

MÉTODO CUANTITATIVO Y CUALITATIVO PARA EL ANÁLISIS DE
VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS DE UNO Y DOS PISOS

DIEGO OCHOA MUÑOZ
CAROLINA RODRIGUEZ LOPEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
ENVIGADO
2005

Método cuantitativo y cualitativo para el análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas de uno y dos pisos

Diego Ochoa Muñoz
Carolina Rodríguez López

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil

Director de carrera
Rubén Darío Hernández Pérez
Ingeniero Civil

Asesor
María del Pilar Duque Uribe
Ingeniera Civil

Escuela de Ingeniería de Antioquia
Departamento de Ingeniería Civil
Envigado
2005

Método cuantitativo y cualitativo para el análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas de uno y dos pisos

Nota de aceptación

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
Jurado 1

.....
Jurado 2

Envigado..... de..... de 2005

A Dios, a nuestros padres y en general a todos aquellos que nos han brindado su apoyo y afecto.

TABLA DE CONTENIDO

ABREVIATURAS	17
RESUMEN	24
ABSTRACT	25
INTRODUCCIÓN	26
1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	27
2 JUSTIFICACIÓN	28
3 OBJETIVOS	29
3.1 GENERAL	29
3.2 ESPECÍFICOS	29
4 MARCO TEÓRICO	30
4.1 VULNERABILIDAD SISMICA	30
4.1.1 Comportamiento de las estructuras.	31
4.1.2 Efectos producidos en las edificaciones por las fuerzas resultantes de un sismo.	32
4.1.3 Aspectos que hacen más o menos vulnerable una edificación.	34
4.2 MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	41
4.2.1 Métodos cuantitativos.	41
4.2.1.1 Método NSR – 98.	41
4.2.1.2 Método FEMA-273.	44
4.2.2 Métodos cualitativos.	46
4.2.2.1 Método de la AIS.	46

4.2.2.2 Método del ATC – 14.	47
4.2.2.3 Método NAVFAC.	51
4.2.2.4 Métodos Japoneses.	55
4.2.2.5 Método Venezolano.	59
4.2.2.6 Método FEMA-178 = FEMA-310.	64
4.2.2.7 Método del I.S.T.C.	69
4.2.2.8 Método del índice de vulnerabilidad.	86
4.2.2.9 Metodología Propuesta por Hurtado y Cardona.	98
4.2.2.10 Método ATC-21 .	100
4.3 INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL	102
4.3.1 Reestructuración o rehabilitación.	102
4.3.2 Posibles soluciones.	103
5 DISEÑO METODOLÓGICO	104
5.1 METODOLOGIA GENERAL	104
6 GALERIA DE PLANOS	106
6.1 PLANOS ARQUITECTÓNICOS	107
6.2 PLANOS ESTRUCTURALES	110
7 MÉTODO CUANTITATIVO PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	112
7.1 CRITERIOS DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE	112
7.2 MOVIMIENTOS SÍSMICOS	112
7.2.1 Período de vibración (T)	113
7.2.2 k (Exponente relacionado con el período fundamental T)	113
7.2.3 Espectro de diseño.	113

7.3	CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	115
7.3.1	Clasificación del sistema en mampostería estructural.	115
7.4	REVISIÓN DEL ESPESOR DE LA LOSA	116
7.5	COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA	117
7.5.1	Coeficiente de disipación de energía básico (R_0).	118
7.5.2	Irregularidad en planta (ϕ_p).	118
7.5.3	Irregularidad en altura (ϕ_a).	119
7.6	DETERMINACIÓN DE CARGAS VERTICALES	119
7.6.1	Carga muerta.	119
7.6.2	Carga viva.	122
7.6.3	Carga total	123
7.7	DETERMINACIÓN DE CARGAS SÍSMICAS SEGÚN EL MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE	123
7.7.1	Peso correspondiente a cada losa.	124
7.7.2	Repartición de la fuerza sísmica en cada piso	127
7.7.3	Repartición de fuerza sísmica en cada muro.	128
7.8	ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR MEDIO DEL MÉTODO DE ESFUERZOS ADMISIBLES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES	145
7.8.1	Resistencia efectiva.	145
7.8.2	Compresión	146
7.8.3	Cortante	152
7.8.4	Esfuerzos axiales actuantes a causa de la flexión σ_f .	156
7.8.5	Tracción	160
7.8.6	Flexo-compresión	163
7.9	DERIVAS DE LA ESTRUCTURA	165

8	MÉTODO CUALITATIVO PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	168
8.1	SISTEMA CONSTRUCTIVO	168
8.2	CRITERIOS BÁSICOS DE PLANTEAMIENTO ESTRUCTURAL	169
8.2.1	Sistema de resistencia sísmica.	169
8.2.2	Disposición de muros estructurales.	169
8.2.3	Simetría.	169
8.2.4	Continuidad	171
8.2.5	Dimensiones modulares.	172
8.2.6	Elementos de amarre y refuerzo en los muros.	172
8.2.7	Diafragmas.	172
8.2.8	Peso de los elementos de construcción.	172
8.3	MUROS ESTRUCTURALES	173
8.3.1	Unidades de mampostería.	173
8.3.2	Mortero de pega y mortero de inyección.	174
8.3.3	Espesor de los muros.	175
8.3.4	Longitud de muros confinados.	175
8.3.5	Abertura en los muros.	181
8.4	ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO	182
8.4.1	Columnas de confinamiento.	182
8.4.2	Vigas de confinamiento.	183
8.4.3	Cintas de amarre.	185
8.5	LOSAS DE ENTREPISO, CUBIERTAS, MUROS DIVISORIOS Y PARAPETOS	186
8.5.1	Losas de entrepiso.	186

8.5.2 Cubiertas.	187
8.5.3 Muros divisorios.	189
8.5.4 Parapetos y antepechos.	189
8.6 CIMENTACIONES	189
8.6.1 Cimientos en mallas de ciclópeo y vigas de cimentación.	191
8.6.2 Vigas de amarre.	191
8.6.3 Cimientos en mallas de concreto reforzado.	191
8.6.4 Instalaciones hidrosanitarias.	193
8.6.5 Contrapisos.	194
8.6.6 Juntas.	194
8.6.7 Muros divisorios no estructurales.	194
8.6.8 Construcciones en ladera.	194
8.7 CALIFICACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD	195
9 RESULTADOS	197
10 CONCLUSIONES	198
11 RECOMENDACIONES	201
11.1 TÉCNICAS	201
11.2 PROPIAS DEL TRABAJO	202
BIBLIOGRAFÍA	204
ANEXOS FOTOGRÁFICOS	207

LISTA DE TABLAS

Tabla 1:	Amortiguamientos lineal elástico y post-fluencia	52
Tabla 2:	Factores de ductilidad	54
Tabla 3:	Coeficientes de los elementos resistentes	61
Tabla 4:	Índice de deterioro T'	63
Tabla 5:	Índice D para el cálculo del índice sísmico	63
Tabla 6:	Factores de vulnerabilidad parcial considerados por el I.S.T.C	82
Tabla 7:	Puntajes para la asignación de clases	82
Tabla 8:	Proposición del G.N.D.T. para asignación de calidad de información	83
Tabla 9:	Escala de vulnerabilidad de Benedetti - Petrini	89
Tabla 10:	Clasificación de los daños en función de la demanda de ductilidad	100
Tabla 11:	Espesores mínimos de losa (H)	116
Tabla 12:	Valores de ϕ_c y ϕ_e	146
Tabla 13:	Espesores mínimos nominales para muros estructurales en casas de uno y dos pisos (cm).	175
Tabla 14:	Coeficientes M_o para L_o de muros estructurales confinados	177
Tabla 15:	Dimensiones mínimas de la sección para elementos de cimentación en concreto reforzado (cm)	192

LISTA DE TABLAS DE CÁLCULO

Tabla de cálculo 1 :	Datos espectro de diseño	114
Tabla de cálculo 2 :	Espesor de la losa	117
Tabla de cálculo 3 :	Coefficiente de disipación de energía	119
Tabla de cálculo 4 :	Divisiones y particiones	120
Tabla de cálculo 5 :	Carga muerta losa de entrepiso	121
Tabla de cálculo 6 :	Carga muerta losa de cubierta	122
Tabla de cálculo 7 :	Peso y centroide de losa de entrepiso y muros aferentes	124
Tabla de cálculo 8 :	Peso y centroide de la losa entrepiso	126
Tabla de cálculo 9 :	Peso y centroide de losa de cubierta y muros aferentes	126
Tabla de cálculo 10 :	Peso y centroide de la losa de cubierta	127
Tabla de cálculo 11 :	Fuerza correspondiente a cada piso	128
Tabla de cálculo 12 :	Datos para el cálculo de F_{sm} del primer nivel	133
Tabla de cálculo 13 :	Cálculo F_{sm} muros dirección X del primer nivel	134
Tabla de cálculo 14 :	Cálculo F_{sm} muros dirección Y del primer nivel	134
Tabla de cálculo 15 :	Datos para el cálculo de F_{sm} del segundo nivel	134
Tabla de cálculo 16 :	Cálculo F_{sm} muros dirección X del segundo nivel	135
Tabla de cálculo 17 :	Cálculo F_{sm} muros dirección Y del segundo nivel	135
Tabla de cálculo 18 :	Datos para el cálculo de $F_{\tau m}$ del primer nivel	139
Tabla de cálculo 19 :	Cálculos de $F_{\tau m}$ muros dirección X en primer piso	139
Tabla de cálculo 20 :	$F_{\tau m}$ muros dirección X del primer nivel	140

Tabla de cálculo 21 :	Cálculos de F_{τ_m} muros dirección Y en primer piso	140
Tabla de cálculo 22 :	F_{τ_m} muros dirección Y del primer nivel	140
Tabla de cálculo 23 :	Datos para el cálculo de F_{τ_m} del segundo nivel	141
Tabla de cálculo 24 :	Cálculos de F_{τ_m} muros dirección X en 2do piso	141
Tabla de cálculo 25 :	F_{τ_m} muros dirección X del segundo nivel	142
Tabla de cálculo 26 :	Cálculos de F_{τ_m} muros dirección Y en 2do piso	142
Tabla de cálculo 27 :	F_{τ_m} muros dirección Y del segundo nivel	142
Tabla de cálculo 28 :	Cálculo $F.T_m$ muros dirección X del primer nivel	144
Tabla de cálculo 29 :	Cálculo $F.T_m$ muros dirección Y del primer nivel	144
Tabla de cálculo 30 :	Cálculo $F.T_m$ muros dirección X del segundo nivel	144
Tabla de cálculo 31 :	Cálculo $F.T_m$ muros dirección Y del segundo nivel	145
Tabla de cálculo 32 :	Datos primer nivel	148
Tabla de cálculo 33 :	Datos para el calculo de σ_c en los muros del primer piso en dirección X	148
Tabla de cálculo 34 :	Esfuerzos σ_c en los muros y resistencias N_c del primer piso en dirección X	149
Tabla de cálculo 35 :	Datos para el calculo de σ_c en los muros del primer piso en dirección Y	149
Tabla de cálculo 36 :	Esfuerzos σ_c en los muros y resistencias N_c del primer piso en dirección Y	150
Tabla de cálculo 37 :	Datos segundo nivel	150
Tabla de cálculo 38 :	Datos para el calculo de σ_c en los muros del segundo piso en dirección X	151
Tabla de cálculo 39 :	Esfuerzos σ_c en los muros y resistencias N_c del segundo piso en dirección X	151
Tabla de cálculo 40 :	Datos para el calculo de σ_c en los muros del Segundo piso en dirección Y	151

Tabla de cálculo 41 :	Esfuerzos σ_c en los muros y resistencias N_c del Segundo piso en dirección Y	152
Tabla de cálculo 42 :	Datos para el calculo de σ_v y N_v en los muros del primer piso en dirección X	153
Tabla de cálculo 43 :	Esfuerzos τ_v en los muros y resistencias N_v del primer piso en dirección X	154
Tabla de cálculo 44 :	Datos para el calculo de τ_v y N_v en los muros del primer piso en dirección Y	154
Tabla de cálculo 45 :	Esfuerzos σ_v en los muros y resistencias N_v del primer piso en dirección Y	155
Tabla de cálculo 46 :	Datos para el calculo de τ_v y N_v en los muros del segundo piso en dirección X	155
Tabla de cálculo 47 :	Esfuerzos τ_v en los muros y resistencias N_v del segundo piso en dirección X	155
Tabla de cálculo 48 :	Datos para el calculo de τ_v y N_v en los muros del Segundo piso en dirección Y	156
Tabla de cálculo 49 :	Esfuerzos τ_v en los muros y resistencias N_v del Segundo piso en dirección Y	156
Tabla de cálculo 50 :	Esfuerzos σ_F en muros del primer piso en dirección X	159
Tabla de cálculo 51 :	Esfuerzos σ_F en muros del primer piso en dirección Y	159
Tabla de cálculo 52 :	Esfuerzos σ_F en muros del segundo piso en dirección X	160
Tabla de cálculo 53 :	Esfuerzos σ_F en muros del Segundo piso en dirección Y	160
Tabla de cálculo 54 :	Esfuerzos σ_T en los muros y resistencias N_T del primer piso en dirección X	161
Tabla de cálculo 55 :	Esfuerzos σ_T en los muros y resistencias N_T del primer piso en dirección Y	162
Tabla de cálculo 56 :	Esfuerzos σ_T en los muros y resistencias N_T del segundo piso en dirección X	162
Tabla de cálculo 57 :	Esfuerzos σ_T en los muros y resistencias N_T del Segundo piso en dirección Y	162

Tabla de cálculo 58 :	Índice de flexo-compresión en los muros del primer piso en dirección X	164
Tabla de cálculo 59 :	Índice de flexo-compresión en los muros del primer piso en dirección Y	164
Tabla de cálculo 60 :	Índice de flexo-compresión en los muros del Segundo piso en dirección X	165
Tabla de cálculo 61 :	Índice de flexo-compresión en los muros del Segundo piso en dirección Y	165
Tabla de cálculo 62 :	Derivas del primer nivel	166
Tabla de cálculo 63 :	Derivas del segundo nivel	167
Tabla de cálculo 64 :	Características de muros en Y en el primer piso	179
Tabla de cálculo 65 :	Características de muros en X en el primer piso	180
Tabla de cálculo 66 :	Características de muros en Y en el segundo piso	180
Tabla de cálculo 67 :	Características de muros en X en el segundo piso	181
Tabla de cálculo 68 :	Evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica	195

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Momentos flectores y fuerzas cortantes	67
Figura 2.	Momentos flectores en vigas y columnas	67
Figura 3.	Esfuerzo en nodos	68
Figura 4.	Modos de falla según una modelación de franjas verticales	72
Figura 5.	Modelación de la acción sísmica sobre toda la altura del muro	73
Figura 6.	Falla en el piso superior	75
Figura 7.	Modelación muro según sección horizontal como viga simplemente apoyada y diagrama de resistencia en arco de la mampostería	77
Figura 8.	Características de edificación consideradas al evaluar volcamiento del muro estribo	78
Figura 9.	Volcamiento del muro estribo	79
Figura 10.	Volcamiento de muro estribo en último piso	81
Figura 11.	Equilibrio de fuerzas para determinar la resistencia a separación del muro transversal	81
Figura 12.	Idea general de la función de vulnerabilidad y su relación con variable u	84
Figura 13.	Formulario para el levantamiento de la vulnerabilidad de edificaciones en mampostería.	90
Figura 14.	Configuración en planta de la estructura	94
Figura 15.	Configuración en elevación de la estructura	94
Figura 16.	Proceso general del ATC-21	101
Figura 17.	Espectro de diseño	114
Figura 18.	Fuerza en muros por traslación	129

Figura 19.	Fuerza necesaria para causar un desplazamiento unitario	130
Figura 20.	Fuerza en muros por torsión	136
Figura 21.	Área aferente primer nivel	148
Figura 22.	Área aferente segundo nivel	150
Figura 23.	Esfuerzo axiales por flexión	157
Figura 24.	Esfuerzo axiales por flexión en muros continuos	157
Figura 25.	Deriva	166
Figura 26.	Relación largo-ancho	170
Figura 27.	Irregularidad en planta	170
Figura 28.	Irregularidad en altura	171
Figura 29.	Unidades de mampostería	173
Figura 30.	Calidad del mortero de pega	174
Figura 31.	Cantidad de muros en las direcciones ortogonales.	178
Figura 32.	Aberturas	182
Figura 33.	Muros confinados y reforzados	184
Figura 34.	Columnas y vigas de confinamiento.	185
Figura 35.	Losas de entepiso	186
Figura 36.	Amarre de cubiertas	188
Figura 37.	Suelo adecuado para cimentaciones	190
Figura 38.	Cimentaciones	192
Figura 39.	Topografía del lote de construcción	195

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 :	Irregularidad en planta (desplazamiento planos de acción)	118
Ilustración 2 :	Grietas debido a la dilatación de la losa de cubierta	188
Ilustración 3 :	Separación o junta con la vivienda vecina	207
Ilustración 4 :	Vista frontal y lateral de la vivienda	207
Ilustración 5 :	Vista frontal de la vivienda	208
Ilustración 6 :	Muro lateral de la vivienda	208
Ilustración 7 :	Vista lateral de la vivienda	209
Ilustración 8 :	Vacío de las escaleras	209
Ilustración 9 :	Interior primer nivel	210
Ilustración 10 :	Cocina (Primer nivel)	210
Ilustración 11 :	Acceso principal desde el interior	211
Ilustración 12 :	Escaleras	211

LISTA DE PLANOS

Plano I:	Plano arquitectónico del primer nivel	107
Plano II:	Plano arquitectónico del segundo nivel	108
Plano III:	Plano arquitectónico losa de cubierta	109
Plano IV:	Plano estructural primer nivel	110
Plano V:	Plano estructural segundo nivel	111

ABREVIATURAS

A	: Área transversal
A'	: Peso modal efectivo
a₁, a₂ y a₃.	: Aceleraciones críticas
A_a	: Coeficiente que representa la aceleración pico efectiva para diseño
A_{Aferente de Muro}	: Área de losa aferente al muro
A_c	: Sección transversal de todas las columnas
A_{cc}	: Sección transversal de todas las columnas cortas del entrepiso considerado
A_m	: Sección transversal de todos los muros de concreto o de mampostería
A_t	: Área total cubierta
ATC	: Applied Technology Council "Evaluating the Seismic Resistance of Existing Buildings"
A_v	: Área de la varilla de los estribos
A_{x,y}	: Área total de los muros resistentes
B	: Ancho de la sección
C'	: Resistencia de los elementos verticales
C	: Distancia a las fibras en las cuales se desea hallar el esfuerzo axial por flexión
C.S.	: Cortante sísmica
C_b	: Coeficiente de corte basal resistente
C_{bu}	: Capacidad de corte última
C_{by}	: Capacidad de corte a la cedencia
CM	: Carga muerta
CSE	: Coeficiente sísmico exigido
CSR	: Coeficiente sísmico resistente
CT	: Carga total
CV	: Carga viva

Cvx	: Porcentaje que reparte el cortante basal en cada nivel
d_i	: Distancia entre el centro de rigidez y el muro i
D	: Altura efectiva de la sección
D	: Índice que representa las condiciones de irregularidad en planta y en elevación
D/C	: Relación de demanda sobre capacidad
DD	: Demanda de ductilidad
ΔF	: Desplazamiento a causa de la flexión
DMI	: Capacidad mínima de disipación de energía
ΔV	: Desplazamiento a causa de la cortante
E	: Espesor
E	: Módulo de elasticidad
e_{accidental}	: Excentricidad accidental
E_c	: Módulo de elasticidad del concreto
E_o	: Sub-índice sísmico de comportamiento estructural
e_{real}	: Excentricidad real
E_s	: Valor básico de comportamiento sísmico
e_x	: Excentricidad en X
e_y	: Excentricidad en Y
F	: Factor de ductilidad de la estructura
F.S.	Fuerza sísmica
F'	: Capacidad de ductilidad de los elementos verticales
F	: Superficie total en planta del primer piso del edificio
F.T_m	: Fuerza sísmica total correspondiente a cada muro
f'_{ma}	: Resistencia a compresión de mampostería de arcilla
f'	: Resistencia a la compresión del material del elemento
φ_a	: Coeficiente de reducción de disipación de energía por irregularidades en altura
φ_c	: Coeficiente de reducción de resistencia según la calidad de la estructura
φ_e	: Coeficiente de reducción de resistencia según el estado de la estructura
φ_p	: Coeficiente de reducción de disipación de energía por irregularidades en planta
F_c	: Esfuerzos admisibles para compresión axial
f'_c	: Esfuerzo a compresión del concreto
F_{Cf}	: Resistencia debido a la compresión por flexión

F_d	: Factor de distribución de la cortante sísmica
FEMA-273	: Rehabilitación sísmica de edificaciones existentes
F_{SP}	: Fuerza correspondiente a cada piso
f_s	: Factor de forma de una sección rectangular
F_s	: Fuerza horizontal aplicada en el muro necesaria para causar un desplazamiento unitario
F_{sm}	: Fuerza sísmica en cada muro a causa de la traslación
f_t	: Resistencia media a tracción de la albañilería del muro
F_t	: Área resistente de muros de albañilería según una sección horizontal
F_T	: Esfuerzos admisibles para a tracción
F_t"	: Área media resistente en planta de los muros del edificio
F_{τm}	: Fuerza sísmica en cada muro a causa de la torsión
F_v	: Esfuerzos admisibles para cortante
f_y	: Esfuerzo de fluencia del acero de los estribos
G	: Gravedad
G	: Módulo de cortante
G'	: Sub-índice sísmico de movimiento del terreno
γ	: Peso específico
γ concreto	: Peso específico del concreto (2400 Kgf/m ³)
γ E,R y P	: Peso específico estuco, revoque y pintura
γ muros	: Peso específico de los muros
γ_e	: peso específico equivalente
H	: Altura
h'	: Altura efectiva del muro
h_n	: Altura de la edificación
I'	: Índice de daños
I	: Coeficiente de importancia
I	: Momento de inercia
I.S.T.C	: Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni
I₁, I₂	: Índices que representan los dos posibles modos de rotura en los muros
I_g	: Índice de daños global
I_n	: Índice sísmico de los elementos no estructurales
I_s	: Índice sísmico de la estructura
I_s	: Índice sísmico

ϕ	: Relación entre la superficie del muro y la superficie útil en planta
k'	: Factor que depende de qué tanto se conozca de la estructura.
K	: Exponente relacionado con el período fundamental T
K	: Rigidez
k_1	: Razón entre el área resistente de albañilería paralela a la dirección del sismo y el área F_t
k_1', k_2'	: Factores que conciernen al posible pandeo de las barras de refuerzo y al nivel de esfuerzos cortantes
k_2	: Parámetro que considera la regularidad en planta de la estructura ante los mecanismos de redistribución de esfuerzos horizontales debido a variaciones de la rigidez de los muros en planta
K_a	: Constante del módulo de elasticidad de los elementos de mampostería de arcilla
K_b	: Momento de inercia dividido por la longitud de las vigas centro a centro.
K_c	: Momento de Inercia dividido por la longitud de las columnas centro a centro
K_i	: Rigidez correspondiente al muro i.
k_n	: Desplazamiento al tope de la estructura
L	: Longitud
L_o	: Longitud mínima de muros estructurales en cada dirección
L_x	: Longitud en dirección X
L_y	: Longitud en dirección Y
m'	: Factor de modificación
M	: Momento interno debido a la carga real aplicada
M	: Momento interno debido a una carga virtual aplicada en el sentido y punto donde se desea encontrar los desplazamientos
$M_d . P_f$: Losas macizas que sostienen muros divisorios y/o particiones frágiles
M_n	: Resistencia nominal a flexión del elemento
M_o	: Coeficiente para L_o de muros estructurales confinados
M_τ	: Momento torsor
M_{τ_x}	: Momento torsor que causa la excentricidad en X

$M_{\tau y}$: Momento torsor que causa la excentricidad en Y
v	: Valor de la resistencia a cortante de los muros
N	: Resistencia efectiva
NAVFAC	: Seismic Design Guidelines for Up-Grading Existing Buildings
n_c	: Número total de columnas.
n_f	: Número total de pórticos en la dirección considerada
NMd . Pf	: Losas macizas que NO sostienen muros divisorios y/o particiones frágiles
NSR-98	: Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente
P_m	: Peso específico de la mampostería en (Ton/m ³)
P_{MURO}	: Carga vertical sobre el muro
P_s	: Peso por unidad de área del diafragma en (Ton/m ²).
Q	: Peso propio del diafragma horizontal de piso más 70 kgf/m ² de sobrecarga de cálculo
Q_{ce}	: Resistencia calculada de un miembro en particular que se está estudiando
Q_{cl}	: Resistencia mínima de un elemento en el nivel de deformación que se está considerando.
Q_n	: Resistencia a cortante suministrada por la plastificación de los extremos de la columna
Q_{ud}	: Conjunto de demandas o exigencias controladas por las deformaciones impuestas en la estructura debido a las diferentes cargas (muerta, viva, sismo, etc).
Q_{uf}	: Conjunto de demandas o exigencias controladas por fuerzas impuestas a la estructura por las deformaciones (rigidez) o por una gobernada por las fuerzas (resistencia).
R	: Coeficiente de disipación de energía
R_a	: Aceleración espectral.
R_c	: Sumatoria de las áreas de columnas en la dirección de la carga
R_e	: Reducción de resistencia axial por esbeltez
R_o	: Coeficiente de disipación de energía básico
R_w	: Factor de modificación de la respuesta de la vivienda evaluada
R_w	: Factor de modificación de la respuesta que tiene en cuenta la ductilidad.

S	: Espaciamiento de los estribos
S₂	: Coeficiente de sitio
S_a	: Aceleración como fracción de la gravedad (Aceleración Espectral)
S_{au}'	: Aceleración espectral para la condición última
S_{ay}'	: Aceleración espectral para la condición de fluencia
S_d'	: Desplazamientos espectrales
S_d	: Sub-índice sísmico de concepción estructural
S_{du}'	: Desplazamiento máximo en la condición última
S_{dy}'	: Desplazamiento máximo a la cadencia
s_o	: Tensión media o tensión de precompresión vertical del muro
T	: Período fundamental
T''	: sub-índice sísmico de deterioro con el tiempo
T'	: índice que representa las condiciones de deterioro en tiempo
t_c	: Esfuerzo resistente al corte de las columnas normales
t_{cc}	: Esfuerzo resistente al corte de las columnas cortas
τ_k	: Resistencia a cortante característica del tipo de mampostería
t_m	: Esfuerzo resistente al corte de los muros
T_u	: Período estimado de la estructura a la condición última
T_y	: Período estimado de la estructura a la cadencia
U	: Factor de importancia de la construcción para la recuperación después de un terremoto.
V	: Corte basal actuante.
V	: Cortante interno debido a una carga virtual aplicada en el sentido y punto donde se desea encontrar los desplazamientos
V_{av}	: Esfuerzo promedio en las columnas.
V_c	: Fuerza cortante que resisten las columnas normales
V_{cc}	: Fuerza cortante que resisten las columnas cortas
V_m	: Fuerza cortante que resisten los muros
V_n	: Resistencia nominal a cortante de los soportes verticales
Vol_{muros}	: Volumen muros
VR	: Cortante resistente

V_s	: Cortante sísmico en la base
V_u	: Fuerza lateral requerida para producir un mecanismo de colapso
V_u	: Fuerzas sísmicas cortantes
V_{ur}	: Fuerzas cortantes resistentes del entrepiso
V_y	: Fuerza lateral requerida para causar la cedencia a los elementos estructurales más críticos.
W	: Peso
W_{acabados}	: Peso de acabados
$W_{\text{losa cubierta}}$: Peso losa cubierta
$W_{\text{losa entrepiso}}$: Peso losa entrepiso
$W_{\text{particiones}}$: Peso de divisiones y particiones
W_{Vivienda}	: Peso de la vivienda
ξ	: Razón entre la altura de vanos del muro y la altura del último piso
X_{CM}	: Coordenada del centro de masa en dirección X
X_{CR}	: Coordenada del centro de rigidez en dirección X
ψ	: Porcentaje de vanos en los muros
Y_{CM}	: Coordenada del centro de masa en dirección Y
Y_{CR}	: Coordenada del centro de rigidez en dirección Y
Z	: Factor de zona sísmica
$\delta_{\text{permisible}}$: Deriva máxima permisible
δ_{Total}	: Deriva total
δ_x	: Deriva en Dirección X
δ_y	: Deriva en Dirección Y
σ_c	: Esfuerzo actuante a causa de la compresión por cargas verticales
σ_f	: Esfuerzos axiales actuantes a causa de la flexión
σ_T	: Esfuerzo actuante a tracción
τ_v	: Esfuerzo actuante a causa de la cortante

RESUMEN

Este trabajo de grado muestra el procedimiento y sirve de guía a las personas que deseen revisar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de uno o dos pisos en mampostería estructural. Para ilustrar este procedimiento se tomó como ejemplo una vivienda de estrato socio-económico bajo, construida empíricamente, ubicada en el barrio El Cristo del municipio de Envigado en la Carrera 24D – 40 sur -180-interior 112.

El procedimiento se realizó con base en la Norma NSR-98. Se realiza un análisis por dos métodos, uno cuantitativo, que sigue los pasos que recomienda la norma en el capítulo A-10 y depende de las características de los materiales utilizados en la construcción de la vivienda; y otro cualitativo, que está basado en información tomada del manual de construcción, evaluación y rehabilitación sísmo-resistente de viviendas de mampostería y complementado por el título E de la NSR-98.

Después de realizar una revisión a la vivienda se determina en que estado se encuentra, es decir, si tiene una estructura sísmicamente estable o por el contrario tiene falencias en su sistema estructural. Después de observar los resultados de ambos métodos se identificaron las falencias de la vivienda, y por ende, se planteó una posible solución para que ante un sismo esta se comporte de manera adecuada.

ABSTRACT

This degree project shows the procedure and the guide for people who want to check seismic vulnerability in houses with one or two floors, in structural masonry. To illustrate this procedure a low socio-economic stratum house was taken as an example. It was built in an empirical way. It's located in El Cristo, a neighborhood in Envigado (Carrera 24 D 40 sur -180 interior 112).

The procedure was based in Norm NSR-98. An analysis was made by two different methods, the quantitative, which follows the steps recommended by the Norm in chapter A-10 and that depends on the characteristic of the materials used in the house building; and the qualitative, based in the data taken from the Handbook of building, evaluation and rehabilitation seismic resistant of masonry houses, it was complemented with the Norm NSR-98, title E.

After the checking was made, it was determined its state, which means, if it has a stable seismic resistant structure or it has failings. After the review of both methods results, it were identified the house failings and therefore it was formulated a possible solution to obtain the right behavior of the house in seismic situations.

INTRODUCCIÓN

Debido a la importancia de los desastres, el término riesgo se ha convertido en una palabra común en la actualidad. Desde el punto de vista general, puede definirse como la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza natural, según el grado de fragilidad de sus elementos, pueda sufrir daños humanos y materiales. La magnitud de esos daños, a su vez, también está relacionada con el grado de vulnerabilidad.

Las viviendas de estrato socio-económico bajo son las más propensas a esta vulnerabilidad, debido a que son construidas por personas que trabajan en el área de construcción, como ayudantes, oficiales y en el mejor de los casos como maestros de obra, que por más que tienen una experiencia en este campo, desconocen el comportamiento de una estructura ante un sismo y por esta razón no tienen los conocimientos suficientes para diseñar las viviendas de manera que soporten las cargas que este implica.

Se presenta un ejemplo en el cual se evalúa una vivienda de uno y dos pisos ante cargas sísmicas por medio de dos métodos, uno cualitativo que está basado en información tomada del manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo-resistente de viviendas de mampostería y complementado por el título E de la NSR-98, y otro por medio de un método cuantitativo que sigue los pasos del capítulo A-10; mostrando el procedimiento que se debe seguir en cada método y que deben seguir los profesionales de la ingeniería para cumplir con los requisitos mínimos que exige la norma de diseño y construcción sismo-resistente NSR-98, y así, en el momento de la ocurrencia de un sismo se presente el menor número de daños en la estructura, evitando pérdidas humanas y la disminución del patrimonio de los propietarios.

1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Todas las edificaciones están expuestas a la ocurrencia de un sismo, el cual se presenta de una manera imprevista en cualquier sector, sin embargo, el mayor problema se encuentra en las edificaciones de las clases sociales bajas en donde no se tienen los recursos necesarios para garantizar unos niveles de seguridad mínimos, debido a que no se aplican procedimientos técnicos por falta de conocimientos y recursos económicos.

Los ingenieros o técnicos en construcción deben saber que existen diferentes métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de una vivienda, pero la mayoría de ellos desconocen cual de estos métodos utilizar según la necesidad que se tiene, la agilidad en cuanto al tiempo y las ventajas que tiene cada uno de estos; por esto lo que se desea es evaluar la vulnerabilidad sísmica de una vivienda mediante dos métodos, identificando sus características y comparando los resultados que se obtienen de cada uno de estos, de manera que los ingenieros o técnicos en el área de construcción tengan un mayor conocimiento y claridad de cual método es mejor a la hora de evaluar viviendas de uno y dos pisos, y que con base en esta evaluación mejoren las condiciones estructurales de la vivienda, evitando así el colapso de elementos tanto no estructurales como estructurales que de una u otra manera pongan en peligro a las personas y a la misma edificación.

2 JUSTIFICACIÓN

Los estudios de vulnerabilidad sísmica son de gran importancia, debido a que los sismos han causado grandes pérdidas humanas y daños a infraestructuras nacionales de gran importancia. Este tema se ha convertido en uno de los más importantes para el desarrollo de los ingenieros civiles, debido a que les da a los futuros ingenieros la oportunidad de investigarlo, desarrollarlo y aplicarlo en su carrera, contribuyendo en la disminución del riesgo a través de la rehabilitación de las viviendas para que sean menos vulnerables sísmicamente.

El procedimiento tanto del método cuantitativo como cualitativo será de gran utilidad para los ingenieros, debido a que tendrán las bases para evaluar de una manera más rápida y efectiva la vulnerabilidad sísmica de una vivienda y encontrar cuales son los elementos “débiles”, y reformarlos para que no sean la causa del colapso de la edificación.

Aunque este trabajo está planteado como un requisito para obtener el título de Ingeniero civil, en realidad encierra mucho más, ya que con él se espera afianzar y poner en práctica una serie de conocimientos adquiridos.

3 OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Proponer qué método, cualitativo ó cuantitativo, se debe utilizar según la certeza que se necesite a la hora de evaluar la vulnerabilidad sísmica de una vivienda de uno y dos pisos en mampostería.

3.2 ESPECÍFICOS

- Describir el proceso que se requiere en cada método para evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas de uno y dos pisos en mampostería.
- Evaluar la vulnerabilidad sísmica de una vivienda de dos pisos en mampostería, por medio de un método cualitativo y otro cuantitativo.
- Identificar los elementos estructurales vulnerables sísmicamente de la vivienda evaluada.
- Revisar el software que se ha utilizado en trabajos de grado anteriores en la Escuela de Ingeniería de Antioquia para evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 VULNERABILIDAD SISMICA

Para evaluar el riesgo sísmico de una región es importante la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras construidas por el ser humano. Existen muchas estructuras de una misma tipología que pueden sufrir un mayor grado de daño debido a un terremoto a pesar de localizarse en el mismo sitio. Esto se debe a que existen estructuras con una calidad estructural mejor que otras, es decir, que su vulnerabilidad es menor. Por lo tanto, se puede llegar a plantear que la vulnerabilidad sísmica de una estructura es la calidad estructural o capacidad de sus elementos para resistir un terremoto.

El que una estructura sea más o menos vulnerable ante un terremoto de determinadas características, es independiente de la peligrosidad sísmica del sitio, por lo tanto una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo, a menos que se encuentre en un sitio con cierta peligrosidad sísmica.

La vulnerabilidad sísmica se puede evaluar de una manera muy específica realizando un estudio muy exhaustivo de las estructuras o muy general como puede ser un estudio a nivel urbano. El conocimiento del comportamiento de una estructura es generalmente complejo y dependiente de un sin número de parámetros que en su mayoría son difíciles de obtener. Algunos de estos parámetros incluyen, la obtención de las características del movimiento sísmico del lugar, la resistencia de los materiales con los que está construida, la calidad de la construcción, la interacción con los elementos no estructurales, entre otros.

Un aspecto muy importante en la vulnerabilidad sísmica de las estructuras es definir el daño que pueda sufrir una estructura debido a un terremoto. En realidad, el daño va asociado a la vulnerabilidad, debido a que la vulnerabilidad de una estructura puede ser mayor o menor dependiendo del daño que pueda sufrir ante un terremoto. La palabra daño se utiliza para describir distintos fenómenos que puedan ocasionar los movimientos sísmicos a las estructuras, sobretodo en el deterioro físico.

La definición de la naturaleza y alcance de un estudio de vulnerabilidad sísmica debe estar condicionado por el tipo de daño que se pretende evaluar y el nivel de amenaza existente. La afectación o daño depende de la acción sísmica y de la capacidad sismorresistente de la estructura, de manera que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica está necesariamente vinculada a la manera como se define la acción y el daño sísmico.

4.1.1 Comportamiento de las estructuras. El término estructural se refiere a aquellas partes de una edificación que la mantienen en pie. Esto incluye cimientos, muros portantes, vigas y diafragmas (entendidos estos como los pisos y techos diseñados para transmitir fuerzas horizontales, como las de sismos, a través de las vigas y muros hacia los cimientos).

Construir una edificación “totalmente sismorresistente” no es posible o sería demasiado costoso, sin embargo la sismorresistencia es un criterio constructivo que tiene como objeto evitar que esta colapse. Ante eventos de intensidad baja o moderada la estructura de la edificación y su contenido no debe sufrir daños y ante sismos muy intensos podría sufrir deformaciones y deterioro en forma permanente sin que se derrumbe, soportando el peso de la construcción y su contenido sin causar víctimas, aun cuando se requiera que sea finalmente demolida o luego reparada o reconstruida. Un buen diseño estructural es la clave para que la integridad de la edificación sobreviva, aun en un sismo severo. Posiblemente pueden presentarse daños, pero seguramente no entrará en colapso.

Es importante resaltar que diseñar de acuerdo con un código no siempre salvaguarda contra el daño excesivo producido por terremotos severos. Desde una perspectiva histórica, un código por sí sólo no puede garantizar la seguridad contra el daño excesivo, puesto que los códigos son reglamentos que experimentan actualizaciones continuas de acuerdo con los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y estudios de los efectos causados por terremotos, que no son más que pruebas de laboratorio a escala completa. La ductilidad y redundancia estructural han probado ser, una y otra vez, los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso, especialmente si los movimientos resultan más severos que los anticipados por el diseño. La capacidad de soportar daños significativos permaneciendo estable se puede atribuir por lo general a la tenacidad, ductilidad y redundancia. El daño severo o colapso de muchas estructuras durante sismos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falla de un sólo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente.

A causa de sismos muy fuertes es común que se presenten daños estructurales en vigas, tales como grietas diagonales y rotura de estribos a causa de cortante y/o torsión, y grietas verticales, rotura del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por la flexión que impone el sismo arriba y abajo de la sección como resultado de las cargas alternadas; también grietas longitudinales a lo largo de la placa debido a la excesiva demanda por flexión que en ciertas circunstancias puede imponer el sismo. Las conexiones o uniones entre elementos estructurales son por lo general, los puntos más críticos.

Las observaciones realizadas en los últimos años, indican que las construcciones rígidas se desempeñan, en general, mejor que las flexibles; particularmente en lo relativo a la protección de los componentes no-estructurales que sufren menor daño al limitarse la deriva o la deflexión excesiva entre pisos. Irregularidad en altura traducida en cambios repentinos de rigidez entre pisos adyacentes, hacen que la absorción y disipación de energía en el momento del sismo se concentren en los pisos flexibles, donde los elementos estructurales se ven sobresolicitados, e irregularidades en planta de masa, rigidez y resistencia pueden originar vibraciones torsionales que generan concentraciones de esfuerzos difíciles de evaluar, razón por la cual una mayor exigencia en este tipo de aspectos debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar las edificaciones.

Pocas edificaciones se diseñan para resistir sismos severos en el rango elástico, por lo cual es necesario proporcionarle a la estructura capacidad de disipación de energía mediante ductilidad en los lugares que se espera que la resistencia elástica pueda ser excedida. Esto se aplica a los elementos y a las conexiones de los elementos, puntos que usualmente son los más débiles.

4.1.2 Efectos producidos en las edificaciones por las fuerzas resultantes de un sismo. Al ocurrir un sismo, las fuerzas producidas por la vibración del suelo, actúan en la base de la edificación y se generan fuerzas de inercia en esta como respuesta al tratar resistir cambios en su posición original. La inercia de la edificación, hace que tienda a mantenerse en su posición original, en el momento en que el suelo comienza a mover.

La base de la edificación se mueve con el suelo en la misma dirección que éste, pero el resto de los pisos se desplazarán de modo y tiempo diferentes, dependiendo de la rigidez relativa y de la capacidad de absorción de deformación de cada uno de ellos, tratando de recobrar su posición original en la edificación.

Mientras tanto, el suelo ha comenzado a moverse nuevamente en la dirección contraria, produciéndose fuerzas que la estructura tendrá que resistir. La edificación sufrirá daños cuando no pueda resistir dichas vibraciones; esto ocurre cuando la estructura sobrepasa su límite elástico y no puede regresar a su posición original sin una deformación permanente.

Los diferentes entresijos y los otros componentes de la edificación, se desplazarán horizontalmente, unos en relación con otros, y las bases de los elementos verticales se desplazarán horizontalmente con respecto a sus partes superiores. Estos desplazamientos horizontales se convierten en deflexiones laterales de toda la edificación.

Cuando se presentan desequilibrios estructurales en la edificación por estas acciones, se generan efectos torsionales. La torsión consiste en la acción de dar vueltas a un cuerpo, en este caso una edificación, por sus dos extremidades (superior e inferior), rotando cada extremo en sentido contrario. Si la distribución de los componentes resistentes a las fuerzas laterales no es simétrica, se produce un desplazamiento del centro de rigidez con respecto al centro de masa. La distancia entre el centro de rigidez de los elementos verticales resistentes y el centro de masa se conoce como excentricidad.

Al ocurrir un terremoto, si existen excentricidades significativas en la edificación, la estructura tiende a rotar en relación a su centro de rigidez y no al centro de masa, entonces se generan problemas torsionales. Cuando la rotación es muy grande, los elementos resistentes se pueden fracturar debido al excedente de fuerzas laterales que tienen que resistir y para las cuales no fueron calculados, y esto puede causar el colapso de la edificación.

Comúnmente las acciones producidas por los movimientos de torsión, desplazamientos horizontales y verticales, fuerzas internas y otros; ocurren simultáneamente produciendo efectos imprevisibles en las diferentes partes de la edificación. Las diferentes porciones que conforman la edificación, reaccionan de modo diferentes, a los movimientos de translación y rotación del suelo dependiendo, no sólo de las propiedades de la edificación, que se determinan por la masa de esta, su período fundamental de libre vibración, y su habilidad para absorber las fuerzas sin daño crítico; sino de las características del terremoto, como lo son la magnitud del movimiento del suelo y la duración de la sacudida y de las características del terreno, que dependen de la zonificación sísmica y la geología del terreno. La relación entre estos factores, afecta la magnitud de las fuerzas reales que el edificio puede resistir sin sufrir daño crítico o irreparable.

Aunque en la realidad, las diferentes porciones de la edificación se mueven en diferentes direcciones durante un terremoto, generalmente se consideran tres componentes ortogonales para el diseño y predimensionamiento de los elementos resistentes traslacionales (desplazamientos horizontales y desplazamiento vertical) y tres rotaciones (efectos torsionales)

En el estudio de los desplazamientos horizontales, la suposición más importante es que las fuerzas horizontales pueden venir desde cualquier dirección, pero que los peores casos son aquellos en que las fuerzas vienen en la dirección perpendicular a los principales ejes horizontales de la estructura.

En cuanto a las fuerzas verticales, las edificaciones están básicamente diseñadas para resistir los efectos verticales de la fuerza de la gravedad; las fuerzas verticales generadas por los terremotos han sido tradicionalmente ignoradas en el diseño de las edificaciones sismorresistentes, sin embargo esto no es suficiente debido a las características de reversión (cambio de dirección) de los efectos verticales de las fuerzas sísmicas. Estos efectos pueden producir tensiones que no estaban previstas y hasta pueden producir el desplazamiento vertical de la edificación de sus bases.

Los daños causados a las edificaciones por los terremotos se deben principalmente a los movimientos vibratorios del suelo aplicados a sus bases. Sin embargo, se pueden presentar graves daños debido a efectos secundarios, tales como desplazamientos de las fundaciones debidos a ruptura o deslizamiento del suelo, fallas de la fundación debido a la pérdida de resistencia del suelo por licuefacción, u otros. Es por ello que el ingeniero no solamente debe tener en cuenta los aspectos concernientes a la edificación en sí, sino que debe estudiar las variables de contexto del lugar en donde se ubicará dicha edificación.

4.1.3 Aspectos que hacen más o menos vulnerable una edificación. En cuanto a los efectos de la configuración de la edificación en el comportamiento sismorresistente de una edificación, es necesario tener en cuenta: los aspectos geométricos, su forma, sus dimensiones generales y sus proporciones; su proximidad y relación con las edificaciones adyacentes; la distribución, naturaleza y dimensión de sus componentes tanto estructurales como no-estructurales.

Los diseños relacionados con edificaciones sismorresistentes que son responsabilidad del ingeniero determinan la configuración de la edificación, su relación con edificaciones adyacentes, la distribución y configuración de los

componentes estructurales y la localización, instalación y participación como parte del sistema estructural de los componentes no-estructurales. Por lo tanto influyen determinantemente en el comportamiento de las edificaciones ante un sismo.

Estos diversos aspectos están estrechamente relacionados entre si, por lo que se hace difícil el aislamiento de cada uno de ellos para su estudio detallado y determinación del nivel o grado de influencia de cada uno de ellos en el comportamiento sismorresistente de la edificación. Para estudiar las características de cada uno de estos aspectos y sus consecuencias, se ha propuesto una clasificación que se presenta a continuación con una breve descripción de ellos.

- Configuración geométrica de la edificación
- Colindancia o adyacencia con otras edificaciones
- Distribución, naturaleza y dimensión de los componentes estructurales de la edificación.

1. Configuración geométrica de la edificación

La constituyen aquellas propiedades y relaciones de magnitudes intrínsecas de la geometría de la edificación y son aspectos relevantes para determinar el grado de irregularidad de esta. En las normas más avanzadas, para el diseño de edificaciones se han incorporado disposiciones para la identificación de irregularidades geométricas de la edificación (planta y elevación).

Geometría en planta:

La constituyen las propiedades geométricas horizontales de la edificación, las cuales se definen por la forma perimetral de la planta, determinadas por las siguientes propiedades geométricas: la simetría, las proporciones y la convexidad.

La investigación empírica sobre los efectos producidos por los terremotos en edificios con configuraciones de planta geoméricamente irregulares, y un análisis de estas observaciones, han arrojado evidencias sobre el importante papel que juega la irregularidad de las formas de las plantas a la respuesta de las edificaciones de mediana altura a los efectos de los terremotos. Ejemplo de las plantas irregulares son aquellas en forma de H, L, T y U. La irregularidad de una planta, está principalmente determinada por las “esquinas entrantes” producida por la necesidad de aumentar las áreas de ventilación e iluminación naturales,

principalmente en las edificaciones para vivienda, y utilizadas también muy frecuentemente en hospitales y escuelas.

Estas irregularidades conducen entre otros a:

- Distribuciones irregulares de los elementos estructurales
- Zonas de concentración de esfuerzos en los ángulos interiores en donde se unen los diferentes cuerpos que se forman, debido a que estos se mueven de manera diferente en relación unos con otros, cuando se mueve el suelo. Se ha concluido que estas formas de planta, son causantes de efectos torsionales, los cuales generalmente, son difíciles de determinar para lograr el análisis apropiado. Estos efectos pueden ser muy destructivos.

Geometría en elevación:

La constituyen las propiedades geométricas verticales de la edificación, las cuales se definen por la forma perimetral de la elevación, determinadas por las siguientes propiedades geométricas: la simetría, las proporciones y los escalonamientos.

Los escalonamientos constituyen hoy en día, una de las irregularidades más comunes en las edificaciones y consisten en la variación brusca en las dimensiones de los pisos a lo largo de la altura de la edificación. Generalmente se adoptan las formas escalonadas por requisitos de zonificación, por exigencias del programa o simplemente por moda arquitectónica. Los escalonamientos invertidos que producen que los pisos de la edificación se vayan haciendo mas grandes a medida que se eleva, pueden crear graves problemas de volcamiento.

Las asimetrías en elevación y los escalonamientos conducen a la discontinuidad e irregularidad en la distribución de los elementos resistentes, lo que produce cambios bruscos en la resistencia y rigidez de las diferentes parte de la edificación. De igual manera, se producen concentraciones de esfuerzos en las zonas que se producen los cambios de sección.

Al igual que en planta, las asimetrías en elevación, introducen fuerzas torsionales en la estructura, lo cual hace más difícil su análisis. Otro problema que se puede presentar en la geometría elevacional, relacionada con las proporciones, es la esbeltez de la edificación, que consiste en la relación altura/ancho de esta; es decir, cuando la altura es mucho mayor que el ancho y la profundidad. La esbeltez puede producir efectos de volcamiento en un sismo, los cuales son difíciles de predecir en el análisis de una estructura.

2. Colindancia o adyacencia

Se refiere a la proximidad entre edificaciones contiguas o anexas, o entre partes diferentes de una misma edificación. Cuando un terremoto ocurre, las edificaciones o diferentes partes de una misma edificación, que han sido diseñadas para estar contiguas, vibran cada uno de acuerdo a sus características dinámicas. Si esta situación no ha sido considerada en el diseño de la estructura de los diferentes volúmenes adyacentes y las juntas no han sido diseñadas adecuadamente se puede producir el efecto de “golpeteo” entre ellos, causando graves daños y hasta el colapso de las estructuras. Uno de los casos más comunes ocurre en edificaciones adyacentes en las que sus losas de entrepiso no coinciden; por ejemplo en edificaciones adyacentes con alturas de entrepiso diferentes o por estar ubicados en terrenos con desniveles. Al golpear las losas de una edificación las columnas o muros de la edificación adyacente, pueden producirse daños graves que pueden producir hasta el colapso de la edificación.

En terremotos ocurridos en los últimos 20 años en ciudades de alta densidad, se han podido observar grandes daños en edificaciones adyacentes que, de haber estado aisladas se hubieran comportado adecuadamente y no hubieran sufrido mayores daños.

3. Distribución, naturaleza y dimensión de los componentes estructurales y los no-estructurales.

Se refiere a la posición y distribución de los componentes en la edificación y a las características de cada uno de ellos, la relación proporcionales entre ellos y los cambios de sección de los elementos estructurales contiguos.

➤ Estructurales

La ubicación de los componentes estructurales es un aspecto que debe ser estudiado cuidadosamente, pues puede conducir a concentraciones irregulares de los elementos más rígidos que tenderán a producir excentricidades, y por lo tanto a aumentar la posibilidad de generar grandes efectos torsionales. Se da el caso de plantas geométricamente regulares con una concentración de elementos resistentes dispuestos asimétricamente en el área interna de la edificación o en su perímetro, produciendo una distribución irregular de resistencia y rigidez en la edificación, lo cual se identifica como “falsa simetría”.

Un caso muy común, que se ha identificado como uno de los factores que influye en la aparición de efectos torsionales, son las edificaciones en las esquinas de parcelas de alta densidad, en las que las edificaciones están adosadas. En estas se disponen dos fachadas “ciegas” que son las que van adosadas a las edificaciones adyacentes y dos fachadas, en las que se disponen las aberturas que permiten la iluminación y ventilación naturales. Si no se toman las medidas pertinentes, las dos primeras fachadas serán mucho más rígidas que las segundas, produciéndose un desplazamiento del centro de rigidez con respecto al centro de masa.

La existencia de zonas que debilitan la transmisión de fuerzas, o los cambios repentinos en el flujo de fuerzas, representan un grave peligro para la edificación en caso de sismo. La transmisión de fuerzas a lo largo de la altura de la edificación, puede variar sustancialmente si se presenta una zona de mayor o menor rigidez que el resto de la estructura. Al ocurrir un terremoto, las fuerzas producidas, tienden a distribuirse uniformemente en la estructura o mediante un patrón uniforme o continuo; si la estructura presenta una porción más flexible debajo de una porción más rígida, la mayoría de la energía será absorbida por la porción inferior más flexible y muy poco será absorbido por la superior más rígida.

Cualquier deformación en la edificación debido a las fuerzas inducidas por el sismo, tenderán a concentrarse en el piso más flexible, produciéndose mayores daños en éste.

Uno de los problemas más importantes que se presentan debido a las discontinuidades en los componentes verticales que conducen a cambios en la rigidez y resistencia de la edificación, es el piso blando o planta libre. Este problema se presenta en las edificaciones en las que la estructura de alguno de esos pisos es más flexible que la del resto de los pisos, en viviendas de uno o dos pisos el problema se encuentra cuando el primer nivel es flexible comparándolo con el segundo. Esta condición produce una trayectoria irregular de las fuerzas hacia la fundación, produciéndose así un cambio brusco en la distribución de la rigidez y resistencias de la estructura. Este caso es aún peor cuando es una estructura mixta en la que la planta baja es aperturada y en los pisos superiores existen paredes de carga.

La naturaleza y dimensión de los componentes estructurales de la edificación se refiere a las características dinámicas (flexibilidad, rigidez, resistencia) y geométricas (dimensiones, proporciones y forma) de cada uno de los componentes estructurales y los cambios de sección en los elementos

estructurales contiguos (cambio de forma y dimensiones en columnas, muros y otros componentes verticales, o en vigas, losas, cubiertas y otros componentes horizontales).

Se pueden presentar variaciones no intencionales en las características dinámicas y geométricas de los componentes estructurales, debido al confinamiento o sobrecarga de estos por componentes no-estructurales o equipos, que no se consideraron en el diseño y análisis original de la estructura.

➤ No-estructurales

Las partes no-estructurales de una edificación incluyen cada una de las partes de ésta y todo su contenido con excepción de la estructura, es decir, todo excepto las columnas, muros estructurales, losas, vigas y otros elementos estructurales.

Comúnmente se incluyen como componente no-estructurales: cielos rasos, ventanas, equipos de oficina, computadoras, estantes, archivadores, equipos de aire acondicionado, equipo eléctrico mobiliario, lámparas, etc.. Típicamente los componentes no-estructurales no son analizados por los ingenieros y pueden ser especificados por los arquitectos, los ingenieros mecánicos, ingenieros eléctricos o los diseñadores de interiores, o son comprados por los dueños o inquilinos de la edificación, después de su construcción, sin la participación de ningún profesional de diseño.

Se debe tener en cuenta:

- La posición y distribución de los componentes no-estructurales
- Las características dinámicas y geométricas de cada uno de ellos.
- Los efectos que puede producir el adosamiento de estos a los elementos estructurales
- Los riesgos que se pueden correr al no prever la dotación de anclaje apropiados de estos a la estructura pudiéndose producir desprendimientos muy peligrosos.

El comportamiento de una edificación depende principalmente de la distribución de su masa, la cual está básicamente constituida por la estructura. Sin embargo, se puede considerar como evidente que un porcentaje muy alto de la masa total depende de los componentes no-estructurales pudiendo llegar a igualar, en

algunos casos, la carga de la estructura, lo cual constituye un factor importante en el análisis dinámico de la estructura.

De igual manera, la utilización de elementos no-estructurales muy rígidos, como es el caso de las paredes de albañilería, puedan modificar el comportamiento de los elementos estructurales. Es por ello que la ubicación de los núcleos de circulación vertical y de ductos de instalaciones debe ser cuidadosamente estudiada, debido a que estos constituyen núcleos de concentración de rigidez.

Como núcleos de circulación vertical se pueden incluir: ascensores, rampas y escaleras. Como ductos se consideran las estructuras tubulares verticales que permiten el paso libre de las tuberías para instalaciones sanitarias, eléctricas, mecánicas y otras.

Uno de los problemas más importantes que se presentan debido al adosamiento de componente no-estructurales rígidos a los componentes estructurales flexibles, es el efecto de “columna corta” producido por paredes de mampostería sobre las que se apoyan ventanas altas de un extremo a otro. El confinamiento de una parte de la columna por las paredes altas, lo cual generalmente no se consulta con el ingeniero estructural, hace que trabaje conjuntamente como un muro rígido, y la parte de la columna que queda libre para la ubicación de las ventanas, trabajará como una pequeña columna. La columna corta recibirá una carga mayor que para la que fue calculada.

Otro problema muy común es el volcamiento de equipos, maquinarias, calentadores de agua, estantes, archivadores, tabiquería liviana y otros, por no estar anclados a estructuras estables. Esta situación no sólo puede causar heridas graves en las personas y dañar objetos cercanos a estos, sino que obstaculicen el escape de las persona de la edificación y pueden generar pánico en ellos. En el caso del mobiliario que contenga materiales inflamables y tóxicos, se debe ser muy cuidadoso pues el volcamiento de ellos puede causar incendios, explosiones, asfixia y otros

Clasificación del riesgo creado por los componentes no-estructurales:

- Primarios: son aquellos tales como las paredes de bloque, las cubiertas, o los sistemas de escaleras muy rígidos, que pueden causar el colapso de la edificación.

- Secundarios: tales como paredes de vidrio, tabiquería, cielos rasos, escaleras, ascensores, equipos, estantes y contenidos, que puedan caer sobre la gente.
- Terciarios: el comportamiento defectuoso de componentes de sistemas proveedores de servicios, como por ejemplo, el sistema de energía de un hospital, el cual, si falla, puede costarle la vida a muchas personas; otro ejemplo es, la ruptura de tuberías y tanques de almacenamiento que puede producir derramamientos y escape de materiales inflamables y tóxicos.

4.2 MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

Los métodos para el estudio de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes se dividen en dos grandes grupos, los métodos cuantitativos y los métodos cualitativos.

4.2.1 Métodos cuantitativos. La evaluación de la vulnerabilidad sísmica por medio de métodos cuantitativos está fundamentada en los mismos principios utilizados para el diseño de construcciones sismo resistentes. Es decir, se considera como una evaluación por medio de un método analítico a la arrojada por un modelo previamente calibrado.

A continuación se describen los métodos cuantitativos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.¹

4.2.1.1 Método NSR – 98. Debido a los cambios sustanciales que sufrió la ley Norma de Diseño y Construcción Sismo-Resistente Colombia (Ley 400 de 1997, Decreto 33 de 1998) respecto a la CCCSR-84, o al cambio de uso de una estructura, puede ser necesario evaluar sísmicamente una edificación.

¹ De la página [www. Constr.web.co/Guias/Guia_PCA/Guia_Ingenieria_Estructu_MetVulnerab.htm](http://www.Constr.web.co/Guias/Guia_PCA/Guia_Ingenieria_Estructu_MetVulnerab.htm), es decir de la Cartilla de Ingeniería Estructural se obtuvo la descripción de los métodos.

La NSR-98 dedica especial atención a edificaciones construidas antes de la vigencia de dicho código. Básicamente se presentan los criterios para revisar la vulnerabilidad sísmica estructural y se obtiene un nivel de seguridad que luego se compara con lo que dicha norma exigiría a una edificación nueva. El capítulo A-10 de la norma indica el proceso que se debe seguir en este método y será el utilizado mas adelante cuando se evalúe la vivienda ejemplo por el metodo cuantitativo.

Como lo requiere cualquier otro código de diseño, para conocer la vulnerabilidad sísmica estructural, se deben primero identificar los parámetros de análisis en forma previa al análisis matemático.

➤ Manejo de la Incertidumbre y Parámetros de Análisis

La norma NSR-98, mediante su Decreto 33 de 1998, establece la amenaza sísmica para las diferentes ciudades del país y los coeficientes para efectos de calcular las fuerzas sísmicas, como lo son A_a , I , S , con los que se pueden calcular los espectros de diseño correspondientes.²

Si existe un estudio de microzonificación sísmica para la zona de la vivienda, éste se deberá tener en cuenta para llevar a cabo el análisis de la estructura. Se debe revisar el sistema del entrepiso para clasificarlo como diafragma rígido o flexible, situación que se contempla en el análisis de los modelos estructurales. La exploración y el estudio de suelos consisten en la ejecución de apiques manuales y debe contener además la clasificación de la zona dentro del estudio de microzonificación, si éste se aplica.

En cuanto al coeficiente de importancia I , éste se debe escoger para el nuevo uso de la estructura y como su nombre lo indica, el coeficiente de capacidad de disipación de energía, R , indica el grado de capacidad de disipación de energía que posee una estructura ante un eventual movimiento sísmico. El valor del coeficiente de disipación de energía corresponde al coeficiente de disipación de

² NSR-98, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente.

energía básico, R_o (definido a criterio del diseñador de acuerdo al sistema estructural de la edificación, a los detalles de diseño, los materiales utilizados y construcción que se hayan seguido para la estructura original) multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ϕ_a y ϕ_p respectivamente ($R = R_o \times \phi_a \times \phi_p$).

➤ Metodología

Se realiza una visita al sitio y de lo obtenido al adelantar un levantamiento y exploración de toda la construcción que se desea evaluar, se establece el sistema estructural con que fue construida originalmente la edificación y su cimentación, así como las propiedades de los materiales allí utilizados.

Para las estructuras existentes, el estudio de vulnerabilidad se refiere a la comprobación del comportamiento de la estructura para analizar si es satisfactorio a la luz de las normas sísmicas vigentes. Se trata de seguir un procedimiento con el fin de evaluarlas, para hallar los puntos débiles y posibles zonas débiles ante los eventos sísmicos. Se tratará entonces de determinar cuales son las zonas más vulnerables que puedan precipitar el colapso de la estructura o de algunos de sus componentes.

Con toda la información obtenida en los levantamientos y exploraciones adelantadas, se elabora entonces un modelo para la estructura actual, el cual se analiza para las fuerzas sísmicas que el sismo de diseño imponga, en combinación con las fuerzas de gravedad de acuerdo con las combinaciones de carga. Y de acuerdo a esto se determinan los esfuerzos actuantes en los elementos.

Con la información de las secciones originales de los elementos, se determinan sus capacidades tanto para los esfuerzos de corte como para los de flexión y flexo-compresión. Estas resistencias existentes deben a su vez ser afectadas por los valores ϕ_c y ϕ_e los cuales dependen de la calidad del diseño y construcción y del estado actual de la estructura.

Por ultimo se comparan los esfuerzos actuantes con la resistencia efectiva (resistencia afectada por los factores), para ver si estan por debajo o la superan pudiendo llevarlos a la falla.

4.2.1.2 Método FEMA-273. Este "segundo tipo" de evaluación, método FEMA-273, rehabilitación sísmica de edificaciones existentes, está diseñado para identificar más en detalle los miembros estructurales (columnas y vigas) que se encuentran deficientes en cuanto a su capacidad o resistencia. Cuando se refiere a "más en detalle" es tratando de superar al detalle que llega el FEMA-178 que se comentará más adelante. Este método adicionalmente nos ofrece una metodología para desarrollar las estrategias de rehabilitación o reforzamiento.³

En el FEMA-273, a diferencia de los otros métodos cuantitativos, se definen diferentes criterios de diseño para alcanzar diferentes niveles de desempeño sísmico de la vivienda. Dentro de los niveles de desempeño sísmico se encuentran: nivel operacional, nivel de ocupación inmediata, nivel de protección de la vida y nivel de prevención de colapso. La escogencia de estos niveles depende del desempeño esperado de la vivienda durante y después de un terremoto, de cuánto daño se va permitir que ocurra en la vivienda, cuánta pérdida económica se permita y del traumatismo o interrupción que cause en las actividades de los ocupantes de la vivienda.

El procedimiento del FEMA-273 permite tanto una rehabilitación simplificada como una rehabilitación sistemática. La rehabilitación sísmica simplificada se permite usar para viviendas bajas, de configuración geométrica sencilla, generalmente en zonas de amenaza sísmica intermedia y baja. Para este tipo de rehabilitación se requiere mucho menos análisis y diseño que para la sistemática. El método de rehabilitación sistemática es más completo y consta de un proceso parecido al del diseño de una vivienda nueva, en el que se modifica el pre-diseño o diseño preliminar hasta que los resultados del análisis son verificados o aceptados revisando miembro por miembro, de manera cuantitativa, debido a que es necesario conocer las resistencias y las demandas de cada uno.

La rehabilitación sistemática generalmente se basa en el comportamiento no-lineal de la respuesta de la estructura y usa procedimientos que no son comunes en los códigos de diseño corrientes. En este tipo de rehabilitación se revisa detalladamente cada miembro estructural, se diseñan nuevos elementos y se

³ Cartilla de Ingeniería Estructural encontrada en Internet

verifica la interacción aceptable de los desplazamientos esperados y de las fuerzas internas en los elementos estructurales.

Utilizando el método FEMA-273, se calculan los cortantes en la base, modificados por torsión accidental, se calculan los cortantes por piso y las cargas gravitacionales. Esta información se utiliza para definir los parámetros de aprobación o de aceptación con los que se trabaja, así:

$$\boxed{m'k'Q_{ce} \geq Q_{ud}} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$\boxed{kQ_{cl} \geq Q_{uf}} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

m' : es un factor de modificación que depende de las cargas axiales y las cortantes y de las propiedades de los materiales de los diferentes elementos.

K' : es un factor que depende de qué tanto se conozca de la estructura.

Q_{ce} : es la resistencia calculada de un miembro en particular que se está estudiando (axial, corte, flexión o flexo-compresión) teniendo en cuenta sus estado actual.

Q_{ud} : es un conjunto de demandas o exigencias controladas por las deformaciones impuestas en la estructura debido a las diferentes cargas (muerta, viva, sismo, etc).

Q_{cl} : es la resistencia mínima de un elemento en el nivel de deformación que se está considerando.

Q_{uf} : es el conjunto de demandas o exigencias controladas por fuerzas impuestas a la estructura por las deformaciones (rigidez) o por una gobernada por las fuerzas (resistencia).

El último paso del procedimiento consiste en revisar o verificar la estrategia de rehabilitación definida desde un comienzo de la estructura reforzada bajo los criterios de flexión, corte, carga axial y de derivas.

4.2.2 Métodos cualitativos. A continuación se incluye la descripción de los métodos cualitativos, propuestos por diversos autores para la evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones existentes, las cuales muy comúnmente no cuentan con información detallada acerca de su diseño estructural, lo que impide realizar su análisis mediante los sofisticados métodos cuantitativos que actualmente se utilizan para la evaluación del comportamiento o desempeño y la confiabilidad estructural a los cuales se hizo mención anteriormente. Si se tiene en cuenta que en ocasiones es necesario evaluar edificaciones relativamente antiguas, de las cuales no se conservan memorias de su diseño, y que en otras ocasiones es necesario evaluar en forma ágil un amplio número de viviendas, estos métodos son realmente útiles, dado que no es posible en la práctica llevar a cabo este tipo de evaluaciones de otra forma.

4.2.2.1 Método de la AIS. La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, ha publicado recientemente el documento "Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería", donde en su capítulo II presenta un método de evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería que es reproducido a continuación:

Cada aspecto investigado se califica mediante unos criterios muy sencillos y mediante visualización y comparación con patrones generales. La calificación se realiza en tres niveles: vulnerabilidad baja, vulnerabilidad media y vulnerabilidad alta.

➤ Aspectos Geométricos

- Irregularidad en planta de la edificación
- Cantidad de muros en las dos direcciones
- Irregularidad en altura
- Calidad de las juntas de pega en mortero
- Tipo y disposición de las unidades de mampostería
- Calidad de los materiales

➤ Aspectos Estructurales

- Muros confinados y reforzados
- Detalles de columnas y vigas de confinamiento
- Vigas de amarre o corona
- Características de las aberturas
- Entrepiso

- Cimentación

- Suelos

- Entorno

Como a cada uno de estos ítems se clasificó con vulnerabilidad baja, media o alta, se realiza después una tabla en la cual a los que posean vulnerabilidad baja se les dará un puntaje de 1, a media de 2 y a alta de 3; al final se suman los puntos y donde se tenga el valor más alto será la calificación global de la edificación, es decir una edificación con vulnerabilidad baja, media o alta.

Este es el método que se utilizará para evaluar la vivienda ejemplo cualitativamente, sin embargo se complementará con el título E de la norma NSR-98, que aunque es un título de diseño, sirve para complementar detalles de esta cartilla.

4.2.2.2 Método del ATC – 14. Se describe a continuación el método desarrollado por el Applied Technology Council "Evaluating the Seismic Resistance of Existing Buildings", en 1987.⁴

Este método evalúa el riesgo sísmico potencial de cualquier tipo de estructura, ubicado en cualquier zona de amenaza sísmica. En la metodología se hace énfasis en la determinación de los puntos débiles de la edificación con base en la observación de daños en edificaciones similares ocurridos en eventos sísmicos previos.

⁴ Metodologías para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones y Centros Urbanos.

Inicialmente se identifican aquellas edificaciones que significan un riesgo para la vida humana. Como edificaciones riesgosas se denominan aquellas que pueden presentar alguna de las siguientes características durante un sismo determinado:

- Posibilidad que la edificación colapse.
- Posibilidad que porciones de la edificación colapsen.
- Si componentes de la edificación pueden fallar o caerse.
- Factibilidad de bloqueo de las salidas, impidiendo la evacuación o el rescate.

Evalúa los esfuerzos cortantes actuantes, los desplazamientos relativos en el entrepiso y ciertas características especiales de la edificación.

El procedimiento básico es el siguiente:

A. Recolección de datos.

B. Inspección detallada in-situ.

En un censo de edificaciones realizado en los Estados Unidos, se concluyó que se pueden agrupar en quince tipos de estructuras diferentes. Para cada uno se realizó una planilla o "lista de chequeo", a la cual hay que responder con "cierto" o "falso" para tener una descripción de las características de la estructura. Si todas las respuestas son "cierto", la estructura no tiene problemas de comportamiento. Si alguna de estas preguntas se responde con un "falso" es necesario investigar el elemento que presenta problemas.

C. Descripción del modelo estructural de la edificación.

D. Cálculo aproximado de los esfuerzos de corte y de los desplazamientos relativos para estructuras de concreto. Esfuerzo axial y desplazamientos relativos en miembros de acero. En el caso de muros estructurales se debe hacer una verificación de los esfuerzos de corte.

Comparación de la relación capacidad/demanda con los valores especificados en la norma ATC. Estos valores están representados como una fracción del factor de modificación de la respuesta de la vivienda evaluada (R_w) y varían entre el 20% y

el 40%. El ATC recomienda los siguientes valores para el factor de modificación de la respuesta:

- Pórticos dúctiles $R_w = 12$.
- Pórticos no dúctiles $R_w = 5$.

➤ El cortante basal actuante está dado por:

$$V = \frac{2.5 \times R_a \times W}{R_w}$$

(Ecuación 3)

V: corte basal actuante.

R_a : aceleración espectral.

W: peso sísmico total de la vivienda.

R_w : factor de modificación de la respuesta que tiene en cuenta la ductilidad.

➤ El cortante actuante en el piso i considerado está dado por:

$$V_i = \frac{(n+i) \times W_i \times V}{(n+1) \times W}$$

(Ecuación 4)

V_i : corte en el piso i.

n: número total de columnas por encima del nivel de base.

W_i : peso sísmico de los pisos por encima del piso 1.

Con las fuerzas cortantes en los entrepisos, se calcula el esfuerzo promedio (V_{av}) en los elementos resistentes verticales del mismo. En el caso de pórticos de concreto, el esfuerzo promedio en las columnas está dado por:

$$V_{av} = \frac{n_c \times V_i}{(n_c - n_f) \times R_c}$$

(Ecuación 5)

V_{av} : esfuerzo promedio en las columnas.

n_c : número total de columnas.

n_f : número total de pórticos en la dirección considerada.

R_c : sumatoria de las áreas de columnas en la dirección de la carga.

Posteriormente, se compara el esfuerzo promedio en las columnas con el esfuerzo promedio estimado del material (4.26 kgf/cm² según el ATC-14); esta relación debe ser mayor o igual a uno:

$$\frac{V_{av}}{4.26} \geq 1.0$$

(Ecuación 6)

Si esta relación no se está cumpliendo la estructura puede presentar problemas de corte en las columnas, y se requiere un análisis estructural más detallado. Sólo se consideran fallas por corte. Las alturas de los pisos no son tenidas en cuenta para nada en el análisis, por lo tanto, no se consideran los momentos.

E. Estimación rápida de la deriva o desplazamiento relativo (k/h) como:

$$\frac{k}{h} = \frac{(K_b + K_c) \times h \times V_c}{12 \times K_b \times K_c \times E_c}$$

(Ecuación 7)

(k/h): deriva o desplazamiento relativo, desplazamiento relativo piso a piso dividido por la altura del piso.

K_b : (I/L), momento de inercia dividido por la longitud de las vigas centro a centro.

K_c : (I/L) , momento de Inercia dividido por la longitud de las columnas centro a centro.

V_c : fuerza cortante promedio en las columnas.

E_c : módulo de elasticidad del concreto.

(k/h) Valor especificado en la norma ≤ 1 . Si esta relación no se cumple la estructura puede presentar problemas de derivas y requiere de una investigación más detallada.

F. Se realiza una revisión de los detalles especiales basándose en las respuestas dadas en la lista de chequeo.

4.2.2.3 Método NAVFAC. Propuesto en 1988 por G. Matzamura, J. Nicoletti y S. Freeman con el nombre "Seismic Design Guidelines for Up-Grading Existing Buildings", se presentan a continuación las características de este método.⁵

Es aplicable a cualquier tipo de estructura. Evalúa un índice que mide la relación de daños que un sismo determinado puede causar en una estructura. Su principal problema es que no toma en cuenta la falla prematura de los elementos más débiles.

Su procedimiento básico es el siguiente:

A. Recolección de toda la información sobre la estructura.

B. Inspección detallada de la estructura in-situ.

⁵ Metodologías para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones y Centros Urbanos.

C. Determinación de los espectros de respuesta elástica.

Para los Estados Unidos se propone: A la cedencia de la estructura, un sismo con un 5% de excedencia en 50 años. A la capacidad última, se supone un sismo con un 10% de excedencia en 100 años. El espectro obtenido a partir de este sismo, se afecta para simular los comportamientos elásticos y elastoplásticos mediante los coeficientes de amortiguamiento de la estructura mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1: Amortiguamientos lineal elástico y post-fluencia

Sistema Estructural	Amortiguamiento	
	Lineal elástico	Post-fluencia
Acero estructural	3.0%	7.0%
Concreto reforzado	5.0%	10.0%
Muros estructurales	7.0%	12.0%
Madera	10.0%	15.0%

Se puede ver que estos valores son muy altos considerando que es común utilizar el valor de 5% para post-fluencia en concreto.

D. Se realiza una estimación del posible daño de la estructura al comparar la capacidad de la estructura que se determina por medio del coeficiente de corte basal resistente C_b , el desplazamiento al tope de la estructura k_n y el período fundamental T , con la demanda del sitio. Estos valores se determinan tanto para la cedencia como para la condición última.

Se determina la capacidad de corte última C_{bu} , como la fuerza lateral requerida para causar un mecanismo lateral de colapso dividido por el peso sísmico de la estructura. Es decir:

$$C_{bu} = \frac{V_u}{W}$$

(Ecuación 8)

C_{bu} : capacidad de corte última.

V_u : fuerza lateral requerida para producir un mecanismo de colapso.

W : peso sísmico de la estructura.

Posteriormente, se estima la capacidad de corte a la cedencia V_y para pórticos de concreto reforzado y/o pantallas de mampostería reforzada, como:

$$C_{by} = \frac{C_{bu}}{1.5} = \frac{V_y}{W}$$

(Ecuación 9)

C_{by} : capacidad de corte a la cedencia.

V_y : fuerza lateral requerida para causar la cedencia a los elementos estructurales más críticos.

En esta expresión se considera que después de la fluencia la estructura es capaz de resistir un 50% más de fuerza cortante. Se entiende por capacidad de corte a la cedencia la fuerza lateral requerida para causar cedencia a los elementos estructurales más críticos como un porcentaje del peso sísmico de la estructura. Las capacidades de cedencia y última se obtienen sumando las contribuciones de los elementos verticales del edificio resistentes a fuerzas laterales en las dos direcciones principales.

El período y los desplazamientos se pueden expresar con base en aceleraciones espectrales (S_a) y desplazamientos espectrales (S_d') por medio de las siguientes expresiones:

$$S_{au}' = \frac{C_{bu}}{A'}$$

(Ecuación 10)

S_{au}' : aceleración espectral para la condición última.

A' : peso modal efectivo. Para edificios menores de seis pisos puede variar entre 0.95 para los edificios más bajos y 0.80 en los más altos. Para la estimación que se pretende obtener se puede tomar como 1.0. Para pórticos de concreto reforzado o para mampostería reforzada:

$$S_{ay}' = \frac{S_{au}}{1.5} = \frac{C_{by}}{A'}$$

(Ecuación 11)

S_{ay}' : aceleración espectral para la condición de fluencia.

$$T_u = \frac{f \times S_{ay}' \times T_\gamma}{2 \times S_{au}'} \quad (\text{Ecuación 12})$$

T_u : período estimado de la estructura a la condición última.

T_γ : período estimado de la estructura a la cedencia.

f: factor de ductilidad de la estructura, tomado de la Tabla 2:

$$S_{du}' = \frac{2 \times g \times T_u \times S_{au}'}{2 \times \pi} \quad (\text{Ecuación 13})$$

S_{du}' : desplazamiento máximo en la condición última.

g: gravedad.

Tabla 2: Factores de ductilidad

Material	Ductilidad f
Acero	4-6
Concreto	3-4
Madera	3-4
Mampostería	2-3

$$S_{dy}' = \frac{2 \times g \times T_\gamma \times S_{ay}'}{2 \times \pi} \quad (\text{Ecuación 14})$$

S_{dy}' : desplazamiento máximo a la cedencia.

Los resultados de la evaluación se representan en una gráfica capacidad/demanda, que se superpone a las curvas de demanda última con los porcentajes de amortiguamiento correspondientes a la cedencia y al estado último. El índice de daños de la estructura se representa por la relación:

$$I' = \frac{D}{C} \cdot 100 \quad (\text{Ecuación 15})$$

I': índice de daños.

(D/C): relación de demanda sobre capacidad.

Para D=0 no existen daños, por el contrario, para D=C el índice de daños es del 100%.

E. El índice de daños global I_g se determina como las dos terceras partes del índice de daños en la dirección más crítica. Si $I_g \geq 60\%$ se debe proceder a realizar una evaluación más detallada de la estructura.

4.2.2.4 Métodos Japoneses. Corresponden a desarrollos basados en los trabajos de Masaya Hirosawa y compilaciones llevadas a cabo por un Comité dirigido por el Dr. H. Umemura. "Evaluation of Seismic Safety of Existing Reinforced Concrete Buildings".⁶

Son aplicables a edificaciones de concreto reforzado de mediana y baja altura construidas mediante métodos convencionales. Evalúa la estructura, la forma de la edificación y la peligrosidad de los elementos no estructurales. La estimación del riesgo sísmico se hace por medio de un índice sísmico (I_s) que representa el comportamiento global en un entrepiso.

⁶ Mitigación de Desastres en las Instalaciones de Salud

La evaluación de la seguridad se hace por un método de tamizado en 3 pasos sucesivos para obtener como resultado dos índices que miden la seguridad sísmica de la construcción:

- I_s : índice sísmico de la estructura.
- I_n : índice sísmico de los elementos no estructurales.

El índice sísmico de la estructura I_s se calcula como el producto de cuatro sub-índices que son calculados individualmente:

$$I_s = E_o \times G \times S_d \times T'' \quad \text{(Ecuación 16)}$$

- E_o : sub-índice sísmico de comportamiento estructural.
- G : sub-índice sísmico de movimiento del terreno.
- S_d : sub-índice sísmico de concepción estructural.
- T'' : sub-índice sísmico de deterioro con el tiempo.

El subíndice E_o se obtiene de la combinación de dos índices en un máximo de tres grupos por piso de la edificación por medio de la Ecuación 17:

$$E_o = C' \times F' \quad \text{(Ecuación 17)}$$

- C' : resistencia de los elementos verticales.
- F' : capacidad de ductilidad de los elementos verticales.

Y, a su vez, los índices E_o de un piso son promediados de manera probabilística para obtener un índice E_o único por piso, por medio del método de la raíz cuadrada de la suma de cuadrados. Los grupos en mención son grupos de comportamiento dúctil, formados de acuerdo al factor de ductilidad característico, obtenido como se explica más adelante.

Para cada grupo se obtienen a continuación los índices T' y S_d , y finalmente el índice I_s con la Ecuación 16.

El factor G' tiene en cuenta la intensidad de los movimientos del terreno, condiciones topográficas y geotécnicas. S_d representa el efecto que el diseño estructural tiene en el comportamiento sísmico de la estructura a través de factores como la distribución de masas y la distribución de rigideces. Finalmente, el factor T' califica los efectos del deterioro y defectos estructurales como grietas y deflexiones, así como el comportamiento de la construcción en sismos anteriores.

Los valores de I_s mayores que un valor de referencia I_{so} aseguran, según este método, un comportamiento adecuado del piso.

El valor de I_{so} se calcula como:

$$I_o = E_s \cdot Z \cdot G \cdot U \quad (\text{Ecuación 18})$$

E_s : valor básico de comportamiento sísmico, relacionado sólo con el método de evaluación.

Z : factor de zona sísmica, tomado en relación con la amenaza probable en la zona, con valor máximo de 1.0.

U : factor de importancia de la construcción para la recuperación después de un terremoto.

La evaluación de la seguridad se hace juzgando los resultados obtenidos para I_s e I_n a la luz de factores como la importancia, edad y uso de la estructura. No ofrece un parámetro de comparación para los valores obtenidos, quedando a juicio del ingeniero determinar el grado de vulnerabilidad que tiene la estructura. Sólo haciendo varios análisis de este tipo se podría determinar un rango de valores que permita hacer comparaciones.

Como ya se mencionó, el método dispone de 3 niveles de evaluación, de los cuales el primero es el comentado anteriormente. Para la aplicación del segundo es necesario tener conocimiento de las armaduras de los elementos estructurales verticales, y el tercero, la pertinente además a las vigas. La característica más

importante de este método es que confiere mayor importancia al análisis de resistencia que al de los esfuerzos internos que eventualmente podría presentar un sismo dado en los elementos de la estructura. Puede decirse que para la aplicación de este método no es necesario, en general, realizar un análisis detallado de dichos esfuerzos internos. Además, el método confiere gran importancia al establecimiento de los mecanismos de falla y disipación de energía de los elementos, los cuales resultan clasificados en diversos grupos de acuerdo a su comportamiento y tipo de falla. Para este análisis, se parte de la evaluación del factor de capacidad de ductilidad m de cada elemento, dado por:

$$m = m_o - k_1 - k_2 \quad (\text{Ecuación 19})$$

$$m_o = 10 \times \left(\frac{V_n}{Q_n} - 1 \right) \quad (\text{Ecuación 20})$$

V_n : resistencia nominal a cortante de los soportes verticales. En el caso de columnas se calcula teniendo en cuenta la carga axial del elemento.

Q_n : resistencia a cortante suministrada por la plastificación de los extremos de la columna, es decir,

$$Q_n = 2 \times \frac{M_n}{L} \quad (\text{Ecuación 21})$$

M_n : resistencia nominal a flexión del elemento.

L : longitud del elemento.

k_1, k_2 : factores que conciernen al posible pandeo de las barras de refuerzo y al nivel de esfuerzos cortantes.

A partir del cálculo de Q_n se puede establecer fácilmente el modo posible de falla de cada elemento, de suerte que valores de $Q_n < V_n$ arrojan fallas a flexión y al contrario, fallas a cortante, es decir, frágiles.

Una vez realizada esta evaluación, cada tipo de elemento se subdivide en un máximo de tres grupos, de acuerdo a valores representativos de m , y se obtiene los índices C y F respectivos, de lo cual resulta el índice común E_o , que califica conjuntamente la resistencia y la ductilidad disponible en la estructura.

4.2.2.5 Método Venezolano. Desarrollado por I. Rivera de U, D. Grisolia de C. y B. Sarmiento de la Universidad de los Andes de Mérida. Aplicable en las viviendas bajas de concreto reforzado o de mampostería. Evalúa cortes por separado y luego halla un índice global de entrepiso.⁷

El procedimiento es el siguiente:

A. Cuando existen documentos se procede a una revisión completa de los mismos.

B. En el caso que no existan planos se hace un levantamiento de las dimensiones generales de la edificación y de la estructura, con todas las especificaciones de los elementos resistentes a fuerzas laterales.

C. Inspección detallada de la edificación examinando cuidadosamente sistema estructural, las posibles deflexiones de losas y vigas, agrietamientos, deterioro de los materiales constituyentes de estructura, conexiones y apoyos entre los elementos, etc.

D. Revisión de los agrietamientos y condiciones generales de las paredes. Ver si están arriostradas como para que no tengan posibilidad de volcamiento. Observar si existe la posibilidad de formación de columnas cortas por la presencia de ventanas.

⁷ Propuesta Metodológica para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica de viviendas de uno y dos pisos construidas en mampostería confinada.

E. Estudio de la fijación de otros elementos no estructurales que puedan desprenderse durante un sismo como balcones, lámparas, instalaciones eléctricas y sanitarias, etc.

F. Estudio de los medios de escape y el estado de los sistemas de prevención de incendios. Revisar si los hidratantes están en buenas condiciones y si los extintores funcionan.

G. Determinación de las fuerzas sísmicas cortantes V_u . Para esto se utilizan los cortantes traslacionales de acuerdo a las condiciones sísmicas del sitio, del tipo de estructura y de las condiciones del suelo. El corte basal actuante se calcula por los métodos rápidos que contemplan las normas sísmicas del país. Esta fuerza se distribuye en los diferentes niveles de la estructura suponiendo un primer modo lineal. Las estructuras aporricadas de concreto diseñadas antes de la norma se evalúan para ductilidades comprendidas entre 2.0 y 2.5, por no existir un refuerzo detallado que garantice una mayor ductilidad.

H. Se determinan las fuerzas cortantes resistentes del entrepiso V_{ur} . Se calculan como la suma de las fuerzas cortantes resistentes de los elementos, asumiendo que no todos son capaces de alcanzar su resistencia total, por la falla prematura de los elementos más frágiles. La fuerza cortante resistente se calcula utilizando las siguientes ecuaciones:

$$V_{ur} = V_{cc} + A_2 \times V_m + A_3 \times V_c \quad \text{(Ecuación 22)}$$

$$V_c = t_{cc} \times A_{cc} \quad \text{(Ecuación 23)}$$

$$V_m = t_m \times A_m \quad \text{(Ecuación 24)}$$

$$V_c = t_c \times A_c \quad \text{(Ecuación 25)}$$

V_{ur} : fuerza cortante resistente del entrepiso.

V_{cc} : fuerza cortante que resisten las columnas cortas.

V_m : fuerza cortante que resisten los muros (pueden ser de concreto o de mampostería).

V_c : fuerza cortante que resisten las columnas normales.

A2, A3: coeficientes que se obtienen de la Tabla 3:

Tabla 3: Coeficientes de los elementos resistentes

Elementos	A2	A3
Existen columnas cortas (H_n/L_s^2).	0.7	0.5
Existen muros estructurales sin columnas cortas.	1.0	0.7
Sólo existen columnas normales.	0.0	1.0

t_{cc} : esfuerzo resistente al corte de las columnas cortas.

A_{cc} : sección transversal de todas las columnas cortas del entrepiso considerado.

t_m : esfuerzo resistente al corte de los muros.

A_m : sección transversal de todos los muros de concreto o de mampostería, en el entrepiso considerado y en la dirección evaluada.

t_c : esfuerzo resistente al corte de las columnas normales.

A_c : sección transversal de todas las columnas en el entrepiso considerado.

Se puede observar que la forma en que calculan la fuerza cortante en el entrepiso es tomado del Método Japonés. Cuando la relación de muros es muy pequeña y no hay columnas cortas se supone:

$$V_{ur} = V_c$$

(Ecuación 26)

Para viviendas bajas, donde la contribución de las cargas axiales al esfuerzo de corte es pequeña, se puede estimar esta fuerza de la siguiente manera:

$$V_c = \frac{0.53 \times f'_c \times (b \times d + A_v) \times f_y \times d}{2 \times s}$$

(Ecuación 27)

f'_c : esfuerzo a compresión del concreto.

b : ancho de la sección.

d : altura efectiva de la sección.

A_v : área de la varilla de los estribos.

f_y : esfuerzo de fluencia del acero de los estribos.

s : espaciamiento de los estribos.

I. Se determina la relación $E = V_{ur}/V_u$ por piso, la cual debe ser mayor de 0.5 para estructuras diseñadas antes de la aplicación de la norma, 0.70 para edificaciones esenciales. Para estructuras diseñadas posteriormente a la norma el índice E debe ser mayor que 1.0.

J. Adicionalmente se puede calcular el índice sísmico (I_s) por medio de la siguiente ecuación:

$$I_s = E \times T \times D$$

(Ecuación 28)

I_s : índice sísmico.

T : índice que representa las condiciones de deterioro en tiempo, se obtiene de una Tabla 4.

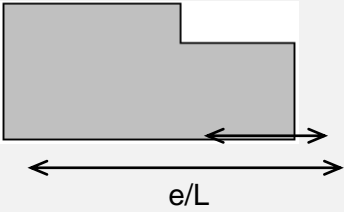
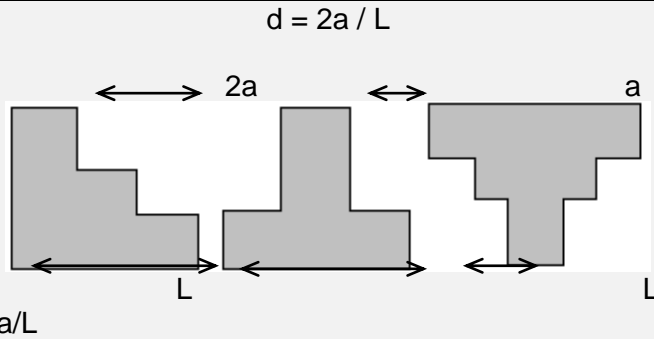
D : índice que representa las condiciones de irregularidad en planta y en elevación, los valores se obtienen de una Tabla 5.

Tabla 4: Índice de deterioro T'

G_{j'}				
$q_j' = [1 - (1 - G_j') \times P_j']$	1.0	0.9	0.8	P_{j'}
A. deflexiones	no hay problemas	son visibles a simple vista	el edificio está inclinado o han ocurrido asentamientos diferenciales	1.00
G_{j'}				
$q_j' = [1 - (1 - G_j') \times P_j']$	1.0	0.9	0.8	P_{j'}
B. grietas en elementos estructurales	grietas pequeñas	grietas medianas	grietas inclinadas Oxidación del refuerzo	1.00
C. cambios de uso.	no hay		si hay	0.75
D. edad del edificio	menos de 5 años	entre 5 y 20 años	más de 20 años	0.50
E. mantenimiento del edificio	no hay problemas	algunas filtraciones en techos y paredes	muchas filtraciones en techos y paredes	0.75
F. ampliaciones o remodelaciones	no hay	no alteran la estructura original del edificio	alteran la estructura original del edificio	0.50

Tabla 5: Índice D para el cálculo del índice sísmico

G_j				
$q_j = [1 - (1 - G_j) \times P_j]$ donde $j = a \dots g$	Regular 1.0	Medio 0.9	Irregular 0.8	P_j
Distribución en planta				
Relación Largo Ancho $a = \text{lado largo} / \text{lado corto}$	$a \leq 3$	$3 < a \leq 6$	$a > 6$	0.50
Discontinuidad del diafragma $b = \text{área del vacío} / \text{área del piso}$	$b \leq 0.1$	$0.1 < b \leq 0.3$	$b > 0.3$	0.75

G_j				
Si $b > 0.20$ calcule c $c = e / L$				
	$c \leq 0.1$	$0.1 < c \leq 0.2$	$c > 0.2$	1.00
Distribución vertical				
$d = 2a / L$				
	$d \leq 0.1$	$0.1 < d \leq 0.2$	$d > 0.2$	0.75
$e =$ Planta baja libre	No	Medianamente Libre	Sí	1.00
Uniformidad de las alturas de piso $F =$ altura de piso n / altura de piso $(n+1)$	$0.8 \leq f < 1$	$0.7 \leq f < 0.8$	$f < 0.7$ $f \geq 1$	1.00
Otros efectos				
$G =$ Golpeteo con edificaciones adyacentes	No	Nodos a la misma altura	Nodos a alturas diferentes	1.00

4.2.2.6 Método FEMA-178 = FEMA-310. FEMA-178, un procedimiento preparado por el Building Seismic Safety Council de EE.UU⁸. Puede también ser utilizado para llevar a cabo la evaluación y diagnóstico sísmico de cualquier

⁸ Cartilla de Ingeniería Estructural encontrada en Internet

edificación existente. Este documento presenta una guía para determinar qué tan vulnerable y peligrosa (en cuanto a pérdida de vidas) es una estructura existente. Se incluye una guía en forma de lista para determinar algunas zonas o puntos débiles dentro de la estructura que podrían precipitar el colapso local o total de la estructura.

Cabe anotar que las guías y los procedimientos del FEMA-178 son utilizados únicamente para evaluar la capacidad de la edificación en cuanto a si es peligrosa para ser ocupada o no. El uso de la estructura después del terremoto no se está evaluando en este caso.

➤ Procedimiento de Evaluación

La metodología del FEMA-178 plantea una serie de interrogantes para cada tipo de estructura (por ejemplo edificio tipo 8 = pórticos resistentes a momento, o vivienda tipo 4 = pórtico de acero arriostrado), para el sistema estructural, pórticos a momento, diafragmas, conexiones y amenazas geológicas entre otros. Los interrogantes están diseñados para descubrir defectos, puntos débiles o zonas vulnerables dentro de la edificación.

El análisis realizado por medio de este procedimiento se debe llevar a cabo utilizando procedimientos simples. Si el análisis resulta en que la vivienda es cuestionable, una investigación más detallada debe llevarse a cabo, como la del NSR-98 o la del FEMA-273.

En la lista guía se marcan con "Verdadero" o "Falso" cada una de las declaraciones. Interrogantes que han sido hallados que son verdaderos indican que son revisiones que están de acuerdo con el criterio del FEMA 178 y pueden hacerse a un lado; mientras que los interrogantes que sean falsos identifican aspectos que necesitan mayor investigación y análisis.

Dentro de la revisión del sistema estructural se miran aspectos tales como:

- Si la trayectoria de cargas es continua para los efectos de fuerzas sísmicas.
- Si hay redundancia estructural o no.
- Si se tiene un piso débil o no.
- Si se tiene un piso flexible en la edificación.

- Se revisa si existen irregularidades geométricas o de masa en la edificación.
- Se revisa que los elementos del sistema de resistencia sísmica formen un sistema balanceado el cual no sufre de torsión relevante.
- Se estudia si existen o no construcciones adyacentes a la estructura con el fin de evitar golpeteos.
- Si existe o no existe deterioro visible del concreto o del acero de refuerzo en los elementos de los pórticos principales.

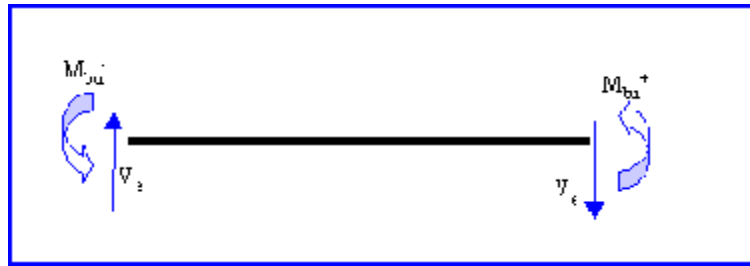
Adicionalmente existen otras listas según el sistema de resistencia sísmica que se tenga. Por ejemplo para edificaciones cuyo sistema de resistencia sísmica consiste en pórticos resistentes a momento, la resistencia a fuerzas laterales se desarrolla a través de la resistencia a flexión y a la continuidad de los elementos vigas y columnas. Si el pórtico es proporcionado y está bien detallado y despiezado, éste puede desarrollar articulaciones plásticas que pueden a su vez, absorber energía y como consecuencia permitir al pórtico sobrevivir a desplazamientos mayores que para los que fue diseñado elásticamente.

Si la edificación fue diseñada con detalles y despieces para desarrollar un buen nivel de ductilidad, entonces se puede afirmar que los extremos de las vigas y columnas (zonas de momento sísmico máximo) fueron diseñados para resistir varios ciclos inelásticos de carga.

Esta última lista se dedica a evaluar y diagnosticar si las articulaciones plásticas se pueden formar o no, y también de chequear si los nudos viga-columna tienen la suficiente ductilidad para sostener los desplazamientos esperados. Se revisan entonces interrogantes como:

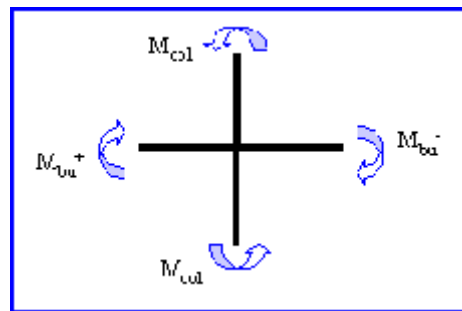
- Que todos los muros divisorios o particiones de concreto o de mampostería que estén colocados en los pórticos resistentes a momento estén aislados de los elementos estructurales.
- Si el edificio cumple con el Chequeo Rápido de Cortante de los esfuerzos en las columnas.
- Si el edificio cumple con el Chequeo Rápido de Derivas.
- Que no hay fallas por cortante, es decir que la resistencia a corte de las vigas y columnas de los pórticos es mayor que la resistencia a momento (ver Figura 1).

Figura 1. Momentos flectores y fuerzas cortantes



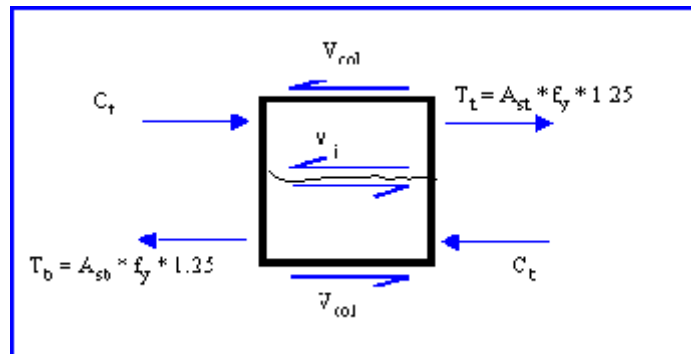
- El Criterio de Columnas Fuertes, Vigas Débiles, es decir que la resistencia a flexión de las columnas parece ser mayor que la misma de las vigas (ver Figura 2).

Figura 2. Momentos flectores en vigas y columnas



- Que los pórticos que hacen parte del sistema de resistencia a cargas laterales no incluyen elementos pre-esforzados ni post-tensionados.
- Que no existan excentricidades mayores que el 20% de la menor dimensión de la columna entre los ejes de las vigas y de las columnas.
- El espaciamiento de estribos en columnas.
- Los ganchos de flejes y estribos.
- Los traslapos en las barras de las columnas.
- El esfuerzo en los nudos (ver Figura 3).

Figura 3. Esfuerzo en nodos



- Que el Sistema Estructural no consista en pórticos formados por columnas y una placa maciza (flat slab/plate) sin vigas.

La lista de revisión de diafragmas y conexiones estudia aspectos tales como:

- Las irregularidades en planta, si existe suficiente resistencia a la tensión en los retrocesos y otras zonas irregulares de las placas.
- El refuerzo en las aberturas de placa.
- En las columnas de concreto revisa si todo el refuerzo longitudinal de las columnas está anclado a la cimentación.

En el estudio de amenazas geotécnicas se revisa:

- El desempeño de la cimentación, si la estructura no muestra desplazamientos excesivos de su cimentación tal como asentamientos o hinchamientos, lo cual podría afectar la integridad estructural.
- Si no hay evidencia que los elementos de la cimentación están deteriorados debido a corrosión, ataque de agentes químicos, sulfatos, etc., que puedan afectar la integridad estructural.
- Si no hay peligro de volcamiento.
- Si existe amarre entre elementos de la cimentación.
- Si hay cimentaciones profundas, que las pilas o pilotes sean capaces de transferir las fuerzas laterales entre la estructura y el suelo de fundación.

- Si se trata de un edificio "Poste", que tenga un empotramiento adecuado.
 - Si hay peligro de deslizamientos de laderas.
 - Que no existan suelos dentro de los 15 metros debajo del edificio con peligros potenciales de licuación, suelos saturados, granulares que puedan poner en peligro el desempeño sísmico de la edificación.
 - Si se prevé ruptura de fallas en la superficie o desplazamiento de la superficie.
- Análisis de Resultados y Conclusiones FEMA-178

La revisión del FEMA-178 es bastante sencilla y muy indicativa de las zonas vulnerables de las edificaciones existentes. Luego de realizar esta evaluación a cualquier edificación, se deben encontrar deficiencias estructurales que nos determinan dónde quedan localizadas las zonas débiles y vulnerables de la estructura y nos sirve para determinar las recomendaciones de reforzamiento. Los criterios descritos en las secciones anteriores se utilizan para comparar los requisitos de diseño y construcción que existían en la época que se construyó la edificación en estudio con los requisitos de diseño sísmico actuales.

Como se mencionó anteriormente, si se encuentran deficiencias por el método FEMA-178, se recomienda hacer un estudio más detallado en los aspectos encontrados deficientes.

4.2.2.7 Método del I.S.T.C.

- Descripción del método

Según Giuliano⁹, dicho método ha sido desarrollado por el Istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni (I.S.T.C.) y la Università degli Studi di Padova¹⁰.

⁹ Mario Giuliano. "Memorias de las XXIX Jornadas Suramericanas de Ingeniería Estructural"

Consiste en el análisis de vulnerabilidad sísmica de grupos de edificaciones con estructura soportada por muros de mampostería de tipologías y características constructivas similares. Se considera su aplicación tanto a edificaciones aisladas en mampostería no reforzada de regulares dimensiones (2 a 3 pisos), edificaciones contiguas o conjuntos de edificaciones.

La capacidad resistente de la edificación se evalúa por medio de dos parámetros (índices I_1 e I_2) los cuales representan los dos posibles modos de rotura en los muros.

A. Índice I_1

La falla por corte se asocia al índice I_1 . Se evalúa la máxima resistencia al corte que pueden presentar los muros del edificio en análisis, tomándose su razón respecto al peso de éste, obteniendo así una relación entre la aceleración proporcionada por la fuerza última de corte y la aceleración de gravedad, es decir, se determina un coeficiente sísmico de la estructura para luego ser comparado con el porcentaje de aceleración de gravedad esperado para el evento sísmico.

$$V = \frac{f_t}{1.5} \times \sqrt{1 + \frac{s_o}{f_t} \times \frac{k_1}{k_2} \times F_t}$$

(Ecuación 29)

f_t : resistencia media a tracción de la albañilería del muro.

s_o : tensión media o tensión de precompresión vertical del muro. Considera el peso de la albañilería y de los diafragmas de piso más una sobrecarga de 70 kgf/m².

F_t : área resistente de muros de albañilería según una sección horizontal.

k_1 : razón entre el área resistente de albañilería paralela a la dirección del sismo y el área F_t .

¹⁰ A Knowledge based survey of masonry buildings for seismic vulnerability evaluations.

k_2 : parámetro que considera la regularidad en planta de la estructura ante los mecanismos de redistribución de esfuerzos horizontales debido a variaciones de la rigidez de los muros en planta. Se asume igual a 1 para edificios regulares y a 1,1 para edificios con irregularidades discretas.

El parámetro s_o se obtiene considerando que tanto el peso propio de los muros como la sobrecarga de servicio que solicita a la estructura se encuentra uniformemente distribuida sobre aquellos:

$$s_o = \frac{W}{F_t} = \gamma \times h \times n \times \left(\frac{F_t''}{F_t} + \frac{q}{(\gamma \times h \times \varphi)} \right) \quad (\text{Ecuación 30})$$

W: peso sísmico del edificio.

F: superficie total en planta del primer piso del edificio.

F_t'' : área media resistente en planta de los muros del edificio.

q: peso propio del diafragma horizontal de piso más 70 kgf/m² de sobrecarga de cálculo.

φ : relación entre la superficie del muro (F_t) y la superficie útil en planta ($F - F_t$): $\varphi = F_t / (F - F_t)$.

γ : peso específico de la albañilería predominante en el edificio.

h: valor medio de la altura de entrepiso.

n: número de pisos del edificio considerado.

Se elige I_1 como el menor valor según las dos direcciones principales del edificio (X e Y):

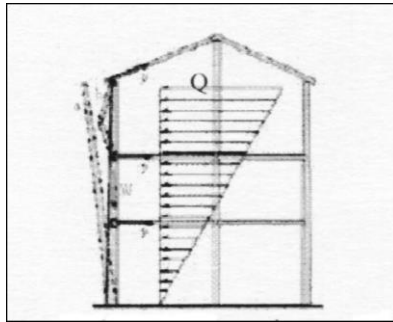
$$I_1 = \min \left\{ \frac{V_x}{W}, \frac{V_y}{W} \right\} \quad (\text{Ecuación 31})$$

B. Índice I_2

En tanto, el índice I_2 se encuentra asociado a la falla por superación de la resistencia en una dirección ortogonal al plano del muro (por vaciamiento o volcamiento de éste). La aceleración máxima se determinará según modelaciones tanto verticales (las cuales ayudarán a determinar el índice I_2') como horizontales (las cuales ayudarán a determinar el índice I_2''), obteniéndose como la suma de ambas contribuciones debido a la consideración que la resistencia máxima está dada por la combinación en las dos direcciones (vertical y horizontal).

El índice I_2' se calcula analizando el volcamiento del muro por acción del sismo, que es contraria a la acción estabilizante del peso propio y de la fuerza de contención proporcionada por el diafragma. Su evaluación se realiza modelando franjas verticales de albañilería que se extienden desde el primer hasta el último piso (modo "a" en la Figura 4).

Figura 4. Modos de falla según una modelación de franjas verticales



Así, podemos evaluar I_2' considerando el volcamiento global de un muro con respecto a su borde longitudinal ante la acción provocada por la aceleración media en la masa W_i de un muro i de espesores s en el primero y s' en el último piso, tal como se aprecia el equilibrio de fuerzas en la Figura 5. y en la ecuación 32:

$$\sum M_o : \left(\frac{a}{g} \times W_i - p' \times n \right) \times \frac{2}{3} \times n \times h = W_i \times \frac{s}{2} \quad (\text{Ecuación 32})$$

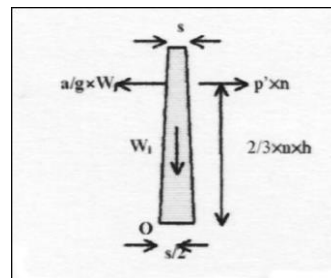
Luego, ordenando se obtiene el índice I_2' :

$$I_2' = \frac{a}{g} = 0.75 \times \frac{c_3}{n} + \frac{c_8}{c_3''} \quad \text{(Ecuación 33)}$$

$$c_3 = \frac{s}{h}; \quad c_3'' = \frac{s''}{h}; \quad c_8 = \frac{p'}{\gamma_e \times h^2} \quad \text{(Ecuación 34)}$$

p' : corresponde a la fuerza de contención por unidad de longitud que aporta el diafragma de piso. Este valor se obtiene a partir de la contribución de la fricción entre el muro y el diafragma (se sugiere el valor de 1 kN/m para diafragmas horizontales livianos) y de las fuerzas concentradas correspondientes a la resistencia de tirantes existentes en los muros (se sugiere un valor de 16 kN).

Figura 5. Modelación de la acción sísmica sobre toda la altura del muro



El valor así obtenido se reduce debido a la presencia de empuje por causa de acciones verticales y/o por una fuerza inestabilizante tal como la que ocurre por ausencia de diafragma o empuje de la techumbre sobre los muros. Para evaluar el valor de p' se igualan los momentos volcante (producido por la fuerza inestabilizante en el piso i -ésimo) y resistente (proporcionado por la fuerza de contención $p-p'$):

$$F \times i \times h = (p - p') \times n \times \frac{2}{3} \times n \times h \quad \text{(Ecuación 35)}$$

γ_e : peso específico equivalente de la albañilería y de los diafragmas de piso, en todos los niveles (considerado uniforme para todo el edificio).

$$\gamma_e = \gamma \times (1 - \psi) + \frac{q}{(h \times \varphi)}$$

(Ecuación 36)

Para esta ecuación las variables toman el significado entregado en la ecuación de s_0 . Además:

ψ : porcentaje de vanos en los muros, evaluado en cada pared sobre la base del área de vanos del primer piso (se asume constante en todo el edificio).

Si la fuerza restrictiva proporcionada por el diafragma horizontal de piso es mucho más difícil de sobrepasar, la falla ocurrirá en el muro del piso superior y no en toda la altura del muro, por lo tanto se requerirá efectuar un control al volcamiento y vaciamiento en el último piso del edificio (modo "b" de la Figura 4) para la carga sísmica uniforme dada por la siguiente ecuación:

$$q = \frac{a'}{g} \times \gamma_e \times s'$$

(Ecuación 37)

La aceleración media en el n-ésimo piso es considerada constante en él y deducida a partir de:

$$a' = \left(\frac{2 \times n - 1}{n} \right) \times a$$

(Ecuación 38)

Una vez determinada la aceleración que actúa en el n-ésimo piso, se iguala el momento máximo debido a la acción sísmica en la sección del muro con el momento resistente máximo proporcionado por la estructura. Este último se obtiene del momento producido por el peso propio de la mitad del muro o por las tensiones generadas en él debido a la resistencia a tracción de la mampostería y a la tensión que el mismo peso propio proporciona. Así se consigue la siguiente ecuación de acuerdo a la Figura 6:

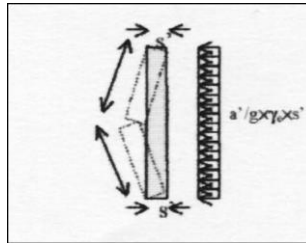
$$\left(\frac{a'}{g} \times \gamma_e \times s'\right) \times \frac{h^2}{8} = \text{máx} \left\{ \begin{array}{l} \left(\gamma_e \times s' \times \frac{h}{2}\right) \times \frac{s'}{2} \\ \frac{s'^2}{6} \times \left(f_t + \gamma_e \times \frac{h}{2}\right) \end{array} \right\} \rightarrow \frac{a}{g} = \frac{c_3' \times n}{(n-0.5)} \times \text{máx} \left\{ \frac{1}{2 \times c_1 + 1} \right\}$$

(Ecuación 39)

$$c_1 = \frac{f_t}{\gamma_e \times h}; \quad c_3' = \frac{s'}{h}$$

(Ecuación 40)

Figura 6. Falla en el piso superior



Por lo tanto para determinar el índice \$I_2'\$ se debe obtener el mínimo de los dos valores ya expresados, es decir, se elige la menor aceleración entre aquella que origina el volcamiento de todo el muro y la que produce el vaciamiento en el piso superior.

$$I_2' = \text{mín} \left\{ \begin{array}{l} 0.75 \times \frac{c_3}{n} + \frac{c_8}{c_3''} \\ \frac{c_3' \times n}{(n-0.5)} \times \text{máx} \left\{ \frac{1}{2 \times c_1 + 1} \right\} \end{array} \right\}$$

(Ecuación 41)

Además se realizan verificaciones con el uso de franjas horizontales que se extienden entre muros transversales. La modelación que se hace de este tipo de franjas supone considerarlas como vigas empotradas en los nodos y sujetas a rotura por tracción de la mampostería (aceleración crítica \$a_1\$) o como mecanismo en arco que llega a la rotura al sobrepasar la resistencia a compresión de la mampostería o por volcamiento de los muros estribos (aceleración crítica \$a_2\$).

En ambos casos se efectúa además un control a la separación de los nodos de apoyo de la franja desde los muros transversales (aceleración crítica a_3).

Así se determina el índice I_2'' de acuerdo a los tres estados límites que se sugieren, correspondientes a las aceleraciones a_1 , a_2 y a_3 .

$$I_2'' = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \frac{a_1}{g}, \frac{a_2}{g} \right\} \\ \frac{a_3}{g} \end{array} \right\}$$

(Ecuación 42)

Como se aprecia en la ecuación anterior, se elige la máxima aceleración entre las resistencias a tracción de la mampostería y la resistencia a volcamiento de los muros estribos, ello bajo la consideración que la falla que se produce está gobernada por el colapso total del elemento.

C. Determinación de la aceleración crítica a_1

Vaciamiento por superación de la resistencia a tracción de la albañilería. Se evalúa el vaciamiento que se produce en el último piso del edificio para una franja de espesor s' , ante la sollicitación dada por la carga uniformemente distribuida obtenida a partir de la aceleración a' dada ya por las ecuaciones.

Una modelación como viga empotrada implica que el momento máximo solicitante se alcanza en los nodos de apoyo ($M_{\max.} = qL^2/12$), el cual debe contrarrestarse con el momento resistente de la sección $M_{\text{resist}} = \sigma x W$. Se asume que el momento resistente está determinado por la sección que realmente trabaja a tracción, o sea, aquella depurada de los vanos correspondientes a ventanas y puertas. Así, el equilibrio de fuerzas queda expresado según la siguiente ecuación:

$$\frac{a'}{g} = \gamma_e \times s' \times \frac{L^2}{12} = f_t \times \frac{s'^2}{6} \times (1 - \xi)$$

(Ecuación 43)

ξ : es la razón entre la altura de vanos del muro y la altura del último piso. Si no hay datos se asume $\xi=0.5$.

Ordenando la pasada ecuación se obtiene la expresión para la razón entre la aceleración crítica a_1 y la aceleración de gravedad.

$$\frac{a_1}{g} = \frac{c_1 \times c_4 \times n}{(n-0.5)} \quad \text{(Ecuación 44)}$$

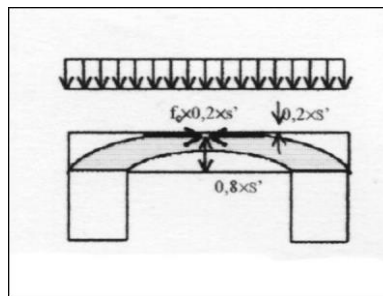
$$c_4 = \frac{s' \times h \times (1-\xi)}{L^2} \quad \text{(Ecuación 45)}$$

D. Determinación de la aceleración crítica a_2

Se considera tanto el vaciamiento que puede producirse al ser superada la resistencia en arco de la mampostería o el volcamiento de los muros estribos.

Vaciamiento por superación de la resistencia a compresión en arco de la mampostería. Este modelo asume el momento máximo dado por una carga uniformemente distribuida sobre una viga simplemente apoyada ($M_{\text{máx}} = q \times L^2 / 8$). Se supone la flecha del arco igual a $0.8 \times s'$ y la sección sujeta a compresión igual a $0.2 \times s'$, tal como se muestra en la Figura 7.

Figura 7. Modelación del muro según una sección horizontal como viga simplemente apoyada y diagrama de resistencia en arco de la mampostería



A partir de la Figura 7 se plantea el siguiente equilibrio de fuerzas:

$$\left(\frac{a'}{g} \times \gamma_e \times s' \right) \times \frac{L^2}{8} = (f_c \times 0.2 \times s' \times (1 - \xi)) \times (0.8 \times s') \quad (\text{Ecuación 46})$$

$$\frac{a_2}{g} = 0.64 \times \frac{c_2 \times c_4 \times n}{(n - 0.5)} \quad (\text{Ecuación 47})$$

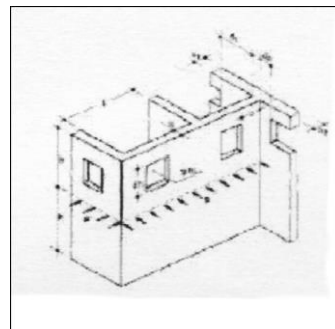
$$c_2 = \frac{f_c}{\gamma_e \times h} \quad (\text{Ecuación 48})$$

Volcamiento del muro estribo. Se verifican las paredes terminales de cada muro, calculando el volcamiento por comparación entre el empuje del arco producido por el muro solicitado con la resistencia proporcionada. Esta es entregada por el diafragma horizontal y el peso propio del muro principal y de los dos tramos de paredes transversales convergentes en el nodo para una longitud d_1 y d_2 desde el mismo (ver Figura 8). Si no se especifica, se asume $d_1 = d_2 = 1$ metro; así el diagrama de fuerzas sobre el elemento de muro considerado quedará definido por la Figura 10.

$$\frac{a_2}{g} \times \gamma_e \times \frac{s \times \frac{L^2}{8}}{0.8 \times s} \times (n \times h) \times \frac{2}{3} \times (n \times h) = \gamma_e \times (n \times h) \times \left(\frac{(d_1 \times s_1''^2 + d_2 \times s_2''^2)}{2} + (s + L)^2 \times \frac{s''}{8} \right) + p' \times (d_1 + d_2) \times n \times \frac{2}{3} \times (n \times h)$$

(Ecuación 49)

Figura 8. Características de la edificación consideradas al evaluar el volcamiento del muro estribo

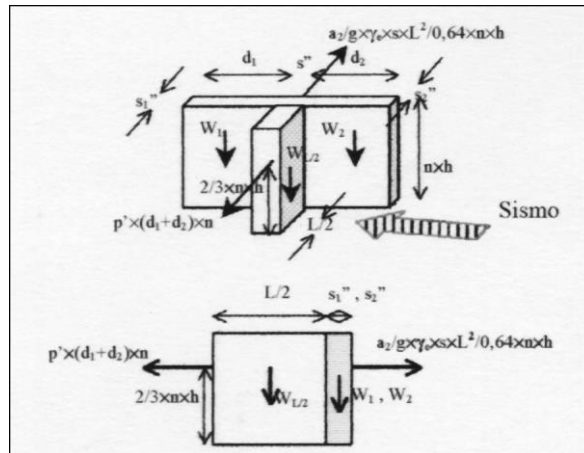


De esta forma se obtiene una nueva aproximación para la aceleración crítica a_2 de acuerdo a lo expresado en la siguiente ecuación:

$$\frac{a_2}{g} = 1.2 \times \frac{C_5}{n} + 6.4 \times C_8 \times C_{10} \quad (\text{Ecuación 50})$$

$$C_5 = \frac{4 \times (d_1 \times s_1''^2 + d_2 \times s_2''^2) + s'' \times (s + L)^2}{h \times L^2}; C_{10} = \frac{(d_1 + d_2) \times h}{L^2} \quad (\text{Ecuación 51})$$

Figura 9. Volcamiento del muro estribo



Para valores de p' elevados, nuevamente la fuerza restrictiva proporcionada por el diafragma de piso es alta y por lo tanto la falla se producirá por volcamiento o rotura de la pared del último piso, donde es constante la aceleración en las franjas superior e inferior (de altura $h/4$) y que queda determinada por la ecuación de a' ya presentada. Se considera, además, una franja central de cálculo de altura $h/2$ y una longitud de muro colaborante con los dos transversales igual a d . El espesor será s' y los espesores de los tramos transversales d_1 y d_2 del muro, s_1' y s_2' respectivamente. Se asume generalmente el valor $d = d_1 = d_2 = 1$ metro. Así, el nuevo equilibrio de fuerzas para obtener la aceleración crítica a_2 se indica en la Figura 10 y en la ecuación siguiente:

$$\frac{a'}{g} \times \gamma_e \times \frac{s \times \frac{L^2}{8}}{0.8 \times s} \times \frac{h}{2} \times \frac{h}{8} = \text{máx} \left\{ \begin{array}{l} \gamma_e \times \frac{h}{2} \times \left(d \times (d_1 \times s_1' + d_2 \times s_2') + s' \times d \times \frac{d}{2} \right) \\ \left(f_t \times \gamma_e \times \frac{h}{2} \right) \times \left(2 \times d \times \frac{(d_1 \times s_1' + d_2 \times s_2')}{3} + d \times d \times \frac{s'}{6} \right) \end{array} \right\}$$

(Ecuación 52)

$$\frac{a_2}{g} = 6.4 \times \frac{c_3' \times c_6 \times n}{(n-0.5)} \times \text{máx} \left\{ \frac{2+4 \times c_9}{(1+2 \times c_1) \times (2+8 \times c_9)} \right\}$$

(Ecuación 53)

$$c_9 = \frac{d_1 \times s_1' + d_2 \times s_2'}{d \times s'}; c_6 = \left(\frac{d}{L} \right)^2$$

(Ecuación 54)

De esta manera el valor de la aceleración a_2 queda determinado por la ecuación:

$$\frac{a_2}{g} = \text{mín} \left\{ \begin{array}{l} 0.64 \times \frac{c_2 \times c_4 \times n}{(n-0.5)} \\ 1.2 \times \frac{c_5}{n} + 6.4 \times c_8 \times c_{10} \\ 6.4 \times \frac{c_3' \times c_6 \times n}{(n-0.5)} \times \text{máx} \left\{ \frac{2+4 \times c_9}{(1+2 \times c_1) \times (2+8 \times c_9)} \right\} \end{array} \right\}$$

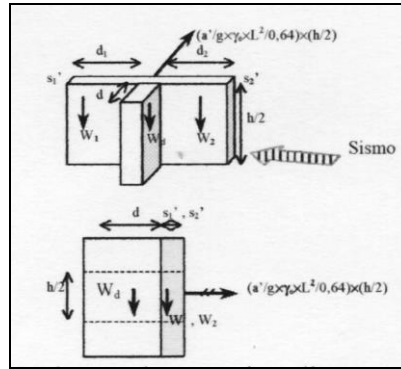
(Ecuación 55)

E. Determinación de la aceleración crítica a_3

Límite de resistencia a la separación del muro transversal. Para evaluar la separación de un muro transversal en el piso superior de espesor s_3' de parte de dos muros concurrentes al nodo de luces L_1 y L_2 y espesores s_1' y s_2' , respectivamente y donde ξ_3 corresponde al porcentaje de vanos del muro analizado, se considera el equilibrio de fuerzas mostrado en la Figura 11 y expresado en la ecuación siguiente. Este análisis se considera sólo para el piso

superior ya que los muros de dicho piso son los que poseen menor compresión axial.

Figura 10. Volcamiento de muro estribo en último piso



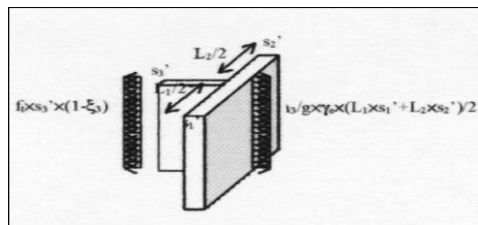
$$\frac{a'}{g} \times \left(\gamma_e \times \frac{(L_1 \times s_1' + L_2 \times s_2')}{2} \right) = f_t \times s_3' \times (1 - \xi_3) \quad (\text{Ecuación 56})$$

De esta forma, la aceleración crítica \$a_3\$ es obtenida con la ecuación:

$$\frac{a_3}{g} = \frac{c_1 \times c_7 \times n}{(n - 0.5)} \quad (\text{Ecuación 57})$$

$$c_7 = \frac{h \times s_3' \times (1 - \xi_3)}{L_1 \times s_1' + L_2 \times s_2'} \quad (\text{Ecuación 58})$$

Figura 11. Equilibrio de fuerzas para determinar la resistencia a separación del muro transversal



Posteriormente, el índice I_2 de la estructura es obtenido buscando el menor valor dentro de todos los muros del edificio.

$$I_2 = \min\{I_2', I_2''\}$$

(Ecuación 59)

La resistencia última se obtiene de acuerdo a la fuerza sísmica aplicada a través de la aceleración media de los muros, según una distribución lineal creciente con la altura de la edificación (primer modo de vibrar de la estructura), proporcionando así cada índice la relación entre esta aceleración y la aceleración de gravedad, de acuerdo al modo de falla que se esté considerando. El procedimiento compara I_1 e I_2 con los valores de una estimación del porcentaje de aceleración que proporciona el evento sísmico respecto a la aceleración de gravedad.

F. Índice I_3

Luego de lo anterior se determina un tercer índice, índice I_3 , que es utilizado para determinar, en conjunto con los otros dos ya calculados, la vulnerabilidad del edificio (o grupo de edificios) sobre la base de la Función de Vulnerabilidad propuesta por el I.S.T.C.

Este índice se determina a partir de los pesos y puntajes asignados de acuerdo a la Tabla 6 y Tabla 7.

Tabla 6: Factores de vulnerabilidad parcial considerados por el I.S.T.C

Factor de Vulnerabilidad Parcial	Peso I.S.T.C. (p_i)
1. Calidad del sistema resistente.	0.15
2. Posición del Edificio y Fundación.	0.75
3. Presencia de Diafragmas Horizontales.	0.5
4. Configuración en elevación.	0.5
5. Tipo de Techumbre.	0.5
6. Elementos no Estructurales.	0.25
7. Estado de Conservación	0.5

Tabla 7: Puntajes para la asignación de clases

Clase	Puntaje (u_i)
A. Buena o de acorde con la Normativa.	0
B. Casi Buena.	15
C. Casi Deficiente.	30
D. Deficiente o Insegura.	45

El índice I_3 (normalizado) se obtiene de acuerdo a:

$$I_3 = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^4 \left(\frac{p_i \times u_j}{141.75} \right)$$

(Ecuación 60)

A la vez, deberá asignarse a cada factor de vulnerabilidad la calidad de la información recopilada durante el levantamiento de acuerdo a la proporción entregada en la Tabla 8. Dichas calidades de información deberán ser asignadas también a los índices I_1 e I_2 , con el fin de obtener la vulnerabilidad de la estructura.

Tabla 8: Proposición del G.N.D.T. para la asignación de la calidad de la información

Calidad de la Información	Significado
Elevada (E)	Información obtenida de inspección directa, mediciones, test in situ o de Laboratorio o dibujos confiables.
Media (M)	Información obtenida desde fotografías, dibujos, información oral confiable, test empíricos o comparación con situaciones similares.
Baja (B)	Información obtenida desde consideraciones hechas por el levantador con base al conocimiento adquirido en el tipo de edificio analizado.
Ausencia de Información (A)	Información asumida cuando otro tipo de información no es disponible.

G. Función de vulnerabilidad V_u

Se expresa V_u como una función continua por tramos de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$V_u = \begin{cases} 1, u \leq 0 \\ (1-u)^{\frac{1}{a+1}}, 0 < u < 1 \\ 0, u \geq 1 \end{cases}$$

(Ecuación 61)

el valor de la variable u queda definido por:

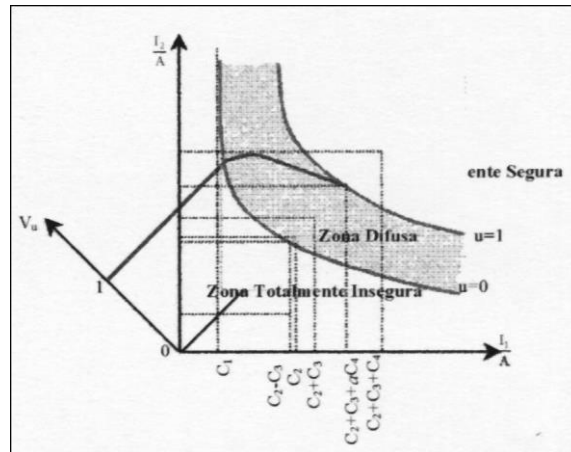
$$u = \frac{c_3 + c_1 - c_2 + \sqrt{\left(\frac{l_1 - c_1}{A} - c_1\right)\left(\frac{l_2 - c_1}{A} - c_1\right)}}{2 \times c_3 + a \times c_4}$$

(Ecuación 62)

Ahora es el parámetro u aquel que determina los límites para los valores de la vulnerabilidad.

En la Figura 12 se aprecia como la función de vulnerabilidad divide el plano (l_1, l_2) en una zona totalmente segura (en la cual el valor de la vulnerabilidad es nulo, es decir, $V_u = 0$), en una zona totalmente insegura (zona en la cual la vulnerabilidad es máxima, o sea, $V_u = 1$) y en una zona intermedia en la cual V_u varía desde 0 a 1 y en la cual puede asumir el significado de probabilidad condicionada respecto de las variables l_1, l_2 y A .

Figura 12. Idea general de la función de vulnerabilidad y su relación con variable u



Los parámetros C_1 y C_2 definen la forma de la interacción asumida de tipo hiperbólico entre las resistencias de corte y de flexión, es decir, entre l_1 e l_2 . Así se incluye la característica bi-direccional del sismo y por lo tanto los efectos combinados de los mecanismos resistentes. Los parámetros C_3 y C_4 definen la amplitud máxima de la zona de transición (Zona Difusa), su valor debe elegirse sobre la base de estimaciones empíricas con respecto a los máximos efectos que producen los factores que pueden resultar un tanto inciertos. En particular el parámetro C_3 está asociado a la influencia positiva o negativa que ejerce la modelación en el cálculo de los índices l_1 e l_2 y en el valor esperado de la

aceleración de la acción sísmica A . El parámetro C_4 en tanto, amplía la zona de transición entre la seguridad y la inseguridad, reduciendo la zona de seguridad total ($V_u = 0$) y sirve como corrección a las estimaciones cualitativas erróneas realizadas al momento de completar la ficha de levantamiento. Para la evaluación del método, el I.S.T.C. considera los siguientes valores para el cálculo de la función de vulnerabilidad:

$$C_1 = 0.5; C_2 = 1; C_3 = 0,1; C_4 = 1$$

Una vez que se han fijado los valores correspondientes a los parámetros C_1 , C_2 , C_3 y C_4 , la amplitud de la zona de transición y la vulnerabilidad en dicha zona dependerá únicamente del parámetro a , el cual resume la influencia de los criterios cualitativos. En particular para a tendiendo a 0, la zona de transición se reduce a aquella mínima correspondiente a la incerteza del modelo dada por los cuatro parámetros ya mencionados. Como se puede verificar fácilmente en la Figura 12 y de acuerdo con el parámetro introducido, a iguales valores de I_1 , I_2 y A , la función V_u crece monótonamente con el incremento de la variable a .

Según Giuliano¹¹, pueden determinarse los valores para a a partir de la Teoría de Conjuntos de la Lógica Difusa¹², definiendo una Función de Pertenencia en el Subconjunto Difuso en que varía a . Con lo anterior se logrará conseguir la Función de Pertenencia para la vulnerabilidad dada por la función V_u .

Una vez obtenida la función de pertenencia para la vulnerabilidad del edificio analizado, éste puede ser clasificado en una clase de vulnerabilidad específica. Se definen cinco clases de vulnerabilidad: MUY GRANDE, GRANDE, MEDIA, PEQUEÑA y MUY PEQUEÑA, las cuales corresponden a las cinco relaciones de identidad lógica propuestas anteriormente y cuyos valores numéricos decrecen desde 4 a 0.

¹¹ Mario Giuliano. "Memorias de las XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural".

¹² Theory and Applications.

El edificio es asignado a la clase en la cual el valor de la siguiente ecuación resulta ser máximo:

$$N_{i,j} = \sum_z (\mu(z = V_u) \times \mu_j(z))^2$$

(Ecuación 63)

En la ecuación anterior donde $\mu(z = V_u)$ corresponde a la función de pertenencia del edificio en análisis y $\mu_j(z)$ corresponde a las funciones de pertenencia para cada una de las tres clases PEQUEÑA, MEDIANA y GRANDE. Al considerar las clases MUY PEQUEÑA y MUY GRANDE debe encontrarse el mínimo en la ecuación:

$$M_{i,j} = \sum_z (\mu(z = V_u) - \mu_j(z))^2$$

(Ecuación 64)

H. Utilización del grupo de programas MuriPgm

Para determinar el valor los índices I_1 , I_2 e I_3 , el I.S.T.C. desarrolló un programa en lenguaje BASIC en función de los datos obtenidos a partir de las fichas de levantamiento.

El programa determina además, la clase de vulnerabilidad que corresponde a cada estructura y realiza un análisis estadístico para los grupos de edificios.

La información necesaria para el cálculo de los índices es recolectada por las fichas de levantamiento propuestas, que consideran en detalle las características geométricas y estructurales del edificio.

4.2.2.8 Método del índice de vulnerabilidad. Aguiar¹³ presenta el método a continuación: El análisis del comportamiento de edificios, durante terremotos

¹³ Roberto Aguiar. "Monografías de Ingeniería Sísmica".

ocurridos desde el año 1976 en diferentes regiones de Italia, ha permitido a los investigadores de este país identificar algunos de los parámetros más importantes que controlan el daño en los edificios. Estos parámetros se han compilado en un formulario de levantamiento, el cual se viene utilizando desde el año 1982, con el propósito de determinar de una forma rápida y sencilla la vulnerabilidad sísmica de edificios existentes. La combinación de dichos parámetros, por medio de una escala predefinida, en un único valor numérico llamado Índice de Vulnerabilidad es lo que se conoce hoy en día como el método del Índice de Vulnerabilidad.¹⁴

El formulario para el levantamiento de la vulnerabilidad se ha modificado varias veces, durante los últimos quince años, con el propósito de facilitar las tareas de observación durante las investigaciones de campo o para incluir una mejor descripción del daño, en los casos para los que dicho formulario se utiliza en la recopilación de los efectos producidos por un terremoto. Lo anterior se puede observar según Aguiar, en tres versiones diferentes del mismo formulario¹⁵. Sin embargo, al estudiar detalladamente cada una de éstas se puede concluir que las modificaciones son más de forma que de fondo y que, en cualquier caso, se mantienen siempre los mismos parámetros que se identificaron desde un comienzo como los controladores potenciales del daño. La última versión conocida del formulario para el levantamiento de vulnerabilidad aparece publicada por GNDT "Gruppo Nazionale per la difusa dai terremoto", conjuntamente con sus instrucciones.

El formulario de levantamiento consta de dos niveles, los cuales se han diseñado con el propósito de tener dos grados de aproximación. El primer nivel sirve para seleccionar los edificios más "peligrosos" desde el punto de vista estructural y, posteriormente, dichos edificios se investigan con el segundo nivel para obtener una apreciación más exacta de su vulnerabilidad. Sin embargo, actualmente se reconoce que el método en general sólo puede dar una estimación aproximada de la vulnerabilidad de los edificios, suficiente para la toma de decisiones durante los planes de mitigación de desastres.

¹⁴ Proceeding of the Fourth International Conference on Structural Safety and Reliability"

¹⁵ Proceeding of the Eight European Conference on Earthquake Engineering

El primer nivel incluye los datos generales del edificio, tales como: ubicación, dimensiones, utilización, tipología estructural, etc. También incluye un apartado por la recopilación de la extensión y el nivel de daño, que se utiliza durante las investigaciones post-terremoto. Los datos provistos por el primer nivel se han utilizado para deducir matrices de probabilidad de daño, sin embargo, no forman parte fundamental del método ya que no influyen para nada en el cálculo del índice de vulnerabilidad.

Por el contrario, en el segundo nivel se recopilan los datos y parámetros fundamentales para el cálculo del índice de vulnerabilidad, que consiste a su vez de dos apartados distintos, uno de ellos está destinado a la evaluación de edificios de mampostería y el otro a edificios de hormigón armado. La escala que se utiliza para calificar los diferentes parámetros que influyen en el comportamiento de los edificios de mampostería se conoce como la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini.

El método del índice de vulnerabilidad ha sido ampliamente utilizado en Italia durante los últimos quince años y su gran aceptación en este país ha quedado demostrada por el GNDT (Grupo Nazionale per la Difesa dei Terremoti) que lo ha adoptado para los planes de mitigación de desastres a nivel gubernamental. Esto ha permitido la evolución del método, la obtención de una extensa base de datos sobre daño y vulnerabilidad como ninguno de los otros métodos cualitativos.

➤ Cálculo del índice de vulnerabilidad

De acuerdo con la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, el índice de vulnerabilidad se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales que, se considera, juegan un papel importante en el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería.

A cada parámetro se le atribuye, durante las investigaciones de campo, una de las cuatro clases A, B, C, D siguiendo una serie de instrucciones detalladas con el propósito de minimizar las diferencias de apreciación entre los observadores. A cada una de estas clases le corresponde un valor numérico K_i que varía entre 0 y 45, como se observa en la Tabla 9. Así, por ejemplo, si el parámetro número cuatro "posición del edificio y de la fundación" corresponde a una configuración insegura desde el punto de vista sísmico, se le asigna la clase D y el valor numérico $K_4 = 45$.

Por otra parte, cada parámetro es afectado por un coeficiente de peso W_i , que varía entre 0.25 y 1.5. Este coeficiente refleja la importancia de cada uno de los parámetros dentro del sistema resistente del edificio. De esta forma, el índice de vulnerabilidad VI se define por la siguiente expresión:

$$VI = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i$$

(Ecuación 65)

Tabla 9: Escala de vulnerabilidad de Benedetti - Petrini

Parámetros	Clase K_i				Peso W_i
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente.	0	5	20	45	1.00
2. Calidad del sistema resistente.	0	5	25	45	0.25
3. Resistencia convencional.	0	5	25	45	1.50
4. Posición del edificio y cimentación.	0	5	25	45	0.75
5. Diafragma horizontales.	0	5	15	45	1.00
6. Configuración en planta.	0	5	25	45	0.50
7. Configuración en elevación.	0	5	25	45	1.00
8. Distancia máxima entre los muros.	0	5	25	45	0.25
9. Tipo de cubierta.	0	15	25	45	1.00
10. Elementos no estructurales.	0	0	25	45	0.25
11. Estado de conservación.	0	5	25	45	1.00

Al analizar la ecuación se puede deducir que el índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382.5 que es el máximo valor posible. Como puede verse en la Tabla 9, los parámetros 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11 son de naturaleza descriptiva y quedan definidos completamente por las instrucciones que se presentan más adelante. Por el contrario, los parámetros 3, 6, 7 y 8 son de naturaleza cuantitativa y requieren de ciertas operaciones matemáticas muy sencillas, las cuales también se describen más adelante.

➤ **Formulario para el levantamiento de la vulnerabilidad**

El formulario encuesta que se observa en la Figura 13, es una versión modificada utilizada por el GNDT en Italia. Una de las simplificaciones que se tienen en cuenta es la de no utilizar el primer nivel de aproximación debido a que los datos que provee no influyen directamente en el cálculo del VI. Por otra parte, del

segundo nivel se utiliza únicamente la parte correspondiente a edificios de mampostería, debido a que no se conoce bibliografía sobre funciones de vulnerabilidad para edificios de otro tipo.

Figura 13. Formulario para el levantamiento de la vulnerabilidad de edificaciones en mampostería.

No. Edificio: _____	
Dirección: _____	
Fecha: _____ d/m/a	No. observador: _____
1. Organización del sistema resistente: ____	
2. Calidad del sistema resistente: ____	
3. Resistencia convencional	
1. 1.	Número de pisos N: _____
2. 2.	Area total cubierta A_t : _____ m ²
3. 3.	Area resistente sentido x A_x : _____ m ² sentido y A_y : _____ m ²
1. 1.	Resistencia cortante mampostería τ_k : _____ Ton/m ²
2. 2.	Altura media de los pisos h: _____ m
3. 3.	Peso específico mampostería P_m : _____ Ton/m ³
4. 4.	Peso por unidad de área diafragma P_s : _____ Ton/m ²
4. Posición del edificio y de la cimentación: ____	
5. Diafragmas horizontales: ____	
6. Configuración en planta $\beta_1 = a/L$: _____ $\beta_2 = b/L$: _____	
7. Configuración en elevación. Superficie porche %: _____ T/H: _____ $\pm \Delta M/M$ %: _____	
8. Distancia máxima entre los muros L/S: _____	
9. Tipo de cubierta: ____	
10. Elementos no estructurales: ____	
11. Estado de conservación: ____	

El formulario original, de segundo nivel, incluye los cálculos que debe efectuar el observador durante las investigaciones de campo, para clasificar cada parámetro dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D lo cual, además de prolongar el tiempo del levantamiento, facilita la introducción de errores matemáticos. Por estas razones se ha desarrollado un programa de ordenador para el cálculo del VI con el cual se evitan los inconvenientes descritos anteriormente y se simplifica el formulario de levantamiento, ya que de esta forma sólo se requieren los datos estrictamente necesarios para definir VI.

➤ Instrucciones para el formulario de levantamiento

La asignación de los once parámetros del formulario de encuesta descrito en el apartado anterior, dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D se lleva a cabo con la ayuda de las siguientes instrucciones. En éstas se describe de forma muy breve, el fundamento teórico de cada uno de los parámetros con el objetivo de proporcionar al observador de campo un cierto criterio de selección.

1. Organización del sistema resistente

Con este parámetro se evalúa el grado de organización de los elementos verticales prescindiendo del tipo de material. El elemento significativo es la presencia y la eficiencia de la conexión entre las paredes ortogonales con tal de asegurar el comportamiento en "cajón" de la estructura. Se reporta una de las clases:

- A. Edificio construido de acuerdo con las recomendaciones de la norma Española para la construcción sismo-resistente, específicamente del apartado 4.1 de dicha norma.
- B. Edificio que presenta, en todas las plantas, conexiones realizadas mediante vigas de amarre o de adaraja en los muros, capaces de transmitir acciones cortantes verticales.
- C. Edificio que, por no presentar vigas de amarre en todas las plantas, está constituido únicamente por paredes ortogonales bien ligadas.
- D. Edificio con paredes ortogonales no ligadas.

2. Calidad del sistema resistente

Con este parámetro se determina el tipo de mampostería más frecuentemente utilizada, diferenciando, de modo cualitativo, su característica de resistencia con el fin de asegurar la eficiencia del comportamiento en "cajón" de la estructura. La atribución de un edificio a una de las cuatro clases se efectúa en función de dos factores: por un lado, del tipo de material y de la forma de los elementos que constituyen la mampostería. Por otro lado, de la homogeneidad del material y de las piezas, por toda la extensión del muro. Se reporta una de las clases:

- A. Mampostería en ladrillo o bloques prefabricados de buena calidad. Mampostería en piedra bien cortada, con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro. Presencia de ligamento entre las piezas.
- B. Mampostería en ladrillo, bloques o piedra bien cortada, con piezas bien ligadas más no muy homogéneas en toda la extensión del muro.

- C. Mampostería en piedra mal cortada y con piezas no homogéneas, pero bien trabadas, en toda la extensión del muro. Ladrillos de baja calidad y privados de ligamento.
- D. Mampostería en piedra irregular mal trabada o ladrillo de baja calidad, con la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.

3. Resistencia convencional

Con la hipótesis de un perfecto comportamiento en "cajón" de la estructura, la evaluación de la resistencia de un edificio de mampostería puede ser calculada con razonable confiabilidad. El procedimiento utilizado requiere del levantamiento de los datos:

- A. N: número de pisos.
- B. A_t : área total cubierta en (m²).
- C. $A_{x,y}$: área total de los muros resistentes en el sentido X e Y respectivamente en (m²). El área resistente de los muros inclinados un ángulo α diferente de cero, respecto a la dirección considerada, se debe multiplicar por $(\cos \alpha)^2$.
- D. τ_K : resistencia a cortante característica del tipo de mampostería en (Ton/m²). En el caso de que la mampostería se componga de diferentes materiales, el valor de τ_K se determina como un promedio ponderado de los valores de resistencia a cortante para cada uno de los materiales τ_i , utilizando como factor de peso el porcentaje relativo en área A_i de cada uno de ellos.

$$\tau_K = \frac{\sum \tau_i A_i}{\sum A_i}$$

(Ecuación 66)

h: altura media de los pisos en (m).

P_m : peso específico de la mampostería en (Ton/m³).

P_s : peso por unidad de área del diafragma en (Ton/m²).

4. Posición del edificio y de la cimentación

Con este parámetro se evalúa, hasta donde es posible por medio de una simple inspección visual, la influencia del terreno y de la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio. Para ello se tiene en cuenta algunos

aspectos, tales como: la consistencia y la pendiente del terreno, la eventual ubicación de la cimentación a diferente cota y la presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén. Se reporta una de las clases:

- A. Edificio cimentado sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- B. Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre un 10% y un 30% o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- C. Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 20% y un 30% o sobre terreno rocoso con pendiente comprendida entre un 30% y un 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.
- D. Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor al 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.

5. Diafragmas horizontales

La calidad de los diafragmas tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. Se reporta una de las clases:

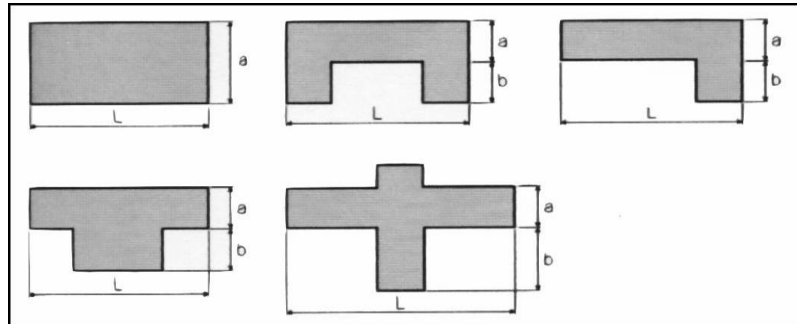
- A. Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones:
 - a. Ausencia de planos a desnivel.
 - b. La deformabilidad del diafragma es despreciable.
 - c. La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.
- B. Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con la condición 1.
- C. Edificio con diafragmas como los de la clase A, pero que no cumplen con las condiciones 1 y 2.
- D. Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones.

6. Configuración en planta

El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma en planta del mismo. En el caso de edificios rectangulares es significativo la relación $\beta_1 = a / L$ entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las protuberancias del cuerpo principal mediante la relación $\beta_2 = b$

/ L. En la Figura 14 se explica el significado de los dos valores que se deben reportar, para lo cual se evalúa siempre el caso más desfavorable.

Figura 14. Configuración en planta de la estructura

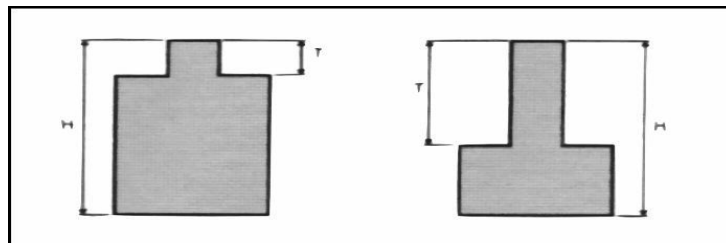


7. Configuración en elevación

En el caso de edificios de mampostería, sobre todo para los más antiguos, la principal causa de irregularidad está constituida por la presencia de porches y torretas. La presencia de porches se reporta como la relación porcentual entre el área en planta del mismo y la superficie total del piso. La presencia de torretas de altura y masa significativa respecto a la parte restante del edificio se reporta mediante la relación T/H, tal como se indica en la Figura 15. No se deben tener en cuenta las torretas de modesta dimensión tales como chimeneas, escapes de ventilación, etc.

También se reporta la variación de masa en porcentaje $\pm \Delta M/M$ entre dos pisos sucesivos, siendo M la masa del piso más bajo y utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio. La anterior relación puede ser sustituida por la variación de áreas respectivas $\pm \Delta A/A$, evaluando en cualquiera de los dos casos el más desfavorable.

Figura 15. Configuración en elevación de la estructura



8. Distancia máxima entre los muros

Con este parámetro se tiene en cuenta la presencia de muros maestros intersectados por muros transversales ubicados a distancia excesiva entre ellos. Se reporta el factor L/S , donde L es el espaciamiento de los muros transversales y S el espesor del muro maestro, evaluando siempre el caso más desfavorable.

9. Tipo de cubierta

Se tiene en cuenta con este parámetro, la capacidad del techo para resistir fuerzas sísmicas. Se reporta una de las clases:

- A. Edificio con cubierta estable y provisto de viga cumbreira. Edificio con cubierta plana.
- B. Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbreira. Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbreira.
- C. Edificio con cubierta inestable, provista de viga cumbreira.
- D. Edificio con cubierta inestable, sin viga cumbreira.

10. Elementos no estructurales

Se tiene en cuenta con este parámetro la presencia de cornisas, parapetos o cualquier elemento no estructural que pueda causar daño a personas o cosas. Se trata de un parámetro secundario, para fines de la evaluación de la vulnerabilidad, por lo cual no se hace ninguna distinción entre las dos primeras clases. Se reporta una de las clases:

- A. Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
- B. Edificio sin cornisas y sin parapetos. Edificio con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.
- C. Edificio con elementos de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared.
- D. Edificio que presenta chimeneas o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal construidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones construidos posteriormente a la estructura principal y conectados a ésta de modo deficiente.

11. Estado de conservación

Se reporta una de las clases:

- A. Muros en buena condición, sin lesiones visibles.
- B. Muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con excepción de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos.
- C. Muros con lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificio que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería.
- D. Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho.

Cálculos requeridos por los parámetros de naturaleza cuantitativa

Los cálculos requeridos por los parámetros de naturaleza cuantitativa son básicamente de dos tipos: el primer tipo consiste en la aplicación de fórmulas matemáticas sencillas y el segundo tipo consiste en la toma de decisiones con base en condiciones lógicas. Enseguida se explican estos dos tipos de cálculos requeridos por los parámetros 3, 6, 7 y 8. La mayoría de las variables involucradas ya se han explicado.

3 Resistencia convencional

El coeficiente sísmico C, se define como el factor entre la fuerza horizontal resistente al pie del edificio dividido entre el peso del mismo y está dado por la expresión:

$$C = \frac{a_0 \tau_K}{q N} \sqrt{1 + \frac{q N}{1.5 a_0 \tau_K (1 + \gamma)}} \quad (\text{Ecuación 67})$$

donde,

$$A = \min \{A_x; A_y\} \quad (\text{Ecuación 68})$$

$$B = \max\{A_x; A_y\} \quad (\text{Ecuación 69})$$

$$a_0 = A / A_t \quad (\text{Ecuación 70})$$

$$\gamma = B / A \quad (\text{Ecuación 71})$$

$$q = \frac{(A + B)h}{A_t} P_m + P_s \quad (\text{Ecuación 72})$$

El valor de q representa el peso de un piso por unidad de área cubierta y es igual al peso de los muros más el peso del diafragma horizontal, asumiendo que no existen variaciones excesivas de masa entre los diferentes pisos del edificio.

Finalmente, la atribución de este parámetro dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D se hace por medio del factor $\alpha = C / \bar{C}$, en donde \bar{C} es un coeficiente sísmico de referencia que se toma como 0.4.

- A. Edificio con $\alpha \geq 1$.
- B. Edificio con $0.6 \leq \alpha < 1$.
- C. Edificio con $0.4 \leq \alpha < 0.6$.
- D. Edificio con $\alpha < 0.4$.

6 Configuración en planta

La asignación de este parámetro dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A. Edificio con $\beta_1 \geq 0.8$ ó $\beta_2 \leq 0.1$.
- B. Edificio con $0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ ó $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$.
- C. Edificio con $0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ ó $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$.
- D. Edificio con $0.4 > \beta_1$ ó $0.3 < \beta_2$.

7 Configuración en elevación

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A. Edificio con $-\Delta M/M < 10\%$.
- B. Superficie porche $< 10\%$ ó $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$.
- C. Superficie porche $= 10\% \cong 20\%$ ó $-\Delta M/M > 20\%$ ó $T/H < 2/3$.
- D. Superficie porche $> 20\%$ ó $\Delta M/M > 0$ ó $T/H > 2/3$.

8 Distancia máxima entre los muros

La asignación de este parámetro, dentro de una de las cuatro clases, se realiza con base en las condiciones:

- A. Edificio con $L/S < 15$.
- B. Edificio con $15 \leq L/S < 18$.
- C. Edificio con $18 \leq L/S < 25$.
- D. Edificio con $L/S \geq 25$.

4.2.2.9 Metodología Propuesta por Hurtado y Cardona. Esta metodología fue desarrollada por los ingenieros Omar Darío Cardona y Jorge Eduardo Hurtado en 1990 y es una propuesta para calcular la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de uno y dos pisos.¹⁶

➤ Metodología:

A. Determinar la longitud de los muros.

B. Determinar la resistencia a cortante menos favorable, considerando la menor longitud de muros en un plano en el primer piso de la edificación. La resistencia cortante se calcula como:

$$VR = L \times e \times v$$

(Ecuación 73)

¹⁶ Informe de Consultoría Proyecto UNDRO/ACDI/ONAD para Mitigación de Riesgos en Colombia

VR: Cortante resistente.
L: Longitud de los muros.

e: Espesor de los muros.

v: Valor de la resistencia a cortante de los muros. Según ensayos de laboratorio para muros de mampostería (Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes en 1990) $v = 1,50 \text{ Kg/cm}^2$ para mampostería confinada y $v = 0.75 \text{ Kg/cm}^2$ para mampostería no confinada.

C. Calcular el peso de la edificación que es resistido por la estructura (W).

D. Calcular el coeficiente sísmico resistente CSR, es decir, el porcentaje del peso de la edificación que es resistido por la estructura, como cortante horizontal en la dirección más desfavorable.

E. Calcular el coeficiente sísmico exigido CSE a la estructura a partir del espectro de respuesta escogido.

F. Calcular la demanda de ductilidad DD, como la relación entre el coeficiente sísmico exigido CSE y el coeficiente sísmico resistente CSR:

$$DD = \frac{CSE}{CSR}$$

(Ecuación 74)

G. Tomar como valor de referencia de la ductilidad disponible (capacidad de ductilidad). Tomando como base el valor R_o del Código, se recomienda un valor de capacidad de ductilidad de 1.0 para mampostería no confinada y un valor de 1.5 para mampostería confinada.

H. Se pueden clasificar y dibujar los daños de una manera cualitativa de acuerdo con la escala de la Tabla 10, la cual está basada en fundamentos teóricos:

Tabla 10: Clasificación de los daños en función de la demanda de ductilidad

Categoría y estado de daños	Criterio con relación al valor de la demanda de ductilidad (DD)
1. Ninguno	$DD < 0.50 CD$
2. Menores	$0.50 CD < DD < 0.75 CD$
3. Moderados	$0.75 CD < DD < 1.00 CD$
4. Mayores	$1.00 CD < DD < 1.50 CD$
5. Totales	$1.50 CD < DD < 2.00 CD$
6. Colapso	$2.00 CD < DD$

Los efectos en la estructura para cada categoría de daño son:

- Sin daños.
- Daños menores en elementos arquitectónicos.
- Daño generalizados en los elementos arquitectónicos y daños menores en los elementos estructurales.
- Daños generalizados en los elementos estructurales y arquitectónicos.
- Daños en la estructura no reparables, por lo tanto la edificación debe ser demolida y reemplazada.
- Edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.

Este método fue concebido desde un principio para evaluar casas de uno y dos pisos con las exigencias del CCCSR-84 y fácilmente puede ser adaptado a las condiciones sísmicas regionales, es decir, considera efectos locales. Presenta el inconveniente de no considerar las irregularidades en planta y altura pero es posible adaptar las consideraciones de la NSR - 98 con los coeficientes que alteran el valor de R_o . Relaciona directamente el grado de vulnerabilidad reflejado como el valor de la demanda de ductilidad, con la descripción de los posibles efectos sísmicos sobre la estructura.

4.2.2.10 Método ATC-21 . Rapis Visual Screening of Buildings For Potential Seismic Hazards. El método ACT-21, Método de Revisión por Filtro de Peligros Sísmicos Potenciales en edificaciones existentes¹⁷, es un método analítico muy

¹⁷ Cartilla de Ingeniería Estructural encontrada en Internet

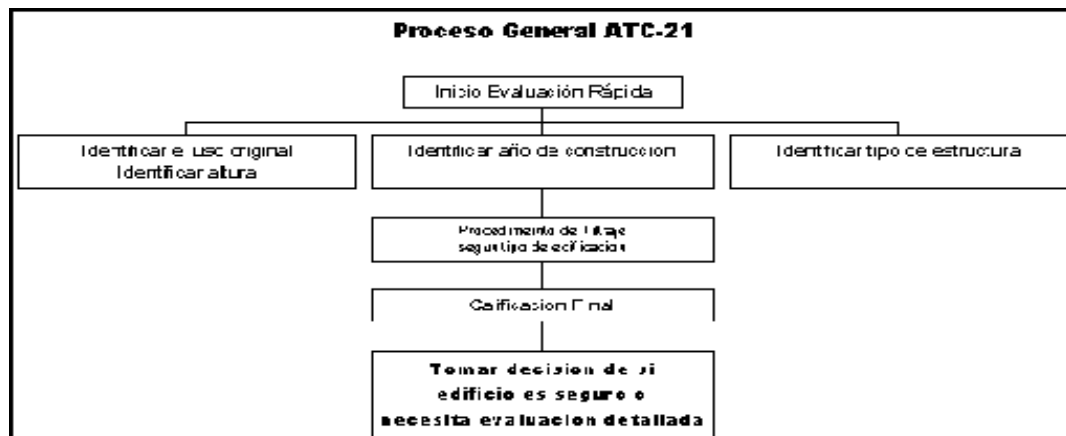
sencillo que se basa simplemente en darle una calificación inicial a una edificación y a medida que se avanza en la revisión, se van filtrando las características estructurales de la edificación y así mismo se le van restando o sumando puntos a la calificación inicial.

El procedimiento comienza por identificar el sistema estructural que resiste las fuerzas sísmicas así como los materiales de los que está compuesto. El puntaje se le irá sumando o restando a la calificación inicial dependiendo de factores tales como:

- Si es de gran altura.
- Si está deteriorado.
- Si tiene irregularidades geométricas.
- Si existen pisos flexibles dentro de la edificación.
- Si existe torsión en planta.

La escala en este método va desde 0 (mal comportamiento sísmico), hasta 6 (muy buen comportamiento). Si una vivienda resulta con una calificación inferior o igual a 2, se requiere que se lleve a cabo una evaluación más detallada tal como la del NSR -98 y la del FEMA-273. Del resultado de la evaluación preliminar las viviendas que resulten deficientes deben ser estudiadas y analizadas por ingenieros estructurales especialistas en diseño sismorresistente. La Figura 16 muestra el proceso general del ATC-21.

Figura 16. Proceso general del ATC-21



4.3 INTERVENCIÓN ESTRUCTURAL

Muchas edificaciones existentes actualmente no cumplen con los requisitos técnicos. Esto significa que su vulnerabilidad a ciertas amenazas naturales puede ser tan alta que su riesgo asociado puede exceder ampliamente los niveles aceptados actualmente. Acciones remediales basadas en conocimientos científicos deben, por lo tanto, llevarse a cabo para reducir el riesgo y garantizar un comportamiento adecuado. Por lo tanto, esta adecuación o refuerzo debe ser consistente con los requisitos ingenieriles actuales y de acuerdo con los requisitos establecidos por los códigos de diseño de cada país.

4.3.1 Reestructuración o rehabilitación. La evaluación del estado de una construcción existente puede hacer surgir serias dudas sobre la capacidad de la misma para soportar eventos sísmicos. En algunos países se han desarrollado campañas de refuerzo de edificaciones existentes para efectos de reducir su vulnerabilidad, previamente a la ocurrencia del evento. En principio, puede pensarse que dicha reducción debería ser obligatoria para edificaciones esenciales para la atención de emergencias derivadas de sismos, que resulte inadecuados.

Algunas de las causas de debilidad en una estructura son:

- *Poca capacidad global de disipación de energía:*
Este problema es usual en edificaciones construidas bajo normas de diseños que no contemplan la resistencia a sismos. En ellos se observan grandes separaciones de estribos en los elementos estructurales, así como poco refuerzo a compresión en vigas en las zonas cercanas a los nudos, y ausencia de confinamiento de estos.
- *Poca resistencia en exceso de la requerida para la atención de las cargas de gravedad*
Esto es lógico en diseños realizados solamente para la atención de dichas cargas, al menos en lo que se refiere a vigas. En cuanto a columnas o muros estructurales, la situación puede ser más o menos crítica debido a la complejidad de la interacción momento-fuerza axial.
- *Errores en el modelo estructural*
Pueden encontrarse errores o inconsistencias de diverso orden en la concepción original de la estructura sometida a cargas verticales. Entre ellos pueden estar el haber ignorado los momentos de flexión en el diseño

de columnas, la concepción de las vigas como simplemente apoyadas al tiempo con su construcción como elementos continuos, etc.

- *Deficiencia de rigidez y resistencia en una o dos direcciones*
En la concepción del diseño exclusivamente para cargas de gravedad con losas en una dirección, no resulta necesaria la presencia de vigas en la dirección de trabajo de la losa. Por esta razón son omitidas frecuentemente. Esto hace que la estructura sea particularmente flexible y débil en este sentido. En el caso de losas en dos direcciones, por otra parte, el problema puede ser mayor si éstas han sido construidas sin vigas, ya que los problemas mencionados se dan en las dos direcciones, y debido a que las losas no están preparadas usualmente para soportar los esfuerzos de corte derivados del sismo.

4.3.2 Posibles soluciones. Después de detectar los elementos, se procede a mejorar la estructura; los siguientes son algunos métodos para lograrlo.

Muros en el exterior: Esta solución se emplea generalmente cuando las limitaciones de espacio y de continuidad de uso de la edificación hacen preferible el trabajo en la periferia. Para asegurar la transmisión de esfuerzos por medio del diafragma a los muros se emplean vigas colectoras en los bordes de la losa.

Contrafuertes: A diferencia de los elementos anteriores, su colocación es perpendicular a la cara de la edificación. Además de aportar rigidez, son útiles para tomar el momento de vuelco en edificaciones esbeltas. Debido a las limitaciones de espacio no siempre son factibles.

Muros en el interior: Cuando las posibilidades de trabajo en el interior de la edificación lo permitan, son una alternativa de necesaria consideración en edificaciones largas, en las cuales la flexibilidad del diafragma deba ser reducida. Se insertan generalmente por medio de perforaciones en los diafragmas, a través de las cuales pasan las barras de refuerzo.

5 DISEÑO METODOLÓGICO

5.1 METODOLOGIA GENERAL

El proceso que se seguirá para la realización de este trabajo comenzará por conocer a fondo la norma sismorresistente con el fin de identificar los títulos que son de mayor utilidad para realizar la evaluación, como lo son el título E, el capítulo A-10 y otra documentación especializada en estos temas como el manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo-resistente de viviendas de mampostería, además se utilizará toda aquella información que pueda ser de utilidad y que se encuentra aislada en diferentes textos, los cuales se nombran en la bibliografía.

Debido a la ausencia de planos arquitectónicos y estructurales de la vivienda a causa de su construcción empírica, se debe hacer el respectivo levantamiento tomando medidas al interior y exterior de la vivienda, y además realizar un análisis de las características de la vivienda por medio de la observación. Para esto se realizarán visitas a la vivienda obteniendo las medidas necesarias para realizar levantamientos, evaluar el estado de esta y observar la calidad de los materiales.

Con esta información se procederá a evaluar la vulnerabilidad sísmica utilizando dos métodos, cualitativo y cuantitativo; el primero basado en el manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo-resistente de viviendas de mampostería y complementado por el título E de la NSR-98 y el segundo siguiendo los pasos que recomienda la norma en el capítulo A-10.

Para la elaboración de planos, evaluación de vulnerabilidad sísmica de la vivienda, organización del trabajo y la realización de su posterior presentación se utilizarán programas de computador como AUTOCAD, Excel, Word, entre otros, además se utilizará un programa para evaluar la vulnerabilidad sísmica realizado por generaciones anteriores y utilizado en trabajos de grado en la Escuela de Ingeniería de Antioquia; el cual será revisado y si es del caso se le realizarán las correcciones pertinentes.

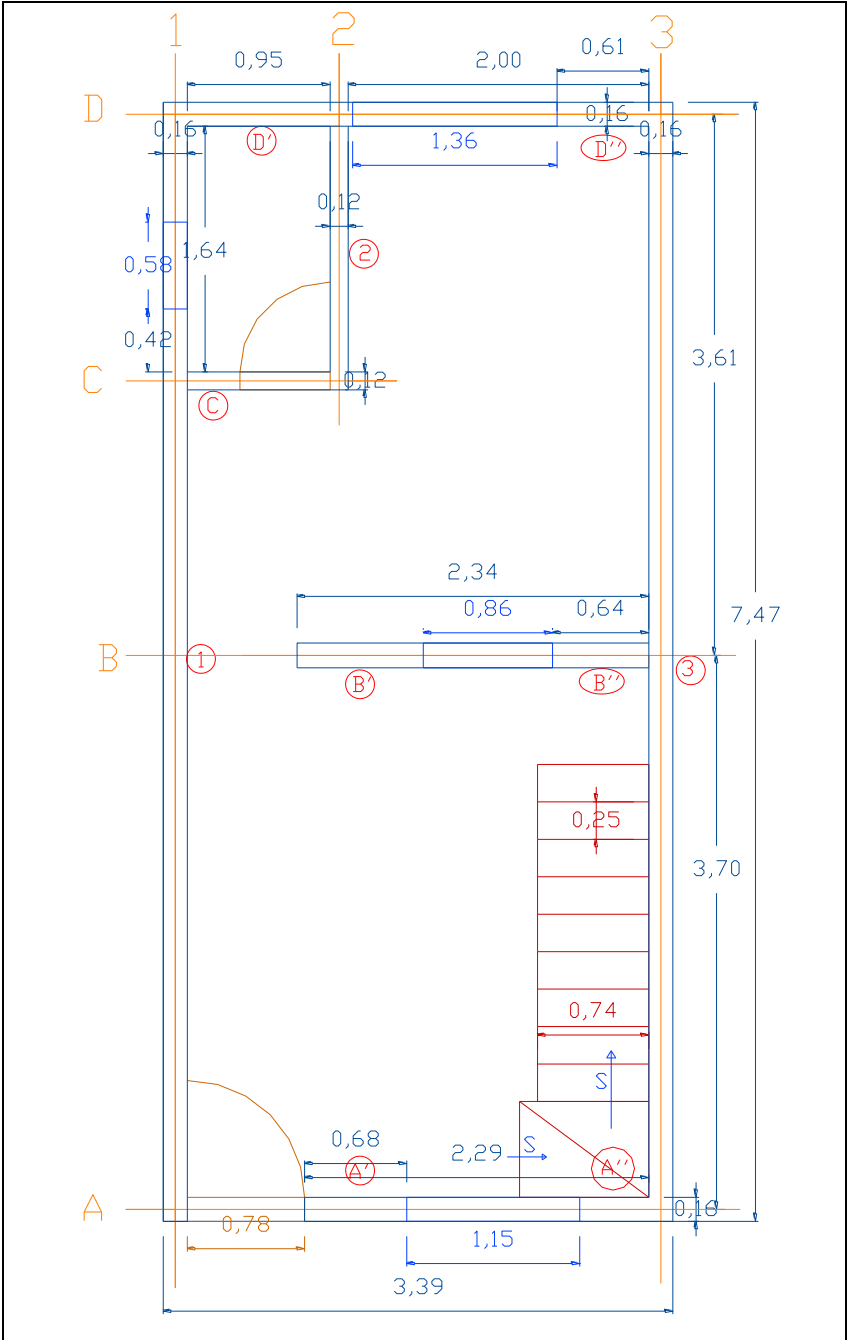
Luego de evaluar la vulnerabilidad sísmica de la vivienda por ambos métodos, se procederá a identificar las características y falencias de cada uno de estos, y si es del caso se realizará una comparación.

Para cumplir con todos los objetivos establecidos anteriormente se contará con el apoyo de la ingeniera civil Maria del Pilar Duque U. quien se encargará de la dirección temática de este trabajo.

6 GALERIA DE PLANOS

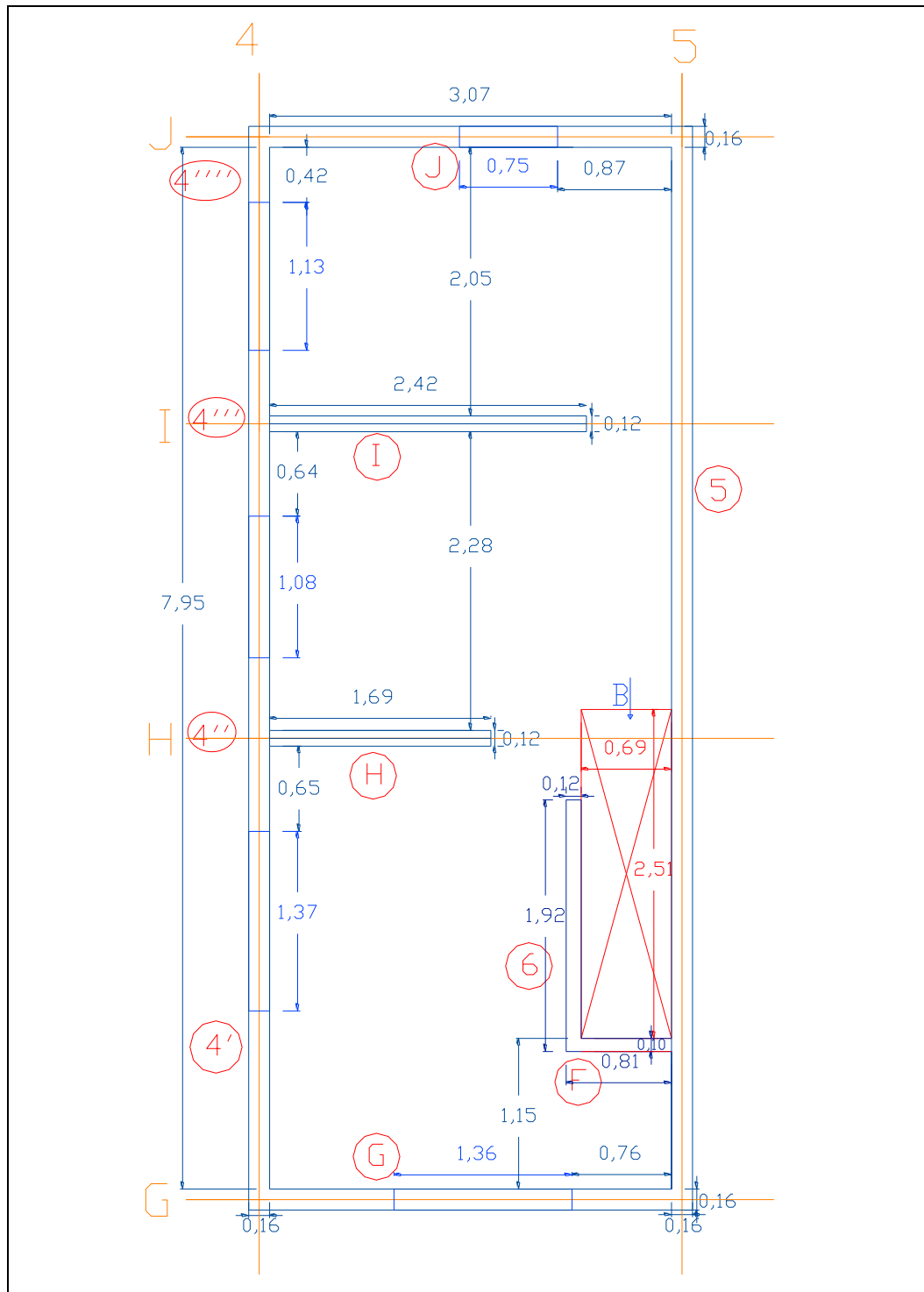
6.1 PLANOS ARQUITECTÓNICOS

PRIMER NIVEL



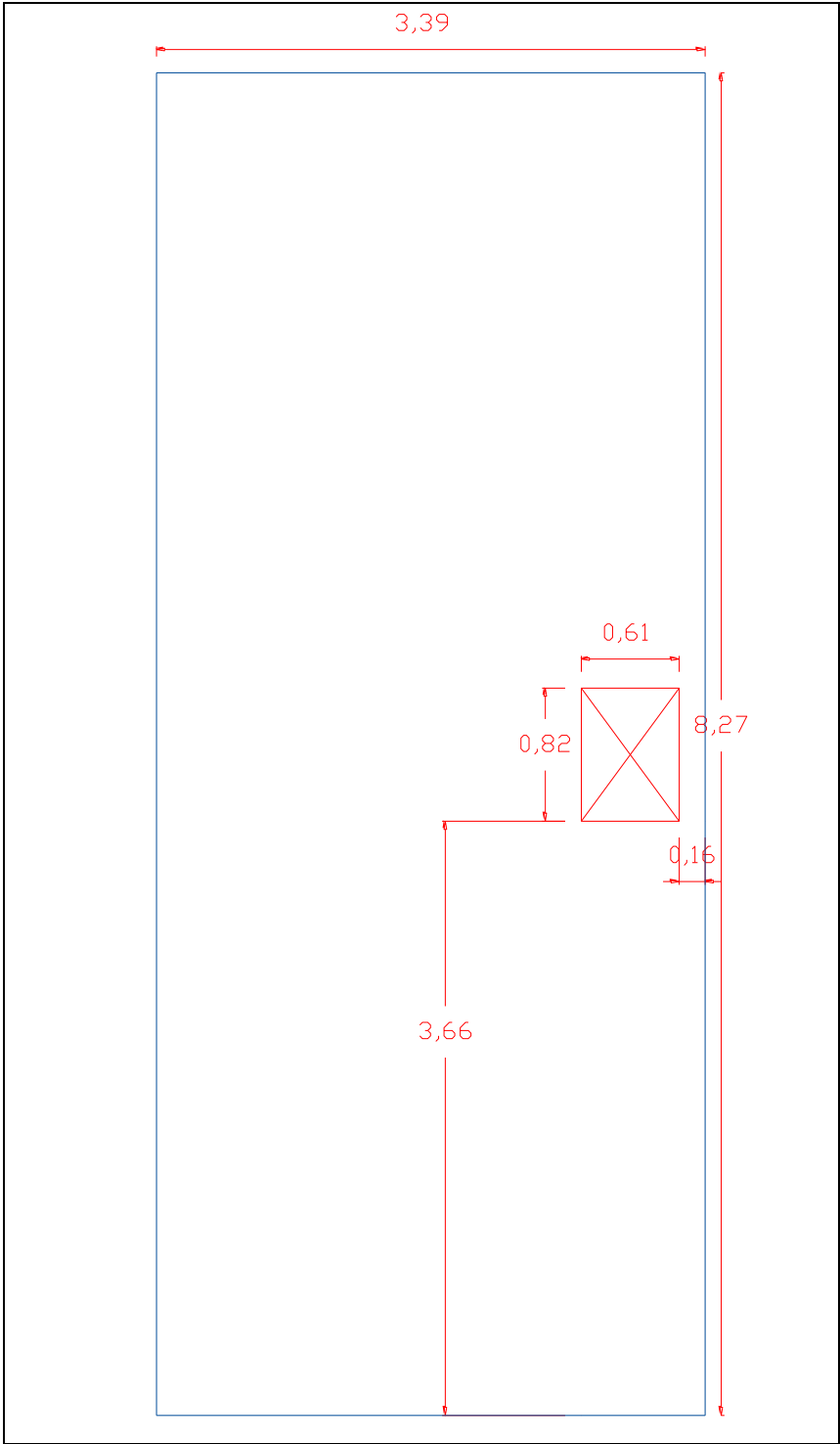
Plano I: Plano arquitectónico del primer nivel

SEGUNDO NIVEL



Plano II: Plano arquitectónico del segundo nivel

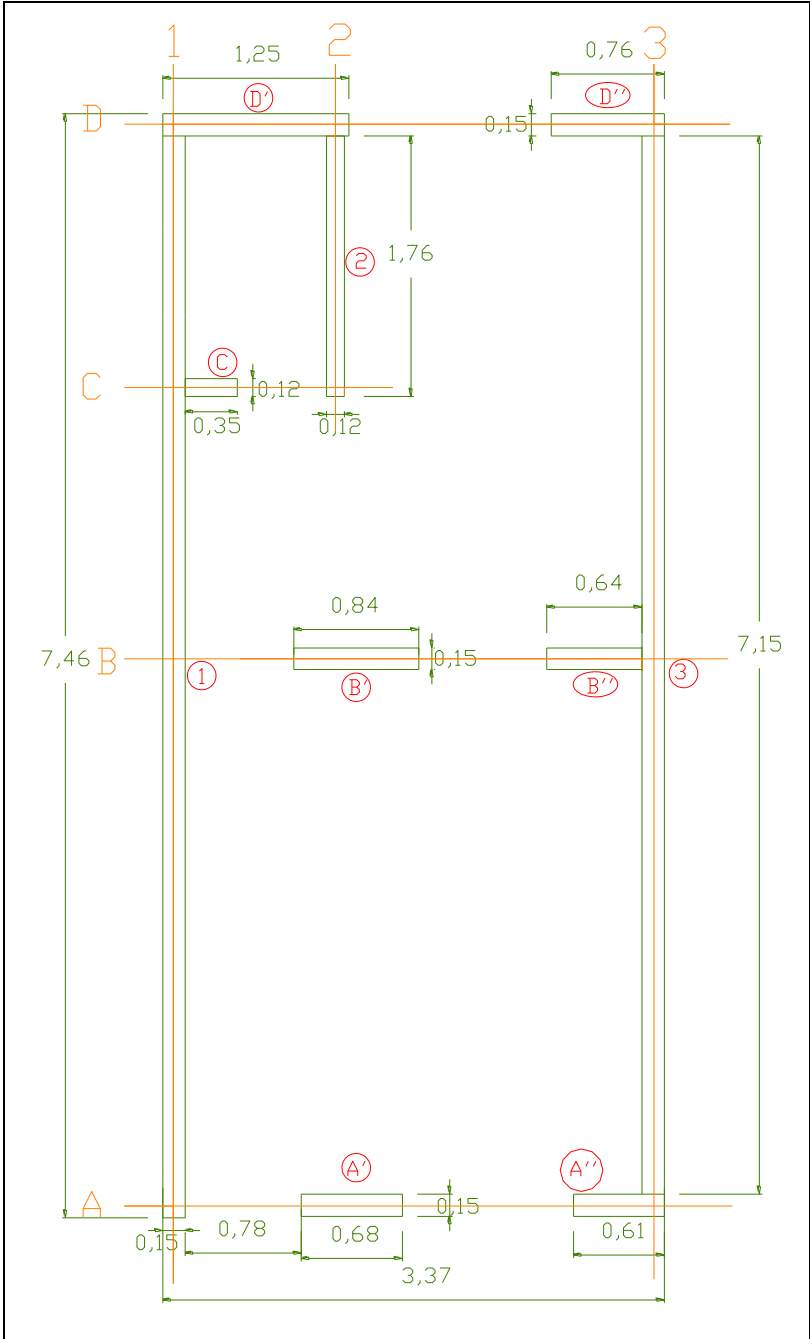
LOSA CUBIERTA



Plano III: Plano arquitectónico losa de cubierta

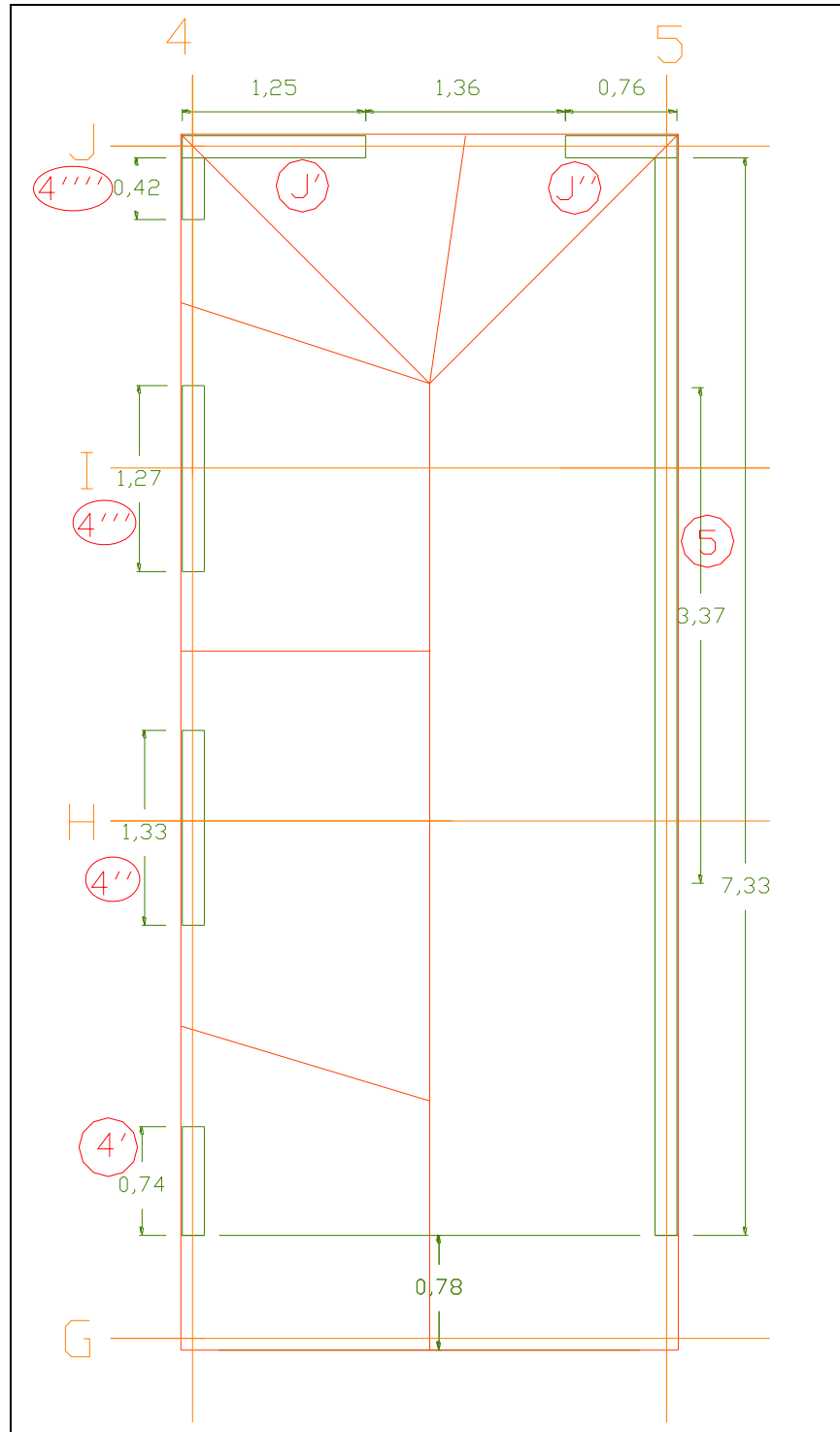
6.2 PLANOS ESTRUCTURALES

PRIMER NIVEL



Plano IV: Plano estructural primer nivel

SEGUNDO NIVEL



Plano V: Plano estructural segundo nivel

7 MÉTODO CUANTITATIVO PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

Se verificará por medio del método cuantitativo de la NSR-98, la vulnerabilidad sísmica de edificaciones, las cuales fueron construidas sin tener en cuenta las recomendaciones de la norma NSR-98.

Después de visitar la edificación y de indagar la manera como fue construida y los materiales utilizados en ésta, se puede decir que no se realizó con un proceso técnico y que los materiales utilizados no son los mejores.

7.1 CRITERIOS DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE

Se quiere determinar si la edificación está en capacidad de resistir adecuadamente las cargas que pide la norma NSR-98. Para esto se debe establecer una equivalencia entre lo que pide el reglamento para estructuras nuevas y lo que la estructura está en capacidad de resistir en su estado actual. Se seguirá el proceso que recomienda la norma en el capítulo A-10 el cual presenta unos criterios que pueden utilizarse en la verificación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes antes de la vigencia de la presente versión de la NSR-98, dando el nivel de seguridad en comparación de lo que el Reglamento exigiría a una edificación nueva.

7.2 MOVIMIENTOS SÍSMICOS

Deben utilizarse los movimientos sísmicos de diseño que prescribe la norma, esto depende del lugar en que se encuentra la edificación y del grupo de uso que ésta tiene.

7.2.1 Período de vibración (T)

$$T \approx T_a \quad (\text{Ecuación 75})$$

$$T_a = C_t h_n^{3/4} \quad (\text{Ecuación 76})$$

Según la norma NSR-98 cuando se tienen sistemas diferentes a pórticos el valor de C_t es de 0.05; y h_n es la altura de la edificación.

$$T_a = 0.05 \times (4.7)^{3/4} \quad (\text{Ecuación 77})$$

$$T_a = 0.1596 \text{ Seg} \quad (\text{Ecuación 78})$$

7.2.2 k (Exponente relacionado con el período fundamental T)

$k = 1$ Para T menor o igual a 0.5 segundos

$k = 0.75 + 0.5T$ Para T entre 0.5 y 2.5 segundos

$k = 2$ Para T mayor que 2.5 segundos

Como se tiene un periodo $T = 0.1596 \text{ seg}$ entonces $k = 1$

7.2.3 Espectro de diseño. S_a corresponde al valor de la aceleración, como fracción de la gravedad, leída en el espectro para el período T de la edificación.

Según la NSR-98:

Zona sísmica intermedia

- Lugar: Medellín

- A_a : 0.20
- S_2 : 1.2 (Coeficiente de sitio)
- I : 1.0 (Coeficiente de importancia)

En la siguiente gráfica que es el espectro de diseño, se busca en que rango se encuentra el período T y se encuentra el valor de S_a con la ecuación que representa dicho rango.

Figura 17. Espectro de diseño

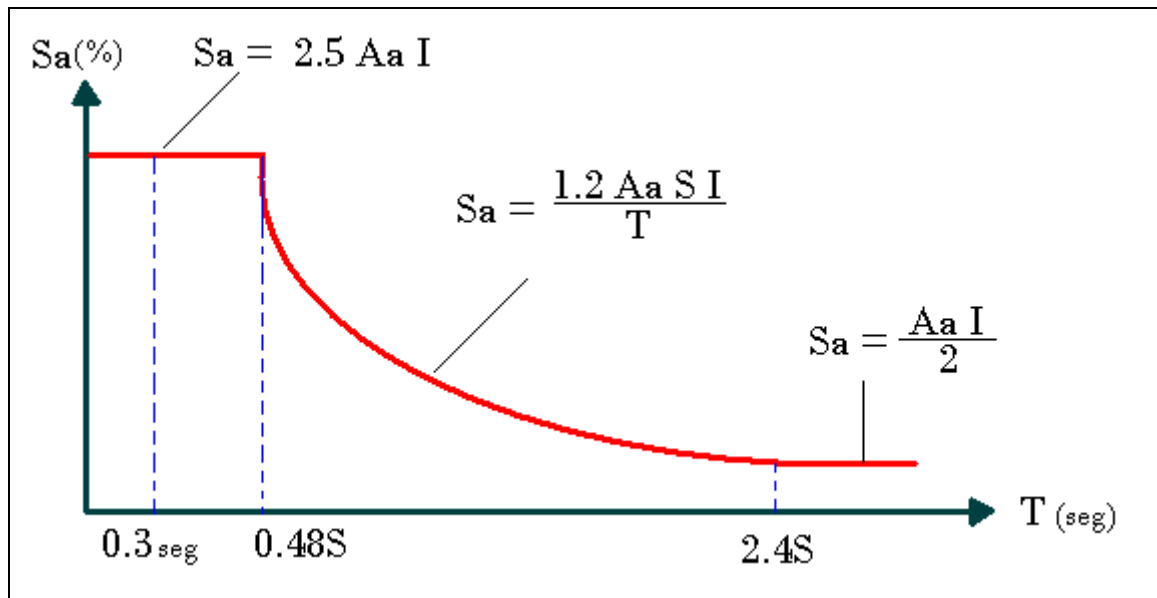


Tabla de cálculo 1 : Datos espectro de diseño

T(segundos)	0,1545
0,48*S	0,576
2,4*S	2,88

Como el período de vibración T se encuentra en el primer rango, se utilizará la siguiente ecuación para encontrar el valor de S_a .

$$S_a = 2.5 \cdot A_a \cdot I$$

(Ecuación 79)

$$S_a = 2.5 \cdot (0.20) \cdot (1.0)$$

$$S_a = 0.5$$

7.3 CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

El sistema estructural lo conforman muros estructurales que resisten tanto cargas verticales como horizontales y una losa maciza que resiste las cargas verticales y cuando se presentan cargas horizontales, actúa como diafragma, haciendo que todos los muros se desplacen de igual manera.

El sistema estructural debe ser clasificado en la tabla A.3-1 de la NSR-98, la vivienda en cuestión se ubica en un sistema estructural de muros de mampostería no reforzada (DMI – no tiene capacidad de disipación de energía). No se permite este tipo de sistema en zona de amenaza sísmica alta, ni intermedia, solo es permitido en zona de amenaza sísmica baja y únicamente hasta dos niveles de altura, por lo tanto como esta vivienda está construida en Medellín (zona de amenaza sísmica intermedia), desde este paso se puede decir que es vulnerable sísmicamente.

7.3.1 Clasificación del sistema en mampostería estructural. La edificación está construida con base en piezas de mampostería de perforación horizontal unidas por medio de mortero y una losa maciza de 10cm de espesor en concreto reforzado. Debido a que la vivienda ya está construida no se conoce el tipo de refuerzo que tienen los muros, entonces, por seguridad en los resultados de análisis se puede considerar que la vivienda sólo fue construida con piezas de mampostería sin ningún tipo de refuerzo. Los muros de la vivienda están confinados horizontalmente por diafragmas pero verticalmente no tiene elementos en concreto que los confinen.

Según lo dicho anteriormente este sistema es de muros de mampostería no reforzada, no confinada y con una capacidad mínima de disipación de energía (DMI).

7.4 REVISIÓN DEL ESPESOR DE LA LOSA

Para revisar el espesor de la losa se utiliza la Tabla 11 y luego se escoge el valor que a criterio cumple con los requerimientos.

La Tabla 11 muestra los espesores mínimos que se recomiendan para no tener que calcular deflexiones ya sea para losas macizas que sostienen muros divisorios y/o particiones frágiles (Md Pf) o para losas macizas que NO sostienen muros divisorios y/o particiones frágiles(N Md Pf).

Tabla 11: Espesores mínimos de losa (H)

ELEMENTO	ESPESOR MINIMO H			
	Simple/ apoyado	Un apoyo continuo	Ambos apoyos continuos	Voladizos
Losas MACIZAS (Md Pf)	L/14	L/16	L/19	L/7
Losas MACIZAS (N Md Pf)	L/20	L/24	L/28	L/10

Se trabajará con las losas macizas que no sostienen muros divisorios ni particiones frágiles ya que en este caso se está velando por la seguridad de la vivienda y por los imperfectos estéticos que puedan darse en sus elementos.

Para la revisión de estos espesores se analizará como si la losa trabajará en cualquiera de las direcciones, es decir, se tomarán todas las luces posibles en los dos sentidos. En el caso que este definido el sentido en que trabaja la losa, solo se deberían tomar las luces en ese sentido.

Tabla de cálculo 2 : Espesor de la losa

TIPO DE APOYO	LUZ (m)	H LOSAS MACIZAS (Md Pf)	H LOSAS MACIZAS (N Md Pf)
Simple/apoyado	3,22	0,23	0,16
Un apoyo continuo	3,61	0,23	0,15
	3,7	0,23	0,15
	2,15	0,13	0,09
	1,085	0,07	0,05
Voladizos	0,8	0,11	0,08

Según esto la losa debería tener un espesor mínimo de 16cm para que no se presenten deflexiones excesivas, sin embargo para que esta se comporte como un diafragma rígido puede tener un espesor de 5cm y en la realidad la vivienda se construyó con 10cm de espesor. El requisito de cumplimiento de esta recomendación es solo para no tener que calcular deflexiones y no tener que hacer una verificación de esta con las máximas estipuladas. En este caso la losa tiene un espesor menor al recomendado, por lo tanto si fuera nueva habría que hacer un chequeo de las posibles deflexiones, pero debido a que esta ya está construida y no ha presentado problemas de deflexión se asume que la losa está trabajando bien y esto se puede ver porque no se han presentado grietas en particiones ni divisiones.

7.5 COEFICIENTE DE CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico, R_0 , multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura y en planta ($R = \phi_a \phi_p R_0$). Si después de obtener este valor se encuentra que es menor que la unidad, no es necesario realizar esta reducción, por lo tanto, R será igual a la unidad.

7.5.1 Coeficiente de disipación de energía básico (R_0). Para determinar el valor de R_0 , se debe analizar que tipo de sistema estructural se tiene, en este caso por tratarse de muros de mampostería no reforzada ni confinada se puede concluir que no se tiene nada que le dé ductilidad a la estructura, por lo tanto el coeficiente de disipación de energía es $R_0 = 1$

7.5.2 Irregularidad en planta (ϕ_p). ϕ_p Es un factor que castiga el valor de R cuando se tienen irregularidades en planta como pueden ser:

- Irregularidad torsional.
- Retrocesos en las esquinas.
- Irregularidad del diafragma.
- Desplazamiento de los planos de acción.
- Sistemas no paralelos.

La edificación que se está analizando presenta desplazamiento en los planos de acción ya que la losa del segundo piso tiene una de sus dos longitudes mayor, comparándola con la losa de cimentación como se puede observar en la foto. Por esto, el valor debería ser $\phi_p = 0.8$; sin embargo, como la intención de este factor es reducir el coeficiente R_0 y éste es igual a la unidad, no tiene sentido volverlo más pequeño (menor que uno) debido a que la intención no es aumentar las cargas sino aliviarlas cuando se está en un caso en el cual el sistema tenga ductilidad. Por lo tanto $\phi_p = 1$.

Ilustración 1 : Irregularidad en planta (desplazamiento en los planos de acción)



7.5.3 Irregularidad en altura (ϕ_a). También se tiene otro factor que castiga el valor de R y se da por irregularidades en altura (ϕ_a). Estas irregularidades pueden ser por:

- Piso flexible (irregularidad en rigidez).
- Irregularidad en la distribución de las masas.
- Irregularidad geométrica.
- Desplazamiento dentro del plano de acción.
- Piso débil, discontinuidad en la resistencia.

La edificación no presenta irregularidades en altura por lo tanto $\phi_a = 1$.

Tabla de cálculo 3 : Coeficiente de disipación de energía

PARAMETROS SISMICOS	
$R_o =$	1
$\Phi_p =$	1
$\Phi_a =$	1
R =	1

7.6 DETERMINACIÓN DE CARGAS VERTICALES

7.6.1 Carga muerta. La carga muerta de la losa incluye su peso, el peso de los muros divisorios que esta carga y también los acabados que lleva la vivienda; sin embargo por tratarse de una vivienda de estrato bajo, en este momento no tiene cerámicas ni ningún tipo de piso aparte de un mortero; por lo tanto por la posibilidad de que el propietario pueda instalarlo después se trabajará con unos acabados básicos.

1. Peso propio de losa

$$W = e \times \gamma_{\text{Concreto}}$$

(Ecuación 80)

$$W = 0.1m \times 2400 \text{ Kgf} / m^3$$

$$W = 240 \text{ Kgf} / m^2$$

2. Peso de divisiones y particiones

La norma recomienda una carga por divisiones y particiones de 300Kgf/m² a 350Kgf/m², pero este valor lo tiene la norma como un promedio de sus investigaciones; lo mejor que se puede hacer es estimar esta carga de acuerdo con la densidad de muros que tenga en realidad la vivienda.

Los muros que se deben evaluar son los que la losa carga directamente, es decir, los que no son continuos en toda la altura de la edificación (no cargueros) sino que nacen en el piso que se evalúa esta carga; en este caso por ser una vivienda de 2 niveles se evalúan los que soporta directamente la losa de entrepiso.

- Peso de mampostería en ladrillo hueco = 1300Kgf/m³
- Peso estuco, revoque y pintura = 1000Kgf/m³
- Espesor estuco, revoque y pintura = 1.5cm ambas caras

➤ Divisiones y particiones en losa de entrepiso

Tabla de cálculo 4 : Divisiones y particiones

DIVISIONES Y PARTICIONES						
ELEMENTO	LONGITUD	ESPEJOR	ALTURA (h)	VOLUMEN MUROS	AREA MUROS	PESO
Muro G	3.07 m	0.15 m	2.25 m	0.93m ³	6.91m ²	1315 Kgf
Muro H	1.69 m	0.12 m	2.25 m	0.46m ³	3.80m ²	650 Kgf
Muro I	2.42 m	0.12 m	2.25 m	0.65m ³	5.45m ²	931 Kgf
Muro 6	1.92 m	0.1 m	1.1 m	0.21m ³	2.11m ²	306 Kgf
Muro F	0.71 m	0.1 m	1.1 m	0.08m ³	0.78m ²	113 Kgf
TOTAL MUROS				2.33m ³	19.05m ²	3316 Kgf
126 Kgf/m ²						

$$W_{Particion\text{E}} = \frac{Vol_{Muros} \cdot \gamma_{muros}}{Area_{Losa}} + \frac{Vol_{Muros} \cdot \gamma_{E,R y P}}{Area_{Losa}} \quad (\text{Ecuación 81})$$

$$W_{Particion\text{E}} = \frac{2.33m^3 \times 1300 \text{ Kgf} / m^3}{26.3m^2} + \frac{1000 \text{ Kgf} / m^3 \cdot 0.015m \cdot 19.05m^2}{26.3m^2}$$

$$W_{Particion\text{E}} = 126 \text{ Kgf} / m^2$$

➤ Divisiones y particiones en losa de cubierta

La losa de cubierta no posee divisiones ni particiones debido a que no se tiene ninguna construcción sobre ésta.

3. Peso de acabados

La carga producida por los acabados de los pisos debe evaluarse para los materiales que se van a utilizar en cada uno de los pisos de la edificación. Cuando no se realice un análisis detallado, puede utilizarse 150Kgf/m² en pisos y terrazas.

Como la casa no cuenta con acabados a excepción de un mortero; pero en un futuro los puede tener se trabajara con 150Kgf/m² que es la carga que recomienda la NSR-98 B.3.6

4. Total carga muerta

➤ Losa de entrepiso

Tabla de cálculo 5 : Carga muerta losa de entrepiso

DIVISIONES Y PARTICIONES
126 Kgf/m ²

PESO PROPIO		
LOSA ENTREPISO	2,63 m3	6313 Kgf
240 Kgf/m2		
ACABADOS		
ACABADOS LOSA		3946 Kgf
150 Kgf/m2		

$$W_{TOTAL} = W_{P,propio} + W_{Particiones} + W_{Acabados} \quad (\text{Ecuación 82})$$

$$W_{TOTAL} = 240 \text{ Kgf} / m^2 + 126 \text{ Kgf} / m^2 + 150 \text{ Kgf} / m^2$$

$$W_{TOTAL} = 516 \text{ Kgf} / m^2$$

➤ Losa de cubierta

La carga muerta de la losa de cubierta no incluye acabados ni divisiones ni particiones, sólo es el peso propio de la losa.

Tabla de cálculo 6 : Carga muerta losa de cubierta

LOSA CUBIERTA	
Losa	6553 Kgf
CARGA MUERTA	
240 Kgf/m2	

7.6.2 Carga viva. Las cargas vivas que se utilicen en el diseño de la estructura deben ser las máximas cargas que se espera que ocurran en la edificación según el uso que esta va a tener. En ningún caso estas cargas vivas pueden ser menores que las cargas vivas mínimas.

La carga recomendada para una vivienda según la NSR-98 B.4.2.1 es de 180Kgf/m²

7.6.3 Carga total

$$CT = Cv + Cm \quad (\text{Ecuación 83})$$

➤ Losa de entrepiso

$$CT = 180 \text{ Kgf} / m^2 + 516 \text{ Kgf} / m^2 \quad (\text{Ecuación 84})$$

$$CT = 696 \text{ Kgf} / m^2$$

➤ Losa de cubierta

$$CT = 180 \text{ Kgf} / m^2 + 240 \text{ Kgf} / m^2 \quad (\text{Ecuación 85})$$

$$CT = 420 \text{ Kgf} / m^2$$

En la actualidad la vivienda está resistiendo las cargas verticales y esto se puede ver porque ésta no ha colapsado, sin embargo más adelante estas cargas se utilizarán para determinar que esfuerzos a compresión generan estas en los muros. Aunque este no es el objetivo de este trabajo, se verificará porque cuando se presenta un sismo las cargas verticales también están presentes, generando esfuerzos adicionales a los que generan las fuerzas horizontales en los muros.

7.7 DETERMINACIÓN DE CARGAS SÍSMICAS SEGÚN EL MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE

Para la determinación de las fuerzas sísmicas se utilizará el método de la fuerza horizontal equivalente el cual calcula el cortante sísmico en la base de acuerdo con el peso de la estructura y luego hace la repartición de la fuerza en la altura, para posteriormente repartirlas en cada uno de los muros.

7.7.1 Peso correspondiente a cada losa. Para determinar la carga sísmica, por el método de la fuerza horizontal equivalente, se deben tener en cuenta los pesos que corresponden a cada losa, es decir, a la losa de entrepiso y a la losa de cubierta; el peso de la losa de cimentación y el de la mitad de los muros del primer nivel no se tienen en cuenta debido a que se asume que estos vibran de la misma manera que el suelo para facilitar los cálculos; el peso correspondiente a la losa de entrepiso es la losa como tal y la mitad de los muros tanto del primero como del segundo nivel y el de la losa de cubierta corresponde a su peso y al de la mitad de los muros del segundo nivel.

1. Peso de la losa de entrepiso

Datos sobre la losa de entrepiso:

- Área = $8.25\text{m} \times 3.37\text{m} - 0.69\text{m} \times 2.51\text{m}$
Área = 26.07m^2
- Centroide = X = 1.605m Y = 4.29m

Muros aferentes a la losa de entrepiso

Tabla de cálculo 7 : Peso y centroide de la losa de entrepiso y muros aferentes

ELEMENTO	VOLUMEN	AREA	PESO	CENTROIDE	
				X	Y
MITAD DE LOS MUROS DEL PRIMER PISO					
Muro A'	0,115m ³	0,77m ²	161 Kgf	1,27 m	0,855 m
Parapeto A'-A"	0,176m ³	1,17m ²	246 Kgf	2,185 m	0,855 m
Muro A"	0,103m ³	0,69m ²	144 Kgf	3,065 m	0,855 m
Muro D'	0,211m ³	1,41m ²	295 Kgf	0,625 m	8,175 m
Parapeto D'-D"	0,249m ³	1,66m ²	348 Kgf	1,93 m	8,175 m
Muro D"	0,128m ³	0,86m ²	180 Kgf	2,99 m	8,175 m
Muro 1	1,392m ³	9,28m ²	1949 Kgf	0,075 m	4,515 m
Muro 3	1,392m ³	9,28m ²	1949 Kgf	3,295 m	4,515 m
Muro 2	0,238m ³	1,98m ²	339 Kgf	1,16 m	7,52 m
Muro B'	0,113m ³	0,95m ²	162 Kgf	1,3 m	4,555 m
Parapeto B'-B"	0,118m ³	0,98m ²	168 Kgf	2,15 m	4,555 m

ELEMENTO	VOLUMEN	AREA	PESO	CENTROIDE	
				X	Y
MITAD DE LOS MUROS DEL PRIMER PISO					
Muro B"	0,086m3	0,72m2	123 Kgf	2,9 m	4,555 m
MITAD DE LOS MUROS DEL SEGUNDO PISO					
Muro G	0,518m3	3,45m2	725 Kgf	1,685 m	0,075 m
Muro J'	0,211m3	1,41m2	295 Kgf	1,685 m	8,175 m
Parapeto J'-J"	0,224m3	1,50m2	314 Kgf	0,625 m	8,175 m
Muro J"	0,128m3	0,86m2	180 Kgf	1,93 m	8,175 m
Muro 4'	0,125m3	0,83m2	175 Kgf	2,99 m	8,175 m
Parapeto 4'-4"	0,210m3	1,40m2	293 Kgf	0,075 m	2,205 m
Muro 4"	0,224m3	1,50m2	314 Kgf	0,075 m	3,555 m
Parapeto 4"-4'''	0,146m3	0,97m2	204 Kgf	0,075 m	4,76 m
Muro 4'''	0,214m3	1,43m2	300 Kgf	0,075 m	5,935 m
Parapeto 4'''-4''''	0,180m3	1,20m2	252 Kgf	0,075 m	7,135 m
Muro 4''''	0,071m3	0,47m2	99 Kgf	0,075 m	7,91 m
Muro 5	1,392m3	9,28m2	1949 Kgf	3,295 m	4,125 m
Muro H	0,228m3	1,90m2	325 Kgf	0,995 m	3,59 m
Muro I	0,327m3	2,72m2	466 Kgf	1,36 m	5,99 m
Muro 6	0,211m3	2,11m2	306 Kgf	2,48 m	2,16 m
Muro F	0,078m3	0,78m2	113 Kgf	2,885 m	1,25 m
LOSA DE ENTREPISO					
Losa	2,630m3		6312,82 Kgf	1,605 m	4,29 m
Acabados Losa	1,644m3		3945,51 Kgf	1,605 m	4,29 m

➤ Centroide:

$$X = \frac{X_i \cdot W_i}{\sum W_i} \quad (\text{Ecuación 86})$$

$$Y = \frac{Y_i \cdot W_i}{\sum W_i} \quad (\text{Ecuación 87})$$

Tabla de cálculo 8 : Peso y centroide de la losa entrepiso

PESO 2do PISO	CENTROIDE	
	X	Y
22633Kgf	1,633m	3,640m

2. Peso de la losa de cubierta

- Área = $8.25\text{m} \times 3.37\text{m} - 0.82\text{m} \times 0.61\text{m}$
Área = 27.3m^2
- Centroide X = 1.673m Y = 4.135m

Tabla de cálculo 9 : Peso y centroide de la losa de cubierta y muros aferentes

ELEMENTO	VOLUMEN	AREA	PESO	CENTROIDE	
				X	Y
MITAD DE LOS MUROS DEL SEGUNDO PISO					
Muro G	0,518m ³	3,45m ²	725 Kgf	1,685 m	0,075 m
Muro J	0,211m ³	1,41m ²	295 Kgf	1,685 m	8,175 m
Parapeto J'-J"	0,051m ³	0,34m ²	71 Kgf	0,625 m	8,175 m
Muro J"	0,128m ³	0,86m ²	180 Kgf	1,93 m	8,175 m
Muro 4'	0,125m ³	0,83m ²	175 Kgf	0,075 m	1,15 m
Parapeto 4'-4"	0,051m ³	0,34m ²	72 Kgf	0,075 m	2,205 m
Muro 4"	0,224m ³	1,50m ²	314 Kgf	0,075 m	3,555 m
Parapeto 4"-4'''	0,041m ³	0,27m ²	57 Kgf	0,075 m	4,76 m
Muro 4'''	0,214m ³	1,43m ²	300 Kgf	0,075 m	5,935 m
Parapeto 4'''-4''''	0,042m ³	0,28m ²	59 Kgf	0,075 m	7,135 m
Muro 4''''	0,071m ³	0,47m ²	99 Kgf	0,075 m	7,91 m
Muro 5	1,392m ³	9,28m ²	1949 Kgf	3,295 m	4,125 m
Muro H	0,228m ³	1,90m ²	325 Kgf	0,995 m	3,59 m
Muro I	0,327m ³	2,72m ²	466 Kgf	1,36 m	5,99 m
Muro 6	0,211m ³	2,11m ²	306 Kgf	2,48 m	2,16 m
Muro F	0,078m ³	0,78m ²	113 Kgf	2,885 m	1,25 m

ELEMENTO	VOLUMEN	AREA	PESO	CENTROIDE	
				X	Y
LOSA DE CUBIERTA					
Losa	2,73023 m	27,30 Kgf	6552,55 Kgf	1,673 m	4,135 m

Tabla de cálculo 10 : Peso y centroide de la losa de cubierta

PESO 2do PISO	CENTROIDE	
	X	Y
12059,56 Kgf	1,748m	3,851m

7.7.2 Repartición de la fuerza sísmica en cada piso

1. Peso Total de la edificación (W)

$$W_{VIVIENDA_i} = W_{LOSA ENTREPISO} + W_{LOSACUBIERTA} \quad (\text{Ecuación 88})$$

$$W_{VIVIENDA_i} = 22633 \text{ Kgf} + 12059 \text{ Kgf}$$

$$W_{VIVIENDA_i} = 34692 \text{ Kgf}$$

$$W_{VIVIENDA_i} = 347 \text{ KN}$$

2. Cortante basal (V_s)

El cortante sísmico en la base, V_s , equivale a la totalidad de los efectos horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño.

$$V_s = m \cdot g \cdot S_a \quad (\text{Ecuación 89})$$

$$V_s = W \cdot S_a \quad (\text{Ecuación 90})$$

$$V_s = (347 \text{ KN}) \cdot (0.5)$$

$$V_s = 173 \text{ KN}$$

3. Coeficiente C_{vx} para determinar la fuerza sísmica en cada piso

Este porcentaje reparte el cortante basal (V_s) en los diferentes niveles de la edificación y depende de la masa y altura de cada piso.

$$C_{vx} = \frac{m \cdot h_n^k}{\sum m \cdot h_n^k} \quad (\text{Ecuación 91})$$

4. Fuerza correspondiente a cada piso (F_{sp})

$$F_{sp} = C_{vx} \cdot V_s \quad (\text{Ecuación 92})$$

Tabla de cálculo 11 : Fuerza correspondiente a cada piso

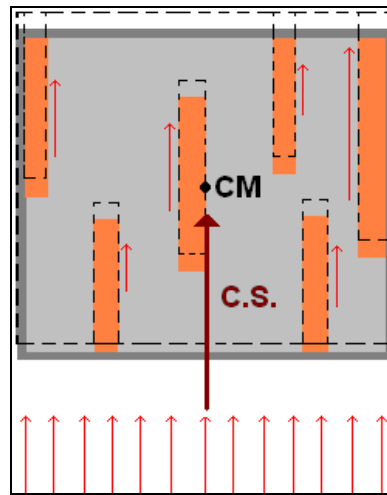
NIVEL	h piso	hn	W piso	hnk	Whnk	C_{vx}	F_{sp}	C.S.
	(m)	(m)	(KN)	(m)	(KN*m)	(%)	(KN)	(KN)
2	2,35	4,7	121	4,70	567	0,52	89	89
1	2,35	2,35	226	2,35	532	0,48	84	173
Σ	4,7		347	7	1099	1	173	

7.7.3 Repartición de fuerza sísmica en cada muro. La fuerza sísmica que le corresponde a cada muro se genera por dos efectos, el primero se genera cuando la losa por actuar como un diafragma hace que exista la misma traslación en todos los muros y estos de acuerdo a la rigidez propia absorben parte de esta carga, y el

segundo cuando la fuerza que se genera por la torsión que se presenta cuando el centro de masa no coincide con el centro de rigidez y por lo tanto el diafragma rígido rota, generando fuerzas adicionales en los muros. Ambos efectos se presentaran por separado a continuación:

1. Fuerza debido a la traslación que genera la cortante sísmica en la losa

Figura 18. Fuerza en muros por traslación



- Modulo de elasticidad de los elementos estructurales

Según la norma NSR-98 en la ecuación D.5-5:

$$E = f' \cdot K_a$$

(Ecuación 93)

$$E = 27 \text{ Kgf} / \text{cm}^2 \cdot 750$$

$$E = 20250 \text{ Kgf} / \text{cm}^2$$

f' : Resistencia a la compresión del material del elemento. Se determina a partir de ensayos de laboratorio sobre los materiales de la edificación, en este caso muros de mampostería. Para esta trabajo de grado no se

realizaron ensayos a los materiales de la vivienda, por lo tanto se consulto en el laboratorio Construlab Ltda., el cual tiene un promedio de los muretes de mampostería con perforación horizontal fallados a compresión en su laboratorio para diferentes obras, y con esto se hara una analogía. El valor obtenido fue $f'm_a = 27\text{Kgf/cm}^2$.

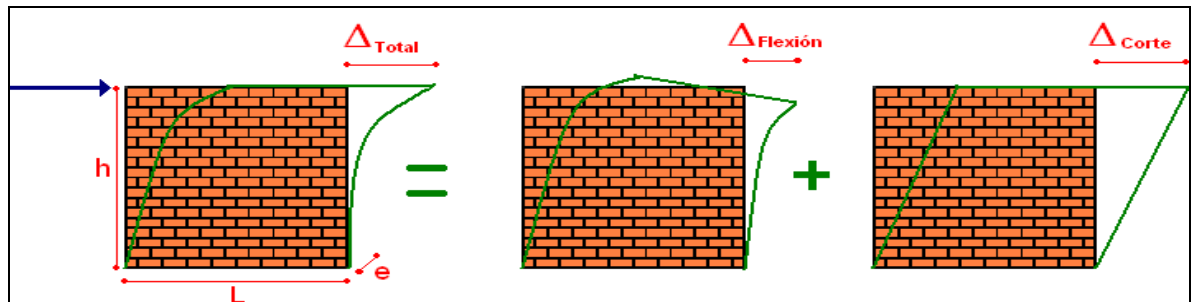
K_a : es la constante del módulo de elasticidad de los elementos de mampostería de arcilla ($K_a = 750$). Según la ecuación D.5-5 de la NSR-98.

➤ Rigidez lateral de los elementos estructurales

La rigidez es igual a la fuerza necesaria para causar un desplazamiento unitario en el elemento. Para muros se calcula teniendo en cuenta deformaciones por flexión (primer término) y por cortante (segundo término).

Si se asume que los muros son voladizos, se desprecia la rigidez que aporta la intersección con otros muros y se aplica el método del trabajo virtual, se tiene lo siguiente al aplicar una carga horizontal y paralela al muro en la parte superior:

Figura 19. Fuerza necesaria para causar un desplazamiento unitario



$$\Delta = \Delta_F + \Delta_V \quad \text{(Ecuación 94)}$$

$$\Delta = \int_0^h \frac{M \cdot m \cdot dx}{E \cdot I} + \int_0^h \frac{fs \cdot V \cdot v \cdot dx}{A \cdot G} \quad \text{(Ecuación 95)}$$

M : Momento interno debido a la carga real aplicada

V: Cortante interno debido a la carga real aplicada

m: Momento interno debido a una carga virtual aplicada en el sentido y punto donde se desea encontrar los desplazamientos

v: Cortante interno debido a una carga virtual aplicada en el sentido y punto donde se desea encontrar los desplazamientos

E: Módulo de elasticidad

G: Módulo de cortante

I: Momento de inercia $I = \frac{L^3 \cdot e}{12}$

A: Área transversal del muro = L . e

e: espesor del muro

fs: factor de forma de una sección rectangular = 1,2

Fs: Fuerza horizontal aplicada en el muro necesaria para causar un desplazamiento unitario.

Después de integrar se tiene:

$$\Delta = \Delta_F + \Delta_V \quad \text{(Ecuación 96)}$$

$$\Delta = \frac{FS h^3}{3EI} + \frac{FS fsh}{GA} \quad \text{(Ecuación 97)}$$

Sabiendo que la rigidez es igual a la relación de la fuerza y el desplazamiento se tiene¹⁸:

$$K = \frac{e \cdot E}{4} \cdot \left(\frac{L}{h}\right)^3 + \frac{e \cdot E}{3} \left(\frac{L}{h}\right) \quad (\text{Ecuación 98})$$

Se puede concluir que mientras mas largos y menos altos sean los muros mayor rigidez tendrán.

En cuanto al desplazamiento

$$\Delta = \frac{4 \cdot FS}{E \cdot e} \cdot \left(\frac{h}{L}\right)^3 + \frac{3 \cdot FS}{E \cdot e} \cdot \left(\frac{h}{L}\right) \quad (\text{Ecuación 99})$$

“Se puede observar que la deformación a causa de la flexión crece con el cubo de la relación h/L y la deformación a causa del cortante crece linealmente con esta misma relación. Esta es la razón por la cual en edificios altos prevalecen las deformaciones por flexión y en edificios bajos prevalecen las deformaciones por cortante”¹⁹.

¹⁸ Ecuación tomada de “Análisis y Revisión de Estructuras de Mampostería no reforzada. Autor María del Pilar Duque.

¹⁹ Análisis y Revisión de Estructuras de Mampostería no Reforzada. Autor María del Pilar Duque.

- Fuerza sísmica en cada muro a causa de la traslación (F_{sm})

Como la losa es un diafragma rígido, hace que se desplacen todos los muros de la misma manera, haciendo que estos absorban un porcentaje de la fuerza sísmica según su rigidez; mientras más rígidos mayor porcentaje de la carga absorben.

Factor de distribución:

$$F_d = \frac{K_i}{\sum K} \quad (\text{Ecuación 100})$$

La fuerza sísmica que le corresponde a cada elemento según su rigidez, se obtiene de multiplicar la cortante sísmica acumulada (C.S) en el nivel, por el factor de distribución.

$$F_{sm} = C.S. \cdot F_d \quad (\text{Ecuación 101})$$

- Cálculos

A. Primer nivel

Esta es la cortante sísmica que se aplica en la losa de entrepiso y se distribuirá en los muros del primer nivel.

Tabla de cálculo 12 : Datos para el cálculo de F_{sm} del primer nivel

Cortante sísmica Primer nivel(Kgf)	C.S=	17346,14
Coordenadas centro de masa (m):	X_{cm}	1,63
	Y_{cm}	3,64
Resistencia a compresión de mampostería de arcilla PH (Kgf/cm²)	f'_{ma}	27

Tabla de cálculo 13 : Cálculo F_{sm} muros dirección X del primer nivel

MURO	ESPEJOR	LONG.	E	RIGIDEZ	F.d	Fsm
	cm	m	Kgf/cm ²	Kgf/cm	%	Kgf
Dir. X						
A'	15	0,68	20250	31138	0,13	2247
A''	15	0,61	20250	27610	0,11	1992
B'	15	0,84	20250	39660	0,16	2862
B''	15	0,64	20250	29108	0,12	2101
C	12	0,35	20250	12265	0,05	885
D'	15	1,25	20250	65285	0,27	4711
D''	15	0,76	20250	35313	0,15	2548
SUMATORIA		5,13		240378	1,00	17346

Tabla de cálculo 14 : Cálculo F_{sm} muros dirección Y del primer nivel

MURO	ESPEJOR	LONG.	E	RIGIDEZ	F.d	Fsm
	cm	m	Kgf/cm ²	Kgf/cm	%	Kgf
Dir.Y						
1	15	7,31	20250	2600576	0,50	8750
2	15	1,76	20250	107730	0,02	362
3	15	7,15	20250	2446862	0,47	8233
SUMATORIA		16,22		5155168	1,00	17346

B. Segundo nivel

Esta es la cortante sísmica que se aplica en la losa de cubierta y se distribuirá en los muros del segundo nivel.

Tabla de cálculo 15 : Datos para el cálculo de F_{sm} del segundo nivel

Cortante sísmica Segundo nivel (Kgf)	C.S=	8948,82
Coordenadas centro de masa (m):	X_{CM}	1,75

	Y_{cm}	3,85
Altura de piso (m)	$h=$	2,35
Resistencia a compresión de mampostería de arcilla PH (Kgf/cm ²)	$f_{ma=}$	27

Tabla de cálculo 16 : Cálculo F_{sm} muros dirección X del segundo nivel

MURO	ESPEJOR	LONG.	E	RIGIDEZ	F.d	Fsm
	cm	m	Kgf/cm ²	Kgf/cm	%	Kgf
Dir. X						
J'	15	1,25	20250	65285	0,65	5807
J''	15	0,76	20250	35313	0,35	3141
SUMATORIA		2,01		100598	0,65	8949

Los muros del segundo nivel en la dirección X no son continuos en altura, a excepción del muro J que en el primer nivel es el muro D, por lo tanto es el único muro estructural en esta dirección.

Tabla de cálculo 17 : Cálculo F_{sm} muros dirección Y del segundo nivel

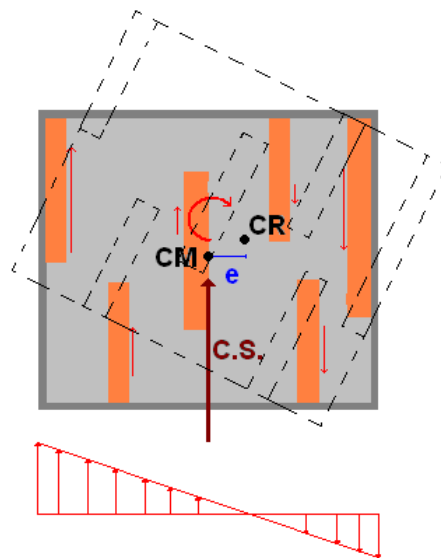
MURO	ESPEJOR	LONG.	E	RIGIDEZ	F.d	Fsm
	cm	m	Kgf/cm ²	Kgf/cm	%	Kgf
Dir.Y						
4'	15	0,74	20250	34254	0,01	109
4''	15	1,33	20250	71069	0,03	226
4'''	15	1,27	20250	66704	0,02	212
4''''	15	0,42	20250	18529	0,01	59
5	15	7,33	20250	2620250	0,93	8342
SUMATORIA		11,09		2810806	1,00	8949

La tabla de cálculo 17 muestra como el muro 5 tiene toda la responsabilidad de la estructura en la dirección Y de este nivel, debido a que su factor de distribución es muy alto (0.93) a causa de la diferencia de longitud que tiene con los otros muros.

La conclusión es que cuando se construye una vivienda, no debe ponerse muros con longitudes tan diferentes, debido a que la responsabilidad la tomará el de mayor longitud y será peor cuando esta este concentrada en un solo eje como en este caso, en el cual un lado de la vivienda es mas rígido que el otro.

2. Fuerza debido a la torsión que genera la cortante sísmica en la losa

Figura 20. Fuerza en muros por torsión



Cuando el centro de masa no coincide con el centro de rigidez en cada uno de los pisos; al presentarse la carga sísmica, el sistema gira generando en los muros una carga adicional debido a esta torsión.

➤ Centro de rigidez

Cada uno de los muros de una edificación posee una rigidez diferente, y cada uno de estos está ubicado en lugares diferentes dentro de la casa, por lo tanto el centro de rigidez es el punto donde la estructura es rígida como conjunto y no individualmente.

El centro de rigidez se calcula con la relación que se tiene de la multiplicación de la rigidez de cada muro por la distancia que tiene cada uno de estos con un punto

de referencia y la suma de la rigidez de cada uno de los muros. La distancia que se obtiene es a la cual se encuentra el centro de rigidez del punto de referencia, por lo tanto, para comparar el centro de masa con el de rigidez se deberá tomar el mismo punto de referencia.

$$X_{CR} = \frac{\sum K_i \cdot dist_{Xi}}{K_i} \quad (\text{Ecuación 102})$$

$$Y_{CR} = \frac{\sum K_i \cdot dist_{Yi}}{K_i} \quad (\text{Ecuación 103})$$

➤ Excentricidad

La excentricidad es la diferencia que existe entre el centro de masa y el centro de rigidez y es la que genera la torsión en la edificación.

$$e_{real} = |X_{CM} - X_{CR}| \quad (\text{Ecuación 104})$$

$$e_{real} = |Y_{CM} - Y_{CR}| \quad (\text{Ecuación 105})$$

➤ Excentricidad accidental

Se tiene incertidumbre tanto en el centro de masa como en el centro de rigidez, debido a que en el primero la masa no es la que se supone en los cálculos, ya sea porque la carga viva puede estar acumulada en cierto lugar en un momento determinado ó porque los materiales no pesan lo que realmente se supone; y en el segundo debido a que a los materiales se pueden comportar distinto a lo calculado; por esto se supone una excentricidad accidental para cubrir esta falta de conocimiento.

$$e_{accidental} = 0.05(L_X) \quad (\text{Ecuación 106})$$

$$e_{accidental} = 0.05(L_y)$$

(Ecuación 107)

➤ Momento torsor ($M\tau$)

El momento torsor en un piso es igual a la fuerza sísmica (F.S.) que le corresponde a este piso por la excentricidad que se tenga en éste, más el momento torsor acumulado en el piso inmediatamente superior, es decir, en la losa de cubierta sería simplemente la fuerza sísmica por la excentricidad y en el piso inferior sería este momento hallado en la losa de cubierta más la fuerza sísmica por la excentricidad en este piso.

$$M\tau_n = M\tau_{n+1} + F.S._n \times e$$

(Ecuación 108)

n : piso en el que se halla el momento torsor.

F.S._n : Fuerza sísmica en el piso n. (En este caso C.S.= V)

1 Fuerza que produce el momento torsor en cada uno de los muros

$$F\tau_{m i} = \frac{M\tau \times K_i \times d_i}{\sum K \times d^2}$$

(Ecuación 109)

$F\tau_{m i}$ = Fuerza correspondiente al muro i.

K_i = Rigidez correspondiente al muro i.

$$d_i = CR_x - X_{muro} \quad \text{ó} \quad d_i = CR_y - Y_{muro}$$

La fuerza en cada muro se debe hallar tanto con el momento que genera la excentricidad en la dirección X como en la dirección Y.

A. Primer nivel

Esta es la carga adicional debido a la torsión que se aplica en la losa de entrepiso y se distribuirá en los muros del primer nivel.

Tabla de cálculo 18 : Datos para el cálculo de F_{τ_m} del primer nivel

Fuerza sismica primer nivel	F.S.	8397,32
Coordenadas centro de masa (m):	X_{CM}	1,63
	Y_{CM}	3,64
Coordenadas centro de rigidez (m):	X_{CR}	1,75
	Y_{CR}	4,57
Excentricidad accidental (m)	$e_{accidentalX}$	0,17
	$e_{accidentalY}$	0,41
Excentricidades (m)	e_x	3,11
	e_y	2,30
Momento torsional (Kgf.m)	$M_x=$	19343
	$M_y=$	26093
Momento torsional acumulado (Kgf.m)	$M_{tx}=$	42417
	$M_{ty}=$	49018
Altura de piso (m)	$h=$	2,35

Tabla de cálculo 19 : Cálculos de F_{τ_m} muros dirección X en primer piso

MURO	distx Eje	Dist C.R	$K_i \cdot d_i$	$K_i \cdot d_i^2$
	m	m	Ton	Ton*m
Dir. X				
A'	1,27	0,48	1490,05	713,04
A''	3,07	1,32	3634,77	4785,04
B'	1,30	0,45	1778,87	797,89
B''	2,90	1,15	3351,73	3859,40
C	0,33	1,42	1745,90	2485,35
D'	0,78	0,97	6355,69	6187,49
D''	2,99	1,24	4384,02	5442,61

Tabla de cálculo 20 : F_{τ_m} muros dirección X del primer nivel

MURO	$F_{\tau_m}(M_y e_x)$	$F_{\tau_m}(M_x e_y)$
	Kgf	Kgf
Dir. X		
A'	720	623
A''	1756	1520
B'	860	744
B''	1619	1401
C	844	730
D'	3071	2657
D''	2118	1833

Tabla de cálculo 21 : Cálculos de F_{τ_m} muros dirección Y en primer piso

MURO	disty Eje	Dist C.R	Ki^*di	Ki^*di^2
	m	m	Ton	Ton*m
Dir.Y				
1	4,52	0,06	14700,42	830,98
2	7,22	2,65	28531,94	75566,05
3	4,52	0,06	13831,51	781,86

Tabla de cálculo 22 : F_{τ_m} muros dirección Y del primer nivel

MURO	$F_{\tau_m}(M_y e_x)$	$F_{\tau_m}(M_x e_y)$
	Kgf	Kgf
Dir.Y		
1	7103	6146
2	13786	11929
3	6683	5783

B. Segundo nivel

Esta es la carga adicional debido a la torsión que se aplica en la losa de cubierta y se distribuirá en los muros del segundo nivel.

Tabla de cálculo 23 : Datos para el cálculo de F_{τ_m} del segundo nivel

Fuerza sismica primer nivel	F.S.	8948,82
Coordenadas centro de masa (m):	X_{CM}	1,75
	Y_{CM}	3,85
Coordenadas centro de rigidez (m):	X_{CR}	1,69
	Y_{CR}	4,14
Excentricidad accidental (m)	$e_{accidentalX}$	0,17
	$e_{accidentalY}$	0,41
Excentricidades (m)	e_x	2,56
	e_y	2,58
Momento torsional (Kgf.m)	$M_{tx=}$	23074
	$M_{ty=}$	22925
Momento torsional acumulado (Kgf.m)	$M_{tx=}$	23074
	$M_{ty=}$	22925
Altura de piso (m)	$h=$	2,35

Tabla de cálculo 24 : Cálculos de F_{τ_m} muros dirección X en 2do piso

MURO	distx Eje	Dist C.R	$K_i \cdot d_i$	$K_i \cdot d_i^2$
	m	m	Ton	Ton*m
Dir. X				
J'	1,69	0,00	0,00	0,00
J''	1,69	0,00	0,00	0,00

Se puede ver que como en la dirección X del segundo nivel, los únicos muros estructurales son los muros J' y J'' ambos en el mismo eje (eje J), la rigidez depende únicamente de estos que tienen la misma coordenada X y por lo tanto la

coordenada en X del centro de rigidez concuerda con la de estos muros, dando como resultado una distancia del muro al centro de rigidez igual a cero.

Esto implica que estos muros no tomarán fuerzas a causa de la torsión y por lo tanto los muros en la dirección ortogonal, es decir Y se distribuirán la carga.

Tabla de cálculo 25 : F_{τ_m} muros dirección X del segundo nivel

MURO	F. T. (ex)	F. T. (ey)
	Kgf	Kgf
Dir. X		
J'	0	0
J''	0	0

Tabla de cálculo 26 : Cálculos de F_{τ_m} muros dirección Y en 2do piso

MURO	disty Eje	Dist C.R	Ki*di	Ki*di2
	m	m	Ton	Ton*m
Dir.Y				
4'	1,07	3,07	10519,48	32305,50
4''	3,55	0,60	4235,84	2524,63
4'''	5,92	1,78	11866,50	21110,30
4''''	7,97	3,82	7085,56	27095,05
5	4,13	0,02	4196,73	67,22

Tabla de cálculo 27 : F_{τ_m} muros dirección Y del segundo nivel

MURO	F.T.m(M_y, e_x)	F.T.m(M_x, e_y)
	Kgf	Kgf
Dir.Y		
4'	2902	2921
4''	1169	1176
4'''	3274	3295
4''''	1955	1967
5	1158	1165

➤ Fuerza sísmica total correspondiente a cada muro ($F.T_m$)

En los dos puntos anteriores se halló, tanto la fuerza sísmica en cada muro debido a la traslación como la fuerza sobre los muros debido a la torsión que produce ésta. Cuando se produce esta última, se presentan unas cargas positivas que se suman a las cargas debido a la carga sísmica y otras negativas que aliviarían estas cargas, sin embargo, las negativas no se restarán para tener mayor seguridad.

La fuerza total en cada muro es igual a la fuerza producida tanto por el momento que causa la excentricidad en X (M_{τ_x}) como el momento que causa la excentricidad en Y (M_{τ_y}); Sin embargo se debe tener en cuenta que cuando el sismo se presenta sólo lo hace en alguna de las dos direcciones y no en ambas a la vez, por lo tanto cuando la fuerza se presenta en una dirección la fuerza total en los muros es la mayor entre las dos siguientes fuerzas.

- La suma de la fuerza por traslación en esta dirección y la fuerza por torsión debido al momento torsor que surge cuando la carga viene en esta dirección y existe una excentricidad en la dirección ortogonal.
- La fuerza por torsión debido al momento torsor que surge cuando la carga viene en la dirección ortogonal y existe una excentricidad en la dirección que se está analizando.

Si se están analizando los muros en dirección X la carga total es la mayor entre:

$$F.T_{.mx} = F_{smx} + F.T_m(M_x - e_y) \quad \text{ó} \quad F.T_m(M_y - e_x)$$

Si se están analizando los muros en dirección Y la carga total es la mayor entre:

$$F.T_{.my} = F_{smy} + F.T_m(M_y - e_x) \quad \text{ó} \quad F.T_m = F.T_m(M_x - e_y)$$

Entonces se tiene que tener en cuenta dos factores, si las fuerzas que se presentan son negativas no se tienen en cuenta y tomar el menor entre las dos fuerzas como se acaba de explicar.

A. Primer nivel

Tabla de cálculo 28 : Cálculo F.T_m muros dirección X del primer nivel

MURO	F _{sm}	F.T _m (M _y e _x)	F.T _m (M _x e _y)	F. T. m
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf
Dir. X				
A'	2247	720	623	2870
A''	1992	1756	1520	3512
B'	2862	860	744	3606
B''	2101	1619	1401	3502
C	885	844	730	1615
D'	4711	3071	2657	7368
D''	2548	2118	1833	4381

Tabla de cálculo 29 : Cálculo F.T_m muros dirección Y del primer nivel

MURO	F _{sm}	F.T _m (M _y e _x)	F.T _m (M _x e _y)	F. T. m
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf
Dir.Y				
1	8750	7103	6146	15853
2	362	13786	11929	11929
3	8233	6683	5783	14916

B. Segundo nivel

Tabla de cálculo 30 : Cálculo F.T_m muros dirección X del segundo nivel

MURO	F _{sm}	F.T _m (M _y e _x)	F.T _m (M _x e _y)	F. T. m
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf
Dir. X				
J	5807	0	0	5807
J''	3141	0	0	3141

Tabla de cálculo 31 : Cálculo F.T_m muros dirección Y del segundo nivel

MURO	F _{sm}	F.T _m (M _y e _x)	F.T _m (M _x e _y)	F. T. m
	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf
Dir.Y				
4'	109	2902	2921	3011
4"	226	1169	1176	1395
4'''	212	3274	3295	3295
4''''	59	1955	1967	1967
5	8342	1158	1165	9500

7.8 ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR MEDIO DEL MÉTODO DE ESFUERZOS ADMISIBLES Y RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

Después de obtener estas fuerzas se calcularán los esfuerzos a los cuales están sometidos los elementos de la estructura por medio del método de los esfuerzos de trabajo admisibles y se compararán con la resistencia de los materiales utilizados en la construcción de estos.

En general el esfuerzo admisible (F) existente corresponde a los valores que se obtienen para cada material estructural al aplicar los modelos de resistencia que da la norma NSR-98.

7.8.1 Resistencia efectiva. Como la vivienda esta actualmente construida se le debe dar una calificación en cuanto a la calidad y el estado de la estructura, para con esto reducir el esfuerzo admisible (F) por medio de los coeficientes de reducción ϕ_c y ϕ_e

$$N = \phi_c \cdot \phi_e \cdot F \quad (\text{Ecuación 110})$$

N : Resistencia efectiva

ϕ_c : Coeficiente de reducción según la calidad de la estructura

ϕ_e : Coeficiente de reducción según el estado de la estructura

Donde el valor de los coeficientes se obtiene en la Tabla 12, tomada de la tabla A.10-1 de la NSR-98.

Tabla 12: Valores de ϕ_c y ϕ_e

calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación			
	buena	regular	mala
$\phi_c - \phi_e$	0.9	0.7	0.5

Como la estructura fue construida empíricamente sin ningún método técnico y con materiales de baja calidad a Φ_c se le dará el valor de 0.5; sin embargo la estructura se encuentra en buen estado y por lo tanto Φ_e de 0.9.

$$N = 0.45 \cdot R \quad \text{(Ecuación 111)}$$

7.8.2 Compresión

1. Esfuerzo actuante a causa de la compresión por cargas verticales σ_c

Estos esfuerzos son causados por las cargas verticales que actúan sobre los muros. Esta carga vertical es la suma de la carga viva y la carga muerta (sin mayorar), y el área de los muros encargados de soportar esta carga es la directamente perpendicular a esta carga, es decir el área transversal de muro.

La manera mas fácil para hallar esta carga sería multiplicar el área aferente de cada muro por la suma de carga viva y muerta en unidades de fuerza sobre área, para esto se asumirá que la losa trabaja en ambas direcciones y por lo tanto cada muro estructural tendrá un área aferente, soportando las cargas que se presenten en esta.

$$\sigma_c = \frac{P_{MURO}}{A} \quad \text{(Ecuación 112)}$$

P_{MURO} : Carga vertical sobre el muro = $(C_{viva} + C_{muerta}) A_{aferente \text{ de Muro}}$

A: Área transversal del muro = $L \times e$

2. Esfuerzos admisibles para compresión axial F_c

$$F_c = 0.2 \cdot f'_{ma} \cdot R_e \quad (\text{Ecuación 113})$$

$$R_e = 1 - \left(\frac{h'}{40 \cdot e} \right)^3 : \text{Reducción de resistencia axial por esbeltez}$$

f'_{ma} : Resistencia a la compresión de la mampostería de arcilla

h' : Altura efectiva del muro, se toma de la siguiente manera:

- En elementos soportados lateralmente arriba y abajo en la dirección considerada, como la distancia libre entre apoyos.
- En elementos no soportados en un extremo en la dirección considerada, como el doble de la dimensión medida desde el apoyo.
- Cuando se justifique apropiadamente, se puede utilizar como altura efectiva una dimensión menor a la distancia libre entre apoyos.

3. Cálculos a compresión para carga vertical

En este punto se evaluará la vivienda cuando actúa la carga vertical únicamente. Esto se hará con el fin de calibrar el modelo que se está usando, aunque se puede observar que la casa está resistiendo estas cargas, debido a que se mantiene en pie.

Para esto se debe tener en cuenta que los muros del primer piso sostienen la carga tanto viva como muerta de la losa de entrepiso y adicionalmente de la losa de cubierta, y los del segundo piso las cargas que actúan sobre la losa de cubierta únicamente; haciendo que las cargas viajen a través de los muros continuos, es decir los estructurales hacia la cimentación. Para esto se asumió que las losas trabajan en ambas direcciones y cada muro es responsable de su área aferente.

A. Área aferente primer nivel

Figura 21. Área aferente primer nivel

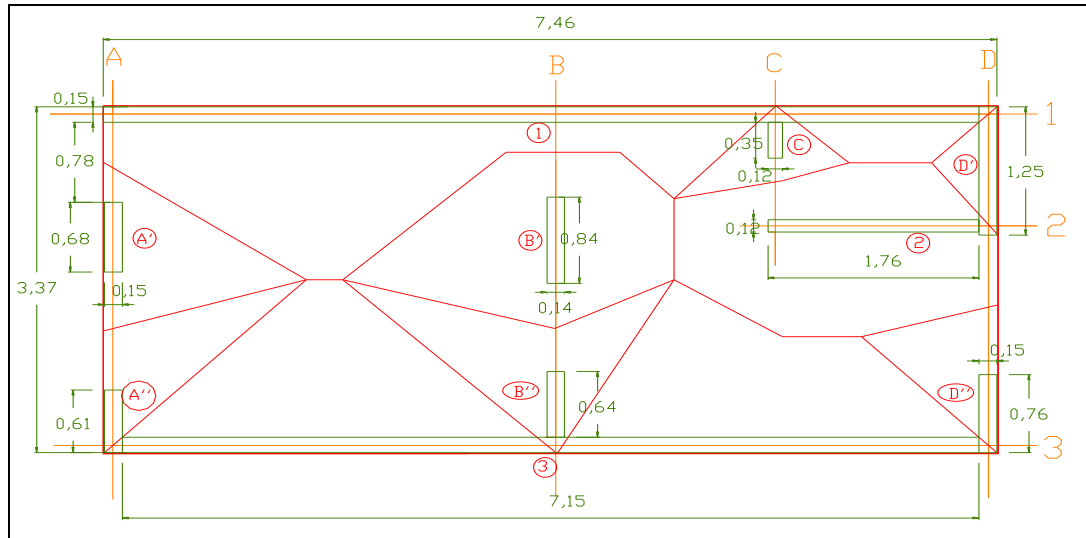


Tabla de cálculo 32 : Datos primer nivel

Altura de piso (m)	h=	2,35
Resistencia a compresión de mampostería de arcilla PH (Kgf/cm ²)	f _{ma} =	27
Combinación de carga Losas de Cubierta (Kgf)	C.M.=	6553
	C.V.=	4914
Combinación de carga Acumulada en losa de entrepiso (Kgf)	C.M.=	20127
	C.V.=	9649

Tabla de cálculo 33 : Datos para el calculo de σ_c en los muros del primer piso en dirección X

MURO	ESPESOR	LONG.	Area aferente
	cm	m	m ²
Dir. X			
A'	15	0,68	1,39

MURO	ESPESOR	LONG.	Area aferente
	cm	m	m ²
Dir. X			
A'	15	0,61	0,61
B'	15	0,84	3,14
B''	15	0,64	1,69
C	12	0,35	0,50
D'	15	1,25	0,31
D''	15	0,76	0,83

Tabla de cálculo 34 : Esfuerzos σ_c en los muros y resistencias N_c del primer piso en dirección X

MURO	Esfuerzos de Compresión			Resistencia	
	Σc (CM)	σc (C.V.)	σc (C.V.+CM)	Fc	Nc
	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²
Dir. X					
A'	1,17	0,56	1,73	5,08	2,28
A''	0,57	0,27	0,84	5,08	2,28
B'	2,13	1,02	3,15	5,08	2,28
B''	1,50	0,72	2,22	5,08	2,28
C	1,02	0,49	1,51	4,77	2,14
D'	0,14	0,07	0,21	5,08	2,28
D''	0,62	0,30	0,92	5,08	2,28

Tabla de cálculo 35 : Datos para el calculo de σ_c en los muros del primer piso en dirección Y

MURO	ESPESOR	LONG.	Area aferente
	cm	m	m ²
Dir. Y			
1	15	7,31	5,72
	cm	m	m ²
2	15	1,76	3,75
3	15	7,15	5,65

Tabla de cálculo 36 : Esfuerzos σ_c en los muros y resistencias N_c del primer piso en dirección Y

MURO	Esfuerzos de Compresión			Resistencia	
	σ_c (C.M)	σ_c (C.V)	σ_c (C.V.+C.M)	Fc	Nc
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2
Dir.Y					
1	0,45	0,21	0,66	5,08	2,28
2	1,21	0,58	1,79	5,08	2,28
3	0,45	0,22	0,67	5,08	2,28

B. Área aferente segundo nivel

Figura 22. Área aferente segundo nivel

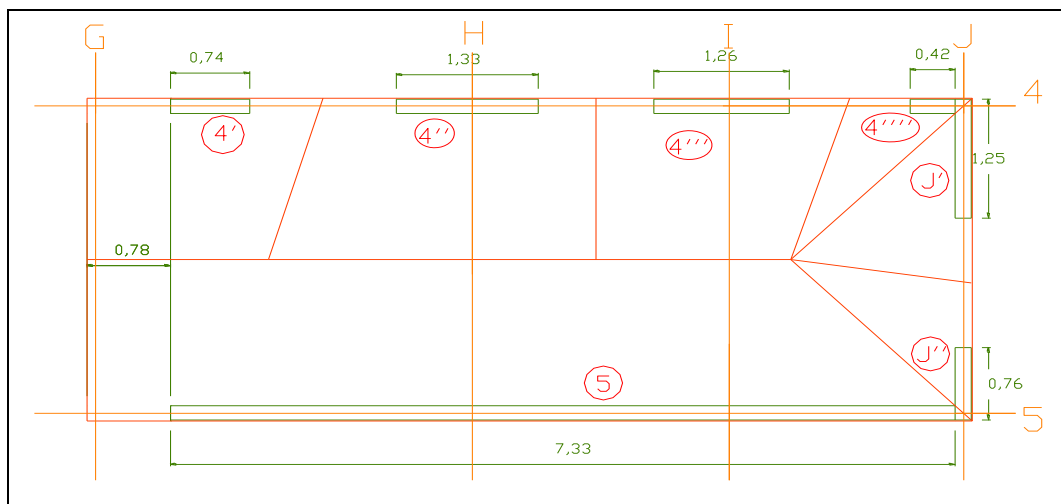


Tabla de cálculo 37 : Datos segundo nivel

Altura de piso (m)	h=	2,35
Resistencia a compresión de mampostería de arcilla PH (Kgf/cm2)	f'ma=	27
Combinación de carga (Kgf)	C.M=	6553
	C.V=	4914

Tabla de cálculo 38 : Datos para el calculo de σ_c en los muros del segundo piso en dirección X

MURO	ESPEJOR	LONG.	Área aferente
	Cm	M	m2
Dir. X			
J'	15	1,25	1.57
J''	15	0,76	1.31

Tabla de cálculo 39 : Esfuerzos σ_c en los muros y resistencias N_c del segundo piso en dirección X

MURO	Esfuerzos de Compresión			Resistencia	
	σ_c (CM)	σ_c (C.V)	σ_c (C.V.+CM)	Fc	Nc
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2
Dir. X					
J'	0,20	0,15	0,35	5,08	2,28
J''	0,27	0,20	0,48	5,08	2,28

Tabla de cálculo 40 : Datos para el calculo de σ_c en los muros del Segundo piso en dirección Y

MURO	ESPEJOR	LONG.	Área aferente
	cm	M	M2
Dir.Y			
4'	15	0,74	3,31
4''	15	1,33	4,75
4'''	15	1,27	3,55
4''''	15	0,42	0,97
5	15	7,33	12,08

Tabla de cálculo 41 : Esfuerzos σ_c en los muros y resistencias N_c del Segundo piso en dirección Y

MURO	Esfuerzos de Compresión			Resistencia	
	σ_c (CM)	σ_c (C.V)	σ_c (C.V.+CM)	Fc	Nc
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2
Dir.Y					
4'	0,71	0,53	1,24	5,08	2,28
4"	0,57	0,43	0,99	5,08	2,28
4'''	0,44	0,33	0,78	5,08	2,28
4''''	0,37	0,27	0,64	5,08	2,28
5	0,26	0,20	0,46	5,08	2,28

En las Tablas de cálculo 36 y 41 se puede observar que la estructura soporta la carga vertical que ejerce la carga muerta y la carga viva, los esfuerzos no superan la resistencia en ningun muro; entonces se puede concluir que la vivienda está segura sin la ocurrencia del sismo. Esto se puede ver también observando la vivienda debido a que se mantiene en pie sin mostrar fallas en sus elementos estructurales, sin embargo, se debe verificar si soporta las cargas horizontales que genera el sismo y que son más críticas, debido a que cuando actúan lo hacen en conjunto con las cargas verticales.

7.8.3 Cortante

1. Esfuerzo actuante a causa de la cortante τ_v

Este esfuerzo a cortante es causado por la carga sísmica total que actúa en el muro.

$$\tau_v = \frac{V}{j \cdot e \cdot L} \quad (\text{Ecuación 112})$$

V: cortante, en este caso la carga sísmica que actúa sobre cada muro (F.T_m) sobre el coeficiente de disipación de energía.

j: Se puede tomar como 0.8 en caso de no realizar un análisis de compatibilidad de deformaciones.

$$\tau_v = \frac{\left(\frac{0.7 \cdot FT_m}{R} \right)}{0.8 \cdot e \cdot L} \quad \text{(Ecuación 113)}$$

En este caso $V = 0.7 FT_m$ debido a que la combinación de cargas es la carga viva y muerta sin mayorar, y el 70% de la carga sísmica.

2. Esfuerzos admisibles para cortante para mampostería no reforzada F_v

$$F_v = \frac{1}{40} \cdot \sqrt{f'_{ma}} \quad \text{(Ecuación 114)}$$

Con f'_{ma} en MPa

El esfuerzo admisible F_v puede ser incrementado en $0.2 \sigma_{C(CM)}$ donde $\sigma_{C(CM)}$ es el esfuerzo de compresión debido a la carga muerta solamente.

$$F_v = \frac{1}{40} \cdot \sqrt{f'_{ma}} + 0.2 \cdot \sigma_{C(CM)} \quad \text{(Ecuación 115)}$$

f'_{ma} : Resistencia a la compresión de la mampostería de arcilla [MPa]

3. Cálculos a cortante

A. Primer nivel

Tabla de cálculo 42 : Datos para el calculo de σ_v y N_v en los muros del primer piso en dirección X

MURO	R	ESPESOR	LONG.	F. T.m	$\sigma_{C(CM)}$
		cm	m	Kgf	Kgf/cm ²
Dir. X					
A'	1,00	15	0,68	2870	1,17
A''	1,00	15	0,61	3512	0,57

MURO	R	ESPESOR	LONG.	F. T. m	σ_c (CM)
		cm	m	Kgf	Kgf/cm ²
Dir. X					
B'	1,00	15	0,84	3606	2,13
B''	1,00	15	0,64	3502	1,50
C	1,00	12	0,35	1615	1,02
D'	1,00	15	1,25	7368	0,14
D''	1,00	15	0,76	4381	0,62

Tabla de cálculo 43 : Esfuerzos τ_v en los muros y resistencias N_v del primer piso en dirección X

MURO	E. Cortante	Resistencia	
	τ_v	Fv	Nv
	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²
Dir. X			
A'	2,46	0,64	0,29
A''	3,36	0,52	0,24
B'	2,50	0,84	0,38
B''	3,19	0,71	0,32
C	3,36	0,61	0,28
D'	3,44	0,44	0,20
D''	3,36	0,53	0,24

Tabla de cálculo 44 : Datos para el calculo de τ_v y N_v en los muros del primer piso en dirección Y

MURO	R	ESPESOR	LONG.	F. T. m	σ_c (CM)
		cm	m	Kgf	Kgf/cm ²
Dir.Y					
1	1,00	15	7,31	15853	0,45
2	1,00	15	1,76	11929	1,21
3	1,00	15	7,15	14916	0,45

Tabla de cálculo 45 : Esfuerzos σ_v en los muros y resistencias N_v del primer piso en dirección Y

MURO	E. Cortante	Resistencia	
	τ_v	Fv	Nv
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2
Dir.Y			
1	1,27	0,50	0,22
2	3,95	0,65	0,29
3	1,22	0,50	0,23

B. Segundo nivel

Tabla de cálculo 46 : Datos para el calculo de τ_v y N_v en los muros del segundo piso en dirección X

MURO	R	ESPESOR	LONG.	F. T. m	σ_c (cm)
		cm	m	Kgf	Kgf/cm2
Dir. X					
J'	1,00	15	1,25	5807	0,20
J''	1,00	15	0,76	3141	0,27

Tabla de cálculo 47 : Esfuerzos τ_v en los muros y resistencias N_v del segundo piso en dirección X

MURO	E. Cortante	Resistencia	
	τ_v	Fv	Nv
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2
Dir. X			
J'	2,71	0,45	0,20
J''	2,41	0,47	0,21

Tabla de cálculo 48 : Datos para el calculo de τ_v y N_v en los muros del Segundo piso en dirección Y

MURO	R	ESPEJOR	LONG.	F. T. m	σ_c (cm)
		cm	m	Kgf	Kgf/cm ²
Dir.Y					
4'	1,00	15	0,74	3011	0,71
4"	1,00	15	1,33	1395	0,57
4'''	1,00	15	1,27	3295	0,44
4''''	1,00	15	0,42	1967	0,37
5	1,00	15	7,33	9500	0,26

Tabla de cálculo 49 : Esfuerzos τ_v en los muros y resistencias N_v del Segundo piso en dirección Y

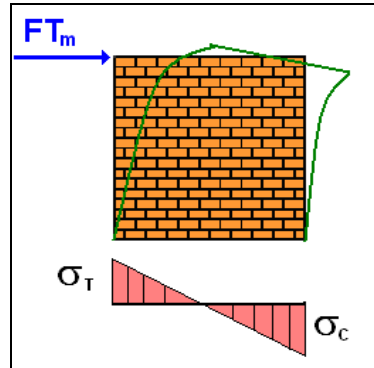
MURO	E. Cortante	Resistencia	
	τ_v	Fv	Nv
	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²	Kgf/cm ²
Dir.Y			
4'	2,37	0,55	0,25
4"	0,61	0,52	0,24
4'''	1,51	0,50	0,22
4''''	2,73	0,48	0,22
5	0,76	0,46	0,21

En cuanto a los esfuerzos a cortante se puede decir que ninguno de los muros cumple debido a que superan la resistencia que tienen la mampostería a cortante, por lo tanto la vulnerabilidad sísmica de esta vivienda es alta.

7.8.4 Esfuerzos axiales actuantes a causa de la flexión σ_f . Este esfuerzo a flexión es causado por las cargas sísmicas halladas anteriormente, es decir, la carga por la fuerza sísmica y la carga debido a la torsión que genera esta fuerza.

La flexión genera dos esfuerzos, esfuerzos a tracción en una cara y esfuerzos a compresión en la otra de la siguiente manera.

Figura 23. Esfuerzo axiales por flexión



$$\sigma_F = \frac{M \cdot c}{I}$$

(Ecuación 115)

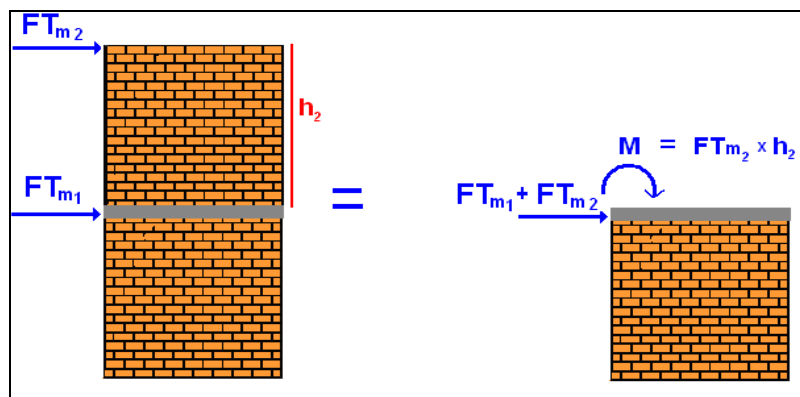
I : Momento de inercia de la sección.

C: Distancia a las fibras en las cuales se desea hallar el esfuerzo.

M : Momento debido a la carga horizontal sobre el muro.

Si el muro es continuo en los dos niveles, se debe adicionar el momento flector que causa la fuerza sobre el muro de la siguiente manera, debido a que los muros continuos trabajan como un conjunto:

Figura 24. Esfuerzo axiales por flexión en muros continuos



El momento en el muro del primer piso sería el momento flector acumulado del muro superior, es decir la fuerza sísmica del muro del segundo piso por la altura del segundo piso, y adicionalmente la suma de las fuerzas del primer y segundo piso por la altura del primer piso; sin embargo la fuerza sísmica del primer nivel se halló acumulando las fuerzas de los pisos superiores (las fuerzas de traslación se hallaron con la cortante de piso y las fuerzas de torsión acumulando el momento superior), entonces no se tendrá en cuenta FT_{m2} en el segundo término del momento, porque sería como cargar el muro dos veces con la misma carga. Todo esto se puede ver matemáticamente en la ecuación 116.

Cuando se habla de σ_F en este caso se esta hablando de los esfuerzos máximo a tracción o a compresión debido a la flexión en el muro, es decir los esfuerzos que se generan en los extremos, por que se toma C como la distancia al extremo.

$$\sigma_F = \frac{\left(\frac{0.7 \cdot FT_{m1} \cdot h_1}{R} + \frac{0.7 FT_{m2} \cdot h_2}{R} \right) \cdot \left(\frac{L}{2} \right)}{\left(\frac{L^3 \cdot e}{12} \right)} \quad \text{(Ecuación 116)}$$

$$\sigma_F = \frac{4.2 \cdot (h_1 \cdot FT_{m1} + h_2 \cdot FT_{m2})}{e \cdot L^2 \cdot R} \quad \text{(Ecuación 117)}$$

FT_m : Fuerza sísmica total que actúa en el muro.

e : espesor del muro

h : altura del muro

L : Longitud del muro

Nuevamente se trabaja con el 70% de la carga sísmica por que esta es la combinación en el método de los esfuerzos admisibles.

1. Cálculos a flexión

A. Primer nivel

Tabla de cálculo 50 : Esfuerzos σ_F en los muros del primer piso en dirección X

MURO	E. Flexión
	Σf
	Kgf/cm2
Dir. X	
A'	40,84
A''	62,11
B'	33,62
B''	56,26
C	108,44
D'	55,49
D''	85,70

Tabla de cálculo 51 : Esfuerzos σ_F en los muros del primer piso en dirección Y

MURO	E. Flexión
	Σf
	Kgf/cm2
Dir.Y	
1	3,14
2	25,34
3	3,14

B. Segundo nivel

Tabla de cálculo 52 : Esfuerzos σ_F en los muros del segundo piso en dirección X

MURO	E. Flexión
	σ_f
	Kgf/cm2
Dir. X	
J'	24,46
J''	35,79

Tabla de cálculo 53 : Esfuerzos σ_F en los muros del Segundo piso en dirección Y

MURO	E. Flexión
	σ_f
	Kgf/cm2
Dir.Y	
4'	36,18
4''	5,19
4'''	13,44
4''''	73,38
5	1,16

El esfuerzo axial por flexión no se compara con ninguna resistencia, este esfuerzo sirve para calcular tanto el esfuerzo a tracción como el esfuerzo a compresión a causa de la flexión.

7.8.5 Tracción

1. Esfuerzo actuante a tracción σ_T

El esfuerzo a tracción es la diferencia entre el esfuerzo a tracción a causa de la flexión (σ_F) y el esfuerzo a compresión por carga vertical que reduce este efecto (σ_C)

$$\sigma_T = \sigma_F - \sigma_C$$

(Ecuación 118)

2. Esfuerzos admisibles para a tracción F_T

El método de los trabajos admisibles tiene un principio el cual dice que puede despreciarse la resistencia a tracción en la mampostería para esfuerzos inducidos por cargas axiales de tracción, sin embargo, como esto no es del todo cierto y la mampostería si tiene una resistencia a la tracción aunque sea baja, se le dará un valor supuesto por nosotros mismos igual al 5% de la resistencia a la compresión F_C .

$$F_T = 0.05 \cdot F_C$$

(Ecuación 119)

3. Cálculos a tracción

A. Primer nivel

Tabla de cálculo 54 : Esfuerzos σ_T en los muros y resistencias N_T del primer piso en dirección X

MURO	E. Tracción	Resistencia	
	σ_t	F_t	N_t
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2
Dir. X			
A'	39,11	0,25	0,11
A''	61,27	0,25	0,11
B'	30,48	0,25	0,11
B''	54,04	0,25	0,11
C	106,93	0,24	0,11
D'	55,28	0,25	0,11
D''	84,78	0,25	0,11

Tabla de cálculo 55 : Esfuerzos σ_T en los muros y resistencias N_T del primer piso en dirección Y

MURO	E. Tracción	Resistencia	
	σ_t	Ft	Nt
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2
Dir.Y			
1	2,48	0,25	0,11
2	23,55	0,25	0,11
3	2,48	0,25	0,11

B. Segundo nivel

Tabla de cálculo 56 : Esfuerzos σ_T en los muros y resistencias N_T del segundo piso en dirección X

MURO	E. Tracción	Resistencia	
	σ_t	Ft	Nt
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2
Dir. X			
J'	24,11	0,25	0,11
J''	35,31	0,25	0,11

Tabla de cálculo 57 : Esfuerzos σ_T en los muros y resistencias N_T del Segundo piso en dirección Y

MURO	E. Tracción	Resistencia	
	σ_t	Ft	Nt
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2
Dir.Y			
4'	34,94	0,25	0,11
4''	4,20	0,25	0,11
4'''	12,66	0,25	0,11
4''''	72,74	0,25	0,11
5	0,71	0,25	0,11

En cuanto a los esfuerzos a tracción se puede decir que ninguno de los pisos cumple debido a que superan la resistencia que tienen la mampostería, por lo tanto la vulnerabilidad sísmica de esta vivienda es alta. Y esto es lógico debido a que la mampostería no tiene resistencia a tracción, es más, este título pide que se desprecie como se dijo anteriormente.

7.8.6 Flexo-compresión

1. Índice de esfuerzos combinados (flexo-compresión)

Cuando se presenta un sismo se transmite compresión en los muros, debido a la fuerza por carga vertical que está actuando sobre la estructura todo el tiempo y a los esfuerzos que se generan por la flexión causada por la fuerza horizontal que produce un sismo.

Para verificar si la estructura es capaz de soportar ambas fuerzas se utiliza el siguiente índice que debe ser menor que la unidad.

$$\frac{\sigma_C}{F_C} + \frac{\sigma_F}{F_{Cf}} \leq 1 \quad \text{(Ecuación 120)}$$

F_{Cf} : Resistencia debido a la compresión por flexión.

$$F_{Cf} = 0.33 \cdot f' m$$

σ_C : Esfuerzo actuante a causa de la compresión por carga vertical

σ_F : Esfuerzo actuante a causa de la flexión

F_C : Resistencia debido a la compresión por carga vertical

2. Cálculos índice para el análisis de flexo-compresión

A. Primer nivel

Tabla de cálculo 58 : Índice de flexo-compresión en los muros del primer piso en dirección X

MURO	E. Compresión	E. Flexión	Resistencia	Resistencia	Índice
	σ_c (C.V.+C.M.)	σ_f	F_c	F_d	Flexo-compresión
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2		Vulnerabilidad (>1.0)
Dir. X					
A'	1,73	40,84	5,08	8,91	4,92
A''	0,84	62,11	5,08	8,91	7,14
B'	3,15	33,62	5,08	8,91	4,39
B''	2,22	56,26	5,08	8,91	6,75
C	1,51	108,44	4,77	8,91	12,49
D'	0,21	55,49	5,08	8,91	6,27
D''	0,92	85,70	5,08	8,91	9,80

Tabla de cálculo 59 : Índice de flexo-compresión en los muros del primer piso en dirección Y

MURO	E. Compresión	E. Flexión	Resistencia	Resistencia	Índice
	σ_c (C.V.+C.M.)	σ_f	F_c	F_d	Flexo-compresión
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2		Vulnerabilidad (>1.0)
Dir. Y					
1	0,66	3,14	5,08	8,91	0,48
2	1,79	25,34	5,08	8,91	3,20
3	0,67	3,14	5,08	8,91	0,48

B. Segundo nivel

Tabla de cálculo 60 : Índice de flexo-compresión en los muros del Segundo piso en dirección X

MURO	E. Compresión	E. Flexión	Resistencia	Resistencia	Índice
	σ_c (C.V.+C.M.)	σ_f	F_c	F_d	Flexo-compresión
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Vulnerabilidad (>1.0)
Dir. X					
J'	0,35	24,46	5,08	8,91	2,81
J''	0,48	35,79	5,08	8,91	4,11

Tabla de cálculo 61 : Índice de flexo-compresión en los muros del Segundo piso en dirección Y

MURO	E. Compresión	E. Flexión	Resistencia	Resistencia	Índice
	σ_c (C.V.+C.M.)	σ_f	F_c	F_d	Flexo-compresión
	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Kgf/cm2	Vulnerabilidad (>1.0)
Dir.Y					
4'	1,24	36,18	5,08	8,91	4,30
4''	0,99	5,19	5,08	8,91	0,78
4'''	0,78	13,44	5,08	8,91	1,66
4''''	0,64	73,38	5,08	8,91	8,36
5	0,46	1,16	5,08	8,91	0,22

Solo 4 de los muro resisten la flexo-compresión, debido a que tienen un índice menor a la unidad, esto confirma una vez mas que la vivienda posee una vulnerabilidad alta.

7.9 DERIVAS DE LA ESTRUCTURA

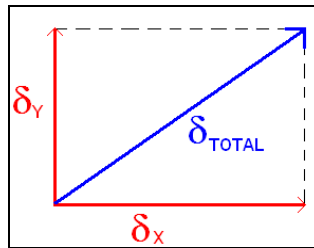
Debido a estas fuerzas los pisos se desplazan con respecto a su posición original, el deslizamiento relativo entre pisos se llama deriva. La deriva en el centro de

rigidez se halla dividiendo la cortante sísmica por la suma de la rigidez de los muros en la dirección que se desea hallar esta.

$$\delta = \frac{C.S.}{\sum K_i} \quad \text{(Ecuación 121)}$$

Se halla la deriva en la dirección X y en la dirección Y, pero la deriva total es la siguiente:

Figura 25. Deriva



$$\delta_{total} = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \quad \text{(Ecuación 122)}$$

La deriva total se debe comparar con la deriva máxima permisible.

$$\delta_{Permisible} = 0.5\%(h_{piso}) \quad \text{(Ecuación 123)}$$

$$\delta_{Permisible} = 0.005(2.25m)$$

$$\delta_{Permisible} = 1.125cm$$

A. Primer nivel

Tabla de cálculo 62 : Derivas del primer nivel

Cortante sísmica Primer nivel(Kgf)	C.S.=	17346,14
Altura de piso (m)	h=	2,35

Derivas de piso (cm)	$\delta_x=$	0,07216
	$\delta_y=$	0,00336
	$\delta_{total}=$	0,07224
Deriva permisible (cm)	$\delta_p=$	1,175

B. Segundo nivel

Tabla de cálculo 63 : Derivas del segundo nivel

Cortante sísmica Segundo nivel (Kgf)	C.S=	8948,82
Altura de piso (m)	h=	2,35
Derivas de piso (cm)	$\delta_x=$	0,13707
	$\delta_y=$	0,00318
	$\delta_{total}=$	0,13711
Deriva permisible (cm)	$\delta_p=$	1,175

Como se puede ver las derivas obtenidas en cada uno de los niveles de la vivienda son menores que la deriva permisible, por lo tanto la edificación está cumpliendo en cuanto a desplazamientos.

8 MÉTODO CUALITATIVO PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica de la vivienda se utilizará el método cualitativo de la AIS por medio del manual de construcción, evaluación y rehabilitación de viviendas en mampostería, y además se complementaran las ideas expuestas en este por medio del título E de la NSR-98, el cual ofrece como alternativa un método simplificado para diseñar viviendas de uno y dos niveles, pero que sus ideas de diseño complementan la evaluación de vulnerabilidad

Este método establece los requisitos para la construcción sismorresistente de viviendas de uno y dos pisos. Estos requisitos son de índole general y están dirigidos a todos los profesionales de la ingeniería y la arquitectura que trabajen en construcción de vivienda, así no sean especialistas en cálculo estructural. Este método pretende establecer las condiciones estructurales que permiten un funcionamiento adecuado de las viviendas de uno y dos pisos ante cargas laterales y verticales en las diferentes zonas de amenaza sísmica.

Lo primero que se debe hacer para realizar el análisis de vulnerabilidad sísmica, es identificar el grupo de uso al cual pertenece la edificación; en este caso, se va a trabajar con casas de uno y dos pisos realizadas en muros de mampostería, siempre pertenecerán al grupo de uso I, es decir, estructuras de ocupación normal y deben estar dentro de las limitaciones, las cuales son, formar parte de programas de máximo 15 viviendas y ser menor a 3000 m² de área construida.

8.1 SISTEMA CONSTRUCTIVO

Para analizar la vulnerabilidad sísmica de una vivienda, se debe tener en cuenta el sistema de construcción de ésta, el cual se clasifica en tres tipos dependiendo de los muros de soporte.

- *Mampostería no reforzada:* en este sistema la carga es absorbida únicamente por las unidades de mampostería; no se tiene ningún tipo de refuerzo ni en las celdas de la mampostería ni confinando el muro en sus extremos.

- *Mampostería confinada*: para que los muros trabajen de una mejor manera, estos se confinan tanto vertical con columnas, como horizontalmente con vigas. Estos elementos son reforzados y vaciados en situ.
- *Mampostería reforzada*: Para esto se construyen muros con mampostería de perforación vertical, ya sean ladrillos de arcilla o bloques de concreto. Para la construcción del muro se deben poner en línea todas las celdas vertical y uniformemente, para así, poder colocar las barras de refuerzo y luego rellenar las celdas con mortero de relleno (grouting). Se rellenan todas las celdas o simplemente las necesarias para absorber las cargas externas que afectan la estructura.

La vivienda analizada es identificada como mampostería de perforación horizontal no reforzada ni confinada.

8.2 CRITERIOS BÁSICOS DE PLANTEAMIENTO ESTRUCTURAL

8.2.1 Sistema de resistencia sísmica. En este tipo de casas de mampostería existen tres tipos de elementos que conforman el sistema de resistencia sísmica:

- Muros estructurales: compuestos por muros de carga que resisten las cargas verticales de la estructura y los muros de rigidez que aportan rigidez a ésta, soportando únicamente su propio peso;
- Diafragmas: que obligan a la estructura a actuar como un conjunto, de tal manera que todos los elementos se muevan simultáneamente;
- Sistemas de cimentación: que se encargan de transmitir todas las cargas de la estructura al suelo.

8.2.2 Disposición de muros estructurales. Se debe procurar la existencia de muros en las dos direcciones ortogonales, de tal forma que la longitud sea aproximadamente igual en ambas direcciones, logrando así que la losa trabaje en los dos sentidos.

8.2.3 Simetría. La planta de una edificación debe ser lo más simétrica posible, para evitar así problemas de torsión cuando actúe la carga de sismo; cuando se tenga una planta asimétrica, esta debe dividirse en módulos simétricos. Esto se puede verificar si la relación largo-ancho de la edificación es menor a 3 ($b < 3a$).

Figura 26. Relación largo-ancho

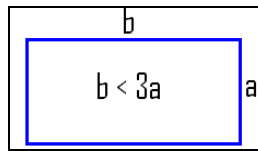


Figura 27. Irregularidad en planta

VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS	DIAGRAMA
BAJA	<ul style="list-style-type: none"> * Forma geométrica regular aproximadamente simétrica * Largo menor que 3 veces el ancho * No tienen irregularidades ni en planta ni en altura 	
MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> * Presenta algunas irregularidades en planta o en altura no muy pronunciadas 	
ALTA	<ul style="list-style-type: none"> * EL largo es mayor que 3 veces el ancho * La forma es irregular, con entradas y salidas abruptas. 	

Las dimensiones de la casa son:

$$a = 3.37 \text{ m}$$

$$b = 8.25 \text{ m}$$

Por lo tanto,

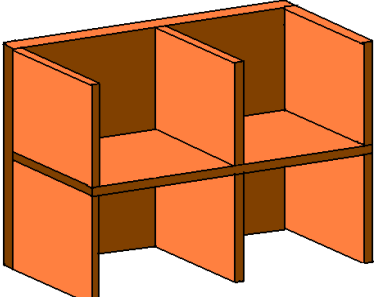
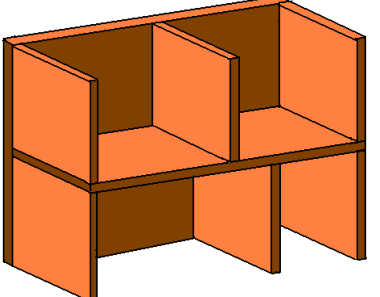
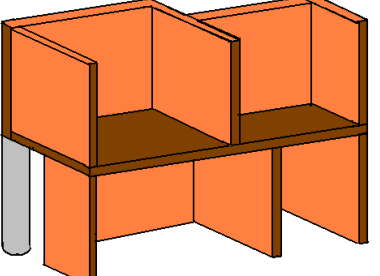
8.25 metros < 3 (3.37 metros)

8.27 metros < 10.11 metros ✓

La vivienda cumple con la relación largo – ancho, sin embargo, presenta algunas irregularidades en altura. y por esto se puede decir que para este ítem la vivienda tiene una vulnerabilidad sísmica media.

8.2.4 Continuidad Se considera que un muro es estructural cuando tiene continuidad tanto vertical como horizontalmente; la primera se presenta cuando un muro es continuo desde la cimentación hasta la cubierta, y la segunda cuando son alineados en forma horizontal al menos conformando parejas.

Figura 28. Irregularidad en altura

<i>VULNERABILIDAD</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>	<i>DIAGRAMA</i>
<i>BAJA</i>	* La mayoría de los muros estructurales son continuos desde la cimentación hasta la cubierta.	
<i>MEDIA</i>	* Algunos muros presentan discontinuidades desde la cimentación hasta la cubierta.	
<i>ALTA</i>	* La mayoría de los muros no son continuos en altura. * Cambios de alineación en el sistema de muros en dirección vertical * Cambio de sistema de muros en pisos superiores a columnas en pisos inferiores.	

La vivienda presenta discontinuidades en algunos de los muros, por esto se puede decir que para este ítem tiene una vulnerabilidad sísmica alta. Los únicos muros que cumplen con esta continuidad son los muros **1** que continua en **4** en el segundo piso, **3** en **5** y **D** en **J**.

8.2.5 Dimensiones modulares. Para lograr una buena resistencia en los elementos estructurales, se deben utilizar piezas de mampostería de buena calidad y mano de obra bien calificada. Se debe procurar que las piezas sean enteras para así lograr una mayor calidad en los muros y además la racionalización de materiales que a su vez disminuirán los desperdicios.

8.2.6 Elementos de amarre y refuerzo en los muros. Se consideran muros estructurales aquellos que están confinados tanto vertical como horizontalmente con concreto reforzado.

En la vivienda los muros están confinados solo verticalmente con los diafragmas (losas), y horizontalmente se observan trabas en la unión de muro con muro, mas no se observan columnas de confinamiento. Por lo tanto, se puede decir que los muros no están confinados.

8.2.7 Diafragmas. La función de los diafragmas es lograr que la estructura trabaje como un conjunto, para que esto se logre, estos deben ser rígidos y resistentes, y además deben estar adecuadamente amarrados a los elementos verticales.

Los diafragmas presentes en la vivienda son: la losa de cimentación, la losa de entepiso y la losa de cubierta. Estos cumplen con los requerimientos mínimos para se considerados como diafragmas, por sus dimensiones y por que los muros estructurales están amarrados adecuadamente; esto se puede ver por que los diafragmas fueron vaciados directamente sobre ellos.

8.2.8 Peso de los elementos de construcción. La fuerza sísmica es una fuerza inercial, la cual, a mayor masa mayor impacto causa, por esto se debe procurar no tener elementos muy pesados como tanques en la cubierta.

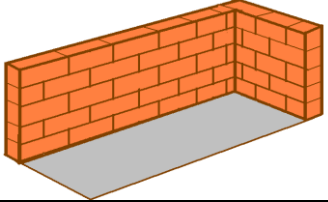
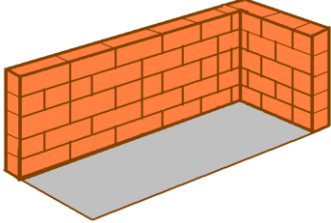
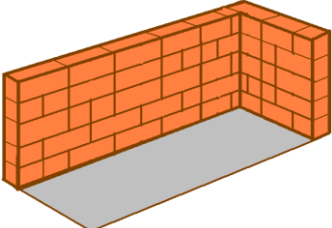
8.3 MUROS ESTRUCTURALES

Los muros se pueden clasificar en muros confinados estructurales y muros no estructurales. En el primer caso estos resisten tanto las cargas verticales como las horizontales, los cuales pueden ser de rigidez ó de carga; en el segundo caso, éstos sólo resisten su propio peso, y su única función es dividir espacios dentro de las viviendas.

Esta vivienda no posee confinamiento en sus muros y esto hace que no actúen con ductilidad ante una carga, hasta el momento se puede ver que han soportado la carga vertical ya que la vivienda se encuentra en buen estado, sin embargo el día que ocurra un sismo se producirán cargas horizontales dinámicas que ante la falta de confinamiento en los muros, probablemente no las soporten, porque no disiparan de manera adecuada la energía generada.

8.3.1 Unidades de mampostería. Para la construcción de este tipo de viviendas se puede utilizar unidades de mampostería de concreto, de arcilla ó de silical, las cuales deben cumplir con las normas NTC expedidas por ICONTEC.

Figura 29. Unidades de mampostería

VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS	DIAGRAMA
BAJA	<ul style="list-style-type: none"> * Las unidades de mampostería están trabadas y alineadas * Las unidades de mampostería son de buena calidad 	
MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> * La mayoría de las unidades de mampostería están trabadas y alineadas * Algunas piezas presentan agrietamiento y deterioro 	
ALTA	<ul style="list-style-type: none"> * Las unidades de mampostería no están trabadas. * Las unidades de mampostería son de mala calidad y presentan deterioro. 	

La vivienda presenta vulnerabilidad media en este ítem, debido a que las unidades de mampostería están trabadas y colocadas de manera uniforme y continua hilada tras hilada; pero se construyó con ladrillos que no son de la mejor calidad.

8.3.2 Mortero de pega y mortero de inyección. Su función es adherir las unidades de mampostería y para esto se deben cumplir dosificaciones apropiadas, tener buena plasticidad, consistencia y garantizar la retención de agua; se recomienda que la altura de la pega este entre 7 y 13mm y se debe alcanzar una resistencia mínima de 75 Kgf/cm² a los 28 días.

Debido a la falta de información, por falta de registros de resistencia del mortero, se optó por realizar un ensayo, que consiste en raspar la pega de los muros de la casa con un clavo, con el fin de observar si la pega es muy arenosa, o por el contrario es muy sólida. Con este ensayo se llegó a la conclusión que la pega no es la mejor debido a que es un poco arenosa, sin embargo, a criterio se puede decir que cumple con las características requeridas.

Figura 30. Calidad del mortero de pega

<i>VULNERABILIDAD</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
<i>BAJA</i>	<ul style="list-style-type: none"> * El espesor debe estar entre 7 y 3mm * Las juntas son uniformes y continuas tanto vertical como horizontalmente *El mortero debe ser de buena calidad y debe tener una buena adherencia con la mampostería
<i>MEDIA</i>	<ul style="list-style-type: none"> * El espesor está un poco por encima o por debajo de lo especificado * Las juntas no son uniformes
<i>ALTA</i>	<ul style="list-style-type: none"> * La pega es muy pobre entre la mampostería * Poca regularidad en la alineación de las piezas. * Mortero de mala calidad y poca adherencia

También se verificaron los espesores de pega, los cuales no cumplieron con lo recomendado, debido que algunas partes están por encima del rango requerido, y otras por debajo, también se ve que en algunas partes falta mortero de pega, es decir, que hay espacios vacíos entre las unidades de mampostería.

En cuanto al mortero de inyección como la vivienda se construyó en unidades de mampostería horizontal, se puede deducir que no hay existencia de éste. Por lo tanto a este ítem se le da una vulnerabilidad alta.

8.3.3 Espesor de los muros. La altura de los muros estructurales no deben exceder 25 veces el espesor de muro; en esta vivienda los muros estructurales tienen un espesor de 12 y 15cm, por lo tanto se permite una altura de 3m. Debido a que la altura libre entre pisos de la casa es de 2.25m, se puede decir, que cumple con los espesores recomendados para que no sea vulnerable sísmicamente.

La distancia libre horizontal de un muro no puede exceder 35 veces el espesor de éste, sin que exista una columna de amarre o algún tipo de confinamiento, por lo tanto, en esta vivienda no se pueden tener longitudes mayores a 5.25m. La vivienda presenta muros estructurales con longitudes hasta de 7.33m, sin ninguna confinación, esto la hace vulnerable sísmicamente.

Aparte de todas estas especificaciones anteriores, se tiene la siguiente restricción para el espesor, según la zona de amenaza sísmica en la cual se vaya a construir la vivienda.

Tabla 13: Espesores mínimos nominales para muros estructurales en casas de uno y dos pisos (cm).

ZONA DE AMENAZA SÍSMICA	NÚMERO DE NIVELES DE CONSTRUCCIÓN		
	UN PISO	DOS PISOS	
		PRIMER NIVEL	SEGUNDO NIVEL
ALTA	11	11	10
INTERMEDIA	10	11	9.5
BAJA	9.5	11	9.5

Medellín se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia, por lo tanto, una vivienda de dos pisos no debe tener un espesor de muros inferior a 11cm en el primer nivel, ni a 9.5cm en el segundo, según la **Tabla 13**. Los muros de la vivienda analizada son de 12 y 15cm de espesor, por lo tanto, cumplen con este requisito, sin embargo como los muros estructurales no están confinados, puede tener una mayor vulnerabilidad sísmica.

8.3.4 Longitud de muros confinados. Para garantizar que la edificación tenga capacidad de disipación de energía, se deben tener muros confinados en las dos direcciones. La edificación analizada posee muros de carga, más no están confinados, por lo tanto, no se comportará de la mejor manera en caso de un

sismo, debido a que el confinamiento es el que le da la ductilidad a la estructura y hace que soporte las cargas horizontales dinámicas. A pesar de lo anterior, se seguirá analizando como si estuvieran confinados pero sabiendo que no lo están.

Los muros deben ubicarse de la manera más simétrica posible para que la edificación tenga un buen comportamiento, y así se evita que se presenten problemas de torsión. En el caso de la vivienda, está tiene los muros ubicados asimétricamente y aunque gracias a los pocos vanos existentes, se tiene una mayor continuidad.

La longitud de los muros en una dirección debe ser similar a la longitud en la dirección ortogonal, y la longitud de los muros que estén en un mismo plano vertical no debe sumar más de la mitad de la totalidad de la longitud de los muros en esta dirección.

Fuera de que las dos longitudes en cada una de las direcciones deben ser similares, éstas deben ser mayor a L_o .

$$L_o = \frac{M_o A_p}{e}$$

(Ecuación 124)

L_o : Longitud mínima de muros estructurales en cada dirección [m]

M_o : Coeficiente (**Tabla 14**)

e : Espesor efectivo de muros estructurales en el nivel considerado [mm]

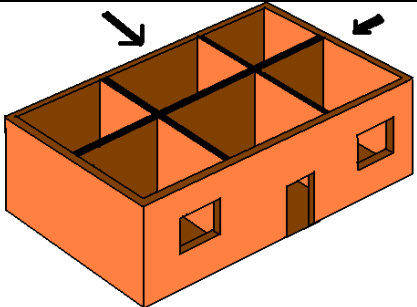
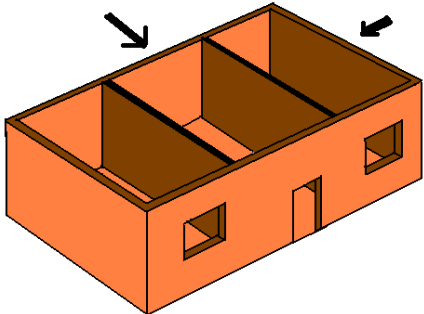
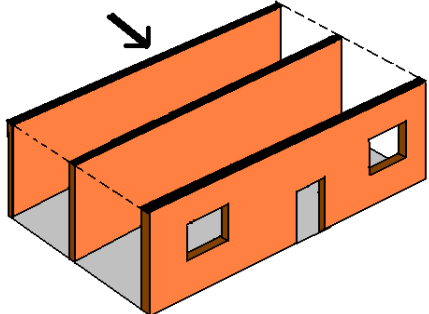
A_p : Área de la cubierta, si la casa es de un piso, es el área de la cubierta; si es de dos pisos y se están analizando los muros del primer piso, es el área de la cubierta más el área de entepiso, y si se está analizando los muros del segundo piso, es el área de la cubierta.

Tabla 14: Coeficientes M_o para L_o de muros estructurales confinados

CIUDAD	ZONA DE AMENAZA SÍSMICA	A_a	m_o
Arauca	intermedia	0.15.	13
Armenia	alta	0.25	21
Barranquilla	baja	0.10	8
Bogotá d. c.	intermedia	0.20	17
Bucaramanga	alta	0.25	21
Cali	alta	0.25	21
Cartagena	baja	0.10	8
Cúcuta	alta	0.30	25
Florencia	intermedia	0.20	17
Ibagué	intermedia	0.20	17
Leticia	baja	0.05	4
Manizales	alta	0.25	21
Medellín	intermedia	0.20	17
Mitú	baja	0.05	4
Mocoa	alta	0.30	25
Montería	intermedia	0.15	13
Neiva	alta	0.30	25
Pasto	alta	0.30	25
Pereira	alta	0.25	21
Popayán	alta	0.25	21
Puerto Carreño	baja	0.05	4
Puerto Inírida	baja	0.05	4
Quibdó	alta	0.30	25
Riohacha	intermedia	0.15	13
San Andrés, isla	baja	0.10	8
Santa Marta	intermedia	0.15	13
San José del Guaviare	baja	0.10	8

CIUDAD	ZONA DE AMENAZA SÍSMICA	A_a	m_o
Sincelejo	intermedia	0.15.	13
Tunja	intermedia	0.20	17
Valledupar	baja	0.10	8
Villavicencio	alta	0.30	25
Yopal	intermedia	0.20	17

Figura 31. Cantidad de muros en las direcciones ortogonales.

VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS	DIAGRAMA
BAJA	<ul style="list-style-type: none"> * Muros estructurales en las dos direcciones, confinados o reforzados * La longitud totalizada debe ser al menos igual a L_o 	
MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> * Los muros se concentran en una sola dirección, aunque se tienen algunos en la otra dirección. * La longitud totalizada es ligeramente inferior a L_o. 	
ALTA	<ul style="list-style-type: none"> * Más del 70% de muros están en una sola dirección. * Muy pocos muros confinados o reforzados. * La longitud totalizada es mucho menor que L_o. 	

Para medir la longitud de los muros en cada una de las direcciones, sólo se deben tener en cuenta, los muros que están confinados, que son continuos desde la cimentación y que no tienen ninguna abertura entre columnas de confinamiento.

En este caso no se tienen muros confinados, por lo tanto se seguirá analizando respecto a los muros que están soportando la carga, es decir, los que son continuos desde la cimentación; teniendo en cuenta que aunque cargan, no están en las mejores condiciones por no estar confinados.

Para la vivienda se analizó:

1. Muros del primer piso en dirección Y

Tabla de cálculo 64 : Características de muros en Y en el primer piso

Muros dirección Y (Primer Piso)		
MUROS	LONGITUD	ESPESOR
1	7,31	0,15
2	1,76	0,12
3	7,15	0,15
Longitud total	16,22	
Espesor promedio	0,1467	

Área losa entrepiso = 26.1m²

Área cubierta = 27.3m²

Ap = 53.4m²

$$L_o = \frac{17 \times 53.4}{146.8} = 6.18m < 16.22m \rightarrow \text{Cumple} \quad (\text{Ecuación 125})$$

2. Muros del primer piso en dirección X

Tabla de cálculo 65 : Características de muros en X en el primer piso

Muros dirección X (Primer Piso)		
MUROS	LONGITUD	ESPESOR
A'	0,68	0,15
A''	0,61	0,15
B'	0,84	0,12
B''	0,64	0,12
C	0,35	0,12
D'	1,25	0,15
D''	0,76	0,15
Longitud total	5,13	
Espesor promedio	0,1393	

Área losa entrepiso = 26.1m²

Área cubierta = 27.3m²

Ap = 53.4m²

$$L_o = \frac{17 \times 53.4}{139.3} = 6.52m > 5.13m \rightarrow \text{No Cumple} \quad (\text{Ecuación 126})$$

3. Muros del segundo piso en dirección Y

Tabla de cálculo 66 : Características de muros en Y en el segundo piso

Muros dirección Y (Segundo Piso)		
MUROS	LONGITUD	ESPESOR
4'	0,74	0,15
4''	1,33	0,15
4'''	1,27	0,15
4''''	0,42	0,15
5	7,33	0,15
Longitud total	11,09	
Espesor promedio	0,15	

Área cubierta = 27.3m²
Ap = 27.3m²

$$L_o = \frac{17 \times 27.3}{150} = 3.09m < 11.09m \rightarrow \text{Cumple} \quad (\text{Ecuación 127})$$

4. Muros del segundo piso en dirección X

Tabla de cálculo 67 : Características de muros en X en el segundo piso

Muros dirección X (Segundo Piso)		
MUROS	LONGITUD	ESPESOR
J	2,42	0,15
Longitud total	2,42	
Espesor promedio	0,15	

Área cubierta = 27.3m²
Ap = 27.3m²

$$L_o = \frac{17 \times 27.3}{150} = 3.09m > 2.42m \rightarrow \text{No Cumple} \quad (\text{Ecuación 128})$$

Se puede ver que además de que ninguno de los muros está confinado, no cumplen con la longitud mínima requerida en la dirección X en el primer nivel ni en el segundo; por lo tanto se tiene una vulnerabilidad sísmica alta para este ítem.

8.3.5 Abertura en los muros. Cuando se tienen vanos en los muros ya sea para puertas o ventanas, estos no deben estar muy cerca de los extremos del muro, ni deben tener un área exagerada respecto al área del muro.

Figura 32. Aberturas

VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS	DIAGRAMA
BAJA	<ul style="list-style-type: none"> * Las aberturas en los muros estructurales totalizan menos del 35% del área total del muro. * La longitud total de las aberturas debe ser menor que la mitad de la longitud del muro. * La abertura debe estar a una distancia no menor de 50cm. 	<p>Diagrama de un muro con aberturas que cumple con los requisitos de vulnerabilidad baja. El muro es naranja y está sobre un cimiento gris. Hay una puerta y dos ventanas. Dimensiones: $A_v < 0.35A_t$, distancias mínimas de 0.5m desde los bordes.</p>
MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> * Algunas aberturas no cumplen las especificaciones anteriores. 	<p>Diagrama de un muro con aberturas que no cumple con los requisitos de vulnerabilidad baja. El muro es naranja y está sobre un cimiento gris. Hay una puerta y dos ventanas. Dimensiones: Menor que 0.5m desde el borde izquierdo, Mayor que 0.5m desde el borde derecho.</p>
ALTA	<ul style="list-style-type: none"> * La mayoría de las aberturas no cumplen con los requisitos anteriores. 	<p>Diagrama de un muro con aberturas que no cumple con los requisitos de vulnerabilidad baja. El muro es naranja y está sobre un cimiento gris. Hay una puerta y dos ventanas. Dimensiones: Menor que 0.5m desde el borde izquierdo, Mayor que 0.5m desde el borde derecho, $A_v > 0.35A_t$.</p>

Los vanos de las ventanas de la vivienda se encuentran bien ubicados y cumplen con los requisitos, sin embargo, los de las puertas o accesos se encuentran en el borde del muro, teniendo así, sólo el espesor del muro ortogonal como distancia de borde, por lo tanto, se puede decir, que la vivienda tiene una vulnerabilidad media para este ítem.

8.4 ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO

Los muros de las viviendas deben estar confinados por vigas y columnas. Estos elementos son construidos con concreto reforzado, el cual debe tener una resistencia mayor o igual a 175 Kg./cm², y su acero debe tener un límite de fluencia mayor o igual a 2400 Kg./cm².

8.4.1 Columnas de confinamiento. Las columnas de confinamiento deben ir ancladas a la cimentación por medio de refuerzo y rematarse anclando el refuerzo a la viga de amarre superior. Cuando la columna sube los dos niveles se puede

realizar un empalme por traslapeo en cada nivel. Primero se debe realizar la alzada de muros y se debe vaciar la columna directamente sobre ellos.

El área de la sección transversal de las columnas de confinamiento no debe ser inferior a 200 cm^2 y una de las dimensiones debe ser el espesor del muro que confina. Estas columnas deben colocarse en los extremos de los muros estructurales y en las intersecciones con otros muros, y cuando se tienen muros más largos de 35 veces el espesor, 1.5 veces la distancia vertical ó 4 metros, se debe colocar una columna de confinamiento intermedia.

Las columnas de confinamiento deben tener como mínimo 4 barras de $3/8''$ o 3 barras de $1/2''$ si se trata de refuerzo longitudinal y para el refuerzo transversal se deben utilizar estribos cerrados, por lo menos de un diámetro de $1/4''$ y los primeros 6 estribos se deben espaciar 10 cm en las zonas adyacentes a los elementos horizontales de amarre.

La vivienda no posee columnas de confinamiento, ni siquiera donde se encuentran muros ortogonales, allí sólo se hace una traba de estos. Esto hace que la vivienda tenga una vulnerabilidad alta.

8.4.2 Vigas de confinamiento. El refuerzo de las vigas de confinamiento debe anclarse en los extremos (con otras vigas) con gachos de 90° y deben ser vaciadas directamente sobre los muros estructurales que éstas confinan.

El área transversal de estas vigas no debe ser inferior a 150 cm^2 y una de las dimensiones debe ser igual al espesor del muro; cuando se realicen enchapes se permite reducir 75mm en esta dimensión, sin embargo se debe seguir cumpliendo con el área, por lo cual, se debe aumentar la altura.

Las vigas de amarre deben formar anillos cerrados en el plano horizontal entrelazando los muros estructurales en las dos direcciones para conformar diafragmas con la ayuda del entrepiso ó la cubierta.

El refuerzo longitudinal de las vigas de amarre debe estar ubicado simétricamente con respecto al eje de la sección y este debe tener como mínimo 4 barras de $3/8''$ cuando el ancho de la viga es superior a 11cm, cuando se tienen anchos inferiores a éste, se deben colocar 2 barras de $1/2''$. La resistencia de este refuerzo no

puede ser inferior a 4200 Kg/cm². En el refuerzo transversal se deben utilizar estribos de 1/4" espaciados a 10cm de los primeros 50cm de cada extremo de la luz y espaciados a 20cm en el resto de la luz, teniendo en cuenta que la luz es el espacio comprendido entre columnas de confinamiento.

La vivienda no tiene vigas de confinamiento, debido a que lo que confina horizontalmente los muros es una losa maciza de 10cm, que cumple con los requisitos de resistencia.

Figura 33. Muros confinados y reforzados

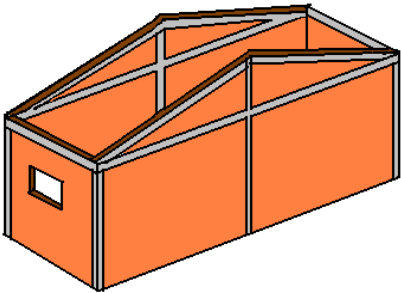
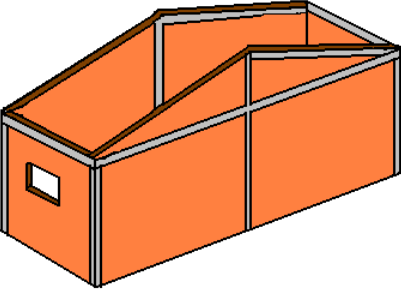
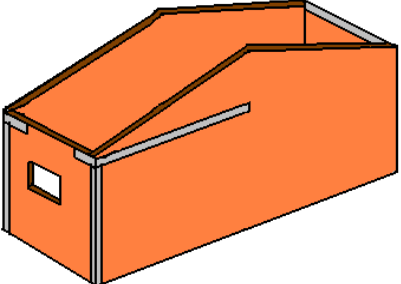
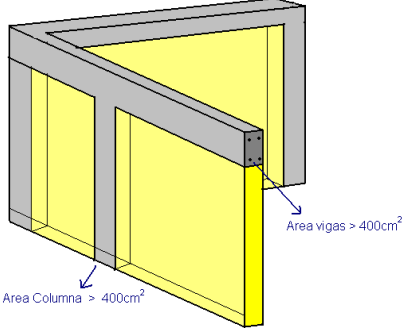
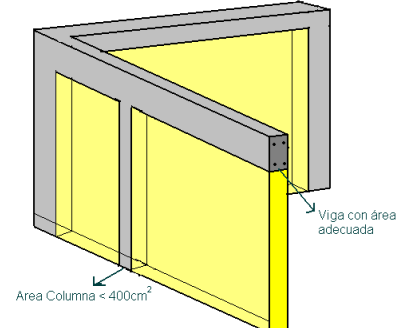
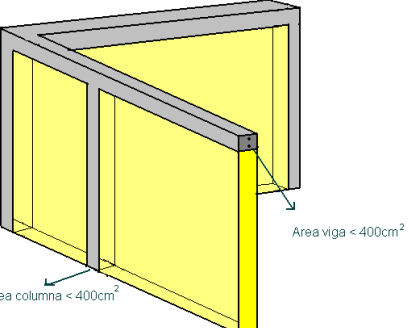
VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS	DIAGRAMA
BAJA	<ul style="list-style-type: none"> * Todos los muros de mampostería están confinados con vigas y columnas de concreto * El espaciamiento máximo entre elementos de confinamiento es del orden de 4 m o la altura entre pisos * Todos los elementos de confinamiento tienen refuerzo longitudinal y transversalmente * Las culatas y antepechos también están confinadas 	
MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> * Algunos muros no cumplen las especificaciones anteriores. 	
ALTA	<ul style="list-style-type: none"> * La mayoría de los muros de mampostería no tienen confinamiento mediante columnas y vigas de concreto reforzado 	

Figura 34. Columnas y vigas de confinamiento.

VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS	DIAGRAMA
BAJA	<p>* Las vigas y columnas deben tener un área transversal mayor a 400cm^2 y un espesor mínimo de 20cm.</p> <p>* El refuerzo de las vigas y columnas debe ser al menos 4 barras de 3/8" y estribos espaciados entre 10 y 15cm.</p> <p>* Buen contacto entre muros y elementos de confinamiento.</p>	 <p>Area Columna > 400cm^2</p> <p>Area vigas > 400cm^2</p>
MEDIA	<p>* No todas las columnas y vigas cumplen con los requisitos anteriores.</p>	 <p>Area Columna < 400cm^2</p> <p>Viga con área adecuada</p>
ALTA	<p>*La mayoría de las columnas y vigas no cumplen con los requisitos anteriores.</p>	 <p>Area columna < 400cm^2</p> <p>Area viga < 400cm^2</p>

No se tienen columnas de confinamiento, pero si una losa que confina los muros cumpliendo con el papel de las vigas de confinamiento, por lo tanto, se puede decir, que los muros están confinados parcialmente, sin embargo, se necesita un confinamiento tanto vertical como horizontal, para que la estructura se comporte dúctilmente y disipe la energía ante un sismo; esta vivienda carece de esto, por lo tanto, posee una vulnerabilidad alta para este ítem.

8.4.3 Cintas de amarre. Son elementos suplementarios a las vigas de amarre y se utilizan para rematar parapetos, culatas, etc. Debe tener una altura mayor a 10cm y un ancho igual al espesor del elemento que remata; debe tener como

mínimo 2 barras longitudinales de 3/8" y sólo estribos para mantener la posición de estas barras. El refuerzo longitudinal se debe anclar a los extremos terminales.

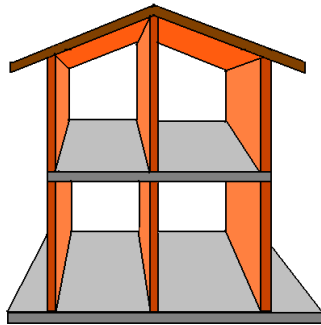
La vivienda que se analiza tiene una losa de cubierta, por lo tanto, no es necesario tener cintas de amarre.

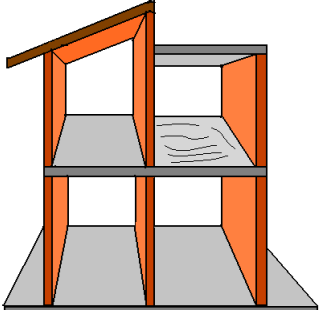
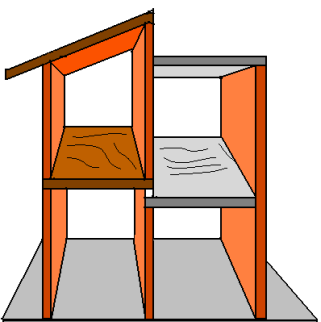
8.5 LOSAS DE ENTREPISO, CUBIERTAS, MUROS DIVISORIOS Y PARAPETOS

8.5.1 Losas de entrepiso. Las losas de entrepiso deben tener la suficiente rigidez en su propio plano para que garanticen el trabajo como diafragma; para esto, deben estar construidas monolíticamente y cumplir con los siguientes requisitos:

- Los esfuerzos de contacto por las cargas concentradas de dinteles, vigas o elementos de placa, no pueden exceder el 40% de la resistencia bruta especificada para las unidades de mampostería.
- En placas prefabricadas el espesor de los muros no debe ser inferior a 12cm y el apoyo de la placa no puede ser menor de 2cm. Para considerarla como diafragma se debe utilizar un recubrimiento mínimo de 2.5cm y el concreto utilizado para su construcción tendrá una resistencia $f'c$ de 75 Kgf/cm² a los 28 días y reforzado al menos en la dirección transversal a la carga.

Figura 35. Losas de entrepiso

.VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS	DIAGRAMA
BAJA	<p>* La losa de entrepiso debe estar conformada por placas de concreto fundidas en situ o prefabricadas, que funcionen de manera monolítica.</p> <p>* La losa de entrepiso se apoya de manera adecuada a los muros de soporte y proporciona continuidad y monolitismo.</p> <p>* La losa es continua, monolítica y uniforme con relación a los materiales que la componen.</p>	

.VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS	DIAGRAMA
<p style="text-align: center;"><i>MEDIA</i></p>	<p>* La losa de entrepiso no cumple con algunas de las consideraciones anteriores.</p>	
<p style="text-align: center;"><i>ALTA</i></p>	<p>* La losa de entrepiso no cumple con varias de las consideraciones anteriores. * Los entrepisos están conformados por madera o combinaciones de material como guadua, mortero, madera, concreto y no proporcionan las características de continuidad y amarre deseados.</p>	

La losa de la vivienda es una losa maciza de 10cm y al parecer se vació monolíticamente y directamente sobre los muros, lo que ayuda al contacto muro-losa y hace que se comporte como un diafragma. Por todo esto, se puede concluir, que es de vulnerabilidad baja para este ítem.

8.5.2 Cubiertas. Los elementos que conforman la cubierta se deben comportar como un conjunto y éste debe ser estable ante las cargas laterales; para garantizar esto, se deben disponer sistemas de anclaje en los apoyos y suficientes elementos de arriostramiento como tirantes, contravientos, riostras, y otros.

Los elementos que transmiten las cargas de cubierta a los muros estructurales, deben diseñarse para que transfieran las cargas y anclarse a la solera que sirve de amarre al muro confinado, ya sea con vigas o cintas de amarre. Cuando la cubierta es construida en concreto reforzado se expone directamente a la luz solar, lo que genera expansiones y contracciones que pueden lesionar los muros estructurales, por esto, se deben tomar las precauciones necesarias.

Figura 36. Amarre de cubiertas

<i>VULNERABILIDAD</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
<i>BAJA</i>	<ul style="list-style-type: none">*Existen tornillos, alambres o conexiones similares que amarran el techo a los muros* Hay arriostramiento de las vigas y la distancia entre estas no es muy grande.* La cubierta es liviana, debidamente amarrada y apoyada a la estructura de la cubierta.
<i>MEDIA</i>	<ul style="list-style-type: none">* Algunos de los anteriores requisitos se cumplen.
<i>ALTA</i>	<ul style="list-style-type: none">* La mayoría de los requisitos mencionados no se cumplen.

La cubierta de la vivienda es una losa similar a la de entresuelo, vaciada monolíticamente y directamente sobre los muros estructurales. Al parecer la losa no posee ningún tipo de recubrimiento que evite que se dilate por cambios de temperatura; esto se concluyó al observar los muros del segundo nivel, los cuales poseen grietas horizontales en las últimas hiladas debido a esta dilatación.

Ilustración 2 : Grietas debido a la dilatación de la losa de cubierta



La losa de cubierta se vació monolítica y directamente sobre los muros, por lo tanto tienen buen amarre a la estructura, por lo que para este ítem se tendrá una vulnerabilidad baja.

8.5.3 Muros divisorios. Tienen la función de separar los espacios y por lo tanto no son estructurales, soportan las fuerzas horizontales producidas por el sismo y su peso propio. Se adhieren a la edificación con mortero de pega en los bordes de contacto con los diafragmas superior e inferior y con los muros estructurales adyacentes.

Los muros divisorios tienden a volcarse con facilidad ante un sismo, especialmente cuando no van de diafragma a diafragma, por esto, deben anclarse al diafragma y tomarse las precauciones necesarias.

La vivienda posee muros divisorios en el segundo nivel unidos a los diafragmas, contruidos en el mismo tipo de unidades de mampostería que poseen todos los muros de la vivienda, es decir, en unidades de mampostería de perforación horizontal.

8.5.4 Parapetos y antepechos. Para alturas inferiores a 1.5m se deben anclar los parapetos al diafragma inmediatamente inferior mediante una cinta de remate y columnas de amarre ubicadas a distancias no mayores de 3m, teniendo siempre una columna de amarre en cada extremo.

Los antepechos para balcones deben anclarse al diafragma inferior mediante una cinta de remate y columnas ubicadas en las esquinas, en los extremos y si este es muy largo se deben tener columnas por lo menos cada 1.5m.

8.6 CIMENTACIONES

El sistema de cimentaciones generalmente está compuesto de un malla de cimientos, que conforman anillos rectangulares en planta, una loseta de piso, y si los hubiere, los elementos especiales de transferencia de carga al suelo de cimentación. El sistema de cimentación debe ser capaz de soportar las cargas verticales y horizontales, dentro de los límites de deformaciones totales y diferenciales.

Los anillos conformados en la malla de cimentación deben tener dimensiones interiores menores de 4m. La intersección de los elementos debe ser monolítica y el refuerzo debe tener gancho estándar de 90° en esta intersección en la cara

exterior del elemento transversal terminal. Todos los muros estructurales se deben apoyar sobre los elementos que integran esta malla.

Estos criterios se pueden utilizar en suelos que no presenten inestabilidad lateral, pendientes superiores al 30%, comprensibilidad excesiva, expansibilidad de intermedia a alta ó colapsibilidad; en caso de presentar alguna de las características anteriores, se debe realizar un estudio geotécnico.

Cuando no exista un estudio de suelos se debe:

- Verificar el comportamiento de casas similares en zonas aledañas, es decir, verificar que no hayan asentamientos excesivos, agrietamientos, deslizamientos, etc.
- Realizar un apique por cada 3 unidades construidas ó por cada 300 m² construidos, con una profundidad de por lo menos 2m.
- Retirar el material inapropiado para la cimentación como descapote, escombros, materia orgánica, etc.
- Asumir la capacidad portante del suelo no más de 0.5 Kg./cm², a menos que por experiencia se haya demostrado utilizar capacidades mayores.

Figura 37. Suelo adecuado para cimentaciones

<i>VULNERABILIDAD</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
<i>BAJA</i>	*El suelo de fundación es duro (no existen hundimientos, los árboles y postes no están inclinados, no se siente vibración cuando pasa un vehículo pesado, no se presentan agrietamientos ni daños generalizados en viviendas vecinas).
<i>MEDIA</i>	*El suelo de la fundación es de mediana resistencia (se presentan algunos hundimientos, vibraciones cuando pasa un vehículo pesado).
<i>ALTA</i>	*El suelo de la fundación es blando o es arena suelta (se presenta hundimiento en zonas vecinas, vibración al paso de vehículos pesados).

No se tiene conocimiento de ensayos de laboratorio que se le hayan realizado al suelo y se presume que no se realizaron a la hora de construir; pero se puede observar que no se encuentra sobre un lleno sino sobre un corte, por lo tanto, lo más probable es que el suelo cargo en el pasado con pesos mayores a los que soporta actualmente, por lo anterior, se le dará una vulnerabilidad baja.

8.6.1 Cimientos en mallas de ciclópeo y vigas de cimentación. La configuración transversal de la cimentación puede estar constituida por un cimiento en concreto ciclópeo y una viga de coronación, formando una intersección monolítica sobre la cual puede descansar un muro estructural.

Los cimientos en concreto ciclópeo deben tener una altura mínima de 20cm y un ancho que corresponda a las cargas del muro que soporta y a la capacidad portante del suelo, pero en ningún caso menor de 30cm.

Los cimientos excéntricos deben tener elementos perpendiculares que garantice su estabilidad. Los elementos transversales no se deben espaciar más de 3m entre centros y geometría igual a la de los cimientos centrales en su dirección.

8.6.2 Vigas de amarre. Se ubican coronando en cimientos de concreto ciclópeo con una viga de amarre cuyo ancho puede ser mayor o igual al muro que va a soportar. Estas vigas de amarre deben tener como mínimo una altura capaz de soportar las discontinuidades producidas por vanos y ventanas; y debe ser mayor a 20cm. Esta viga debe tener como mínimo 4 barras de 3/8" y estribos de 1/4" espaciados cada 20cm, con una resistencia de 2400 Kg./cm². El concreto de las vigas debe tener una resistencia superior a 175 Kg./cm² y el concreto ciclópeo debe tener un agregado pétreo con un tamaño máximo igual a la mitad del ancho de la sección del ciclópeo y no mayor a 25cm.

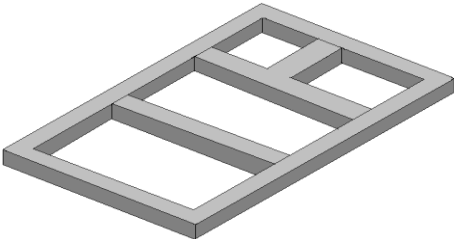
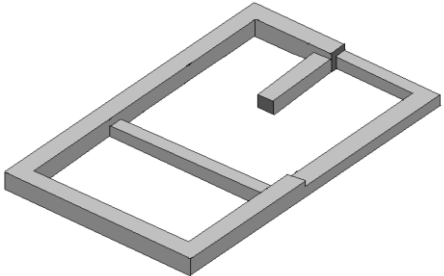
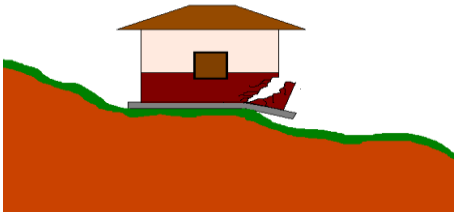
8.6.3 Cimientos en mallas de concreto reforzado. Las dimensiones de concreto reforzado dispuestos en planta deben tener una sección rectangular con dimensiones no menores a las especificadas en seguida.

Tabla 15: Dimensiones mínimas de la sección para elementos de cimentación en concreto reforzado (cm)

CONDICIONES DE APOYO	CONSTRUCCIONES DE			
	UN PISO		DOS PISOS	
	ANCHO	ALTO	ANCHO	ALTO
SUELO NATURAL	25	20	30	30
PLATAFORMA DE SUELO MEJORADO (CIMENTOS FORMALETEADOS)	20	20	25	25

El refuerzo mínimo que deben tener los elementos de cimentación es longitudinalmente 4 barras de 3/8" si se trata de casas de un piso ó 4 barras de 1/2" si es de dos pisos y transversalmente estribos cerrados de 1/4" espaciados a 20cm; éste se debe colocar simétricamente en la sección y repartir en las dos caras.

Figura 38. Cimentaciones

VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS	DIAGRAMA
BAJA	<ul style="list-style-type: none"> * Las vigas de cimentación conforman anillos cerrados y amarrados. * Sobre las vigas de concreto reforzado se encuentran los muros estructurales. * Todas las vigas tienen las mismas dimensiones. 	
MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> * La cimentación no está debidamente amarrada. * No todas las vigas tienen las mismas dimensiones. 	
ALTA	<ul style="list-style-type: none"> * La edificación no cuenta con una cimentación adecuada de acuerdo con los requisitos anteriores. 	

Indagando con los habitantes de la vivienda se concluyo que esta construida sobre una placa de concreto maciza de 20cm de espesor, sobre la cual están apoyados todos los muros, no tiene anillos rectangulares cerrados ni una loseta de menores dimensiones, pero esto no es de importancia debido a que con este espesor de losa es suficiente para transmitir la carga al suelo.

La Tabla 15 muestra que para cimentar una casa de dos pisos en suelo natural se debe tener un ancho y un alto de vigas de 30 cm.. La vivienda no está construida por medio de vigas en las cuales se apoyan muros, pero posee una losa maciza de 20cm la cual le da unas condiciones óptimas para transmitir la carga al suelo, por esto a este ítem se le dará una vulnerabilidad baja.

8.6.4 Instalaciones hidrosanitarias. Las instalaciones hidrosanitarias se deben pasar preferiblemente por encima de la malla de cimentación, se deben utilizar piezas de sobrecimiento entre la malla y el contrapiso, realizando una impermeabilización lateral y horizontal adecuada, esta se hace con mortero.

Cuando sea totalmente necesario atravesar las instalaciones hidrosanitarias por los elementos de la malla de cimentación se deben cumplir los siguientes requisitos:

- El diámetro del tubo debe ser inferior a 15cm.
- El tubo debe estar ubicado en el tercio central, ya sea del elemento de concreto reforzado ó en el elemento de concreto ciclópeo.
- Las perforaciones hechas en los elementos de cimentación no deben tener alturas mayores a 15cm ni longitudes superiores a 30cm.
- La altura del elemento perforado puede aumentarse en un 50% si se excede la altura original de éste.
- Si se supera la altura o longitud de perforación en más de 15cm se debe colocar 2 estribos adicionales a cada lado de la perforación a 5cm de la misma y espaciados 10cm uno del otro.

Si las tuberías de las redes hidrosanitarias tienen diámetro inferior a los 6cm no se debe cumplir con los requisitos anteriores. En el concreto ciclópeo se pueden perforar con tubos hasta de 10cm de diámetro y 30cm de longitud, sin requisitos especiales. Como la vivienda ya está construida, es imposible tener conocimiento de cómo fueron pasadas las instalaciones hidrosanitarias por el concreto.

8.6.5 Contrapisos. Se debe garantizar que el sistema de cimentación trabaje como diafragma. La loseta de contrapiso que configura el acabado del piso debe consistir en un mortero de acabado con arena gruesa o un concreto hecho con agregado fino, de espesor no inferior a 3cm. Se debe colocar únicamente el refuerzo mínimo que atienda la retracción al fraguado. Esta loseta se debe vaciar contra los muros estructurales.

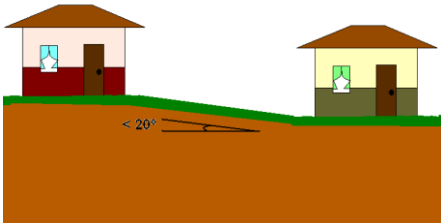
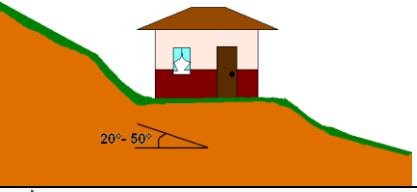
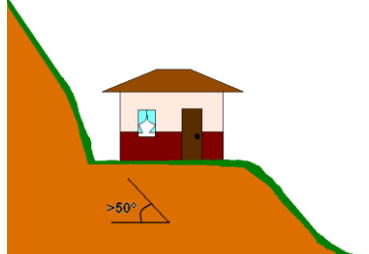
8.6.6 Juntas. La separación entre casas debe ser el resultado del estudio geotécnico, a la falta de éste, las juntas no deben hacerse a distancias mayores de 30m y la separación neta de la junta debe ser mayor a 2.5cm por cada piso de construcción.

8.6.7 Muros divisorios no estructurales. Los muros divisorios no estructurales pueden apoyarse directamente sobre la loseta de piso sin precauciones adicionales. A la malla de cimentación se le puede adicionar elementos secundarios para apoyar los muros divisorios. Cuando se tienen intersección entre muros estructurales y muros divisorios no estructurales no debe haber traba física y se deben emplear conectores flexibles cada 40cm o estribos en alambre de diámetro de 4mm de las dimensiones indicadas.

La vivienda posee muros divisorios y éstos se encuentran trabados con los muros estructurales, pudiendo generar esfuerzos adicionales en éstos, poniendo así la vivienda en peligro. Lo mejor es separar los elementos estructurales de los no estructurales por esta razón, si los elementos no estructurales de pronto le aportan estabilidad o resistencia a la estructura, es mejor que lo hagan separados de los estructurales.

8.6.8 Construcciones en ladera. Cuando se tienen pendientes superiores a 20% se deben tomar medidas como pilares en concreto ciclópeo, dispuestos en las esquinas del borde inferior de la ladera a distancias no mayores de 5m entre centros y anclar estos por lo menos un metro en el suelo natural.

Figura 39. Topografía del lote de construcción

VULNERABILIDAD	CARACTERÍSTICAS	DIAGRAMA
BAJA	* La topografía del lote en que se construirá es plana o muy poco inclinada, con pendientes menores al 20%.	
MEDIA	* La pendiente del lote esta entre 20% y 30%.	
ALTA	* Se tienen pendientes mayores al 30%.	

El lote donde se encuentra construida la vivienda tiene una pendiente pronunciada y debido a esto tiene una vulnerabilidad alta para este ítem.

8.7 CALIFICACIÓN DEL GRADO DE VULNERABILIDAD

Tabla de cálculo 68 : Evaluación del grado de vulnerabilidad sísmica

COMPONENTE	VULNERABILIDAD		
	BAJA	MEDIA	ALTA
Irregularidad en planta		2	
Irregularidad en altura			3
Unidades de mampostería		2	
Calidad del mortero de pega			3

COMPONENTE	VULNERABILIDAD		
	BAJA	MEDIA	ALTA
Cantidades de muros en las direcciones ortogonales			3
Aberturas		2	
Muros confinados y reforzados			3
Columnas y vigas de confinamiento			3
Losas de entrepiso	1		
Amarre de cubiertas	1		
Suelo adecuado para cimentaciones	1		
Cimentaciones	1		
Topografía del lote de construcción			3
CALIFICACIÓN GLOBAL	4	6	18

Se obtuvieron varios ítems con vulnerabilidad alta, por lo tanto la puntuación final desfavoreció la vivienda, obteniendo el mayor puntaje en la última casilla. Por esto la vivienda es considerada de vulnerabilidad alta.

9 RESULTADOS

- La evaluación por el método cuantitativo arroja como resultado que los muros no cumplen con las resistencias a cortante, a flexo-compresión ni a tracción, encontrando a tracción esfuerzos actuantes grandísimos para ser soportados únicamente por la mampostería; por esto es necesario el confinamiento, debido a que el concreto reforzado es muy efectivo absorbiendo esos esfuerzos por su gran ductilidad.
- El método cualitativo parte de la base de que los muros son confinados y todo el análisis que se realiza parte de esta suposición y aun así los muros no cumplen con las longitudes mínimas recomendadas, dándole una vulnerabilidad alta a la vivienda.
- Después de revisar el programa utilizado por estudiantes de la Escuela de Ingeniería de Antioquia en trabajos de grado anteriores, se le realizaron unas correcciones como problemas de unidades y algunas formulas que no coinciden con el método utilizado, es decir, el método de esfuerzos admisibles. Este software fue modificado, será anexado a este trabajo de grado en un CD y a la vez entregado a la ingeniera Maria del Pilar Duque, asesora de este trabajo.

10 CONCLUSIONES

- En este trabajo de grado se evaluó la vulnerabilidad con dos métodos que están dirigidos a ingenieros o técnicos en el área de construcción, por lo tanto son métodos más rápidos y sencillos que se pueden desarrollar manualmente si se desea y por esto fueron escogidos para realizar el ejemplo.
- Este trabajo no está dirigido a ingenieros calculistas, porque estos deben realizar análisis más detallados como por ejemplo elementos finitos o el método de la columna ancha que se pueden desarrollar en el programa SAP o utilizar otros programas de análisis como R.C. Building, ETABS, entre otros.
- Es mejor trabajar por el método cuantitativo cuando se realiza una evaluación de vulnerabilidad sísmica a una edificación, debido a que éste arroja resultados más confiables, mostrando que es lo que le hace falta a cada elemento para resistir los esfuerzos actuantes.
- El método cualitativo se basa en el criterio personal de quién analiza la vivienda; aunque puede ser utilizado cuando no sea necesario tener mucha precisión, cuando la edificación no va a ser reformada o cuando se desee hacer un estudio previo y luego evaluar por el método cuantitativo u otro método.
- Ambos métodos utilizados son la simplificación de metodologías más exactas que arrojan como resultado dimensiones menores de los elementos, teniendo con estos métodos niveles de seguridad mayores por no realizar un análisis detallado, obteniendo como resultado viviendas y reestructuraciones no del todo óptimas desde el punto de vista económico.
- En este trabajo de grado se realizó una observación en la cual se dice que las edificaciones con gran altura son más susceptibles a deformaciones a causa de la flexión, mientras que las de poca altura presentan deformaciones por cortante. Es por esto entonces que el método cualitativo sólo permite evaluar viviendas de uno o dos niveles y basa sus teorías en ecuaciones en las que influye únicamente los efectos a cortante y no tiene en cuenta el trabajo a flexión que se genera en muros muy esbeltos. Es recomendable entonces

utilizar el método cuantitativo, debido a que este distribuye las cargas según la rigidez de los muros y la ubicación que estos tienen en la estructura, y además porque tiene en cuenta los esfuerzos a flexión a causa de las fuerzas paralelas al plano del muro; como ejemplo se tiene la vivienda analizada, en la cual se encontraron esfuerzos grandísimos a tracción a causa de esta flexión (mayores que los esfuerzos a cortante).

- En el método cuantitativo la rigidez depende de la longitud de los muros de una manera muy importante, es más la rigidez posee dos términos, uno teniendo en cuenta cortante y en el otro la flexión, en el primero la rigidez crece linealmente con la longitud; pero en el segundo la longitud es más importante, debido a que la rigidez crece con el cubo de ésta. La rigidez es de gran importancia, debido a que al distribuir la carga sísmica el muro con mayor rigidez tomará mayor porcentaje de esta carga. En el método cualitativo tiene en cuenta esto, sin embargo, no se hacen los respectivos cálculos sino que se exigen longitudes similares en ambas direcciones y se pide que no se tenga una diferencia considerable de muros a un lado de la edificación y al otro no, es decir, exigen que sea una edificación simétrica con el fin de que la estructura no posea una dirección más rígida que la otra o un sector más rígido que el otro, porque así se desplaza el centro de rigidez y por ende se generan grandes momentos torsores que pueden llevar al colapso a la estructura.
- La edificación analizada posee muros con longitudes muy pequeñas, haciendo que estos no se comporten como paneles sino como una columnas por la relación h/L , generando esfuerzos axiales a causa de la flexión grandísimos que hacen que la mampostería trabaje a tracción, medida que no es recomendable debido a que la mampostería trabaja mucho mejor a compresión que a tracción. Por esto pensamos que es mejor no tener en cuenta muros con relaciones h/L menores a 2.5 o mejor aun tener en cuenta que cuando se diseñan estos muros deben ser analizados como columnas y reforzados como tales, es decir con sus celdas llenas de grouting y reforzadas.
- En los métodos cuantitativos se realizan suposiciones respecto a las características de los materiales de los elementos estructurales, pero estas pueden llegar a ser muy diferentes a las que poseen en la edificación. En el mejor caso se realizan algunos ensayos de laboratorio que pueden dar resultados similares a los tenidos en cuenta.
- El método cualitativo no permite una evaluación precisa de la vulnerabilidad de las estructuras; sin embargo, llegan a ser la única herramienta disponible en los casos para los que la modelación matemática por medio de los métodos

cuantitativos es muy costosa, compleja o involucra factores cuyo comportamiento es difícil de predecir. A veces la opinión de un experto y una base de datos bien estructurada puede ser una mejor solución.

- En los trabajos sociales consultados para realizar este trabajo de grado se observó que la solución propuesta para disminuir la vulnerabilidad sísmica de las viviendas era construir un muro que estuviera en las mejores condiciones, supuestamente trasmitiéndole toda la carga a éste cuando ocurra un sismo por ser el de mayor rigidez y por esto suponer que los otros prácticamente “no sentirán” la fuerza o tomarán solo una pequeña fracción de esta; sin embargo, a criterio propio nos parece que descargar toda la responsabilidad de la estructura en un sólo muro es algo ilógico porque no existen los mecanismos para hacerlo. Por esto, en los resultados se propone confinar los muros existentes, para que todos trabajen, y en el caso que uno de estos falle, la estructura se mantenga en pie y no que un sólo muro la lleve al colapso.

- El método cualitativo exige estructuras muy simétricas y con unas longitudes mínimas de muros en cada dirección, por lo tanto no está teniendo en cuenta las fuerzas causadas por la torsión. Como conclusión pensamos que si se está evaluando por este método y no se cumplen los requisitos anteriores, lo mejor es detener el trabajo allí y evaluar por el método cuantitativo.

11 RECOMENDACIONES

11.1 TÉCNICAS

- Después de analizar los cálculos realizados en el método cuantitativo y las observaciones hechas en el cualitativo se pueden realizar unas recomendaciones mínimas para que la vivienda este en mejores condiciones ante la ocurrencia de un sismo. La vivienda posee una vulnerabilidad símica alta y esto se debe a dos factores:
 - El primer factor y el más importante es que los muros no se encuentran confinados, y esta confinación es la que le da la ductilidad a la estructura, es decir, la que ayuda a que la estructura disipe la energía que produce el sismo por medio de elementos dúctiles como vigas y columnas de confinamiento en concreto reforzado ó con celdas con refuerzo vertical rellenas con mortero de inyección o grouting. Esta última solución no es viable debido a que la vivienda está construida en mampostería de perforación horizontal que no permite colocar refuerzo en sus celdas para unir por medio de este los diafragmas. Por esto la recomendación a criterio propio es realizar columnas de confinamiento en las uniones de muros ortogonales y columnas intermedias cuando el muro tenga una longitud superior a 4m, es decir, no se debe dejar una longitud de muro mayor a 4m sin confinar.
 - El segundo factor es que la longitud de los muros en la dirección X no es suficiente para soportar la carga de sismo en esta dirección. Para esto deben crear muros nuevos confinados sobre todo en el segundo nivel que solo se tiene un muro estructural.
- Para la construcción de estas columnas de confinamiento se debe demoler una sección de los muros en forma vertical de diafragma a diafragma y colocar anclajes epóxicos tanto en la cubierta como en la cimentación; la losa de entrepiso puede ser perforada debido a que sólo posee 10 centímetros de espesor, esto con el fin de pasar el refuerzo y que las columnas queden continuas en toda la altura desde la cimentación hasta la cubierta y por ultimo realizar traslapos en el refuerzo. Para el vaciado se debe picar el concreto de

contacto para que tenga una superficie limpia y rugosa, y se debe vaciar directamente sobre los muros que se van a confinar.

- En el segundo nivel existen muy pocos muros estructurales y este es uno de los grandes problemas de la vivienda, esto sucedió porque los muros del primer nivel no se continuaron en el segundo. Lo que se sugiere es llegar a un acuerdo con el propietario para reorganizar los espacios en el segundo nivel y hacer que los muros coincidan unos con otros en ambos niveles. Para esto se deben demoler los muros divisorios del segundo nivel y construir unos nuevos que estén confinados y reforzados.
- Existe una técnica que consiste en un revoque estructural, este es un revoque de gran resistencia que se aplica sobre los muros con una malla de refuerzo para que los muros actúen monolíticamente y se comporten mejor antes las cargas. En Colombia este tipo de refuerzo no ha sido muy estudiado por lo tanto sería difícil realizar los cálculos necesarios, sin embargo esto podría ser utilizado por lo menos en los muros en dirección X que son los que se podrían ver más afectados ante la ocurrencia de un sismo y probablemente no sería necesario construir muros adicionales.

11.2 PROPIAS DEL TRABAJO

- Después de realizar este trabajo se recomienda a todas las personas que acajan el siguiente orden al evaluar la vulnerabilidad sísmica de una edificación, primero deben realizar una evaluación cualitativa y si encuentran problemas en esta deben realizar el análisis cuantitativo que es más certero y tiene en cuenta efectos que el otro no tiene.
- Se recomienda utilizar estos métodos para realizar una evaluación de viviendas de uno o dos niveles, teniendo en cuenta que se tienen métodos más completos que arrojan resultados más confiables y económicos; por esto, los dos métodos deben ser utilizados por profesionales que no sean especialistas en cálculos estructurales.
- Se recomienda a la Escuela de Ingeniería de Antioquia que enfatice en la enseñanza la construcción de viviendas de mampostería estructural, debido a que son muy comunes en nuestro medio y que los muros en mampostería se

comportan y se analizan muy diferente a los pórticos que es lo que comúnmente se trabajan en las asignaturas de estructuras.

- Se pudo observar durante el desarrollo de este trabajo que es necesario confinar los muros de las estructuras, por esto, se pide encarecidamente a las personas que construyen su vivienda sin el apoyo de un ingeniero estructural (medida que es poco recomendable) que no pasen por alto este confinamiento, debido a que la mampostería no resiste por sí sola los esfuerzos generados por el sismo, en especial los esfuerzos a tracción que son causados cuando los muros se flectan.

BIBLIOGRAFÍA

- ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería. Santafe de Bogota: Carrera 7ª Ltda, 2001.
- GUIA SIMESA PARA INGENIEROS CALCULISTAS, CONSTRUCTORES E INTEVENTORES DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO. Sexta Edición. Medellín, 1999.
- INGENIERIA DEL CONCRETO LTDA. Diseño de muros de mampostería. Medellín.
- NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESITENTE, NSR-98. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Santafe de Bogota. 3R Editores Ltda, 1999.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Santafe de Bogota D.C. OCONTEC, 2002.
- www.senamed.edu.co
- DUQUE, Maria del Pilar. Análisis y Revisión de Estructuras de Mampostería no Reforzada.
- ESCOBAR ISAZA Sergio, LOPEZ PEREZ Luís Alberto. Estudio de vulnerabilidad sísmica en una vivienda del barrio El Cristo. Trabajo de grado de la Escuela de Ingeniería e Antioquia. Ingeniería Civil, 2003.
- PALOMINO, Carlos. Métodos alternos para evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural de edificaciones existentes y su uso en Latinoamérica.
- GÜEVARA, Teresa. La influencia de la forma de la planta en el comportamiento Sismo Resistente de las edificaciones de viviendas de altura media. Caracas, Venezuela, 1992.
- AGUIAR, Roberto; BARBAT, Alex; CAICEDO, Cesar; CANAS, José. Vulnerabilidad Sísmica de Edificios. Monografías de Ingeniería Sísmica.

- Barcelona: CIMNE (Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería), 1994.
- BECONCINI, M. L.; CARAMELLI, S.; FAVILLI, A. A study concerning the seismic vulnerability of the masonry and reinforced concrete buildings at Castelnuovo Garfagnana. Proceeding of the Eight European Conference on Earthquake Engineering, 8EECE. Vol. 1, Topic 2. Lisboa, 1986.
- BERNARDINI, A.; GORI, R.; MODENA, C. A knowledge based survey of masonry buildings for seismic vulnerability evaluations. Tieré à part des Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. Volume 6, 1992.
- CARDONA, Omar Darío. Metodologías para la Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones y Centro Urbanos. Conferencia en el Seminario Colombo Alemán Ingeniería Sísmica, Dinámica Estructural y Hormigón Armado. Santiago de Cali: UNIVERSIDAD DEL VALLE, 1990.
- CARDONA, Omar Darío; HURTADO, Jorge Eduardo. Propuesta Metodológica para los Análisis de Vulnerabilidad. Informe de Consultoría Proyecto UNDR0/ACDI/ONAD para la Mitigación de Riesgos en Colombia. Inédito. Santiago de Cali, 1990.
- CARDONA, Omar Darío. Sistema de estimación de riesgo sísmico para fines de seguros. Conferencia en el Seminario Taller sobre Vulnerabilidad Sísmica y Escenarios de Riesgo. Pereira: CARDER, 2001.
- DUBOIS, D.; PRADE, H. Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications. New York: Academic Press, 1980.
www.gfz-potsdam.de/pb4/ilp98/ii-7we.html
- GIULIANO, Mario; GORI, Roberto; SAEZ, Samuel. Estudio de Vulnerabilidad Sísmica de Viviendas de Adobe en la Zona de Coelemu (VIII Región, Chile). Memorias de las XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Jubileo Prof. Julio Ricaldoni. Punta del Este: INSTITUTO DE ESTRUCTURAS Y TRANSPORTE; FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA, 2000.
- JARAMILLO MONTES, Pablo Andrés; TRUJILLO BADILLO, Renatto. Propuesta Metodológica para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica de viviendas de uno y dos pisos construidas en mampostería confinada según los requisitos

de la NSR-98, Capítulo E. Santiago de Cali, 1999. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería.

- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Mitigación de Desastres en las Instalaciones de Salud. Aspectos de Ingeniería Vol. 4. Washington D.C.: OMS (Organización Mundial de la Salud), 1993

ANEXOS FOTOGRÁFICOS

Ilustración 3 : Separación o junta con la vivienda vecina



Ilustración 4 : Vista frontal y lateral de la vivienda



Ilustración 5 : Vista frontal de la vivienda



Ilustración 6 : Muro lateral de la vivienda



Ilustración 7 : Vista lateral de la vivienda



Ilustración 8 : Vacío de las escaleras



Ilustración 9 : Interior primer nivel



Ilustración 10 : Cocina (Primer nivel)

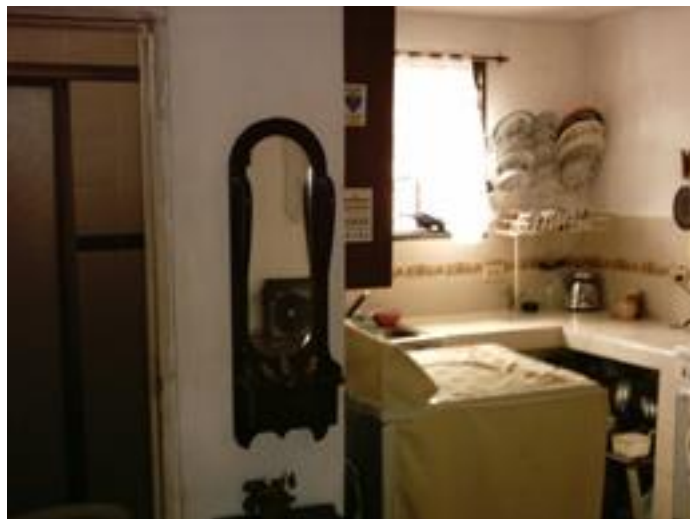


Ilustración 11 : Acceso principal desde el interior

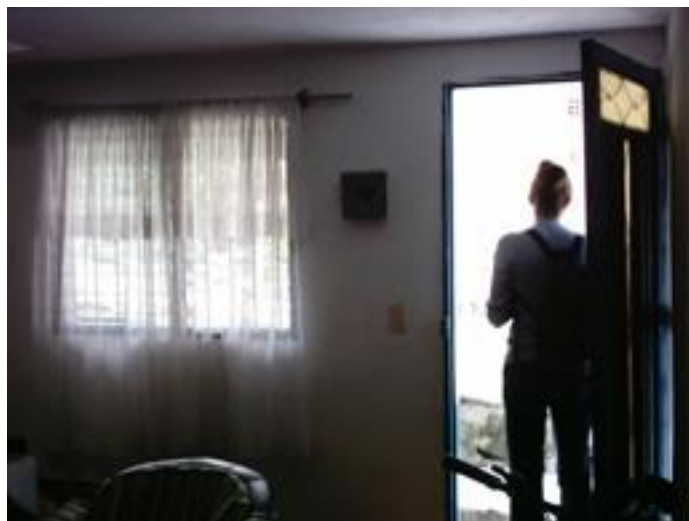


Ilustración 12 : Escaleras

