



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

**VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE  
BLOQUES DE CONCRETO ALTERNATIVOS Y ACERO DE ALTA  
RESISTENCIA**

**Héctor Giovanni Barreda Morales**  
Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, abril de 2009







UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE  
BLOQUES DE CONCRETO ALTERNATIVOS Y ACERO DE ALTA  
RESISTENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**HÉCTOR GIOVANNY BARREDA MORALES**

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2009



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spinola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR/A	Ing. Jeovany Miranda Castañón
EXAMINADOR/A	Inga. María del Mar Girón
EXAMINADOR/A	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
SECRETARIO/A	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

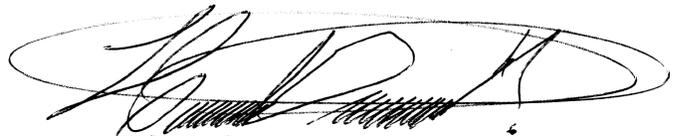


**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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:

**VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE BLOQUES DE CONCRETO ALTERNATIVOS Y ACERO DE ALTA RESISTENCIA,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 29 de agosto de 2008.



Héctor Giovanni Barreda Morales



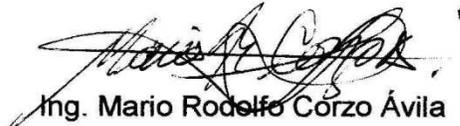
Guatemala 26 de Enero de 2009

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Ingeniero Sydney:

Por medio de la presente, le informo que he asesorado y revisado el trabajo de graduación, con título: **VALIDACIÓN DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE BLOQUES DE CONCRETO ALTERNATIVOS Y ACERO DE ALTA RESISTENCIA**, desarrollado por el estudiante Héctor Giovanni Barreda Morales, con carné: 2005-11954. El cual satisface los objetivos del mismo.

Al agradecer su amable atención y colaboración, me suscribo atentamente.

  
Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila  
Asesor de trabajo de graduación  
No. de colegiado: 2089

Mario Rodolfo Corzo  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 2089





Guatemala,  
4 de febrero de 2009

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero  
Sydney Alexander Samuels Milson  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos  
Guatemala

Estimado Ing. Samuels.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE BLOQUES DE CONCRETO ALTERNATIVOS Y ACERO DE ALTA RESISTENCIA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Héctor Giovanni Barreda Morales, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante Barreda Morales, satisface los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA  
AREA DE MATERIALES Y  
CONSTRUCCIONES CIVILES

USAC

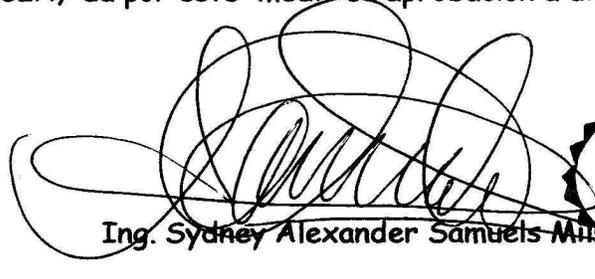
*Francisco Javier Quiñónez de la Cruz*  
Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz  
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles

/bbdeb.





El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Jefe del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Héctor Giovanni Barreda Morales, titulado VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE BLOQUES DE CONCRETO ALTERNATIVOS Y ACERO DE ALTA RESISTENCIA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Sydney Alexander Samuels Milán



Guatemala, abril 2009

/bbdeb.



de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.103.2009

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **VALIDACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS A BASE DE BLOQUES DE CONCRETO ALTERNATIVOS Y ACERO DE ALTA RESISTENCIA**, presentado por el estudiante universitario **Héctor Giovanni Barreda Morales**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, appearing to read 'Murphy Olimpo Paiz Recinos', written over a horizontal line.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, abril de 2009



/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

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

Mis padres Héctor Hugo Barreda García y Silvia Leticia Morales Arriola, por haberme dado la oportunidad de estudiar y por su apoyo incondicional en todo momento.

Mis hermanos, Mónica Yesenia, Carlos Roberto, Edgar Daniel, Hugo Alejandro y Kimberly Paola, por el apoyo mostrado en todo momento.

Toda mi familia en general.

Los compañeros de estudio y amigos que me motivaron a continuar.



## **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 Mario Rodolfo Corzo Ávila, por su ayuda y colaboración para el desarrollo del presente trabajo.

La empresa de Megaproductos, en especial a Joel Velarde, por su ayuda, colaboración y paciencia para la elaboración del presente trabajo.



# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	XIII
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	XIX
<b>GLOSARIO</b>	XXI
<b>RESUMEN</b>	XXIII
<b>OBJETIVOS</b>	XXV
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XXVII
<b>1. CONCEPTOS BÁSICOS</b>	
1.1. Antecedentes históricos	1
1.2. Tipos de estructuras	3
1.2.1. Clasificación según sus funciones estructurales	3
1.2.1.1. No portante	3
1.2.1.1.1. En muros exteriores	4
1.2.1.1.2. En muros interiores	4
1.2.1.2. Portante	5
1.2.1.2.1. Según el refuerzo	5
1.2.1.2.1.1. No reforzada (tradicional o simple)	5
1.2.1.2.1.2. Reforzada (estructural)	6
1.2.1.2.2. Según el material	6
1.2.1.2.2.1. Todo concreto	6
1.2.1.2.2.2. Combinada con otros materiales	7
1.2.2. Clasificación según sus funciones arquitectónicas	7
1.2.2.1. Sencilla	7
1.2.2.2. Con acabados	8
1.2.2.3. Unidades con acabados	8

1.2.2.4.	Según su empleo en el edificio	8
1.2.2.5.	Por escala	8
1.2.2.6.	Acabado integrado al muro de fachada	9
1.2.2.7.	Fachaleta completo del muro de fachada	9
1.2.2.8.	Construcción nueva	10
1.2.2.9.	Construcción existente	10
1.2.2.10.	Combinada con otros materiales	10
1.2.2.11.	Por imagen	11
1.2.2.11.1.	De seguridad	11
1.2.2.11.2.	Estilo arquitectónico	11
1.3.	Clasificación de las estructuras de mampostería	12
1.3.1.	Según su destino	12
1.3.2.	Edificaciones resistentes al fuego	12
1.3.3.	Períodos de resistencia al fuego de muros y tabiques	13
1.3.4.	Requisitos para muros exteriores y protección de aberturas, basados en la ubicación en la propiedad	13

## **2. MEMORIA DE CÁLCULO**

2.1.	Sistema 12 X 39 X 23	21
2.1.1.	Cálculo del Centro de Rigidez (CR) y el Centro de Masa (CM)	21
2.1.1.1.	Centro de masa (CM)	21
2.1.1.1.1.	Primer nivel	21
2.1.1.1.2.	Segundo nivel	23
2.1.1.2.	Centro de rigidez (CR)	25
2.1.1.2.1.	Primer nivel	26
2.1.1.2.2.	Segundo nivel	27
2.1.2.	Cálculo de la excentricidad de configuración y excentricidad de diseño	29

2.1.2.1.	Primer nivel	29
2.1.2.2.	Segundo nivel	30
2.1.3.	Determinación de la carga lateral	30
2.1.3.1.	Cálculo del corte basal	30
2.1.3.1.1.	Procedimiento por métodos estáticos	30
2.1.3.1.2.	Distribución de fuerzas por nivel	33
2.1.3.1.2.1.	Fuerza en la cúspide ( $F_t$ )	34
2.1.3.1.2.2.	Fuerzas por nivel ( $F_x$ )	34
2.1.3.1.3.	Determinación de la carga lateral por muro	35
2.1.3.1.3.1.	Primer nivel	35
2.1.3.1.3.2.	Segundo nivel	36
2.1.3.2.	Cálculo del incremento de carga por torsión	38
2.1.3.2.1.	Cálculo del momento torsionante (T)	38
2.1.3.2.1.1.	Primer nivel	39
2.1.3.2.1.2.	Segundo nivel	39
2.1.3.2.2.	Determinación de la distancia al centro de rigidez ( $d_i$ )	40
2.1.3.2.2.1.	Primer nivel	40
2.1.3.2.2.2.	Segundo nivel	41
2.1.3.2.3.	Cálculo del momento de inercia polar (J)	42
2.1.3.2.3.1.	Primer nivel	42
2.1.3.2.3.2.	Segundo nivel	43
2.1.3.2.4.	Determinación de la carga por torsión por muro ( $\Delta V$ )	44
2.1.3.2.4.1.	Primer nivel	45
2.1.3.2.4.2.	Segundo nivel	46
2.1.3.3.	Determinación de la carga por sismo total	47
2.1.3.3.1.	Primer nivel	47
2.1.3.3.2.	Segundo nivel	48

2.1.4.	Cálculo del refuerzo por muro	49
2.1.4.1.	Cálculo del refuerzo horizontal	49
2.1.4.1.1.	Cálculo del momento actuante	50
2.1.4.1.1.1.	Primer nivel	50
2.1.4.1.1.2.	Segundo nivel	51
2.1.4.1.2.	Cálculo del factor K	52
2.1.4.1.3.	Cálculo de J	53
2.1.4.1.4.	Determinación de la cuantía por muro	54
2.1.4.1.4.1.	Primer nivel	55
2.1.4.1.4.2.	Segundo nivel	56
2.1.4.1.5.	Área de acero requerida por muro	57
2.1.4.1.5.1.	Primer nivel	57
2.1.4.1.5.2.	Segundo nivel	58
2.1.4.2.	Cálculo del refuerzo vertical	59
2.1.4.2.1.	Primer nivel	59
2.1.4.2.2.	Segundo nivel	60
2.2.	Sistema 14 X 59 X 20	62
2.2.1.	Cálculo del Centro de Rigidez (CR) y el Centro de Masa (CM)	62
2.2.1.1.	Centro de masa (CM)	62
2.2.1.1.1.	Primer nivel	62
2.2.1.1.2.	Segundo nivel	64
2.2.1.2.	Centro de rigidez (CR)	65
2.2.1.2.1.	Primer nivel	65
2.2.1.2.2.	Segundo nivel	67
2.2.2.	Cálculo de la excentricidad de configuración y excentricidad de diseño	68
2.2.2.1.	Primer nivel	68
2.2.2.2.	Segundo nivel	68

2.2.3.	Determinación de la carga lateral	69
2.2.3.1.	Cálculo del corte basal	69
2.2.3.1.1.	Procedimiento por métodos estáticos	69
2.2.3.1.2.	Distribución de fuerzas por nivel	70
2.2.3.1.2.1.	Fuerza en la cúspide ( $F_t$ )	70
2.2.3.1.2.2.	Fuerzas por nivel ( $F_x$ )	70
2.2.3.1.3.	Determinación de la carga lateral por muro	70
2.2.3.1.3.1.	Primer nivel	70
2.2.3.1.3.2.	Segundo nivel	72
2.2.3.2.	Cálculo del incremento de carga por torsión	73
2.2.3.2.1.	Cálculo del momento torsionante (T)	73
2.2.3.2.1.1.	Primer nivel	73
2.2.3.2.1.2.	Segundo nivel	73
2.2.3.2.2.	Determinación de la distancia al centro de rigidez ( $d_i$ )	74
2.2.3.2.2.1.	Primer nivel	74
2.2.3.2.2.2.	Segundo nivel	75
2.2.3.2.3.	Cálculo del momento de inercia polar (J)	76
2.2.3.2.3.1.	Primer nivel	76
2.2.3.2.3.2.	Segundo nivel	77
2.2.3.2.4.	Determinación de la carga por torsión por muro ( $\Delta V$ )	78
2.2.3.2.4.1.	Primer nivel	78
2.2.3.2.4.2.	Segundo nivel	79
2.2.3.3.	Determinación de la carga por sismo total	80
2.2.3.3.1.	Primer nivel	80
2.2.3.3.2.	Segundo nivel	81
2.2.4.	Cálculo del refuerzo por muro	82
2.2.4.1.	Cálculo del refuerzo horizontal	82

2.2.4.1.1.	Cálculo del momento actuante	82
2.2.4.1.1.1.	Primer nivel	82
2.2.4.1.1.2.	Segundo nivel	83
2.2.4.1.2.	Cálculo del factor K	84
2.2.4.1.3.	Cálculo de J	84
2.2.4.1.4.	Determinación de la cuantía por muro	84
2.2.4.1.4.1.	Primer nivel	84
2.2.4.1.4.2.	Segundo nivel	85
2.2.4.1.5.	Área de acero requerida por muro	86
2.2.4.1.5.1.	Primer nivel	86
2.2.4.1.5.2.	Segundo nivel	87
2.2.4.2.	Cálculo del refuerzo vertical	88
2.2.4.2.1.	Primer nivel	88
2.2.4.2.2.	Segundo nivel	89
2.3.	Sistema 14 X 79 X 20	90
2.3.1.	Cálculo del Centro de Rigidez (CR) y el Centro de Masa (CM)	90
2.3.1.1.	Centro de masa (CM)	90
2.3.1.1.1.	Primer nivel	90
2.3.1.1.2.	Segundo nivel	92
2.3.1.2.	Centro de rigidez (CR)	94
2.3.1.2.1.	Primer nivel	94
2.3.1.2.2.	Segundo nivel	95
2.3.2.	Cálculo de la excentricidad de configuración y excentricidad de diseño	96
2.3.2.1.	Primer nivel	96
2.3.2.2.	Segundo nivel	97
2.3.3.	Determinación de la carga lateral	97
2.3.3.1.	Cálculo del corte basal	97

2.3.3.1.1.	Procedimiento por métodos estáticos	97
2.3.3.1.2.	Distribución de fuerzas por nivel	98
2.3.3.1.2.1.	Fuerza en la cúspide ( $F_t$ )	98
2.3.3.1.2.2.	Fuerzas por nivel ( $F_x$ )	98
2.3.3.1.3.	Determinación de la carga lateral por muro	99
2.3.3.1.3.1.	Primer nivel	99
2.3.3.1.3.2.	Segundo nivel	100
2.3.3.2.	Cálculo del incremento de carga por torsión	101
2.3.3.2.1.	Cálculo del momento torsionante (T)	101
2.3.3.2.1.1.	Primer nivel	101
2.3.3.2.1.2.	Segundo nivel	102
2.3.3.2.2.	Determinación de la distancia al centro de rigidez ( $d_i$ )	102
2.3.3.2.2.1.	Primer nivel	102
2.3.3.2.2.2.	Segundo nivel	103
2.3.3.2.3.	Cálculo del momento de inercia polar (J)	104
2.3.3.2.3.1.	Primer nivel	104
2.3.3.2.3.2.	Segundo nivel	105
2.3.3.2.4.	Determinación de la carga por torsión por muro ( $\Delta V$ )	106
2.3.3.2.4.1.	Primer nivel	106
2.3.3.2.4.2.	Segundo nivel	107
2.3.3.3.	Determinación de la carga por sismo total	108
2.3.3.3.1.	Primer nivel	108
2.3.3.3.2.	Segundo nivel	109
2.3.4.	Cálculo del refuerzo por muro	110
2.3.4.1.	Cálculo del refuerzo horizontal	110
2.3.4.1.1.	Cálculo del momento actuante	110
2.3.4.1.1.1.	Primer nivel	110

2.3.4.1.1.2.	Segundo nivel	111
2.3.4.1.2.	Cálculo del factor K	112
2.3.4.1.3.	Cálculo de J	112
2.3.4.1.4.	Determinación de la cuantía por muro	113
2.3.4.1.4.1.	Primer nivel	113
2.3.4.1.4.2.	Segundo nivel	114
2.3.4.1.5.	Área de acero requerida por muro	115
2.3.4.1.5.1.	Primer nivel	115
2.3.4.1.5.2.	Segundo nivel	116
2.3.4.2.	Cálculo del refuerzo vertical	117
2.3.4.2.1.	Primer nivel	117
2.3.4.2.2.	Segundo nivel	118
2.4.	Sistema de block tradicional	119
2.4.1.	Cálculo del Centro de Rigidez (CR) y el Centro de Masa (CM)	119
2.4.1.1.	Centro de masa (CM)	119
2.4.1.1.1.	Primer nivel	119
2.4.1.1.2.	Segundo nivel	121
2.4.1.2.	Centro de rigidez (CR)	123
2.4.1.2.1.	Primer nivel	124
2.4.1.2.2.	Segundo nivel	125
2.4.2.	Cálculo de la excentricidad de configuración y excentricidad de diseño	127
2.4.2.1.	Primer nivel	127
2.4.2.2.	Segundo nivel	128
2.4.3.	Determinación de la carga lateral	128
2.4.3.1.	Cálculo del corte basal	128
2.4.3.1.1.	Procedimiento por métodos estáticos	128
2.4.3.1.2.	Distribución de fuerzas por nivel	131

2.4.3.1.2.1.	Fuerza en la cúspide ( $F_i$ )	132
2.4.3.1.2.2.	Fuerzas por nivel ( $F_x$ )	132
2.4.3.1.3.	Determinación de la carga lateral por muro	133
2.4.3.1.3.1.	Primer nivel	133
2.4.3.1.3.2.	Segundo nivel	134
2.4.3.2.	Cálculo del incremento de carga por torsión	136
2.4.3.2.1.	Cálculo del momento torsionante (T)	136
2.4.3.2.1.1.	Primer nivel	137
2.4.3.2.1.2.	Segundo nivel	137
2.4.3.2.2.	Determinación de la distancia al centro de rigidez ( $d_i$ )	138
2.4.3.2.2.1.	Primer nivel	138
2.4.3.2.2.2.	Segundo nivel	139
2.4.3.2.3.	Cálculo del momento de inercia polar (J)	140
2.4.3.2.3.1.	Primer nivel	140
2.4.3.2.3.2.	Segundo nivel	141
2.4.3.2.4.	Determinación de la carga por torsión por muro ( $\Delta V$ )	142
2.4.3.2.4.1.	Primer nivel	143
2.4.3.2.4.2.	Segundo nivel	144
2.4.3.3.	Determinación de la carga por sismo total	145
2.4.3.3.1.	Primer nivel	145
2.4.3.3.2.	Segundo nivel	146
2.4.4.	Cálculo del refuerzo por muro	147
2.4.4.1.	Cálculo del refuerzo horizontal	147
2.4.4.1.1.	Cálculo del momento actuante	148
2.4.4.1.1.1.	Primer nivel	148
2.4.4.1.1.2.	Segundo nivel	149
2.4.4.1.2.	Cálculo del factor K	151

2.4.4.1.3.	Cálculo de J	151
2.4.4.1.4.	Determinación de la cuantía por muro	152
2.4.4.1.4.1.	Primer nivel	152
2.4.4.1.4.2.	Segundo nivel	153
2.4.4.1.5.	Área de acero requerida por muro	154
2.4.4.1.5.1.	Primer nivel	154
2.4.4.1.5.2.	Segundo nivel	155
2.4.4.2.	Cálculo del refuerzo vertical	156
2.4.4.2.1.	Primer nivel	157
2.4.4.2.2.	Segundo nivel	158
<b>3.</b>	<b>COMPARACIÓN EN COSTO DEL SISTEMA TRADICIONAL Y LOS SISTEMAS PROPUESTOS</b>	
3.1.	Determinación del costo, según métodos tradicionales	160
3.1.1.	Determinación del costo sistema tradicional	160
3.2.	Determinación del costo, según métodos alternativos	161
3.2.1.	Determinación del costo sistema 12 X 39 X 23	161
3.2.2.	Determinación del costo sistema 14 X 59 X 20	162
3.2.3.	Determinación del costo sistema 14 X 79 X 20	163
3.3.	Comparación de costos entre los sistemas alternativos y el sistema tradicional.	164
<b>4.</b>	<b>TIPOS Y METODOLOGÍA DEL ENSAYO</b>	
4.1.	Ensayo de muro a escala natural según especificaciones obtenidas en los cálculos	165
4.2.	Descripción de los elementos del ensayo	169

<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO</b>	
5.1. Procedimiento y secuencia de los cálculos obtenidos en laboratorio	171
5.2. Determinación de la carga de diseño de muro	171
5.2.1. Informe de laboratorio	171
<b>CONCLUSIONES</b>	177
<b>RECOMENDACIONES</b>	179
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	181
<b>APÉNDICE</b>	183



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1. Planta de vivienda modelo	15
2. Identificación y cotas de muros	18
3. Graficación del valor J	54
4. Graficación del valor J	150
5. Detalles del armado sistema “12 x 39 x 23”	166
6. Detalles del armado sistema “14 x 59 x 19”	167
7. Detalles del armado sistema “14 x 79 x 19”	168
8. Detalles de armado soleras y cimiento	169
9. Colocación de los diferentes elementos para la realización de ensayos de muros a escala natural	170
10. Detalle del área del gato hidráulico en el ensayo de muro a escala natural	170
11. Detalle de los tipos de mamposte	183
12. Detalle del armado de los sistemas	183

### TABLAS

I. Períodos de resistencia al fuego de muros y tabiques	13
II. Requisitos para muros exteriores y protección de aberturas, basados en la ubicación en la propiedad	13
III. Centros de masa y longitudes de muros, nivel 1	19
IV. Centros de masa y longitudes de muros, nivel 2	20

V.	Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 1	21
VI.	Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 2	23
VII.	Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 1	26
VIII.	Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 2	27
IX.	Distribución de cargas laterales en muros, nivel 1	35
X.	Distribución de cargas laterales en muros, nivel 2	37
XI.	Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 1	40
XII.	Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 2	41
XIII.	Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 1	42
XIV.	Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 2	43
XV.	Incremento de carga por torsión en muros, nivel 1	45
XVI.	Incremento de carga por torsión en muros, nivel 2	46
XVII.	Cargas totales debidas al sismo, nivel 1	47
XVIII.	Cargas totales debidas al sismo, nivel 2	48
XIX.	Momentos actuantes en muros, nivel 1	50
XX.	Momentos actuantes en muros, nivel 2	51
XXI.	Cuantías requeridas para muros, nivel 1	55
XXII.	Cuantías requeridas para muros, nivel 2	56
XXIII.	Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 1	57
XXIV.	Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 2	58
XXV.	Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 1	59
XXVI.	Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 2	60
XXVII.	Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 1	62
XXVIII.	Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 2	64
XXIX.	Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 1	65

XXX.	Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 2	67
XXXI.	Distribución de cargas laterales en muros, nivel 1	70
XXXII.	Distribución de cargas laterales en muros, nivel 2	72
XXXIII.	Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 1	74
XXXIV.	Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 2	75
XXXV.	Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 1	76
XXXVI.	Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 2	77
XXXVII.	Incremento de carga por torsión en muros, nivel 1	78
XXXVIII.	Incremento de carga por torsión en muros, nivel 2	79
XXXIX.	Cargas totales debidas al sismo, nivel 1	80
XL.	Cargas totales debidas al sismo, nivel 2	81
XLI.	Momentos actuantes en muros, nivel 1	82
XLII.	Momentos actuantes en muros, nivel 2	83
XLIII.	Cuantías requeridas para muros, nivel 1	84
XLIV.	Cuantías requeridas para muros, nivel 2	85
XLV.	Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 1	86
XLVI.	Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 2	87
XLVII.	Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 1	88
XLVIII.	Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 2	89
XLIX.	Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 1	90
L.	Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 2	92
LI.	Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 1	93
LII.	Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 2	95
LIII.	Distribución de cargas laterales en muros, nivel 1	98
LIV.	Distribución de cargas laterales en muros, nivel 2	100

LIV.	Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 1	102
LVI.	Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 2	103
LVII.	Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 1	104
LVIII.	Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 2	105
LIX.	Incremento de carga por torsión en muros, nivel 1	106
LX.	Incremento de carga por torsión en muros, nivel 2	107
LXI.	Cargas totales debidas al sismo, nivel 1	108
LXII.	Cargas totales debidas al sismo, nivel 2	109
LXIII.	Momentos actuantes en muros, nivel 1	110
LXIV.	Momentos actuantes en muros, nivel 2	111
LXV.	Cuantías requeridas para muros, nivel 1	112
LXVI.	Cuantías requeridas para muros, nivel 2	113
LXVII.	Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 1	114
LXVIII.	Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 2	115
LXIX.	Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 1	116
LXX.	Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 2	117
LXXI.	Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 1	118
LXXII.	Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 2	120
LXXIII.	Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 1	123
LXXIV.	Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 2	124
LXXV.	Distribución de cargas laterales en muros, nivel 1	132
LXXVI.	Distribución de cargas laterales en muros, nivel 2	134
LXXVII.	Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 1	137
LXXVIII.	Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 2	138

LXXIX.	Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 1	139
LXXX.	Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 2	140
LXXXI.	Incremento de carga por torsión en muros, nivel 1	142
LXXXII.	Incremento de carga por torsión en muros, nivel 2	143
LXXXIII.	Cargas totales debidas al sismo, nivel 1	144
LXXXIV.	Cargas totales debidas al sismo, nivel 2	145
LXXXV.	Momentos actuantes en muros, nivel 1	147
LXXXVI.	Momentos actuantes en muros, nivel 2	148
LXXXVII.	Cuantías requeridas para muros, nivel 1	151
LXXXVIII.	Cuantías requeridas para muros, nivel 2	152
LXXXIX.	Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 1	154
XC.	Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 2	155
XCI.	Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 1	156
XCII.	Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 2	157
XCIII.	Cuadros de unitarios	159
XCIV.	Cuadros de unitarios sistema tradicional	160
XCV.	Cuadros de unitarios sistema 12 x 39 x 23	161
XCVI.	Cuadros de unitarios sistema 14 x 59 x 20	162
XCVII.	Cuadros de unitarios sistema 14 x 79 x 20	163



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A<sub>s</sub></b>	=	área de acero
<b>B</b>	=	base de la vivienda según el sentido analizado
<b>C<sub>a</sub></b>	=	coeficiente sísmico, dado en la tabla 16-Q
<b>CM</b>	=	centro de masa
<b>CR</b>	=	centro de rigidez
<b>C<sub>t</sub></b>	=	factor determinado por el tipo de sistema estructural
<b>C<sub>v</sub></b>	=	coeficiente sísmico determinado por la zonificación sísmica y el tipo de suelo, dado en la tabla 16-R
<b>d<sub>i</sub></b>	=	distancia del muro i al centro de rigidez
<b>E<sub>m</sub></b>	=	módulo de elasticidad del mamposte
<b>E<sub>s</sub></b>	=	módulo de elasticidad del acero
<b>e<sub>x</sub></b>	=	excentricidad en el sentido x
<b>e<sub>y</sub></b>	=	excentricidad en el sentido y
<b>F<sub>b</sub></b>	=	factor de esfuerzo asumido en la mampostería
<b>F<sub>i</sub></b>	=	fuerza lateral por nivel
<b>F<sub>s</sub></b>	=	esfuerzo admisible del acero
<b>F<sub>t</sub></b>	=	fuerza lateral de volteo en la cúspide
<b>F<sub>x</sub></b>	=	fuerza lateral del nivel x
<b>h<sub>n</sub></b>	=	altura de la base al nivel en consideración
<b>h<sub>x</sub></b>	=	altura del nivel x
<b>I</b>	=	factor de importancia dado en la tabla 16-K
<b>I<sub>i</sub></b>	=	inercia del muro i
<b>J</b>	=	momento de inercia polar
<b>K</b>	=	factor determinado en la sección 2107.2.15 del código UBC 97
<b>K<sub>i</sub></b>	=	rigidez relativa del muro i

<b><math>L_i</math></b>	=	longitud del muro i
<b><math>M</math></b>	=	momento actuante
<b><math>n</math></b>	=	relación modular entre el módulo de elasticidad del acero y el módulo de elasticidad de la mampostería
<b><math>N_a</math></b>	=	coeficiente para la determinación del factor $C_a$ , el cual es determinado por la distancia de las fallas sísmicas, dado en la tabla 16-S
<b><math>N_v</math></b>	=	factor determinado por la distancia a fallas probables y tipo de fuente sísmica (determinada en las condiciones iniciales)
<b><math>R</math></b>	=	factor numérico que engloba la ductilidad y la toda la resistencia a la carga lateral de la estructura, dado en la tabla 16-N y 16-P
<b><math>t</math></b>	=	espesor del muro
<b><math>T</math></b>	=	período fundamental propio de la estructura, determinado según el Método A del código UBC 97.
<b><math>T</math></b>	=	momento torsionante
<b><math>T_s</math></b>	=	tipo de suelo
<b><math>V</math></b>	=	corte basal actuante en la estructura
<b><math>V_i</math></b>	=	corte actuante en el muro i
<b><math>V_t</math></b>	=	carga de corte total
<b><math>V_x</math></b>	=	corte actuante en el nivel x
<b><math>W</math></b>	=	peso total del la estructura más el 25% de la carga viva
<b><math>w_x</math></b>	=	peso del nivel x
<b><math>Z</math></b>	=	clasificación de zonificación sísmica dada en las condiciones iniciales
<b><math>\rho</math></b>	=	porcentaje de acero de refuerzo
<b><math>\Delta V</math></b>	=	incremento de corte por torsión

## GLOSARIO

<b>Diagrama de interacción</b>	Gráfico que ilustra los límites de las combinaciones de carga y momento que provocan la falla de una sección dada en un muro portante.
<b>Esfuerzo</b>	Es la fuerza aplicada por unidad de área, que soporta el material.
<b>Eslabón</b>	Armadura que se usa para resistir tensiones de corte y tracción diagonal en un miembro estructural, la forma de este es en C.
<b>Estribo</b>	Armadura que se usa para resistir tensiones de corte y tracción diagonal en un miembro estructural, este elemento es cerrado.
<b>Estructura</b>	Son construcciones artificiales, en las cuales todos sus elementos están en equilibrio y reposo, los unos con relación a los otros.
<b>Grout</b>	Mezcla de cemento, arena, grava, que es colocada en las celdas de las piezas de mampostería alrededor del acero para contribuir a la resistencia a compresión del muro.

**Mampostería**

Unidades prefabricadas o premoldeadas de piedra, ladrillo o teja cerámica, hormigón, vidrio, adobe u otros materiales similares, en general, lo suficientemente pequeñas como para ser manejadas por una sola persona.

**Sisa**

Espesor de mortero existente entre las unidades de mampostería, generalmente es de un centímetro.

## RESUMEN

En el presente trabajo, se analizarán varios tipos de sistemas constructivos en mampostería de bloques de concreto, los cuales vienen a ser sistemas alternativos al ya existente que es el sistema tradicional de construcción de viviendas en mampostería.

Lo que se pretende conseguir son sistemas que resulten ser más favorables económicamente, desde el punto de vista del consumidor (que es al final de cuentas, quien contrata a los profesionales del área); esto sin que se vea afectada la seguridad de la vivienda.

Los sistemas en cuestión son una combinación de bloques de concreto (con resistencia similar a la de los tradicionales, pero con las dimensiones diferentes, esto con el fin del ahorro en mano de obra, materiales y tiempo de construcción; que son tres de los muchos factores que encarecen la construcción) y acero de alta resistencia (este con el fin de minimizar su uso, puesto que este rublo es el que en muchas ocasiones hace que una obra en general deje de ser viable desde el punto de vista tanto económico como estructural).

De esta forma se consigue que en una vivienda deje hasta cierto punto de ser dependiente de los precios del acero, de la mano de obra y de otros materiales que tienen fuerte influencia con el sistema constructivo.



## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

- ◆ Diseñar el refuerzo del sistema de bloques de concreto alternativos y validación, por medio de ensayos de muros a escala natural en el laboratorio.

### **ESPECÍFICOS:**

1. Comprobar que los sistemas propuestos son más económicos que el sistema que se utiliza tradicionalmente.
2. Validar los sistemas por medio de ensayos de muros a escala natural en el laboratorio
3. Crear una guía de diseño, planeamiento, ejecución y supervisión de construcción de mampostería, analizando los diferentes casos propuestos.



## INTRODUCCIÓN

Debido al alza del precio del acero; los profesionales del área de la ingeniería civil, están buscando alternativas para la construcción de sistemas de viviendas; que además de ser económicamente viables, sean también técnicamente seguros y que cumplan con los estándares que se exigen en el ámbito; es por esto que se deben implementar las tecnologías alternativas que se surgen alrededor del mundo.

Por lo anterior, el tema que se está sugiriendo sobre “Validación del sistema constructivo a base de bloques de concreto alternativos y acero de alta resistencia” podría ser una opción de solución a los problemas de construcción que enfrasan a la sociedad ya que con esto se disminuiría los tiempos de mano de obra (la cual es uno de los factores que encarecen el coste de toda obra de la ingeniería), también disminuiría el uso de acero con la utilización de aceros de alta resistencia sin que se vea afectada la ductilidad de las estructuras.

En el sistema propuesto los bloques de concreto constan de las dimensiones siguientes: 12x39x23 cm; 14x59x20 cm; y 14x79x20 cm. (véase figuras 11 y 12)



# 1. CONCEPTOS BÁSICOS

## 1.1 Antecedentes históricos

De los Muros de Antioquia en la vía Appian, de la Gran Muralla de China a las pirámides de Giza, la mampostería ha sido usada para fortificaciones, templos, caminos, mezquitas, santuarios, catedrales, obeliscos, y otras innumerables estructuras.

Los egipcios estaban entre las primeras personas en la historia escrita de usar mampostería, empezando la construcción de las enormes pirámides en Giza alrededor de 2,500 Antes de Cristo. Los historiadores e ingenieros juntos tratan todavía de determinar cómo podían los egipcios antiguos traer esta materia prima, de cortarla, cambiarlas de lugar, y ponerlas donde es. El templo de Khons, construido en Karnak en el siglo doce Antes de Cristo, es otro ejemplo de una proeza enorme de mampostería egipcio.

Los egipcios no eran la única civilización para descubrir los beneficios de la mampostería. Sobre la península de Yucatán en México, los toltecas construyeron el Castillo usando el concepto de bloques de mampostería en 1,100 Después de Cristo. Y más al Norte, los aztecas construyeron su capital, Tenochtitlán, en 1,325 Después de Cristo; una ciudad entera formuló usar tecnología de mampostería.

En Inglaterra, aproximadamente al mismo tiempo que los toltecas estaban construyendo el Castillo; William el conquistador empezó la construcción del Castillo de Windsor. Los castillos británicos tenían uso práctico

inmediato, proveyendo la línea principal de la defensa contra atacantes. Incluso después del surgimiento del Renacimiento, los castillos son una parte funcional de la cultura británica y continúan representando la historia de la región.

En India, el magnífico Taj Mahal fue construido durante un período de veintidós años, comenzando en 1,632 Después de Cristo. Representa dos cualidades importantes en la mampostería: la durabilidad y la presencia arquitectónica. Su mármol, mantenido apropiadamente, ha brillado durante más de tres siglos y continuará haciéndolo para los siglos venideros, presumiblemente.

Los edificios de mampostería comprendían gran parte del perfil de la Ciudad de Nueva York, desde entonces muchos han sido demolidos, el edificio de la Western Unión fue construido en 1,872. El edificio de Evening Post era otro mueble empotrado en el perfil de Nueva York, y la torre Liberty todavía está de pie como una marca de construcción de mampostería.

La Revolución Industrial trajo acero y madera a primera plana como materiales de construcción, y el uso del concreto fue perfeccionado. Sin embargo, la mampostería ha sido siempre la elección de los constructores debido a tres características únicas:

- Eficiencia de construcción: los edificios de mampostería usan un proceso automático de montar unidades estándar (Bloques). Esto permite costos de mano de obra más bajos, la facilidad de la construcción, y la eficiencia en conjunto cuando se compara con los otros métodos modernos.
- Resistencia de fuego: el rendimiento a largo plazo en la resistencia de fuego de la mampostería es insuperable. Solamente las estructuras de

concreto reforzado pueden poderse comparar con la mampostería reforzada con respecto a esto, pero la mampostería reforzada tiene una clasificación de eficiencia de construcción más baja.

- **Fuerza y ductilidad:** la mampostería tiene propiedades de compresión excelentes que proveen la fuerza, y reforzada con acero provee ductilidad. Aunque el refuerzo es un nuevo concepto en la mampostería -introducido en el siglo veinte- las características originales de la mampostería fueron definidas por el peso. Una mole de la mampostería crea grandes cargas muertas verticales que resisten las cargas laterales. La ductilidad previene el fracaso y, en áreas propensas a una alta actividad sísmica, provee el seguro contra el daño de los sismos de gran magnitud.

## **1.2 Tipos de estructuras**

A continuación se presenta una clasificación de la mampostería como conjunto, según sus funciones estructurales y arquitectónicas.

### **1.2.1 Clasificación según sus funciones estructurales**

La función estructural está ligada a la capacidad del muro para soportar o no carga, diferente a la de su propio peso, por lo cual se tendrán los siguientes tipos de mampostería:

#### **1.2.1.1 No portante**

Es aquella cuya función principal es la de conformar muros que sirvan para dividir espacios, sin tener una función expresa o tácita de

soportar techos o niveles superiores. Este tipo de mampostería conforma las particiones o fachadas en edificios con sistemas portantes en pórticos de concreto, acero o, incluso, madera.

#### **1.2.1.1.1 En muros exteriores**

Las condiciones de exposición en fachadas, fundaciones, etc., donde puede haber presencia de agua al menos por un lado del muro, sea este portante o no, conlleva la necesidad de unidades de baja permeabilidad y absorción con el fin de impedir la entrada de agua a través del muro. Por supuesto, este fenómeno se ve muy reducido cuando el muro es protegido, adicionalmente, por medio de revoques, pinturas, hidrófugos, etc. Desde el punto de vista de la resistencia, no se presenta como factor crítico, siempre y cuando soporte la intemperie y sea estable con el tiempo.

#### **1.2.1.1.2 En muros interiores**

En muros interiores o particiones, las condiciones son las mínimas, pues se entiende que ni desde el punto de vista de cargas ni desde el hidráulico o térmico se van a presentar solicitaciones importantes. En estas condiciones merece un cuidado especial la uniformidad y estabilidad dimensional de las unidades, con el fin de reducir la cantidad de materiales de acabado y evitar la fisuración de los muros por separación de las unidades y el mortero.

### **1.2.1.2 Portante**

La mampostería portante impone, adicionalmente a las características enunciadas anteriormente, de acuerdo al tipo de exposición, la necesidad de una resistencia superior en los elementos, suficiente para soportar las cargas que debe soportar, o que tengan una resistencia tal que se diseñe la estructura para ella. Esto en cuanto a las unidades, pero como conjunto, aparece la participación del refuerzo, lo que le ha dado la dimensión que posee la mampostería en la actualidad, dentro de los sistemas estructurales.

#### **1.2.1.2.1 Según el refuerzo**

La presencia del refuerzo en la mampostería determinó su liberación, como sistema estructural, de las ataduras de las resistencias a la compresión, tracción y cortante.

##### **1.2.1.2.1.1 No reforzada (tradicional o simple)**

Aunque se hable de mampostería portante, durante mucho tiempo se utilizó mampostería sin refuerzo, de la misma manera como se había venido utilizando la mampostería de arcilla. Esto ya no es posible a la luz de los códigos de estructuras modernos, pero se cuenta en el medio con un sinnúmero de obras ejecutadas de esta manera durante la década de los años 50 y 60; y aún hoy en día con algunas, que dada su magnitud o por no estar bajo los controles de las entidades encargadas de realizarlos, se continúan realizando de este modo.

#### **1.2.1.2.1.2 Reforzada (estructural)**

La mampostería estructural reforzada ha hecho posible extender el concepto histórico de la mampostería a estructuras de paredes mucho más delgadas y con alturas de hasta 20 pisos, nivel hasta el que se considera económicamente factible construir edificios de mampostería de concreto. En nuestro medio, si bien se han logrado estructuras de hasta unos 14 pisos, predomina la utilización de la mampostería estructural para viviendas de uno y dos niveles y para multifamiliares de 5 pisos, conformando unidades de gran tamaño.

#### **1.2.1.2.2 Según el material**

Como en otros campos, el concreto compite con la arcilla en el de la mampostería estructural.

##### **1.2.1.2.2.1 Todo concreto**

La mampostería estructural “todo concreto” es, antes que una alternativa, una verdadera posibilidad técnica por permitir realizar todo el edificio de manera modular y utilizando un número muy limitado de recursos, en cuanto a materiales, todos ellos fundamentados en el uso del cemento (morteros de inyección, morteros de pega, bloques de concreto, losas de concreto, etc.).

#### **1.2.1.2.2 Combinada con otros materiales**

A pesar de lo anterior, la mampostería de concreto debe competir técnica y económicamente con la de arcilla, en aquellos lugares, donde están disponibles ambas alternativas. Pero la competencia no es excluyente, sino que en muchos lugares donde se ha tenido tradicionalmente una arquitectura con fachadas de arcilla, se conserva este material en la fachada y se construye el interior en mampostería de concreto, aportando ambos su función estructural.

### **1.2.2 Clasificación según sus funciones arquitectónicas**

Los numerales anteriores han hecho referencia a la función estructural de la mampostería de concreto, la cual puede estar o no ligada a su función arquitectónica de acuerdo tan sólo a la forma física que se le haya dado a las unidades.

#### **1.2.2.1 Sencilla**

Se plantea entonces la posibilidad de tener una mampostería sencilla, elaborada con unidades planas lisas, cuya principal virtud sería la uniformidad total en color, textura y proceso constructivo, para conformar paredes que deben lucirse por sí mismas, sin más atributos desde el punto de vista arquitectónico.

### **1.2.2.2 Con acabados no estructural**

Cuando las unidades se producen con algún tipo de acabados tradicionales y/o especiales, se abre todo un universo de combinaciones disponibles para el diseñador, que puede aprovechar para sacar el máximo provecho posible del sistema, tanto desde el punto de vista estructural como desde el arquitectónico.

### **1.2.2.3 Unidades con acabados estructural**

Al considerar los acabados se plantea la posibilidad de tener el acabado integrado a la unidad portante o estructural, lo que reduce considerablemente el costo de construcción del muro de fachada. Pero esto implica tener unos cuidados necesarios para asegurar su estanqueidad y calidad estética al mismo tiempo.

### **1.2.2.4 Según su empleo en el edificio**

Cuando en un medio aparece la mampostería de concreto como un sistema nuevo, disponible para que tanto los ingenieros estructurales como los arquitectos hagan uso de ellos, casi siempre es acogido más fácilmente por los primeros que por los segundos, a pesar de que para ambos profesionales implica aprender a utilizarlo de manera diferente a la de cualquier otro material.

### **1.2.2.5 Por escala**

A este respecto se hace mención de la utilización de la mampostería de concreto como material de fachada, según el diseño elaborado por

el arquitecto. El porcentaje del área de esta, recubierto con elementos de concreto, bien sean unidades portantes o fachaletas, evoluciona muy comúnmente de ciertos detalles o formas, como balcones, antepechos en ventanas, muros de basamentos, etc., hasta recubrir completamente el edificio, pasando por una etapa intermedia de grandes muros en mampostería que contrastan con acentos en otros materiales. En estos casos aparece un fenómeno interesante y es que cuando se tienen superficies muy grandes, la unidad pierde su identidad y se convierte sólo en una textura para la gran superficie, especialmente si la mampostería fue muy bien ejecutada y los materiales son muy uniformes. A este fenómeno contribuye el hecho de pintar la mampostería, lo que le da todavía mayor uniformidad.

#### **1.2.2.6 Acabado integrado al muro de fachada**

Ya se hizo mención de la posibilidad de integrar el acabado al muro de fachada por medio del empleo de bloques con acabados. Sin embargo, esto implica tener unos controles mucho más estrictos en la construcción, tanto en el alineamiento de los muros y bordes de losas como en el aseo de ésta y en la correcta ejecución de las juntas de dilatación entre pisos, porque este tipo de fachada es intocable. Cualquier desalineamiento o error en la modulación será altamente visible.

#### **1.2.2.7 Fachaleta completa del muro de fachada**

La fachaleta de mampostería, por el contrario, ofrece la posibilidad de corregir defectos, desalineamientos o adiciones a un muro o fachada, haciendo uniforme su apariencia externa.

#### **1.2.2.8 Construcción nueva**

La fachaleta en construcción nueva posee un costo bastante elevado, pues requiere levantar la estructura portante, el muro de cerramiento (los cuales pueden ser uno solo en la mampostería estructural), disponer de las fijaciones y colocar el mortero de adherencia, que la hace casi siempre, más costosa que la alternativa con bloque con acabado incorporado o los muros lisos revocados y pintados.

#### **1.2.2.9 Construcción existente**

En reformas la situación es diferente porque simplemente compete con otros recubrimientos y es muy económica cuando se han hecho alteraciones al paramento y es necesario uniformar su superficie, lo que resulta muy costoso con otros rellenos de mortero y concreto para tener que revocar luego y recubrirlos con otros acabados.

#### **1.2.2.10 Combinada con otros materiales**

Es muy frecuente que, en función del estilo arquitectónico imperante o que se quiera respetar, de los materiales disponibles (entre ellos, diferentes posibilidades de unidades y fachaletas de concreto) y de la capacitación de la mano de obra, se utilice la combinación de elementos de mampostería de concreto con otros de arcilla y con material complementario para detalles como azulejos de cerámica, superficies lisas revocadas (pintadas o no), superficies de vidrio, etc. De la eficiencia en combinar estos recursos disponibles depende en buen grado la aceptación de la mampostería de concreto como material de fachada.

### **1.2.2.11 Por imagen**

Cada material posee una calidad intrínseca que se transmite a quien lo observa y le imprime carácter a la edificación. De la misma manera como se ha asignado a la ligera la frialdad al concreto, se le ha calificado de cálido a la arcilla cocida, de impersonal al vidrio espejo y de industrial al metal. Sin embargo, se ha observado que la mampostería de concreto ha ido haciendo campo en lugares específicos:

#### **1.2.2.11.1 De seguridad**

La construcción en concreto, en general, infunde un sentido de fortaleza especial, lo que unido a su resistencia real, permite diseñar estructuras resistentes y seguras al ataque, aun con explosivos. Este carácter no le es esquivo a la mampostería de concreto que, dada la multiplicidad de acabados y ante la posibilidad de rellenar y reforzar las celdas, permite construir estructuras que no sólo parezcan sino que sean verdaderamente resistentes, brindando tanto psicológica como realmente seguridad según los parámetros de diseño empleados.

#### **1.2.2.11.2 Estilo arquitectónico**

La realidad, después de todo el recorrido efectuado por las múltiples posibilidades que ofrece la mampostería de concreto es que ésta devuelve en imagen y calidad, la dedicación que los diseñadores hayan tenido para con ella. Para corroborar esto, sólo es necesario recorrer cualquier ciudad, o texto al respecto, y

apreciar cuán diferentes pueden ser diversas obras realizadas con el mismo material, que puede dar una imagen de modernidad o incorporarse dentro de un contexto histórico, reflejar economía y coherencia o derroche de imaginación y forma, en construcciones de bajo costo o en aquellas de primera categoría, en espacios públicos o en la intimidad del hogar; pero siempre mostrando unos de los “múltiples rostros de la mampostería de concreto”.

### **1.3 Clasificación de las estructuras de mampostería**

#### **1.3.1 Según su destino**

Grupo R (residencial) división 3 (viviendas y albergues); residencias de congregaciones (cada una con capacidad para 10 personas o menos) (para una clasificación de resistencia al fuego); sección 310.1 UBC 97.

Categoría 4 (estructuras para destinos estándar) la cual utilizamos para el cálculo del factor de importancia sísmica; en la tabla 16-k UBC 97 (por el método de diseño simplificado).

#### **1.3.2 Edificaciones resistentes al fuego**

Los elementos estructurales de acero, fierro, hormigón y mampostería en edificaciones resistentes al fuego son considerados del tipo I. sección 602 UBC 97.

Los muros y tabiques permanentes deben ser de construcción incombustible resistente al fuego, con excepción de los tabiques permanentes sin carga de construcción con resistencia al fuego de una o

de dos horas que no formen parte de un cerramiento de recinto, los cuales puedan tener madera ignifuga en su sistema.

### 1.3.3 Períodos de resistencia al fuego de muros y tabiques

Unidades de mampostería de hormigón con escoria o piedra pómez expandida, tabla 7-B UBC 97, con un espesor terminado mínimo cara a cara (pulgadas):

**Tabla I** Períodos de resistencia al fuego de muros y tabiques

Período (horas)	4	3	2	1
Espesor (pulgadas)	4.7	4.0	3.2	2.1

### 1.3.4 Requisitos para muros exteriores y protección de aberturas, basados en la ubicación en la propiedad

Tabla 5-A UBC 97.

**Tabla II** Requisitos para muros exteriores y protección de aberturas basados en la ubicación en la propiedad

Muros exteriores		Aberturas
Portantes	No portantes	
No combustible de cuatro horas	No combustible de cuatro horas a menos de 0.90 m *	No se permiten a menos de 0.90 m *

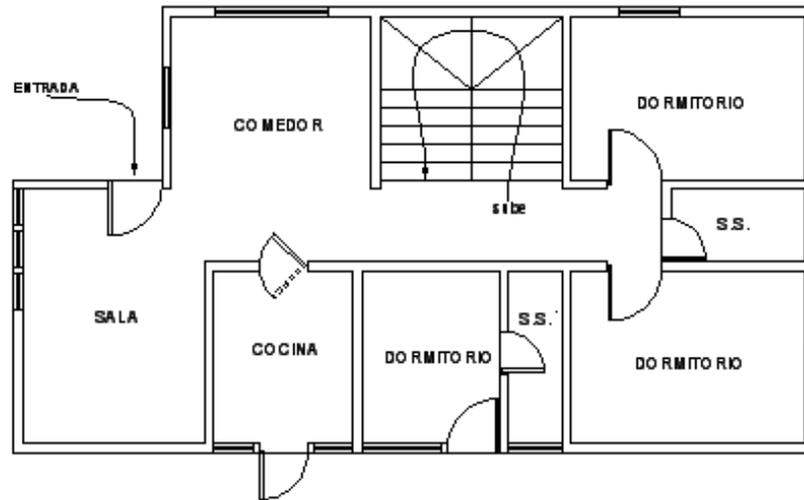
\* Las distancias son de la línea de propiedad



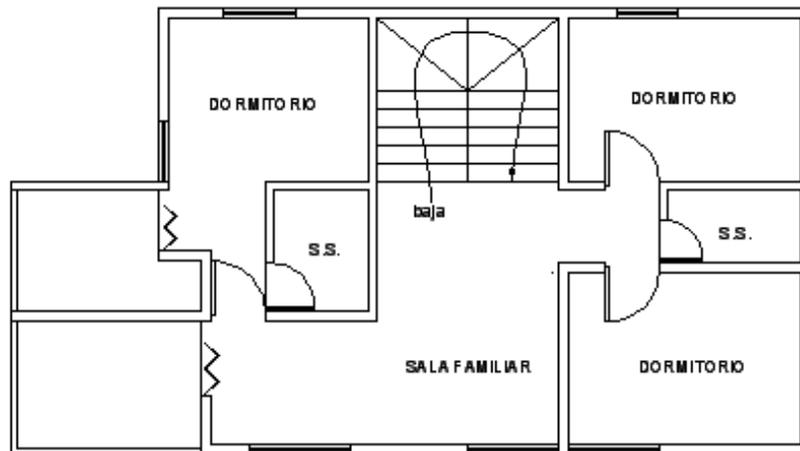
## 2. MEMORIA DE CÁLCULO

Para la comparación de los diferentes sistemas se utilizará una planta típica la cual será definida a continuación:

**Figura 1** Planta de vivienda modelo



PLANTA BAJA



PLANTA ALTA

Para la correcta realización de los cálculos, en los diversos sistemas se utilizarán las mismas propiedades de casi todos los materiales; los cuales son los más comúnmente utilizados:

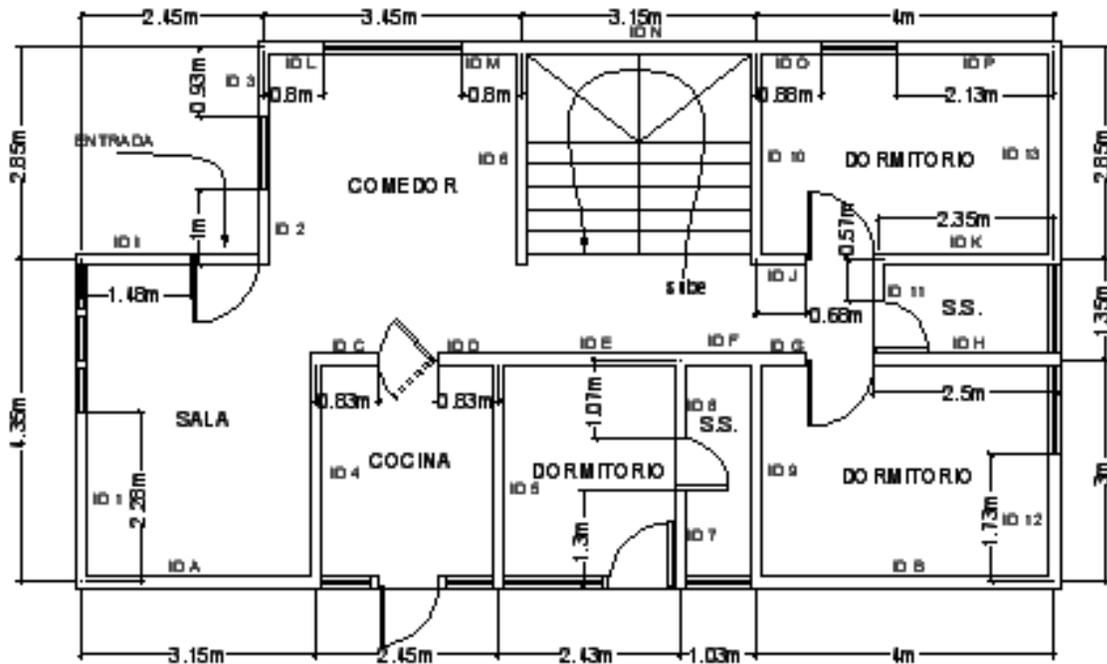
Zona sísmica (Z)	=	4 (clasificación para zonas con alta actividad sísmica)
Tipo de suelo	=	S <sub>D</sub> (según clasificación del Código UBC 97)
Tipo de fuente sísmica (N <sub>v</sub> )	=	A (clasificación del Código UBC 97 para zonas con grandes magnitudes sísmicas y alto grado de actividad sísmica)
Resistencia del concreto	=	280 kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia del acero	=	grado 40 (para sistema tradicional) y grado 230 (para el resto de sistemas)
Resistencia del mamposte	=	35 kg/cm <sup>2</sup>
Alto del primer nivel	=	3.40 m (considerando una altura de piso a cielo de 2.70 m y 0.70 m de profundidad del cimiento)
Alto del segundo nivel	=	2.70 m
Peso de cada unidad	=	11 kg. (Para el sistema tradicional), 27 kg. (Para el sistema 14 X 79 X 20), 13 (para el sistema 12 X 39 X 23) y 16 kg. (para el sistema 14 X 59 X 20)
Espesor de losa entrepiso	=	9 cm
Espesor de losa techo	=	9 cm
Carga viva entrepiso	=	200 kg/m <sup>2</sup>
Carga viva techo	=	100 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga entrepiso-terraza	=	160 kg/m <sup>2</sup>
Grosor de muro	=	12 cm (para el sistema 12 X 39 X 23) y 14 cm (para el resto de sistemas)

Para el refuerzo de los muros se utilizarán dos varillas de 4.98 mm de diámetro nominal (según estándar de la ASTM), para el sistema 14 X 79 X 20; para los demás sistemas alternativos se utilizará una varilla de 7.01 mm de diámetro nominal (según estándar de la ASTM), esto por ser un acero de alta resistencia, para el sistema tradicional se utilizará una varilla de 9.5 mm de diámetro nominal (según estándar de la ASTM).

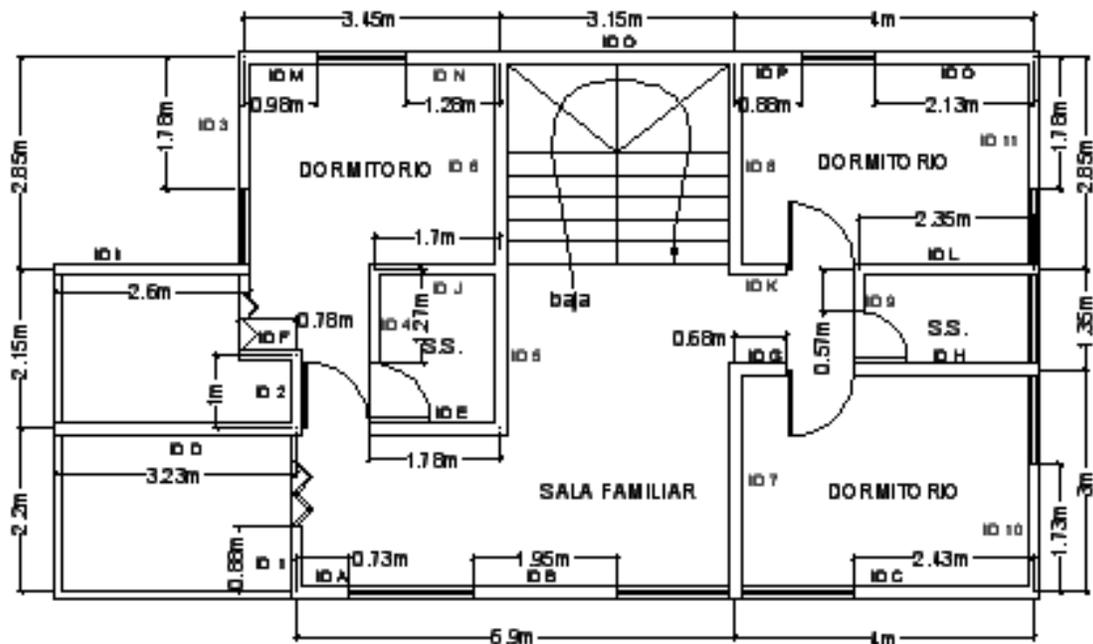
La cuantía mínima establecida tanto para la vertical como para la horizontal es de 0.0007; y la suma de ambas no debe ser menor a 0.002; según UBC sección 2106.1.12.4; y para cuando la cuantía requerida es menor al mínimo en ambas direcciones se coloca como cuantía mínima para la horizontal de 0.0015 y para la vertical 0.0007, puesto que así lo especifica el código; para el sistema tradicional se cumplirá con el mínimo requerido; mientras que para los sistemas alternativos se utilizará una menor cuantía que la especificada por el código UBC 97, tanto en el sentido horizontal como en el vertical dando para ambos un valor mínimo que cumpla con lo teórico y lo experimental

Para la identificación de los muros se utilizará una única nomenclatura para todos los sistemas, la cual será de forma numérica para los muros, cuyo eje de trabajo es el Y; y de forma alfabética para los muros cuyo eje de trabajo es el X tal como lo muestra la Figura 2.

Figura 2 Identificación y cotas de muros



PLANTA BAJA



PLANTA ALTA

Información relacionada con las coordenadas y la longitud de los muros para todos los sistemas:

**Tabla III** Centros de masa y longitudes de muros, nivel 1

ID MURO	COORDENADAS CENTRO GEOMÉTRICO		LONGITUD
	X	Y	
1	0,000	1,140	2,280
2	2,450	4,780	1,000
3	2,450	6,745	0,930
4	3,150	1,500	3,000
5	5,600	1,500	3,000
6	5,600	5,745	2,930
7	8,030	0,615	1,230
8	8,030	2,470	1,080
9	9,050	1,500	3,000
10	9,050	5,775	2,850
11	10,700	4,240	0,780
12	13,050	0,865	1,730
13	13,050	5,775	2,850
A	1,575	0,000	3,150
B	11,050	0,000	4,000
C	3,565	3,000	0,830
D	5,195	3,000	0,830
E	6,815	3,000	2,430
F	8,545	3,000	1,030
G	9,390	3,000	0,680
H	11,845	3,000	2,430
I	0,775	4,350	1,550
J	9,320	4,350	0,680
K	11,875	4,350	2,350
L	2,850	7,200	0,800
M	5,030	7,200	0,800
N	7,475	7,200	3,150
O	9,490	7,200	0,880
P	11,995	7,200	2,130

**Tabla IV** Centros de masa y longitudes de muros, nivel 2

ID MURO	COORDENADAS CENTRO GEOMÉTRICO		LONGITUD
	X	Y	
1	3,150	0,440	0,880
2	3,150	2,700	1,000
3	2,450	6,390	1,780
4	4,200	3,720	1,280
5	5,900	3,275	2,150
6	5,900	5,775	2,850
7	9,050	1,500	3,000
8	9,050	5,775	2,850
9	10,700	3,970	0,780
10	13,050	0,865	1,730
11	13,050	6,390	1,780
A	3,515	0,000	0,730
B	6,505	0,000	1,950
C	11,845	0,000	2,430
D	1,575	2,200	3,150
E	5,020	2,200	1,780
F	2,770	3,200	0,780
G	9,390	3,000	0,680
H	11,845	3,000	2,430
I	1,225	4,350	2,450
J	5,050	4,350	1,700
K	9,390	4,350	0,680
L	11,875	4,350	2,350
M	2,940	7,200	0,980
N	5,270	7,200	1,280
O	7,475	7,200	3,150
P	9,490	7,200	0,880
Q	11,995	7,200	2,130

## 2.1 Sistema 12 X 39 X 23

### 2.1.1 Cálculo del centro de rigidez (CR) y el centro de masa (CM)

#### 2.1.1.1 Centro de masa (CM)

Para el centro de masa se considerará el peso de cada muro y la distancia de su eje geométrico a un eje de referencia previamente establecido; así como también el peso de la losa y el centro de la misma; luego se combinan ambos.

El peso de muro por metro lineal se considera como peso del bloque por número de unidades por metro cuadrado por alto del muro

El peso del bloque es de 13 kg.; el número de unidades por metro cuadrado que caben es de 11.15 u/m<sup>2</sup>; la altura del muro es la especificada con las propiedades generales.

##### 2.1.1.1.1 Primer nivel

A continuación se despliega la información relativa al a planta del primer nivel utilizando los datos de los muros mostrados en la tabla V

**Tabla V** Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 1

ID MURO	PESO MUROS	PESO MURO POR CENTRO	
		X	Y
1	1123,478	0,000	1280,765
2	492,754	1207,246	2355,362
3	458,261	1122,739	3090,970
4	1478,261	4656,522	2217,391
5	1478,261	8278,261	2217,391
6	1443,768	8085,101	8294,448
7	606,087	4866,878	372,743

8	532,174	4273,357	1314,470
9	1478,261	13378,261	2217,391
10	1404,348	12709,348	8110,109
11	384,348	4112,522	1629,635
12	852,464	11124,652	737,381
13	1404,348	18326,739	8110,109
A	1552,174	2444,674	0,000
B	1971,014	21779,710	0,000
C	408,986	1458,033	1226,957
D	408,986	2124,680	1226,957
E	1197,391	8160,222	3592,174
F	507,536	4336,897	1522,609
G	335,072	3146,330	1005,217
H	1197,391	14183,100	3592,174
I	763,768	591,920	3322,391
J	335,072	3122,875	1457,565
K	1157,971	13750,906	5037,174
L	394,203	1123,478	2838,261
M	394,203	1982,841	2838,261
N	1552,174	11602,500	11175,652
O	433,623	4115,084	3122,087
P	1049,565	12589,535	7556,870

$\Sigma$  peso muro = 26795.942 kg.

$\Sigma$  peso muro por (X centro de muro) = 198654.412 kg.

$\Sigma$  peso muro por (Y centro de muro) = 91462.513 kg.

CM de muro =  $\frac{\Sigma \text{ peso muro por centro}}{\Sigma \text{ peso muro}}$

CM en X =  $\frac{198654.412}{26795.942} = 7.413 \text{ m}$

CM en Y =  $\frac{91462.513}{26795.942} = 3.413 \text{ m}$

CM de losa =  $\frac{\text{área de losa por centro losa}}{\text{área de losa}}$

Peso de losa = área por peso distribuido

Área de losa por (X centro de losa) = 571,714 m<sup>3</sup>

Área de losa por (Y centro de losa) = 268,847 m<sup>3</sup>

Área de la losa = 81,937 m<sup>2</sup>

Peso de losa = 81.937 x (0.09x2400 + 160 + 200) = 47196 kg.

CM en X =  $\frac{571.714}{81.937} = 6,902 \text{ m}$

CM en Y =  $\frac{268.847}{81.937} = 2.831 \text{ m}$

CM combinado losa-muro =  $\frac{\text{peso losa por CM} + \text{peso muro por CM}}{\text{peso losa} + \text{peso muro}}$

CM combinado en X =  $\frac{(47196 \times 6.90) + (26795.94 \times 7.41)}{(47196 + 26795.94)} = 7.088 \text{ m}$

CM combinado en Y =  $\frac{(47196 \times 2.831) + (26795.94 \times 3.41)}{(47196 + 26795.94)} = 3.042 \text{ m}$

#### 2.1.1.1.2 Segundo nivel

A continuación se despliega la información relativa al a planta del segundo nivel utilizando los datos de los muros mostrados en la tabla VI

Tabla VI Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 2

ID MURO	PESO MUROS	PESO MURO POR CENTRO	
		X	Y
1	386,100	1216,215	169,884
2	438,750	1382,063	1184,625
3	780,975	1913,389	4990,430
4	561,600	2358,720	2089,152
5	943,313	5565,544	3089,348

6	1250,438	7377,581	7221,277
7	1316,250	11912,063	1974,375
8	1250,438	11316,459	7221,277
9	342,225	3661,808	1358,633
10	759,038	9905,439	656,567
11	780,975	10191,724	4990,430
A	320,288	1125,811	0,000
B	855,563	5565,434	0,000
C	1066,163	12628,695	0,000
D	1382,063	2176,748	3040,538
E	780,975	3920,495	1718,145
F	342,225	947,963	1095,120
G	298,350	2801,507	895,050
H	1066,163	12628,695	3198,488
I	1074,938	1316,798	4675,978
J	745,875	3766,669	3244,556
K	298,350	2801,507	1297,823
L	1031,063	12243,867	4485,122
M	429,975	1264,127	3095,820
N	561,600	2959,632	4043,520
O	1382,063	10330,917	9950,850
P	386,100	3664,089	2779,920
Q	934,538	11209,777	6728,670

$\Sigma$  peso muro = 21766.388 kg.

$\Sigma$  peso muro por (X centro de muro) = 158153.734 kg.

$\Sigma$  peso muro por (Y centro de muro) = 85195.598 kg.

CM de muro =  $\frac{\Sigma \text{ peso muro por centro}}{\Sigma \text{ peso muro}}$

CM en X =  $\frac{158153.734}{21766.388} = 7.266 \text{ m}$

CM en Y =  $\frac{85195.598}{21766.388} = 3.914 \text{ m}$

$$\text{CM de losa} = \frac{\text{área de losa por centro losa}}{\text{área de losa}}$$

Peso de losa = área por peso distribuido

$$\text{Área de losa por (X centro de losa)} = 619.623 \text{ m}^3$$

$$\text{Área de losa por (Y centro de losa)} = 291.722 \text{ m}^3$$

$$\text{Área de la losa} = 79.012 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso de losa} = 79.012 \times (0.09 \times 2400 + 160 + 100) = 37610 \text{ kg.}$$

$$\text{CM en X} = \frac{619.623}{79.012} = \mathbf{7.767 \text{ m}}$$

$$\text{CM en Y} = \frac{291.722}{79.012} = \mathbf{3.692 \text{ m}}$$

$$\text{CM combinado losa-muro} = \frac{\text{peso losa por CM} + \text{peso muro por CM}}{\text{peso losa} + \text{peso muro}}$$

$$\text{CM combinado en X} = \frac{(37610 \times 7.77) + (21766.39 \times 7.26)}{(37610 + 21766.39)} = \mathbf{7.583 \text{ m}}$$

$$\text{CM combinado en Y} = \frac{(37610 \times 3.69) + (21766.39 \times 3.91)}{(37610 + 21766.39)} = \mathbf{3.773 \text{ m}}$$

### 2.1.1.2 Centro de rigidez (CR)

Los únicos que contribuyen en el centro de rigidez en el sistema son los elementos verticales del edificio; por consiguiente se calculará la rigidez de los muros que integran el sistema y la distancia de su eje geométrico a un eje de referencia establecido en la Tabla IV.

Para el cálculo de la rigidez de los muros se utilizará la ecuación

$$K = \frac{I}{L}$$

$$I = \left(\frac{1}{12}\right)TL^3$$

Donde:

K = rigidez relativa

I = inercia del muro

L = longitud del muro

T = espesor del muro

### 2.1.1.2.1 Primer nivel

A continuación se despliega la información relativa a la planta del primer nivel utilizando los datos de los muros mostrados en la tabla VII

**Tabla VII** Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 1

ID MURO	RIGIDEZ DE MUROS		CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y	X	Y
1	0,001	0,015	0,001	0,000
2	0,000	0,003	0,002	0,007
3	0,000	0,003	0,002	0,006
4	0,001	0,026	0,002	0,083
5	0,001	0,026	0,002	0,148
6	0,001	0,025	0,006	0,141
7	0,000	0,004	0,000	0,036
8	0,000	0,003	0,001	0,028
9	0,001	0,026	0,002	0,240
10	0,001	0,024	0,006	0,216
11	0,000	0,002	0,001	0,019
12	0,001	0,009	0,001	0,115
13	0,001	0,024	0,006	0,312
A	0,029	0,001	0,000	0,002
B	0,047	0,001	0,000	0,016
C	0,002	0,000	0,006	0,001
D	0,002	0,000	0,006	0,002
E	0,017	0,001	0,052	0,006

F	0,003	0,000	0,009	0,003
G	0,001	0,000	0,004	0,002
H	0,017	0,001	0,052	0,010
I	0,007	0,001	0,031	0,000
J	0,001	0,000	0,006	0,002
K	0,016	0,001	0,071	0,010
L	0,002	0,000	0,014	0,001
M	0,002	0,000	0,014	0,001
N	0,029	0,001	0,210	0,008
O	0,002	0,000	0,016	0,003
P	0,013	0,001	0,096	0,009

$\Sigma$  Rigidez muro X = 0.202

$\Sigma$  Rigidez muro Y = 0.201

$\Sigma$  Rigidez muro por (X centro de muro) = 0.617

$\Sigma$  Rigidez muro por (Y centro de muro) = 1.428

CR de muro =  $\frac{\Sigma \text{ Rigidez muro por centro en sentido perpendicular}}{\Sigma \text{ Rigidez muro en sentido perpendicular}}$

CR en X =  $\frac{1.428}{0.201} = 7.086 \text{ m}$

CR en Y =  $\frac{0.617}{0.202} = 3.051 \text{ m}$

### 2.1.1.2.2 Segundo nivel

A continuación se despliega la información relativa a la planta del segundo nivel utilizando los datos de los muros mostrados en la tabla VIII

Tabla VIII Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 2

ID MURO	RIGIDEZ DE MUROS		CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y	X	Y
1	0,000	0,003	0,000	0,009
2	0,000	0,004	0,001	0,012

3	0,001	0,012	0,005	0,029
4	0,001	0,006	0,002	0,025
5	0,001	0,017	0,003	0,101
6	0,001	0,030	0,007	0,177
7	0,001	0,033	0,002	0,302
8	0,001	0,030	0,007	0,272
9	0,000	0,002	0,001	0,024
10	0,001	0,011	0,001	0,145
11	0,001	0,012	0,005	0,153
A	0,002	0,000	0,000	0,001
B	0,014	0,001	0,000	0,006
C	0,022	0,001	0,000	0,013
D	0,037	0,001	0,081	0,002
E	0,012	0,001	0,026	0,004
F	0,002	0,000	0,007	0,001
G	0,002	0,000	0,005	0,003
H	0,022	0,001	0,066	0,013
I	0,022	0,001	0,097	0,001
J	0,011	0,001	0,047	0,004
K	0,002	0,000	0,007	0,003
L	0,020	0,001	0,089	0,012
M	0,004	0,000	0,026	0,001
N	0,006	0,001	0,044	0,003
O	0,037	0,001	0,265	0,010
P	0,003	0,000	0,021	0,004
Q	0,017	0,001	0,121	0,011

$\Sigma$  Rigidez muro X = 0.242

$\Sigma$  Rigidez muro Y = 0.173

$\Sigma$  Rigidez muro por (X centro de muro) = 0.935

$\Sigma$  Rigidez muro por (Y centro de muro) = 1.342

CR de muro =  $\frac{\Sigma \text{ Rigidez muro por centro en sentido perpendicular}}{\Sigma \text{ Rigidez muro en sentido perpendicular}}$

CR en X =  $\frac{1.342}{0.173} = 7.747 \text{ m}$

$$\text{CR en Y} = \frac{0.935}{0.242} = 3.860 \text{ m}$$

### 2.1.2 Cálculo de la excentricidad de configuración y excentricidad de diseño

La excentricidad de configuración es la que existe entre la diferencia del centro de masa y el centro de rigidez; sin colocarle el aumento en la excentricidad que exigen los códigos; que al considerárselo es excentricidad de diseño.

Excentricidad de configuración = ICM – CRI

Excentricidad de diseño = ICM – CRI + 5% B según UBC 97 sección 1630.6

Excentricidad máxima de diseño, según código = 15% B

Chequeo de excentricidades = excentricidad de Diseño < excentricidad máxima de diseño según

Donde: código

CM = centro de masa

CR = centro de rigidez

B = base en sentido del eje considerado

#### 2.1.2.1 Primer nivel

Excentricidad de configuración en X = 17.086 – 7.0881 = 0.002 m

Excentricidad de configuración en Y = 13.051 – 3.0421 = 0.009 m

Excentricidad de Diseño en X = 1.5 x 0.002 + 5% (13.20) = 0.663 m

Excentricidad de Diseño en Y = 1.5 x 0.009 + 5% (7.35) = 0.382 m

Excentricidad máxima permitida, según código en X = 15% (13.20) = 1.980 m

Excentricidad máxima permitida, según código en Y = 15% (7.35) = 1.103 m

Chequeo de excentricidades en X =  $0.663 < 1.980 \rightarrow \text{OK}$

Chequeo de excentricidades en Y =  $0.382 < 1.103 \rightarrow \text{OK}$

### **2.1.2.2 Segundo nivel**

Excentricidad de configuración en X =  $17.747 - 7.5831 = 0.164 \text{ m}$

Excentricidad de configuración en Y =  $13.860 - 3.7731 = 0.086 \text{ m}$

Excentricidad de Diseño en X =  $1.5 \times 0.164 + 5\% (13.20) = 0.906 \text{ m}$

Excentricidad de Diseño en Y =  $1.5 \times 0.086 + 5\% (7.35) = 0.497 \text{ m}$

Excentricidad máxima permitida según código en X =  $15\% (13.20) = 1.980 \text{ m}$

Excentricidad máxima permitida según código en Y =  $15\% (7.35) = 1.103 \text{ m}$

Chequeo de excentricidades en X =  $0.906 < 1.980 \rightarrow \text{OK}$

Chequeo de excentricidades en Y =  $0.864 < 0.497 \rightarrow \text{OK}$

### **2.1.3 Determinación de la carga lateral**

La determinación de la carga lateral se realizará con forme al UBC 97 considerando el incremento de corte por torsión.

#### **2.1.3.1 Cálculo del corte basal**

##### **2.1.3.1.1 Procedimientos por métodos estáticos**

Para el cálculo del corte basal el UBC 97 nos permite para estructuras para cuya categoría de destino es 4 o 5 que no excede los 3 niveles de altura utilizar el método de Diseño Simplificado (sección 1630.2.1); el cual se describe a continuación:

El cálculo del corte basal es determinado por:

$$V = \frac{C_v I}{RT} W \quad (30-4)$$

Pero no necesita ser mayor que:

$$V = \frac{2.5C_a I}{R} W \quad (30-5)$$

Y no ser menor a:

$$V = 0.11C_a I W \quad (30-6)$$

Para la zona sísmica 4 no debe ser menor a:

$$V = \frac{0.8ZN_v I}{R} W \quad (30-7)$$

Donde:

$$\begin{aligned} T &= C_t (h_n)^{3/4} \quad (30-8) \\ C_v &= 0.64N_v \\ C_a &= 0.44N_a \end{aligned}$$

Del código UBC 97 se determinan los valores necesarios para el cálculo del corte basal por el método de Diseño Simplificado en las tablas del capítulo 16 del volumen 2.

Factores para el cálculo:

I = factor de importancia dado en la tabla 16-K.

R = factor numérico que engloba la ductilidad y la resistencia a la carga lateral de la estructura, dado en la tabla 16-N y 16-P.

Tipo de suelo = determinado en las propiedades iniciales para todos los sistemas

Ca = coeficiente sísmico, dado en la tabla 16-Q.

$N_a$  = coeficiente para la determinación del factor  $C_a$ , el cual es determinado por la distancia de las fallas sísmicas, dado en la tabla 16-S.

$Z$  = clasificación de zonificación sísmica dada en las condiciones iniciales

$C_v$  = coeficiente sísmico determinado por la zonificación sísmica y el tipo de suelo, dado en la tabla 16-R

$N_v$  = factor determinado por la distancia a fallas probables y tipo de fuente sísmica (determinada en las condiciones iniciales)

$T$  = período fundamental propio de la estructura, determinado según el Método A del código UBC 97.

$C_t$  = factor determinado por el tipo de sistema estructural

$h_n$  = altura desde la base al nivel en consideración

$W$  = peso total de la estructura más el 25% de la carga viva

$I = 1$

$R = 4.5$

Tipo de suelo = SD

$N_a = 1.2$

$C_a = 0.44 \times N_a = 0.44 \times 1.2 = 0.528$

$Z = 0.4$

$N_v = 1.6$

$C_v = 0.64 \times N_v = 0.64 \times 1.6 = 1.024$

$C_t = 0.0488$

$h_n = 6.1 \text{ m}$

$T = C_t \times h_n^{3/4} = 0.0488 \times 6.1^{3/4} = 0.189 \text{ s}$

$W$  = peso primer nivel + peso segundo nivel

Peso primer nivel = peso muros + peso losa + peso sobrecarga + 25%Viva

Peso primer nivel = 26795.942 + 17698.5 + 13110 + 4096.9 = 61701.317 kg.

Peso segundo nivel = 21766.388 + 17066.7 + 12642 + 1975.3 = 53450.4 kg.

$W = 61701.317 + 53450.4 = 115151.72 \text{ kg.}$

El cálculo del corte basal es determinado por:

$$V = \frac{1.024 \times 1}{4.5 \times 0.189} (115151.72) = 86461.08 \text{ kg} \quad (30-4)$$

Pero no necesita ser mayor que:

$$V = \frac{2.5(0.528)(1)}{4.5} (115151.72) = 28148.2 \text{ kg} \quad (30-5)$$

Y no ser menor a:

$$V = 0.11(0.528)(1)(115151.72) = 5573.34 \text{ kg} \quad (30-6)$$

Para la zona sísmica 4 no debe ser menor a:

$$V = \frac{0.8(0.4)(1.6)(1)}{4.5} (115151.72) = 8188.57 \text{ kg} \quad (30-7)$$

Como la ecuación (30 - 4) es mayor a la ecuación (30 - 5) y el código UBC 97 nos permite utilizar la ecuación (30 - 5) como la máxima expresión para el método de diseño simplificado.

### 2.1.3.1.2 Distribución de fuerzas por nivel

Para la distribución de las fuerzas por nivel el código UBC 97 nos indica que debe hacerse en concordancia con las ecuaciones 30-13, 30-14 y 30-15 dadas en la sección 1630.5.

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i \quad (30-13)$$

La fuerza concentrada en la cúspide  $F_t$ , es determinada por la ecuación:

$$F_t = 0.07TV \quad (30-14)$$

El valor de T utilizado para calcular  $F_t$  debe ser el correspondiente al utilizado en el cálculo del corte basal con la ecuación (30-4).  $F_t$  no necesita ser mayor a 0.25 V y debe ser considerado cero cuando T es 0.7 segundos o menos. La restante porción del corte basal debe ser distribuida conforme al peso de la estructura, incluyendo el Nivel  $n$ , de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F_x = \frac{(V - F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (30-15)$$

En el nivel designado x, la fuerza  $F_x$  debe ser aplicada en el área de la estructura en concordancia con la distribución de la masa por nivel. Desplazamientos estructurales y diseño de fuerzas sísmicas deben ser calculados por efectos de las fuerzas  $F_x$  y  $F_t$  aplicadas de forma apropiadas en los niveles sobre la base.

#### **2.1.3.1.2.1 Fuerza en la cúspide ( $F_t$ )**

La fuerza en la cúspide de la estructura que se está analizando es considerada cero por tener un período fundamental T menor a 0.7 segundos como es indicado en la parte anterior.

#### **2.1.3.1.2.2 Fuerzas por nivel ( $F_x$ )**

Fuerza primer nivel:

$$F_1 = \frac{(28148.2)(61701.317)(3.4)}{[(61701.317)(3.4)][(53450.4)(6.1)]} = 11020.35 \text{ kg}$$

Fuerza segundo nivel:

$$F_2 = \frac{(28148.2)(53450.4)(6.1)}{[(61701.317)(3.4)][(53450.4)(6.1)]} = 17127.85 \text{ kg}$$

### 2.1.3.1.3 Determinación de la carga lateral por muro

El cortante en el nivel  $V_x$  es la suma de las fuerzas  $F_t$  y  $F_x$  sobre ese nivel; el cortante  $V_x$  debe ser distribuido en los elementos resistentes a cargas laterales del piso en proporción a sus rigideces, considerando la rigidez del diafragma horizontal.

$$V_x = F_t + \sum_{i=1}^n F_x \quad (30-13)$$

$$V_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i} V_x$$

#### 2.1.3.1.3.1 Primer nivel

A continuación se despliega la información relativa a la distribución de cargas laterales, según la rigidez de cada muro, según lo descrito con anterioridad, mostrada en la tabla IX

**Tabla IX** Distribución de cargas laterales en muros, nivel 1

ID MURO	CARGA LATERAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	112,04599	2136,134
2	49,142979	410,9214
3	45,702971	355,4059
4	147,42894	3698,293
5	147,42894	3698,293
6	143,98893	3527,719
7	60,445864	621,683
8	53,074417	479,2987
9	147,42894	3698,293

10	140,05749	3337,709
11	38,331524	250,0046
12	85,017354	1229,847
13	140,05749	3337,709
A	4063,5101	155,3283
B	6552,3972	197,2423
C	282,12165	40,92777
D	282,12165	40,92777
E	2418,2031	119,8247
F	434,46489	50,78988
G	189,36428	33,53119
H	2418,2031	119,8247
I	983,88339	76,43138
J	189,36428	33,53119
K	2261,6009	115,8798
L	262,09589	39,44845
M	262,09589	39,44845
N	4063,5101	155,3283
O	317,13603	43,3933
P	1857,9732	105,0315

Chequeo de la distribución de cargas

$\Sigma$  de cargas laterales en muro =  $V_x$

$\Sigma$  de cargas laterales en X = 28148.2 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

$\Sigma$  de cargas laterales en Y = 28148.2 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

### 2.1.3.1.3.2 Segundo nivel

A continuación se despliega la información relativa a la distribución de cargas laterales, según la rigidez de cada muro, según lo descrito con anterioridad, mostrada en la tabla X

**Tabla X** Distribución de cargas laterales en muros, nivel 2

ID MURO	CARGA LATERAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	27,644773	283,645
2	31,414515	366,2771
3	55,917837	1160,512
4	40,210579	600,1083
5	67,541208	1693,116
6	89,531368	2975,085
7	94,243546	3296,494
8	89,531368	2975,085
9	24,503322	222,843
10	54,347111	1096,231
11	55,917837	1160,512
A	139,50663	32,08587
B	995,44745	85,70883
C	1545,8298	106,8064
D	2597,5877	138,4527
E	829,44792	78,23678
F	159,27159	34,28353
G	121,0506	29,88821
H	1545,8298	106,8064
I	1571,3802	107,6855
J	756,56624	74,72052
K	121,0506	29,88821
L	1445,7222	103,2901
M	251,42084	43,07418
N	428,91285	56,26016
O	2597,5877	138,4527
P	202,72834	38,67886
Q	1187,7043	93,62042

Chequeo de la distribución de cargas

$\Sigma$  de cargas laterales en muro =  $V_x$

$\Sigma$  de cargas laterales en X = 17127.85 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

$\Sigma$  de cargas laterales en Y = 17127.85 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

### **2.1.3.2 Cálculo del incremento de carga por torsión**

Cuando el diafragma horizontal se considera rígido. Se deben considerar los incrementos del esfuerzo cortante que resulta de la torsión horizontal. La distribución de la carga a los soportes es proporcional a sus rigideces relativas y es independiente del área tributaria soportada.

El diafragma que se está considerando en la estructura es un diafragma rígido por lo que se calcularán los efectos por torsión; si el diafragma fuera flexible el cálculo del incremento de la torsión no se tendría que considerar puesto que este absorbería parte de la carga sísmica y no la transmitiría al resto de la estructura.

#### **2.1.3.2.1 Cálculo del momento torsionante (T)**

El centro de rigideces es aquel punto alrededor del cual la estructura tiende a rotar cuando está sujeta a una fuerza excéntrica. En el caso de la fuerza sísmica, ésta actúa en el centro de masas de la estructura y el momento torsor es el producto de la fuerza sísmica y la excentricidad del centro de masas con respecto al centro de rigideces.

Ecuación que describe la forma de suposición:

$$\pm 100\%V_x e_y \pm 30\%V_y e_x$$

$$\pm 100\%V_y e_x \pm 30\%V_x e_y$$

### 2.1.3.2.1.1 Primer nivel

$$\begin{aligned}100\%(28148.2)(0.663) + 30\%(28148.2)(0.382) &= 21878.28 \text{ kg} - m \\100\%(28148.2)(0.663) - 30\%(28148.2)(0.382) &= 15433.06 \text{ kg} - m \\-100\%(28148.2)(0.663) + 30\%(28148.2)(0.382) &= -15433.06 \text{ kg} - m \\-100\%(28148.2)(0.663) - 30\%(28148.2)(0.382) &= -21878.28 \text{ kg} - m \\100\%(28148.2)(0.382) + 30\%(28148.2)(0.663) &= 16338.73 \text{ kg} - m \\100\%(28148.2)(0.382) - 30\%(28148.2)(0.663) &= 5145.32 \text{ kg} - m \\-100\%(28148.2)(0.382) + 30\%(28148.2)(0.663) &= -5145.32 \text{ kg} - m \\-100\%(28148.2)(0.382) - 30\%(28148.2)(0.663) &= -16338.73 \text{ kg} - m\end{aligned}$$

El valor máximo de la torsión es 21878.28 kg.-m este es el que se utilizará para el cálculo en el primer nivel.

### 2.1.3.2.1.2 Segundo nivel

$$\begin{aligned}100\%(17127.85)(0.906) + 30\%(17127.85)(0.497) &= 18072.10 \text{ kg} - m \\100\%(17127.85)(0.906) - 30\%(17127.85)(0.497) &= 12968.25 \text{ kg} - m \\-100\%(17127.85)(0.906) + 30\%(17127.85)(0.497) &= -12968.25 \text{ kg} - m \\-100\%(17127.85)(0.906) - 30\%(17127.85)(0.497) &= -18072.10 \text{ kg} - m \\100\%(17127.85)(0.497) + 30\%(17127.85)(0.906) &= 13162.47 \text{ kg} - m \\100\%(17127.85)(0.497) - 30\%(17127.85)(0.906) &= 3850.36 \text{ kg} - m \\-100\%(17127.85)(0.497) + 30\%(17127.85)(0.906) &= -3850.36 \text{ kg} - m \\-100\%(17127.85)(0.497) - 30\%(17127.85)(0.906) &= -13162.47 \text{ kg} - m\end{aligned}$$

El valor máximo de la torsión es 18072.1 kg.-m este es el que se utilizará para el cálculo en el segundo nivel.

### 2.1.3.2.2 Determinación de la distancia al centro de rigidez ( $d_i$ )

La distancia al centro de rigidez es la distancia que existe entre el centro de rigidez y el centro de rigidez de cada muro

$$d_i = CG_i - CR$$

#### 2.1.3.2.2.1 Primer nivel

A continuación se presenta la información relativa a la distancia al centro de rigidez de los muros relativa al primer nivel, mostrada en la tabla XI

**Tabla XI** Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 1

ID MURO	DISTANCIA AL CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y
1	-7,086	-1,911
2	-4,636	1,729
3	-4,636	3,694
4	-3,936	-1,551
5	-1,486	-1,551
6	-1,486	2,694
7	0,944	-2,436
8	0,944	-0,581
9	1,964	-1,551
10	1,964	2,724
11	3,614	1,189
12	5,964	-2,186
13	5,964	2,724
A	-5,511	-3,051
B	3,964	-3,051
C	-3,521	-0,051
D	-1,891	-0,051
E	-0,271	-0,051
F	1,459	-0,051
G	2,304	-0,051
H	4,759	-0,051

I	-6,311	1,299
J	2,234	1,299
K	4,789	1,299
L	-4,236	4,149
M	-2,056	4,149
N	0,389	4,149
O	2,404	4,149
P	4,909	4,149

### 2.1.3.2.2 Segundo nivel

A continuación se presenta la información relativa a la distancia al centro de rigidez de los muros relativa al segundo nivel, mostrada en la tabla XII

**Tabla XII** Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 2

ID MURO	DISTANCIA AL CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y
1	4,597	3,420
2	4,597	1,160
3	5,297	-2,530
4	3,547	0,140
5	1,847	0,585
6	1,847	-1,915
7	-1,303	2,360
8	-1,303	-1,915
9	-2,953	-0,110
10	-5,303	2,995
11	-5,303	-2,530
A	4,232	3,860
B	1,242	3,860
C	-4,098	3,860
D	6,172	1,660
E	2,727	1,660
F	4,977	0,660
G	-1,643	0,860
H	-4,098	0,860
I	6,522	-0,490
J	2,697	-0,490
K	-1,643	-0,490

L	-4,128	-0,490
M	4,807	-3,340
N	2,477	-3,340
O	0,272	-3,340
P	-1,743	-3,340
Q	-4,248	-3,340

### 2.1.3.2.3 Cálculo del momento de inercia polar (J)

El momento de inercia polar es la suma de todas las rigideces por la distancia al centro de rigidez de los muros que resisten la fuerza lateral;

$$J = \sum_{i=1}^n d_i k_i$$

#### 2.1.3.2.3.1 Primer nivel

A continuación se presenta la información relacionada a la rigidez por la distancia al centro de rigidez, relativa al nivel 1, mostrada en la tabla XIII

**Tabla XIII** Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 1

ID MURO	MOMENTO DE INERCIA POLAR	
	X	Y
1	0,768	0,003
2	0,063	0,001
3	0,055	0,004
4	0,410	0,003
5	0,058	0,003
6	0,056	0,008
7	0,004	0,003
8	0,003	0,000
9	0,102	0,003
10	0,092	0,007
11	0,023	0,000
12	0,313	0,003

13	0,850	0,007
A	0,034	0,272
B	0,022	0,438
C	0,004	0,000
D	0,001	0,000
E	0,000	0,000
F	0,001	0,000
G	0,001	0,000
H	0,019	0,000
I	0,022	0,012
J	0,001	0,002
K	0,019	0,027
L	0,005	0,032
M	0,001	0,032
N	0,000	0,502
O	0,002	0,039
P	0,018	0,230

$\Sigma d_i \times K_i$  en X = 2.948

$\Sigma d_i \times K_i$  en Y = 1.632

Momento de inercia polar, nivel 1 = 4.580

### 2.1.3.2.3.2 Segundo nivel

A continuación se presenta la información relacionada a la rigidez por la distancia al centro de rigidez, relativa al nivel 2, mostrada en la tabla XIV

**Tabla XIV** Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 2

ID MURO	MOMENTO DE INERCIA POLAR	
	X	Y
1	0,061	0,005
2	0,078	0,001
3	0,329	0,005
4	0,076	0,000
5	0,058	0,000

6	0,103	0,005
7	0,057	0,007
8	0,051	0,005
9	0,020	0,000
10	0,312	0,007
11	0,330	0,005
A	0,006	0,029
B	0,001	0,210
C	0,018	0,326
D	0,053	0,101
E	0,006	0,032
F	0,009	0,001
G	0,001	0,001
H	0,018	0,016
I	0,046	0,005
J	0,005	0,003
K	0,001	0,000
L	0,018	0,005
M	0,010	0,040
N	0,003	0,068
O	0,000	0,410
P	0,001	0,032
Q	0,017	0,187

$$\Sigma d_i \times K_i \text{ en X} = 1.689$$

$$\Sigma d_i \times K_i \text{ en Y} = 1.506$$

Momento de inercia polar, nivel 2 = 3.195

#### 2.1.3.2.4 Determinación de la carga por torsión por muro ( $\Delta v$ )

La carga por torsión como se ha descrito al inicio del cálculo de incremento de cortante, debido a torsión ésta se considera únicamente en estructuras con diafragma horizontal rígido; el cálculo del incremento de corte se considera con base a:

$$\Delta V = \frac{Td_i K_i}{J}$$

#### 2.1.3.2.4.1 Primer nivel

A continuación se despliega la información concerniente al incremento de corte en los muros del primer nivel, mostrada en la tabla XV

**Tabla XV** Incremento de carga por torsión en muros, nivel 1

ID MURO	CARGA POR TORSIÓN	
	X (kg)	Y (kg)
1	-517,515	-7,347
2	-65,131	2,914
3	-56,332	5,791
4	-497,663	-7,847
5	-187,865	-7,847
6	-179,201	13,306
7	20,072	-5,052
8	15,475	-1,059
9	248,380	-7,847
10	224,163	13,087
11	30,895	1,563
12	250,796	-6,377
13	680,641	13,087
A	-29,266	-425,390
B	26,735	-685,940
C	-4,927	-0,497
D	-2,646	-0,497
E	-1,109	-4,263
F	2,534	-0,766
G	2,642	-0,334
H	19,498	-4,263
I	-16,492	43,834
J	2,562	8,437
K	18,975	100,760
L	-5,713	37,304
M	-2,773	37,304
N	2,067	578,355
O	3,567	45,138

P	17,630	264,443
---	--------	---------

#### 2.1.3.2.4.2 Segundo nivel

A continuación se despliega la información concerniente al incremento de corte en los muros del segundo nivel, mostrada en la tabla XVI

**Tabla XVI** Incremento de carga por torsión en muros, nivel 2

ID MURO	CARGA POR TORSIÓN	
	X (kg)	Y (kg)
1	74,578	7,564
2	96,304	2,915
3	351,588	-11,322
4	121,749	0,449
5	178,888	3,159
6	314,336	-13,722
7	-245,557	17,793
8	-221,616	-13,722
9	-37,628	-0,217
10	-332,430	13,022
11	-351,923	-11,322
A	7,766	43,083
B	6,090	307,421
C	-25,028	477,394
D	48,874	344,938
E	12,204	110,144
F	9,759	8,406
G	-2,808	8,326
H	-25,028	106,321
I	40,168	-61,665
J	11,527	-29,689
K	-2,808	-4,750
L	-24,382	-56,733
M	11,843	-67,202
N	7,971	-114,643
O	2,157	-694,303
P	-3,854	-54,187
Q	-22,742	-317,459

### 2.1.3.3 Determinación de la carga por sismo total

La carga total por sismo es determinada por la suma entre la carga lateral y el incremento de carga por torsión. Esta carga es la que se utilizará para el diseño de los muros del sistema.

$$V_T = V_x + \Delta V$$

Que el incremento de corte sea negativo, significa que la torsión que se ejerce en la estructura se dirige en contra del desplazamiento del sismo; para efectos de cálculo el incremento de corte negativo no se considera puesto que esto sería restarle carga cortante al muro y subdiseñarlo para los requerimientos del código.

#### 2.1.3.3.1 Primer nivel

Las cargas que se presentan a continuación se presentan las cargas relativas a los muros del primer nivel, estas son las que se utilizarán posteriormente para el diseño de los mismos, mostrada en la tabla XVII.

**Tabla XVII** Cargas totales debidas al sismo, nivel 1

ID MURO	CARGA POR SISMO TOTAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	112,046	2136,134
2	52,057	410,921
3	51,494	355,406
4	147,429	3698,293
5	147,429	3698,293
6	157,295	3527,719
7	60,446	641,755
8	53,074	494,773
9	147,429	3946,673
10	153,145	3561,872

11	39,895	280,899
12	85,017	1480,643
13	153,145	4018,350
A	4063,510	155,328
B	6552,397	223,977
C	282,122	40,928
D	282,122	40,928
E	2418,203	119,825
F	434,465	53,324
G	189,364	36,173
H	2418,203	139,323
I	1027,718	76,431
J	197,801	36,093
K	2362,361	134,855
L	299,400	39,448
M	299,400	39,448
N	4641,865	157,396
O	362,274	46,960
P	2122,417	122,661

### 2.1.3.3.2 Segundo nivel

Las cargas que se presentan a continuación se presentan las cargas relativas a los muros del segundo nivel, estas son las que se utilizarán posteriormente para el diseño de los mismos, mostrada en la tabla XVIII.

**Tabla XVIII** Cargas totales debidas al sismo, nivel 2

ID MURO	CARGA TOTAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	102,2227	291,20912
2	127,7186	369,19183
3	407,5062	1160,5123
4	161,9594	600,5574
5	246,4293	1696,275
6	403,8674	2975,0855
7	94,24355	3314,2871
8	89,53137	2975,0855
9	24,50332	222,84297
10	54,34711	1109,2529

11	55,91784	1160,5123
A	147,2731	75,16925
B	1001,538	393,12964
C	1545,83	584,19998
D	2646,462	483,39114
E	841,6515	188,38068
F	169,0307	42,689242
G	121,0506	38,213962
H	1545,83	213,1272
I	1611,549	107,68546
J	768,0932	74,720522
K	121,0506	29,888209
L	1445,722	103,29013
M	263,2635	43,074183
N	436,8841	56,260157
O	2599,745	138,45273
P	202,7283	38,678858
Q	1187,704	93,620418

#### **2.1.4 Cálculo del refuerzo por muro**

La colocación de refuerzo en el muro se debe a que con la utilización de elementos de menor sección y únicamente resistentes a cargas axiales a compresión se ve afectada la estabilidad de la estructura cuando existen fuerzas dinámicas horizontales que inducen cargas tensoras en los elementos resistentes; por lo tanto nos vemos en la necesidad de utilizar refuerzos que proporcionen esta resistencia faltante a tensión.

##### **2.1.4.1 Cálculo del refuerzo horizontal**

La principal función del refuerzo horizontal es la de resistir las fuerzas de corte que se inducen en el elemento cuando existen fuerzas laterales; comúnmente y por facilidad en la construcción este refuerzo se coloca agrupado en zonas que a la hora de la construcción facilitan la misma, estas zonas son las que se

denominan soleras y se colocan tres o más a lo alto del muro dependiendo la necesidad de colocación.

#### 2.1.4.1.1 Cálculo del momento actuante

El momento actuante no es otro más que el producto de la carga de sismo por la altura del muro.

$$M = V_i h$$

##### 2.1.4.1.1.1 Primer nivel

A continuación se presenta los momentos actuantes para los muros del primer nivel, mostrada en la tabla XIX.

**Tabla XIX** Momentos actuantes en muros, nivel 1

ID MURO	MOMENTO ACTUANTE	
	X (kg-m)	Y (kg-m)
1	380,95637	7262,8548
2	176,99513	1397,1327
3	175,08099	1208,3801
4	501,25839	12574,195
5	501,25839	12574,195
6	534,80355	11994,245
7	205,51594	2181,9659
8	180,45302	1682,2295
9	501,25839	13418,688
10	520,69152	12110,366
11	135,64175	955,05699
12	289,059	5034,1849
13	520,69152	13662,39
A	13815,934	528,11617
B	22278,151	761,52188
C	959,21362	139,15442
D	959,21362	139,15442
E	8221,8907	407,4039

F	1477,1806	181,30165
G	643,83855	122,98808
H	8221,8907	473,69851
I	3494,2407	259,86669
J	672,52316	122,71523
K	8032,0268	458,50763
L	1017,9591	134,12474
M	1017,9591	134,12474
N	15782,342	535,14546
O	1231,7305	159,66549
P	7216,2165	417,04869

#### 2.1.4.1.1.2 Segundo nivel

A continuación se presenta los momentos actuantes para los muros del segundo nivel, mostrada en la tabla XX.

**Tabla XX** Momentos actuantes en muros, nivel 2

ID MURO	MOMENTO ACTUANTE	
	X (kg-m)	Y (kg-m)
1	95,064	967,202
2	92,689	1248,969
3	150,978	4082,672
4	109,781	1949,014
5	190,891	5054,410
6	241,735	8881,438
7	302,500	8900,533
8	241,735	8032,731
9	66,159	601,676
10	181,897	2959,823
11	150,978	3133,383
A	492,993	107,601
B	3517,744	247,857
C	5462,703	288,377
D	7944,821	505,782
E	2536,898	244,189
F	452,729	118,915
G	349,316	80,698

H	4460,807	288,377
I	4242,727	399,206
J	2042,729	232,868
K	326,837	80,698
L	3903,450	278,883
M	678,836	148,276
N	1158,065	173,425
O	7013,487	379,648
P	547,367	104,433
Q	3206,802	252,775

#### 2.1.4.1.2 Cálculo del factor K

El factor de K es el equivalente al factor de “a” en estructuras de concreto, este es utilizado para calcular el área a compresión equivalente de la mampostería; factor determinado según la sección 2107.2.15 del UBC 97 ecuación (7-34):

$$K = \frac{n}{n + \frac{F_s}{F_b}} \quad (7-34)$$

$$F_s = \frac{1}{2} * \frac{1}{3} * f_y$$

$$F_b = \frac{1}{3} * f'_m \quad \text{multiplicar por } \frac{1}{2} \text{ si no se realizan pruebas de inspeccion(7-15)}$$

$$n = \frac{E_s}{E_m}$$

Donde:

n = relación modular entre el módulo de elasticidad del acero y el módulo de elasticidad de la mampostería.

$E_s$  = módulo de elasticidad del acero  $2.03e6 \text{ kg/cm}^2$ , según sección 2106.2.12.2 ecuación (6 – 5) del UBC 97.

$E_m$  = módulo de elasticidad del mamposte  $750f'_m$ , según sección 2106.2.12.1 ecuación (6 – 4) del UBC 97.

$F_b$  = factor de esfuerzo asumido de la mampostería para que esté trabajando en una zona de esfuerzo admisible según sección 2107.2.6 del UBC 97.

$F_s$  = esfuerzo admisible del acero (no mayor a 30000 psi según sección 2107.2.11 inciso 1.2 del UBC. 97). En nuestro caso este requerimiento no se cumplirá, ya que el motivo principal de este trabajo de graduación es el de reducir el requerimiento del acero dentro de los muros sin arriesgar en seguridad (esto quedara demostrado en el capítulo 5 del mismo en el resultado de los ensayos del laboratorio).

$$E_s = 2.03e6 \text{ kg} / \text{cm}^2 \quad (6-5)$$

$$E_m = 750f'_m = 750(35) = 26250 \text{ kg} / \text{cm}^2 \quad (6-4)$$

$$n = \frac{2.03e6}{26250} = 77.33$$

$$F_s = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{3}\right)(16158) = 2693 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

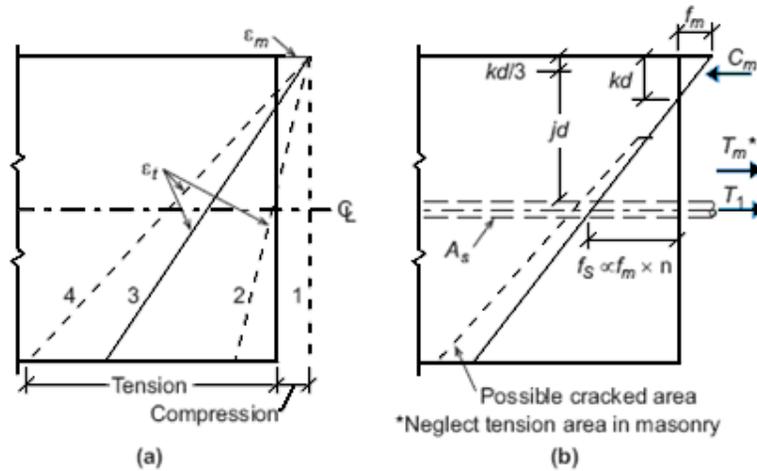
$$F_b = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{3}\right)(35)(1.6) = 9.33 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$K = \frac{77.33}{77.33 + \frac{2693}{9.33}} = 0.21$$

#### 2.1.4.1.3 Cálculo de J

Distancia entre el centro de fuerzas a compresión y el centro de fuerzas a tensión para una distancia  $d$ , esta distancia es para el cálculo del momento interno en el muro.

**Figura 3** Graficación del valor J



Para el cálculo de esta distancia el código UBC 97 utiliza la ecuación (7-35) dada en la sección 2107.2.15.

$$J = 1 - \frac{K}{3} \quad (7-35)$$

$$J = 1 - \frac{0.21}{3} = 0.9295$$

#### 2.1.4.1.4 Determinación de la cuantía por muro

La cuantía del muro es la relación existente entre el área de acero y el área gruesa del muro; la determinación de la cuantía del muro es para poder determinar el área de acero que requiere el muro y para determinar si esta se encuentra dentro de los límites permitidos, el cual el mínimo permitido es de 0.0007 para la cuantía vertical y para la horizontal; y la suma de ambas no debe ser menor a 0.002; para este caso estos límites no se respetaran ya que el objetivo es de colocar una menor cantidad de acero en el sistema, sin que ello afecte la estabilidad y resistencia a la hora de las sollicitaciones de cargas dinámicas; todo esto quedara demostrado en el capítulo 5 del presente.

Para el cálculo de la cuantía el código UBC 97 utiliza la ecuación (7 – 32) dada en la sección 2107.2.15.

$$\rho = \frac{M}{f_s J b d^2} \quad (7 - 32)$$

#### 2.1.4.1.4.1 Primer nivel

A continuación se presenta las cuantías requeridas para los muros del primer nivel, mostrada en la tabla XXI.

**Tabla XXI** Cuantías requeridas para muros, nivel 1

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA
1	0,000209
2	0,000040
3	0,000035
4	0,000362
5	0,000362
6	0,000345
7	0,000063
8	0,000048
9	0,000386
10	0,000349
11	0,000028
12	0,000145
13	0,000393
A	0,000398
B	0,000642
C	0,000028
D	0,000028
E	0,000237
F	0,000043
G	0,000019
H	0,000237
I	0,000101
J	0,000019
K	0,000231

L	0,000029
M	0,000029
N	0,000454
O	0,000035
P	0,000208

#### 2.1.4.1.4.2 Segundo nivel

A continuación se presenta las cuantías requeridas para los muros del segundo nivel, mostrada en la tabla XXII.

**Tabla XXII** Cuantías requeridas para muros, nivel 2

ID MURO	CUANTIA REQUERIDA
1	0,000028
2	0,000036
3	0,000118
4	0,000056
5	0,000146
6	0,000256
7	0,000256
8	0,000231
9	0,000017
10	0,000085
11	0,000090
A	0,000014
B	0,000101
C	0,000157
D	0,000229
E	0,000073
F	0,000013
G	0,000010
H	0,000128
I	0,000122
J	0,000059
K	0,000009
L	0,000112
M	0,000020
N	0,000033

O	0,000202
P	0,000016
Q	0,000092

### 2.1.4.1.5 Área de acero requerida por muro

El área de acero requerida es la necesaria para resistir los efectos de las cargas actuantes en el muro.

$$A_s = \rho b d$$

#### 2.1.4.1.5.1 Primer nivel

A continuación se presentan las áreas de acero requeridas y el número de varillas requerido que se tiene que colocar en los muros del primer nivel, mostrada en la tabla XXIII.

**Tabla XXIII** Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 1

ID MURO	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,85	2,2
2	0,16	0,4
3	0,14	0,4
4	1,48	3,8
5	1,48	3,8
6	1,41	3,7
7	0,26	0,7
8	0,20	0,5
9	1,58	4,1
10	1,42	3,7
11	0,11	0,3
12	0,59	1,5
13	1,61	4,2
A	1,62	4,2
B	2,62	6,8
C	0,11	0,3
D	0,11	0,3
E	0,97	2,5

F	0,17	0,5
G	0,08	0,2
H	0,97	2,5
I	0,41	1,1
J	0,08	0,2
K	0,94	2,5
L	0,12	0,3
M	0,12	0,3
N	1,85	4,8
O	0,14	0,4
P	0,85	2,2

#### 2.1.4.1.5.2 Segundo nivel

A continuación se presentan las áreas de acero requeridas y el número de varillas requerido que se tiene que colocar en los muros del segundo nivel, mostrada en la tabla XXIV.

**Tabla XXIV** Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 2

ID MURO	VALOR DE As	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,09	0,2
2	0,12	0,3
3	0,38	1,0
4	0,18	0,5
5	0,47	1,2
6	0,83	2,2
7	0,83	2,2
8	0,75	1,9
9	0,06	0,1
10	0,28	0,7
11	0,29	0,8
A	0,05	0,1
B	0,33	0,9
C	0,51	1,3
D	0,74	1,9
E	0,24	0,6
F	0,04	0,1

G	0,03	0,1
H	0,42	1,1
I	0,40	1,0
J	0,19	0,5
K	0,03	0,1
L	0,36	0,9
M	0,06	0,2
N	0,11	0,3
O	0,65	1,7
P	0,05	0,1
Q	0,30	0,8

#### 2.1.4.2 Cálculo del refuerzo vertical

Para el cálculo del refuerzo vertical del muro se utilizará el método A del IBC 2000, el cual nos indica que debe realizarse por medio de los diagramas de iteración; el cálculo de estos diagramas se encuentra fuera de los alcances del presente trabajo de graduación, por lo que se utilizará un programa computacional para el cálculo de los mismos y solo se colocara el área de acero necesaria para cada muro. Para poder realizar correctamente el diagrama de iteración es necesario contar con ciertos datos iniciales; los cuales son: la altura del muro, el espesor, la longitud, la resistencia del mamposte, la resistencia del concreto y la resistencia del acero, la carga axial y el momento fuera del plano.

##### 2.1.4.2.1 Primer nivel

A continuación se presentan las áreas de acero y el número de varillas requeridas por cada muro del primer nivel, mostradas en la tabla XXV.

**Tabla XXV** Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 1

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,000372	1,02	2,64
2	0,000392	0,47	1,22

3	0,000526	0,59	1,53
4	0,00038	1,37	3,55
5	0,00038	1,37	3,55
6	0,000446	1,57	4,07
7	0,000398	0,59	1,53
8	0,000392	0,51	1,32
9	0,00038	1,37	3,55
10	0,000458	1,57	4,07
11	0,000378	0,35	0,92
12	0,00034	0,71	1,83
13	0,00047	1,61	4,18
A	0,000374	1,41	3,67
B	0,00049	2,35	6,11
C	0,000316	0,31	0,82
D	0,000316	0,31	0,82
E	0,000364	1,06	2,76
F	0,000412	0,51	1,32
G	0,00048	0,39	1,02
H	0,000552	1,61	4,18
I	0,00038	0,71	1,84
J	0,00048	0,39	1,02
K	0,000544	1,53	3,99
L	0,000408	0,39	1,02
M	0,000408	0,39	1,02
N	0,000384	1,45	3,77
O	0,000446	0,47	1,22
P	0,000522	1,33	3,47

#### 2.1.4.2.2 Segundo nivel

A continuación se presentan las áreas de acero y el número de varillas requeridas por cada muro del segundo nivel, mostradas en la tabla XXVI.

**Tabla XXVI** Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 2

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,000222	0,23	0,61
2	0,000196	0,24	0,61
3	0,000202	0,43	1,12

4	0,000178	0,27	0,71
5	0,000198	0,51	1,33
6	0,000184	0,63	1,64
7	0,000218	0,78	2,04
8	0,000184	0,63	1,64
9	0,000168	0,16	0,41
10	0,000226	0,47	1,22
11	0,000202	0,43	1,12
A	0,000314	0,28	0,71
B	0,000252	0,59	1,53
C	0,000256	0,75	1,94
D	0,000354	1,34	3,48
E	0,000276	0,59	1,53
F	0,000336	0,31	0,82
G	0,000288	0,24	0,61
H	0,000256	0,75	1,94
I	0,000374	1,10	2,86
J	0,000288	0,59	1,53
K	0,000240	0,20	0,51
L	0,000250	0,71	1,83
M	0,000368	0,43	1,12
N	0,000306	0,47	1,22
O	0,000250	0,95	2,46
P	0,000260	0,27	0,71
Q	0,000246	0,63	1,63

**El espaciamiento entre pines verticales para el sistema es de 60 cm.**

## 2.2 Sistema 14 X 59 X 20

### 2.2.1 Cálculo del centro de rigidez (CR) y el centro de masa (CM)

#### 2.2.1.1 Centro de masa (CM)

El peso del bloque es de 16 kg.; el número de unidades por metro cuadrado que caben es de 8.47 u/m<sup>2</sup>.

##### 2.2.1.1.1 Primer nivel

Tabla XXVII Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 1

ID MURO	PESO MUROS	PESO MURO POR CENTRO	
		X	Y
1	1051,119	0,000	1198,275
2	461,017	1129,492	2203,661
3	428,746	1050,427	2891,890
4	1383,051	4356,610	2074,576
5	1383,051	7745,085	2074,576
6	1350,780	7564,366	7760,229
7	567,051	4553,418	348,736
8	497,898	3998,123	1229,809
9	1383,051	12516,610	2074,576
10	1313,898	11890,780	7587,763
11	359,593	3847,647	1524,675
12	797,559	10408,149	689,889
13	1313,898	17146,373	7587,763
A	1452,203	2287,220	0,000
B	1844,068	20376,949	0,000
C	382,644	1364,126	1147,932
D	382,644	1987,836	1147,932
E	1120,271	7634,648	3360,814
F	474,847	4057,572	1424,542
G	313,492	2943,685	940,475
H	1120,271	13269,612	3360,814
I	714,576	553,797	3108,407

J	313,492	2921,741	1363,688
K	1083,390	12865,254	4712,746
L	368,814	1051,119	2655,458
M	368,814	1855,132	2655,458
N	1452,203	10855,220	10455,864
O	405,695	3850,045	2921,003
P	981,966	11778,683	7070,156

$\Sigma$  peso muro = 25070.102 kg.

$\Sigma$  peso muro por (X centro de muro) = 185859.721 kg.

$\Sigma$  peso muro por (Y centro de muro) = 85571.707 kg.

$$\text{CM en X} = \frac{185859.721}{25070.102} = \mathbf{7.413 \text{ m}}$$

$$\text{CM en Y} = \frac{85571.707}{25070.102} = \mathbf{3.413 \text{ m}}$$

Área de losa por (X centro de losa) = 571,714 m<sup>3</sup>

Área de losa por (Y centro de losa) = 268,847 m<sup>3</sup>

Área de la losa = 81,937 m<sup>2</sup>

Peso de losa = 81.937 x (0.09x2400 + 160 + 200) = 47196 kg.

$$\text{CM en X} = \frac{571.714}{81.937} = \mathbf{6,902 \text{ m}}$$

$$\text{CM en Y} = \frac{268.847}{81.937} = \mathbf{2.831 \text{ m}}$$

$$\text{CM combinado en X} = \frac{(47196 \times 6.90) + (25070.10 \times 7.41)}{(47196 + 25070.10)} = \mathbf{7.080 \text{ m}}$$

$$\text{CM combinado en Y} = \frac{(47196 \times 2.831) + (25070.10 \times 3.41)}{(47196 + 25070.10)} = \mathbf{3.033 \text{ m}}$$

### 2.2.1.1.2 Segundo nivel

Tabla XXVIII Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 2

ID MURO	PESO MUROS	PESO MURO POR CENTRO	
		X	Y
1	475,200	1496,880	209,088
2	540,000	1701,000	1458,000
3	961,200	2354,940	6142,068
4	691,200	2903,040	2571,264
5	1161,000	6849,900	3802,275
6	1539,000	9080,100	8887,725
7	1620,000	14661,000	2430,000
8	1539,000	13927,950	8887,725
9	421,200	4506,840	1672,164
10	934,200	12191,310	808,083
11	961,200	12543,660	6142,068
A	394,200	1385,613	0,000
B	1053,000	6849,765	0,000
C	1312,200	15543,009	0,000
D	1701,000	2679,075	3742,200
E	961,200	4825,224	2114,640
F	421,200	1166,724	1347,840
G	367,200	3448,008	1101,600
H	1312,200	15543,009	3936,600
I	1323,000	1620,675	5755,050
J	918,000	4635,900	3993,300
K	367,200	3448,008	1597,320
L	1269,000	15069,375	5520,150
M	529,200	1555,848	3810,240
N	691,200	3642,624	4976,640
O	1701,000	12714,975	12247,200
P	475,200	4509,648	3421,440
Q	1150,200	13796,649	8281,440

$\Sigma$  peso muro = 26789.400 kg.

$\Sigma$  peso muro por (X centro de muro) = 194650.749 kg.

$\Sigma$  peso muro por (Y centro de muro) = 104856.120 kg.

$$\text{CM en X} = \frac{194650.749}{26789.400} = 7.266 \text{ m}$$

$$\text{CM en Y} = \frac{104859.120}{26789.400} = 3.914 \text{ m}$$

$$\text{Área de losa por (X centro de losa)} = 619.623 \text{ m}^3$$

$$\text{Área de losa por (Y centro de losa)} = 291.722 \text{ m}^3$$

$$\text{Área de la losa} = 79.012 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso de losa} = 79.012 \times (0.09 \times 2400 + 160 + 100) = 37610 \text{ kg.}$$

$$\text{CM en X} = \frac{619.623}{79.012} = 7.767 \text{ m}$$

$$\text{CM en Y} = \frac{291.722}{79.012} = 3.692 \text{ m}$$

$$\text{CM combinado en X} = \frac{(37610 \times 7.77) + (26789.400 \times 7.26)}{(37610 + 26789.400)} = 7.559 \text{ m}$$

$$\text{CM combinado en Y} = \frac{(37610 \times 3.69) + (26789.400 \times 3.91)}{(37610 + 26789.400)} = 3.784 \text{ m}$$

### 2.2.1.2 Centro de rigidez (CR)

#### 2.2.1.2.1 Primer nivel

Tabla XXIX Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 1

ID MURO	RIGIDEZ DE MUROS		CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y	X	Y
1	0,001	0,018	0,001	0,000
2	0,000	0,003	0,002	0,008
3	0,000	0,003	0,003	0,007
4	0,001	0,031	0,002	0,097
5	0,001	0,031	0,002	0,173
6	0,001	0,029	0,008	0,165
7	0,001	0,005	0,000	0,042

8	0,001	0,004	0,001	0,032
9	0,001	0,031	0,002	0,279
10	0,001	0,028	0,008	0,252
11	0,000	0,002	0,002	0,022
12	0,001	0,010	0,001	0,134
13	0,001	0,028	0,008	0,364
A	0,034	0,002	0,000	0,002
B	0,055	0,002	0,000	0,021
C	0,002	0,000	0,007	0,001
D	0,002	0,000	0,007	0,002
E	0,020	0,001	0,061	0,008
F	0,004	0,000	0,011	0,004
G	0,002	0,000	0,005	0,003
H	0,020	0,001	0,061	0,014
I	0,008	0,001	0,036	0,001
J	0,002	0,000	0,007	0,003
K	0,019	0,001	0,082	0,013
L	0,002	0,000	0,016	0,001
M	0,002	0,000	0,016	0,002
N	0,034	0,002	0,245	0,011
O	0,003	0,000	0,019	0,004
P	0,016	0,001	0,112	0,012

$\Sigma$  Rigidez muro X = 0.238

$\Sigma$  Rigidez muro Y = 0.237

$\Sigma$  Rigidez muro por (X centro de muro) = 0.726

$\Sigma$  Rigidez muro por (Y centro de muro) = 1.680

CR en X =  $\frac{1.680}{0.237} = 7.091$  m

CR en Y =  $\frac{0.726}{0.238} = 3.052$  m

### 2.2.1.2.2 Segundo nivel

Tabla XXX Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 2

ID MURO	RIGIDEZ DE MUROS		CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y	X	Y
1	0,001	0,009	0,001	0,028
2	0,002	0,012	0,004	0,037
3	0,003	0,037	0,019	0,091
4	0,002	0,019	0,008	0,080
5	0,004	0,054	0,012	0,318
6	0,005	0,095	0,027	0,559
7	0,005	0,105	0,007	0,950
8	0,005	0,095	0,027	0,858
9	0,001	0,007	0,005	0,076
10	0,003	0,035	0,002	0,456
11	0,003	0,037	0,019	0,482
A	0,006	0,001	0,000	0,004
B	0,044	0,003	0,000	0,021
C	0,069	0,004	0,000	0,047
D	0,116	0,005	0,255	0,008
E	0,037	0,003	0,081	0,015
F	0,007	0,001	0,023	0,004
G	0,005	0,001	0,016	0,010
H	0,069	0,004	0,207	0,047
I	0,070	0,004	0,305	0,005
J	0,034	0,003	0,147	0,014
K	0,005	0,001	0,023	0,010
L	0,064	0,004	0,280	0,046
M	0,011	0,002	0,081	0,005
N	0,019	0,002	0,138	0,011
O	0,116	0,005	0,833	0,038
P	0,009	0,001	0,065	0,014
Q	0,053	0,003	0,381	0,042

$\Sigma$  Rigidez muro X = 0.768

$\Sigma$  Rigidez muro Y = 0.552

$\Sigma$  Rigidez muro por (X centro de muro) = 2.965.

$\Sigma$  Rigidez muro por (Y centro de muro) = 4.275

$$\text{CR en X} = \frac{4.275}{0.552} = 7.739 \text{ m}$$

$$\text{CR en Y} = \frac{2.965}{0.768} = 3.860 \text{ m}$$

## 2.2.2 Cálculo de la excentricidad de configuración y excentricidad de diseño

### 2.2.2.1 Primer nivel

$$\text{Excentricidad de configuración en X} = 17.080 - 7.0911 = 0.011 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de configuración en Y} = 13.033 - 3.0521 = 0.019 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de Diseño en X} = 1.5 \times 0.022 + 5\% (13.20) = 0.677 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de Diseño en Y} = 1.5 \times 0.019 + 5\% (7.35) = 0.397 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad máxima permitida según código en X} = 15\% (13.20) = 1.980 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad máxima permitida según código en Y} = 15\% (7.35) = 1.103 \text{ m}$$

$$\text{Chequeo de excentricidades en X} = 0.677 < 1.980 \rightarrow \text{OK}$$

$$\text{Chequeo de excentricidades en Y} = 0.397 < 1.103 \rightarrow \text{OK}$$

### 2.2.2.2 Segundo nivel

$$\text{Excentricidad de configuración en X} = 17.559 - 7.7391 = 0.180 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de configuración en Y} = 13.784 - 3.7841 = 0.076 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de Diseño en X} = 1.5 \times 0.180 + 5\% (13.20) = 0.930 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de Diseño en Y} = 1.5 \times 0.076 + 5\% (7.35) = 0.481 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad máxima permitida, según código en X} = 15\% (13.20) = 1.980 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad máxima permitida, según código en Y} = 15\% (7.35) = 1.103 \text{ m}$$

Chequeo de excentricidades en X = 0.930 < 1.980 → **OK**

Chequeo de excentricidades en Y = 0.481 < 1.103 → **OK**

## 2.2.3 Determinación de la carga lateral

### 2.2.3.1 Cálculo del corte basal

#### 2.2.3.1.1 Procedimientos por métodos estáticos

Peso primer nivel = 25070.102 + 17698.5 + 13110 + 4096.9 = 59975.477 kg.

Peso segundo nivel = 26789.400 + 17066.7 + 12642 + 1975.3 = 58473.412 kg.

W = 59975.477 + 58473.412 = 118448.89 kg.

El cálculo del corte basal es determinado por:

$$V = \frac{1.024 \times 1}{4.5 \times 0.189} (118448.89) = 88936.75 \text{ kg} \quad (30-4)$$

Pero no necesita ser mayor que:

$$V = \frac{2.5(0.528)(1)}{4.5} (118448.89) = 28954.173 \text{ kg} \quad (30-5)$$

Y no ser menor a:

$$V = 0.11(0.528)(1)(118448.89) = 5732.93 \text{ kg} \quad (30-6)$$

Para la zona sísmica 4 no debe ser menor a:

$$V = \frac{0.8(0.4)(1.6)(1)}{4.5} (118448.89) = 8423.03 \text{ kg} \quad (30-7)$$

Como la ecuación (30 - 4) es mayor a la ecuación (30 - 5) y el código UBC 97 nos permite utilizar la ecuación (30 - 5) como la máxima expresión para el método de Diseño Simplificado.

### 2.2.3.1.2 Distribución de fuerzas por nivel

#### 2.2.3.1.2.1 Fuerza en la cúspide ( $F_t$ )

La fuerza en la cúspide de la estructura que se está analizando es considerada cero por tener un período fundamental T menor a 0.7 segundos como es indicado en la parte anterior.

#### 2.2.3.1.2.2 Fuerzas por nivel ( $F_x$ )

Fuerza primer nivel:

$$F_1 = \frac{(28954.173)(59975.477)(3.4)}{[(59975.477)(3.4)][(58473.41)(6.1)]} = 10531.91 \text{ kg}$$

Fuerza segundo nivel:

$$F_2 = \frac{(28954.173)(58473.41)(6.1)}{[(59975.477)(3.4)][(58473.41)(6.1)]} = 18422.26 \text{ kg}$$

### 2.2.3.1.3 Determinación de la carga lateral por muro

#### 2.2.3.1.3.1 Primer nivel

Tabla XXXI Distribución de cargas laterales en muros, nivel 1

ID MURO	CARGA LATERAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	133,42821	2179,657
2	58,521146	419,2939

3	54,424666	362,6473
4	175,56344	3773,645
5	175,56344	3773,645
6	171,46696	3599,596
7	71,981009	634,3497
8	63,202837	489,0644
9	175,56344	3773,645
10	166,78527	3405,715
11	45,646494	255,0984
12	101,24158	1254,905
13	166,78527	3405,715
A	4147,6862	184,9086
B	6688,131	234,8046
C	287,96584	48,72195
D	287,96584	48,72195
E	2468,2965	142,6438
F	443,46488	60,46218
G	193,28698	39,91678
H	2468,2965	142,6438
I	1004,2647	90,98678
J	193,28698	39,91678
K	2308,4502	137,9477
L	267,52524	46,96092
M	267,52524	46,96092
N	4147,6862	184,9086
O	323,70554	51,65701
P	1896,4613	125,0334

Chequeo de la distribución de cargas

$\Sigma$  de cargas laterales en muro =  $V_x$

$\Sigma$  de cargas laterales en X = 28954.17 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

$\Sigma$  de cargas laterales en Y = 28954.17 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

### 2.2.3.1.3.2 Segundo nivel

Tabla XXXII Distribución de cargas laterales en muros, nivel 2

ID MURO	CARGA LATERAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	34,478018	301,2759
2	39,179566	389,0443
3	69,739628	1232,648
4	50,149845	637,4102
5	84,236067	1798,357
6	111,66176	3160,012
7	117,5387	3501,399
8	111,66176	3160,012
9	30,560062	236,6946
10	67,78065	1164,371
11	69,739628	1232,648
A	149,13422	39,76033
B	1064,145	106,2091
C	1652,5101	132,3529
D	2776,8518	171,5685
E	886,68955	96,94984
F	170,2632	42,48364
G	129,40451	37,03702
H	1652,5101	132,3529
I	1679,8239	133,4422
J	808,77819	92,59255
K	129,40451	37,03702
L	1545,494	127,9956
M	268,77182	53,37688
N	458,51287	69,71674
O	2776,8518	171,5685
P	216,71897	47,93026
Q	1269,6698	116,013

Chequeo de la distribución de cargas

$\Sigma$  de cargas laterales en muro =  $V_x$

$\Sigma$  de cargas laterales en X = 18422.26 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

$\Sigma$  de cargas laterales en Y = 18422.26 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

### 2.2.3.2 Cálculo del incremento de carga por torsión

#### 2.2.3.2.1 Cálculo del momento torsionante (T)

##### 2.2.3.2.1.1 Primer nivel

$$\begin{aligned}100\%(28954.17)(0.677) + 30\%(28954.17)(0.397) &= 23060.82 \text{ kg} - m \\100\%(28954.17)(0.677) - 30\%(28954.17)(0.397) &= 16171.53 \text{ kg} - m \\-100\%(28954.17)(0.677) + 30\%(28954.17)(0.397) &= -16171.53 \text{ kg} - m \\-100\%(28954.17)(0.677) - 30\%(28954.17)(0.397) &= -23060.82 \text{ kg} - m \\100\%(28954.17)(0.397) + 30\%(28954.17)(0.677) &= 17367.02 \text{ kg} - m \\100\%(28954.17)(0.397) - 30\%(28954.17)(0.677) &= 5597.31 \text{ kg} - m \\-100\%(28954.17)(0.397) + 30\%(28954.17)(0.677) &= -5597.31 \text{ kg} - m \\-100\%(28954.17)(0.397) - 30\%(28954.17)(0.677) &= -17367.02 \text{ kg} - m\end{aligned}$$

El valor máximo de la torsión es 23060.82 kg.-m este es el que se utilizará para el cálculo en el primer nivel.

##### 2.2.3.2.1.2 Segundo nivel

$$\begin{aligned}100\%(18422.26)(0.930) + 30\%(18422.26)(0.481) &= 19796.42 \text{ kg} - m \\100\%(18422.26)(0.930) - 30\%(18422.26)(0.481) &= 14477.88 \text{ kg} - m \\-100\%(18422.26)(0.930) + 30\%(18422.26)(0.481) &= -14477.88 \text{ kg} - m \\-100\%(18422.26)(0.930) - 30\%(18422.26)(0.481) &= -19796.42 \text{ kg} - m \\100\%(18422.26)(0.481) + 30\%(18422.26)(0.930) &= 14005.38 \text{ kg} - m \\100\%(18422.26)(0.481) - 30\%(18422.26)(0.930) &= 3723.09 \text{ kg} - m \\-100\%(18422.26)(0.481) + 30\%(18422.26)(0.930) &= -3723.09 \text{ kg} - m \\-100\%(18422.26)(0.481) - 30\%(18422.26)(0.930) &= -14005.38 \text{ kg} - m\end{aligned}$$

El valor máximo de la torsión es 19796.42 kg.-m este es el que se utilizará para el cálculo en el segundo nivel.

## 2.2.3.2.2 Determinación de la distancia al centro de rigidez ( $d_i$ )

### 2.2.3.2.2.1 Primer nivel

Tabla XXXIII Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 1

ID MURO	DISTANCIA AL CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y
1	-7,091	-1,912
2	-4,641	1,728
3	-4,641	3,693
4	-3,941	-1,552
5	-1,491	-1,552
6	-1,491	2,693
7	0,939	-2,437
8	0,939	-0,582
9	1,959	-1,552
10	1,959	2,723
11	3,609	1,188
12	5,959	-2,187
13	5,959	2,723
A	-5,516	-3,052
B	3,959	-3,052
C	-3,526	-0,052
D	-1,896	-0,052
E	-0,276	-0,052
F	1,454	-0,052
G	2,299	-0,052
H	4,754	-0,052
I	-6,316	1,298
J	2,229	1,298
K	4,784	1,298
L	-4,241	4,148
M	-2,061	4,148
N	0,384	4,148
O	2,399	4,148
P	4,904	4,148

### 2.2.3.2.2.2 Segundo nivel

Tabla XXXIV Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 2

ID MURO	DISTANCIA AL CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y
1	3,420	4,589
2	1,160	4,589
3	-2,530	5,289
4	0,140	3,539
5	0,585	1,839
6	-1,915	1,839
7	2,360	-1,311
8	-1,915	-1,311
9	-0,110	-2,961
10	2,995	-5,311
11	-2,530	-5,311
A	3,860	4,224
B	3,860	1,234
C	3,860	-4,106
D	1,660	6,164
E	1,660	2,719
F	0,660	4,969
G	0,860	-1,651
H	0,860	-4,106
I	-0,490	6,514
J	-0,490	2,689
K	-0,490	-1,651
L	-0,490	-4,136
M	-3,340	4,799
N	-3,340	2,469
O	-3,340	0,264
P	-3,340	-1,751
Q	-3,340	-4,256

### 2.2.3.2.3 Cálculo del momento de inercia polar (J)

#### 2.2.3.2.3.1 Primer nivel

Tabla XXXV Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 1

ID MURO	MOMENTO DE INERCIA POLAR	
	X	Y
1	0,897	0,004
2	0,074	0,001
3	0,064	0,006
4	0,480	0,003
5	0,069	0,003
6	0,066	0,010
7	0,005	0,004
8	0,004	0,000
9	0,118	0,003
10	0,107	0,010
11	0,027	0,001
12	0,365	0,004
13	0,990	0,010
A	0,046	0,317
B	0,030	0,512
C	0,005	0,000
D	0,001	0,000
E	0,000	0,000
F	0,001	0,000
G	0,002	0,000
H	0,026	0,000
I	0,030	0,014
J	0,002	0,003
K	0,026	0,032
L	0,007	0,038
M	0,002	0,038
N	0,000	0,586
O	0,002	0,046
P	0,025	0,268

$$\Sigma d_i \times K_i \text{ en X} = 3.468$$

$$\Sigma d_i \times K_i \text{ en Y} = 1.913$$

Momento de inercia polar, nivel 1 = 5.381

### 2.2.3.2.3.2 Segundo nivel

Tabla XXXVI Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 2

ID MURO	MOMENTO DE INERCIA POLAR	
	X	Y
1	0,017	0,190
2	0,002	0,246
3	0,019	1,034
4	0,000	0,239
5	0,001	0,182
6	0,017	0,320
7	0,027	0,181
8	0,017	0,163
9	0,000	0,062
10	0,025	0,985
11	0,019	1,043
A	0,093	0,021
B	0,661	0,005
C	1,027	0,067
D	0,319	0,195
E	0,102	0,021
F	0,003	0,031
G	0,004	0,003
H	0,051	0,067
I	0,017	0,170
J	0,008	0,020
K	0,001	0,003
L	0,015	0,066
M	0,125	0,037
N	0,213	0,013
O	1,291	0,000
P	0,101	0,004
Q	0,590	0,063

$\Sigma d_i \times K_i$  en X = 4.766

$\Sigma d_i \times K_i$  en Y = 5.433

Momento de inercia polar, nivel 2 = 10.199

### 2.2.3.2.4 Determinación de la carga por torsión por muro ( $\Delta v$ )

#### 2.2.3.2.4.1 Primer nivel

Tabla XXXVII Incremento de carga por torsión en muros, nivel 1

ID MURO	CARGA POR TORSIÓN	
	X (kg)	Y (kg)
1	-542,080	-8,977
2	-68,251	3,556
3	-59,031	7,070
4	-521,623	-9,588
5	-197,381	-9,588
6	-188,277	16,241
7	20,880	-6,172
8	16,098	-1,295
9	259,204	-9,588
10	233,932	15,974
11	32,284	1,907
12	262,237	-7,791
13	711,692	15,974
A	-35,773	-445,382
B	32,598	-718,177
C	-6,026	-0,532
D	-3,240	-0,532
E	-1,383	-4,556
F	3,082	-0,819
G	3,218	-0,357
H	23,780	-4,556
I	-20,155	45,840
J	3,120	8,823
K	23,142	105,369
L	-6,985	39,033
M	-3,395	39,033
N	2,487	605,161
O	4,345	47,230
P	21,502	276,700

#### 2.2.3.2.4.2 Segundo nivel

Tabla XXXVIII Incremento de carga por torsión en muros, nivel 2

ID MURO	CARGA POR TORSIÓN	
	X (kg)	Y (kg)
1	9,542	80,475
2	3,678	103,919
3	-14,277	379,484
4	0,569	131,302
5	3,989	192,489
6	-17,302	338,235
7	22,449	-267,246
8	-17,302	-241,190
9	-0,271	-40,800
10	16,429	-359,984
11	-14,277	-381,093
A	46,586	9,776
B	332,413	7,628
C	516,204	-31,635
D	373,065	61,558
E	119,125	15,343
F	9,097	12,288
G	9,008	-3,560
H	115,032	-31,635
I	-66,578	50,597
J	-32,055	14,492
K	-5,129	-3,560
L	-61,254	-30,817
M	-72,638	14,910
N	-123,918	10,019
O	-750,474	2,634
P	-58,571	-4,886
Q	-343,142	-28,743

### 2.2.3.3 Determinación de la carga por sismo total

#### 2.2.3.3.1 Primer nivel

Tabla XXXIX Cargas totales debidas al sismo, nivel 1

ID MURO	CARGA POR SISMO TOTAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	133,428	2179,657
2	62,078	419,294
3	61,494	362,647
4	175,563	3773,645
5	175,563	3773,645
6	187,708	3599,596
7	71,981	655,230
8	63,203	505,162
9	175,563	4032,849
10	182,759	3639,646
11	47,553	287,382
12	101,242	1517,142
13	182,759	4117,406
A	4147,686	184,909
B	6688,131	267,402
C	287,966	48,722
D	287,966	48,722
E	2468,297	142,644
F	443,465	63,544
G	193,287	43,135
H	2468,297	166,424
I	1050,104	90,987
J	202,110	43,037
K	2413,819	161,090
L	306,558	46,961
M	306,558	46,961
N	4752,847	187,396
O	370,935	56,002
P	2173,161	146,536

### 2.2.3.3.2 Segundo nivel

Tabla XL Cargas totales debidas al sismo, nivel 2

ID MURO	CARGA TOTAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	44,021	381,751
2	42,858	492,963
3	69,740	1612,132
4	50,719	768,712
5	88,225	1990,846
6	111,662	3498,247
7	139,988	3501,399
8	111,662	3160,012
9	30,560	236,695
10	84,209	1164,371
11	69,740	1232,648
A	195,720	49,536
B	1396,558	113,837
C	2168,714	132,353
D	3149,916	233,126
E	1005,815	112,293
F	179,360	54,771
G	138,412	37,037
H	1767,542	132,353
I	1679,824	184,039
J	808,778	107,085
K	129,405	37,037
L	1545,494	127,996
M	268,772	68,287
N	458,513	79,736
O	2776,852	174,203
P	216,719	47,930
Q	1269,670	116,013

## 2.2.4 Cálculo del refuerzo por muro

### 2.2.4.1 Cálculo del refuerzo horizontal

#### 2.2.4.1.1 Cálculo del momento actuante

##### 2.2.4.1.1.1 Primer nivel

Tabla XLI Momentos actuantes en muros, nivel 1

ID MURO	MOMENTO ACTUANTE	
	X (kg-m)	Y (kg-m)
1	453,656	7410,835
2	211,064	1425,599
3	209,081	1233,001
4	596,916	12830,394
5	596,916	12830,394
6	638,207	12238,627
7	244,735	2227,782
8	214,890	1717,552
9	596,916	13711,687
10	621,380	12374,797
11	161,682	977,099
12	344,221	5158,283
13	621,380	13999,181
A	14102,133	628,689
B	22739,645	909,168
C	979,084	165,655
D	979,084	165,655
E	8392,208	484,989
F	1507,781	216,051
G	657,176	146,657
H	8392,208	565,841
I	3570,354	309,355
J	687,172	146,324
K	8206,985	547,706
L	1042,297	159,667
M	1042,297	159,667

N	16159,679	637,146
O	1261,180	190,408
P	7388,748	498,221

### 2.2.4.1.1.2 Segundo nivel

Tabla XLII Momentos actuantes en muros, nivel 2

ID MURO	MOMENTO ACTUANTE	
	X (kg-m)	Y (kg-m)
1	118,855	1030,727
2	115,717	1331,001
3	188,297	4352,756
4	136,941	2075,523
5	238,208	5375,285
6	301,487	9445,268
7	377,967	9453,777
8	301,487	8532,034
9	82,512	639,075
10	227,365	3143,801
11	188,297	3328,150
A	528,444	133,747
B	3770,707	307,360
C	5855,529	357,353
D	8504,774	629,441
E	2715,699	303,192
F	484,271	147,883
G	373,714	100,000
H	4772,364	357,353
I	4535,525	496,906
J	2183,701	289,128
K	349,392	100,000
L	4172,834	345,588
M	725,684	184,375
N	1237,985	215,286
O	7497,500	470,348
P	585,141	129,412
Q	3428,108	313,235

### 2.2.4.1.2 Cálculo del factor K

$$E_s = 2.03e6 \text{ kg} / \text{cm}^2 \quad (6-5)$$

$$E_m = 750 f'_m = 750(35) = 26250 \text{ kg} / \text{cm}^2 \quad (6-4)$$

$$n = \frac{2.03e6}{26250} = 77.33$$

$$F_s = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{3}\right)(16158) = 2693 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$F_b = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{3}\right)(35)(1.6) = 9.33 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$K = \frac{77.33}{77.33 + \frac{2693}{9.33}} = 0.21$$

### 2.2.4.1.3 Cálculo de J

$$J = 1 - \frac{K}{3} \quad (7-35)$$

$$J = 1 - \frac{0.21}{3} = 0.9295$$

### 2.2.4.1.4 Determinación de la cuantía por muro

#### 2.2.4.1.4.1 Primer nivel

Tabla XLIII Cuantías requeridas para muros, nivel 1

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA
1	0,000183
2	0,000035
3	0,000030
4	0,000317
5	0,000317
6	0,000302
7	0,000055
8	0,000042
9	0,000338
10	0,000305

11	0,000024
12	0,000127
13	0,000346
A	0,000348
B	0,000561
C	0,000024
D	0,000024
E	0,000207
F	0,000037
G	0,000016
H	0,000207
I	0,000088
J	0,000017
K	0,000203
L	0,000026
M	0,000026
N	0,000399
O	0,000031
P	0,000182

#### 2.2.4.1.4.2 Segundo nivel

Tabla XLIV Cuantías requeridas para muros, nivel 2

ID MURO	CUANTIA REQUERIDA
1	0,000025
2	0,000033
3	0,000107
4	0,000051
5	0,000133
6	0,000233
7	0,000233
8	0,000211
9	0,000016
10	0,000078
11	0,000082
A	0,000013
B	0,000093
C	0,000145
D	0,000210

E	0,000067
F	0,000012
G	0,000009
H	0,000118
I	0,000112
J	0,000054
K	0,000009
L	0,000103
M	0,000018
N	0,000031
O	0,000185
P	0,000014
Q	0,000085

#### 2.2.4.1.5 Área de acero requerida por muro

##### 2.2.4.1.5.1 Primer nivel

Tabla XLV Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 1

ID MURO	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,87	2,3
2	0,17	0,4
3	0,14	0,4
4	1,51	3,9
5	1,51	3,9
6	1,44	3,7
7	0,26	0,7
8	0,20	0,5
9	1,61	4,2
10	1,45	3,8
11	0,11	0,3
12	0,61	1,6
13	1,64	4,3
A	1,66	4,3
B	2,67	6,9
C	0,12	0,3
D	0,12	0,3
E	0,99	2,6

F	0,18	0,5
G	0,08	0,2
H	0,99	2,6
I	0,42	1,1
J	0,08	0,2
K	0,96	2,5
L	0,12	0,3
M	0,12	0,3
N	1,90	4,9
O	0,15	0,4
P	0,87	2,3

#### 2.2.4.1.5.2 Segundo nivel

Tabla XLVI Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 2

ID MURO	VALOR DE As	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,10	0,25
2	0,12	0,32
3	0,41	1,06
4	0,19	0,50
5	0,50	1,30
6	0,88	2,29
7	0,88	2,29
8	0,80	2,07
9	0,06	0,15
10	0,29	0,76
11	0,31	0,81
A	0,05	0,13
B	0,35	0,91
C	0,55	1,42
D	0,79	2,06
E	0,25	0,66
F	0,05	0,12
G	0,03	0,09
H	0,45	1,16
I	0,42	1,10
J	0,20	0,53
K	0,03	0,08
L	0,39	1,01

M	0,07	0,18
N	0,12	0,30
O	0,70	1,82
P	0,05	0,14
Q	0,32	0,83

## 2.2.4.2 Cálculo del refuerzo vertical

### 2.2.4.2.1 Primer nivel

Tabla XLVII Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 1

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,000270	0,86	2,24
2	0,000252	0,35	0,92
3	0,000330	0,43	1,12
4	0,000290	1,22	3,16
5	0,000290	1,22	3,16
6	0,000316	1,30	3,37
7	0,000274	0,47	1,23
8	0,000260	0,39	1,02
9	0,000300	1,26	3,27
10	0,000324	1,29	3,36
11	0,000252	0,28	0,72
12	0,000276	0,67	1,74
13	0,000324	1,29	3,36
A	0,000312	1,38	3,58
B	0,000364	2,04	5,30
C	0,000236	0,27	0,71
D	0,000236	0,27	0,71
E	0,000288	0,98	2,55
F	0,000300	0,43	1,12
G	0,000248	0,24	0,61
H	0,000346	1,18	3,06
I	0,000272	0,59	1,53
J	0,000248	0,24	0,61
K	0,000370	1,22	3,16
L	0,000246	0,28	0,72
M	0,000246	0,28	0,72

N	0,000320	1,41	3,67
O	0,000286	0,35	0,92
P	0,000368	1,10	2,85

#### 2.2.4.2.2 Segundo nivel

Tabla XLVIII Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 2

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,000128	0,16	0,41
2	0,000084	0,12	0,31
3	0,000126	0,31	0,82
4	0,000108	0,19	0,50
5	0,000144	0,43	1,13
6	0,000138	0,55	1,43
7	0,000158	0,66	1,72
8	0,000138	0,55	1,43
9	0,000072	0,08	0,20
10	0,000162	0,39	1,02
11	0,000110	0,27	0,71
A	0,000154	0,16	0,41
B	0,000202	0,55	1,43
C	0,000172	0,59	1,52
D	0,000266	1,17	3,05
E	0,000220	0,55	1,42
F	0,000216	0,24	0,61
G	0,000124	0,12	0,31
H	0,000172	0,59	1,52
I	0,000274	0,94	2,44
J	0,000214	0,51	1,32
K	0,000124	0,12	0,31
L	0,000168	0,55	1,44
M	0,000200	0,27	0,71
N	0,000198	0,35	0,92
O	0,000204	0,90	2,34
P	0,000128	0,16	0,41
Q	0,000184	0,55	1,43

**El espaciamiento entre pines verticales para el sistema es de 60 cm.**

## 2.3 Sistema 14 X 79 X 20

### 2.3.1 Cálculo del centro de rigidez (CR) y el centro de masa (CM)

#### 2.3.1.1 Centro de masa (CM)

El peso del bloque es de 27 kg.; el número de unidades por metro cuadrado que caben es de 6.33 u/m<sup>2</sup>.

##### 2.3.1.1.1 Primer nivel

Tabla XLIX Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 1

ID MURO	PESO MUROS	PESO MURO POR CENTRO	
		X	Y
1	1324,709	0,000	1510,168
2	581,013	1423,481	2777,241
3	540,342	1323,837	3644,605
4	1743,038	5490,570	2614,557
5	1743,038	9761,013	2614,557
6	1702,367	9533,256	9780,099
7	714,646	5738,604	439,507
8	627,494	5038,774	1549,909
9	1743,038	15774,494	2614,557
10	1655,886	14985,769	9562,742
11	453,190	4849,132	1921,525
12	1005,152	13117,232	869,456
13	1655,886	21609,313	9562,742
A	1830,190	2882,549	0,000
B	2324,051	25680,759	0,000
C	482,241	1719,187	1446,722
D	482,241	2505,239	1446,722
E	1411,861	9621,831	4235,582
F	598,443	5113,696	1795,329
G	395,089	3709,882	1185,266
H	1411,861	16723,491	4235,582
I	900,570	697,941	3917,478

J	395,089	3682,226	1718,635
K	1365,380	16213,884	5939,402
L	464,810	1324,709	3346,633
M	464,810	2337,995	3346,633
N	1830,190	13680,669	13177,367
O	511,291	4852,153	3681,296
P	1237,557	14844,496	8910,410

$\Sigma$  peso muro = 31595.468 kg.

$\Sigma$  peso muro por (X centro de muro) = 234236.183 kg.

$\Sigma$  peso muro por (Y centro de muro) = 107844.723 kg.

$$\text{CM en X} = \frac{234236.183}{31595.468} = \mathbf{7.413 \text{ m}}$$

$$\text{CM en Y} = \frac{107844.723}{31595.468} = \mathbf{3.413 \text{ m}}$$

Área de losa por (X centro de losa) = 571,714 m<sup>3</sup>

Área de losa por (Y centro de losa) = 268,847 m<sup>3</sup>

Área de la losa = 81,937 m<sup>2</sup>

Peso de losa = 81.937 x (0.09x2400 + 160 + 200) = 47196 kg.

$$\text{CM en X} = \frac{571.714}{81.937} = \mathbf{6,902 \text{ m}}$$

$$\text{CM en Y} = \frac{268.847}{81.937} = \mathbf{2.831 \text{ m}}$$

$$\text{CM combinado en X} = \frac{(47196 \times 6.90) + (31595.47 \times 7.41)}{(47196 + 31595.47)} = \mathbf{7.107 \text{ m}}$$

$$\text{CM combinado en Y} = \frac{(47196 \times 2.831) + (31595.47 \times 3.41)}{(47196 + 31595.47)} = \mathbf{3.065 \text{ m}}$$

### 2.3.1.1.2 Segundo nivel

Tabla L Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 2

ID MURO	PESO MUROS	PESO MURO POR CENTRO	
		X	Y
1	801,900	2525,985	352,836
2	911,250	2870,438	2460,375
3	1622,025	3973,961	10364,740
4	1166,400	4898,880	4339,008
5	1959,188	11559,206	6416,339
6	2597,063	15322,669	14998,036
7	2733,750	24740,438	4100,625
8	2597,063	23503,416	14998,036
9	710,775	7605,293	2821,777
10	1576,463	20572,836	1363,640
11	1622,025	21167,426	10364,740
A	665,213	2338,222	0,000
B	1776,938	11558,978	0,000
C	2214,338	26228,828	0,000
D	2870,438	4520,939	6314,963
E	1622,025	8142,566	3568,455
F	710,775	1968,847	2274,480
G	619,650	5818,514	1858,950
H	2214,338	26228,828	6643,013
I	2232,563	2734,889	9711,647
J	1549,125	7823,081	6738,694
K	619,650	5818,514	2695,478
L	2141,438	25429,570	9315,253
M	893,025	2625,494	6429,780
N	1166,400	6146,928	8398,080
O	2870,438	21456,520	20667,150
P	801,900	7610,031	5773,680
Q	1940,963	23281,845	13974,930

$\Sigma$  peso muro = 45207.113 kg.

$\Sigma$  peso muro por (X centro de muro) = 328473.139 kg.

$\Sigma$  peso muro por (Y centro de muro) = 176944.703 kg.

$$\text{CM en X} = \frac{328473.139}{45207.113} = 7.266 \text{ m}$$

$$\text{CM en Y} = \frac{176944.703}{45207.113} = 3.914 \text{ m}$$

$$\text{Área de losa por (X centro de losa)} = 619.623 \text{ m}^3$$

$$\text{Área de losa por (Y centro de losa)} = 291.722 \text{ m}^3$$

$$\text{Área de la losa} = 79.012 \text{ m}^2$$

$$\text{Peso de losa} = 79.012 \times (0.09 \times 2400 + 160 + 100) = 37610 \text{ kg.}$$

$$\text{CM en X} = \frac{619.623}{79.012} = 7.767 \text{ m}$$

$$\text{CM en Y} = \frac{291.722}{79.012} = 3.692 \text{ m}$$

$$\text{CM combinado en X} = \frac{(37610 \times 7.77) + (45207.11 \times 7.26)}{(37610 + 45207.11)} = 7.494 \text{ m}$$

$$\text{CM combinado en Y} = \frac{(37610 \times 3.69) + (45207.11 \times 3.91)}{(37610 + 45207.11)} = 3.813 \text{ m}$$

### 2.3.1.2 Centro de rigidez (CR)

#### 2.3.1.2.1 Primer nivel

Tabla LI Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 1

ID MURO	RIGIDEZ DE MUROS		CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y	X	Y
1	0,001	0,018	0,001	0,000
2	0,000	0,003	0,002	0,008
3	0,000	0,003	0,003	0,007
4	0,001	0,031	0,002	0,097
5	0,001	0,031	0,002	0,173
6	0,001	0,029	0,008	0,165
7	0,001	0,005	0,000	0,042

8	0,001	0,004	0,001	0,032
9	0,001	0,031	0,002	0,279
10	0,001	0,028	0,008	0,252
11	0,000	0,002	0,002	0,022
12	0,001	0,010	0,001	0,134
13	0,001	0,028	0,008	0,364
A	0,034	0,002	0,000	0,002
B	0,055	0,002	0,000	0,021
C	0,002	0,000	0,007	0,001
D	0,002	0,000	0,007	0,002
E	0,020	0,001	0,061	0,008
F	0,004	0,000	0,011	0,004
G	0,002	0,000	0,005	0,003
H	0,020	0,001	0,061	0,014
I	0,008	0,001	0,036	0,001
J	0,002	0,000	0,007	0,003
K	0,019	0,001	0,082	0,013
L	0,002	0,000	0,016	0,001
M	0,002	0,000	0,016	0,002
N	0,034	0,002	0,245	0,011
O	0,003	0,000	0,019	0,004
P	0,016	0,001	0,112	0,012

$\Sigma$  Rigidez muro X = 0.238

$\Sigma$  Rigidez muro Y = 0.237

$\Sigma$  Rigidez muro por (X centro de muro) = 0.726

$\Sigma$  Rigidez muro por (Y centro de muro) = 1.680

CR en X =  $\frac{1.680}{0.237} = 7.091$  m

CR en Y =  $\frac{0.726}{0.238} = 3.065$  m

### 2.3.1.2.2 Segundo nivel

Tabla LII Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 2

ID MURO	RIGIDEZ DE MUROS		CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y	X	Y
1	0,001	0,003	0,000	0,011
2	0,001	0,004	0,002	0,014
3	0,001	0,014	0,007	0,034
4	0,001	0,007	0,003	0,030
5	0,001	0,020	0,004	0,118
6	0,002	0,035	0,010	0,207
7	0,002	0,039	0,003	0,352
8	0,002	0,035	0,010	0,318
9	0,000	0,003	0,002	0,028
10	0,001	0,013	0,001	0,169
11	0,001	0,014	0,007	0,179
A	0,002	0,000	0,000	0,002
B	0,016	0,001	0,000	0,008
C	0,026	0,001	0,000	0,017
D	0,043	0,002	0,094	0,003
E	0,014	0,001	0,030	0,005
F	0,003	0,000	0,008	0,001
G	0,002	0,000	0,006	0,004
H	0,026	0,001	0,077	0,017
I	0,026	0,001	0,113	0,002
J	0,012	0,001	0,054	0,005
K	0,002	0,000	0,009	0,004
L	0,024	0,001	0,104	0,017
M	0,004	0,001	0,030	0,002
N	0,007	0,001	0,051	0,004
O	0,043	0,002	0,309	0,014
P	0,003	0,001	0,024	0,005
Q	0,020	0,001	0,141	0,015

$\Sigma$  Rigidez muro X = 0.284

$\Sigma$  Rigidez muro Y = 0.205

$\Sigma$  Rigidez muro por (X centro de muro) = 1.098

$\Sigma$  Rigidez muro por (Y centro de muro) = 1.583

$$\text{CR en X} = \frac{1.583}{0.205} = 7.739 \text{ m}$$

$$\text{CR en Y} = \frac{1.098}{0.284} = 3.860 \text{ m}$$

### 2.3.2 Cálculo de la excentricidad de configuración y excentricidad de diseño

#### 2.3.2.1 Primer nivel

$$\text{Excentricidad de configuración en X} = 17.107 - 7.0911 = 0.016 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de configuración en Y} = 13.065 - 3.0521 = 0.013 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de Diseño en X} = 1.5 \times 0.016 + 5\% (7.35) = 0.684 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de Diseño en Y} = 1.5 \times 0.013 + 5\% (7.35) = 0.386 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad máxima permitida, según código en X} = 15\% (7.35) = 1.980 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad máxima permitida, según código en Y} = 15\% (7.35) = 1.103 \text{ m}$$

$$\text{Chequeo de excentricidades en X} = 0.684 < 1.980 \rightarrow \text{OK}$$

$$\text{Chequeo de excentricidades en Y} = 0.386 < 1.103 \rightarrow \text{OK}$$

#### 2.3.2.2 Segundo nivel

$$\text{Excentricidad de configuración en X} = 17.494 - 7.7391 = 0.245 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de configuración en Y} = 13.813 - 3.8601 = 0.047 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de Diseño en X} = 1.5 \times 0.245 + 5\% (7.35) = 1.128 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad de Diseño en Y} = 1.5 \times 0.047 + 5\% (7.35) = 0.438 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad máxima permitida, según código en X} = 15\% (7.35) = 1.980 \text{ m}$$

$$\text{Excentricidad máxima permitida, según código en Y} = 15\% (7.35) = 1.103 \text{ m}$$

Chequeo de excentricidades en X = 1.128 < 1.980 → **OK**

Chequeo de excentricidades en Y = 0.438 < 0.497 → **OK**

### 2.3.3 Determinación de la carga lateral

#### 2.3.3.1 Cálculo del corte basal

##### 2.3.3.1.1 Procedimientos por métodos estáticos

Peso primer nivel = 31595.47 + 17698.5 + 13110 + 4096.9 = 66500.843 kg.

Peso segundo nivel = 45207.11 + 17066.7 + 12642 + 1975.3 = 76891.125 kg.

W = 66500.843 + 76891.125 = 143391.97 kg.

El cálculo del corte basal es determinado por:

$$V = \frac{1.024 \times 1}{4.5 \times 0.189} (143391.97) = 107665.13 \text{ kg} \quad (30-4)$$

Pero no necesita ser mayor que:

$$V = \frac{2.5(0.528)(1)}{4.5} (143391.97) = 35051.37 \text{ kg} \quad (30-5)$$

Y no ser menor a:

$$V = 0.11(0.528)(1)(143391.97) = 6940.17 \text{ kg} \quad (30-6)$$

Para la zona sísmica 4 no debe ser menor a:

$$V = \frac{0.8(0.4)(1.6)(1)}{4.5} (143391.97) = 10196.76 \text{ kg} \quad (30-7)$$

Como la ecuación (30 - 4) es mayor a la ecuación (30 - 5) y el código UBC 97 nos permite utilizar la ecuación (30 - 5) como la máxima expresión para el método de Diseño Simplificado.

### 2.3.3.1.2 Distribución de fuerzas por nivel

#### 2.3.3.1.2.1 Fuerza en la cúspide ( $F_t$ )

La fuerza en la cúspide de la estructura que se está analizando es considerada cero por tener un período fundamental T menor a 0.7 segundos como es indicado en la parte anterior.

#### 2.3.3.1.2.2 Fuerzas por nivel ( $F_x$ )

Fuerza primer nivel:

$$F_1 = \frac{(35051.37)(66500.84)(3.4)}{[(66500.84)(3.4)][(76891.13)(6.1)]} = 11400.91 \text{ kg}$$

Fuerza segundo nivel:

$$F_2 = \frac{(35051.37)(76891.13)(6.1)}{[(66500.84)(3.4)][(76891.13)(6.1)]} = 23650.46 \text{ kg}$$

### 2.3.3.1.3 Determinación de la carga lateral por muro

#### 2.3.3.1.3.1 Primer nivel

Tabla LIII Distribución de cargas laterales en muros, nivel 1

ID MURO	CARGA LATERAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	161,526	2638,652
2	70,845	507,589

3	65,885	439,014
4	212,534	4568,303
5	212,534	4568,303
6	207,575	4357,603
7	87,139	767,932
8	76,512	592,052
9	212,534	4568,303
10	201,907	4122,893
11	55,259	308,817
12	122,561	1519,164
13	201,907	4122,893
A	5021,110	223,847
B	8096,524	284,250
C	348,606	58,982
D	348,606	58,982
E	2988,073	172,682
F	536,850	73,194
G	233,990	48,322
H	2988,073	172,682
I	1215,744	110,147
J	233,990	48,322
K	2794,566	166,997
L	323,861	56,850
M	323,861	56,850
N	5021,110	223,847
O	391,872	62,535
P	2295,820	151,363

Chequeo de la distribución de cargas

$\Sigma$  de cargas laterales en muro =  $V_x$

$\Sigma$  de cargas laterales en X = 35051.37 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

$\Sigma$  de cargas laterales en Y = 35051.37 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

### 2.3.3.1.3.2 Segundo nivel

Tabla LIV Distribución de cargas laterales en muros, nivel 2

ID MURO	CARGA LATERAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	44,262807	386,7774
2	50,298644	499,4543
3	89,531586	1582,471
4	64,382264	818,3059
5	108,14208	2308,727
6	143,35114	4056,817
7	150,89593	4495,088
8	143,35114	4056,817
9	39,232942	303,868
10	87,016654	1494,817
11	89,531586	1582,471
A	191,4582	51,04423
B	1366,1471	136,351
C	2121,489	169,9143
D	3564,9164	220,2593
E	1138,3302	124,464
F	218,58354	54,54041
G	166,12924	47,54805
H	2121,489	169,9143
I	2156,5544	171,3128
J	1038,3077	118,8701
K	166,12924	47,54805
L	1984,1019	164,3205
M	345,0487	68,52513
N	588,63785	89,50221
O	3564,9164	220,2593
P	278,22336	61,53277
Q	1629,9994	148,9373

Chequeo de la distribución de cargas

$\Sigma$  de cargas laterales en muro =  $V_x$

$\Sigma$  de cargas laterales en X = 23650.46 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

$\Sigma$  de cargas laterales en Y = 23650.46 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

### 2.3.3.2 Cálculo del incremento de carga por torsión

#### 2.3.3.2.1 Cálculo del momento torsionante (T)

##### 2.3.3.2.1.1 Primer nivel

$$100\%(35051.37)(0.684) + 30\%(35051.37)(0.386) = 28029.91 \text{ kg} - m$$

$$100\%(35051.37)(0.684) - 30\%(35051.37)(0.386) = 19918.99 \text{ kg} - m$$

$$-100\%(35051.37)(0.684) + 30\%(35051.37)(0.386) = -19918.99 \text{ kg} - m$$

$$-100\%(35051.37)(0.684) - 30\%(35051.37)(0.386) = -28029.91 \text{ kg} - m$$

$$100\%(35051.37)(0.386) + 30\%(35051.37)(0.684) = 20710.53 \text{ kg} - m$$

$$100\%(35051.37)(0.386) - 30\%(35051.37)(0.684) = 6325.86 \text{ kg} - m$$

$$-100\%(35051.37)(0.386) + 30\%(35051.37)(0.684) = -6325.86 \text{ kg} - m$$

$$-100\%(35051.37)(0.386) - 30\%(35051.37)(0.684) = -20710.53 \text{ kg} - m$$

El valor máximo de la torsión es 28029.91 kg.-m este es el que se utilizará para el cálculo en el primer nivel.

##### 2.3.3.2.1.2 Segundo nivel

$$100\%(23650.46)(1.028) + 30\%(23650.46)(0.438) = 27416.73 \text{ kg} - m$$

$$100\%(23650.46)(1.028) - 30\%(23650.46)(0.438) = 21202.50 \text{ kg} - m$$

$$-100\%(23650.46)(1.028) + 30\%(23650.46)(0.438) = -21202.50 \text{ kg} - m$$

$$-100\%(23650.46)(1.028) - 30\%(23650.46)(0.438) = -27416.73 \text{ kg} - m$$

$$100\%(23650.46)(0.438) + 30\%(23650.46)(1.028) = 17649.92 \text{ kg} - m$$

$$100\%(23650.46)(0.438) - 30\%(23650.46)(1.028) = 3064.15 \text{ kg} - m$$

$$-100\%(23650.46)(0.438) + 30\%(23650.46)(1.028) = -3064.15 \text{ kg} - m$$

$$-100\%(23650.46)(0.438) - 30\%(23650.46)(1.028) = -17649.92 \text{ kg} - m$$

El valor máximo de la torsión es 27416.73 kg.-m este es el que se utilizará para el cálculo en el segundo nivel.

### 2.3.3.2.2 Determinación de la distancia al centro de rigidez ( $d_i$ )

#### 2.3.3.2.2.1 Primer nivel

Tabla LV Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 1

ID MURO	DISTANCIA AL CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y
1	-7,091	-1,912
2	-4,641	1,728
3	-4,641	3,693
4	-3,941	-1,552
5	-1,491	-1,552
6	-1,491	2,693
7	0,939	-2,437
8	0,939	-0,582
9	1,959	-1,552
10	1,959	2,723
11	3,609	1,188
12	5,959	-2,187
13	5,959	2,723
A	-5,516	-3,052
B	3,959	-3,052
C	-3,526	-0,052
D	-1,896	-0,052
E	-0,276	-0,052
F	1,454	-0,052
G	2,299	-0,052
H	4,754	-0,052
I	-6,316	1,298
J	2,229	1,298
K	4,784	1,298
L	-4,241	4,148
M	-2,061	4,148
N	0,384	4,148
O	2,399	4,148

P	4,904	4,148
---	-------	-------

### 2.3.3.2.2 Segundo nivel

Tabla LVI Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 2

ID MURO	DISTANCIA AL CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y
1	3,420	4,589
2	1,160	4,589
3	-2,530	5,289
4	0,140	3,539
5	0,585	1,839
6	-1,915	1,839
7	2,360	-1,311
8	-1,915	-1,311
9	-0,110	-2,961
10	2,995	-5,311
11	-2,530	-5,311
A	3,860	4,224
B	3,860	1,234
C	3,860	-4,106
D	1,660	6,164
E	1,660	2,719
F	0,660	4,969
G	0,860	-1,651
H	0,860	-4,106
I	-0,490	6,514
J	-0,490	2,689
K	-0,490	-1,651
L	-0,490	-4,136
M	-3,340	4,799
N	-3,340	2,469
O	-3,340	0,264
P	-3,340	-1,751
Q	-3,340	-4,256

### 2.3.3.2.3 Cálculo del momento de inercia polar (J)

#### 2.3.3.2.3.1 Primer nivel

Tabla LVII Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 1

ID MURO	MOMENTO DE INERCIA POLAR	
	X	Y
1	0,897	0,004
2	0,074	0,001
3	0,064	0,006
4	0,480	0,003
5	0,069	0,003
6	0,066	0,010
7	0,005	0,004
8	0,004	0,000
9	0,118	0,003
10	0,107	0,010
11	0,027	0,001
12	0,365	0,004
13	0,990	0,010
A	0,046	0,317
B	0,030	0,512
C	0,005	0,000
D	0,001	0,000
E	0,000	0,000
F	0,001	0,000
G	0,002	0,000
H	0,026	0,000
I	0,030	0,014
J	0,002	0,003
K	0,026	0,032
L	0,007	0,038
M	0,002	0,038
N	0,000	0,586
O	0,002	0,046
P	0,025	0,268

$$\Sigma d_i \times K_i \text{ en X} = 3.468$$

$$\Sigma d_i \times K_i \text{ en Y} = 1.913$$

Momento de inercia polar, nivel 1 = 5.381

### 2.3.3.2.3.2 Segundo nivel

Tabla LVIII Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 2

ID MURO	MOMENTO DE INERCIA POLAR	
	X	Y
1	0,006	0,070
2	0,001	0,091
3	0,007	0,383
4	0,000	0,089
5	0,000	0,068
6	0,006	0,119
7	0,010	0,067
8	0,006	0,060
9	0,000	0,023
10	0,009	0,365
11	0,007	0,386
A	0,034	0,008
B	0,245	0,002
C	0,380	0,025
D	0,118	0,072
E	0,038	0,008
F	0,001	0,012
G	0,001	0,001
H	0,019	0,025
I	0,006	0,063
J	0,003	0,007
K	0,000	0,001
L	0,006	0,024
M	0,046	0,014
N	0,079	0,005
O	0,478	0,000
P	0,037	0,002
Q	0,219	0,023

$\Sigma d_i \times K_i$  en X = 1.765

$\Sigma d_i \times K_i$  en Y = 2.012

Momento de inercia polar, nivel 2 = 3.777

### 2.3.3.2.4 Determinación de la carga por torsión por muro ( $\Delta v$ )

#### 2.3.3.2.4.1 Primer nivel

Tabla LIX Incremento de carga por torsión en muros, nivel 1

ID MURO	CARGA POR TORSIÓN	
	X (kg)	Y (kg)
1	-10,911	-658,886
2	4,323	-82,958
3	8,593	-71,750
4	-11,654	-634,020
5	-11,654	-239,912
6	19,741	-228,847
7	-7,502	25,380
8	-1,574	19,567
9	-11,654	315,057
10	19,416	284,339
11	2,318	39,240
12	-9,469	318,743
13	19,416	865,045
A	-541,352	-43,481
B	-872,928	39,622
C	-0,646	-7,324
D	-0,646	-3,939
E	-5,538	-1,681
F	-0,995	3,746
G	-0,434	3,911
H	-5,538	28,904
I	55,717	-24,498
J	10,724	3,792
K	128,074	28,129
L	47,443	-8,491
M	47,443	-4,127
N	735,559	3,023
O	57,407	5,282
P	336,322	26,135

### 2.3.3.2.4.2 Segundo nivel

Tabla LX Incremento de carga por torsión en muros, nivel 2

ID MURO	CARGA POR TORSIÓN	
	X (kg)	Y (kg)
1	13,216	111,452
2	5,094	143,921
3	-19,772	525,560
4	0,788	181,845
5	5,525	266,584
6	-23,962	468,433
7	31,091	-370,119
8	-23,962	-334,032
9	-0,376	-56,505
10	22,752	-498,553
11	-19,772	-527,788
A	64,518	13,539
B	460,370	10,564
C	714,909	-43,813
D	516,669	85,253
E	164,980	21,250
F	12,598	17,018
G	12,475	-4,930
H	159,312	-43,813
I	-92,206	70,073
J	-44,394	20,071
K	-7,103	-4,930
L	-84,832	-42,680
M	-100,599	20,650
N	-171,618	13,875
O	-1039,356	3,649
P	-81,116	-6,767
Q	-475,229	-39,807

### 2.3.3.3 Determinación de la carga por sismo total

#### 2.3.3.3.1 Primer nivel

Tabla LXI Cargas totales debidas al sismo, nivel 1

ID MURO	CARGA POR SISMO TOTAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	161,526	2638,652
2	75,167	507,589
3	74,478	439,014
4	212,534	4568,303
5	212,534	4568,303
6	227,315	4357,603
7	87,139	793,311
8	76,512	611,619
9	212,534	4883,359
10	221,323	4407,232
11	57,577	348,057
12	122,561	1837,907
13	221,323	4987,938
A	5021,110	223,847
B	8096,524	323,872
C	348,606	58,982
D	348,606	58,982
E	2988,073	172,682
F	536,850	76,941
G	233,990	52,234
H	2988,073	201,586
I	1271,461	110,147
J	244,713	52,115
K	2922,640	195,126
L	371,304	56,850
M	371,304	56,850
N	5756,669	226,870
O	449,278	67,817
P	2632,142	177,498

### 2.3.3.3.2 Segundo nivel

Tabla LXII Cargas totales debidas al sismo, nivel 2

ID MURO	CARGA TOTAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	57,479	498,230
2	55,393	643,375
3	89,532	2108,031
4	65,170	1000,150
5	113,667	2575,312
6	143,351	4525,250
7	181,986	4495,088
8	143,351	4056,817
9	39,233	303,868
10	109,769	1494,817
11	89,532	1582,471
A	255,977	64,583
B	1826,517	146,915
C	2836,398	169,914
D	4081,586	305,513
E	1303,310	145,714
F	231,182	71,558
G	178,605	47,548
H	2280,801	169,914
I	2156,554	241,386
J	1038,308	138,941
K	166,129	47,548
L	1984,102	164,320
M	345,049	89,175
N	588,638	103,378
O	3564,916	223,908
P	278,223	61,533
Q	1629,999	148,937

## 2.3.4 Cálculo del refuerzo por muro

### 2.3.4.1 Cálculo del refuerzo horizontal

#### 2.3.4.1.1 Cálculo del momento actuante

##### 2.3.4.1.1.1 Primer nivel

Tabla LXIII Momentos actuantes en muros, nivel 1

ID MURO	MOMENTO ACTUANTE	
	X (kg-m)	Y (kg-m)
1	549,187	8971,416
2	255,569	1725,803
3	253,227	1492,647
4	722,615	15532,230
5	722,615	15532,230
6	772,872	14815,849
7	296,272	2697,258
8	260,141	2079,504
9	722,615	16603,422
10	752,497	14984,589
11	195,760	1183,395
12	416,708	6248,884
13	752,497	16958,990
A	17071,774	761,079
B	27528,181	1101,164
C	1185,260	200,538
D	1185,260	200,538
E	10159,447	587,118
F	1825,290	261,598
G	795,564	177,594
H	10159,447	685,393
I	4322,966	374,499
J	832,025	177,189
K	9936,974	663,428
L	1262,435	193,290
M	1262,435	193,290

N	19572,674	771,359
O	1527,546	230,577
P	8949,284	603,494

### 2.3.4.1.1.2 Segundo nivel

Tabla LXIV Momentos actuantes en muros, nivel 2

ID MURO	MOMENTO ACTUANTE	
	X (kg-m)	Y (kg-m)
1	155,192	1345,220
2	149,561	1737,113
3	241,735	5691,682
4	175,960	2700,406
5	306,900	6953,341
6	387,048	12218,175
7	491,363	12136,739
8	387,048	10953,407
9	105,929	820,444
10	296,377	4036,005
11	241,735	4272,671
A	691,137	174,374
B	4931,597	396,671
C	7658,273	458,769
D	11020,282	824,885
E	3518,938	393,427
F	624,190	193,207
G	482,232	128,380
H	6158,163	458,769
I	5822,697	651,743
J	2803,431	375,140
K	448,549	128,380
L	5357,075	443,665
M	931,631	240,772
N	1589,322	279,120
O	9625,274	604,551
P	751,203	166,138
Q	4400,998	402,131

### 2.3.4.1.2 Cálculo del factor K

$$E_s = 2.03e6 \text{ kg} / \text{cm}^2 \quad (6-5)$$

$$E_m = 750 f'_m = 750(35) = 26250 \text{ kg} / \text{cm}^2 \quad (6-4)$$

$$n = \frac{2.03e6}{26250} = 77.33$$

$$F_s = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{3}\right)(16158) = 2693 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$F_b = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{3}\right)(35)(1.6) = 9.33 \text{ kg} / \text{cm}^2$$

$$K = \frac{77.33}{77.33 + \frac{2693}{9.33}} = 0.21$$

### 2.3.4.1.3 Cálculo de J

$$J = 1 - \frac{K}{3} \quad (7-35)$$

$$J = 1 - \frac{0.21}{3} = 0.9295$$

### 2.3.4.1.4 Determinación de la cuantía por muro

#### 2.3.4.1.4.1 Primer nivel

Tabla LXV Cuantías requeridas para muros, nivel 1

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA
1	0,000221
2	0,000043
3	0,000037
4	0,000383
5	0,000383
6	0,000366
7	0,000067
8	0,000051
9	0,000410
10	0,000370

11	0,000029
12	0,000154
13	0,000419
A	0,000421
B	0,000679
C	0,000029
D	0,000029
E	0,000251
F	0,000045
G	0,000020
H	0,000251
I	0,000107
J	0,000021
K	0,000245
L	0,000031
M	0,000031
N	0,000483
O	0,000038
P	0,000221

#### 2.3.4.1.4.2 Segundo nivel

Tabla LXVI Cuantías requeridas para muros, nivel 2

ID MURO	CUANTIA REQUERIDA
1	0,000033
2	0,000043
3	0,000140
4	0,000067
5	0,000172
6	0,000302
7	0,000300
8	0,000270
9	0,000020
10	0,000100
11	0,000105
A	0,000017
B	0,000122
C	0,000189
D	0,000272

E	0,000087
F	0,000015
G	0,000012
H	0,000152
I	0,000144
J	0,000069
K	0,000011
L	0,000132
M	0,000023
N	0,000039
O	0,000238
P	0,000019
Q	0,000109

### 2.3.4.1.5 Área de acero requerida por muro

#### 2.3.4.1.5.1 Primer nivel

Tabla LXVII Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 1

ID MURO	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	1,05	2,7
2	0,20	0,5
3	0,18	0,5
4	1,82	4,7
5	1,82	4,7
6	1,74	4,5
7	0,32	0,8
8	0,24	0,6
9	1,95	5,1
10	1,76	4,6
11	0,14	0,4
12	0,73	1,9
13	1,99	5,2
A	2,01	5,2
B	3,23	8,4
C	0,14	0,4
D	0,14	0,4
E	1,19	3,1

F	0,21	0,6
G	0,09	0,2
H	1,19	3,1
I	0,51	1,3
J	0,10	0,3
K	1,17	3,0
L	0,15	0,4
M	0,15	0,4
N	2,30	6,0
O	0,18	0,5
P	1,05	2,7

### 2.3.4.1.5.2 Segundo nivel

Tabla LXVIII Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 2

ID MURO	VALOR DE As	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,13	0,33
2	0,16	0,42
3	0,53	1,38
4	0,25	0,65
5	0,65	1,69
6	1,14	2,96
7	1,13	2,94
8	1,02	2,66
9	0,08	0,20
10	0,38	0,98
11	0,40	1,04
A	0,06	0,17
B	0,46	1,20
C	0,71	1,86
D	1,03	2,67
E	0,33	0,85
F	0,06	0,15
G	0,04	0,12
H	0,57	1,49
I	0,54	1,41
J	0,26	0,68
K	0,04	0,11
L	0,50	1,30

M	0,09	0,23
N	0,15	0,39
O	0,90	2,33
P	0,07	0,18
Q	0,41	1,07

### 2.3.4.2 Cálculo del refuerzo vertical

#### 2.3.4.2.1 Primer nivel

Tabla LXIX Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 1

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,000184	0,59	3,0
2	0,000168	0,24	1,2
3	0,000181	0,24	1,2
4	0,000182	0,76	3,9
5	0,000182	0,76	3,9
6	0,000201	0,82	4,2
7	0,000171	0,29	1,5
8	0,000169	0,26	1,3
9	0,000182	0,76	3,9
10	0,000207	0,82	4,2
11	0,000162	0,18	0,9
12	0,000170	0,41	2,1
13	0,000211	0,84	4,3
A	0,000187	0,82	4,2
B	0,000217	1,22	6,2
C	0,000152	0,18	0,9
D	0,000152	0,18	0,9
E	0,000179	0,61	3,1
F	0,000163	0,24	1,2
G	0,000165	0,16	0,8
H	0,000230	0,78	4,0
I	0,000172	0,37	1,9
J	0,000165	0,16	0,8
K	0,000233	0,76	3,9
L	0,000156	0,18	0,9
M	0,000156	0,18	0,9

N	0,000191	0,84	4,3
O	0,000175	0,22	1,1
P	0,000237	0,71	3,6

### 2.3.4.2.2 Segundo nivel

Tabla LXX Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 2

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,000096	0,12	0,6
2	0,000070	0,10	0,5
3	0,000079	0,20	1,0
4	0,000066	0,12	0,6
5	0,000091	0,27	1,4
6	0,000088	0,35	1,8
7	0,000112	0,47	2,4
8	0,000088	0,35	1,8
9	0,000054	0,06	0,3
10	0,000105	0,26	1,3
11	0,000079	0,20	1,0
A	0,000134	0,14	0,7
B	0,000129	0,35	1,8
C	0,000127	0,43	2,2
D	0,000204	0,90	4,6
E	0,000142	0,35	1,8
F	0,000144	0,16	0,8
G	0,000082	0,08	0,4
H	0,000121	0,41	2,1
I	0,000206	0,71	3,6
J	0,000148	0,35	1,8
K	0,000082	0,08	0,4
L	0,000125	0,41	2,1
M	0,000157	0,22	1,1
N	0,000142	0,26	1,3
O	0,000134	0,59	3,0
P	0,000112	0,14	0,7
Q	0,000125	0,37	1,9

**El espaciamiento entre pines verticales para el sistema es de 80 cm.**

## 2.4 Sistema de block tradicional

### 2.4.1 Cálculo del centro de rigidez (CR) y el centro de masa (CM)

#### 2.4.1.1 Centro de masa (CM)

Para el centro de masa se considerará el peso de cada muro y la distancia de su eje geométrico a un eje de referencia previamente establecido; así como también el peso de la losa y el centro de la misma; luego se combinan ambos.

El peso de muro por metro lineal se considera como peso del bloque por número de unidades por metro cuadrado por alto del muro

El peso del bloque es de 14 kg.; el número de unidades por metro cuadrado que caben es de 13.50 u/m<sup>2</sup>; la altura del muro es la especificada con las propiedades generales.

##### 2.4.1.1.1 Primer nivel

A continuación se despliega la información relativa al primer nivel de la planta, utilizando los datos de los muros mostrados en la tabla LXXI

. Tabla LXXI Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 1

ID MURO	PESO MUROS	PESO MURO POR CENTRO	
		X	Y
1	1150,769	0,000	1311,877
2	504,723	1236,572	2412,578
3	469,393	1150,012	3166,054
4	1514,170	4769,636	2271,255
5	1514,170	8479,352	2271,255
6	1478,839	8281,501	8495,932
7	620,810	4985,102	381,798
8	545,101	4377,163	1346,400

9	1514,170	13703,239	2271,255
10	1438,462	13018,077	8307,115
11	393,684	4212,421	1669,221
12	873,171	11394,887	755,293
13	1438,462	18771,923	8307,115
A	1589,879	2504,059	0,000
B	2018,893	22308,772	0,000
C	418,920	1493,451	1256,761
D	418,920	2176,291	1256,761
E	1226,478	8358,446	3679,433
F	519,865	4442,247	1559,595
G	343,212	3222,760	1029,636
H	1226,478	14527,629	3679,433
I	782,321	606,299	3403,097
J	343,212	3198,735	1492,972
K	1186,100	14084,936	5159,534
L	403,779	1150,769	2907,206
M	403,779	2031,007	2907,206
N	1589,879	11884,342	11447,126
O	444,157	4215,046	3197,927
P	1075,061	12895,353	7740,437

$\Sigma$  peso muro = 27446.856 kg.

$\Sigma$  peso muro por (X centro de muro) = 203480.025 kg.

$\Sigma$  peso muro por (Y centro de muro) = 93684.274 kg.

CM de muro =  $\frac{\Sigma \text{ peso muro por centro}}{\Sigma \text{ peso muro}}$

CM en X =  $\frac{203480.025}{27446.856} = 7.413 \text{ m}$

CM en Y =  $\frac{93684.274}{27446.856} = 3.413 \text{ m}$

CM de losa =  $\frac{\text{área de losa por centro losa}}{\text{área de losa}}$

Peso de losa = área por peso distribuido

Área de losa por (X centro de losa) = 571,714 m<sup>3</sup>

Área de losa por (Y centro de losa) = 268,847 m<sup>3</sup>

Área de la losa = 81,937 m<sup>2</sup>

Peso de losa = 81.937 x (0.09x2400 + 160 + 200) = 47196 kg.

CM en X =  $\frac{571.714}{81.937} = 6,902 \text{ m}$

CM en Y =  $\frac{268.847}{81.937} = 2.831 \text{ m}$

CM combinado losa-muro =  $\frac{\text{peso losa por CM} + \text{peso muro por CM}}{\text{peso losa} + \text{peso muro}}$

CM combinado en X =  $\frac{(47196 \times 6.90) + (27446.86 \times 7.41)}{(47196 + 27446.86)} = 7.090 \text{ m}$

CM combinado en Y =  $\frac{(47196 \times 2.831) + (27446.86 \times 3.41)}{(47196 + 27446.86)} = 3.045 \text{ m}$

#### 2.4.1.1.2 Segundo nivel

A continuación se despliega la información relativa al segundo nivel de la planta, utilizando los datos de los muros mostrados en la tabla LXXII.

Tabla LXXII Pesos muro y pesos muro por centro, nivel 2

ID MURO	PESO MUROS	PESO MURO POR CENTRO	
		X	Y
1	326,700	1029,105	143,748
2	371,250	1169,438	1002,375
3	660,825	1619,021	4222,672
4	475,200	1995,840	1767,744
5	798,188	4709,306	2614,064
6	1058,063	6242,569	6110,311
7	1113,750	10079,438	1670,625
8	1058,063	9575,466	6110,311

9	289,575	3098,453	1149,613
10	642,263	8381,526	555,557
11	660,825	8623,766	4222,672
A	271,013	952,609	0,000
B	723,938	4709,213	0,000
C	902,138	10685,819	0,000
D	1169,438	1841,864	2572,763
E	660,825	3317,342	1453,815
F	289,575	802,123	926,640
G	252,450	2370,506	757,350
H	902,138	10685,819	2706,413
I	909,563	1114,214	3956,597
J	631,125	3187,181	2745,394
K	252,450	2370,506	1098,158
L	872,438	10360,195	3795,103
M	363,825	1069,646	2619,540
N	475,200	2504,304	3421,440
O	1169,438	8741,545	8419,950
P	326,700	3100,383	2352,240
Q	790,763	9485,196	5693,490

$\Sigma$  peso muro = 18417.713 kg.

$\Sigma$  peso muro por (X centro de muro) = 133822.390 kg.

$\Sigma$  peso muro por (Y centro de muro) = 72088.583 kg.

CM de muro =  $\frac{\Sigma \text{ peso muro por centro}}{\Sigma \text{ peso muro}}$

CM en X =  $\frac{133822.390}{18417.713} = 7.266 \text{ m}$

CM en Y =  $\frac{72088.583}{18417.713} = 3.914 \text{ m}$

CM de losa =  $\frac{\text{área de losa por centro losa}}{\text{área de losa}}$

Peso de losa = área por peso distribuido

Área de losa por (X centro de losa) = 619.623 m<sup>3</sup>

Área de losa por (Y centro de losa) = 291.722 m<sup>3</sup>

Área de la losa = 79.012 m<sup>2</sup>

Peso de losa = 79.012 x (0.09x2400 + 160 + 100) = 37610 kg.

CM en X =  $\frac{619.623}{79.012} = 7.767 \text{ m}$

CM en Y =  $\frac{291.722}{79.012} = 3.692 \text{ m}$

CM combinado losa-muro =  $\frac{\text{peso losa por CM} + \text{peso muro por CM}}{\text{peso losa} + \text{peso muro}}$

CM combinado en X =  $\frac{(37610 \times 7.77) + (18417.713 \times 7.26)}{(37610 + 18417.713)} = 7.602 \text{ m}$

CM combinado en Y =  $\frac{(37610 \times 3.69) + (18417.713 \times 3.91)}{(37610 + 18417.713)} = 3.765 \text{ m}$

#### 2.4.1.2 Centro de rigidez (CR)

Los únicos que contribuyen en el centro de rigidez en el sistema son los elementos verticales del edificio; por consiguiente se calculará la rigidez de los muros que integran el sistema y la distancia de su eje geométrico a un eje de referencia establecido en la Tabla IV.

Para el cálculo de la rigidez de los muros se utilizará la ecuación

$$K = \frac{I}{L}$$
$$I = \left(\frac{1}{12}\right)BL^3$$

Donde:

K = rigidez relativa

I = inercia del muro

L = longitud del muro

B = espesor del muro

#### 2.4.1.2.1 Primer nivel

A continuación se despliega la información relativa al primer nivel de la planta, utilizando los datos de los muros mostrados en la tabla LXXIII.

**Tabla LXXIII** Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 1

ID MURO	RIGIDEZ DE MUROS		CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y	X	Y
1	0,001	0,018	0,001	0,000
2	0,000	0,003	0,002	0,008
3	0,000	0,003	0,003	0,007
4	0,001	0,031	0,002	0,097
5	0,001	0,031	0,002	0,173
6	0,001	0,029	0,008	0,165
7	0,001	0,005	0,000	0,042
8	0,001	0,004	0,001	0,032
9	0,001	0,031	0,002	0,279
10	0,001	0,028	0,008	0,252
11	0,000	0,002	0,002	0,022
12	0,001	0,010	0,001	0,134
13	0,001	0,028	0,008	0,364
A	0,034	0,002	0,000	0,002
B	0,055	0,002	0,000	0,021
C	0,002	0,000	0,007	0,001
D	0,002	0,000	0,007	0,002
E	0,020	0,001	0,061	0,008
F	0,004	0,000	0,011	0,004
G	0,002	0,000	0,005	0,003
H	0,020	0,001	0,061	0,014
I	0,008	0,001	0,036	0,001

J	0,002	0,000	0,007	0,003
K	0,019	0,001	0,082	0,013
L	0,002	0,000	0,016	0,001
M	0,002	0,000	0,016	0,002
N	0,034	0,002	0,245	0,011
O	0,003	0,000	0,019	0,004
P	0,016	0,001	0,112	0,012

$$\Sigma \text{ Rigidez muro X} = 0.238$$

$$\Sigma \text{ Rigidez muro Y} = 0.237$$

$$\Sigma \text{ Rigidez muro por (X centro de muro)} = 0.726$$

$$\Sigma \text{ Rigidez muro por (Y centro de muro)} = 1.680$$

$$\text{CR de muro} = \frac{\Sigma \text{ Rigidez muro por centro en sentido perpendicular}}{\Sigma \text{ Rigidez muro en sentido perpendicular}}$$

$$\text{CR en X} = \frac{1.680}{0.237} = 7.091 \text{ m}$$

$$\text{CR en Y} = \frac{0.726}{0.238} = 3.052 \text{ m}$$

#### 2.4.1.2.2 Segundo nivel

A continuación se despliega la información relativa al segundo nivel de la planta, utilizando los datos de los muros mostrados en la tabla LXXIV.

**Tabla LXXIV** Rigidez muro y rigidez muro por centro, nivel 2

ID MURO	RIGIDEZ DE MUROS		CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y	X	Y
1	0,009	0,009	0,004	0,028
2	0,012	0,012	0,032	0,037
3	0,037	0,037	0,236	0,091
4	0,019	0,019	0,071	0,080
5	0,054	0,054	0,177	0,318
6	0,095	0,095	0,547	0,559

7	0,105	0,105	0,158	0,950
8	0,095	0,095	0,547	0,858
9	0,007	0,007	0,028	0,076
10	0,035	0,035	0,030	0,456
11	0,037	0,037	0,236	0,482
A	0,006	0,006	0,000	0,022
B	0,044	0,044	0,000	0,289
C	0,069	0,069	0,000	0,816
D	0,116	0,116	0,255	0,182
E	0,037	0,037	0,081	0,186
F	0,007	0,007	0,023	0,020
G	0,005	0,005	0,016	0,051
H	0,069	0,069	0,207	0,816
I	0,070	0,070	0,305	0,086
J	0,034	0,034	0,147	0,170
K	0,005	0,005	0,023	0,051
L	0,064	0,064	0,280	0,765
M	0,011	0,011	0,081	0,033
N	0,019	0,019	0,138	0,101
O	0,116	0,116	0,833	0,865
P	0,009	0,009	0,065	0,086
Q	0,053	0,053	0,381	0,635

$\Sigma$  Rigidez muro X = 0.284

$\Sigma$  Rigidez muro Y = 0.205

$\Sigma$  Rigidez muro por (X centro de muro) = 1.098

$\Sigma$  Rigidez muro por (Y centro de muro) = 1.583

CR de muro =  $\frac{\Sigma \text{ Rigidez muro por centro en sentido perpendicular}}{\Sigma \text{ Rigidez muro en sentido perpendicular}}$

CR en X =  $\frac{1.583}{0.205} = 7.739 \text{ m}$

CR en Y =  $\frac{1.098}{0.284} = 3.860 \text{ m}$

## 2.4.2 Cálculo de la excentricidad de configuración y excentricidad de diseño

La excentricidad de configuración es la que existe entre la diferencia del centro de masa y el centro de rigidez; sin colocarle el aumento en la excentricidad que exigen los códigos; que al considerárselo es excentricidad de diseño.

Excentricidad de configuración = ICM – CRI

Excentricidad de Diseño = ICM – CRI + 5% B según UBC 97 sección 1630.6

Excentricidad máxima de diseño según código = 15% B

Chequeo de excentricidades = excentricidad de Diseño < excentricidad máxima de diseño según

Donde: código

CM = centro de masa

CR = centro de rigidez

B = base en sentido del eje considerado

### 2.4.2.1 Primer nivel

Excentricidad de configuración en X = 17.090 – 7.0911 = 0.001 m

Excentricidad de configuración en Y = 13.045 – 3.0521 = 0.007 m

Excentricidad de Diseño en X = 1.5 x 0.001 + 5% (13.20) = 0.662 m

Excentricidad de Diseño en Y = 1.5 x 0.007 + 5% (7.35) = 0.378 m

Excentricidad máxima permitida, según código en X = 15% (13.20) = 1.980 m

Excentricidad máxima permitida, según código en Y = 15% (7.35) = 1.103 m

Chequeo de excentricidades en X = 0.662 < 1.980 → **OK**

Chequeo de excentricidades en Y =  $0.378 < 1.103 \rightarrow \text{OK}$

#### **2.4.2.2 Segundo nivel**

Excentricidad de configuración en X =  $17.602 - 7.7391 = 0.137 \text{ m}$

Excentricidad de configuración en Y =  $13.765 - 3.8601 = 0.095 \text{ m}$

Excentricidad de Diseño en X =  $1.5 \times 0.137 + 5\% (13.20) = 0.865 \text{ m}$

Excentricidad de Diseño en Y =  $1.5 \times 0.095 + 5\% (7.35) = 0.510 \text{ m}$

Excentricidad máxima permitida, según código en X =  $15\% (13.20) = 1.980 \text{ m}$

Excentricidad máxima permitida, según código en Y =  $15\% (7.35) = 1.103 \text{ m}$

Chequeo de excentricidades en X =  $0.865 < 1.980 \rightarrow \text{OK}$

Chequeo de excentricidades en Y =  $0.510 < 1.103 \rightarrow \text{OK}$

#### **2.4.3 Determinación de la carga lateral**

La determinación de la carga lateral se realizará con forme al UBC 97, considerando el incremento de corte por torsión.

##### **2.4.3.1 Cálculo del corte basal**

###### **2.4.3.1.1 Procedimientos por métodos estáticos**

Para el cálculo del corte basal el UBC 97 nos permite para estructuras para cuya categoría de destino es 4 ó 5 que no excede los 3 niveles de altura utilizar el método de Diseño Simplificado (sección 1630.2.1); el cual se describe a continuación:

El cálculo del corte basal es determinado por:

$$V = \frac{C_v I}{RT} W \quad (30-4)$$

Pero no necesita ser mayor que:

$$V = \frac{2.5C_a I}{R} W \quad (30-5)$$

Y no ser menor a:

$$V = 0.11C_a I W \quad (30-6)$$

Para la zona sísmica 4 no debe ser menor a:

$$V = \frac{0.8Z N_v I}{R} W \quad (30-7)$$

Donde:

$$T = C_t (h_n)^{3/4} \quad (30-8)$$

$$C_v = 0.64 N_v$$

$$C_a = 0.44 N_a$$

Del código UBC 97 se determinan los valores necesarios para el cálculo del corte basal por el método de diseño simplificado, en las tablas del capítulo 16 del volumen 2.

Factores para el cálculo:

I = factor de importancia dado en la tabla 16-K

R = factor numérico que engloba la ductilidad y la resistencia a la carga lateral de la estructura, dado en la tabla 16-N y 16-P

Tipo de suelo = determinado en las propiedades iniciales para todos los sistemas

Ca = coeficiente sísmico, dado en la tabla 16-Q

$N_a$  = coeficiente para la determinación del factor  $C_a$ , el cual es determinado por la distancia de las fallas sísmicas, dado en la tabla 16-S

$Z$  = clasificación de zonificación sísmica dada en las condiciones iniciales

$C_v$  = coeficiente sísmico determinado por la zonificación sísmica y el tipo de suelo, dado en la tabla 16-R

$N_v$  = factor determinado por la distancia a fallas probables y tipo de fuente sísmica (determinada en las condiciones iniciales)

$T$  = período fundamental propio de la estructura, determinado, según el Método A del código UBC 97.

$C_t$  = factor determinado por el tipo de sistema estructural

$h_n$  = altura desde la base al nivel en consideración

$W$  = peso total de la estructura más el 25% de la carga viva

$I = 1$

$R = 4.5$

Tipo de suelo = SD

$N_a = 1.2$

$C_a = 0.44 \times N_a = 0.44 \times 1.2 = 0.528$

$Z = 0.4$

$N_v = 1.6$

$C_v = 0.64 \times N_v = 0.64 \times 1.6 = 1.024$

$C_t = 0.0488$

$h_n = 6.1 \text{ m}$

$T = C_t \times h_n^{3/4} = 0.0488 \times 6.1^{3/4} = 0.189 \text{ s}$

$W$  = peso primer nivel + peso segundo nivel

Peso primer nivel = peso muros + peso losa + peso sobrecarga + 25%Viva

Peso primer nivel = 27446.86 + 17698.5 + 13110 + 4096.9 = 62352.23 kg.

Peso segundo nivel = 18417.71 + 17066.7 + 12642 + 1975.3 = 50101.72 kg.

$W = 62352.23 + 50101.72 = 112453.96 \text{ kg.}$

El cálculo del corte basal es determinado por:

$$V = \frac{1.024 \times 1}{4.5 \times 0.189} (112453.96) = 84435.48 \text{ kg} \quad (30-4)$$

Pero no necesita ser mayor que:

$$V = \frac{2.5(0.528)(1)}{4.5} (112453.96) = 27488.74 \text{ kg} \quad (30-5)$$

Y no ser menor a:

$$V = 0.11(0.528)(1)(112453.96) = 5442.77 \text{ kg} \quad (30-6)$$

Para la zona sísmica 4 no debe ser menor a:

$$V = \frac{0.8(0.4)(1.6)(1)}{4.5} (112453.96) = 7996.72 \text{ kg} \quad (30-7)$$

Como la ecuación (30 - 4) es mayor a la ecuación (30 - 5) y el código UBC 97 nos permite utilizar la ecuación (30 - 5) como la máxima expresión para el método de Diseño Simplificado.

#### **2.4.3.1.2 Distribución de fuerzas por nivel**

Para la distribución de las fuerzas por nivel el código UBC 97 nos indica que debe hacerse en concordancia con las ecuaciones 30-13, 30-14 y 30-15 dadas en la sección 1630.5.

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i \quad (30-13)$$

La fuerza concentrada en la cúspide  $F_t$ , es determinada por la ecuación:

$$F_t = 0.07TV \quad (30-14)$$

El valor de T utilizado para calcular  $F_t$  debe ser el correspondiente al utilizado en el cálculo del corte basal con la ecuación (30-4).  $F_t$  no necesita ser mayor a 0.25 V y debe ser considerado cero cuando T es 0.7 segundos o menos. La restante porción del corte basal debe ser distribuida conforme al peso de la estructura, incluyendo el nivel  $n$ , de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$F_x = \frac{(V - F_t)w_x h_x}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (30-15)$$

En el nivel designado x, la fuerza  $F_x$  debe ser aplicada en el área de la estructura en concordancia con la distribución de la masa por nivel. Desplazamientos estructurales y diseño de fuerzas sísmicas deben ser calculados por efectos de las fuerzas  $F_x$  y  $F_t$  aplicadas de forma apropiadas en los niveles sobre la base.

#### 2.4.3.1.2.1 Fuerza en la cúspide ( $F_t$ )

La fuerza en la cúspide de la estructura que se está analizando es considerada cero por tener un período fundamental T menor a 0.7 segundos como es indicado en la parte anterior.

#### 2.4.3.1.2.2 Fuerzas por nivel ( $F_x$ )

Fuerza primer nivel:

$$F_1 = \frac{(27488.74)(62352.23)(3.4)}{[(62352.23)(3.4)][(50101.72)(6.1)]} = 11258.39 \text{ kg}$$

Fuerza segundo nivel:

$$F_2 = \frac{(27488.74)(50101.72)(6.1)}{[(62352.23)(3.4)][(50101.72)(6.1)]} = 16230.35 \text{ kg}$$

### 2.4.3.1.3 Determinación de la carga lateral por muro

El cortante en el nivel  $V_x$  es la suma de las fuerzas  $F_t$  y  $F_x$  sobre ese nivel; el cortante  $V_x$  debe ser distribuido en los elementos resistentes a cargas laterales del piso en proporción a sus rigideces, considerando la rigidez del diafragma horizontal.

$$V_x = F_t + \sum_{i=1}^n F_x \quad (30-13)$$

$$V_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i} V_x$$

#### 2.4.3.1.3.1 Primer nivel

A continuación se despliega la información relativa a la distribución de cargas laterales, según la rigidez de cada muro, según lo descrito con anterioridad, mostrada en la tabla LXXV.

**Tabla LXXV** Distribución de cargas laterales en muros, nivel 1

ID MURO	CARGA LATERAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	126,675	2069,341
2	55,559	398,073
3	51,670	344,293
4	166,678	3582,653
5	166,678	3582,653
6	162,789	3417,414
7	68,338	602,244
8	60,004	464,312
9	166,678	3582,653

10	158,344	3233,345
11	43,336	242,187
12	96,118	1191,392
13	158,344	3233,345
A	3937,764	175,550
B	6349,631	222,921
C	273,391	46,256
D	273,391	46,256
E	2343,371	135,424
F	421,020	57,402
G	183,504	37,897
H	2343,371	135,424
I	953,437	86,382
J	183,504	37,897
K	2191,615	130,966
L	253,985	44,584
M	253,985	44,584
N	3937,764	175,550
O	307,322	49,043
P	1800,478	118,705

Chequeo de la distribución de cargas

$\Sigma$  de cargas laterales en muro =  $V_x$

$\Sigma$  de cargas laterales en X = 27488.74 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

$\Sigma$  de cargas laterales en Y = 27488.74 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

#### 2.4.3.1.3.2 Segundo nivel

A continuación se despliega la información relativa a la distribución de cargas laterales, según la rigidez de cada muro, según lo descrito con anterioridad, mostrada en la tabla LXXVI.

**Tabla LXXVI** Distribución de cargas laterales en muros, nivel 2

ID MURO	CARGA LATERAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	30,376	265,430
2	34,518	342,755
3	61,442	1085,986
4	44,183	561,570
5	74,214	1584,386
6	98,376	2784,030
7	103,554	3084,797
8	98,376	2784,030
9	26,924	208,532
10	59,716	1025,832
11	61,442	1085,986
A	131,390	35,030
B	937,531	93,572
C	1455,892	116,605
D	2446,458	151,155
E	781,190	85,415
F	150,005	37,429
G	114,008	32,630
H	1455,892	116,605
I	1479,956	117,565
J	712,549	81,576
K	114,008	32,630
L	1361,609	112,766
M	236,793	47,026
N	403,958	61,422
O	2446,458	151,155
P	190,933	42,227
Q	1118,603	102,210

Chequeo de la distribución de cargas

$\Sigma$  de cargas laterales en muro =  $V_x$

$\Sigma$  de cargas laterales en X = 16230.35 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

$\Sigma$  de cargas laterales en Y = 16230.35 kg. =  $V_x \rightarrow$  **OK**

### **2.4.3.2 Cálculo del incremento de carga por torsión**

Cuando el diafragma horizontal se considera rígido. Se deben considerar los incrementos del esfuerzo cortante que resulta de la torsión horizontal. La distribución de la carga a los soportes es proporcional a sus rigideces relativas y es independiente del área tributaria soportada.

El diafragma que se está considerando en la estructura es un diafragma rígido por lo que se calcularán los efectos por torsión; si el diafragma fuera flexible el cálculo del incremento de la torsión no se tendría que considerar, puesto que este absorbería parte de la carga sísmica y no la transmitiría al resto de la estructura.

#### **2.4.3.2.1 Cálculo del momento torsionante (T)**

El centro de rigideces es aquel punto alrededor del cual la estructura tiende a rotar cuando está sujeta a una fuerza excéntrica. En el caso de la fuerza sísmica, ésta actúa en el centro de masas de la estructura y el momento torsor es el producto de la fuerza sísmica y la excentricidad del centro de masas con respecto al centro de rigideces.

Ecuación que describe la forma de suposición:

$$\pm 100\% F_x e_y \pm 30\% F_y e_x$$

$$\pm 100\% F_y e_x \pm 30\% F_x e_y$$

#### 2.4.3.2.1.1 Primer nivel

$$\begin{aligned}100\%(27488.74)(0.662) + 30\%(27488.74)(0.378) &= 21305.62 \text{ kg} - m \\100\%(27488.74)(0.662) - 30\%(27488.74)(0.378) &= 15064.51 \text{ kg} - m \\-100\%(27488.74)(0.662) + 30\%(27488.74)(0.378) &= -15064.51 \text{ kg} - m \\-100\%(27488.74)(0.662) - 30\%(27488.74)(0.378) &= -21305.62 \text{ kg} - m \\100\%(27488.74)(0.378) + 30\%(27488.74)(0.662) &= 15857.37 \text{ kg} - m \\100\%(27488.74)(0.378) - 30\%(27488.74)(0.662) &= 4946.33 \text{ kg} - m \\-100\%(27488.74)(0.378) + 30\%(27488.74)(0.662) &= -4946.33 \text{ kg} - m \\-100\%(27488.74)(0.378) - 30\%(27488.74)(0.662) &= -15857.37 \text{ kg} - m\end{aligned}$$

El valor máximo de la torsión es 21305.62 kg.-m este es el que se utilizará para el cálculo en el primer nivel.

#### 2.4.3.2.1.2 Segundo nivel

$$\begin{aligned}100\%(16230.35)(0.865) + 30\%(16230.35)(0.510) &= 16517.86 \text{ kg} - m \\100\%(16230.35)(0.865) - 30\%(16230.35)(0.510) &= 11549.15 \text{ kg} - m \\-100\%(16230.35)(0.865) + 30\%(16230.35)(0.510) &= -11549.15 \text{ kg} - m \\-100\%(16230.35)(0.865) - 30\%(16230.35)(0.510) &= -13517.86 \text{ kg} - m \\100\%(16230.35)(0.510) + 30\%(16230.35)(0.865) &= 12491.24 \text{ kg} - m \\100\%(16230.35)(0.510) - 30\%(16230.35)(0.865) &= 4071.13 \text{ kg} - m \\-100\%(16230.35)(0.510) + 30\%(16230.35)(0.865) &= -4071.13 \text{ kg} - m \\-100\%(16230.35)(0.510) - 30\%(16230.35)(0.865) &= -12491.24 \text{ kg} - m\end{aligned}$$

El valor máximo de la torsión es 16517.86 kg.-m este es el que se utilizará para el cálculo en el segundo nivel.

### 2.4.3.2.2 Determinación de la distancia al centro de rigidez ( $d_i$ )

La distancia al centro de rigidez es la distancia que existe entre el centro de rigidez y el centro de rigidez de cada muro

$$d_i = CG_i - CR$$

#### 2.4.3.2.2.1 Primer nivel

A continuación se presenta la información relativa a la distancia al centro de rigidez de los muros relativa al primer nivel, mostrado en la tabla LXXVII.

**Tabla LXXVII** Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 1

ID MURO	DISTANCIA AL CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y
1	-7,091	-1,912
2	-4,641	1,728
3	-4,641	3,693
4	-3,941	-1,552
5	-1,491	-1,552
6	-1,491	2,693
7	0,939	-2,437
8	0,939	-0,582
9	1,959	-1,552
10	1,959	2,723
11	3,609	1,188
12	5,959	-2,187
13	5,959	2,723
A	-5,516	-3,052
B	3,959	-3,052
C	-3,526	-0,052
D	-1,896	-0,052
E	-0,276	-0,052
F	1,454	-0,052
G	2,299	-0,052
H	4,754	-0,052
I	-6,316	1,298
J	2,229	1,298

K	4,784	1,298
L	-4,241	4,148
M	-2,061	4,148
N	0,384	4,148
O	2,399	4,148
P	4,904	4,148

#### 2.4.3.2.2 Segundo nivel

A continuación se presenta la información relativa a la distancia al centro de rigidez de los muros relativa al segundo nivel, mostrado en la tabla LXXVIII.

**Tabla LXXVIII** Distancias de los muros al centro de rigidez, nivel 2

ID MURO	DISTANCIA AL CENTRO DE RIGIDEZ	
	X	Y
1	3,420	4,589
2	1,160	4,589
3	-2,530	5,289
4	0,140	3,539
5	0,585	1,839
6	-1,915	1,839
7	2,360	-1,311
8	-1,915	-1,311
9	-0,110	-2,961
10	2,995	-5,311
11	-2,530	-5,311
A	3,860	4,224
B	3,860	1,234
C	3,860	-4,106
D	1,660	6,164
E	1,660	2,719
F	0,660	4,969
G	0,860	-1,651
H	0,860	-4,106
I	-0,490	6,514
J	-0,490	2,689
K	-0,490	-1,651
L	-0,490	-4,136
M	-3,340	4,799

N	-3,340	2,469
O	-3,340	0,264
P	-3,340	-1,751
Q	-3,340	-4,256

### 2.4.3.2.3 Cálculo del momento de inercia polar (J)

El momento de inercia polar es la suma de todas las rigideces por la distancia al centro de rigidez de los muros que resisten la fuerza lateral;

$$J = \sum_{i=1}^n d_i k_i$$

#### 2.4.3.2.3.1 Primer nivel

A continuación se presenta la información relacionada a la rigidez por la distancia al centro de rigidez, relativa al nivel 1, mostrado en la tabla LXXIX.

**Tabla LXXIX** Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 1

ID MURO	MOMENTO DE INERCIA POLAR	
	X	Y
1	0,897	0,004
2	0,074	0,001
3	0,064	0,006
4	0,480	0,003
5	0,069	0,003
6	0,066	0,010
7	0,005	0,004
8	0,004	0,000
9	0,118	0,003
10	0,107	0,010
11	0,027	0,001
12	0,365	0,004
13	0,990	0,010
A	0,046	0,317
B	0,030	0,512
C	0,005	0,000

D	0,001	0,000
E	0,000	0,000
F	0,001	0,000
G	0,002	0,000
H	0,026	0,000
I	0,030	0,014
J	0,002	0,003
K	0,026	0,032
L	0,007	0,038
M	0,002	0,038
N	0,000	0,586
O	0,002	0,046
P	0,025	0,268

$\Sigma d_i \times K_i$  en X = 3.468

$\Sigma d_i \times K_i$  en Y = 1.913

Momento de inercia polar, nivel 1 = 5.381

#### 2.4.3.2.3.2 Segundo nivel

A continuación se presenta la información relacionada a la rigidez por la distancia al centro de rigidez, relativa al nivel 2, mostrado en la tabla LXXX.

**Tabla LXXX** Rigidez de cada muro por la distancia al centro de rigidez, nivel 2

ID MURO	MOMENTO DE INERCIA POLAR	
	X	Y
1	0,006	0,070
2	0,001	0,091
3	0,007	0,383
4	0,000	0,089
5	0,000	0,068
6	0,006	0,119
7	0,010	0,067
8	0,006	0,060
9	0,000	0,023
10	0,009	0,365
11	0,007	0,386

A	0,034	0,008
B	0,245	0,002
C	0,380	0,025
D	0,118	0,072
E	0,038	0,008
F	0,001	0,012
G	0,001	0,001
H	0,019	0,025
I	0,006	0,063
J	0,003	0,007
K	0,000	0,001
L	0,006	0,024
M	0,046	0,014
N	0,079	0,005
O	0,478	0,000
P	0,037	0,002
Q	0,219	0,023

$\Sigma d_i \times K_i$  en X = 1.765

$\Sigma d_i \times K_i$  en Y = 2.012

Momento de inercia polar, nivel 2 = 3.777

#### 2.4.3.2.4 Determinación de la carga por torsión por muro ( $\Delta v$ )

La carga por torsión como se ha descrito al inicio del cálculo de incremento de cortante debido a torsión esta se considera únicamente en estructuras con diafragma horizontal rígido; el cálculo del incremento de corte se considera en base a:

$$\Delta V = \frac{T d_i K_i}{J}$$

### 2.4.3.2.4.1 Primer nivel

A continuación se despliega la información concerniente al incremento de corte en los muros del primer nivel, mostrado en la tabla LXXXI.

**Tabla LXXXI** Incremento de carga por torsión en muros, nivel 1

ID MURO	CARGA POR TORSIÓN	
	X (kg)	Y (kg)
1	-8,293	-500,821
2	3,286	-63,057
3	6,532	-54,538
4	-8,858	-481,921
5	-8,858	-182,358
6	15,005	-173,947
7	-5,702	19,291
8	-1,196	14,873
9	-8,858	239,475
10	14,758	216,127
11	1,762	29,827
12	-7,198	242,278
13	14,758	657,523
A	-411,483	-33,050
B	-663,515	30,117
C	-0,491	-5,567
D	-0,491	-2,994
E	-4,209	-1,278
F	-0,756	2,848
G	-0,330	2,973
H	-4,209	21,970
I	42,351	-18,621
J	8,151	2,882
K	97,349	21,381
L	36,062	-6,454
M	36,062	-3,137
N	559,101	2,298
O	43,635	4,015
P	255,640	19,865

#### 2.4.3.2.4.2 Segundo nivel

A continuación se despliega la información concerniente al incremento de corte en los muros del segundo nivel, mostrado en la tabla LXXXII.

Tabla LXXXII Incremento de carga por torsión en muros, nivel 2

ID MURO	CARGA POR TORSIÓN	
	X (kg)	Y (kg)
1	7,962	67,147
2	3,069	86,709
3	-11,912	316,636
4	0,475	109,557
5	3,329	160,610
6	-14,436	282,219
7	18,731	-222,987
8	-14,436	-201,246
9	-0,227	-34,043
10	13,708	-300,365
11	-11,912	-317,978
A	38,871	8,157
B	277,361	6,365
C	430,714	-26,396
D	311,280	51,363
E	99,396	12,802
F	7,590	10,253
G	7,516	-2,970
H	95,981	-26,396
I	-55,552	42,217
J	-26,746	12,092
K	-4,279	-2,970
L	-51,109	-25,714
M	-60,609	12,441
N	-103,396	8,360
O	-626,185	2,198
P	-48,871	-4,077
Q	-286,313	-23,983

### 2.4.3.3 Determinación de la carga por sismo total

La carga total por sismo es determinada por la suma entre la carga lateral y el incremento de carga por torsión. Esta carga es la que se utilizará para el diseño de los muros del sistema.

$$V_T = V_x + \Delta V$$

Que el incremento de corte sea negativo, significa que la torsión que se ejerce en la estructura se dirige en contra del desplazamiento del sismo; para efectos de cálculo el incremento de corte negativo no se considera puesto que esto sería restarle carga cortante al muro y subdiseñarlo para los requerimientos del código.

#### 2.4.3.3.1 Primer nivel

Las cargas que se presentan a continuación se presentan las cargas relativas a los muros del primer nivel, estas son las que se utilizarán posteriormente para el diseño de los mismos, mostrado en la tabla LXXXIII.

**Tabla LXXXIII** Cargas totales debidas al sismo, nivel 1

ID MURO	CARGA POR SISMO TOTAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	126,675	2069,341
2	58,845	398,073
3	58,202	344,293
4	166,678	3582,653
5	166,678	3582,653
6	177,794	3417,414
7	68,338	621,535
8	60,004	479,185
9	166,678	3822,129
10	173,102	3449,471
11	45,098	272,014
12	96,118	1433,669
13	173,102	3890,868

A	3937,764	175,550
B	6349,631	253,037
C	273,391	46,256
D	273,391	46,256
E	2343,371	135,424
F	421,020	60,250
G	183,504	40,869
H	2343,371	157,394
I	995,787	86,382
J	191,655	40,779
K	2288,964	152,347
L	290,047	44,584
M	290,047	44,584
N	4496,864	177,848
O	350,957	53,057
P	2056,117	138,571

#### 2.4.3.3.2 Segundo nivel

Las cargas que se presentan a continuación se presentan las cargas relativas a los muros del segundo nivel, estas son las que se utilizarán posteriormente para el diseño de los mismos, mostrado en la tabla LXXXIV.

**Tabla LXXXIV** Cargas totales debidas al sismo, nivel 2

ID MURO	CARGA TOTAL	
	X (kg)	Y (kg)
1	38,338	332,577
2	37,587	429,464
3	61,442	1402,622
4	44,658	671,127
5	77,542	1744,996
6	98,376	3066,248
7	122,285	3084,797
8	98,376	2784,030
9	26,924	208,532
10	73,424	1025,832
11	61,442	1085,986
A	170,261	43,186
B	1214,893	99,937

C	1886,606	116,605
D	2757,738	202,518
E	880,586	98,217
F	157,595	47,682
G	121,524	32,630
H	1551,873	116,605
I	1479,956	159,782
J	712,549	93,668
K	114,008	32,630
L	1361,609	112,766
M	236,793	59,467
N	403,958	69,781
O	2446,458	153,353
P	190,933	42,227
Q	1118,603	102,210

#### **2.4.4 Cálculo del refuerzo por muro**

La colocación de refuerzo en el muro se debe a que con la utilización de elementos de menor sección y únicamente resistentes a cargas axiales a compresión se ve afectada la estabilidad de la estructura cuando existen fuerzas dinámicas horizontales que inducen cargas tensoras en los elementos resistentes; por lo tanto nos vemos en la necesidad de utilizar refuerzos que proporcionen esta resistencia faltante a tensión.

##### **2.4.4.1 Cálculo del refuerzo horizontal**

La principal función del refuerzo horizontal es la de resistir las fuerzas de corte que se inducen en el elemento cuando existen fuerzas laterales; comúnmente y por facilidad en la construcción este refuerzo se coloca agrupado en zonas que a la hora de la construcción facilitan la misma, estas zonas son las que se denominan soleras y se colocan tres o más a lo alto del muro dependiendo la necesidad de colocación.

### 2.4.4.1.1 Cálculo del momento actuante

El momento actuante no es otro más que el producto de la carga de sismo por la altura del muro.

$$M = V_r h$$

#### 2.4.4.1.1.1 Primer nivel

A continuación se presenta los momentos actuantes para los muros del primer nivel, mostrado en la tabla LXXXV.

Tabla LXXXV Momentos actuantes en muros, nivel 1

ID MURO	MOMENTO ACTUANTE	
	X (kg-m)	Y (kg-m)
1	430,695	7035,758
2	200,073	1353,447
3	197,886	1170,596
4	566,705	12181,022
5	566,705	12181,022
6	604,498	11619,206
7	232,349	2113,219
8	204,014	1629,228
9	566,705	12995,238
10	588,546	11728,203
11	153,333	924,847
12	326,800	4874,476
13	588,546	13228,951
A	13388,396	596,870
B	21588,747	860,327
C	929,530	157,271
D	929,530	157,271
E	7967,462	460,443
F	1431,469	204,849
G	623,915	138,956
H	7967,462	535,141
I	3385,677	293,698
J	651,628	138,648

K	7782,478	517,979
L	986,160	151,586
M	986,160	151,586
N	15289,338	604,683
O	1193,254	180,394
P	6990,799	471,141

#### 2.4.4.1.1.2 Segundo nivel

A continuación se presenta los momentos actuantes para los muros del segundo nivel, mostrado en la tabla LXXXVI.

Tabla LXXXVI Momentos actuantes en muros, nivel 2

ID MURO	MOMENTO ACTUANTE	
	X (kg-m)	Y (kg-m)
1	103,512	897,957
2	101,485	1159,552
3	165,893	3787,079
4	120,576	1812,042
5	209,364	4711,490
6	265,615	8278,870
7	330,169	8328,953
8	265,615	7516,880
9	72,695	563,037
10	198,244	2769,747
11	165,893	2932,162
A	459,704	116,603
B	3280,210	269,829
C	5093,836	314,834
D	7445,892	546,799
E	2377,583	265,186
F	425,507	128,740
G	328,114	88,102
H	4190,058	314,834
I	3995,881	431,413
J	1923,881	252,903
K	307,821	88,102
L	3676,344	304,470

M	639,341	160,561
N	1090,688	188,410
O	6605,436	414,054
P	515,520	114,014
Q	3020,227	275,966

#### 2.4.4.1.2 Cálculo del factor K

El factor de K es el equivalente al factor de a en estructuras de concreto, este es utilizado para calcular el área a compresión equivalente de la mampostería; factor determinado, según la sección 2107.2.15 del UBC 97 ecuación (7-34):

$$K = \frac{n}{n + \frac{F_s}{F_b}} \quad (7-34)$$

$$F_s = \frac{1}{2} * \frac{1}{3} * f_y$$

$$F_b = \frac{1}{3} * f'_m \quad \text{multiplicar por } \frac{1}{2} \text{ si no se realizan pruebas de inspeccion(7-15)}$$

$$n = \frac{E_s}{E_m}$$

Donde:

n = relación modular entre el módulo de elasticidad del acero y el módulo de elasticidad de la mampostería.

$E_s$  = módulo de elasticidad del acero  $2.03e6 \text{ kg/cm}^2$  según sección 2106.2.12.2 ecuación (6 – 5) del UBC 97.

$E_m$  = módulo de elasticidad del mamposte  $750f'_m$ , según sección 2106.2.12.1 ecuación (6 – 4) del UBC 97.

$F_b$  = factor de esfuerzo asumido de la mampostería para que esté trabajando en una zona de esfuerzo admisible, según sección 2107.2.6 del UBC 97.

$F_s$  = esfuerzo admisible del acero (no mayor a 24000 psi según sección 2107.2.11 inciso 1.2 del UBC. 97). En los casos anteriores este parámetro no se cumplió; pero como se está calculando, según sistemas tradicionales se cumplirá este requerimiento.

$$E_s = 2.03e6 \text{ kg/cm}^2 \quad (6-5)$$

$$E_m = 750 f'_m = 750(25) = 18750 \text{ kg/cm}^2 \quad (6-4)$$

$$n = \frac{2.03e6}{18750} = 108.27$$

$$F_s = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{3}\right)(2810) = 468.33 \text{ kg/cm}^2$$

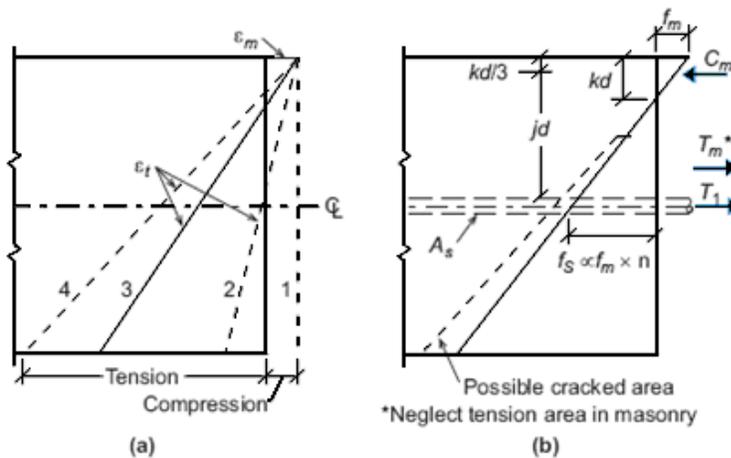
$$F_b = \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{3}\right)(25)(1.6) = 6.67 \text{ kg/cm}^2$$

$$K = \frac{108.27}{108.27 + \frac{468.33}{6.67}} = 0.61$$

#### 2.4.4.1.3 Cálculo de J

Distancia entre el centro de fuerzas a compresión y el centro de fuerzas a tensión para una distancia  $d$ , esta distancia es para el cálculo del momento interno en el muro.

Figura 4 Graficación del valor J



Para el cálculo de esta distancia el código UBC 97 utiliza la ecuación (7-35) dada en la sección 2107.2.15.

$$J = 1 - \frac{K}{3} \quad (7-35)$$

$$J = 1 - \frac{0.61}{3} = 0.7978$$

#### 2.4.4.1.4 Determinación de la cuantía por muro

La cuantía del muro es la relación existente entre el área de acero y el área gruesa del muro; la determinación de la cuantía del muro es para poder determinar el área de acero que requiere el muro y para determinar si esta se encuentra dentro de los límites permitidos, colocada una notación en los datos generales dando una ampliación sobre este tema.

Para el cálculo de la cuantía el código UBC 97 utiliza la ecuación (7 – 32) dada en la sección 2107.2.15.

$$\rho = \frac{M}{f_s J b d^2} \quad (7-32)$$

##### 2.4.4.1.4.1 Primer nivel

A continuación se presenta las cuantías requeridas para los muros del primer nivel, mostrado en la tabla LXXXVII.

Tabla LXXXVII Cuantías requeridas para muros, nivel 1

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA
1	0,001163
2	0,000778
3	0,000700
4	0,002014
5	0,002014

6	0,001921
7	0,000841
8	0,000869
9	0,002149
10	0,001939
11	0,000956
12	0,000806
13	0,002188
A	0,000700
B	0,000700
C	0,001019
D	0,001019
E	0,000700
F	0,000715
G	0,000952
H	0,000700
I	0,000818
J	0,000952
K	0,000700
L	0,000982
M	0,000982
N	0,000700
O	0,000728
P	0,000700

#### 2.4.4.1.4.2 Segundo nivel

A continuación se presenta las cuantías requeridas para los muros del segundo nivel, mostrado en la tabla LXXXVIII.

**Tabla LXXXVIII** Cuantías requeridas para muros, nivel 2

ID MURO	CUANTIA REQUERIDA
1	0,001306
2	0,001288
3	0,001285
4	0,001285
5	0,001290
6	0,001369

7	0,001377
8	0,001286
9	0,001282
10	0,001294
11	0,001285
A	0,001233
B	0,001139
C	0,001141
D	0,000756
E	0,001085
F	0,001217
G	0,001252
H	0,001162
I	0,000795
J	0,001132
K	0,001252
L	0,001177
M	0,001169
N	0,001125
O	0,001095
P	0,001248
Q	0,001140

#### 2.4.4.1.5 Área de acero requerida por muro

El área de acero requerida es la necesaria para resistir los efectos de las cargas actuantes en el muro.

$$A_s = \rho b d$$

##### 2.4.4.1.5.1 Primer nivel

A continuación se presentan las áreas de acero requeridas y el número de varillas requerido que se tiene que colocar en los muros del primer nivel, mostrado en la tabla LXXXIX.

**Tabla LXXXIX** Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 1

<b>ID MURO</b>	<b>VALOR DE <math>A_s</math> (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO</b>
1	5,54	7,8
2	3,70	5,2
3	3,33	4,7
4	9,59	13,5
5	9,59	13,5
6	9,15g	12,8
7	4,00	5,6
8	4,14	5,8
9	10,23	14,4
10	9,23	13,0
11	4,55	6,4
12	3,84	5,4
13	10,41	14,6
A	3,33	4,7
B	3,33	4,7
C	4,85	6,8
D	4,85	6,8
E	3,33	4,7
F	3,40	4,8
G	4,53	6,4
H	3,33	4,7
I	3,89	5,5
J	4,53	6,4
K	3,33	4,7
L	4,67	6,6
M	4,67	6,6
N	3,33	4,7
O	3,47	4,9
P	3,33	4,7

#### 2.4.4.1.5.2 Segundo nivel

A continuación se presentan las áreas de acero requeridas y el número de varillas requerido que se tiene que colocar en los muros del segundo nivel, mostrado en la tabla XC.

**Tabla XC** Áreas de acero requeridas y número de varillas requeridas, nivel 2

<b>ID MURO</b>	<b>VALOR DE As</b>	<b>NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO</b>
1	4,94	6,93
2	4,87	6,83
3	4,86	6,82
4	4,86	6,82
5	4,88	6,84
6	5,17	7,26
7	5,21	7,31
8	4,86	6,82
9	4,85	6,80
10	4,89	6,86
11	4,86	6,82
A	4,66	6,54
B	4,31	6,04
C	4,31	6,05
D	2,86	4,01
E	4,10	5,76
F	4,60	6,46
G	4,73	6,64
H	4,39	6,16
I	3,01	4,22
J	4,28	6,01
K	4,73	6,64
L	4,45	6,24
M	4,42	6,20
N	4,25	5,97
O	4,14	5,81
P	4,72	6,62
Q	4,31	6,05

#### 2.4.4.2 Cálculo del refuerzo vertical

Para el cálculo del refuerzo vertical del muro se utilizará el método A del IBC 2000, el cual nos indica que debe realizarse por medio de los diagramas de iteración; el cálculo de estos diagramas se encuentra fuera de los alcances del presente trabajo de graduación, por lo que se utilizará un programa computacional para el cálculo de los mismos

##### 2.4.4.2.1 Primer nivel

A continuación se presentan las áreas de acero y el número de varillas requeridas por cada muro del primer nivel, mostrado en la tabla XCI.

**Tabla XCI** Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 1

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,001250	3,99	5,6
2	0,001222	1,71	2,4
3	0,001313	1,71	2,4
4	0,001425	5,98	8,4
5	0,001425	5,98	8,4
6	0,001563	6,41	9,0
7	0,001159	2,00	2,8
8	0,001131	1,71	2,4
9	0,001323	5,56	7,8
10	0,001572	6,27	8,8
11	0,001044	1,14	1,6
12	0,001353	3,28	4,6
13	0,001571	6,27	8,8
A	0,001357	5,98	8,4
B	0,001603	8,98	12,6
C	0,000981	1,14	1,6
D	0,000981	1,14	1,6
E	0,001340	4,56	6,4
F	0,001285	1,85	2,6
G	0,001048	1,00	1,4

H	0,001634	5,56	7,8
I	0,001182	2,56	3,6
J	0,001048	1,00	1,4
K	0,001603	5,27	7,4
L	0,001018	1,14	1,6
M	0,001018	1,14	1,6
N	0,001454	6,41	9,0
O	0,001272	1,57	2,2
P	0,001577	4,70	6,6

#### 2.4.4.2.2 Segundo nivel

A continuación se presentan las áreas de acero y el número de varillas requeridas por cada muro del segundo nivel, mostrado en la tabla XCII.

**Tabla XCII** Áreas de acero y número de varillas requeridas, nivel 2

ID MURO	CUANTÍA REQUERIDA	VALOR DE $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE VARILLAS PROPUESTO
1	0,000694	0,85	1,2
2	0,000712	1,00	1,4
3	0,000715	1,78	2,5
4	0,000715	1,28	1,8
5	0,000710	2,13	3,0
6	0,000696	2,78	3,9
7	0,000746	3,16	4,4
8	0,000714	2,85	4,0
9	0,000718	0,78	1,1
10	0,000706	1,71	2,4
11	0,000715	1,78	2,5
A	0,000767	0,78	1,1
B	0,000861	2,35	3,3
C	0,000859	2,92	4,1
D	0,001244	5,49	7,7
E	0,000915	2,28	3,2
F	0,000783	0,86	1,2
G	0,000748	0,71	1,0
H	0,000838	2,85	4,0
I	0,001205	4,13	5,8
J	0,000868	2,07	2,9

K	0,000748	0,71	1,0
L	0,000823	2,71	3,8
M	0,000831	1,14	1,6
N	0,000875	1,57	2,2
O	0,000905	3,99	5,6
P	0,000752	0,93	1,3
Q	0,000860	2,56	3,6

### 3. COMPARACIÓN EN COSTO DEL SISTEMA TRADICIONAL Y LOS SISTEMAS PROPUESTOS

Para la determinación de los costos de los diferentes sistemas se realizará por medio de cuadros de unitarios de los cuales el que nos interesa es el del levantado de muro (ya que el costo podrá variar dependiendo del tipo de acabados que se le dé a la vivienda puesto que esto es lo que resulta siendo lo más costoso dentro del proceso constructivo); para este se determinara el costo unitario por metro cuadrado de la vivienda que luego se procederá a realizar la determinación del porcentaje de reducción (ahorro) de costo con respecto al sistema tradicional.

Para la realización de los cuadros unitarios se utilizará una tabla de unitario que se presenta a continuación:

Descripción de Precios Unitarios				
OFERENTE : Hector Giovanni Barreda Morales				
PROYECTO : Trabajo de Graduacion "Validacion Sistemas Constructivos"				
UBICACION : Universidad de San Carlos		FECHA OFERTA : Guatemala, Noviembre de 2008		
Descripción del Renglón	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
LEVANTADO DE MURO	M2	1	Q0.00	Q0.00
Materiales				
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
			Q0.00	Q0.00
			<b>Total de material sin IVA</b>	<b>Q0.00</b>
			<b>Total de Material con IVA</b>	<b>Q0.00</b>
Maquinaria, Herramienta y Equipo				
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
			Q0.00	Q0.00
			<b>Total de Maquinaria, Herramienta y Equipo sin IVA</b>	<b>Q0.00</b>
			<b>Total de Maquinaria, Herramienta y Equipo con IVA</b>	<b>Q0.00</b>
Mano de Obra				
Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
			Q0.00	Q0.00
			<b>FACTOR AYUDANTE</b>	<b>Q0.00</b>
			<b>PRESTACIONES</b>	<b>Q0.00</b>
			<b>Total de Mano de Obra</b>	<b>Q0.00</b>
Total costo Directo (materiales + maquinaria, herramienta y equipo + mano de obra)				Q0.00
Total costo Indirecto (administrativos + fianzas + Utilidad)				Q0.00
Sub -Total				Q0.00
<b>Total</b>				<b>Q0.00</b>

**Tabla XCIII** Cuadro de unitarios

### 3.1 Determinación del costo, según métodos tradicionales

#### 3.1.1 Determinación del costo sistema tradicional

Tabla XCIV Cuadro de unitarios sistema tradicional

<b>Descripción de Precios Unitarios</b>				
OFERENTE : Hector Giovanni Barreda Morales				
PROYECTO : Trabajo de Graduación Validación Sistemas Constructivos "Sistema Tradicional"				
UBICACIÓN : Universidad de San Carlos      FECHA OFERTA : Guatemala, Noviembre de 2008				
Descripción del Renglón	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
<b>LEVANTADO DE MURO</b>	<b>M2</b>	<b>1</b>	<b>Q930.09</b>	<b>Q930.09</b>
<b>Materiales</b>				
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
block de concreto de 35 kg/cm2	unidad	13.5	Q2.40	Q32.40
mortero para block tipo S	saco	0.5	Q17.50	Q8.75
varillas No. 4	varilla	0.58	Q52.45	Q30.42
varillas No. 3	varilla	0.2	Q29.55	Q5.91
varillas No. 2	varilla	0.63	Q12.50	Q7.88
alambre de amarre	lb	0.3	Q7.00	Q2.10
formaleta	pie tabla	7.1	Q4.75	Q33.73
concreto de 3000 psi	saco	1.5	Q29.20	Q43.80
tacos	Unidad	6	Q1.00	Q6.00
desencofrante	galon	0.4	Q155.40	Q62.16
clavos 1 1/2"	lb	0.5	Q10.00	Q5.00
<b>Total de material sin IVA</b>				<b>Q212.63</b>
<b>Total de Material con IVA</b>				<b>Q238.14</b>
<b>Maquinaria, Herramienta y Equipo</b>				
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
tenazas	Unidad	0.06	Q22.00	Q1.32
sierra	Unidad	0.1	Q10.00	Q1.00
grifas	Unidad	0.02	Q42.50	Q0.85
martillo	Unidad	0.06	Q15.00	Q0.90
serrucho	Unidad	0.04	Q22.00	Q0.88
palas	Unidad	0.1	Q75.00	Q7.50
cubetas	Unidad	0.04	Q16.50	Q0.66
				Q0.00
<b>Total de Maquinaria, Herramienta y Equipo sin IVA</b>				<b>Q11.71</b>
<b>Total de Maquinaria, Herramienta y Equipo con IVA</b>				<b>Q13.11</b>
<b>Mano de Obra</b>				
Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
pegado de block	m2	1	Q60.00	Q60.00
armado de soleras y columnas	ml	1.41	Q50.00	Q70.50
fundido de soleras y columnas	ml	1.41	Q80.00	Q112.80
encofrado de soleras y columnas	ml	2.82	Q40.00	Q112.80
desencofrado de soleras y columnas	ml	2.82	Q30.00	Q84.60
<b>FACTOR AYUDANTE</b>		31.78%	Q440.70	Q140.05
<b>PRESTACIONES</b>		16.89%	Q580.75	Q98.09
<b>Total de Mano de Obra</b>				<b>Q678.84</b>
<b>Total costo Directo (materiales + maquinaria, herramienta y equipo + mano de obra)</b>				<b>Q930.09</b>
Sub.-Total				Q930.09
<b>Total</b>				<b>Q930.09</b>

### 3.2 Determinación del costo, según métodos alternativos

#### 3.2.1 Determinación del costo sistema 12 x 39 x 23

Tabla XCV Cuadro de unitarios sistema 12 X 39 X 23

<b>Descripción de Precios Unitarios</b>
---

OFERENTE : Hector Giovanni Barreda Morales
PROYECTO : Trabajo de Graduación Validación Sistemas Constructivos "Sistema 12 X 39 X 23"
UBICACIÓN : Universidad de San Carlos      FECHA OFERTA : Guatemala, Noviembre de 2008

Descripción del Renglón	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
<b>LEVANTADO DE MURO</b>	<b>M2</b>	1	Q597.05	Q597.05

<b>Materiales</b>				
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
block de concreto de 35 kg/cm2	unidad	11.14	Q2.70	Q30.08
mortero para block tipo S	saco	0.49	Q17.50	Q8.58
varillas 7 mm	ml	4.57	Q5.00	Q22.85
varillas 4,5 mm	varilla	0.38	Q11.13	Q4.23
varillas 5 mm	ml	0.6	Q2.90	Q1.74
alambre de amarre	lb	0.1	Q7.00	Q0.70
formaleta	pie tabla	1.5	Q4.75	Q7.13
concreto de 8000 psi	saco	0.93	Q75.00	Q69.75
tacos	Unidad	2	Q1.00	Q2.00
desenocofrante	galon	0.1	Q155.40	Q15.54
clavos	lb	0.13	Q10.00	Q1.30
<b>Total de material sin IVA</b>				<b>Q146.33</b>
<b>Total de Material con IVA</b>				<b>Q163.89</b>

<b>Maquinaria, Herramienta y Equipo</b>				
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
tenazas	Unidad	0.04	Q22.00	Q0.88
sierra	Unidad	0.1	Q10.00	Q1.00
grifas	Unidad	0.02	Q42.50	Q0.85
martillo	Unidad	0.03	Q10.00	Q0.30
serrucho	Unidad	0.02	Q22.00	Q0.44
palas	Unidad	0.05	Q75.00	Q3.75
cubetas	Unidad	0.03	Q16.50	Q0.50
				Q0.00
<b>Total de Maquinaria, Herramienta y Equipo sin IVA</b>				<b>Q6.89</b>
<b>Total de Maquinaria, Herramienta y Equipo con IVA</b>				<b>Q7.72</b>

<b>Mano de Obra</b>				
Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
pegado de block	m2	1	Q60.00	Q60.00
armado de soleras y pines	ml	1.34	Q50.00	Q67.00
fundido de soleras y pines	ml	1.34	Q80.00	Q107.20
encofrado de soleras	ml	0.6	Q40.00	Q24.00
desenocofrado de soleras	ml	0.6	Q30.00	Q18.00
<b>FACTOR AYUDANTE</b>		31.78%	Q276.20	Q87.78
<b>PRESTACIONES</b>		16.88%	Q363.98	Q61.48
<b>Total de Mano de Obra</b>				<b>Q425.45</b>

Total costo Directo (materiales + maquinaria, herramienta y equipo + mano de obra)	Q597.05
Sub.-Total	Q597.05
<b>Total</b>	<b>Q597.05</b>

### 3.2.2 Determinación del costo sistema 14 x 59 x 20

Tabla XCVI Cuadro de unitarios sistema 14 X 59 X 20

<b>Descripción de Precios Unitarios</b>
---

OFERENTE : Hector Giovanni Barreda Morales
PROYECTO : Trabajo de Graduación Validación Sistemas Constructivos "Sistema 14 X 59 X 20"
UBICACION : Universidad de San Carlos                      FECHA OFERTA Guatemala, Noviembre de 2008

Descripción del Renglón	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
<b>LEVANTADO DE MURO</b>	<b>M2</b>	<b>1</b>	<b>Q842.41</b>	<b>Q842.41</b>

<b>Materiales</b>				
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
block de concreto de 35 kg/cm2	unidad	8.47	Q4.00	Q33.88
mortero para block tipo S	saco	0.42	Q17.50	Q7.35
varillas 7 mm	ml	4.57	Q5.00	Q22.85
varillas 4,5 mm	varilla	0.45	Q11.13	Q5.01
varillas 5 mm	ml	0.6	Q2.90	Q1.74
alambre de amarre	lb	0.1	Q7.00	Q0.70
formaleta	pie tabla	1.5	Q4.75	Q7.13
concreto de 6000 psi	saco	1.48	Q75.00	Q111.00
tacos	Unidad	2	Q1.00	Q2.00
desencofrante	galon	0.1	Q155.40	Q15.54
clavos	lb	0.13	Q10.00	Q1.30
<b>Total de material sin IVA</b>				<b>Q186.15</b>
<b>Total de Material con IVA</b>				<b>Q208.49</b>

<b>Maquinaria, Herramienta y Equipo</b>				
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
tenazas	Unidad	0.04	Q22.00	Q0.88
sierra	Unidad	0.1	Q10.00	Q1.00
grifas	Unidad	0.02	Q42.50	Q0.85
martillo	Unidad	0.03	Q10.00	Q0.30
serrucho	Unidad	0.02	Q22.00	Q0.44
palas	Unidad	0.06	Q75.00	Q4.50
cubetas	Unidad	0.03	Q16.50	Q0.50
				Q0.00
<b>Total de Maquinaria, Herramienta y Equipo sin IVA</b>				<b>Q7.56</b>
<b>Total de Maquinaria, Herramienta y Equipo con IVA</b>				<b>Q8.47</b>

<b>Mano de Obra</b>				
Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
pegado de block	m2	1	Q60.00	Q60.00
armado de soleras y pines	ml	1.34	Q50.00	Q67.00
fundido de soleras y pines	ml	1.34	Q80.00	Q107.20
encofrado de soleras	ml	0.6	Q40.00	Q24.00
desencofrado de soleras	ml	0.6	Q30.00	Q18.00
<b>FACTOR AYUDANTE</b>		31.78%	Q276.20	Q87.78
<b>PRESTACIONES</b>		16.89%	Q363.98	Q61.48
<b>Total de Mano de Obra</b>				<b>Q425.45</b>

Total costo Directo (materiales + maquinaria, herramienta y equipo + mano de obra)		Q842.41
Sub.-Total		Q842.41
<b>Total</b>		<b>Q642.41</b>

### 3.2.3 Determinación del costo sistema 14 x 79 x 20

Tabla CXVII Cuadro de unitarios sistema 14 X 79 X 20

<b>Descripción de Precios Unitarios</b>
---

OFERENTE : Hector Giovanni Barreda Morales	
PROYECTO : Trabajo de Graduación Validación Sistemas Constructivos "Sistema 14 X 79 X 20"	
UBICACION : Universidad de San Carlos	FECHA OFERTA Guatemala, Noviembre de 2008

Descripción del Renglón	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
<b>LEVANTADO DE MURO</b>	<b>M2</b>	1	Q536.82	Q536.82

Materiales				
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
block de concreto de 35 kg/cm2	unidad	6.35	Q7.53	Q47.82
mortero para block tipo S	saco	0.4	Q17.50	Q7.00
varillas 7 mm	ml	2.4	Q5.00	Q12.00
varillas 4,5 mm	varilla	0.45	Q11.13	Q5.01
varillas 5 mm	ml	0.8	Q2.90	Q1.74
pinos verticales	ml	1.8	Q19.14	Q30.62
alambre de amarre	lb	0.1	Q7.00	Q0.70
formaleta	pie tabla	1.5	Q4.75	Q7.13
concreto de 6000 psi	saco	0.82	Q75.00	Q61.50
tacos	Unidad	2	Q1.00	Q2.00
desenocfrante	galon	0.1	Q155.40	Q15.54
clavos	lb	0.13	Q10.00	Q1.30
<b>Total de material sin IVA</b>				<b>Q171.74</b>
<b>Total de Material con IVA</b>				<b>Q192.35</b>

Maquinaria, Herramienta y Equipo				
Insumo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
tenazas	Unidad	0.04	Q22.00	Q0.88
sierra	Unidad	0.1	Q10.00	Q1.00
grifas	Unidad	0.01	Q42.50	Q0.43
martillo	Unidad	0.03	Q10.00	Q0.30
serrucho	Unidad	0.02	Q22.00	Q0.44
palas	Unidad	0.05	Q75.00	Q3.75
cubetas	Unidad	0.02	Q16.50	Q0.33
				Q0.00
<b>Total de Maquinaria, Herramienta y Equipo sin IVA</b>				<b>Q6.36</b>
<b>Total de Maquinaria, Herramienta y Equipo con IVA</b>				<b>Q7.13</b>

Mano de Obra				
Actividad	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
pegado de block	m2	1	Q60.00	Q60.00
armado de soleras	ml	0.9	Q50.00	Q45.00
fundido de soleras	ml	0.9	Q80.00	Q72.00
encofrado de soleras	ml	0.8	Q40.00	Q24.00
desenocfrado de soleras	ml	0.8	Q30.00	Q18.00
<b>FACTOR AYUDANTE</b>		31.78%	Q219.00	Q69.60
<b>PRESTACIONES</b>		18.89%	Q288.60	Q48.74
<b>Total de Mano de Obra</b>				<b>Q337.34</b>

Total costo Directo (materiales + maquinaria, herramienta y equipo + mano de obra)	Q536.82
Sub.-Total	Q536.82
<b>Total</b>	<b>Q536.82</b>

### 3.3 Comparación de costos entre los sistemas alternativos y el sistema tradicional

Se realizará una breve comparación entre los sistemas alternativos contra el sistema tradicional; solo para dejar en claro la reducción de costos que se presenta en los sistemas alternativos.

El valor de la comparación será el resultado de la diferencia entre los precios de los diferentes sistemas, dividido el costo del sistema tradicional, multiplicado por 100 para dar el valor del porcentaje de reducción de precio.

$$\frac{\text{costo sistema tradicional} - \text{costo sistema alternativo}}{\text{costo sistema tradicional}} \times 100$$

Factor de reducción de precio del sistema 12 X 39 X 23

$$\frac{930.09 - 597.05}{930.09} \times 100 = \mathbf{35.81\%}$$

Factor de reducción de precio del sistema 14 X 59 X 20

$$\frac{930.09 - 642.41}{930.09} \times 100 = \mathbf{30.93\%}$$

Factor de reducción de precio del sistema 14 X 79 X 20

$$\frac{930.09 - 536.82}{930.09} \times 100 = \mathbf{42.28\%}$$

## **4. TIPOS Y METODOLOGÍA DEL ENSAYO**

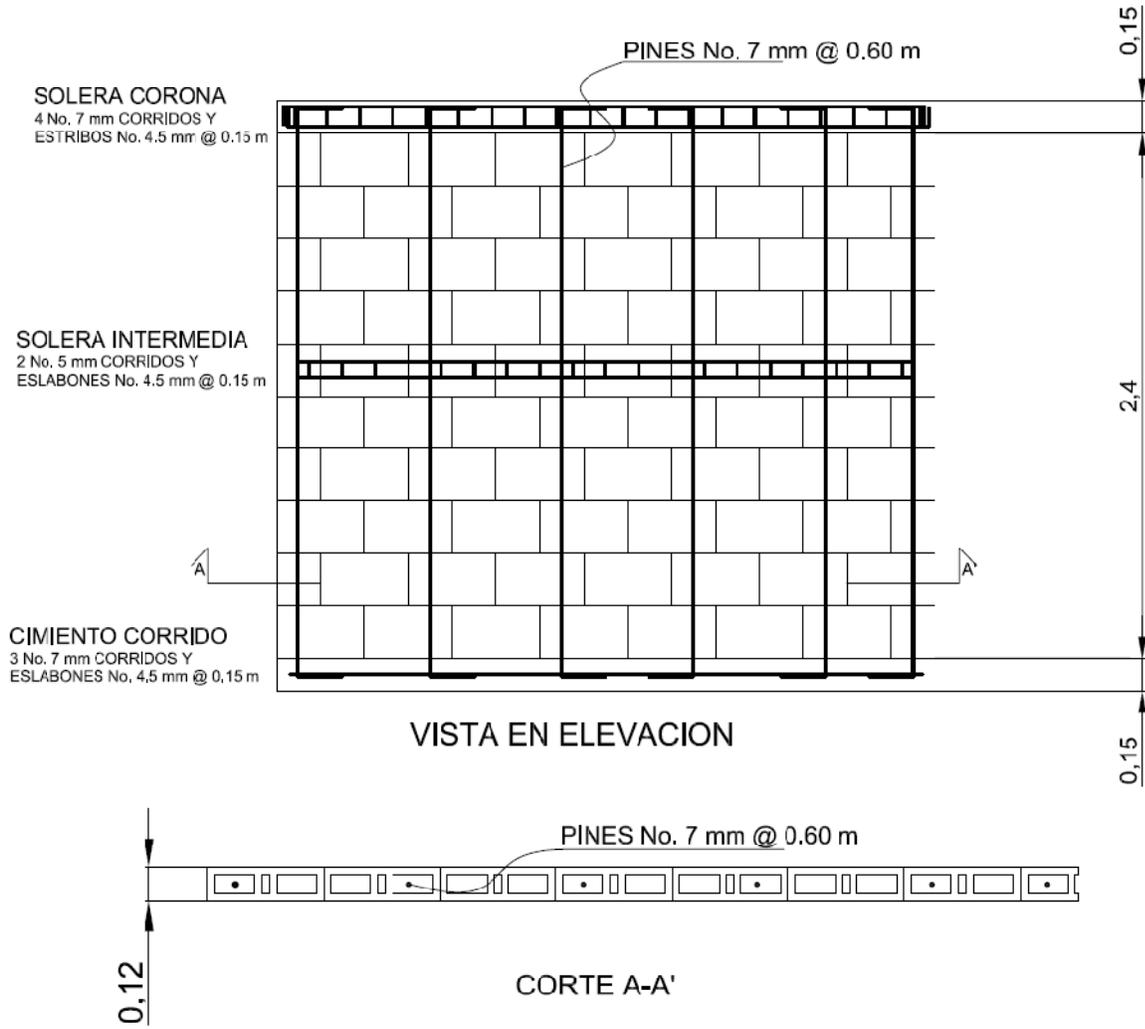
El tipo de ensayo que se practicó es el de muro a escala natural; el cual consiste construir un muro con las dimensiones reales y ensayarlo con cargas laterales equivalentes a la carga lateral de diseño dictaminada por el código UBC 97; la carga se aplicó en forma progresiva, con el fin de determinar la curva de esfuerzo-deformación del muro, para poder determinar el rango elástico, electo-plástico y plástico con la consiguiente falla. Esto para determinar que el muro se encuentre trabajando en su rango elástico que es con el rango que dictamina el código por el método de esfuerzos de trabajo que es con el método que se diseño.

### **4.1 Ensayo de muro a escala natural según especificaciones obtenidas en los cálculos**

Los muros se elaboraron según los resultados que se obtuvieron en el análisis y posterior diseño estructural; siguiendo las especificaciones que se piden respetar, según los aparatos con los que se realizan los ensayos en el Laboratorio del Área de Prefabricados del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

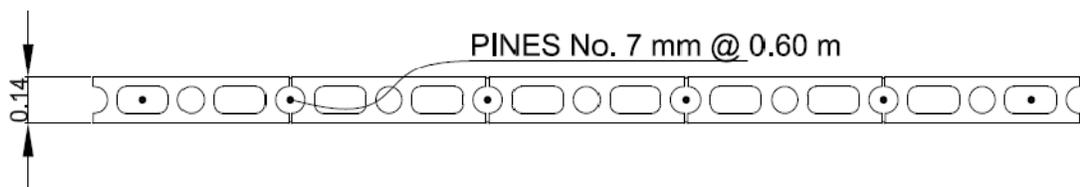
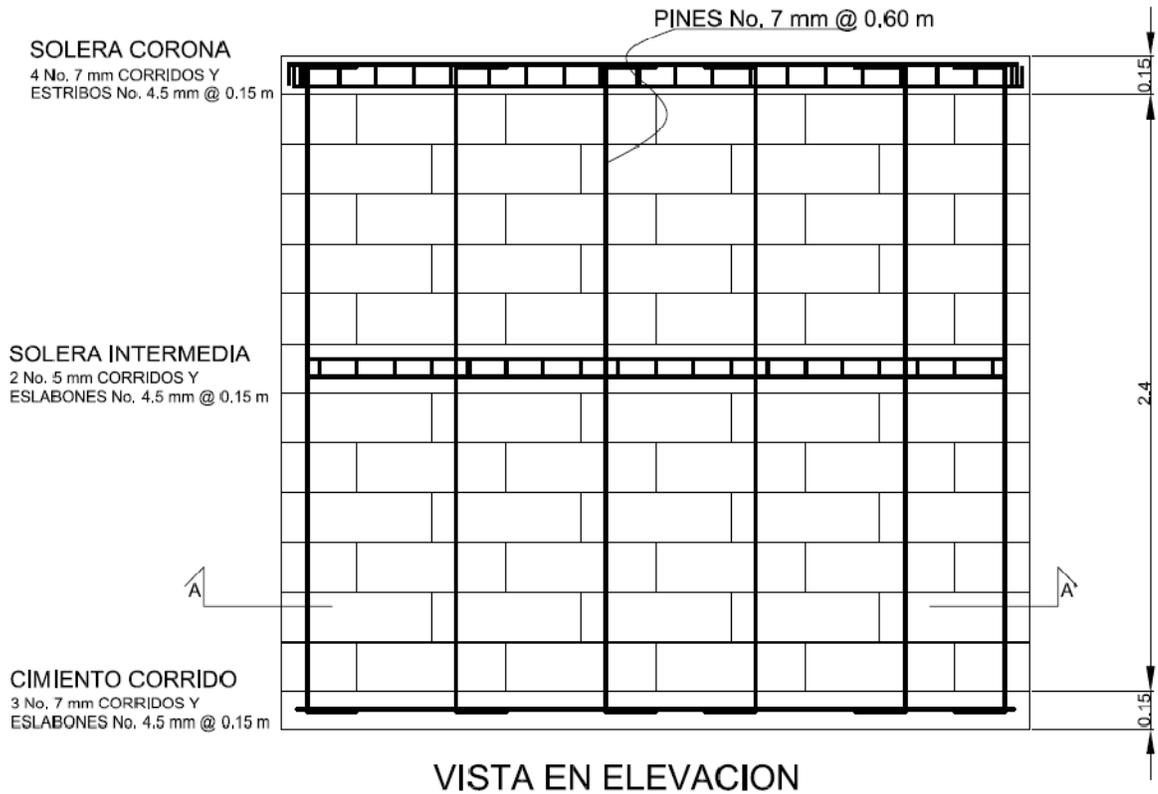
A continuación se detallan el armado de los diferentes sistemas propuestos.

**Figura 5** Detalles del armado sistema "12 X 39 X 23"



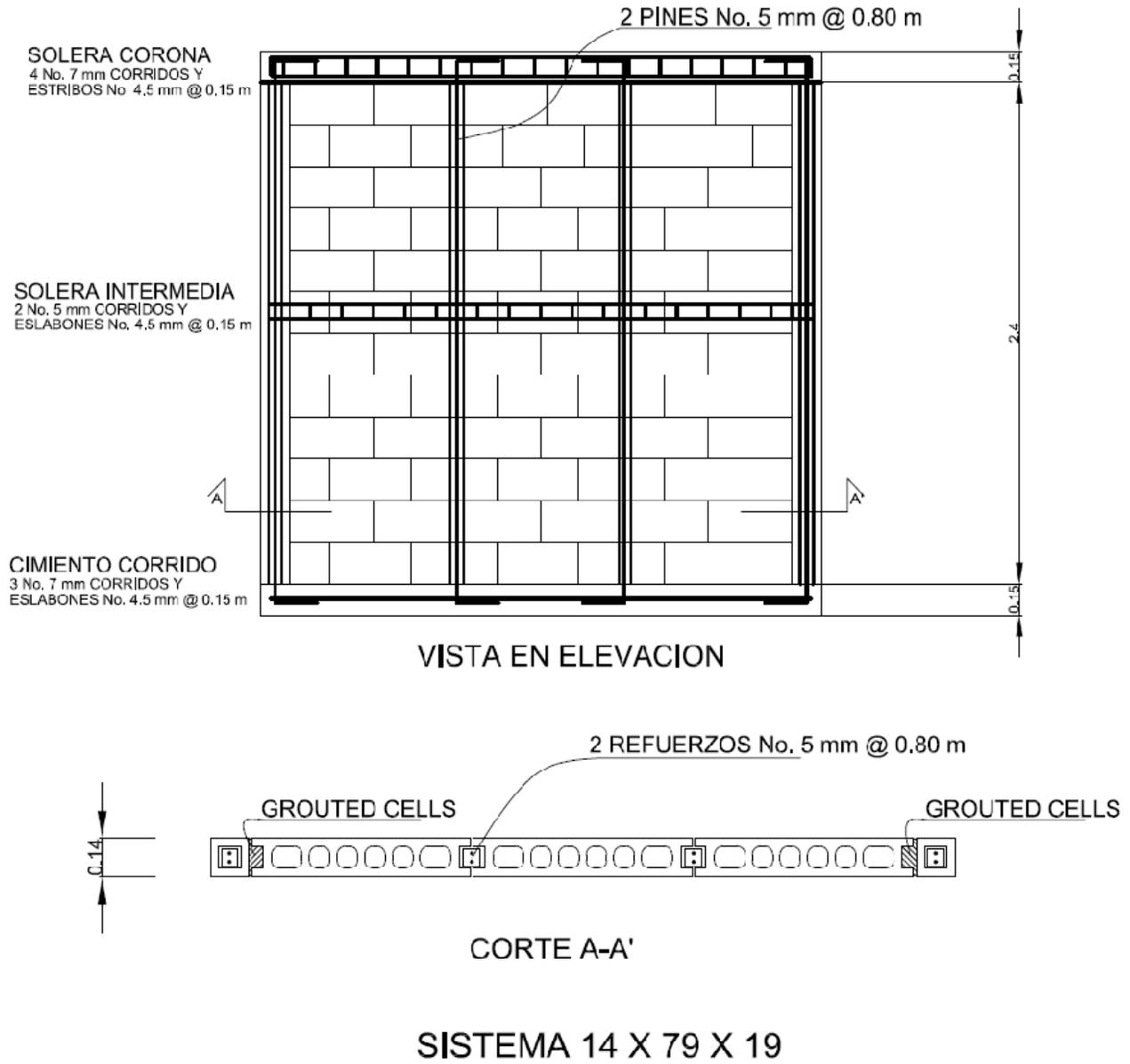
**SISTEMA 12 X 39 X 23**

**Figura 6** Detalles del armado sistema "14 X 59 X 19"

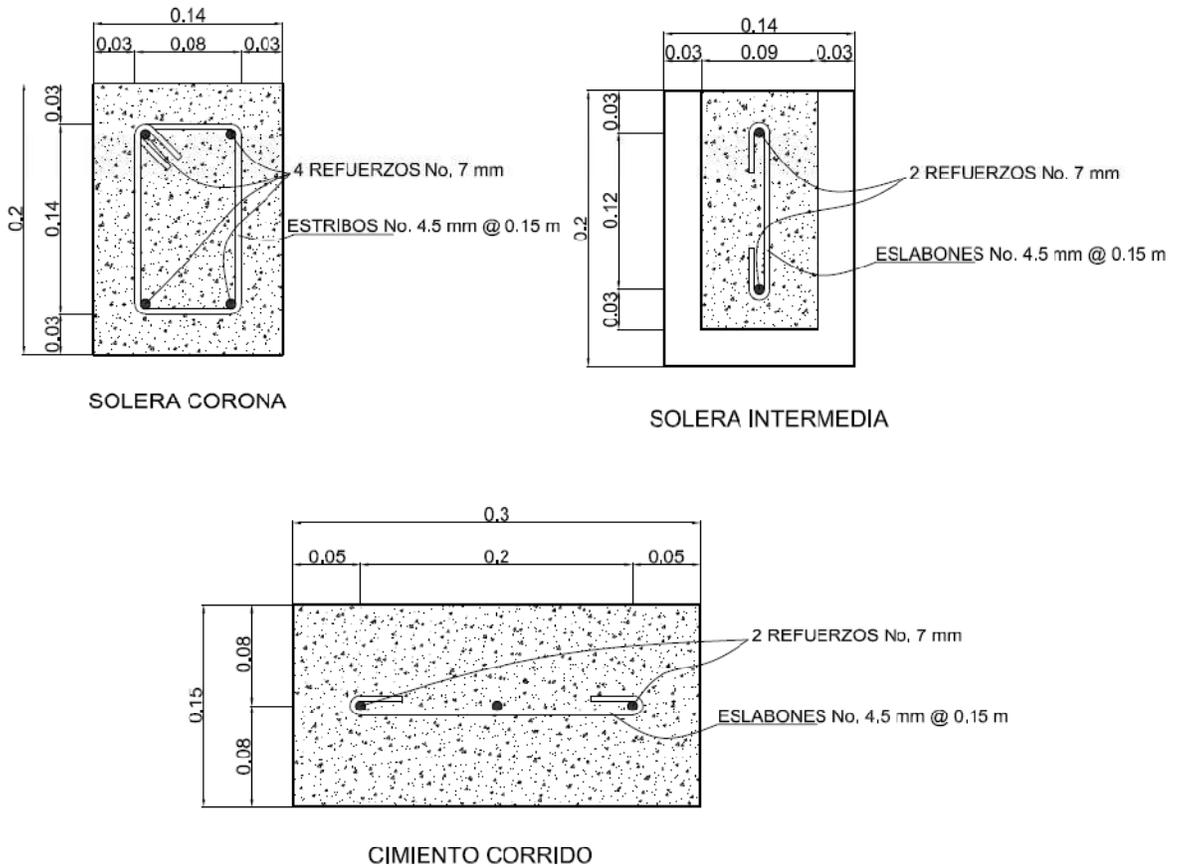


**SISTEMA 14 X 59 X 19**

**Figura 7** Detalles del armado sistema "14 X 79 X 19"



**Figura 8** Detalles de armado soleras y cimiento

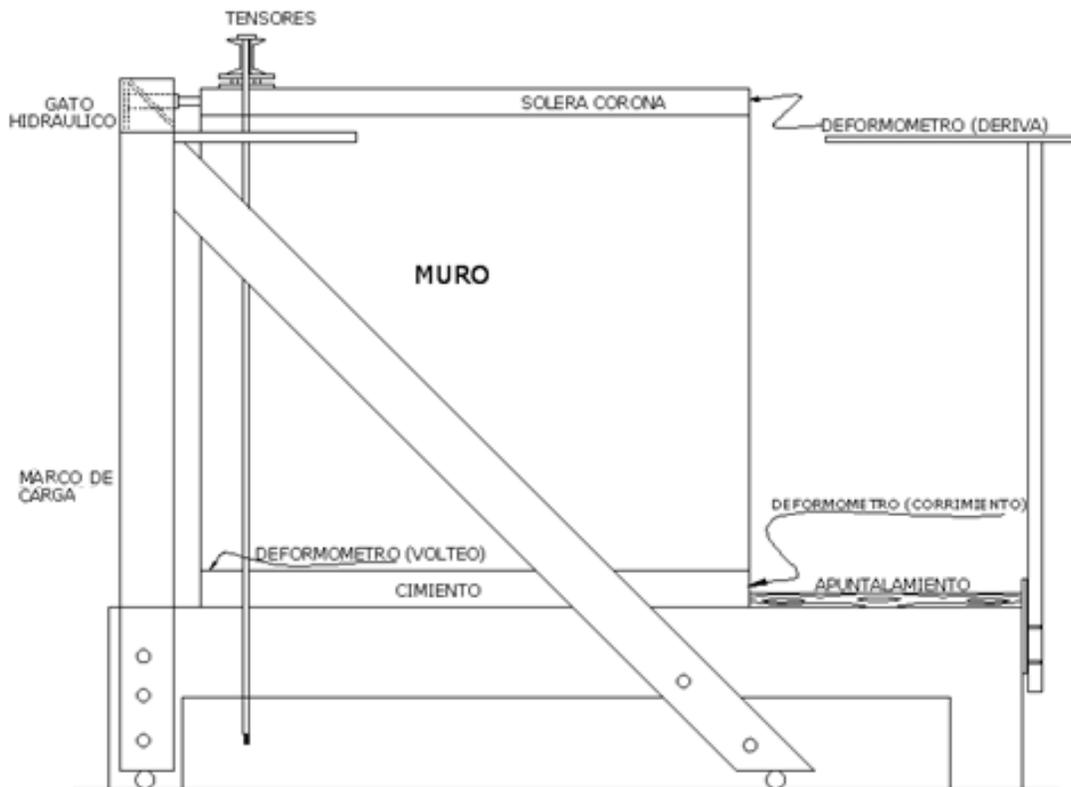


## 4.2 Descripción de los elementos del ensayo

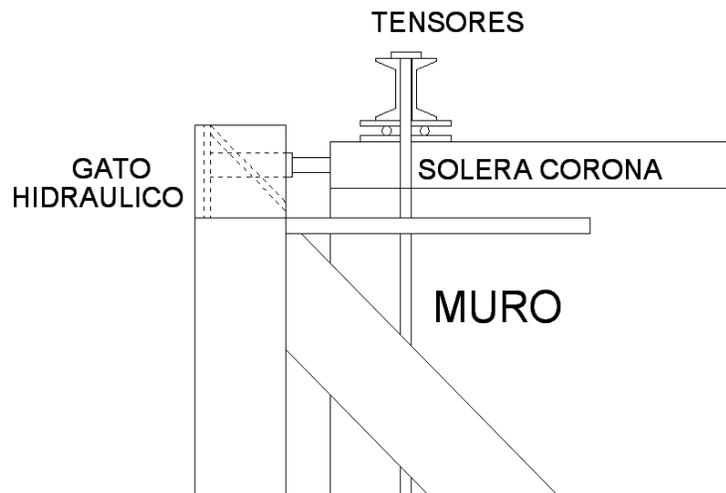
El ensayo se realizó colocando en el muro sensores en el lado donde se aplicó la carga lateral para impedir el volteo, luego se colocó un apuntalamiento con el fin que no tuviera desplazamientos laterales o corrimientos, luego se procedió a colocar un deformómetro en la punta para medir la deriva, otro deformómetro en la base inferior a la de la aplicación de la carga para medir el volteo, otro deformómetro en la base opuesta para medir el corrimiento que hubiera (ver figura 9), luego de instalado todo los aparatos se procede a la aplicación de la carga, la cual se realiza colocando un gato hidráulico en un soporte a la altura

de la solera corona con la consiguiente aplicación de la carga lateral, según los propios requerimientos que generen cada muro (ver figura 10).

**Figura 9** Colocación de los diferentes elementos para la realización de ensayos de muros a escala natural



**Figura 10** Detalle del área del gato hidráulico en el ensayo de muro a escala natural



## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LABORATORIO**

### **5.1 Procedimiento y secuencia de los cálculos obtenidos en laboratorio**

Luego de realizado el ensayo del muro se procede a analizar los resultados conforme a los datos obtenidos de los diferentes deformómetros colocados durante el ensayo; lo primero que se realiza es ingresar los datos en un programa computacional, determinar la deriva real que tuvo el muro (a la deriva obtenida por medio del deformómetro restarle la de corrimiento y una parte proporcional de la de volteo); graficarla y con ello obtener la curva carga-deformación; con la curva trazada se procede a determinar la carga de fluencia o la carga máxima del rango elástico, luego se determina la carga máxima que resiste el muro en el rango plástico; esta para determinar el factor de seguridad que posee el muro.

### **5.2 Determinación de la carga de diseño de muro**

A continuación se colocaran los informes de laboratorio obtenidos luego del análisis de los resultados de los ensayos.

#### **5.2.1 Informe de laboratorio**

##### **Descripción del ensayo**

El sistema de muro fue integrado como tal en el área de prefabricados de la facultad de Ingeniería, para ser ensayado a corte. Este muro está montado sobre la viga especialmente diseñada para este tipo de ensayo.

El procedimiento de ensayo consiste en que cada sistema de muro es cargado con carga lateral puntual localizada en la solera corona. La carga se incrementa en forma progresiva hasta llegar a la carga de diseño estipulada según código ACI-318-05, carga de trabajo, carga de falla; en cada condición se procedió a cargar y descargar, verificando la capacidad de recuperación del mismo en cada condición.

### **Generalidades**

El muro presentado es de sistema de columnas pre-tensadas con una modulación de 0.80m entre columnas, el sistema incluye un bloque de concreto entre cada columna, los bloques de concreto son de dimensiones mayores a las tradicionales ya que poseen una longitud de 0.79 cm., el cual un solo bloque se coloca entre columnas; el muro tiene las siguientes dimensiones:

Longitud del muro = 266 cm.

Altura del muro = 232 cm.

Espesor del muro = 14 cm.

Separación a rostro entre columnas = 80 cm.

Alto de la solera corona = 15 cm.

Refuerzo de la solera corona: 4 varillas longitudinales de 7 mm de diámetro y estribos de 4.5 mm de diámetro @ 15 cm.

Alto de la solera intermedia = 19 cm.

Refuerzo de la solera intermedia: 2 varillas longitudinales de 4.5 mm de diámetro

Alto del cimiento = 15 cm.

Ancho del cimiento = 30 cm.

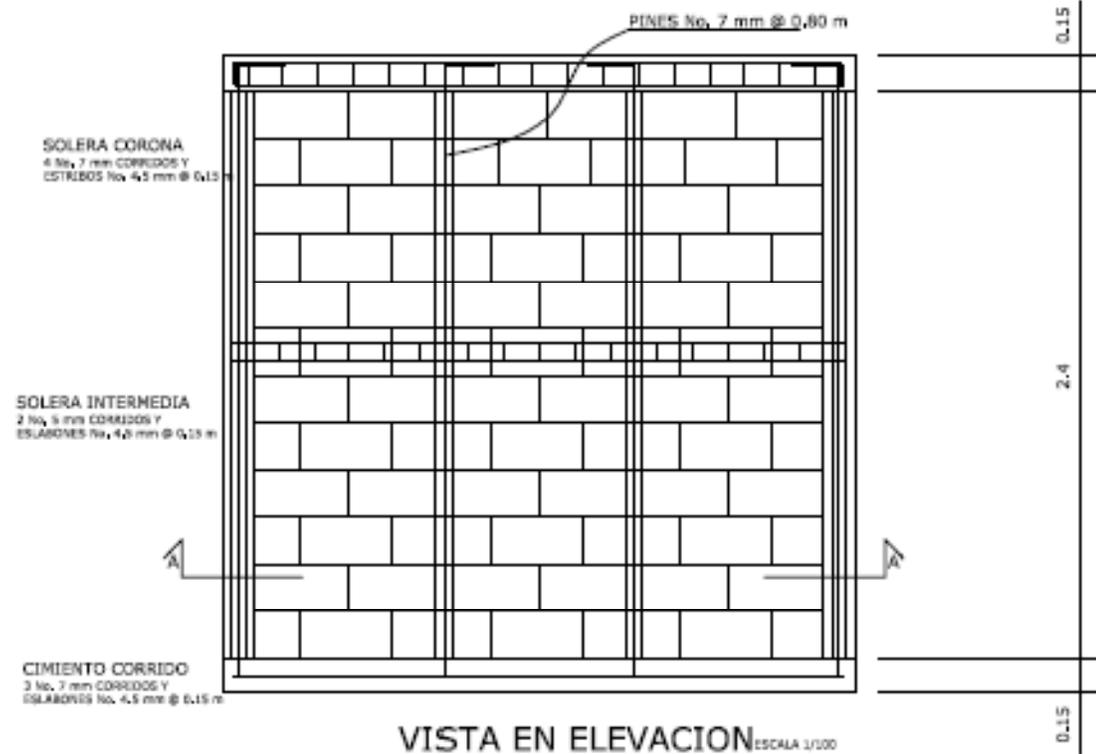
Refuerzo del cimiento: 3 varillas longitudinales de 7 mm de diámetro y eslabones de 4.5 mm de diámetro @ 15 cm.

Dimensiones del bloque de concreto

Alto = 19.7 cm.

Ancho = 14 cm.

Largo = 79 cm.

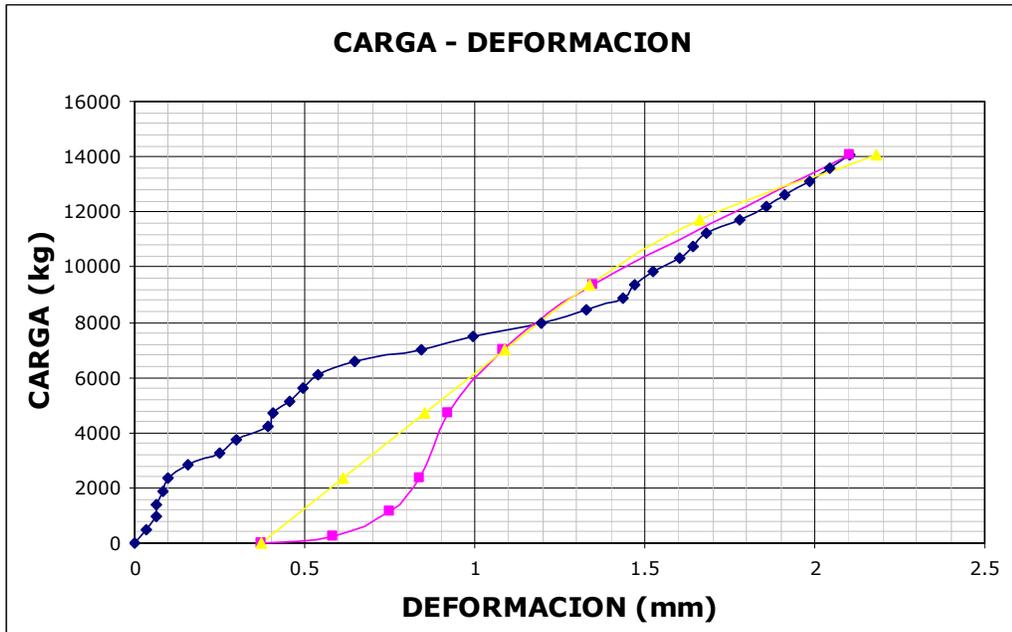


### Resultados de Ensayo

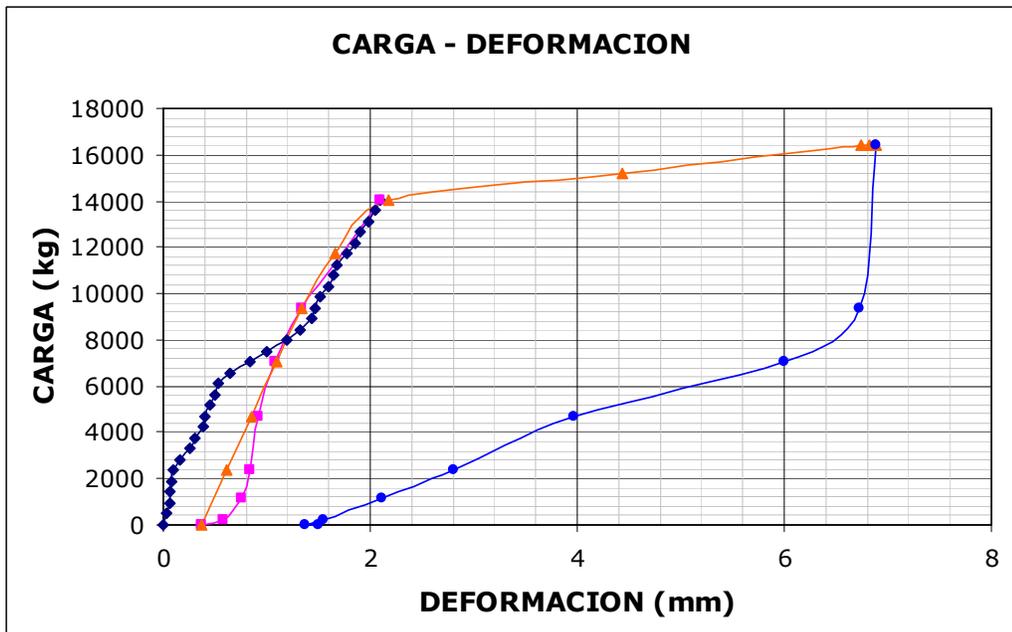
**Tabla 1:** Lecturas promedio de deflexiones registradas en el muro ensayado

CARGA (kg)	DERIVA CORREGIDA (mm)
0	0
468	0.033
936	0.063
1404	0.066
1873	0.084
2341	0.095
2809	0.155
3277	0.252
3746	0.298
4214	0.390
4682	0.408

5151	0.455
5619	0.494
6087	0.539
6555	0.648
7024	0.843
7492	0.992
7960	1.194
8428	1.328
8897	1.434
9365	1.469
9833	1.522
10302	1.601
10770	1.642
11238	1.682
11706	1.778
12175	1.858
12643	1.911
13111	1.982
13579	2.046
14048	2.103
9365	1.345
7024	1.084
4682	0.922
2341	0.835
1170	0.751
234	0.583
0	0.372
2341	0.611
4682	0.854
7024	1.088
9365	1.335
11706	1.664
14048	2.180
15218	4.441
16389	6.747
16389	6.818
16389	6.890
9365	6.730
7024	6.000
4682	3.971
2341	2.802
1170	2.115
234	1.545
0	1.375
0	1.504



**Gráfica 1:** Incrementos de carga distribuida vs. Deformación en La zona elástica.



**Gráfica 2** Incrementos de carga distribuida vs. Deformación en Curva completa

## **Conclusiones del Ensayo**

La carga de diseño dictaminada por el código ACI-318-05 capítulo 9 ecuación 9-5 (1.2 muerta + 1 viva + 1 sismo) para una vivienda de dos niveles, es para el muro de 8240 kg de carga lateral.

La carga aplicada de 16300 kg corresponde a la deformación máxima determinada por El Código UBC 2108.2.4.6 para una deriva horizontal de 0.007H. Lo que da un factor de seguridad de 2

El muro ensayado tiene un comportamiento lineal en la zona elástica que representa una capacidad de trabajo de la misma, hasta alcanzar la carga lateral de 14000 kg recuperación del 90%.

El muro ensayado cumple con los requisitos establecidos por el código ACI-318-05.

Se recomienda la utilización del sistema de muro para viviendas de dos niveles

## CONCLUSIONES

1. Se ha demostrado que los sistemas cumplen con los objetivos, ya que como se pudo observar en el capítulo tres de este trabajo, los sistemas alternativos fueron del orden del 30-40% más económicos respecto al sistema tradicional; el que reportó la menor economía fue en un orden del 30%; mientras que el más económico estuvo en un orden del 42%.
2. En los ensayos practicados en el laboratorio, ha quedado claro que los sistemas alternativos son lo suficientemente resistentes como para soportar las solicitaciones de carga lateral que exigen los códigos de diseño internacionales.
3. Las áreas de acero requeridas y suministradas se encuentran por debajo de las mínimas, permitidas por los códigos; sin embargo, los muros trabajan dentro de su rango elástico que es con el que se trabaja en los métodos de diseño.
4. La cuantía mínima recomendada para el trabajo de este tipo de sistema con aceros de alta resistencia es de 0.00038, con la cual los muros muestran un buen comportamiento.
5. La diferencia de la relación de los precios entre los sistemas, se debe a que el espaciamiento del sistema 14 X 79 X 20 es de 80 cm. entre pines verticales y la unidad de mampostería del mismo es de mayor tamaño requiriendo una menor cantidad de material complementario; luego entre los otros dos sistemas (12 X 39 X 23 y 14 X 59 X 20) se debe al precio

de las unidades de mampostería, a las dimensiones de las mismas y a la utilización de materiales complementarios; ya que el espaciamiento entre los pines verticales es el mismo (60 cm.).

6. En los sistemas presentados lo que se buscó desde el inicio fue el comportamiento dúctil de los muros, esto se puede comprobar revisando los datos del laboratorio, de los cuales la deformación obtenida es significativamente mayor a la máxima permitida y obteniendo recuperaciones del orden del 80%.

## RECOMENDACIONES

1. Los muros de las viviendas no deben ser mayores de cuatro metros de longitud de eje a eje o del eje a la abertura de la puerta o ventana; ya que con esta longitud el espaciamiento propuesto de 80 cm. (para el sistema 14 X 79 X 20) deja de ser valido; mientras que la longitud máxima de los muros para los otros sistemas (12 X 39 X 23 y 14 X 59 X 20) no debe ser mayor a cinco metros para que cumpla con el espaciamiento propuesto de 60 cm.
2. La cuantía suministrada en los muros ya sea vertical como horizontal no deberá ser menor a 0.00038 a menos que se realicen las pruebas necesarias; esto para que no se vea comprometida la integridad estructural.
3. Cuando las viviendas sean de un solo nivel sin opción a que se edifique otro nivel en el futuro, el espaciamiento entre los pines verticales se puede incrementar siempre que cumpla con los requerimientos estructurales de resistencia de cargas que imponen los códigos.
4. Para la producción de los mampostes, se recomienda reducir su longitud de 80 cm. a 40 cm. e incorporando entre ambos un trabe mecánico para mantener los bloques unidos entre ellos.



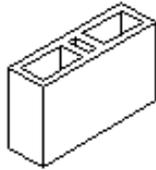
## BIBLIOGRAFÍA

1. Dilip Khatri, Structural Design of Masonry. Edition in ingles, International Code Council; 338 pp.
2. Uniform Building Code (UBC). Edition 1997, International Code Council; 469 pp.
3. Building code requirements for masonry structures (ACI 530-05) Edition 2005. Reported by the masonry standards joint committee (MSJC).
4. International building Code (IBC). Edition 2000, 2003, 2006, International Code Council.

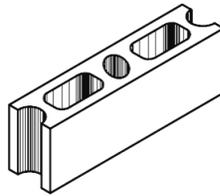


## APÉNDICE

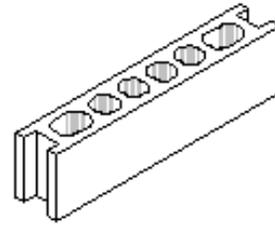
Figura 11 Planta de vivienda modelo



SISTEMA  
12X39X23 CM

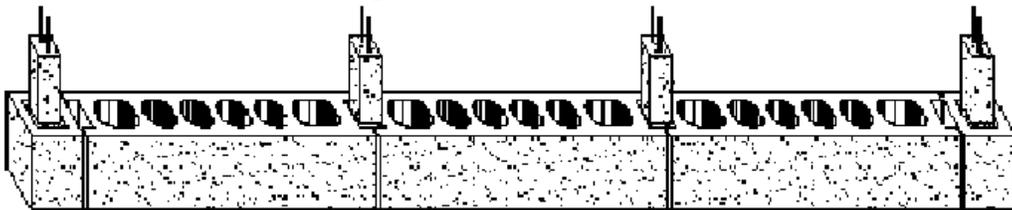


SISTEMA  
14 X 59 X 19

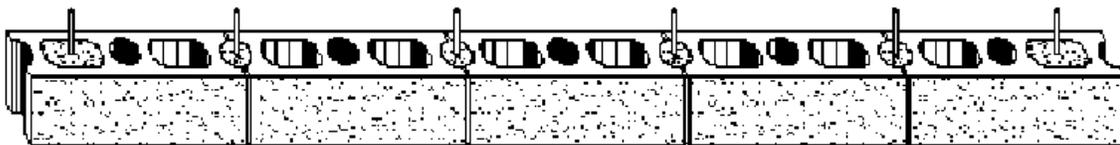


SISTEMA  
14X79X20 CM

Figura 12 Planta de vivienda modelo



**SISTEMA 14 X 79 X 19**



**SISTEMA 14 X 59 X 19**



**SISTEMA 12 X 39 X 23**