una vivienda o edificio de mampostería reforzada se utiliza el sistema tipo cajón, el cual tiene algunas restricciones de altura, estando directamente relacionado con el nivel de protección de la estructura, siendo:

- 30 metros de altura para un nivel de protección tipo C.
- 20 metros de altura para un nivel de protección tipo D.

Ya que para alturas mayores se necesita un sistema tipo E3 o E4.

Tabla XVIII. Clasificación por tipo de estructura

Tipo de estructura	C	Sistema vertical sismo resistente
Sistema de cajón	E1	Con muros estructurales de Mampostería reforzada Concreto reforzado Mampostería sin refuerzo Mampostería reforzada interiormente Madera Marcos arriostrados
Sistema de marcos	E2	
Marcos ordinarios	E2.1	Acero estructural Concreto reforzado
Marcos especiales	E2.2	Acero estructural Concreto reforzado
Sistema combinado de muros y marcos	E3	Muros de mampostería reforzada Muros de concreto reforzado Marcos arriostrados en lugar de muros Arriostres ordinarios Arriostres excéntricos
Sistema dual de muros y marcos	E4	Muros de mampostería reforzada Muros de concreto reforzado Marcos arriostrados en lugar de muros Arriostres ordinarios Arriostres excéntricos
Péndulo invertido	E5	De concreto reforzado Confinado Ordinario De estructura de acero Con detalles ordinarios Con detalles sísmicos De estructura de madera
Otro tipo	E6	Clasificar como E5

Fuente: Norma AGIES NR – 3: 2000 Página 7

2.3.2.7 Descripción de la estructura

Para cumplir con este requerimiento se debe presentar una planta esquemática donde el término bajo el suelo que aparece en la tabla XXIII significa la cantidad de niveles de sótano del edificio y el término sobre el suelo indica la cantidad de niveles que conforman a la estructura sobre el nivel de la calle.

La longitud X y Y máxima corresponde a la distancia entre ejes externos vistos en planta, en el presente trabajo no se tendrán niveles bajo el piso, por lo que no se tomará en cuenta.

2.3.2.8 Configuración de la edificación

Aquí se especifican los valores de los índices de calidad q_i con base en la redundancia estructural, la configuración en planta y la configuración vertical.

2.3.2.8.1 Redundancia estructural

La redundancia estructural se verifica separadamente para cada dirección de análisis atendiendo al número de tramos, número de ejes estructurales y al número de muros en cada dirección, en caso de que dos ejes tienen diferente índice q_1 o q_2 se tomará el promedio de ambas.

Para relaciones intermedias a las indicadas en la tabla XIX se pueden interpolar o tomar el índice menor. La longitud del tramo, para efectos de la comparación anterior, se define por conveniencia para el claro libre entre soportes consecutivos.

Tabla XIX. Redundancia estructural (q1) para número de tramos

Número de tramos	Requisito	Índice q1
4 o más	Tramo menor > 0.75 tramo mayor	+ 2.50
	Tramo menor < 0.45 tramo mayor	+ 1.50
3	Tramo menor > 0.75 tramo mayor	+ 1.50
	Tramo menor < 0.45 tramo mayor	0.00
2	Tramo menor > 0.70 tramo mayor	0.00
	Tramo menor < 0.45 tramo mayor	- 2.50
1	-----	- 3.00
ninguno	Es estructura tipo E5	---

Fuente: Normas AGIES NR-3:2000 página 14

Tabla XX. Número de ejes estructurales (q2)

Número de ejes estructurales	Requisito	Índice q2
5 ó más	-----	+ 2.50
4 ejes	$S_{\text{mín}} > 0.70 S_{\text{máx}}$	+ 2.50
	$S_{\text{mín}} > 0.45 S_{\text{máx}}$	0.00
3 ejes	$S_{\text{mín}} > 0.70 S_{\text{máx}}$	0.00
	$S_{\text{mín}} > 0.45 S_{\text{máx}}$	- 2.50
2 ó menos	-----	- 3.00

Fuente: Normas AGIES NR-3:2000 página 14

En las expresiones anteriores S es el espaciamiento entre ejes medido centro a centro, para relaciones intermedias a las indicadas se puede interpolar o tomar el índice menor.

Si la estructura tiene en 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 sea mayor que 0.67 se le podrá asignar un índice de calidad $q_3 = + 2.50$.

La presencia de muros y riostras para los sistemas de cajón (E1) tienen un índice de calidad de $q_3 = + 2.50$.

2.3.2.8.2 Configuración en planta

Las edificaciones se pueden clasificar como regulares e irregulares, siendo las regulares las que presentan una configuración en planta aproximadamente simétrica y rectangular, sin grandes agujeros y cuya distribución de masa y distribución de sistemas sismo-resistentes sean bastante coincidentes. Los índices de calificación son q_4 y q_5 .

Para poder utilizar el método de la carga estática equivalente una estructura deberá satisfacer los siguientes requisitos de regularidad horizontal:

- Los diafragmas de todos los pisos sobre el nivel del suelo no deberán contener variaciones abruptas en rigidez, ni esquinas salientes o entrantes que puedan influenciar significativamente en la distribución de las fuerzas laterales en la estructura.

- Uno de los siguientes subincisos
 - a) 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 ser mayor de 0.3 veces la máxima dimensión de la

estructura en planta de dicho nivel, medida perpendicularmente a la acción de la fuerza.

- b) 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 la fuerza lateral, deberá estar comprendido en el intervalo $3/7$ a $7/3$.

Tabla XXI. Configuración en planta

Índice número	Condición	Índice q_i
q4	Todos los pisos tienen plantas regulares Sí ningún piso tiene planta regular Situaciones intermedias	+ 2.5 - 4.0 Interpolar
q5	Sí cumple con el inciso a o bien b Sí no cumple con ninguno de los incisos a o b No habrá interpolación entre estos dos valores.	+ 5.0 - 8.0

Fuente: Normas AGIES NR-3:2000 página 16

2.3.2.8.3 Configuración vertical

Deberá cumplir con los siguientes requerimientos

- 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 deberá ser mayor o igual a la rigidez del correspondiente entrepiso inmediato superior.
- Cuando los tabiques, sillares o cualquier otro elemento secundario, están dispuestos de tal manera que no produzcan cambios significativos en la rigidez de un piso a otro, no deberán contribuir a la rigidez lateral del entrepiso.

Si todos los pisos cumplen los criterios anteriores, se deberá asignar un índice q_6 igual a + 0.00, si no cumple con alguno de los tres requisitos se asignará un índice de calidad $q_6 = - 12.0$, no habrá interpolación entre estos dos valores.

Tabla XXII. Configuración vertical

Índice número	Condición	Índice q_i
q6	Configuración vertical regular	0.0
	Configuración vertical irregular	- 12.0

Fuente: Normas AGIES NR-3:2000 página 18

Tabla XXIII. Guía para establecer la estructuración sismo resistente de una edificación e integrar el índice de calidad Q

2.3.2.1	Nombre de la edificación _____					
2.3.2.1	Clasificación de la obra _____					
2.3.2.2	Índice de sismicidad del sitio _____					
2.3.2.3	Nivel de protección requerido _____ Asignado _____					
2.3.2.4	Perfil del suelo _____					
2.3.2.5	Aceleración máxima efectiva del terreno A_0 _____					
2.3.2.6	Tipo de estructura _____					
2.3.2.7	Descripción de la estructura Número de pisos bajo el suelo _____ Sobre el suelo _____ Altura total bajo el suelo _____ Sobre el suelo _____ Longitud $X_{máx}$ bajo el suelo _____ Sobre el suelo _____ Longitud $Y_{máx}$ bajo el suelo _____ Sobre el suelo _____					
2.3.2.8	Configuración de la edificación	Dirección del análisis			Valores q_i referencia	
		X	Ambos	Y	min.	Máx.
2.3.2.8.1	Redundancia estructural					
	Número de tramos	$q_1 =$ _____		$q_1 =$ _____	-3.0	+2.5
	Número de ejes estructurales	$q_2 =$ _____		$q_2 =$ _____	-3.0	+2.5
	Presencia de muros o riostras	$q_3 =$ _____		$q_3 =$ _____	0.0	+3.5
2.3.2.8.2	Configuración en planta					
	Regularidad en planta		$q_4 =$ _____		-3.0	+2.5
	Excentricidad en planta	$q_5 =$ _____		$q_5 =$ _____	-3.0	+5.0
2.3.2.8.3	Configuración vertical					
	Regularidad vertical	$q_6 =$ _____		$q_6 =$ _____	-12.0	0.0

Fuente: Norma AGIES NR – 3 :2000 página 17

2.3.3 Corte basal

Se denomina de esta manera debido a que el edificio se considera fijo en la base y se diseñará en cada dirección de análisis para resistir como mínimo el cortante basal estático equivalente, éste se calcula con base en lo propuesto por AGIES con la siguiente fórmula:

$$V_B = C_S * W_S$$

Donde:

W_S Debe de tomarse como el total de la carga muerta más un 25% de la carga viva , se le considera como el peso de la masa del edificio capaz de generar fuerzas inerciales que contribuyan al cortante basal.

C_S Es el coeficiente sísmico de diseño para cada dirección de análisis y se establece de la siguiente manera:

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

Donde:

R Es el factor de reducción

T_A Es uno de los periodos de vibración que definen al espectro sísmico de diseño

T Es el periodo fundamental de vibración de la estructura

$S_a * (T)$ Es la demanda sísmica de diseño para una estructura con periodo T

Periodo de vibración T

No es más que el periodo fundamental de vibración de la edificación, puede asignársele el valor genérico empírico T_E , el cual se calcula de la siguiente manera

$$T_E = 0.09 \frac{h_n}{\sqrt{L}}$$

Donde:

L Es la distancia entre los ejes estructurales en la dirección de análisis medida en metros.

h_n Es la altura total de la estructura en metros, desde la base o nivel del terreno, la base es el primer nivel de la estructura restringido de vibrar libremente.

Periodo de vibración T_A y T_B

Estos valores dependen directamente del perfil del suelo donde se encontrará la estructura en análisis.

Tabla XXIV. Periodo de vibración

	S1	S2	S3
T_A	0.12	0.12	0.12
T_B	0.40	0.52	0.74

Fuente: Tesis. Jorge Luis Ortiz Mendoza. Diseño de un edificio de mampostería reforzada,
Página 46

Demanda sísmica de diseño $S_a \cdot T$

Se utiliza para calcular el coeficiente sísmico de diseño (C_s) y se determina de la siguiente manera

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

Donde:

A_o Es la aceleración máxima efectiva del terreno correspondiente al sismo básico de diseño, determinada en la tabla XV.

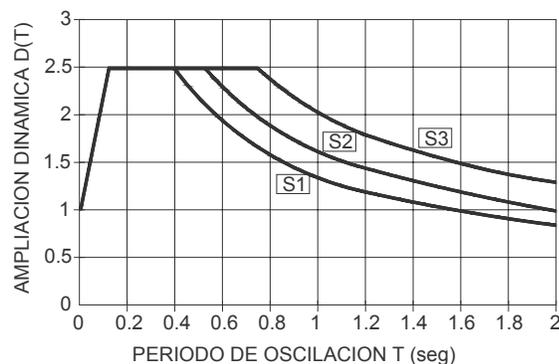
$D(T)$ Es la función de ampliación dinámica. Ver tabla XXV.

Tabla XXV. Función de ampliación dinámica

Condición	Función de ampliación dinámica
$T < T_A$	$D(T) = 1 + 1.5 T / T_A$
$T_A < T < T_B$	$D(T) = 2.5$
$T > T_B$	$D(T) = 2.5 (T_B / T)^{0.67}$

Fuente: Norma AGIES NR – 2 : 2000 Página 14

Figura 5. Función de ampliación dinámica



Fuente: Tesis. Jorge Luis Ortiz Mendoza. Diseño de un edificio de mampostería reforzada, Página 47

Factor de reducción de respuesta sísmica

Se utiliza para reducir la respuesta elástica, dependerá del sistema estructural que se trabaje en el diseño y se determinará mediante la siguiente ecuación:

$$R = 1.2 R_o * Q$$

Donde:

R_o Es el factor genérico de reducción de respuesta sísmica, ver tabla XXVI.

Q Es un factor de calidad sismo resistente.

Tabla XXVI. Factor de reducción de respuesta sísmica

Tipo de estructura	C	Sistema vertical sismo resistente	Factor R_o
Sistema de cajón	E1	Con muros estructurales de:	
		Mampostería reforzada	2.50
		Concreto reforzado	3.50
		Mampostería sin refuerzo	1.00
		Mampostería reforzada interiormente	1.70
		Madera	4.00
		Marcos arriostrados	3.00
Sistema combinado de muros y marcos	E3	Muros de mampostería reforzada	3.50
		Muros de concreto reforzado	4.50
		Marcos arriostrados en lugar de muros	
		Arriostres ordinarios	3.50
		Arriostres excéntricos	4.00

Fuente: Norma AGIES NR – 3 : 2000 página 6

Factor de calidad sismo resistente Q

Evalúa la reacción de la edificación. Es específico para cada proyecto en particular y para cada dirección de análisis. El valor de Q no debe ser menor a 0.80, si no cumple el proyecto debe modificarse para que llegue al valor mínimo, su valor numérico se integra mediante la siguiente ecuación:

$$Q = 1 + 0.01 \sum q_i$$

Los valores de q_i serán analizados en las tablas XIX, XX, XXI y XXII.

Distribución vertical de la fuerza de corte por piso

El cortante basal se distribuirá a lo alto de la estructura, tomando en cuenta para ello el peso de cada nivel y la posición en que se encuentra referente al nivel de piso, para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_j = C_{vj} * V$$

Siendo:
$$C_{vj} = \frac{W_j * h_j^k}{\sum_{i=1, n} (W_i * h_i^k)}$$

Donde:

F_j Es el cortante del nivel j.

W_i Es el peso del nivel i.

h_i Es la altura en metros del nivel de piso al nivel i.

W_j Es el peso del nivel j.

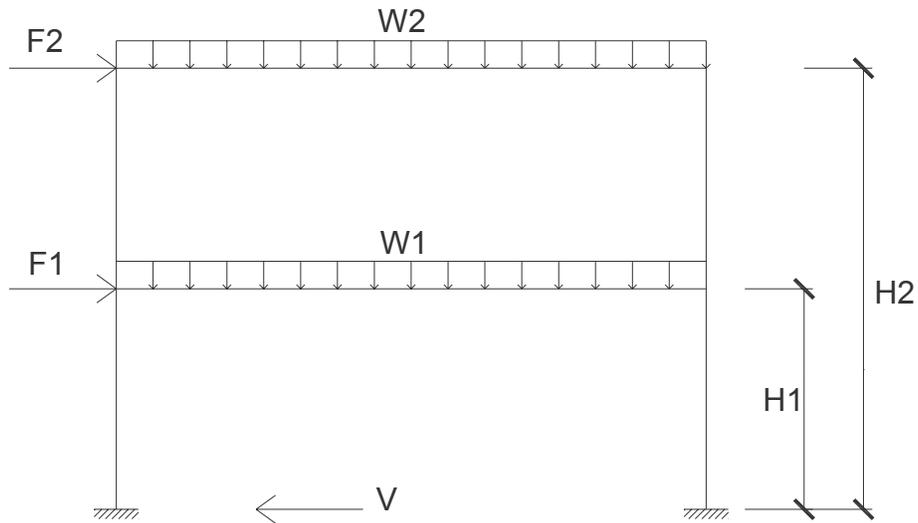
h_j Es la altura en metros del nivel de piso al nivel j.

K Depende del periodo de la estructura siendo
 $k = 1$ Si el período $T \leq 0.50$
 $k = 0.75 + 0.5 T$ Si el período $T > 0.50$

Tabla XXVII. Distribución del corte basal

NIVEL	w_x	h_x	$w_i * h_x^k$	$\frac{w_x * h_x^k}{\sum w_x * h_x^k}$
2	w_2	h_2	$w_2 * h_2^k$	$\frac{W_2 * h_2^k}{\sum w_x * h_x^k}$
1	w_1	h_1	$w_1 * h_1^k$	$\frac{W_1 * h_1^k}{\sum w_x * h_x^k}$
			$\sum w_x * h_x^k$	

Figura 6. Distribución del corte basal en fuerzas por piso



3. CRITERIOS GENERALES PARA ANÁLISIS

3.1 Distribución de solicitaciones

La distribución en planta de las solicitaciones globales actuantes en cada nivel, entre los muros resistentes, deberá efectuarse teniendo en cuenta la rigidez de dichos muros con relación a la deformabilidad del entrepiso o techo de la construcción solicitado por las fuerzas sísmicas actuantes en su plano. La mencionada distribución se realizará de acuerdo con los criterios que se indican a continuación.

3.1.1 Criterios de distribución de solicitaciones

A continuación se presentan algunos criterios para la distribución de las solicitaciones actuantes en la estructura.

- Se seleccionarán las cargas vivas y se integrarán las cargas muertas, posteriormente se deberá determinar el nivel de protección sísmica que la edificación en proyecto requiere.
- Se calcularán las solicitaciones gravitacionales internas en los elementos correspondientes a dicha estructura.
- En caso de ser significativas las solicitaciones por viento se deberán calcular las correspondientes fuerzas internas en los elementos, caso contrario se podrán obviar.

- Las solicitaciones sísmicas y su distribución a lo alto y ancho de la estructura se calcularán por el método de la fuerza estática equivalente y variará dependiendo del análisis que se esté desarrollando, para mayor información ver el capítulo 4.
- Los entrepisos y el techo de la construcción podrán considerarse como diafragmas resistentes e indeformables siempre que sean capaces de resistir y transmitir las fuerzas sísmicas actuantes en su plano, con deformaciones menores que las deformaciones horizontales de los muros resistentes dispuestos según la dirección de análisis considerada. En este caso, la distribución de las solicitaciones globales actuantes en cada nivel se realizará proporcionalmente a las rigideces relativas de dichos muros.
- Si por el contrario, los entrepisos y el techo de la construcción constituyen diafragmas muy deformables con relación a los muros resistentes dispuestos según la dirección de análisis considerada, la distribución de las solicitaciones globales actuantes en cada nivel se realizará según el criterio de zonas de influencia.

Diafragma

El diafragma es un miembro estructural que actúa como una viga de gran peralte conectando las cargas, se le puede definir también como todo aquel elemento estructural que sea capaz de transmitir las fuerzas laterales a los muros de corte sin exceder una deflexión que cause daño a algún miembro vertical.

Diafragmas flexibles o muy deformables

Son capaces de transmitir las fuerzas horizontales a los elementos verticales como lo son los muros de corte en proporción al área tributaria de cada elemento, este tipo de diafragma no es capaz de transmitir fuerzas rotacionales.

Diafragmas rígidos

Están constituidos por losas de concreto reforzado y son capaces de transmitir las fuerzas horizontales de corte a los elementos verticales en proporción a la rigidez de los mismos, a diferencia de los diafragmas flexibles, estos son capaces de transmitir las fuerzas rotacionales causadas por la excentricidad de la masa con respecto al centro de rigidez de la estructura.

3.2 Determinación de rigideces de muros

La rigidez está relacionada con la deformación de la edificación ante la acción de las cargas. La estructura deberá tener suficiente cantidad de elementos para que la deformación lateral no sea excesiva y que pueda causar daños en muros o divisiones no estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones que usualmente son elementos frágiles que no soportan mayores distorsiones. La rigidez viene dada por la expresión:

$$R = 1 / \Delta$$

Donde:

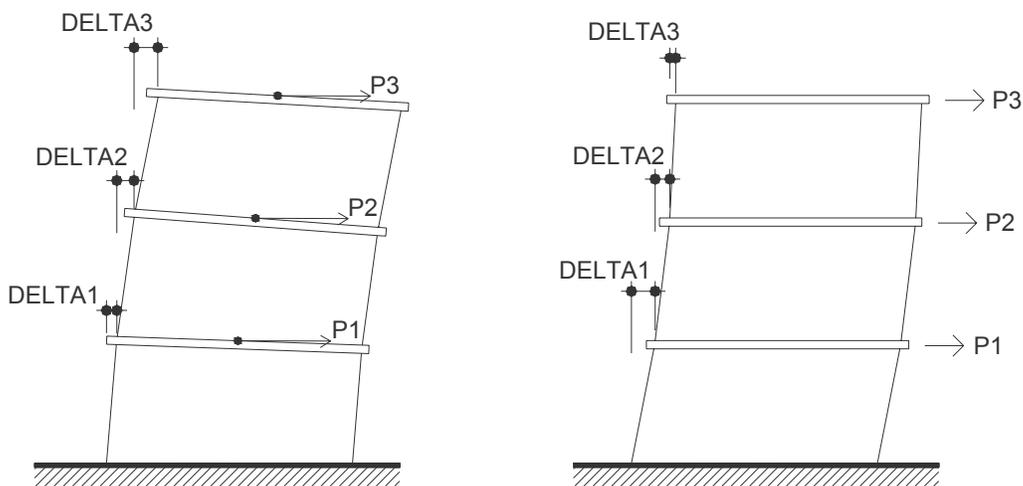
R Es la rigidez relativa del elemento estructural

Δ Es la deformación por flexión más la deformación por corte

La rigidez de los muros deberá determinarse según los siguientes lineamientos

- La rigidez dependerá del grado de fijación de los muros tanto superior como inferior.
- La determinación de la rigidez relativa de los muros podrá efectuarse admitiendo un comportamiento elástico lineal.
- Deberán considerarse las deformaciones originadas por las sollicitaciones de flexión y corte. Ver figura 7.

Figura 7. Deformaciones de la estructura



Deformación por flexión

Deformación por corte

3.2.1 Muros en voladizo

Se clasifican como los muros que tienen un grado de fijación en la parte inferior, es decir, son los muros del último piso. La expresión para calcularlo es la siguiente:

$$R = 1 / \Delta$$

Donde:

$$\Delta_c = \frac{P * h^3}{3EI} + \frac{1.2 P * h}{A * Ev}$$

3.2.2 Muros empotrados

Se clasifican como los muros que tienen un grado de fijación tanto superior como inferior, es decir son los muros del piso intermedio. La expresión para calcularlo es la siguiente:

$$R = 1 / \Delta$$

Donde:

$$\Delta_f = \frac{P * h^3}{12EI} + \frac{1.2 P * h}{A * Ev}$$

Donde para ambos tipos de muro:

- Δ Es la deflexión por flexión más la deflexión por corte
- P Es la fuerza de piso
- h Es la altura del muro
- E Es el módulo de elasticidad en compresión $E = 750 * f' * m$
- Ev Es el módulo de elasticidad en corte $Ev = 0.40 * E$

- A Es el área efectiva al corte.
- I Es la inercia en dirección de la deformación.

Ejemplo 2

Calcular la rigidez a cada muro.

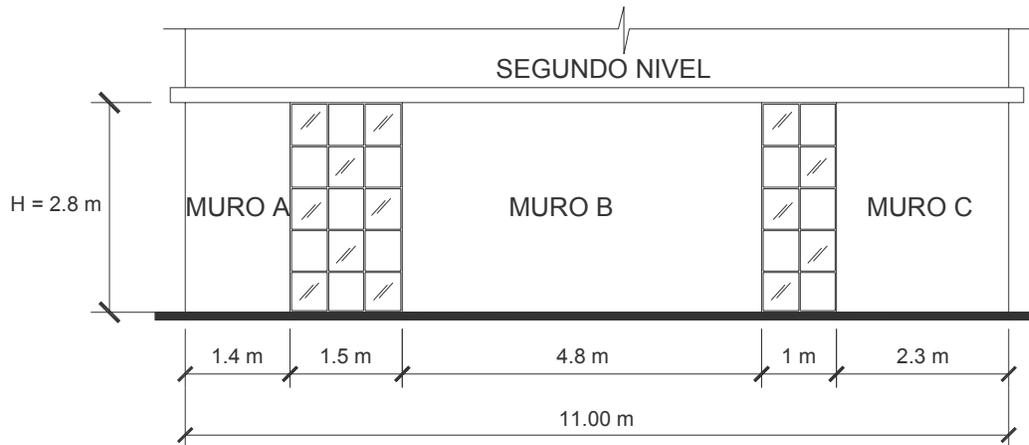
Datos:

$$P = 5,000 \text{ Kg. / cm}^2$$

$$f'm = 70 \text{ Kg. / cm}^2$$

$$\text{Block} = 14 \text{ cm} * 19 \text{ cm} * 39 \text{ cm}$$

Figura 8. Determinación de la rigidez



Solución

Como es un muro doblemente empotrado se debe trabajar con la siguiente fórmula:

$$\Delta_f = \frac{P * h^3}{12EI} + \frac{1.2 P * h}{A * E_v}$$

Siendo:

$$A = t * d$$

$$I = t * d^3$$

$$E = 750 * 70 \text{ Kg. / cm}^2 = 0.525 \times 10^5 \text{ Kg. / cm}^2$$

$$E_v = 0.4 * 0.525 \times 10^5 \text{ Kg. / cm}^2 = 0.210 \times 10^5 \text{ Kg. / cm}^2$$

La expresión anterior se puede simplificar de la siguiente manera:

$$\Delta_f = \frac{P}{E * t} * [(h / d)^3 + 3 (h / d)]$$

Donde:

t Es el espesor del muro dado en centímetros

d Es el ancho del muro que se esté analizando

Muro A

$$\Delta_f = \frac{5000}{0.525 \times 10^5 * 14} * [(2.8 / 1.4)^3 + 3 (2.8 / 1.4)]$$

$$\Delta_f = 0.095$$

$$R = 1 / 0.095 = 10.52$$

Muro B

$$\Delta_f = \frac{5000}{0.525 \times 10^5 * 14} * [(2.8 / 4.8)^3 + 3 (2.8 / 4.8)]$$

$$\Delta_f = 0.013$$

$$R = 1 / 0.013 = 75.44$$

Muro C

$$\Delta_f = \frac{5000}{0.525 \times 10^5 * 14} * [(2.8 / 2.3)^3 + 3 (2.8 / 2.3)]$$

$$\Delta_f = 0.037$$

$$R = 1 / 0.037 = 26.95$$

$$\sum R = 10.52 + 75.44 + 26.95 = 112.91$$

3.3 Limitación de efectos torsionales

Toda construcción de mampostería deberá estructurarse de modo tal que en cada uno de sus niveles, el esfuerzo de corte torsional actuante sobre cada muro no supere el esfuerzo de corte traslacional correspondiente a dicho muro. El efecto torsional se produce debido a una excentricidad cuando no coincide el centro de masa con el centro de rigidez.

3.3.1 Centro de masa

El centro de masa es el punto en donde se aplica la fuerza de sismo, debe ser calculado tanto para el sentido X como Y. La expresión para el cálculo del centro de masa es la siguiente:

$$X_{cm} = \frac{\sum wx}{\sum w}$$

$$Y_{cm} = \frac{\sum wy}{\sum w}$$

Donde:

- w Es el peso de cada elemento
- x Distancia del centro del elemento al eje x de referencia
- y Distancia del centro del elemento al eje y de referencia
- Xcm Distancia del centro de masa al eje x de referencia
- Ycm Distancia del centro de masa al eje y de referencia

3.3.2 Centro de rigidez

Se debe calcular tanto para el eje X como Y. La expresión para el cálculo del centro de rigidez es la siguiente:

$$X_{cr} = \frac{\sum R_x}{\sum R}$$

$$Y_{cr} = \frac{\sum R_y}{\sum R}$$

Donde:

- R Es la rigidez de cada elemento
- x Distancia del centro del elemento al eje x de referencia
- y Distancia del centro del elemento al eje y de referencia
- Xcr Distancia del centro de rigidez al eje x de referencia
- Ycr Distancia del centro de rigidez al eje y de referencia

3.3.3 Excentricidad

La excentricidad de cada nivel será la distancia entre el centro de masa y el centro de rigidez. La Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica recomienda que se incrementen los valores de excentricidad obtenidos en un 5% debido a la torsión accidental ocasionada por la variación de las cargas reales o por la localización de estas en la vida útil de la estructura.

$$e_x = e_x (\text{calculada}) + 0.05 L_y$$

$$e_y = e_y (\text{calculada}) + 0.05 L_x$$

3.4 Capacidad de redistribución. Elementos críticos

La estructuración y el dimensionamiento de las construcciones de mampostería deberán tender a evitar que la falla prematura de algún muro comprometa la estabilidad del conjunto.

4. METODOS DE ANÁLISIS PARA UNA ESTRUCTURA

Actualmente existen varios métodos que pueden ser utilizados para analizar una estructura de mampostería reforzada, pero en este caso se trabajará con dos, los cuales son

4.1 Análisis simplista

Este tipo de análisis es menos laborioso que el realista, por lo que la obtención de resultados se logra en menor tiempo.

4.1.1 Consideraciones del análisis

Para la elaboración del análisis simple se deben de tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para la distribución de la fuerza lateral a cada muro se deben considerar únicamente los muros paralelos a la dirección en que ésta actúa, presentándose dos efectos sobre ellos los cuales son: uno de traslación en la misma dirección y otro de rotación respecto al centro de rigidez cuando no coincide con el centro de masa.
- Los muros tienden a experimentar ladeo paralelo al plano que contiene al muro, no se debe de considerar en el sentido contrario.

- Los muros generalmente actúan como miembros verticales que están sujetos a fuerzas horizontales en los niveles de piso.

4.1.2 Limitaciones del método simple

Como cualquier método siempre existen ventajas y limitaciones, por lo que este no es la excepción. Las limitaciones que presenta este método son las siguientes:

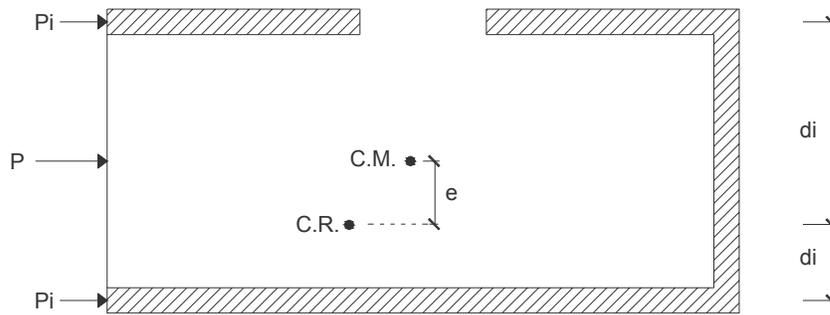
- Como se mencionó anteriormente únicamente se toman en cuenta los muros paralelos a la acción de la carga, despreciándose de esta manera la contribución a la resistencia de los muros perpendiculares.
- Supone rigidez mayor en el diafragma horizontal que la presentada por los muros de corte.
- Para las estructuras cuya relación altura – largo (h / d) en el sentido de la carga lateral sea mayor a 4.0 los esfuerzos entre juntas de muros son tan grandes que los resultados se alejan de la realidad.

4.1.3 Procedimiento de análisis

Para la distribución de la carga lateral, se debe proceder a calcular la rigidez de los muros que están únicamente en la dirección del sismo, utilizando para ello las ecuaciones presentadas para muros en voladizo o empotrados.

Teniendo ya las rigideces de cada muro se procede a distribuir la carga lateral, por lo cual para tener un mayor entendimiento se presenta la figura 9.

Figura 9. Distribución de la carga lateral en planta



En el análisis simple, la fuerza de sismo que llega o resiste cada muro es determinada por la ecuación:

$$P = P_i' \pm P_i''$$

Donde:

P_i' Es la fuerza por efecto traslacional resistida por el elemento i

P_i'' Es la fuerza por efecto rotacional resistida por el elemento i

La fuerza traslacional está definida por la siguiente ecuación:

$$P_i' = \frac{R_i * P}{\sum R_i}$$

Siendo:

P La carga lateral aplicada a toda la estructura

R_i La rigidez relativa del elemento i

$\sum R_i$ Es la sumatoria de todas las rigideces relativas de los muros paralelos a la dirección de la carga

La fuerza rotacional está definida por la siguiente ecuación:

$$P_i'' = \frac{e_i}{E_i} * P$$

Siendo:

$$E_i = \frac{\sum R_j * d_j^2}{R_i * d_i}$$

- e La excentricidad perpendicular a la acción de la fuerza P, no es más que la distancia entre el centro de rigidez y el centro de masa de toda la estructura.
- d_i Es la distancia entre el centro de rigidez de toda la estructura y el centro de rigidez de cada muro.

Con lo anterior se puede expresar P_i'' de la siguiente manera:

$$P_i'' = \frac{R_i * d_i}{\sum R_i * d_i^2} * P e$$

Luego se debe calcular el momento, el cual se debe determinar en la base de cada nivel, tomando en cuenta las fuerzas que corresponden a las fuerzas de sismo de los niveles superiores por sus alturas correspondientes, utilizándose para ello la siguiente expresión

$$M_{BASE} = \sum P_i * h_i \quad \text{De los niveles superiores.}$$

Al igual que la fuerza de corte, el momento calculado se transmitirá a cada elemento de la estructura proporcionalmente a su rigidez, por lo que se debe de considerar el momento flexionante cuya expresión es

$$M' = \frac{R}{\sum R} * M_{BASE}$$

Además, se debe de considerar para cada elemento la torsión provocada por un sismo, se calcula con la siguiente expresión

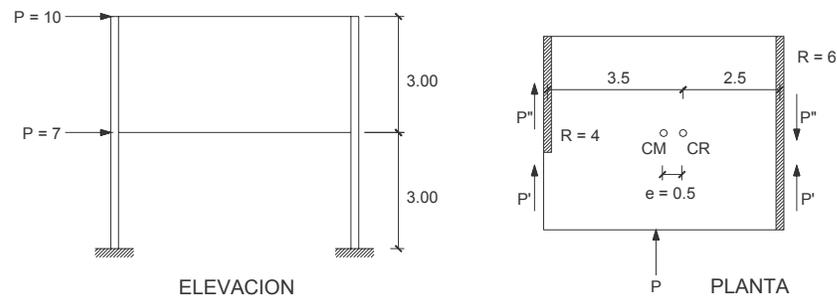
$$M'' = P'' * h_{muro}$$

Siendo el momento actuante la sumatoria vectorial de los momentos M' y M'' , pero si la magnitud de esta es menor que la magnitud de alguno de sus factores, se debe colocar el momento mayor.

Ejemplo 3

Determinar el momento de diseño de la estructura presentada en la figura 10.

Figura 10. Cálculo del momento de diseño



Solución

Paso 1

Debemos de calcular el momento en la base i.

$$M_{BASE} = \sum P_i * h_i$$

Segundo nivel $M_{BASE} 2 = 10 \text{ ton} * 3.0 \text{ m}$
 $= 30 \text{ ton} - \text{m}.$

Primer nivel $M_{BASE} 1 = 10 \text{ ton} * 6.0 \text{ m} + 7 \text{ ton} * 3.0 \text{ m}$
 $= 81 \text{ ton} - \text{m}.$

Paso 2

Calcular el momento flexionante M' .

$$M' = \frac{R}{\sum R} * M_{BASE}$$

Segundo nivel

$$M'_{R=4} = 4 / (4 + 6) * 30 = 12.0$$

$$M'_{R=6} = 6 / (4 + 6) * 30 = 18.0$$

Primer nivel

$$M'_{R=4} = 4 / (4 + 6) * 81 = 32.4$$

$$M'_{R=6} = 6 / (4 + 6) * 81 = 48.6$$

Paso 3

Calcular el momento torsionante M'' .

$$M'' = P'' * h_{muro}$$

$$M'' = [(Rd / \sum Rd^2) * P e] * h_{muro}$$

Segundo nivel

$$M''_{R=4} = [(4)(-3.5) / ((4)(-3.5)^2 + (6)(2.5)^2) * 10(-0.50)] * 3.00 =$$

 $2.43 \text{ (Aumenta)}.$

$$M''_{R=6} = [(6)(2.5) / ((4)(-3.5)^2 + (6)(2.5)^2) * 10(-0.50)] * 3.00 =$$

 $-2.60 \text{ (Reduce)}.$

Primer nivel

$$M''_{R=4} = [(4)(-3.5) / ((4)(-3.5)^2 + (6)(2.5)^2) * (10 + 7)(-0.50)] * 3.00 = 4.13 \text{ (Aumenta)}.$$

$$M''_{R=6} = [(6)(2.5) / ((4)(-3.5)^2 + (6)(2.5)^2) * (10 + 7)(-0.50)] * 3.00 = -4.42 \text{ (Reduce)}.$$

Por lo que los momentos para diseño son los que se presentan en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. Cálculo de los momentos de diseño

Nivel	Elemento	M'	M''	M diseño	Observaciones
2	R = 4	12.0	2.43	14.43	Se suman los momentos o utilizar el mayor
	R = 6	18.0	-2.60	18.00	
1	R = 4	32.4	4.13	36.53	Se suman los momentos o utilizar el mayor
	R = 6	48.6	-4.42	48.60	

4.2 Análisis realista

Este tipo de análisis es más laborioso que el análisis simplista, pero los resultados que se logran obtener son más cercanos a la realidad.

4.2.1 Consideraciones del análisis

Para la elaboración del análisis real se deben de tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las rigideces y deformaciones de los muros de corte se podrán calcular por medio de principios elementales.

- Para analizar una estructura de mampostería por este método se debe dividir la misma en arreglos, los cuales se verán más adelante.
- Para calcular las rigideces y deformaciones de un arreglo se toma a la estructura como diafragma rígido, y se utilizan para ello las ecuaciones presentadas para muros en voladizo o empotrados, además se debe tomar en cuenta lo siguiente

I Momento de inercia del arreglo

A Es el área de los elementos del arreglo que están en la dirección del sismo

h Es la altura del muro

$E_v = 0.4 * E_m$

- Las fuerzas que se inducen en un arreglo son proporcionales a su rigidez y deformación.

4.2.2 Limitaciones del método real

Como cualquier método siempre existen ventajas y limitaciones, por lo que éste no es excepción. Las limitaciones que presenta este método son las siguientes:

- Se limita en el análisis de secciones considerando diafragmas rígidos.
- No contempla cambios en la rigidez de los muros o arreglos cuando existe una abertura en ellos tanto para puertas o ventanas.

- Sólo se toman en cuenta los muros completos de piso a cielo y de abertura a abertura.
- Se considera que la rigidez transversal del diafragma horizontal es mayor que la rigidez de los muros en su plano.

4.2.3 Procedimiento de análisis

Como se mencionó anteriormente se asume un diafragma rígido como el elemento estructural que transmitirá las fuerzas de corte a los elementos verticales resistentes directamente proporcionales a su rigidez relativa, siendo capaz de transmitir las fuerzas rotacionales causadas por la excentricidad de la masa respecto al centro de rigidez cuando es sometido a la carga lateral. Si esto ocurre, tanto el diafragma como sus elementos se trasladan, x en el sentido $x-x$ o y en el sentido $y-y$, girando además un ángulo Θ alrededor del origen de coordenadas asumido por lo que el primer paso es determinar las fuerzas que llegan a cada arreglo, utilizándose para ello las siguientes expresiones:

$$F_x = R_x \Delta x + R_{xy} \Delta y + \Delta\Theta (YR_x - XR_{xy})$$

$$F_y = R_y \Delta y + R_{xy} \Delta x + \Delta\Theta (YR_{xy} - XR_x)$$

Y el momento torsionante en el muro debido a la rotación será:

$$T = \Delta\Theta J_p$$

Donde:

R_x, R_y Es la rigidez del arreglo paralela a la dirección de la carga lateral aplicada.

R_{xy} Es la rigidez del arreglo perpendicular a la dirección de la carga.

Rxy en x-x, Rxy en y-y

- X, y Coordenadas del arreglo con respecto al origen de coordenadas asumido.
- Jp Rigidez torsional del arreglo.
- $\Delta x, \Delta y$ Cambio de posición en el plano de coordenadas.

Por estática, la carga lateral que está actuando en la estructura va a ser resistida por otra de igual magnitud pero de sentido contrario, pudiéndose calcular con la siguiente expresión

$$P_x = \sum F_x$$

$$P_y = \sum F_y$$

$$T_p = \sum Y F_x - \sum X F_y + \sum T$$

Donde:

- P Es la carga que actúa en el diafragma
- $\sum F_x, \sum F_y$ Es la reacción a la carga P por la sumatoria de las cargas inducidas en el arreglo
- Tp Es el momento actuante en el diafragma por la excentricidad entre el centro de corte y el centro de masa

Al sustituir en las ecuaciones anteriores los valores correspondientes, se tiene:

$$P_x = \Delta x \sum R_x + \Delta y \sum R_{xy} + \Delta \theta \sum Y R_x - \Delta \theta \sum X R_{xy}$$

$$P_y = \Delta x \sum R_{xy} + \Delta y \sum R_y + \Delta \theta \sum Y R_{xy} - \Delta \theta \sum X R_y$$

$$T_p = \Delta x (\sum Y R_x - \sum X R_{xy}) - \Delta y (\sum Y R_{xy} - \sum X R_y) + \Delta \theta (\sum Y^2 R_x - 2 \sum X Y R_{xy} + \sum X^2 R_y + \sum J)$$

Si se realiza una traslación de ejes y se toma como origen el centro de rigidez del sistema se obtiene

$$\sum YR_x - \sum XR_{xy} = 0$$

$$\sum YR_{xy} - \sum XR_y = 0$$

Entonces:

$$X = X_i - X_r$$

$$Y = Y_i - Y_r$$

Donde:

X_r, Y_r Es el centro de rigidez del sistema

X_i, Y_i Es el centro de rigidez del arreglo i

Al sustituir en las diferencias igualadas a cero se tendrá

$$\sum (Y_i - Y_r)R_x - \sum (X_i - X_r)R_{xy} = 0$$

$$\sum (Y_i - Y_r)R_{xy} - \sum (X_i - X_r)R_y = 0$$

Con las ecuaciones anteriores se puede calcular el centro de rigidez de todo el sistema. Al simplificar P_x y P_y se tendrá

$$P_x = \Delta x \sum R_x + \Delta y \sum R_{xy}$$

$$P_y = \Delta x \sum R_{xy} + \Delta y \sum R_y$$

$$\Delta x = \frac{P_x \sum R_y - P_y \sum R_{xy}}{\sum R_x \sum R_y - \sum R_{xy}^2}$$

$$\sum R_x \sum R_y - \sum R_{xy} \sum R_{xy}$$

$$\Delta y = \frac{P_y \sum R_x - P_x \sum R_{xy}}{\sum R_x \sum R_y - \sum R_{xy} \sum R_{xy}}$$

$$\Delta \theta = T_p / J_p$$

Donde:

$$T_p = (e \pm e_{accidental}) * P$$

P_x, P_y Fuerza en el sentido x - x ó y - y

Quedando:

$$J_p = \sum Y^2 R_x + \sum X^2 R_y - 2 \sum XY R_{xy} + \sum J$$

Conociendo $\Delta x, \Delta y$ y $\Delta \theta$, podemos sustituir sus valores en:

$$F_x = \Delta x R_x + \Delta y R_{xy} + \Delta \theta (Y R_x - X R_{xy})$$

$$F_y = \Delta x R_{xy} + \Delta y R_y + \Delta \theta (Y R_{xy} - X R_x)$$

Pudiéndose determinar de esta manera la fuerza que llega a cada arreglo. En este método, el porcentaje de la fuerza que va a llegar a cada muro se determina en función de la rigidez relativa, variando según sea éste paralelo o perpendicular a la dirección de la carga, por lo que para poder determinar el valor de la rigidez relativa del arreglo en la dirección que actúa la carga lateral se utiliza la siguiente expresión:

$$R = \frac{1}{\frac{h^3}{12} + \frac{3h}{2}}$$

Donde:

h Es la altura del muro

I Es el momento de inercia del arreglo respecto al eje perpendicular a la dirección de la carga

A Es la sumatoria de las áreas de todos los muros paralelos a la dirección de la carga

Pero para calcular la rigidez relativa en cualquier dirección o de todo el arreglo en dirección perpendicular a la de la carga lateral se plantea la estática del sistema cuyas características geométricas se deben incluir, las cuales son:

- Posición del centroide del arreglo.

$$X = \frac{\sum A_i * X_i}{\sum A_i} \quad Y = \frac{\sum A_i * Y_i}{\sum A_i}$$

- Momento de inercia respecto al eje centroidal X.
- Momento de inercia respecto al eje centroidal Y.

Éstos se logran obtener aplicando el teorema de los ejes paralelos.

$$I = \sum I = \sum (I_o + A d_i^2)$$

Donde:

d_i Es la distancia entre el eje centroidal del arreglo i y el eje respecto al cual se calcula el momento de inercia.

Se puede determinar el valor de la rigidez relativa que corresponda al arreglo para la dirección de la carga lateral considerada utilizando las ecuaciones de estática.

$$\sum F = 0 \quad \sum M = 0$$

4.2.3.1 Arreglos en los que se descompone una estructura de mampostería

Para poder analizar una estructura de mampostería por el método real es necesario que se descomponga la misma en arreglos, los cuales pueden ser:

Arreglo en T, arreglo en L, arreglo en C, arreglo en N, arreglo en I, etc.

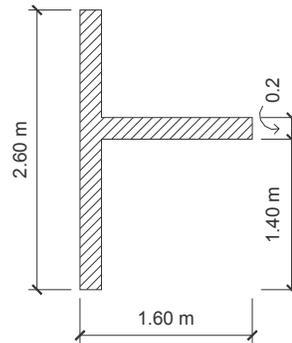
4.2.3.1.1 Arreglo en T

Es indispensable determinar las características geométricas del muro en ambas direcciones, para una mejor comprensión ver el ejemplo 4.

Ejemplo 4

Calcular las características geométricas del muro en ambas direcciones y determinar la fuerza que llega al arreglo. Utilizar altura del muro = 2.70 m, ver figura 11.

Figura 11. Arreglo en T



Solución

Obviamente las características geométricas del muro van a variar dependiendo de las dimensiones y la posición que éste presente.

- Centroide

$$X = \frac{(0.20)(2.60)(0.10) + (0.20)(1.40)(0.90)}{(0.20)(2.60) + (0.20)(1.40)} = \frac{0.304}{0.80} = 0.38 \text{ m}$$

$$Y = \frac{(0.20)(2.60)(1.30) + (0.20)(1.40)(1.50)}{(0.20)(2.60) + (0.20)(1.40)} = \frac{1.096}{0.80} = 1.37 \text{ m}$$

- Momentos de inercia

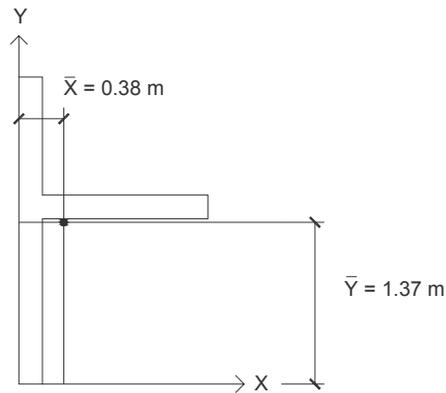
$$I_x = (1/12)(0.2)(2.6)^3 + (0.2)(2.6)(0.07)^2 + (1/12)(1.4)(0.2)^3 + (0.2)(1.4)(0.13)^2$$

$$I_x = 0.301 \text{ mts}^4$$

$$I_y = (1/12)(2.6)(0.2)^3 + (0.2)(2.6)(0.28)^2 + (1/12)(0.2)(1.4)^3 + (0.2)(1.4)(0.52)^2$$

$$I_y = 0.164 \text{ mts}^4$$

Figura 12. Localización del centroide del arreglo en T

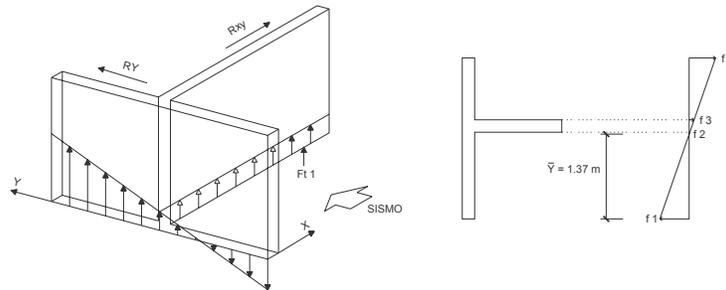


- Cálculo de rigideces

$$R_x = \frac{E}{\frac{(2.70)^3}{(12)(0.164)} + \frac{3(2.70)}{(0.20)(1.60)}} = \frac{E}{35.314} \quad R_x = 0.0283 E$$

$$R_y = \frac{E}{\frac{(2.70)^3}{(12)(0.301)} + \frac{3(2.70)}{(0.20)(2.60)}} = \frac{E}{21.030} \quad R_y = 0.0476 E$$

Figura 13. Cálculo de Rxy del arreglo en T en dirección X (sismo en dirección Y)



- Distribución de esfuerzos en la base

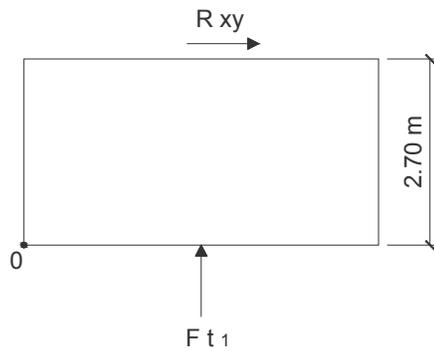
$$f = \frac{Mc}{Ix} = \frac{h * Ry * y}{Ix}$$

$$f_2 = \frac{Mc_2}{Ix} = \frac{(2.70)(0.0476E)(0.03)}{0.301} = 0.0128 E$$

$$f_3 = \frac{Mc_3}{Ix} = \frac{(2.70)(0.0476E)(0.23)}{0.301} = 0.0982 E$$

$$Ft_1 = (0.20)(1.40)[0.5(0.0982 E + 0.0128 E)] = 0.01554 E$$

Figura 14. Desmembrando el muro 2 del arreglo en T



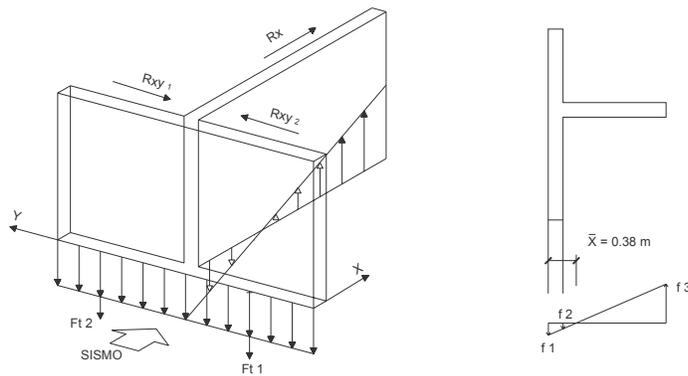
$$\sum M_o = 0 + \curvearrowright$$

$$2.70 R_{xy} - 0.70 F_{t1} = 0$$

$$2.70 R_{xy} - 0.70(0.01554 E) = 0$$

$$R_{xy} = 0.004 E$$

Figura 15. Cálculo de Rxy del arreglo en T en dirección Y (sismo en dirección X)



- Distribución de esfuerzos en la base

$$f = \frac{M_c}{I_y} = \frac{h * R_x * X}{I_y}$$

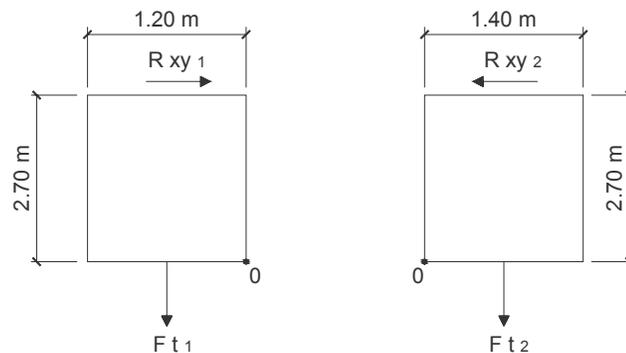
$$f_1 = \frac{Mc_1}{I_y} = \frac{(2.70)(0.0283E)(0.38)}{0.164} = 0.1770 E$$

$$f_2 = \frac{Mc_2}{I_y} = \frac{(2.70)(0.0283E)(0.18)}{0.164} = 0.0839 E$$

$$Ft_1 = (0.20)(1.20)[0.0839 E + 0.5(0.1770 E - 0.0839 E)] = 0.0313 E$$

$$Ft_2 = (0.20)(1.40)[0.0839 E + 0.5(0.1770 E - 0.0839 E)] = 0.0365 E$$

Figura 16. Desmembrando el muro 1 del arreglo en T



$$\begin{aligned} \sum Mo &= 0 + \curvearrowright \\ 2.70 R_{xy1} - 0.60 Ft_1 &= 0 \\ R_{xy1} &= 0.0070 E \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum Mo &= 0 + \curvearrowright \\ -2.70 R_{xy2} + 0.70 Ft_2 &= 0 \\ R_{xy2} &= 0.0095 E \end{aligned}$$

$$R_{xy} = R_{xy1} + R_{xy2} = 0.0025 E$$

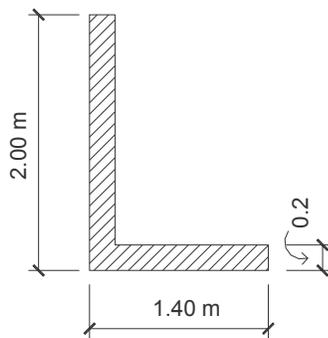
4.2.3.1.2 Arreglo en L

Es indispensable determinar las características geométricas del muro en ambas direcciones, para una mejor comprensión ver el ejemplo 5.

Ejemplo 5

Calcular las características geométricas del muro en ambas direcciones y determinar la fuerza que llega al arreglo. Utilizar altura del muro = 2.70 m, ver figura 17.

Figura 17. Arreglo en L



Solución

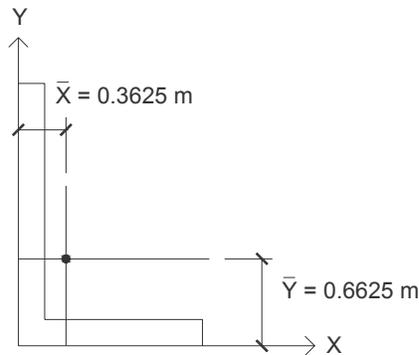
- Centroide

$$X = \frac{(0.20)(2.00)(0.10) + (0.20)(1.20)(0.80)}{(0.20)(2.00) + (0.20)(1.20)} = \frac{0.232}{0.64} = 0.3625 \text{ m}$$

$$Y = \frac{(0.20)(2.00)(1.00) + (0.20)(1.20)(0.10)}{(0.20)(2.00) + (0.20)(1.20)} = \frac{0.424}{0.64} = 0.6625 \text{ m}$$

$$(0.20)(2.00) + (0.20)(1.20) \qquad 0.64$$

Figura 18. Localización del centroide del arreglo en L



- Momentos de inercia

$$I_x = (1/12)(0.2)(2)^3 + (0.2)(2)(0.3375)^2 + (1/12)(1.2)(0.2)^3 + (0.2)(1.2)(0.5625)^2$$

$$I_x = 0.256 \text{ mts}^4$$

$$I_y = (1/12)(2)(0.2)^3 + (0.2)(2)(0.2625)^2 + (1/12)(0.2)(1.2)^3 + (0.2)(1.2)(0.4375)^2$$

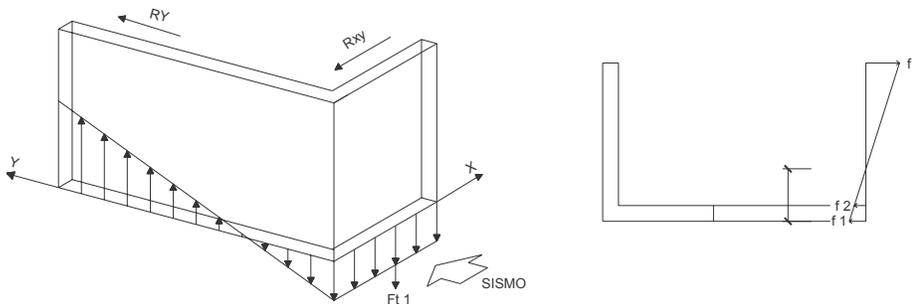
$$I_y = 0.104 \text{ mts}^4$$

- Cálculo de rigideces

$$R_x = \frac{\frac{(2.70)^3}{(12)(0.104)} + \frac{3(2.70)}{(0.20)(1.40)}}{E} = \frac{E}{44.70} \quad R_x = 0.0224 E$$

$$R_y = \frac{\frac{(2.70)^3}{(12)(0.256)} + \frac{3(2.70)}{(0.20)(2.00)}}{E} = \frac{E}{26.657} \quad R_y = 0.0375 E$$

Figura 19. Cálculo de R_{xy} del arreglo en L en dirección X (sismo en dirección Y)



- Distribución de esfuerzos en la base

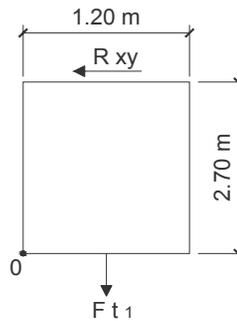
$$f = \frac{M_c}{I_x} = \frac{h * R_y * y}{I_x}$$

$$f_1 = \frac{M_{c1}}{I_x} = \frac{(2.70)(0.0375E)(0.6625)}{0.256} = 0.2624 E$$

$$f_2 = \frac{M_{c2}}{I_x} = \frac{(2.70)(0.0375E)(0.4625)}{0.256} = 0.1832 E$$

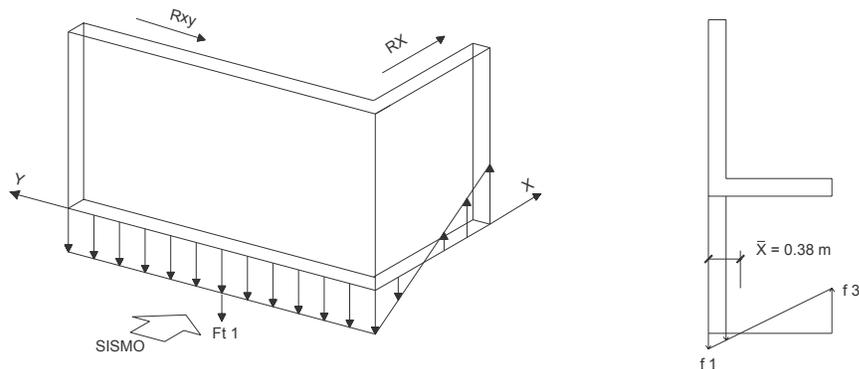
$$F_{t1} = (0.20)(1.40)[0.1832 E + 0.5(0.2624 E - 0.1832 E)] = 0.0624 E$$

Figura 20. Desmembrando el muro 2 del arreglo en L



$$\begin{aligned} \sum M_o &= 0 + \curvearrowright \\ -2.70 R_{xy} + 0.70 F_{t1} &= 0 \\ -2.70 R_{xy} + 0.70(0.0624 E) &= 0 \\ R_{xy} &= 0.016 E \end{aligned}$$

Figura 21. Cálculo de Rxy del arreglo en L en la dirección Y (sismo en dirección X)



- Distribución de esfuerzos en la base

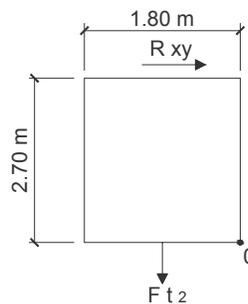
$$f = \frac{Mc}{I_y} = \frac{h * R_x * X}{I_y}$$

$$f_1 = \frac{Mc_1}{I_y} = \frac{(2.70)(0.0224E)(0.3625)}{0.104} = 0.2108 E$$

$$f_2 = \frac{Mc_2}{I_y} = \frac{(2.70)(0.0224E)(0.1625)}{0.104} = 0.0945 E$$

$$Ft_2 = (0.20)(1.80)[0.0945 E + 0.5(0.2108 E - 0.0945 E)] = 0.0549 E$$

Figura 22. Desmembrando el muro 1 del arreglo en L



$$\sum Mo = 0 + \curvearrowright$$

$$2.70 R_{xy} - 0.90 Ft_2 = 0$$

$$2.70 R_{xy} - 0.9(0.0549 E)$$

$$R_{xy} = 0.0183 E$$

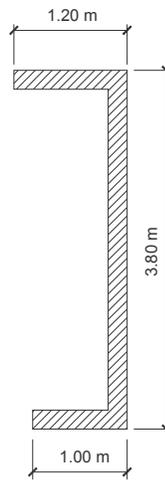
4.2.3.1.3 Arreglo en C

Es indispensable determinar las características geométricas del muro, en ambas direcciones, para una mejor comprensión ver el ejemplo 6.

Ejemplo 6

Calcular las características geométricas del muro en ambas direcciones y determinar la fuerza que llega al arreglo. Utilizar altura del muro = 2.70 m, ver figura 23.

Figura 23. Arreglo en C



Solución

- Centroide

$$X = \frac{(0.2)(1.0)(0.7) + (0.2)(3.4)(1.1) + (0.2)(1.2)(0.6)}{(0.2)(1.00) + (0.2)(3.40) + (0.2)(1.20)} = \frac{1.032}{1.12} = 0.9214 \text{ m}$$

$$Y = \frac{(0.2)(1.0)(0.1) + (0.2)(3.4)(1.9) + (0.2)(1.2)(3.7)}{(0.2)(1.00) + (0.2)(3.40) + (0.2)(1.20)} = \frac{2.200}{1.12} = 1.9643 \text{ m}$$

- Momentos de inercia

$$I_{x_1} = (1/12)(1.00)(0.2)^3 + (0.2)(1.00)(1.9343 - 0.1)^2 = 0.6958 \text{ mts}^4$$

$$I_{x_2} = (1/12)(0.2)(3.40)^3 + (0.2)(3.40)(1.9643 - 1.9)^2 = 0.6579 \text{ mts}^4$$

$$I_{x_3} = (1/12)(1.20)(0.2)^3 + (0.2)(1.20)(3.7 - 1.9643)^2 = 0.7238 \text{ mts}^4$$

$$I_x = 2.078 \text{ mts}^4$$

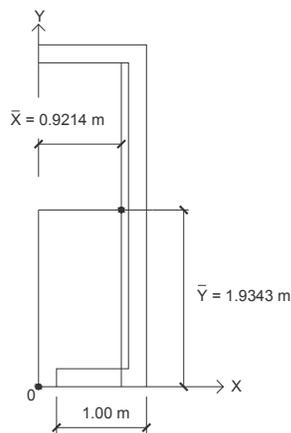
$$I_{y_1} = (1/12)(0.2)(1.00)^3 + (0.2)(1.00)(0.9214 - 0.7)^2 = 0.0265 \text{ mts}^4$$

$$I_{y_2} = (1/12)(3.40)(0.2)^3 + (0.2)(3.40)(1.1 - 0.9214)^2 = 0.0239 \text{ mts}^4$$

$$I_{y_3} = (1/12)(0.2)(1.20)^3 + (0.2)(1.20)(0.9214 - 0.6)^2 = 0.0536 \text{ mts}^4$$

$$I_y = 0.104 \text{ mts}^4$$

Figura 24. Localización del centroide del arreglo en C

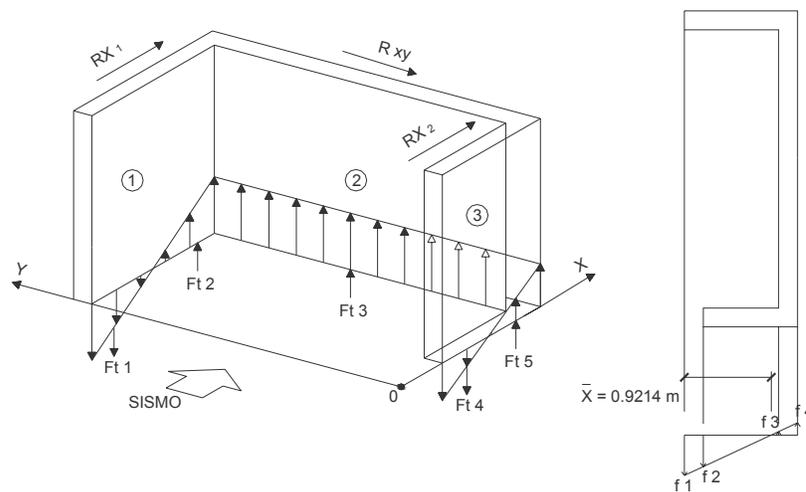


- Cálculo de rigideces

$$R_x = \frac{E}{\frac{(2.70)^3}{(12)(0.104)} + \frac{3(2.70)}{(0.20)(2.20)}} = \frac{E}{34.181} \quad R_x = 0.0293 E$$

$$R_y = \frac{E}{\frac{(2.70)^3}{(12)(2.078)} + \frac{3(2.70)}{(0.20)(3.40)}} = \frac{E}{12.700} \quad R_y = 0.0787 E$$

Figura 25. Cálculo de R_{xy} del arreglo en C en la dirección Y (sismo en dirección X)



- Distribución de esfuerzos en la base

$$f = \frac{M_c}{l_y} = \frac{h * R_x * X}{l_y} \quad \text{donde} \quad \frac{h * R_x}{l_y} = K_1 = 0.7607 E$$

$$f_1 = K_1 (X) = (0.7607)(0.9214) = 0.7009 E$$

$$f_2 = K_1 (X - 0.20) = (0.7607)(0.9214 - 0.20) = 0.5488 E$$

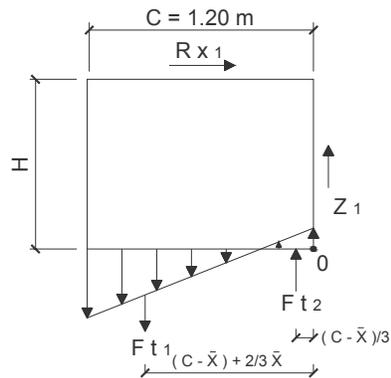
$$f_3 = K_1 (C - X - 0.20) = (0.7607)(1.20 - 0.9214 - 0.20) = 0.0598 E$$

$$f_4 = K_1 (C - X) = (0.7607)(1.20 - 0.9214) = 0.2119 E$$

$$Ft_1 = (0.20)(0.5)[(0.7009 E)(0.9214)] = 0.0646 E$$

$$Ft_2 = (0.20)(0.5)[(0.2119 E)(1.20 - 0.9214)] = 0.0059 E$$

Figura 26. Desmembrando el muro 1 del arreglo en C (sismo en X)



$$\sum Mo = 0 + \curvearrowleft$$

$$2.70 Rx_1 + 0.0929 Ft_2 - 0.893 Ft_1 = 0$$

$$Rx_1 = 0.0212 E$$

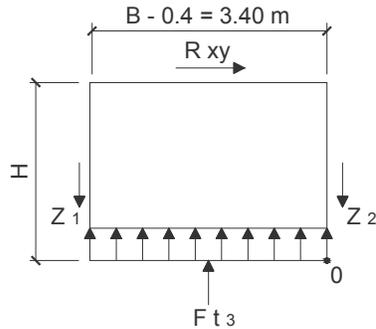
$$\sum Fy = 0 + \uparrow$$

$$Z_1 + Ft_2 - Ft_1 = 0$$

$$Z_1 = 0.0587 E$$

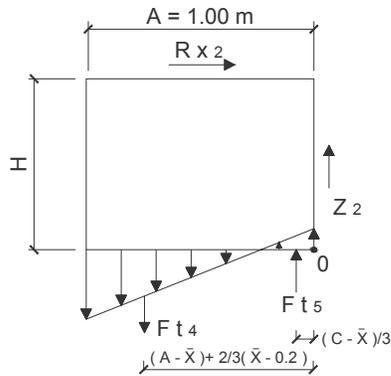
$$Ft_3 = (0.20)(0.5)(3.60)[(0.0598 E + 0.2119 E)] = 0.0978 E$$

Figura 27. Desmembrando el muro 2 del arreglo en C (sismo en X)



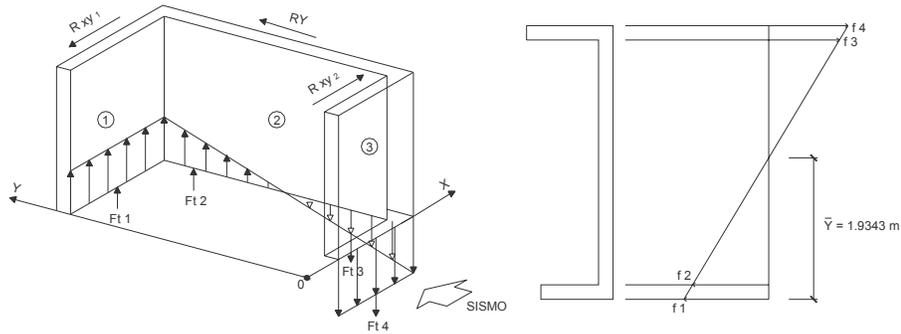
$$\begin{aligned} \sum M_o = 0 \quad + \curvearrowright & & \sum F_y = 0 \quad + \uparrow \\ 2.70 R_{xy} - 3.40 Z_1 + 1.70 F_{t3} = 0 & & F_{t3} - Z_1 - Z_2 = 0 \\ R_{xy} = 0.0123 E & & Z_2 = 0.0391 E \\ F_{t4} = (0.20)(0.5)[(0.5488 E)(0.9214 - 0.20)] = 0.0396 E & & \\ F_{t5} = (0.20)(0.5)[(0.2119 E)(1.20 - 0.9214)] = 0.0059 E & & \end{aligned}$$

Figura 28. Desmembrando el muro 3 del arreglo en C (sismo en X)



$$\begin{aligned} \sum M_o = 0 \quad + \curvearrowright & \\ 2.70 R_{x2} - 0.7595 F_{t4} + 0.0929 F_{t5} = 0 & \\ R_{x2} = 0.0109 E & \end{aligned}$$

Figura 29. Cálculo de R_{xy} del arreglo en C en la dirección X (sismo en dirección Y)



- Distribución de esfuerzos en la base

$$f = \frac{M_c}{l_x} = \frac{h * R_y * Y}{l_x} \quad \text{donde} \quad \frac{h * R_y}{l_x} = K_1 = 0.1023 E$$

$$f_1 = K_1 (Y) = (0.1023)(1.9643) = 0.2009 E$$

$$f_2 = K_1 (Y - 0.20) = (0.1023)(1.9643 - 0.20) = 0.1805 E$$

$$f_3 = K_1 (B - Y - 0.20) = (0.1023)(3.80 - 1.9643 - 0.20) = 0.1673 E$$

$$f_4 = K_1 (B - Y) = (0.1023)(3.80 - 1.9643) = 0.1878 E$$

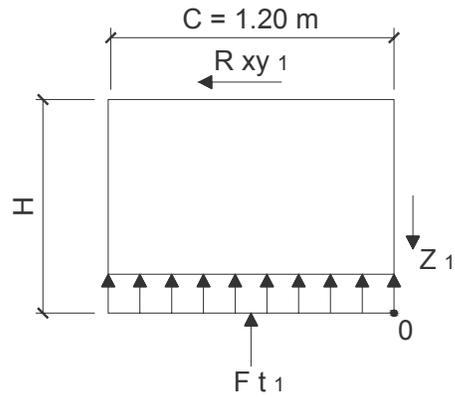
$$Ft_1 = (0.20)(0.5)(1.20)[(0.1673 E + 0.1878 E)] = 0.0426 E$$

$$Ft_2 = (0.20)(0.5)[(0.1878 E)(3.80 - 1.9643)] = 0.034 E$$

$$Ft_3 = (0.20)(0.5)[(0.2009 E)(1.9643)] = 0.039 E$$

$$Ft_4 = (0.20)(0.5)(1.00)[(0.2009 E + 0.1805 E)] = 0.0381 E$$

Figura 30. Desmembrando el muro 1 del arreglo en C (sismo en Y)



$$\sum M_o = 0 + \curvearrowright$$

$$0.60 Ft_1 - 2.70 R_{xy_1} = 0$$

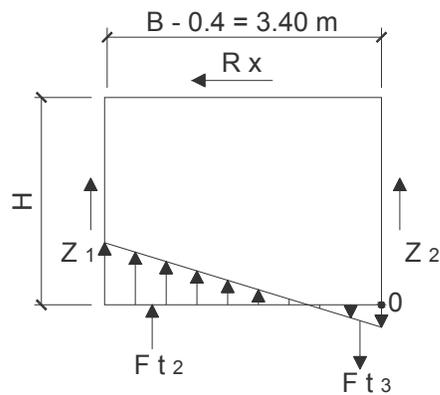
$$R_{xy_1} = 0.0095 E$$

$$\sum F_y = 0 + \uparrow$$

$$Ft_1 - Z_1 = 0$$

$$Z_1 = 0.0426 E$$

Figura 31. Desmembrando el muro 2 del arreglo en C (sismo en Y)

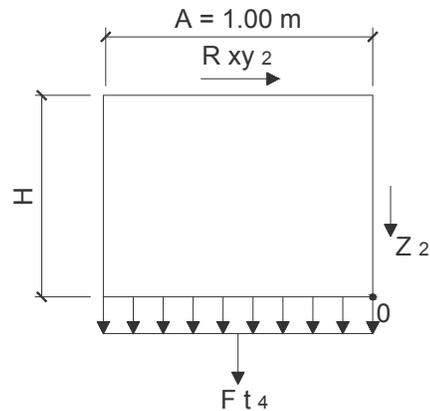


$$\sum F_y = 0 + \uparrow$$

$$Ft_2 + Z_1 - Z_2 - Ft_3 = 0$$

$$Z_2 = 0.0376 E$$

Figura 32. Desmembrando el muro 3 del arreglo en C (sismo en Y)



$$\sum M_o = 0 \quad + \curvearrowright$$

$$2.70 R_{xy2} - 0.50 F_{t4} = 0$$

$$R_{xy2} = 0.0071 E$$

$$R_{xy} = R_{xy1} + R_{xy2} = 0.0024 E$$

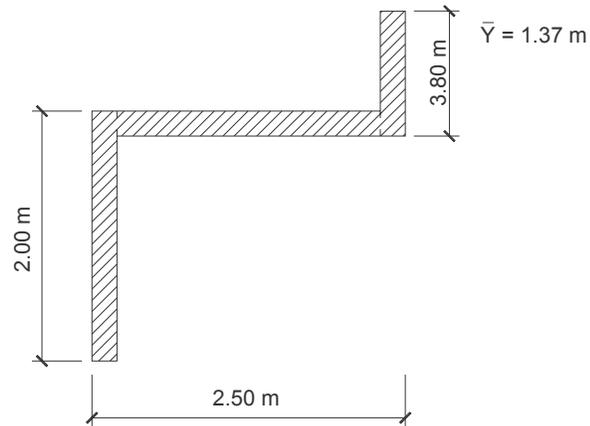
4.2.3.1.4 Arreglo en N

Es indispensable determinar las características geométricas del muro en ambas direcciones, para una mejor comprensión ver el ejemplo 7.

Ejemplo 7

Calcular las características geométricas del muro en ambas direcciones y determinar la fuerza que llega al arreglo. Utilizar altura del muro = 2.70 m, ver figura 33.

Figura 33. Arreglo en N



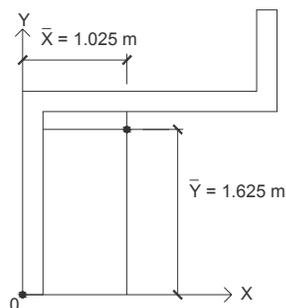
Solución

- Centroide

$$X = \frac{(0.2)(2.0)(0.1) + (0.2)(2.1)(1.25) + (0.2)(1.0)(2.4)}{(0.2)(2.00) + (0.2)(2.10) + (0.2)(1.00)} = \frac{1.045}{1.02} = 1.025 \text{ m}$$

$$Y = \frac{(0.2)(2.0)(0.5) + (0.2)(2.1)(1.90) + (0.2)(1.0)(2.4)}{(0.2)(2.00) + (0.2)(2.10) + (0.2)(1.00)} = \frac{1.658}{1.02} = 1.625 \text{ m}$$

Figura 34. Localización del centroide del arreglo en N



- Momentos de inercia

$$I_{x_1} = (1/12)(0.2)(2.00)^3 + (0.2)(2.00)(1.625 - 1.00)^2 = 0.2896 \text{ mts}^4$$

$$I_{x_2} = (1/12)(2.10)(0.2)^3 + (0.2)(2.10)(2.00 - 0.1 - 1.625)^2 = 0.0332 \text{ mts}^4$$

$$I_{x_3} = (1/12)(0.2)(1.00)^3 + (0.2)(1.00)(0.1 + 1.80 - 1.625)^2 = 0.1078 \text{ mts}^4$$

$$I_x = 0.431 \text{ mts}^4$$

$$I_{y_1} = (1/12)(2.00)(0.2)^3 + (0.2)(2.00)(0.431 - 0.1)^2 = 0.3436 \text{ mts}^4$$

$$I_{y_2} = (1/12)(0.2)(2.10)^3 + (0.2)(2.10)(1.25 - 0.431)^2 = 0.1756 \text{ mts}^4$$

$$I_{y_3} = (1/12)(1.00)(0.2)^3 + (0.2)(1.00)(2.50 - 0.1 - 0.431)^2 = 0.0536 \text{ mts}^4$$

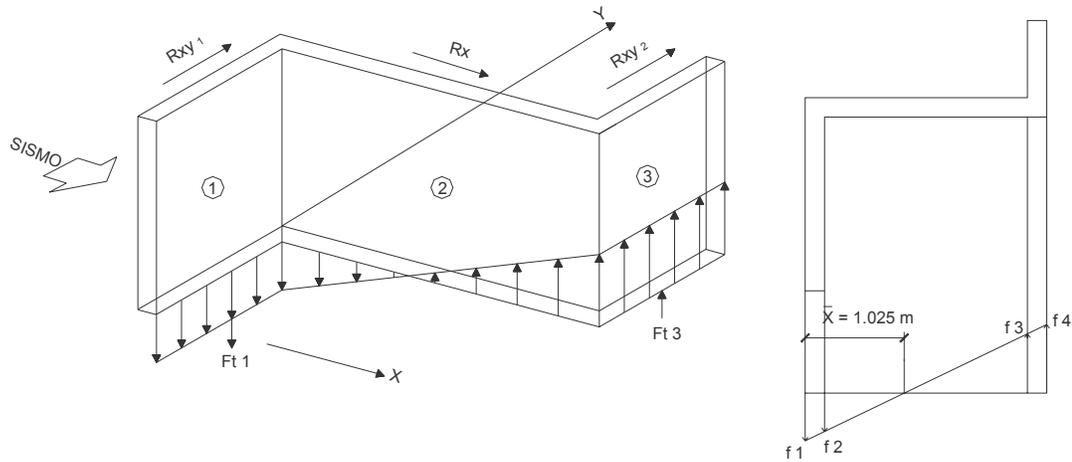
$$I_y = 0.898 \text{ mts}^4$$

- Cálculo de rigideces

$$R_x = \frac{E}{\frac{(2.70)^3}{(12)(0.898)} + \frac{3(2.70)}{(0.20)(2.10)}} = \frac{E}{21.112} \quad R_x = 0.0474 E$$

$$R_y = \frac{E}{\frac{(2.70)^3}{(12)(0.431)} + \frac{3(2.70)}{(0.2)(3.00)}} = \frac{E}{17.306} \quad R_y = 0.0578 E$$

Figura 35. Cálculo de R_{xy} del arreglo en N en la dirección Y (sismo en dirección X)



- Distribución de esfuerzos en la base

$$f = \frac{M_c}{l_y} = \frac{h * R_x * X}{l_y} \quad \text{donde} \quad \frac{h * R_x}{l_y} = K_1 = 0.1425 E$$

$$f_1 = K_1 (X) = (0.1425)(1.025) = 0.1461 E$$

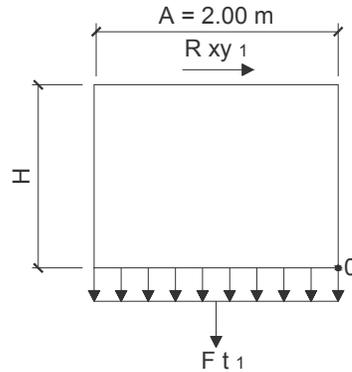
$$f_2 = K_1 (X - 0.20) = (0.1425)(1.025 - 0.20) = 0.1176 E$$

$$f_3 = K_1 (B - X - 0.20) = (0.1425)(2.50 - 1.025 - 0.20) = 0.1817 E$$

$$f_4 = K_1 (B - X) = (0.1425)(2.50 - 1.025) = 0.2102 E$$

$$Ft_1 = (0.20)(0.5)(2.00)[(0.1461 E + 0.1176 E)] = 0.0527 E$$

Figura 36. Desmembrando el muro 1 del arreglo en N (sismo en X)



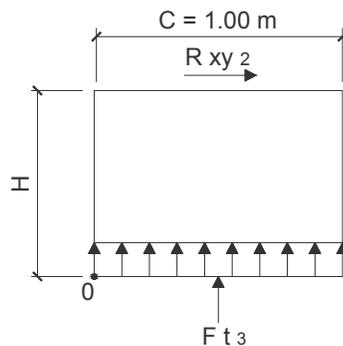
$$\sum M_o = 0 + \curvearrowright$$

$$2.70 R_{xy1} - 1.00 F_{t1} = 0$$

$$R_{xy1} = 0.0195 E$$

$$F_{t3} = (0.20)(0.50)(1.00)[(0.1817 E + 0.2102 E)] = 0.0392 E$$

Figura 37. Desmembrando el muro 3 del arreglo en N (sismo en X)



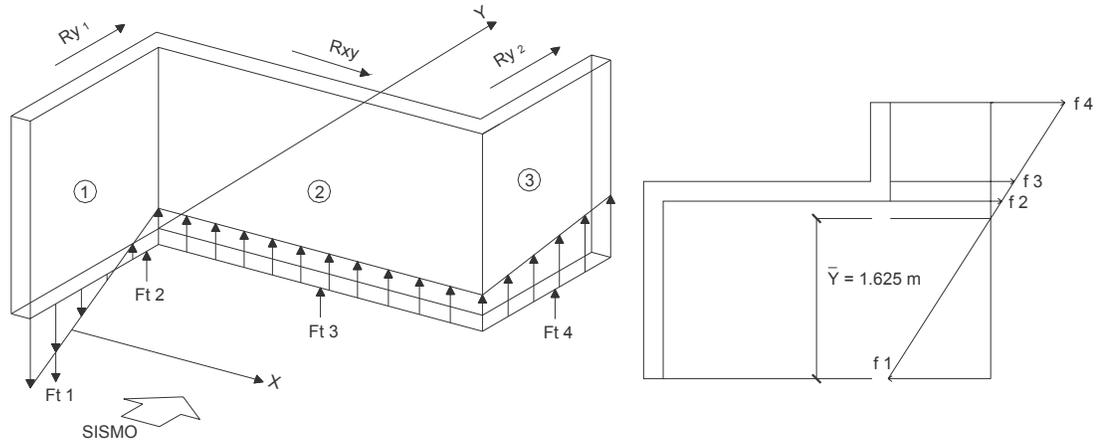
$$\sum M_o = 0 + \curvearrowright$$

$$- 2.70 R_{xy2} + 0.50 F_{t3} = 0$$

$$R_{xy2} = 0.0073 E$$

$$R_{xy} = R_{xy1} + R_{xy2} = 0.0268 E$$

Figura 38. Cálculo de R_{xy} del arreglo en N en la dirección X (sismo en dirección Y)



- Distribución de esfuerzos en la base

$$f = \frac{Mc}{I_x} = \frac{h * R_y * Y}{I_x} \quad \text{donde} \quad \frac{h * R_y}{I_x} = K_1 = 0.3633 E$$

$$f_1 = K_1 (Y) = (0.3633)(1.625) = 0.5904 E$$

$$f_2 = K_1 (A - Y - 0.20) = (0.3633)(1.80 - 1.625) = 0.0636 E$$

$$f_3 = K_1 (A - Y) = (0.3633)(2.00 - 1.625) = 0.1362 E$$

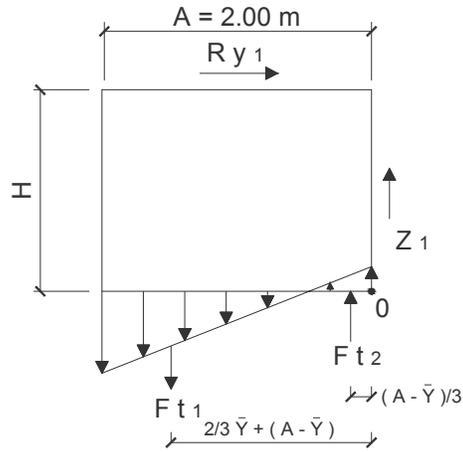
$$f_4 = K_1 (A - Y - 0.20 + C) = (0.3633)(1.80 + 1.00 - 1.625) = 0.4269 E$$

$$Ft_1 = (0.20)(0.5)[(0.5904 E)(1.625)] = 0.0959 E$$

$$Ft_2 = (0.20)(0.5)[(0.1362 E)(2.00 - 1.625)] = 0.0051 E$$

$$Ft_3 = (0.20)(0.5)(2.10)[(0.0636 E + 0.1362 E)] = 0.0420 E$$

Figura 39. Desmembrando el muro 1 del arreglo en N (sismo en Y)



$$\sum M_o = 0 + \curvearrowright$$

$$2.70 R_{y1} + 0.125 F_{t2} - 1.4583 F_{t1} = 0$$

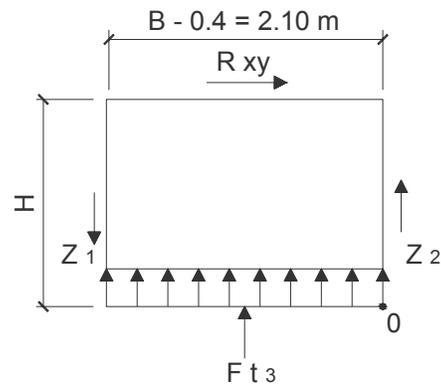
$$R_{y1} = 0.0516 E$$

$$\sum F_y = 0 + \uparrow$$

$$F_{t2} - F_{t1} + Z_1 = 0$$

$$Z_1 = 0.0908 E$$

Figura 40. Desmembrando el muro 2 del arreglo en N (sismo en Y)



$$\sum M_o = 0 + \curvearrowright$$

$$2.70 R_{xy} + 0.5(2.10) F_{t3} - 2.10 Z_1 = 0$$

$$R_{xy} = 0.0543 E$$

$$\sum F_y = 0 + \uparrow$$

$$Z_2 + F_{t3} - Z_1 = 0$$

$$Z_2 = 0.0488 E$$

$$R_{y2} = R_y - R_{y1} = 0.0062 E$$

$$\text{Si } R_{y1} > R_y \text{ entonces } R_{y2} = 0$$

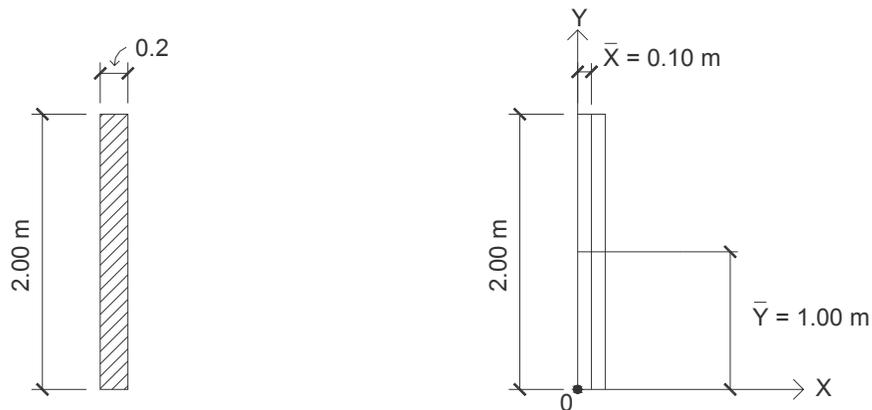
4.2.3.1.5 Arreglo en I

Es indispensable determinar las características geométricas del muro en ambas direcciones, para una mejor comprensión ver el ejemplo 8.

Ejemplo 8

Calcular las características geométricas del muro en ambas direcciones y determinar la fuerza que llega al arreglo. Utilizar altura del muro = 2.70 m, ver figura 41.

Figura 41. Arreglo en I y localización del centroide



Solución

- Centroide

$$X = \frac{(0.2)(2.00)(0.1)}{(0.2)(2.00)} = \frac{0.040}{0.4} = 0.10 \text{ m}$$

$$Y = \frac{(0.2)(2.00)(1.00)}{(0.2)(2.00)} = \frac{0.40}{0.4} = 1.00 \text{ m}$$

- Momentos de inercia

$$I_x = (1/12)(0.2)(2.00)^3 = 0.1333 \text{ mts}^4$$

$$I_y = (1/12)(2.00)(0.2)^3 = 0.0013 \text{ mts}^4$$

- Cálculo de rigideces

$$R_x = \frac{E}{\frac{(2.70)^3}{(12)(0.0013)}} = \frac{E}{1261.73} \quad R_x = 0.0008 E$$

$$R_y = \frac{E}{\frac{(2.70)^3}{(12)(0.133)} + \frac{3(2.70)}{(0.2)(2.00)}} = \frac{E}{32.555} \quad R_y = 0.0307 E$$

Nota:

- Como el muro es simétrico con respecto al centro de gravedad, tanto en el sentido X como en Y entonces, $R_{xy} = 0$.
- Como el arreglo está compuesto únicamente por un muro, entonces la rigidez torsional es cero $J = 0$.
- El centro de corte estará localizado en su centro de gravedad.

4.2.3.2 Cálculo de la rigidez torsionante

La rigidez torsionante se calculará únicamente para los tipos de arreglos que presenten elementos paralelos entre sí, tal es el caso del arreglo en N y C. Los otros tipos de arreglos no se toman en cuenta porque presentan elementos perpendiculares que eliminan el efecto de torsión. Para poder calcular la rigidez torsionante, primero se debe determinar el centro de corte del arreglo.

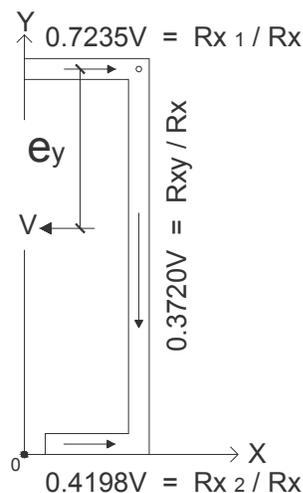
Ejemplo 9

Calcular el centro de corte y la rigidez torsionante para el arreglo en C del ejemplo 6.

- Cálculo del centro de corte del arreglo

Al colocar los valores de las fuerzas R_{xy} , R_{x1} y R_{x2} se determina la excentricidad en y, ver figura 42.

Figura 42. Cálculo de e_y (sismo en dirección X)



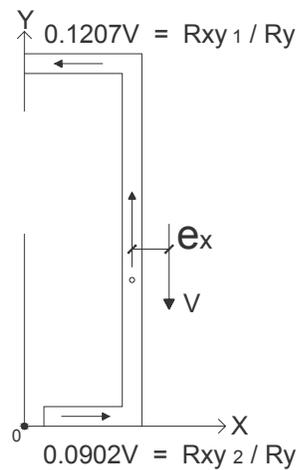
Al igualar a cero resulta

$$\sum M_o = 0 + \curvearrowright$$

$$V e_y = [(0.3720v) * (0.1786 \text{ m }) - (0.4198v) * (3.80 \text{ m })] = e_y = 1.529 \text{ m}$$

Al colocar los valores de las fuerzas R_y , $R_{xy 1}$ y $R_{xy 2}$ se determina la excentricidad en x, ver figura 43.

Figura 43. Cálculo de e_x (sismo en dirección Y)



Al igualar a cero resulta

$$\sum M_o = 0 + \curvearrowright$$

$$V e_x = [-(0.1207v) * (1.7657 \text{ m }) - (0.0902v) * (1.8343 \text{ m })] = e_x = 0.379 \text{ m}$$

- Cálculo de la rigidez torsional

La rigidez torsional se determina con la siguiente ecuación:

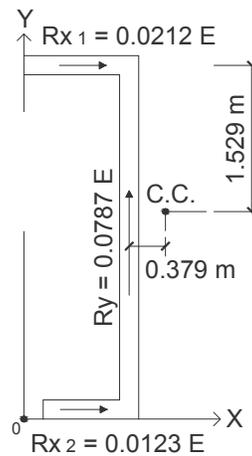
$$J = \sum R_i * H_i^2$$

Donde:

Ri = Valor de las rigideces Rx y Ry

Hi = Distancia al centro de corte

Figura 44. Cálculo de la rigidez torsional del arreglo en C



$$J = [(0.0212 E) * (1.529)^2 + (0.0123 E) * (2.271)^2 + (0.0787 E) * (0.379)^2]$$
$$J = 0.1243 E$$

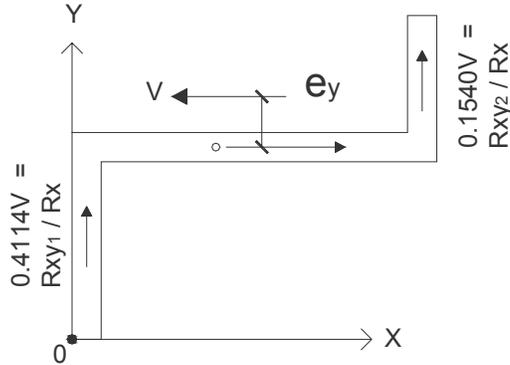
Ejemplo 10

Calcular el centro de corte y la rigidez torsionante para el arreglo en N del ejemplo 7.

- Cálculo del centro de corte del arreglo

Al colocar los valores de las fuerzas R_{xy1} , R_{xy2} y R_x se determina la excentricidad en y, ver figura 45.

Figura 45. Cálculo de e_y (sismo en dirección X)



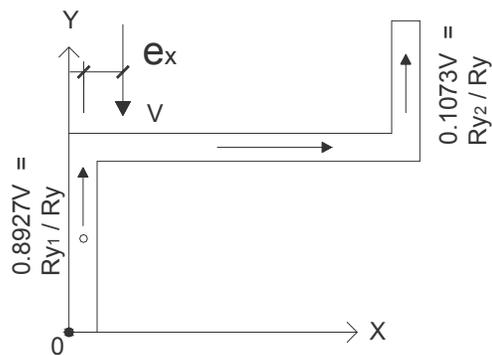
Al igualar a cero resulta

$$\sum Mo = 0 + \curvearrowright$$

$$Ve_y = [(0.4114v) * (0.925 \text{ m}) - (0.1540v) * (1.375 \text{ m})] = e_y = 0.169 \text{ m}$$

Al colocar los valores de las fuerzas Ry_1 , Ry_2 y Rxy se determina la excentricidad en y , ver figura 46.

Figura 46. Cálculo de e_x (sismo en dirección Y)

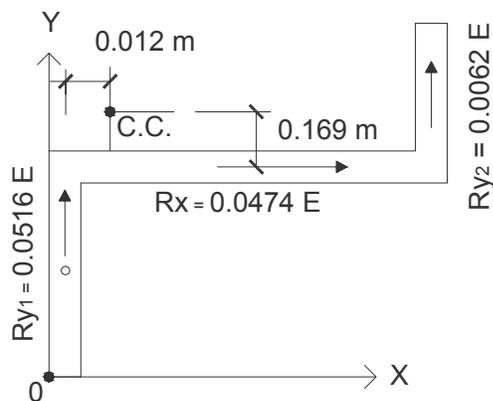


Al igualar a cero resulta

$$\sum M_o = 0 + \curvearrowright$$

$$V e_x = [-(1073v)*(2.30 \text{ m}) - (0.9394v)*(0.275 \text{ m})] = e_x = 0.012 \text{ m}$$

Figura 47. Cálculo de la rigidez torsional del arreglo en N



$$J = [(0.0516 \text{ E})*(0.012)^2 + (0.0474 \text{ E})*(0.169)^2 + (0.0062 \text{ E})*(2.288)^2]$$

$$J = 0.0338 \text{ E}$$

5. PROGRAMAS DE APLICACIÓN

En todos los procesos de la ingeniería, desde el análisis hasta el diseño, se utilizan herramientas muy especializadas, por lo que trabajar con lo más sencillo se torna complicado. Por esta razón es importante desarrollar procesos que sirvan a esos fines. Entonces el uso de una herramienta que está al alcance de prácticamente todos como lo es Excel, permite tornar simple lo que es realmente complicado. Sumando a esto que el análisis de estructuras de mampostería no es algo a lo que la mayoría de profesionales le den mucha importancia a pesar de ser una de las áreas donde más se trabaja, y que tristemente queda en manos de albañiles, maestros de obra y/o profesionales que para el caso emplean recetas sin saber de donde sale la información que manejan. Por tal motivo se hace necesario el desarrollo del presente trabajo.

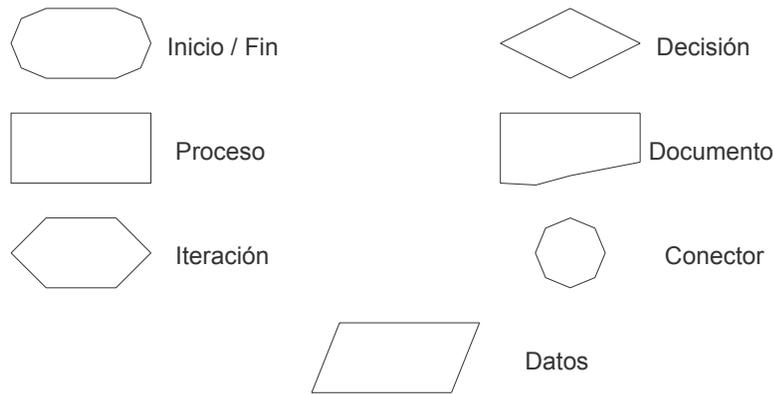
Se han utilizado para el desarrollo de las hojas de cálculo macros, hipervínculos y otros elementos propios del programa para optimizar el tiempo, con una presentación sencilla y que llevan de la mano al usuario.

5.1 Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo es un diagrama secuencial que se emplea en muchos campos para mostrar los procedimientos detallados que se deben seguir para realizar una tarea, los diagramas de flujo se utilizarán para seguir la secuencia lógica de las acciones de los programas de análisis realizados.

A continuación se presentan los diferentes símbolos utilizados en la diagramación para evitar confusiones.

Figura 48. Símbolos utilizados en la diagramación



Los requerimientos matemáticos de los programas desarrollados requieren un bajo nivel de seguridad, pero el computador asigna inmediatamente un nivel alto, acción que posteriormente deshabilitará las macros si no se corrige antes de instalar los programas, por lo tanto se recomienda cambiar el nivel de seguridad que presenta Excel, siguiendo los siguientes pasos.

Figura 49. Diagrama para cambiar nivel de seguridad de las macros

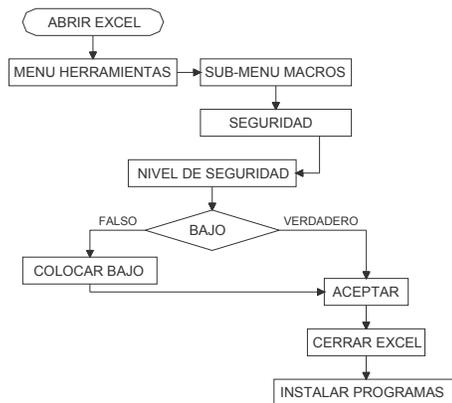


Figura 50. Diagrama de análisis estructural

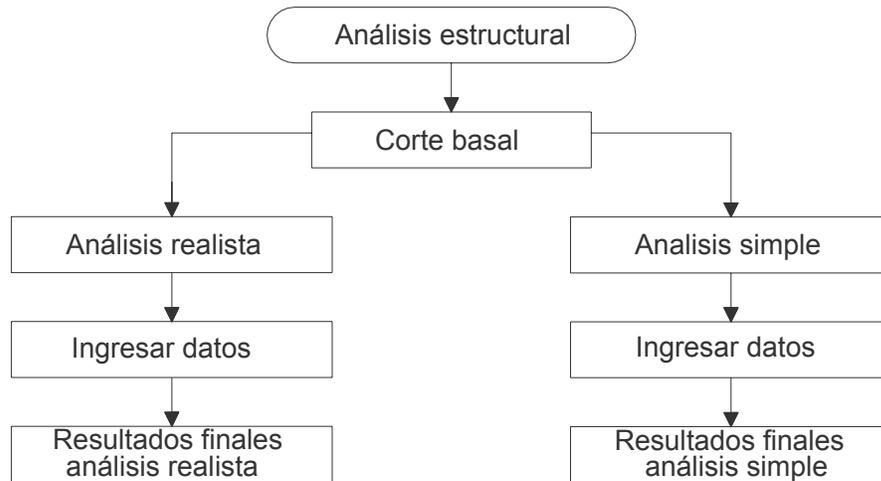
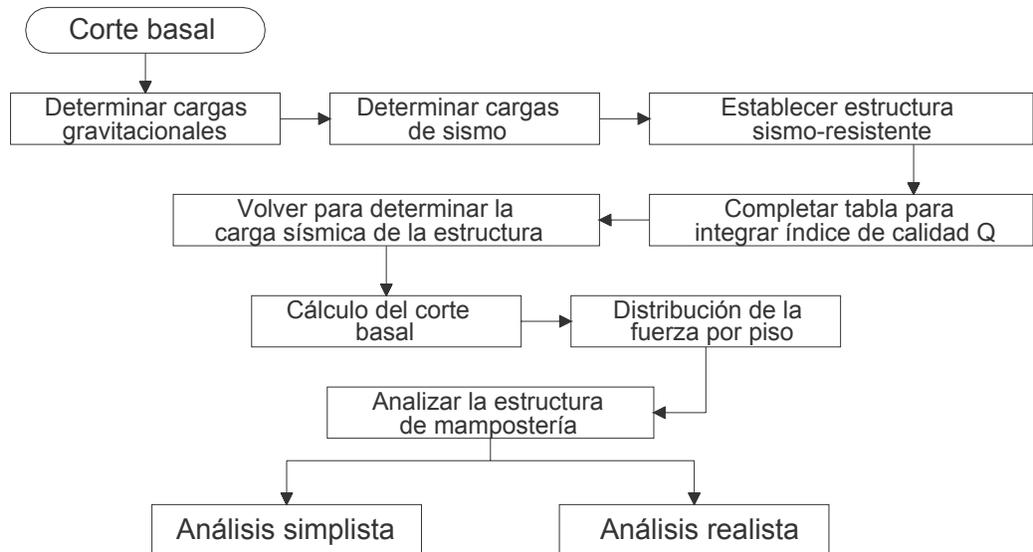


Figura 51. Diagrama para corte basal



5.2 Programa de aplicación del análisis simple

Este programa tiene como finalidad analizar la estructura de mampostería por medio del método de análisis simple y obtener así resultados de manera casi inmediata.

5.2.1 Limitaciones del programa del análisis simple

- Únicamente se pueden analizar estructuras de mampostería reforzada con no más de dos niveles.
- Plantas con no más de 30 muros en sentido X donde cada uno debe estar referido a un plano de coordenadas con distancias al eje X y Y.
- Plantas con no más de 30 muros en sentido Y donde cada uno debe estar referido a un plano de coordenadas con distancias al eje X y Y.
- Requerimiento de *hardware* y *software*.

- *Hardware*

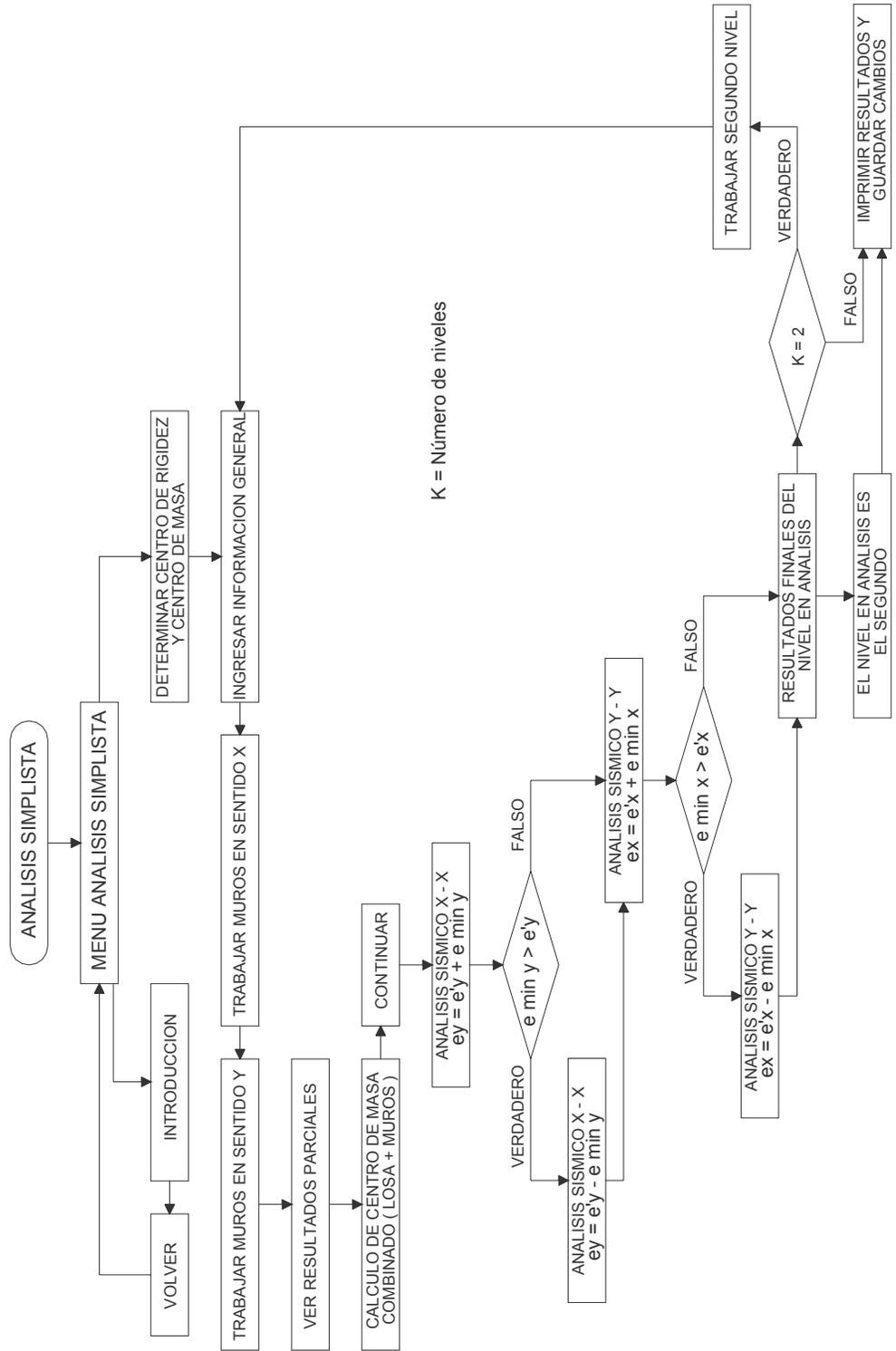
El computador debe disponer de una capacidad libre de memoria no menor a 10 MB para que pueda correr sin ningún problema.

- *Software*

Para que el programa funcione correctamente, el computador debe de disponer de Windows XP y Office XP. Con un software anterior a este, el programa presenta dificultades para trabajar adecuadamente, debido a que no corren correctamente las macros y otras características especiales del mismo.

Estas son las únicas limitaciones que presenta, es muy importante que se tomen en cuenta. Para poder utilizar correctamente el programa se presenta un diagrama de flujo, ver figura 52.

Figura 52. Diagrama de flujo para el análisis simplista



5.3 Programa de aplicación del análisis real

Este programa tiene como finalidad analizar la estructura de mampostería por medio del método de análisis real o integral.

5.3.1 Limitaciones del programa

- Únicamente se pueden analizar estructuras de mampostería reforzada con no más de dos niveles.
- Únicamente se pueden trabajar plantas descompuestas en arreglos en C, I, N, L y T, debido a que son los más comunes.
- Plantas con no más de 5 arreglos en C, 5 arreglos en I, 5 arreglos en N , 6 arreglos en L y 5 arreglos en T, esto se debe a que se realizó un análisis para determinar la cantidad de arreglos necesarios en una estructura de características normales. Cada arreglo debe estar referido a un plano de coordenadas con distancias al eje X y Y.
- Requerimiento de *hardware* y *software*.

- *Hardware*

El computador debe disponer de una capacidad libre de memoria no menor a 10 MB para que pueda correr sin ningún problema.

- *Software*

Para que el programa funcione correctamente, el computador debe de disponer de Windows XP y Office XP. Con un software anterior a este, el programa presenta dificultades para trabajar adecuadamente.

Estas son las únicas limitaciones que presenta, es muy importante que se tomen en cuenta, ver figura 53.

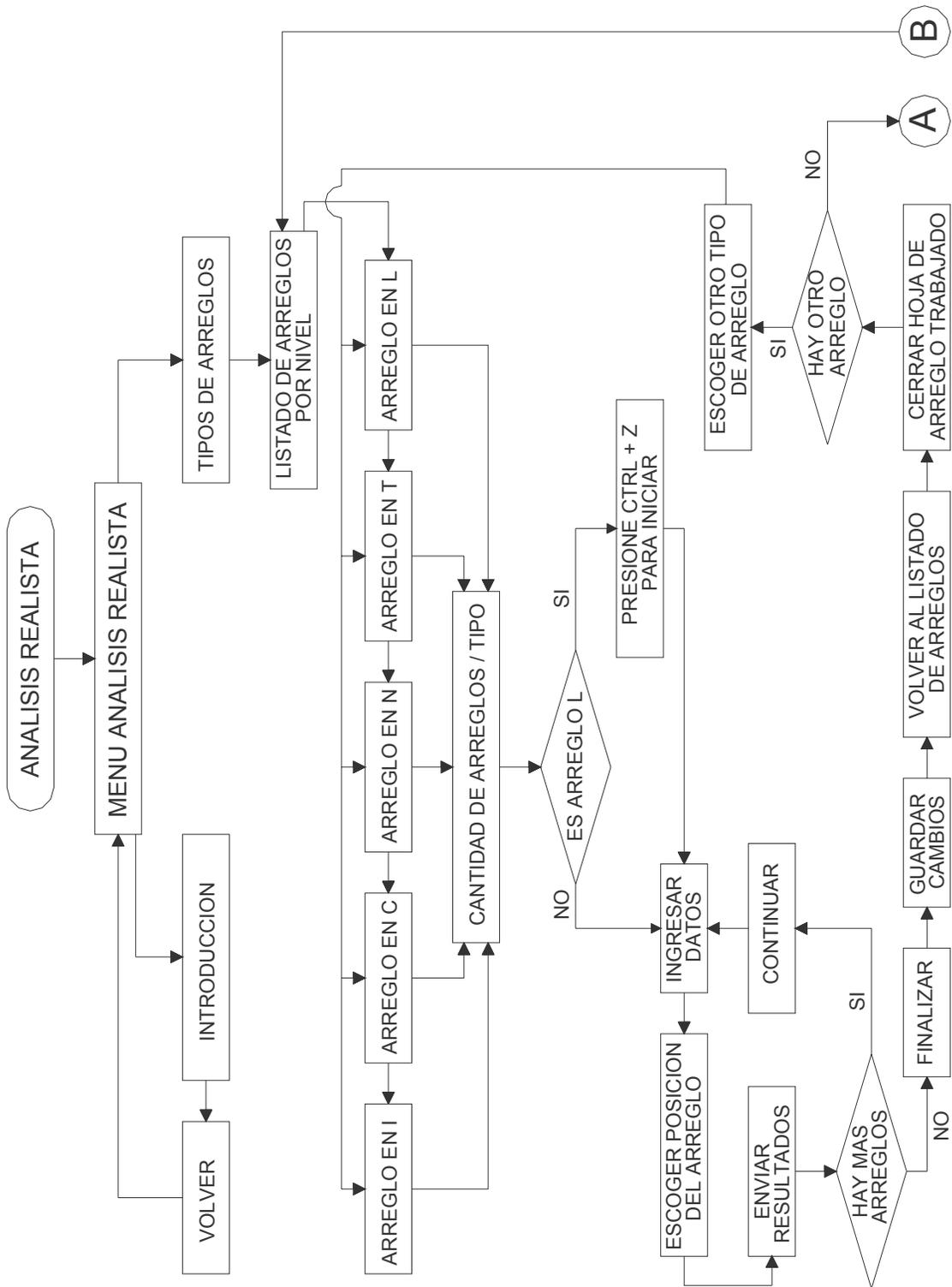
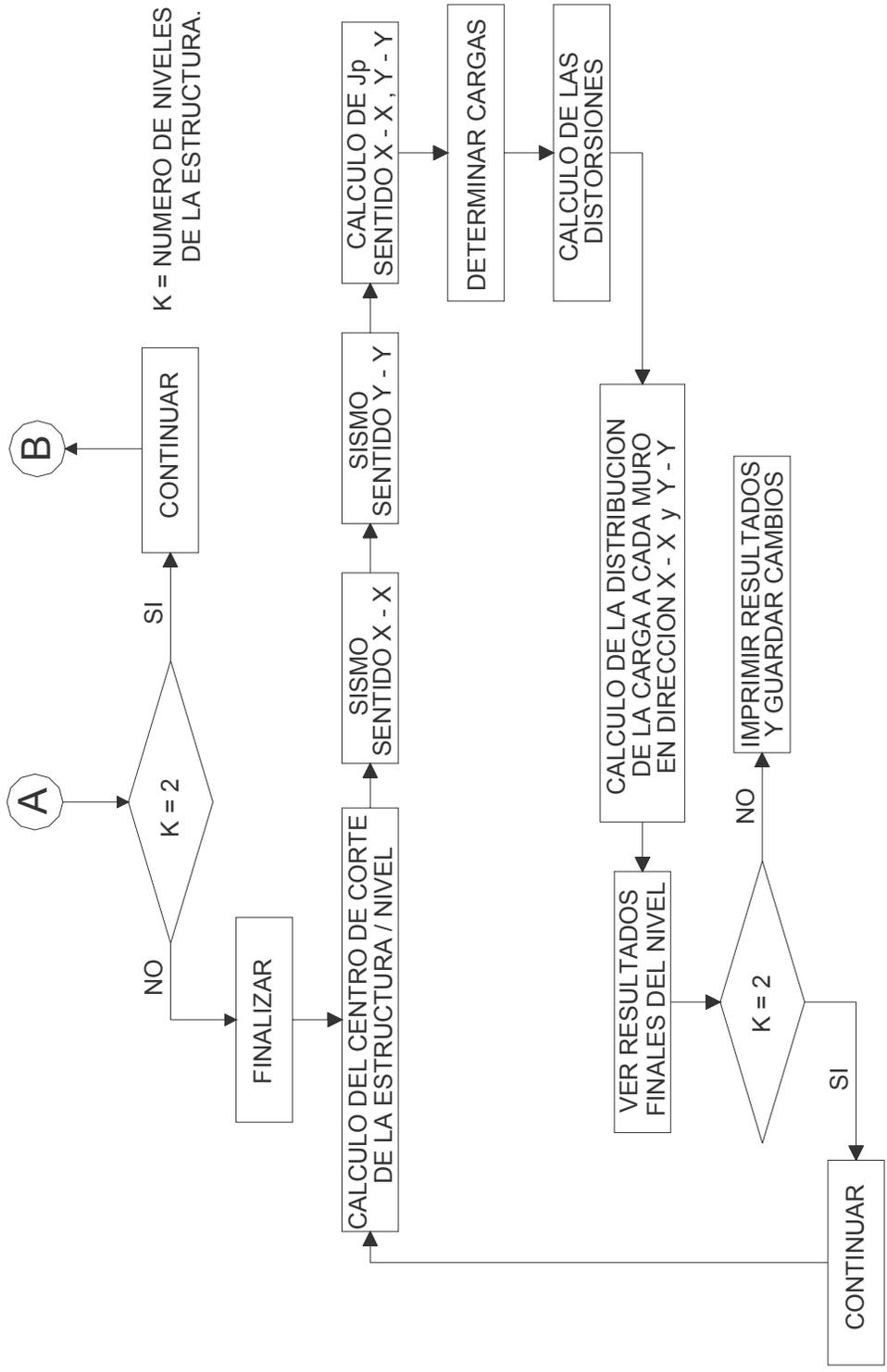


Figura 53. Diagrama de flujo para el análisis realista



5.4 Ejemplo de aplicación

Analizar la estructura de mampostería de una vivienda de dos niveles por los métodos simplista y realista.

Tabla XXIX. Datos generales

		Unidad
Mampostería	15 * 20 * 40	cms
Altura de muros 1er. nivel	2.50	mts.
Altura de muros 2do. nivel	2.50	mts.
Profundidad de cimentación	0.80	mts.
Espesor de losa	0.10	mts.
Carga viva para techo	100	kg / m ²
Carga viva para entrepiso	250	kg / m ²
Área de losa 1er. nivel	95.87	m ²
Área de losa 2do. nivel	84.10	m ²

- **Determinación de las cargas gravitacionales (techo, entrepiso y muros)**

- **Techo**

Losa	2400 * 0.10	240	Kg / m ²
Acabados		30	Kg / m ²
Desniveles	1600 * 0.05	80	Kg / m ²

Carga muerta	350	Kg / m ²
Carga viva	100	Kg / m ²

- **Entrepiso**

Losa	2400 * 0.10	240	Kg / m ²
Acabados		30	Kg / m ²
Rellenos	1200 * 0.05	60	Kg / m ²
Piso		70	Kg / m ²

Carga muerta	400	Kg / m ²
Carga viva	250	Kg / m ²

Figura 54. Planta baja de la estructura en análisis

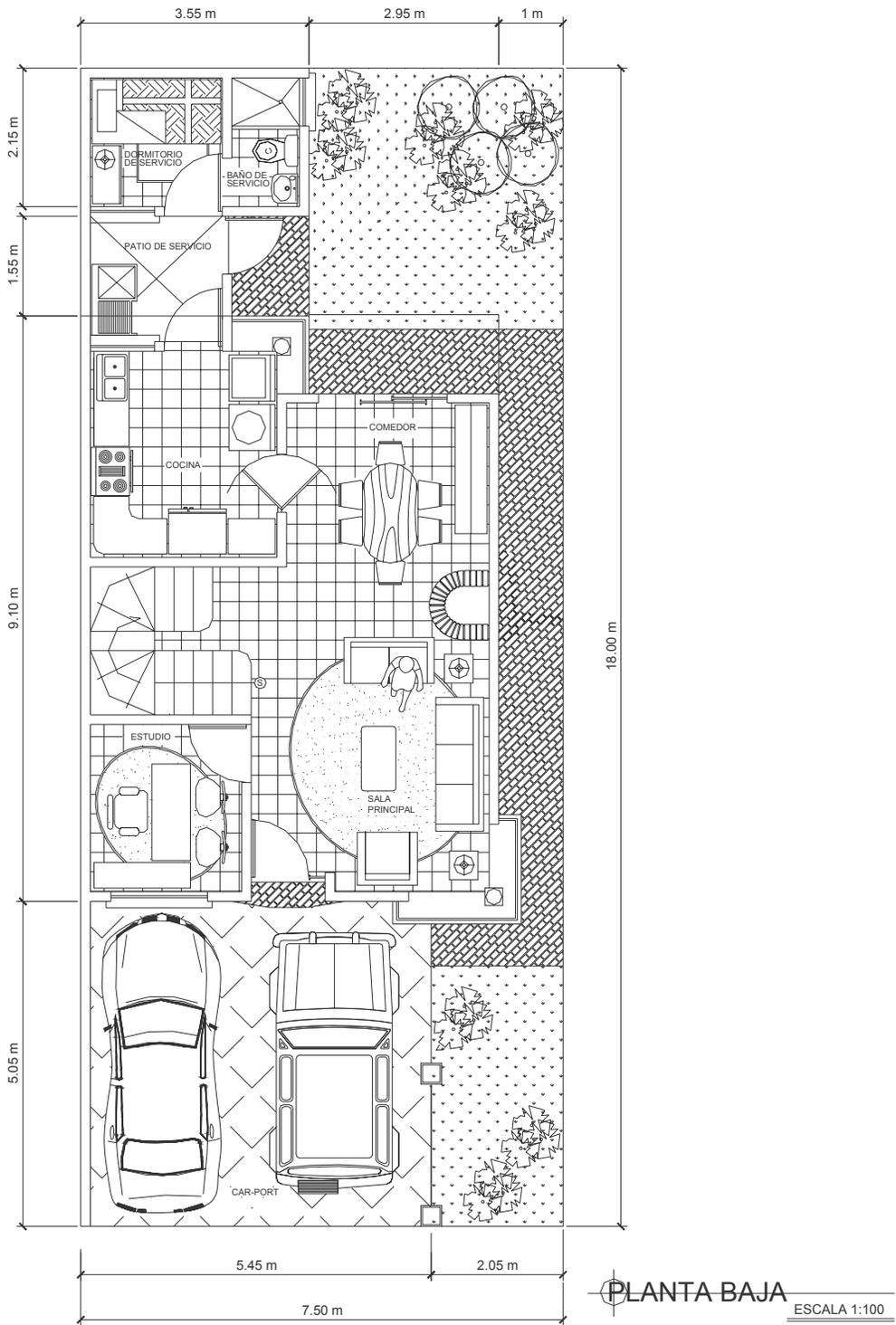
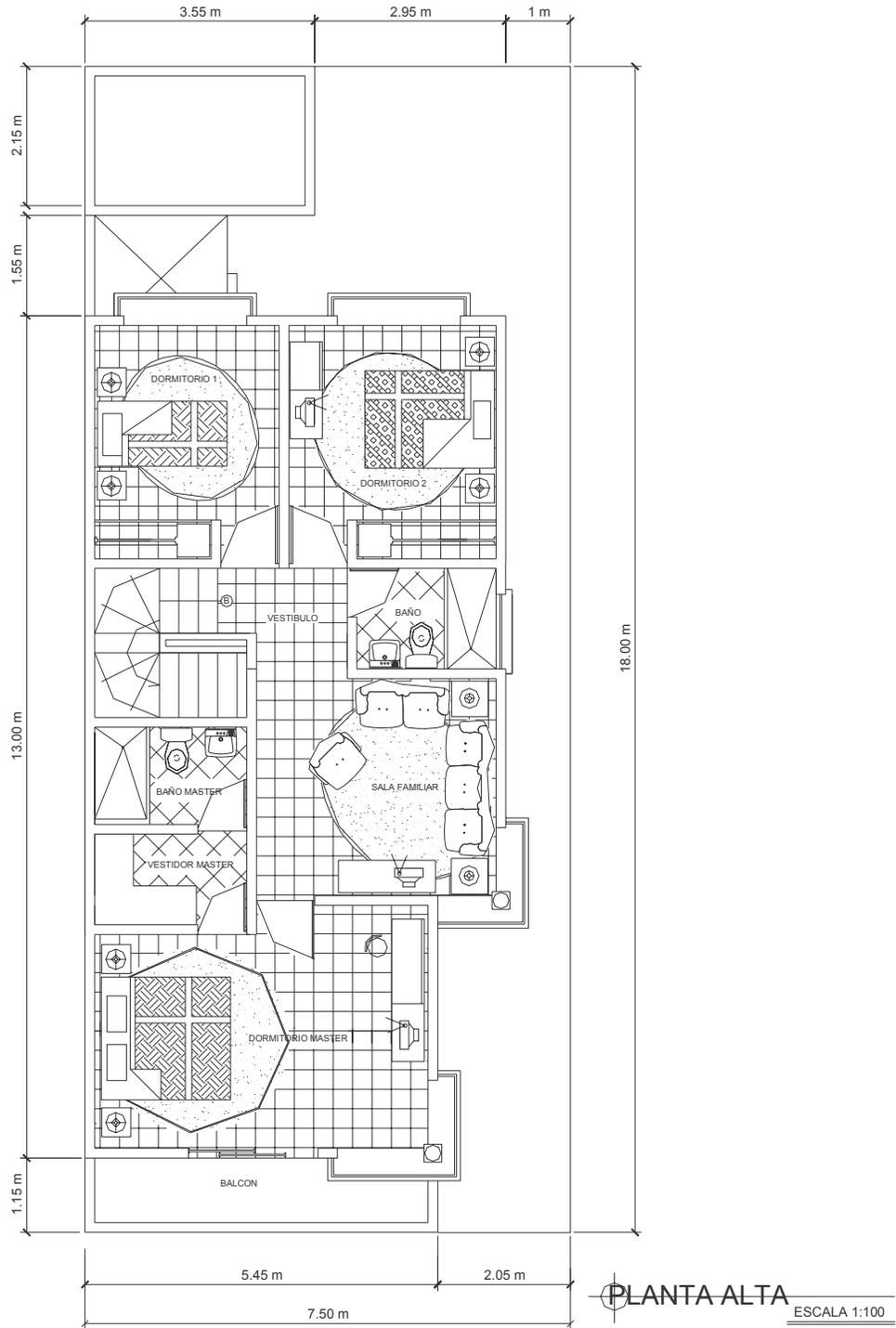


Figura 55. Planta alta de la estructura en análisis



- **Muros**

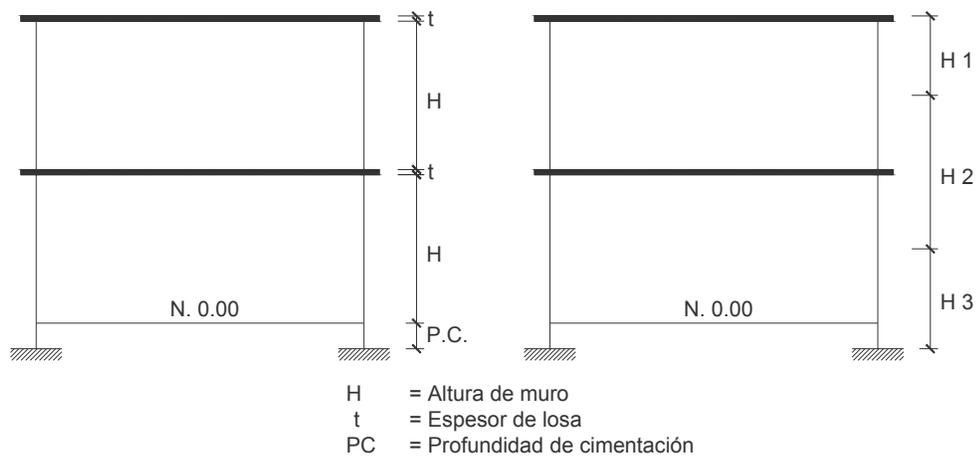
Primer nivel

Peso de la mampostería	210 kg/cm ²
Longitud total de los muros	47.44 mts.
Acabados	30 kg/cm ²
Carga muerta de los muros	240 kg/cm ²
$W_{\text{muro 1er. nivel}} = (240 \text{ kg/cm}^2) * (2.50 \text{ m}) * (47.44 \text{ m})$	28,464 kg

Segundo nivel

Peso de la mampostería	210 kg/cm ²
Longitud total de los muros	52.55 mts.
Acabados	30 kg/cm ²
Carga muerta de los muros	240 kg/cm ²
$W_{\text{muro 2do. nivel}} = (240 \text{ kg/cm}^2) * (2.50 \text{ m}) * (52.55 \text{ m})$	31,500 kg

Figura 56. Elevación de la estructura



$$\begin{aligned}
 \text{Techo} &= [(350) * (84.10)] + [(0.5) * (31,530)] &&= 45,200 \text{ Kg.} \\
 2^\circ. \text{ nivel} &= [(400) * (95.87)] + [(0.5) * (28,464 + 31,530)] + 0.25(250) &&= 68,408 \text{ Kg.} \\
 1^\circ. \text{ nivel} &= [(0.5) * (2.50) + 0.80] * [(47.44) * (240)] &&= 23,340 \text{ Kg.}
 \end{aligned}$$

Peso total de la estructura = 136,948 Kg. = 136.95 Ton.

- **Determinación de la carga de sismo**

Tabla XXX. Guía para establecer la estructuración sismo resistente de una edificación e integrar el índice de calidad Q

2.3.2.1	Nombre de la edificación _____					
2.3.2.1	Clasificación de la obra: Obras ordinarias					
2.3.2.2	Índice de sismicidad del sitio: Zona = 4.1 lo = 4					
2.3.2.3	Nivel de protección requerido: C1 Asignado: C1					
2.3.2.4	Perfil del suelo S3					
2.3.2.5	Aceleración máxima efectiva del terreno Ao 0.4 g					
2.3.2.6	Tipo de estructura Sistema de cajón E1					
2.3.2.7	Descripción de la estructura					
	Número de pisos bajo el suelo	0	Sobre el suelo	2		
	Altura total bajo el suelo	0	Sobre el suelo	5.20 m		
	Longitud X _{máx} bajo el suelo	0	Sobre el suelo	7.50 m		
	Longitud Y _{máx} bajo el suelo	0	Sobre el suelo	18.00 m		
2.3.2.8	Configuración de la edificación	Dirección del análisis			Valores q_i referencia	
		X	Ambos	Y	min.	Máx.
2.3.2.8.1	Redundancia estructural					
	Número de tramos	q1 = -1.30		q1 = -2.24	-3.0	2.5
	Número de ejes estructurales	q2 = 2.50		q2 = 2.50	-3.0	2.5
	Presencia de muros o riostras	q3 = 2.50		q3 = 2.50	0.0	3.5
2.3.2.8.2	Configuración en planta					
	Regularidad en planta		q4 = -4.00		-4.0	2.5
	Excentricidad en planta	q5 = 5.00		q5 = 5.00	-8.0	5.0
2.3.2.8.3	Configuración vertical					
	Regularidad vertical	q6 = 0.00		q6 = 0.00	-12.0	0.0

- **Cálculo del corte basal**

$$V_B = C_S * W_S$$

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

- **Cálculo del periodo fundamental T**

$T = T_e = \frac{0.09 * h_n}{(L)^{1/2}}$
--

en eje X $T = 0.09(5.20) / (7.50)^{1/2}$

$$T = 0.17$$

en eje Y $T = 0.09(5.20) / (18.00)^{1/2}$

$$T = 0.11$$

- **Periodo de vibración TA y TB**

Como el perfil del suelo es S3, según tabla XXIV tenemos:

$$T_A = 0.12$$

$$T_B = 0.74$$

- **Determinar el valor de D(T)**

en eje X $D(T) = 2.50$

en eje Y $D(T) = 1 + 1.5 * (T / T_A)$

$$D(T) = 2.38$$

- Cálculo de la demanda sísmica de diseño

$$\boxed{S_a(T) = A_o * D(T)}$$

en eje X $S_a(T) = 0.40 * 2.50$

$$S_a(T) = 1.000$$

en eje Y $S_a(T) = 0.40 * 2.38$

$$S_a(T) = 0.952$$

- Cálculo del factor de reducción de respuesta sísmica R

$$\boxed{R = 1.2 * R_o * Q}$$

Según tabla XXVI $R_o = 2.50$

Cálculo del factor de calidad sismorresistente Q

$$\boxed{Q = 1 + 0.10 \sum q_i}$$

en eje X $Q = 1 + 0.10 * (- 1.30 + 2.50 + 2.50 - 4.00 + 5.00 + 0.00)$

$$Q = 1.47$$

en eje Y $Q = 1 + 0.10 * (- 2.24 + 2.50 + 2.50 - 4.00 + 5.00 + 0.00)$

$$Q = 1.38$$

Cálculo de R

en eje X $R = 1.2 * (2.50) * (1.47)$

$$R = 4.41$$

en eje Y $R = 1.2 * (2.50) * (1.38)$

$$R = 4.13$$

- Cálculo de la carga de viento

$$F_v = \text{Área} * q$$

$q = 11.426 \text{ Kg / m}^2$ para Guatemala (ver anexo 1)

en eje X $F_v = [(5.20)*(6.50)] * 11.426$

$$F_v = 386.20 \text{ Kg.}$$

en eje Y $F_v = [(5.20)*(18.00)] * 11.426$

$$F_v = 1,069.47 \text{ kg.}$$

- Cálculo del corte basal V

$$V = \frac{S_a(T) * W_s}{R}$$

en eje X $V_x = [(1.000) * (136,948)] / 4.41$

$$V_x = 31,054 \text{ Kg.} = 31.05 \text{ Ton.}$$

en eje Y $V_y = [(0.952) * (136,948)] / 4.14$

$$V_y = 31,568 \text{ Kg.} = 31.57 \text{ Ton.}$$

- Distribución de la fuerza V por piso

$$F_j = C_{vj} * V$$

$$C_{vj} = \frac{W_i * h_i^k}{\sum_{i=1, n} (W_i * h_i^k)} \quad K = 1 \text{ Si } T < 0.50$$

en eje X $K = 1.00$

en eje Y $K = 1.00$

DISTRIBUCION DE LA FUERZA DE SISMO POR PISO

NIVEL	Wi (ton)	Hi (mts)	EJE X			EJE Y		
			Wi * HiK	Fx (ton)	Fx ACUMULADO	Wi * HiK	Fy (ton)	Fy ACUMULADO
TECHO	45.20	6.00	271.20	16.72	16.72	271.20	16.99	16.99
2do.	68.41	3.40	232.59	14.34	31.05	232.59	14.57	31.57
1ero.	23.34	0	0.00	0	31.05	0.00	0	31.57
Sumatorias			503.79			503.79		

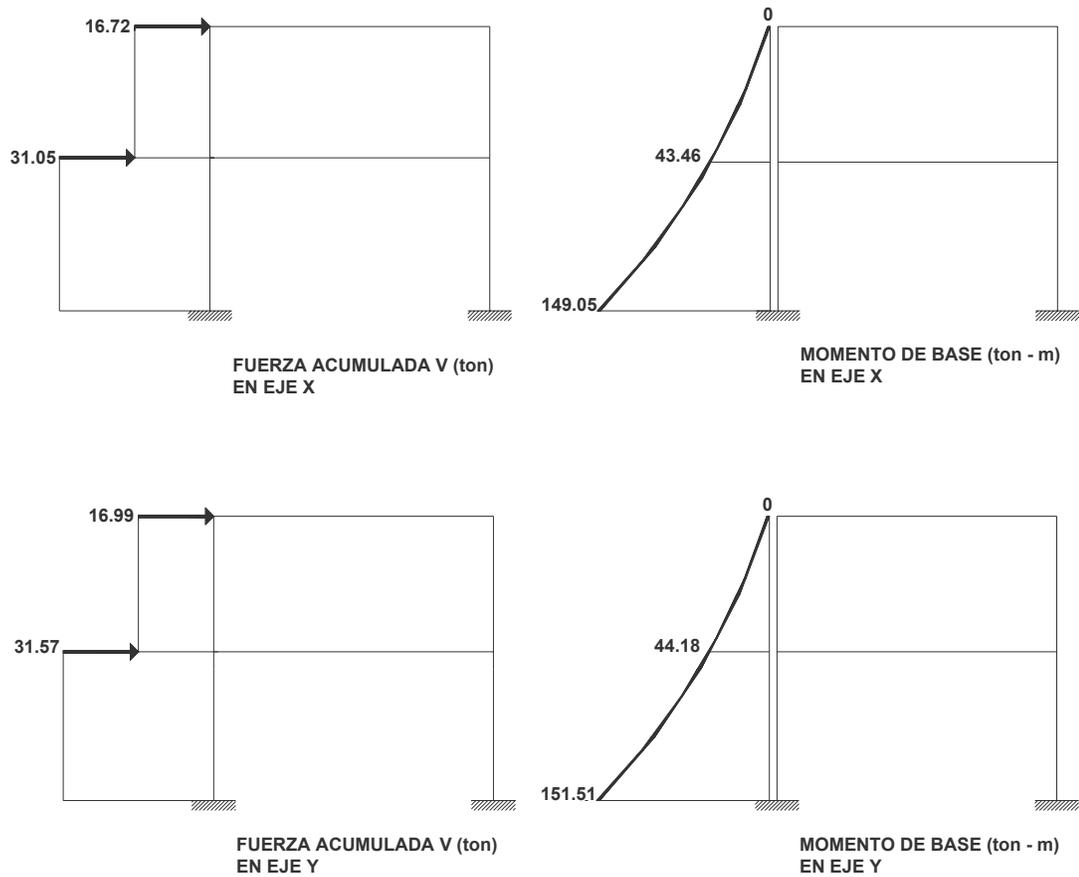
MOMENTO DE VOLTEO POR PISO

NIVEL	EJE X					EJE Y				
	Fi (ton)	Hi (mts)	Fi * Hi	(Hi - Hx)	M vx (ton-m)	Fi (ton)	Hi (mts)	Fi * Hi	(Hi - Hx)	M vx (ton-m)
TECHO	16.72	6.00	100.30	0	0	16.99	6.00	101.96	0	0
2do.	14.34	3.40	48.75	2.60	43.46	14.57	3.40	49.55	2.60	44.18
1ero.	0	0	0	3.40	149.05	0	0	0	3.40	151.51
Sumatoria			149.05			Sumatoria			151.51	

M vx = 149.05 ton - m

M vy = 151.51 ton - m

Figura 57. Diagramas de la distribución de fuerzas y momentos por piso



El siguiente paso consiste en analizar la estructura de mampostería, lo cuál se realizará por los dos métodos de análisis en estudio.

- **Solución por método simplista**

Primero se deben numerar los muros verticales y horizontales de la estructura para ambos niveles, tal como se muestra en los planos siguientes, considerando que no se toman los vanos de puertas y ventanas.

Figura 58. Numeración de los muros de la planta baja (análisis simplista)

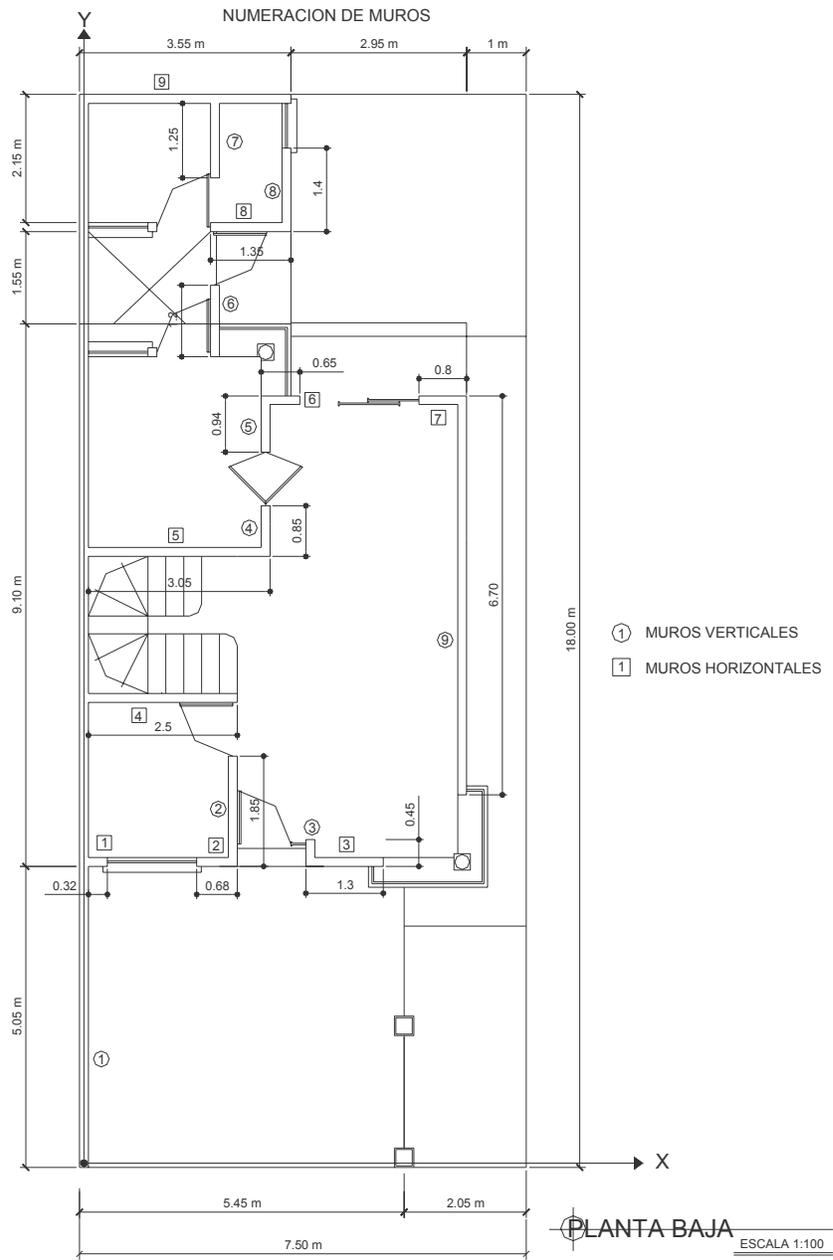
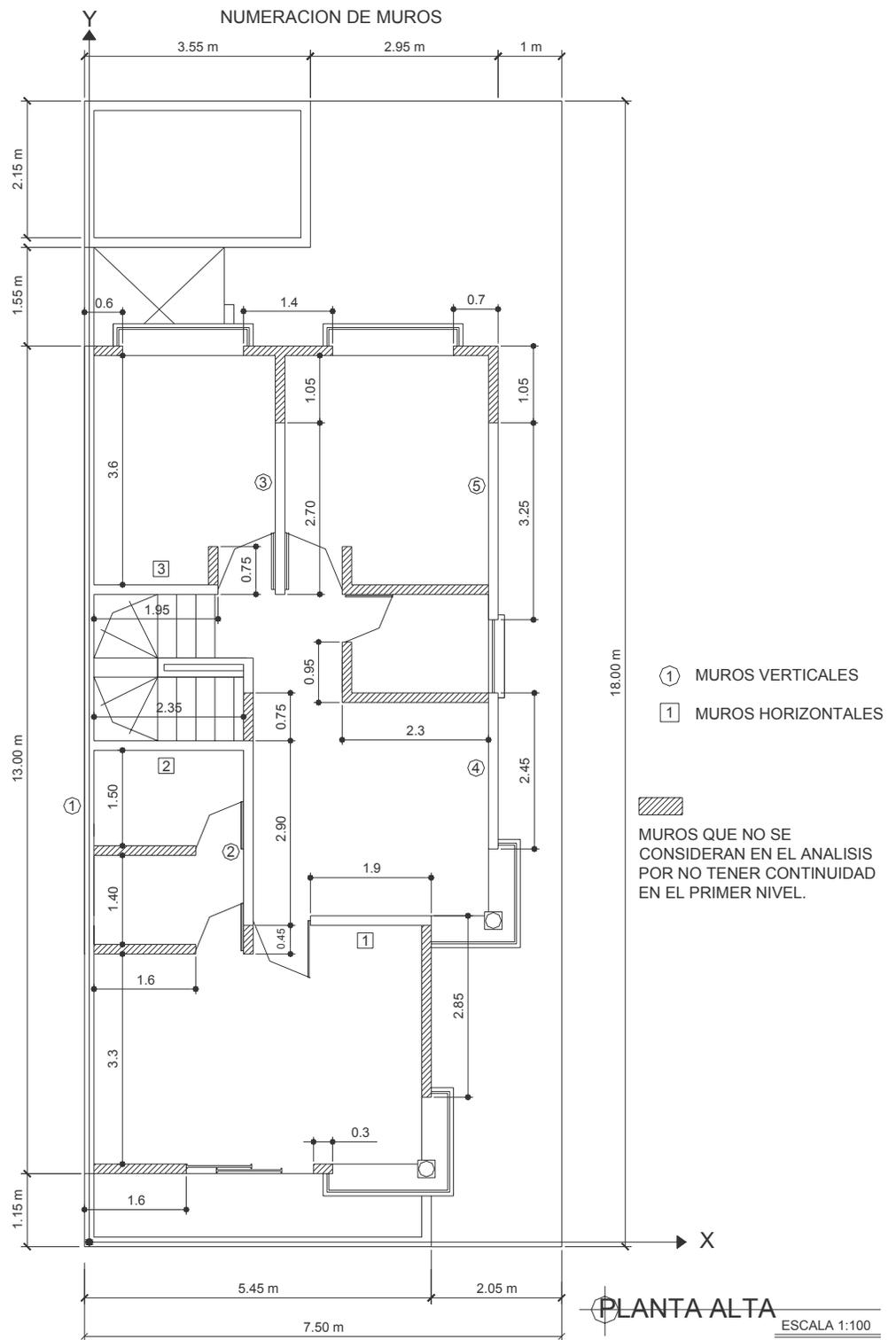


Figura 59. Numeración de los muros de la planta alta (análisis simplista)



Determinación del centro de rigidez y el centro de masa por nivel

MUROS EN SENTIDO X

PRIMER NIVEL

Muro	Longitud	h / L	Rigidez	Distancia X al eje Y	Distancia Y al eje X	L * X	L * Y	R * X	R * Y
1	0.47	5.32	0.060	0.16	5.05	0.075	2.374	0	0.303
2	0.68	3.68	0.165	2.24	5.05	1.523	3.434	0	0.832
3	1.30	1.92	0.776	4.38	5.05	5.694	6.565	0	3.920
4	2.65	0.94	2.725	1.25	7.80	3.313	20.670	0	21.255
5	3.20	0.78	3.545	1.53	10.25	4.896	32.800	0	36.340
6	0.65	3.85	0.146	3.30	12.80	2.145	8.320	0	1.870
7	0.80	3.13	0.251	6.03	12.80	4.824	10.240	0	3.209
8	1.35	1.85	0.840	2.80	15.70	3.780	21.195	0	13.186
9	3.55	0.70	4.062	1.70	17.85	6.035	63.368	0	72.504

MUROS EN SENTIDO Y

PRIMER NIVEL

Muro	Longitud	h / L	Rigidez	Distancia X al eje Y	Distancia Y al eje X	L * X	L * Y	R * X	R * Y
1	18.00	0.14	23.847	0.00	8.93	0.000	160.740	0.000	0.000
2	1.85	1.35	1.533	2.50	5.90	4.625	10.915	3.833	0.000
3	0.45	5.56	0.053	3.80	5.20	1.710	2.340	0.202	0.000
4	0.85	2.94	0.292	3.05	10.60	2.593	9.010	0.890	0.000
5	0.94	2.66	0.373	3.05	12.40	2.867	11.656	1.138	0.000
6	1.20	2.08	0.654	2.20	14.13	2.640	16.956	1.439	0.000
7	1.40	1.79	0.905	2.20	17.23	3.080	24.122	1.991	0.000
8	1.40	1.79	0.905	3.40	16.33	4.760	22.862	3.077	0.000
9	6.70	0.37	8.537	6.35	9.53	42.545	63.851	54.211	0.000

Determinación del centro de rigidez y el centro de masa por nivel

MUROS EN SENTIDO X

SEGUNDO NIVEL

Muro	Longitud	h / L	Rigidez	Distancia X al eje Y	Distancia Y al eje X	L * X	L * Y	R * X	R * Y
1	1.90	1.32	1.606	4.43	5.05	8.417	9.595	0	8.112
2	2.65	0.94	2.725	1.25	7.80	3.313	20.670	0	21.255
3	2.1	1.19	1.902	0.98	10.25	2.058	21.525	0	19.492

MUROS EN SENTIDO Y

SEGUNDO NIVEL

Muro	Longitud	h / L	Rigidez	Distancia X al eje Y	Distancia Y al eje X	L * X	L * Y	R * X	R * Y
1	13.00	0.19	17.122	0.00	7.58	0.000	98.540	0.000	0.000
2	2.90	0.86	3.099	2.50	6.43	7.250	18.647	7.747	0.000
3	2.70	0.93	2.800	3.00	11.53	8.100	31.131	8.400	0.000
4	2.45	1.02	2.425	6.35	7.40	15.558	18.130	15.399	0.000
5	3.25	0.77	3.619	6.35	11.33	20.638	36.823	22.983	0.000

Tabla XXXIV. Resultados parciales para el análisis simplista

Resultados del primer nivel			
Lx	14.65	m	L*X 97.104
Ly	32.79	m	L*Y 491.417
L	47.44	m	
			R*X 66.780
Rx	12.570		R*Y 153.420
Ry	37.099		

Resultados del segundo nivel			
Lx	6.65	m	L*X 65.333
Ly	24.30	m	L*Y 255.061
L	30.95	m	
			R*X 54.529
Rx	6.233		R*Y 48.858
Ry	29.066		

Centro de masa de los muros	
X cm = $\frac{L * X}{L}$	2.047 m
Y cm = $\frac{L * Y}{L}$	10.359 m

Centro de masa de los muros	
X cm = $\frac{L * X}{L}$	2.111 m
Y cm = $\frac{L * Y}{L}$	8.241 m

Centro de rigidez de los muros	
X cr = $\frac{R * X}{Ry}$	1.800 m
Y cr = $\frac{R * Y}{Rx}$	12.205 m

Centro de rigidez de los muros	
X cr = $\frac{R * X}{Ry}$	1.876 m
Y cr = $\frac{R * Y}{Rx}$	7.839 m

Centro de masa del entrepiso	
X cm =	2.905 m
Y cm =	8.541 m

Centro de masa de la losa	
X cm =	3.090 m
Y cm =	7.417 m

Tabla XXXV. Centro de masa combinado del primer nivel

Centro de masa combinado (losa + muros)									
W losa techo	= CM techo * área de losa	29,435.0	Kg.						
W muros 1º. nivel	= CM muros * perímetro de muros	28,464.0	Kg.						
W losa entepiso	= CM entepiso * área de losa entepiso	38,348.0	Kg.						
Techo									
	$X = \frac{(29,435) * (3.090) + (31,530) * (2.111)}{(29,435) + (31,530)}$	2.58	m						
	$Y = \frac{(29,435) * (7.417) + (31,530) * (8.241)}{(29,435) + (31,530)}$	7.84	m						
Entrepiso									
	$X = \frac{(38,348) * (2.905) + (28,464) * (2.047)}{(38,348) + (28,464)}$	2.54	m						
	$Y = \frac{(38,348) * (8.541) + (28,464) * (10.359)}{(38,348) + (28,464)}$	9.32	m						
Nota: Se tomarán como resultados									
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">X cm =</td> <td style="padding: 5px;">2.54</td> <td style="padding: 5px;">mts</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">Y cm =</td> <td style="padding: 5px;">9.32</td> <td style="padding: 5px;">mts</td> </tr> </table>				X cm =	2.54	mts	Y cm =	9.32	mts
X cm =	2.54	mts							
Y cm =	9.32	mts							
cálculo de excentricidad con respecto al centro de rigidez									
	$e' x = X_{cr} - X_{cm}$	0.739	mts						
	$e' y = Y_{cr} - Y_{cm}$	2.890	mts						
Excentricidad mínima = 5 % de la dimensión perpendicular a la fuerza aplicada									
Sentido X	= 5 % * (18.00 m)	$e_{min. Y}$	0.90 m						
Sentido Y	= 5 % * (6.50 m)	$e_{min. X}$	0.33 m						

Entonces se tiene que

$$e_y = e'_y \pm e_{accidental y}$$

$$e_x = e'_x \pm e_{accidental x} \quad \text{donde} \quad e_{accidental} = e_{min.}$$

Cuando sea mayor $e_{\text{accidental } x \text{ ó } y}$ que $e'_{x \text{ ó } y}$, se hace la distribución de la fuerza lateral tomando $e'_{x \text{ ó } y} + e_{\text{accidental } x \text{ ó } y}$, luego $e'_{x \text{ ó } y} - e_{\text{accidental } x \text{ ó } y}$ en cada nivel.

Tabla XXXVI. Centro de masa combinado del segundo nivel

Centro de masa combinado (losa + muros)							
W losa techo	=	CM techo * área de losa	29,435.0 Kg				
W muros 2º. nivel	=	CM muros * perímetro de muros	31,530.0 Kg				
W losa entrepiso	=	CM entrepiso * área losa entrepiso	38,348.0 Kg				
Techo							
	X =	$\frac{(29,435)*(3.090) + (31,530)*(2.111)}{(29,435) + (31,530)}$	2.58 mts				
	Y =	$\frac{(29,435)*(7.417) + (31,530)*(8.241)}{(29,435) + (31,530)}$	7.84 mts				
Entrepiso							
	X =	$\frac{(38,348)*(2.905) + (28,464)*(2.047)}{(38,348) + (28,464)}$	2.54 mts				
	Y =	$\frac{(38,348)*(8.541) + (28,464)*(10.359)}{(38,348) + (28,464)}$	9.32 mts				
Nota: Se Tomarán como resultados							
<table border="1"> <tr> <td>X cm =</td> <td>2.58 mts</td> </tr> <tr> <td>Y cm =</td> <td>7.84 mts</td> </tr> </table>				X cm =	2.58 mts	Y cm =	7.84 mts
X cm =	2.58 mts						
Y cm =	7.84 mts						
Cálculo de excentricidad con respecto al centro de rigidez							
$e' x$	=	$X_{cr} - X_{cm}$	0.708 mts				
$e' y$	=	$Y_{cr} - Y_{cm}$	0.004 mts				
Excentricidad mínima = 5 % de la dimensión perpendicular a la fuerza aplicada							
Sentido X	=	$5\% * (18.00)$	$e_{\text{min. } y}$ 0.90 mts				
Sentido Y	=	$5\% * (6.50)$	$e_{\text{min. } x}$ 0.33 mts				

Figura 60. Centro de rigidez de la planta baja (análisis simplista)

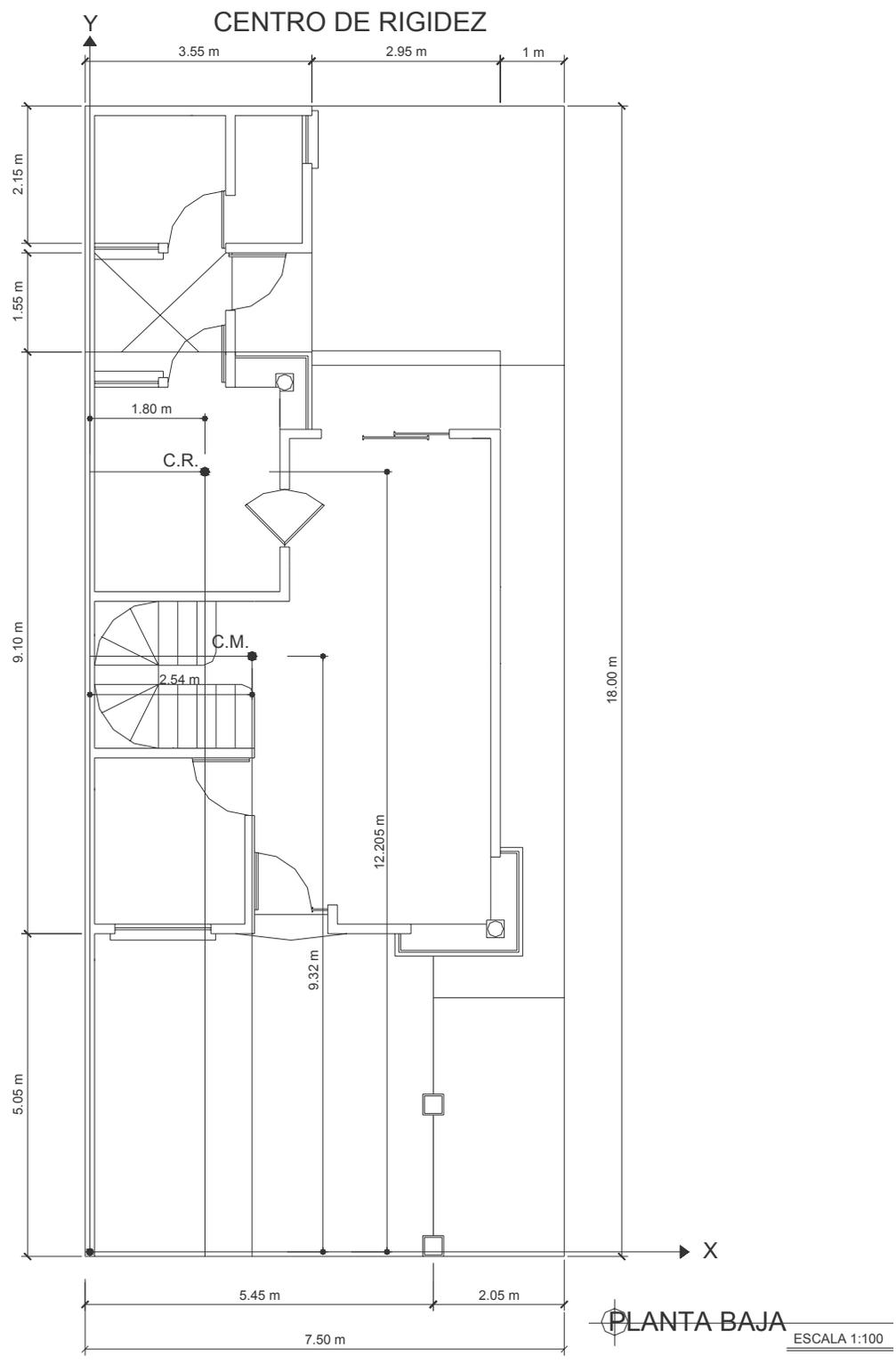
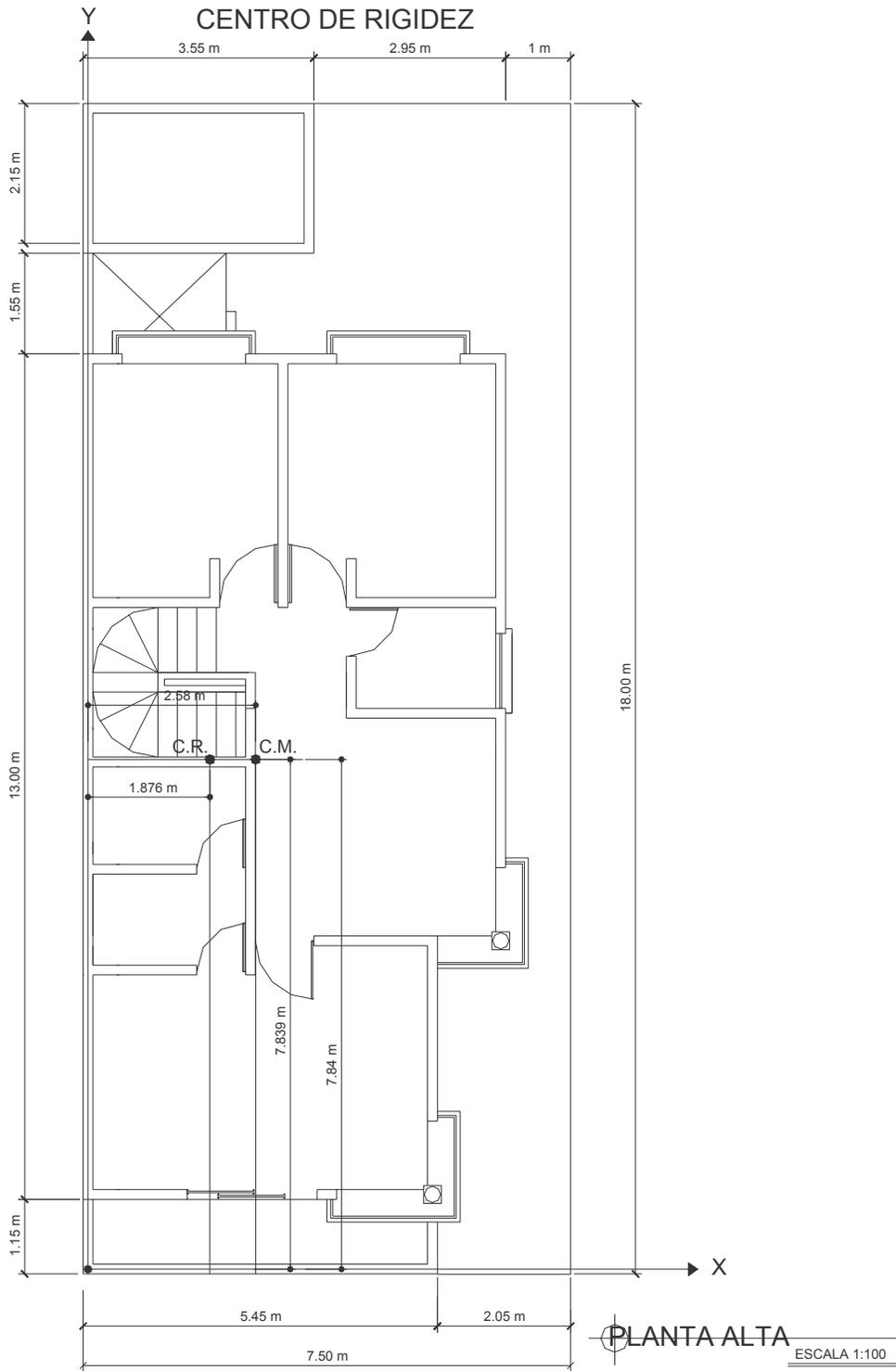


Figura 61. Centro de rigidez de la planta alta (análisis simplista)



PRIMER NIVEL SENTIDO X - X

CORTE = 2V =

$e_y = e'_y + e_{\min y}$

MOMENTO DE TORSION =

MOMENTO DE VOLTEO =

$Y_{cr} =$

$dy = Y - Y_{cr}$

2 * 31.05

CORTE * e_y

62.11 ton.
3.79 mts
117.684 ton - mt.
149.05 ton - mt.
12.205 mts

$e'_y =$	2.89 mts
$e_{\min y} =$	0.90 mts

Muro No.	Rigidez	Y	d_y (Valor abs.)	$R * dy$	$R * dy^2$	F v ($R/\sum R$)(2V)	F t ($Rd/\sum Rd^2$)*Mt	F Fv + Ft	M vi ($R/\sum R$)*(Mv)	M ti F t*Hmuro	M dis. Mv _i + Mt _i
1	0.060	5.05	7.155	0.430	3.076	0.297	-0.199	0.297	0.712	-0.491	0.712
2	0.165	5.05	7.155	1.178	8.432	0.814	-0.539	0.814	1.953	-1.346	1.953
3	0.776	5.05	7.155	5.555	39.746	3.836	-2.539	3.836	9.205	-6.346	9.205
4	2.725	7.80	4.405	12.004	52.881	13.464	-5.486	13.464	32.311	-13.715	32.311
5	3.545	10.25	1.955	6.932	13.554	17.518	-3.168	17.518	42.039	-7.920	42.039
6	0.146	12.80	0.595	0.087	0.052	0.722	0.040	0.762	1.733	0.099	1.832
7	0.251	12.80	0.595	0.149	0.089	1.239	0.068	1.307	2.972	0.170	3.143
8	0.840	15.70	3.495	2.935	10.258	4.150	1.341	5.491	9.959	3.354	13.313
9	4.062	17.85	5.645	22.928	129.423	20.070	10.478	30.548	48.163	26.196	74.359
\sum	12.570				257.510				149.05		

Como:

$e_{\min y} < e'_y$ no debemos hacer la distribución de la fuerza lateral para $e'_y - e_{\text{accidental y}}$

PRIMER NIVEL SENTIDO Y - Y

CORTE = 2V = 2 * 31.57
 $e_x = e'_x + e_{\min x}$
 MOMENTO DE TORSION = CORTE * e_x
 MOMENTO DE VOLTEO =
 $X_{cr} =$
 $dx = X - X_{cr}$

63.14	ton.
1.064	mts
33.601	ton - mt.
151.51	ton - mt.
1.800	mts

e'_x	=	0.739	mts
$e_{\min x}$	=	0.33	mts

Muro No.	Rigidez	X	d_x (Valor abs.)	R * dx	R * dx ²	F v (R/ΣR)(2V)	F t (Rd/ΣRd ²)*Mt	F Fv + Ft	M vi (R/ΣR)*(Mv)	M ti Ft*Hmuro	M dis. Mv _i +Mt _i
1	23.847	0	1.800	42.925	77.268	40.583	-5.578	40.583	97.391	-13.945	97.391
2	1.533	2.5	0.700	1.073	0.751	2.609	0.139	2.749	6.262	0.349	6.611
3	0.053	3.8	2.000	0.106	0.213	0.090	0.014	0.104	0.217	0.035	0.252
4	0.292	3.05	1.250	0.365	0.456	0.497	0.047	0.544	1.192	0.119	1.310
5	0.373	3.05	1.250	0.467	0.583	0.635	0.061	0.696	1.524	0.152	1.676
6	0.654	2.20	0.400	0.262	0.105	1.113	0.034	1.147	2.671	0.085	2.756
7	0.905	2.20	0.400	0.362	0.145	1.540	0.047	1.587	3.696	0.118	3.813
8	0.905	3.40	1.600	1.448	2.316	1.540	0.188	1.728	3.696	0.470	4.166
9	8.537	6.35	4.550	38.843	176.735	14.529	5.048	19.576	34.866	12.619	47.485
Σ	37.099				258.572				151.51		

Como:

$e_{\min x} < e'_x$ no debemos hacer la distribución de la fuerza lateral para $e'_x - e_{\text{accidental } x}$

SEGUNDO NIVEL SENTIDO X - X

CORTE = 2V = 2 * 16.72

$e_y = e'_y + e_{miny}$

MOMENTO DE TORSION = CORTE * e_y

MOMENTO DE VOLTEO =

Ycr =

dy = Y - Ycr

33.43	ton.
0.904	Mts
15.120	ton - mt.
43.46	ton - mt.
7.839	Mts

e'_y	=	0.004	mts
e_{miny}	=	0.90	mts

Muro No.	Rigidez	Y	d_y (Valor abs)	$R*d_y$	$R * dy^2$	F v (R/ΣR)(2V)	F t (Rd/ΣRd ²)*Mt	F Fv + Ft	M vi (R/ΣR)*(Mv)	M ti F t*Hmuro	M dis. Mv _i +Mt _i
1	1.606	5.05	2.789	4.480	12.493	8.617	-2.876	8.617	11.202	-7.189	11.202
2	2.725	7.80	0.039	0.106	0.004	14.617	-0.068	14.617	19.002	-0.170	19.002
3	1.902	10.25	2.411	4.585	11.056	10.201	2.943	13.144	13.261	7.359	20.620
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
Σ	6.233				23.553				43.46		

Como:

$e_{miny} > e'_y$ debemos hacer la distribución de la fuerza lateral para $e'_y - e_{accidental}$ y

SEGUNDO NIVEL SENTIDO X - X

CORTE =2V =	2 * 16.72	33.43 ton.
$e_y = e'_y - e_{\min y} =$		0.896 mts
Momento de torsión=	CORTE * e_y	14.971 ton - mt.
Momento de volteo =		43.46 ton - mt.
Ycr =		7.839 mts
dy= Y - Ycr		

$e'_y =$	0.004 mts
$e_{\min y} =$	0.90 mts

Muro No.	Rigidez	Y	d_y (Valor abs.)	R*dy	$R * dy^2$	F v (R/ΣR)(2V)	F t (Rd/ΣRd^2)*Mt	F Fv + Ft	M vi (R/ΣR)*(Mv)	M ti F t*Hmuro	M dis. Mv _i + Mt _i
1	1.606	5.05	2.789	4.480	12.493	8.617	-2.847	8.617	11.202	-7.119	11.202
2	2.725	7.80	0.039	0.106	0.004	14.617	-0.067	14.617	19.002	-0.168	19.002
3	1.902	10.25	2.411	4.585	11.056	10.201	2.915	13.115	13.261	7.287	20.547
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
Σ	6.233				23.553				43.46		

SEGUNDO NIVEL SENTIDO Y - Y

CORTE = 2V =

$e_x = e'_x + e_{\min x} =$

MOMENTO DE TORSION =

MOMENTO DE VOLTEO =

$X_{cr} =$

$dx = X - X_{cr}$

2 * 16.99

CORTE * e_x

33.99	ton.
1.033	mts
17.550	ton - mt.
44.18	ton - mt.
1.876	mts

$e'_x =$	0.708	mts
$e_{\min x} =$	0.33	mts

Muro No.	Rigidez	X	d_x (Valor abs)	$R * d_x$	$R * dx^2$	F v (R/ΣR)(2V)	F t (Rd/ΣRd^2)*Mt	F Fv + Ft	M vi (R/ΣR)*(Mv)	M ti F t*Hmuro	M dis. Mv _i +Mt _i
1	17.122	0.00	1.876	32.123	60.265	20.022	-3.031	20.022	26.028	-7.578	26.028
2	3.099	2.50	0.624	1.934	1.206	3.624	0.182	3.806	4.711	0.456	5.167
3	2.800	3.00	1.124	3.147	3.537	3.274	0.297	3.571	4.256	0.742	4.998
4	2.425	6.35	4.474	10.849	48.539	2.836	1.024	3.859	3.686	2.559	6.246
5	3.619	6.35	4.474	16.193	72.447	4.232	1.528	5.760	5.502	3.820	9.322
6											
7											
8											
9											
Σ	29.066				185.993				44.18		

Como:

$e_{\min x} < e'_x$ no debemos hacer la distribución de la fuerza lateral para $e'_x - e_{\text{accidental } x}$

Tabla XLII. Resultados finales del primer nivel para el análisis simplista

Eje X - X				Eje Y - Y			
Primer nivel				Primer nivel			
Muro	Fx		Mdis.	Muro	Fy		Mdis.
1	0.297	ton	0.712 ton - m	1	40.583	ton	97.391 ton - m
2	0.814	ton	1.953 ton - m	2	2.749	ton	6.611 ton - m
3	3.836	ton	9.205 ton - m	3	0.104	ton	0.252 ton - m
4	13.464	ton	32.311 ton - m	4	0.544	ton	1.310 ton - m
5	17.518	ton	42.039 ton - m	5	0.696	ton	1.676 ton - m
6	0.762	ton	1.832 ton - m	6	1.147	ton	2.756 ton - m
7	1.307	ton	3.143 ton - m	7	1.587	ton	3.813 ton - m
8	5.491	ton	13.313 ton - m	8	1.728	ton	4.166 ton - m
9	30.548	ton	74.359 ton - m	9	19.576	ton	47.485 ton - m

Tabla XLIII. Resultados finales del segundo nivel para el análisis simplista

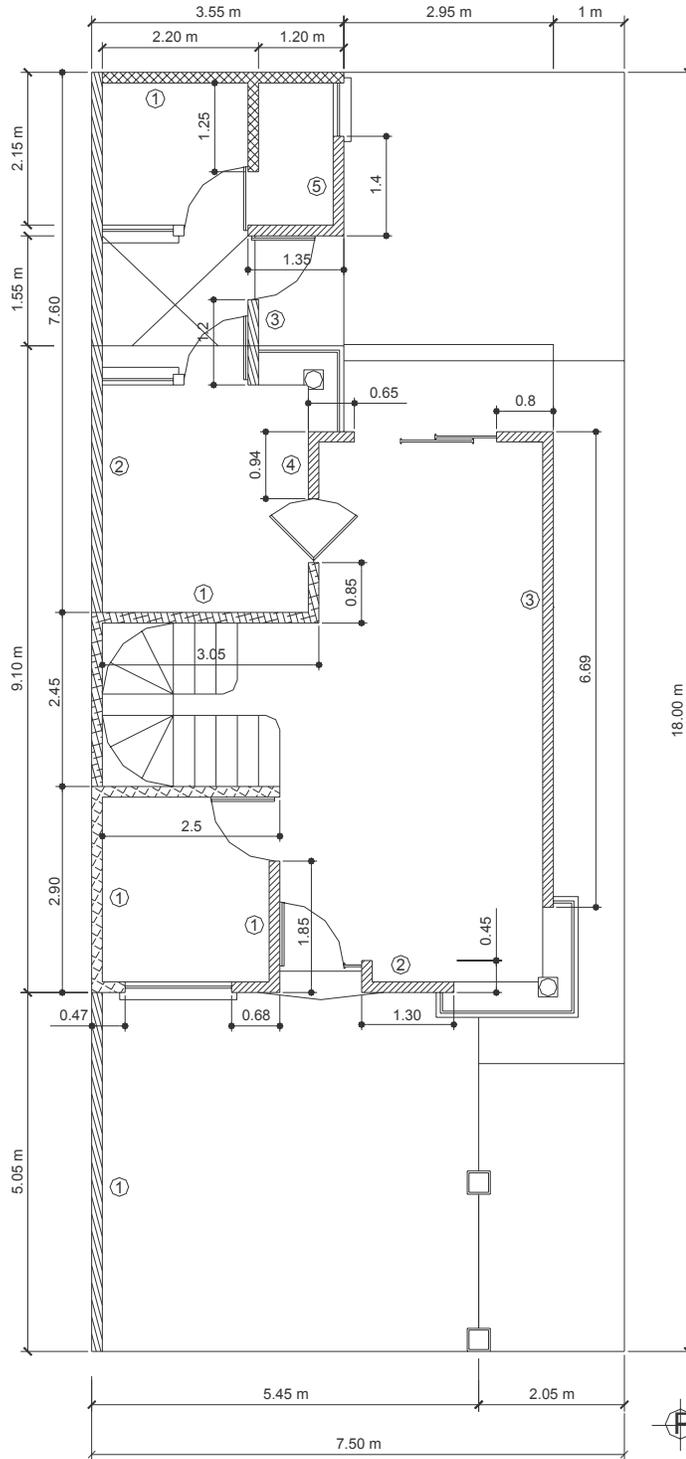
Eje X - X				Eje Y - Y			
Segundo nivel				Segundo nivel			
Muro	Fx		Mdis.	Muro	Fy		Mdis.
1	8.617	ton	3.468 ton - m	1	20.022	ton	26.028 ton - m
2	14.617	ton	0.049 ton - m	2	3.806	ton	5.167 ton - m
3	13.144	ton	4.095 ton - m	3	3.571	ton	4.998 ton - m
				4	3.859	ton	6.246 ton - m
				5	5.760	ton	9.322 ton - m

- **Solución por el método realista**

Primero se debe dividir la estructura en arreglos, numerándolos por tipo para ambos niveles, tal como se muestra en los planos siguientes.

Figura 62. Numeración de los muros de la planta baja (análisis realista)

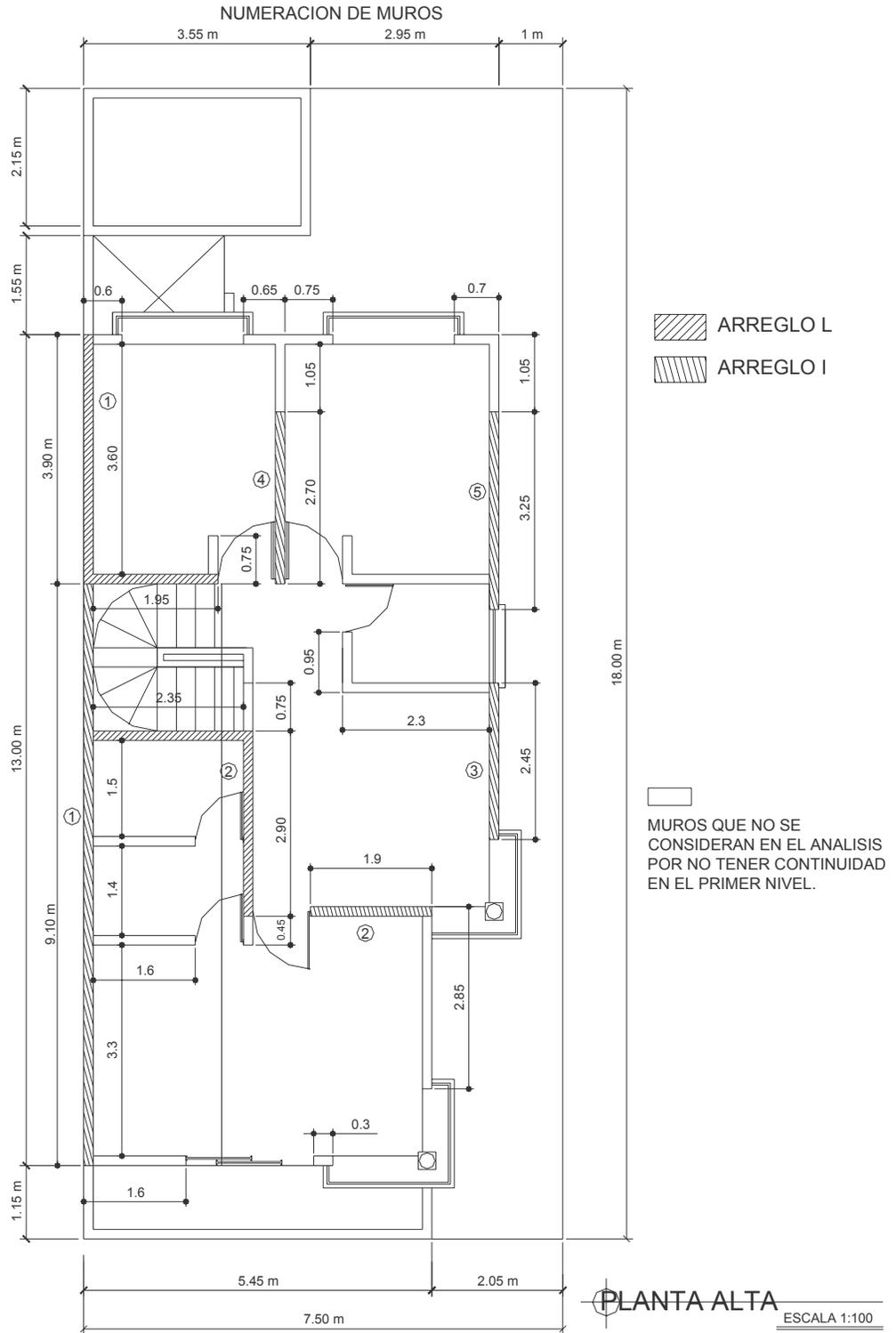
NUMERACION DE MUROS



PLANTA BAJA

ESCALA 1:100

Figura 63. Numeración de los muros de la planta alta (análisis realista)



CALCULO DEL CENTRO DE CORTE DE LA ESTRUCTURA

DIRECCION DE SISMO X - X

PRIMER NIVEL

Arreglo	No.	Xi	Yi	Rx	Ry	Rxy	Xi * Ry	Yi * Rx	Xi * Rxy	Yi * Rxy
L	1	2.50	5.05	0.0048 E	0.0266 E	-0.0082 E	0.0666 E	0.0240 E	-0.0205 E	-0.0414 E
	2	3.80	5.05	0.0140 E	0.0016 E	-0.0011 E	0.0061 E	0.0708 E	-0.0042 E	-0.0056 E
	3	6.35	12.80	0.0077 E	0.1290 E	0.0450 E	0.8192 E	0.0991 E	0.2860 E	0.5765 E
	4	3.05	12.80	0.0038 E	0.0080 E	0.0029 E	0.0244 E	0.0487 E	0.0088 E	0.0367 E
	5	3.40	15.70	0.0176 E	0.0186 E	-0.0097 E	0.0633 E	0.2768 E	-0.0331 E	-0.1528 E
T	1	2.20	17.85	0.0580 E	0.0201 E	0.0041 E	0.0442 E	1.0361 E	0.0090 E	0.0731 E
N	1	0.00	10.25	0.0569 E	0.0569 E	0.0256 E	0.0000 E	0.5837 E	0.0000 E	0.2626 E
C	1	0.00	7.80	0.0482 E	0.0482 E	-0.0050 E	0.0000 E	0.3763 E	0.0000 E	-0.0392 E
I	1	0.00	2.45	0.0011 E	0.0934 E	0.0000 E	0.0000 E	0.0027 E	0.0000 E	0.0000 E
	2	0.00	14.13	0.0016 E	0.1467 E	0.0000 E	0.0000 E	0.0232 E	0.0000 E	0.0000 E
	3	2.20	14.13	0.0003 E	0.0098 E	0.0000 E	0.0216 E	0.0037 E	0.0000 E	0.0000 E
				0.2142 E	0.5591 E	0.0536 E	1.0455 E	2.5451 E	0.2460 E	0.7100 E

$$X_c * \sum R_{xy} - Y_c * \sum R_x = \sum X_i * R_{xy} - \sum Y_i * R_x$$

$$X_c * \sum R_y - Y_c * \sum R_{xy} = \sum X_i * R_y - \sum Y_i * R_{xy}$$

Sustituyendo los valores correspondientes tenemos:

$$0.0536 X_c - 0.2142 Y_c = - 2.2991 E \quad * \quad -0.0536$$

$$0.5591 X_c - 0.0536 Y_c = 0.3355 E \quad * \quad 0.2142$$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos: **X_c = 1.669 m**

$$**Y_c = 11.152 m**$$

CALCULO DE J_p PARA LA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERIA

SISMO EN DIRECCION X - X

PRIMER NIVEL

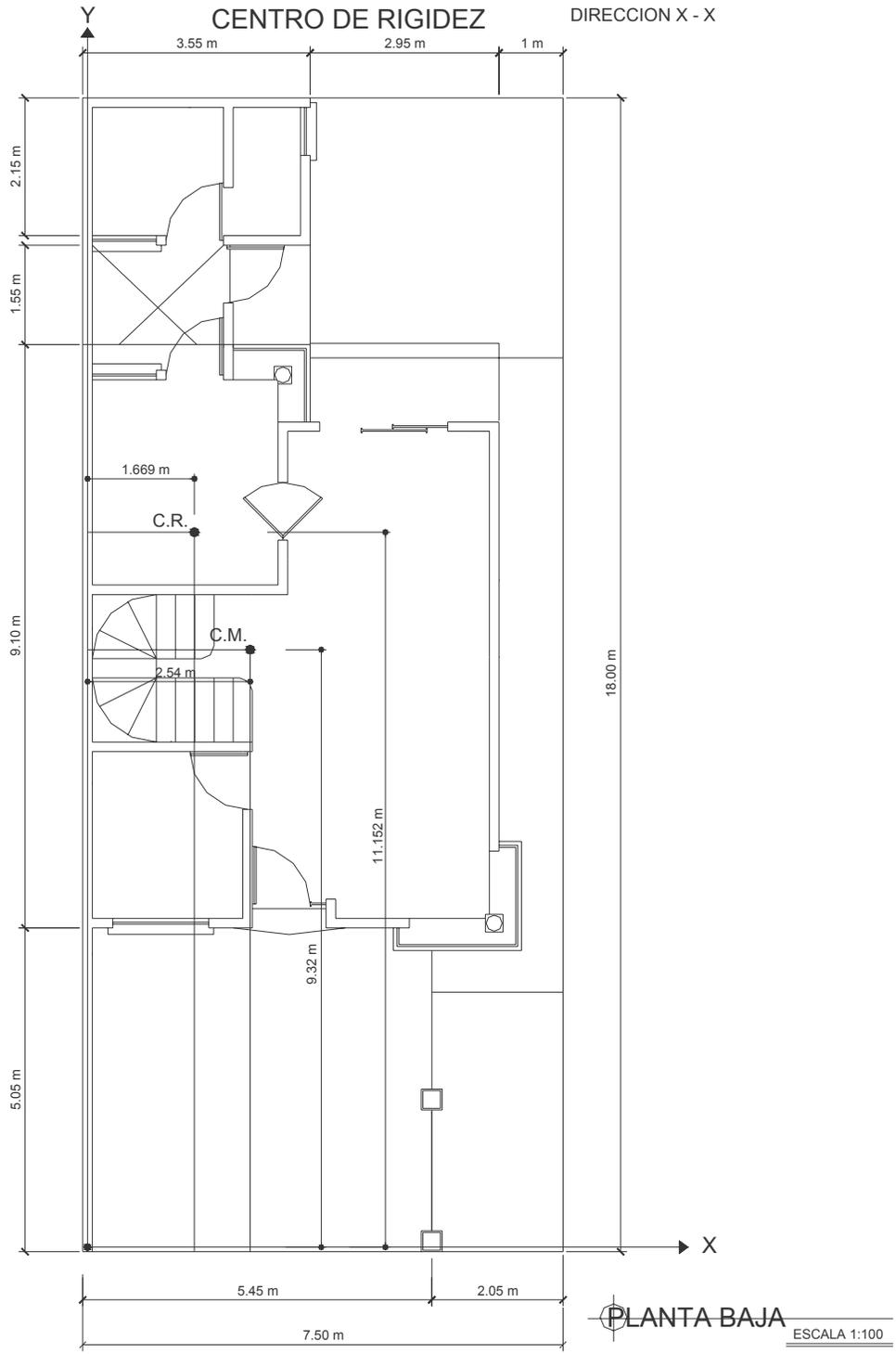
Arreglo	No.	X	Y	X * Y	X ²	Y ²	Dimensional E						J
							Rx	Ry	Rxy	X ² * Ry	Y ² * Rx	X Y * Rxy	
L	1	0.831	-6.102	-5.0735	0.6914	37.2301	0.0048	0.0266	-0.0082	0.0184	0.1771	0.0416	0.0000
	2	2.131	-6.102	-13.0057	4.5433	37.2301	0.0140	0.0016	-0.0011	0.0073	0.5221	0.0145	0.0000
	3	4.681	1.648	7.7167	21.9164	2.7171	0.0077	0.1290	0.0450	2.8275	0.0210	0.3476	0.0000
	4	1.381	1.648	2.2772	1.9085	2.7171	0.0038	0.0080	0.0029	0.0153	0.0103	0.0065	0.0000
	5	1.731	4.548	7.8755	2.9981	20.6875	0.0176	0.0186	-0.0097	0.0559	0.3647	-0.0766	0.0000
T	1	0.531	6.698	3.5602	0.2825	44.8679	0.0580	0.0201	0.0041	0.0057	2.6045	0.0146	0.0000
N	1	-1.669	-0.902	1.5044	2.7839	0.8130	0.0569	0.0569	0.0256	0.1585	0.0463	0.0385	0.0264
C	1	-1.669	-3.352	5.5922	2.7839	11.2336	0.0482	0.0482	-0.0050	0.1343	0.5420	-0.0281	0.0689
I	1	-1.669	-8.702	14.5187	2.7839	75.7187	0.0011	0.0934	0.0000	0.2599	0.0826	0.0000	0.0000
	2	-1.669	2.978	-4.9694	2.7839	8.8706	0.0016	0.1467	0.0000	0.4084	0.0146	0.0000	0.0000
	3	0.531	2.978	1.5830	0.2825	8.8706	0.0003	0.0098	0.0000	0.0028	0.0023	0.0000	0.0000
										3.8940	4.3874	0.3586	0.0953

$$J_p = \sum Y^2 * R_x + \sum X^2 * R_y - 2 * \sum X Y * R_{xy} + \sum J$$

$$\sum J = 0.0953$$

$$J_p = 7.6596 \text{ E}$$

Figura 64. Centro de rigidez de la planta baja (sismo en dirección X - X)



CALCULO DEL CENTRO DE CORTE DE LA ESTRUCTURA

DIRECCION DE SISMO Y - Y

PRIMER NIVEL

Arreglo	No.	Xi	Yi	Rx	Ry	Rxy	Xi * Ry	Yi * Rx	Xi * Rxy	Yi * Rxy
L	1	2.50	5.05	0.0048 E	0.0266 E	0.0049 E	0.0666 E	0.0240 E	0.0123 E	0.0249 E
	2	3.80	5.05	0.0140 E	0.0016 E	-0.0034 E	0.0061 E	0.0708 E	-0.0128 E	-0.0170 E
	3	6.35	12.80	0.0077 E	0.1290 E	0.0039 E	0.8192 E	0.0991 E	0.0250 E	0.0503 E
	4	3.05	12.80	0.0038 E	0.0080 E	-0.0036 E	0.0244 E	0.0487 E	-0.0110 E	-0.0461 E
	5	3.40	15.70	0.0176 E	0.0186 E	0.0118 E	0.0633 E	0.2768 E	0.0402 E	0.1856 E
T	1	2.20	17.85	0.0580 E	0.0201 E	-0.0104 E	0.0442 E	1.0361 E	-0.0229 E	-0.1859 E
N	1	0.00	10.25	0.0569 E	0.0569 E	0.0565 E	0.0000 E	0.5837 E	0.0000 E	0.5791 E
C	1	0.00	7.80	0.0482 E	0.0482 E	-0.0231 E	0.0000 E	0.3763 E	0.0000 E	-0.1803 E
I	1	0.00	2.45	0.0011 E	0.0934 E	0.0000 E	0.0000 E	0.0027 E	0.0000 E	0.0000 E
	2	0.00	14.13	0.0016 E	0.1467 E	0.0000 E	0.0000 E	0.0232 E	0.0000 E	0.0000 E
	3	2.20	14.13	0.0003 E	0.0098 E	0.0000 E	0.0216 E	0.0037 E	0.0000 E	0.0000 E
				0.2142 E	0.5591 E	0.0367 E	1.0455 E	2.5451 E	0.0308 E	0.4105 E

$$X_c * \sum R_{xy} - Y_c * \sum R_x = \sum X_i * R_{xy} - \sum Y_i * R_x$$

$$X_c * \sum R_y - Y_c * \sum R_{xy} = \sum X_i * R_y - \sum Y_i * R_{xy}$$

Sustituyendo los valores correspondientes tenemos:

$$0.0367 X_c - 0.2142 Y_c = -2.5143 E \quad * \quad -0.0367$$

$$0.5591 X_c - 0.0367 Y_c = 0.6349 E \quad * \quad 0.2142$$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos:

$$X_c = 1.927 \text{ m}$$

$$Y_c = 12.069 \text{ m}$$

CALCULO DE J_p PARA LA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERIA

SISMO EN DIRECCION Y - Y

PRIMER NIVEL

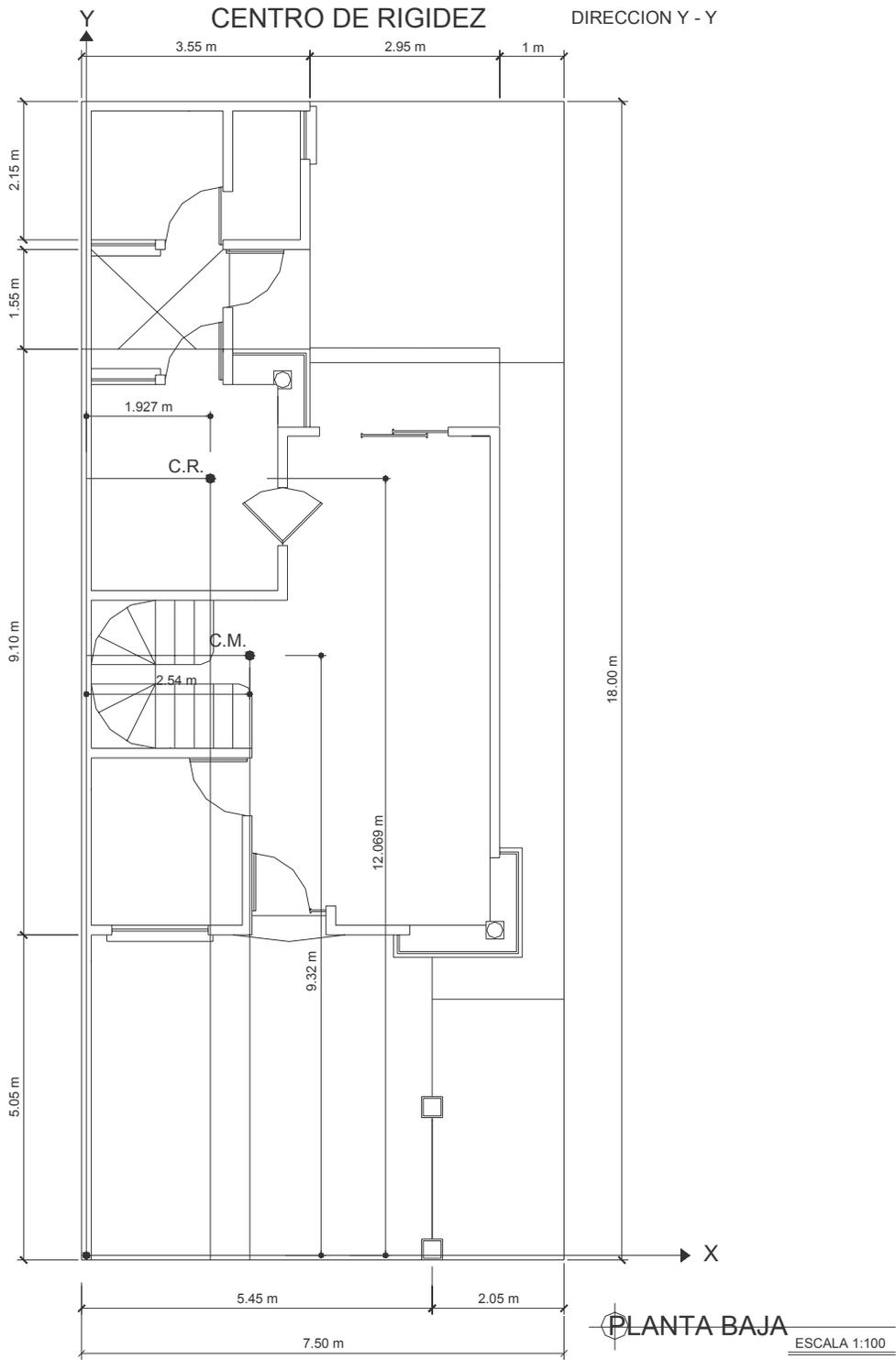
Arreglo	No.	X	Y	X * Y	X ²	Y ²	Dimensional E						J
							Rx	Ry	Rxy	X ² * Ry	Y ² * Rx	X Y * Rxy	
L	1	0.573	-7.019	-4.0194	0.3279	49.2676	0.0048	0.0266	0.0049	0.0087	0.2343	-0.0198	0.0000
	2	1.873	-7.019	-13.1442	3.5068	49.2676	0.0140	0.0016	-0.0034	0.0056	0.6909	0.0443	0.0000
	3	4.423	0.731	3.2326	19.5597	0.5342	0.0077	0.1290	0.0039	2.5234	0.0041	0.0127	0.0000
	4	1.123	0.731	0.8206	1.2603	0.5342	0.0038	0.0080	-0.0036	0.0101	0.0020	-0.0030	0.0000
	5	1.473	3.631	5.3470	2.1687	13.1835	0.0176	0.0186	0.0118	0.0404	0.2324	0.0632	0.0000
T	1	0.273	5.781	1.5761	0.0743	33.4190	0.0580	0.0201	-0.0104	0.0015	1.9399	-0.0164	0.0000
N	1	-1.927	-1.819	-0.1083	3.7147	3.3091	0.0569	0.0569	0.0565	0.2115	0.1884	-0.0061	0.0264
C	1	-1.927	-4.269	8.2281	3.7147	18.2251	0.0482	0.0482	-0.0231	0.1792	0.8793	-0.1902	0.0689
I	1	-1.927	-9.619	18.5394	3.7147	92.5268	0.0011	0.0934	0.0000	0.3469	0.1009	0.0000	0.0000
	2	-1.927	2.061	-3.9721	3.7147	4.2474	0.0016	0.1467	0.0000	0.5450	0.0070	0.0000	0.0000
	3	0.273	2.061	0.5619	0.0743	4.2474	0.0003	0.0098	0.0000	0.0007	0.0011	0.0000	0.0000
										3.8731	4.2804	-0.1152	0.0953

$$J_p = \sum Y^2 * R_x + \sum X^2 * R_y - 2 * \sum X Y * R_{xy} + \sum J$$

$$\sum J = 0.0953$$

$$J_p = 8.4793 \text{ E}$$

Figura 65. Centro de rigidez de la planta baja (sismo en dirección Y - Y)



CALCULO DEL CENTRO DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA

DIRECCION DE SISMO X - X

SEGUNDO NIVEL

Arreglo	No.	Xi	Yi	Rx	Ry	Rxy	Xi * Ry	Yi * Rx	Xi * Rxy	Yi * Rxy
L	1	0.00	10.25	0.0357 E	0.0728 E	-0.0427 E	0.0000 E	0.3657 E	0.0000 E	-0.4372 E
	2	0.08	7.80	0.0020 E	0.0522 E	0.0298 E	0.0042 E	0.0153 E	0.0024 E	0.2325 E
T	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
I	1	0.00	5.63	0.0020 E	0.1775 E	0.0000 E	0.0000 E	0.0111 E	0.0000 E	0.0000 E
	2	4.43	5.05	0.0004 E	0.0241 E	0.0000 E	0.1067 E	0.0021 E	0.0000 E	0.0000 E
	3	6.35	7.40	0.0005 E	0.0364 E	0.0000 E	0.2310 E	0.0039 E	0.0000 E	0.0000 E
	4	3.00	11.53	0.0007 E	0.0420 E	0.0000 E	0.1260 E	0.0081 E	0.0000 E	0.0000 E
	5	6.35	11.48	0.0007 E	0.0543 E	0.0000 E	0.3448 E	0.0081 E	0.0000 E	0.0000 E
				0.0420 E	0.4593 E	-0.0129 E	0.8126 E	0.4143 E	0.0024 E	-0.2048 E

$$X_c * \sum R_{xy} - Y_c * \sum R_x = \sum X_i * R_{xy} - \sum Y_i * R_x$$

$$X_c * \sum R_y - Y_c * \sum R_{xy} = \sum X_i * R_y - \sum Y_i * R_{xy}$$

Sustituyendo los valores correspondientes tenemos:

$$-0.0129 X_c - 0.0420 Y_c = -0.4119 E \quad * \quad 0.0129$$

$$0.4593 X_c + 0.0129 Y_c = 1.0174 E \quad * \quad 0.0420$$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos: **X_c = 1.957 m**

Y_c = 9.218 m

CALCULO DE Jp PARA LA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERIA

SISMO EN DIRECCION X - X

SEGUNDO NIVEL

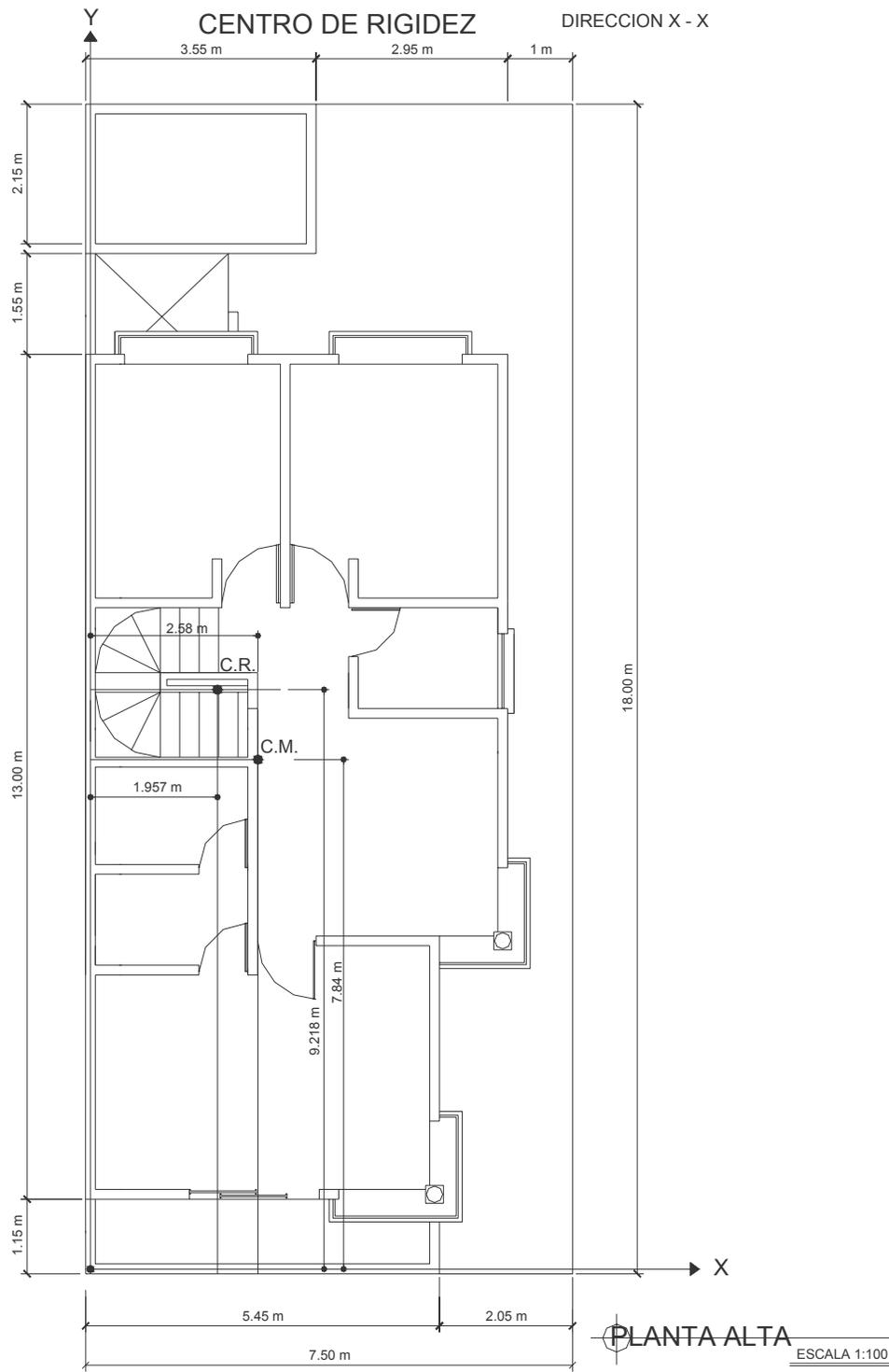
Arreglo	No.	X	Y	X * Y	X 2	Y 2	Dimensional E					J	
							Rx	Ry	Rxy	X 2* Ry	Y 2* Rx		X Y * Rxy
L	1	-1.957	1.032	-2.0208	3.8311	1.0659	0.0357	0.0728	-0.0427	0.2790	0.0380	0.0862	0.00
	2	-1.877	-1.418	2.6612	3.5243	2.0095	0.0020	0.0522	0.0298	0.1838	0.0039	0.0793	0.00
T	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
I	1	-1.957	-3.588	7.0220	3.8311	12.8706	0.0020	0.1775	0.0000	0.6801	0.0253	0.0000	0.00
	2	2.473	-4.168	-10.3050	6.1141	17.3686	0.0004	0.0241	0.0000	0.1473	0.0071	0.0000	0.00
	3	4.393	-1.818	-7.9840	19.2956	3.3035	0.0005	0.0364	0.0000	0.7019	0.0017	0.0000	0.00
	4	1.043	2.312	2.4111	1.0872	5.3474	0.0007	0.0420	0.0000	0.0457	0.0038	0.0000	0.00
	5	4.393	2.262	9.9382	19.2956	5.1186	0.0007	0.0543	0.0000	1.0476	0.0036	0.0000	0.00
										3.0854	0.0835	0.1655	0.00

$$J_p = \sum Y^2 * R_x + \sum X^2 * R_y - 2 * \sum X Y * R_{xy} + \sum J$$

$$\sum J = 0.0000$$

$$J_p = 2.8378 \quad E$$

Figura 66. Centro de rigidez de la planta alta (sismo en dirección X - X)



CALCULO DEL CENTRO DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA

DIRECCION DE SISMO Y - Y

SEGUNDO NIVEL

Arreglo	No.	Xi	Yi	Rx	Ry	Rxy	Xi * Ry	Yi * Rx	Xi * Rxy	Yi * Rxy
L	1	0.00	10.25	0.0357 E	0.0728 E	-0.0211 E	0.0000 E	0.3657 E	0.0000 E	-0.2162 E
	2	0.08	7.80	0.0020 E	0.0522 E	0.0276 E	0.0042 E	0.0153 E	0.0022 E	0.2150 E
T	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
I	1	0.00	5.63	0.0020 E	0.1775 E	0.0000 E	0.0000 E	0.0111 E	0.0000 E	0.0000 E
	2	4.43	5.05	0.0004 E	0.0241 E	0.0000 E	0.1067 E	0.0021 E	0.0000 E	0.0000 E
	3	6.35	7.40	0.0005 E	0.0364 E	0.0000 E	0.2310 E	0.0039 E	0.0000 E	0.0000 E
	4	3.00	11.53	0.0007 E	0.0420 E	0.0000 E	0.1260 E	0.0081 E	0.0000 E	0.0000 E
	5	6.35	11.48	0.0007 E	0.0543 E	0.0000 E	0.3448 E	0.0081 E	0.0000 E	0.0000 E
				0.0420 E	0.4593 E	0.0065 E	0.8126 E	0.4143 E	0.0022 E	-0.0012 E

$$X_c * \sum R_{xy} - Y_c * \sum R_x = \sum X_i * R_{xy} - \sum Y_i * R_x$$

$$X_c * \sum R_y - Y_c * \sum R_{xy} = \sum X_i * R_y - \sum Y_i * R_{xy}$$

Sustituyendo los valores correspondientes tenemos:

$$0.0065 X_c - 0.0420 Y_c = -0.4121 E \quad * \quad -0.0065$$

$$0.4593 X_c - 0.0065 Y_c = 0.8138 E \quad * \quad 0.0420$$

Al resolver el sistema de ecuaciones obtenemos:

$$X_c = 1.915 \text{ m}$$

$$Y_c = 10.117 \text{ m}$$

CALCULO DE Jp PARA LA ESTRUCTURA DE MAMPOSTERIA

SISMO EN DIRECCION Y - Y

SEGUNDO NIVEL

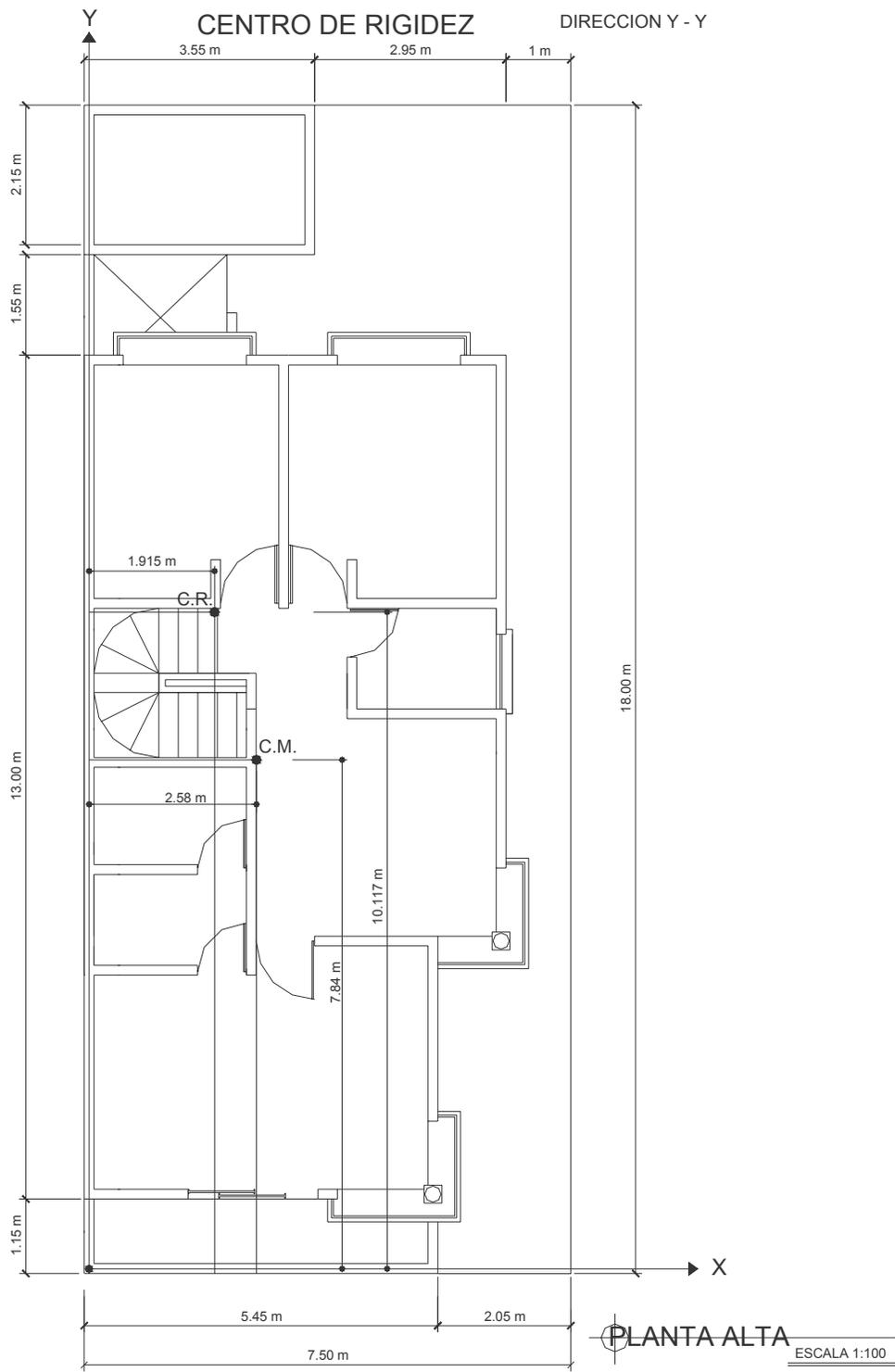
Arreglo	No.	X	Y	X * Y	X 2	Y 2	Dimensional E						J
							Rx	Ry	Rxy	X 2*Ry	Y 2*Rx	X Y*Rxy	
L	1	-1.915	0.133	-0.2550	3.6657	0.0177	0.0357	0.0728	-0.0211	0.2669	0.0006	0.0054	0.0000
	2	-1.835	-2.317	4.2504	3.3657	5.3677	0.0020	0.0522	0.0276	0.1755	0.0106	0.1172	0.0000
T	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
I	1	-1.915	-4.487	8.5905	3.6657	20.1317	0.0020	0.1775	0.0000	0.6508	0.0396	0.0000	0.0000
	2	2.515	-5.067	-12.7452	6.3273	25.6728	0.0004	0.0241	0.0000	0.1525	0.0105	0.0000	0.0000
	3	4.435	-2.717	-12.0503	19.6728	7.3817	0.0005	0.0364	0.0000	0.7156	0.0039	0.0000	0.0000
	4	1.085	1.413	1.5339	1.1781	1.9970	0.0007	0.0420	0.0000	0.0495	0.0014	0.0000	0.0000
	5	4.435	1.363	6.0462	19.6728	1.8582	0.0007	0.0543	0.0000	1.0681	0.0013	0.0000	0.0000
										3.0788	0.0679	0.1225	0.0000

$$J_p = \sum Y^2 * R_x + \sum X^2 * R_y - 2 * \sum X Y * R_{xy} + \sum J$$

$$\sum J = 0.0000$$

$$J_p = 2.9017 \text{ E}$$

Figura 67. Centro de rigidez de la planta alta (sismo en dirección Y - Y)



Centro de masa combinado (losa + muros) primer nivel

W losa techo	=	CM techo * área de losa	29,435.0	Kg
W muros 1º. Nivel	=	CM muros * perímetro	28,464.0	Kg
W losa entrepiso	=	CM entrepiso * área losa entrepiso	38,348.0	Kg

Techo

X =	2.58	mts
Y =	7.84	mts

Entrepiso

X =	2.54	mts
Y =	9.32	mts

Nota: Se tomarán como resultados

Xcm =	2.54	mts
Ycm =	9.32	mts

Centro de masa combinado (losa + muros) segundo nivel

W losa techo	=	CM techo * área de losa	29,435.0	Kg
W muros 2º. Nivel	=	CM muros * perímetro	31,530.0	Kg
W losa entrepiso	=	CM entrepiso * área losa entrepiso	38,348.0	Kg

Techo

X =	2.58	mts
Y =	7.84	mts

Entrepiso

X =	2.54	mts
Y =	9.32	mts

Nota: Se tomarán como resultados

Xcm =	2.58	mts
Ycm =	7.84	mts

Cálculo de las distorsiones

Primer nivel

Dirección X - X

$$P_x = 31.05$$

Excentricidad = C.C. - C.M. =

$$11.152 - 9.32 = 1.836$$

Excentricidad min. = 5% * (18.00 m)

$$0.90 \text{ mts}$$

Momento torsional= (e + e min) * (P_x) = T_p =

$$84.97 \text{ ton-m}$$

Distorsiones

$$\Delta x = \frac{2 P_x}{\sum R_x} =$$

$$\frac{62.11}{0.2142 E} = \frac{289.978}{E}$$

$$\Delta \theta = \frac{T_p}{J_p} =$$

$$\frac{84.97}{7.6596 E} = \frac{11.093}{E}$$

Dirección Y - Y

$$P_y = 31.57$$

Excentricidad = C.C. - C.M. =

$$1.927 - 2.54 = 0.612$$

Excentricidad min. = 5% * (6.50 m)

$$0.33 \text{ mts}$$

Momento torsional= (e + e min) * (P_y) = T_p =

$$29.58 \text{ ton-m}$$

Distorsiones

$$\Delta y = \frac{2 P_y}{\sum R_y} =$$

$$\frac{63.14}{0.5591 E} = \frac{112.930}{E}$$

$$\Delta \theta = \frac{T_p}{J_p} =$$

$$\frac{29.58}{8.4793 E} = \frac{3.489}{E}$$

Cálculo de las distorsiones

Segundo nivel

Dirección X - X

$$P_x = 16.72$$

Excentricidad = C.C. - C.M. =

$$9.218 - 7.84 = 1.374$$

Excentricidad min. = 5% * (18.00 m)

$$0.90 \text{ mts}$$

Momento torsional= (e + e min) * (P_x) = T_p =

$$38.02 \text{ ton-m}$$

Distorsiones

$$\Delta x = \frac{2 P_x}{\sum R_x} =$$

$$\frac{33.43}{0.042} = \frac{796.901}{E}$$

$$\Delta \theta = \frac{T_p}{J_p} =$$

$$\frac{38.02}{2.8378} = \frac{13.398}{E}$$

Dirección Y - Y

$$P_y = 16.99$$

Excentricidad = C.C. - C.M. =

$$1.915 - 2.58 = 0.669$$

Excentricidad min. = 5% * (6.50 m)

$$0.33 \text{ mts}$$

Momento torsional= (e + e min) * (P_y) = T_p =

$$16.90 \text{ ton-m}$$

Distorsiones

$$\Delta y = \frac{2 P_y}{\sum R_y} =$$

$$\frac{33.99}{0.4593} = \frac{74.004}{E}$$

$$\Delta \theta = \frac{T_p}{J_p} =$$

$$\frac{16.90}{2.9017} = \frac{5.823}{E}$$

DISTRIBUCION DE LA CARGA A CADA MURO DIRECCION X - X PRIMER NIVEL

$F_x = R_x \Delta x + R_{xy} \Delta y + \Delta \theta (Y R_x - X R_{xy})$

MOMENTO DE VOLTEO	=	149.05	ton - m
MOMENTO DE TORSION T_p	=	84.97	ton - m

No.	X	Y	Dimensional E					$\Delta \theta$	Fv				Dimensional ton - m		
			Rx	Rxy	1	2	1 + 2		3 * 4	ΔX	Rx* ΔX	Fx	Mvi	Mt	M dis.
L1	0.831	-6.102	0.0048	-0.0082	-0.0290	0.0068	-0.0222	-11.093	0.246	289.978	1.379	1.626	3.310	0.616	3.926
L2	2.131	-6.102	0.0140	-0.0011	-0.0856	0.0024	-0.0832	-11.093	0.923	289.978	4.066	4.989	4.758	2.307	12.065
L3	4.681	1.648	0.0077	0.0450	0.0128	-0.2109	-0.1981	-11.093	2.197	289.978	2.245	4.442	5.388	5.493	10.881
L4	1.381	1.648	0.0038	0.0029	0.0063	-0.0040	0.0023	-11.093	-0.026	289.978	1.103	1.103	2.646	-0.064	2.646
L5	1.731	4.548	0.0176	-0.0097	0.0802	0.0168	0.0970	-11.093	-1.076	289.978	5.112	5.112	12.269	-2.691	12.269
T1	0.531	6.698	0.0580	0.0041	0.3888	-0.0022	0.3866	-11.093	-4.289	289.978	16.833	16.833	40.395	-10.722	40.395
N1	-1.669	-0.902	0.0569	0.0256	-0.0513	0.0427	-0.0086	-11.093	0.095	289.978	16.512	16.608	39.627	0.238	39.865
C1	-1.669	-3.352	0.0482	-0.0050	-0.1617	-0.0084	-0.1701	-11.093	1.887	289.978	13.990	15.876	33.573	4.717	38.290
I1	-1.669	-8.702	0.0011	0.0000	-0.0095	0.0000	-0.0095	-11.093	0.105	289.978	0.316	0.422	0.759	0.263	1.022
I2	-1.669	2.978	0.0016	0.0000	0.0049	0.0000	0.0049	-11.093	-0.054	289.978	0.476	0.476	1.142	-0.136	1.142
I3	0.531	2.978	0.0003	0.0000	0.0008	0.0000	0.0008	-11.093	-0.009	289.978	0.075	0.075	0.180	-0.021	0.180

Columna 1 =	$Y * R_x$
Columna 2 =	$(-X * R_{xy})$
Columna 3 =	$(Y * R_x - X * R_{xy})$
Columna 4 =	$\Delta \theta$
Mvi =	$(R_i / \sum R_x) * M_v$
Mt =	Momento torsionante

DISTRIBUCION DE LA CARGA A CADA MURO DIRECCION Y - Y PRIMER NIVEL

$F_y = R_y \Delta y + R_{xy} \Delta x + \Delta \theta (Y R_{xy} - X R_y)$

MOMENTO DE VOLTEO	=	151.51	Ton - m
MOMENTO DE TORSION T_p	=	29.58	Ton - m

No.	X	Y	Dimensional E					Fv					Dimensional ton - m		
			R _y	R _{xy}	1	2	1 + 2	Δθ	3 * 4	ΔY	R _y *ΔY	F _y	M _{vi}	M _t	M _{dis.}
L1	0.573	-7.019	0.0266	0.0049	-0.0153	-0.0346	-0.0498	3.4888	-0.174	112.93	3.009	3.009	7.221	-0.435	7.221
L2	1.873	-7.019	0.0016	-0.0034	-0.0030	0.0237	0.0207	3.4888	0.072	112.93	0.182	0.254	0.436	0.180	0.617
L3	4.423	0.731	0.1290	0.0039	-0.5706	0.0029	-0.5677	3.4888	-1.981	112.93	14.569	14.569	34.964	-4.951	34.964
L4	1.123	0.731	0.0080	-0.0036	-0.0090	-0.0026	-0.0116	3.4888	-0.041	112.93	0.904	0.904	2.170	-0.101	2.170
L5	1.473	3.631	0.0186	0.0118	-0.0274	0.0429	0.0155	3.4888	0.054	112.93	2.104	2.158	5.049	0.135	5.184
T1	0.273	5.781	0.0201	-0.0104	-0.0055	-0.0602	-0.0657	3.4888	-0.229	112.93	2.268	2.268	5.444	-0.573	5.444
N1	-1.927	-1.819	0.0569	0.0565	0.1098	-0.1028	0.0070	3.4888	0.024	112.93	6.431	6.455	15.432	0.061	15.493
C1	-1.927	-4.269	0.0482	-0.0231	0.0930	0.0987	0.1917	3.4888	0.669	112.93	5.448	6.117	13.075	1.672	14.747
I1	-1.927	-9.619	0.0934	0.0000	0.1800	0.0000	0.1800	3.4888	0.628	112.93	10.545	11.172	25.305	1.570	26.875
I2	-1.927	2.061	0.1467	0.0000	0.2828	0.0000	0.2828	3.4888	0.986	112.93	16.568	17.554	39.760	2.466	42.226
I3	0.273	2.061	0.0098	0.0000	-0.0027	0.0000	-0.0027	3.4888	-0.009	112.93	1.108	1.108	2.658	-0.023	2.658

Columna 1 =	$(- X * R_y)$
Columna 2 =	$Y * R_{xy}$
Columna 3 =	$(- X * R_y + Y * R_{xy})$
Columna 4 =	$\Delta \theta$
M _{vi} =	$(R_i / \sum R_y) * M_v$
M _t =	Momento torsionante

DISTRIBUCION DE LA CARGA A CADA MURO DIRECCION X - X SEGUNDO NIVEL

$$F_x = R_x \Delta x + R_{xy} \Delta y + \Delta \theta (Y R_x - X R_{xy})$$

MOMENTO DE VOLTEO	=	43.46	Ton - m
MOMENTO DE TORSION T_p	=	38.02	Ton - m

No.	X	Y	Dimensional E					Δθ	3 * 4	ΔX	Fv		Dimensional ton - m		
			Rx	Rxy	1	2	1 + 2				Rx*ΔX	Fx	Mvi	Mt	M dis.
L1	-1.957	1.032	0.0357	-0.0427	0.0368	-0.0835	-0.0467	-13.398	0.625	796.901	28.434	29.059	36.964	1.563	38.527
L2	-1.877	-1.418	0.0020	0.0298	0.0028	0.0560	0.0532	-13.398	-0.712	796.901	1.566	1.566	2.036	-1.781	2.036
T1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
T2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
I1	-1.957	-3.588	0.0020	0.0000	-0.0071	0.0000	-0.0071	-13.398	0.094	796.901	1.566	1.661	2.036	0.236	2.272
I2	2.473	-4.168	0.0004	0.0000	-0.0017	0.0000	-0.0017	-13.398	0.023	796.901	0.327	0.350	0.425	0.057	0.482
I3	4.393	-1.818	0.0005	0.0000	-0.0010	0.0000	-0.0010	-13.398	0.013	796.901	0.422	0.435	0.548	0.032	0.580
I4	1.043	2.312	0.0007	0.0000	0.0016	0.0000	0.0016	-13.398	-0.022	796.901	0.559	0.559	0.727	-0.054	0.727
I5	4.393	2.262	0.0007	0.0000	0.0016	0.0000	0.0016	-13.398	-0.021	796.901	0.559	0.559	0.727	-0.053	0.727

Columna 1 =	Y * Rx
Columna 2 =	(-X * Rxy)
Columna 3 =	(Y * Rx - X * Rxy)
Columna 4 =	Δθ
Mvi =	(Ri / Σ Rx) * Mv
Mt =	Momento torsionante

DISTRIBUCION DE LA CARGA A CADA MURO DIRECCION Y - Y SEGUNDO NIVEL

$$F_y = R_y \Delta y + R_{xy} \Delta x + \Delta\theta (Y R_{xy} - X R_y)$$

MOMENTO DE VOLTEO	=	43.19	Ton - m
MOMENTO DE TORSION	T_p =	19.59	Ton - m

No.	X	Y	Dimensional E					Fv					Dimensional ton - m		
			Ry	Rxy	1	2	1 + 2	$\Delta\theta$	3 * 4	ΔY	Ry* ΔY	Fy	Mvi	Mt	Mdis.
L1	-1.915	0.133	0.0728	-0.0211	0.1394	-0.0028	0.1366	5.8226	0.795	74.004	5.389	6.184	7.006	1.989	8.994
L2	-1.835	-2.317	0.0522	0.0276	0.0957	-0.0639	0.0318	5.8226	0.185	74.004	3.860	4.045	5.017	0.463	5.481
T1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
T2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
N2	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
C1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
I1	-1.915	-4.487	0.1775	0.0000	0.3399	0.0000	0.3399	5.8226	1.979	74.004	13.138	15.117	17.080	4.948	22.027
I2	2.515	-5.067	0.0241	0.0000	-0.0606	0.0000	-0.0606	5.8226	-0.353	74.004	1.783	1.783	2.318	-0.882	2.318
I3	4.435	-2.717	0.0364	0.0000	-0.1613	0.0000	-0.1613	5.8226	-0.939	74.004	2.692	2.692	3.499	-2.349	3.499
I4	1.085	1.413	0.0420	0.0000	-0.0456	0.0000	-0.0456	5.8226	-0.265	74.004	3.108	3.108	4.040	-0.664	4.040
I5	4.435	1.363	0.0543	0.0000	-0.2408	0.0000	-0.2408	5.8226	-1.402	74.004	4.018	4.018	5.223	-3.505	5.223

Columna 1 =	$(- X * R_y)$
Columna 2 =	$Y * R_{xy}$
Columna 3 =	$(- X * R_y + Y * R_{xy})$
Columna 4 =	$\Delta\theta$
Mvi =	$(R_i / \sum R_y) * M_v$
Mt =	Momento torsionante

Tabla LVI. Resultados finales del primer nivel para el análisis realista

Sismo en dirección X - X				Sismo en dirección Y - Y					
Arreglo	Fx		M dis.		Arreglo	Fy		M dis.	
L - 1	1.626	ton	3.926	ton-m	L - 1	3.009	ton	7.221	ton-m
L - 2	4.989	ton	12.065	ton-m	L - 2	0.254	ton	0.617	ton-m
L - 3	4.442	ton	10.881	ton-m	L - 3	14.569	ton	34.964	ton-m
L - 4	1.103	ton	2.646	ton-m	L - 4	0.904	ton	2.170	ton-m
L - 5	5.112	ton	12.269	ton-m	L - 5	2.158	ton	5.184	ton-m
T - 1	16.833	ton	40.395	ton-m	T - 1	2.268	ton	5.444	ton-m
N - 1	16.608	ton	39.865	ton-m	N - 1	6.455	ton	15.493	ton-m
C - 1	15.876	ton	38.290	ton-m	C - 1	6.117	ton	14.747	ton-m
I - 1	0.422	ton	1.022	ton-m	I - 1	11.172	ton	26.875	ton-m
I - 2	0.476	ton	1.142	ton-m	I - 2	17.554	ton	42.226	ton-m
I - 3	0.075	ton	0.180	ton-m	I - 3	1.108	ton	2.658	ton-m

Tabla LVII. Resultados finales del segundo nivel para el análisis realista

Sismo en dirección X - X				Sismo en dirección Y - Y					
Arreglo	Fx		M dis.		Arreglo	Fy		M dis.	
L - 1	29.059	ton	38.527	ton-m	L - 1	6.184	ton	8.994	ton-m
L - 2	1.566	ton	2.036	ton-m	L - 2	4.045	ton	5.481	ton-m
T - 1	----	ton	----	ton-m	T - 1	----	ton	----	ton-m
T - 2	----	ton	----	ton-m	T - 2	----	ton	----	ton-m
N - 1	----	ton	----	ton-m	N - 1	----	ton	----	ton-m
N - 2	----	ton	----	ton-m	N - 2	----	ton	----	ton-m
C - 1	----	ton	----	ton-m	C - 1	----	ton	----	ton-m
I - 1	1.661	ton	2.272	ton-m	I - 1	15.117	ton	22.027	ton-m
I - 2	0.350	ton	0.482	ton-m	I - 2	1.783	ton	2.318	ton-m
I - 3	0.435	ton	0.580	ton-m	I - 3	2.692	ton	3.499	ton-m
I - 4	0.559	ton	0.727	ton-m	I - 4	3.108	ton	4.040	ton-m
I - 5	0.559	ton	0.727	ton-m	I - 5	4.018	ton	5.223	ton-m

CONCLUSIONES

1. El uso de los programas permite verificar en poco tiempo si la geometría de la estructura presenta excentricidades severas, debiéndose hacer los cambios necesarios si fuera el caso para poder analizar finalmente la estructura.
2. El programa utilizado para analizar la estructura de mampostería por el método realista, calcula la rigidez torsional únicamente para los arreglos en N y C, ya que son los dos tipos de arreglo que presentan elementos paralelos en un eje.
3. Para analizar una estructura de dos niveles, no importando el método que se utilice, al momento de hacer el análisis de la planta del segundo nivel, únicamente se tomarán en cuenta los muros que presenten continuidad en el primer nivel para simplificar la transmisión de esfuerzos.
4. Los programas desarrollados para el análisis realista, toman en cuenta todas las características propias del método, integrando más elementos propios de la estructura en análisis que los que se toman en cuenta para el análisis simplista, por lo que los resultados obtenidos son más cercanos a la realidad.

RECOMENDACIONES

1. Estimular el uso de métodos como el que se muestra en el presente trabajo y tecnificar de esta manera el análisis de estructuras de mampostería.
2. Tomar en cuenta las limitaciones de cada uno de los programas, así como las características y requisitos necesarios, para evitar de esta manera contratiempos y la obtención de resultados inexactos.
3. Utilizar el programa del análisis realista, cuando la estructura en análisis no sea mayor de dos niveles y cuyas plantas cumplan con los requerimientos propios del programa para obtener resultados más cercanos a la realidad.
4. Utilizar el programa del análisis simplista, cuando la estructura en análisis no sea mayor de dos niveles y donde por lo menos una de las plantas presente condiciones que no cumplan con los requerimientos del programa del análisis realista.
5. Para el correcto uso de los programas se recomienda la utilización de los diagramas de flujo, ya que guían al usuario paso a paso durante todo el proceso de análisis.

BIBLIOGRAFÍA

1. Amrhein, James E. Guía informativa para mampostería reforzada con lechada. Instituto de mampostería de América, Los Ángeles, CA, 1992. 31 pp.
2. Argueta Hernández, Oscar. Estudio sobre el comportamiento de muros de mampostería como estructura de edificios. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1980. 126 pp.
3. Castro Aguirre, Pedro Baudilio. Efecto del viento en las estructuras. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1994. 55 pp.
4. Córdoba Galindo, Gustavo. Aplicación de la computación al análisis más realista de estructuras con muros de mampostería. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1983.
5. Gómez Coyoy, Aníbal Armando. Propuesta para la determinación del esfuerzo básico de diseño en mampostería. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1992. 96 pp.
6. Monterroso Pérez, Edgar Nehemias. Propuesta de factores para la distribución por nivel de cargas laterales en muros de corte. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1987. 52 pp.
7. Ortiz Mendoza, Jorge Luis. Diseño de un edificio de mampostería reforzada. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1998. 162 pp.
8. Norma AGIES NR-1,2 : 2000. Bases generales de diseño y construcción. Guatemala. 55 pp.

9. Norma AGIES NR-3 : 2000. Normas estructurales de diseño recomendadas para la República de Guatemala. 71 pp.
10. Norma AGIES NR-4 : 2000. Requisitos especiales para vivienda y otras construcciones menores. Guatemala. 64 pp.
11. Norma AGIES NR-9 : 2000. Mampostería reforzada. Guatemala. 35 pp.
12. Normas F.H.A. Normas de planificación y construcción para casos proyectados 1983.

ANEXO 1

Tabla LVIII. Presión de viento

Departamento	Velocidad máxima De viento Kms. / hora	k	Vd k * Vb	Cd	Presión de viento
Alta Verapaz	11.10	0.80	8.88	1.43	0.541
Baja Verapaz	6.50	0.80	5.20	1.43	0.186
Chimaltenango	17.30	0.80	13.84	1.43	1.315
Chiquimula	6.10	0.80	4.88	1.43	0.163
El Progreso	1.70	0.80	1.36	1.43	0.013
Escuintla	6.10	0.80	4.88	1.43	0.163
Guatemala	51.00	0.80	40.80	1.43	11.426
Huehuetenango	9.20	0.80	7.36	1.43	0.372
Izabal	12.00	0.80	9.60	1.43	0.633
Jalapa	7.10	0.80	5.68	1.43	0.221
Jutiapa	8.60	0.80	6.88	1.43	0.325
Petén	9.00	0.80	7.20	1.43	0.356
Quetzaltenango	10.90	0.80	8.72	1.43	0.522
Quiché	10.00	0.80	8.00	1.43	0.439
Retalhuleu	6.00	0.80	4.80	1.43	0.158
San Marcos	5.00	0.80	4.00	1.43	0.110
Santa Rosa	3.00	0.80	2.40	1.43	0.040
Sololá	15.60	0.80	12.48	1.43	1.069
Zacapa	9.30	0.80	7.44	1.43	0.380

$$\text{Presión de viento} = 0.0048 * C_d * V_d^2$$

Donde:

- Cd Coeficiente de empuje = factor de empuje (0.75) + factor de succión (0.68).
- Vd Velocidad de diseño.
- Vb Velocidad de viento en la base.
- k Coeficiente que depende de la velocidad y la altura del edificio = 0.80 según el RDF-76.

Vd = k * Vb para alturas iguales o menores a 10 metros.

Las velocidades de viento que aparecen en la tabla son las máximas registradas en cada región de 1990 – 2003 según datos proporcionados por el INSIVUMEH, con excepción del departamento de Guatemala, debido a que se tomó el dato registrado en marzo de 1980 en la estación central.