



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Estructuras

**EVALUACIÓN DEL NIVEL DE FISURAMIENTO EN LOS MUROS DE UN
EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO DE BAJA DUCTILIDAD**

Ing. Hector Rolando Lopez Marin

Asesorado por el Msc. Ing. Humberto Rosal Paz

Guatemala, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL NIVEL DE FISURAMIENTO EN LOS MUROS DE UN
EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO DE BAJA DUCTILIDAD**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ING. HECTOR ROLANDO LOPEZ MARIN

ASESORADO POR EL MSC. ING. HUMBERTO ROSAL PAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN ESTRUCTURAS

GUATEMALA, MARZO DE 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Ing. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Cotí
EXAMINADOR	Ing. Armando Fuente Roca
EXAMINADOR	Ing. Pedro Miguel Martínez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

EVALUACIÓN DEL NIVEL DE FISURAMIENTO EN LOS MUROS DE UN EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO DE BAJA DUCTILIDAD

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 29 de junio del 2020.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Hector Rolando Lopez Marin', written over a horizontal line.

Ing. Hector Rolando Lopez Marin

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL NIVEL DE FISURAMIENTO EN LOS MUROS DE UN EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO DE BAJA DUCTILIDAD**, presentado por: **Héctor Rolando López Marín** , que pertenece al programa de Maestría en ciencias en Estructuras después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, marzo de 2022

AACE/gaoc



Guatemala, marzo de 2022

LNG.EEP.OI.133.2022

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“EVALUACIÓN DEL NIVEL DE FISURAMIENTO EN LOS MUROS DE UN EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO DE BAJA DUCTILIDAD”

presentado por **Héctor Rolando López Marín** correspondiente al programa de **Maestría en ciencias en Estructuras**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**





Guatemala, 16 de noviembre 2020

Maestro
Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de
Postgrado Facultad de
Ingeniería Presente.

Estimado Señor Director:

De manera atenta hago constar que he revisado el Informe Final del estudiante Héctor Rolando López Marín con número de carné 201990367 de la Maestría en Ciencias en Estructuras titulado: "EVALUACIÓN DEL NIVEL DE FISURAMIENTO EN LOS MUROS DE UN EDIFICIO DE CONCRETO REFORZADO DE BAJA DUCTILIDAD".

Con base en la evaluación realizada hago constar la originalidad, calidad, coherencia según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobados por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Cumpliendo tanto en su estructura como en su contenido, por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Atentamente,

Ingeniero MsC.
Armando Fuentes Roca
Coordinador de infraestructura
Escuela de Estudios de Postgrado Facultad de Ingeniería

"Id y Enseñad a Todos"

Guatemala, 25 de octubre del 2020.

MSc. Ing Edgar Álvarez Cotí
Director, Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Por este medio informo a usted, que, como ASESOR, he revisado y aprobado la siguiente **TÉSIS DE GRADUACIÓN** del alumno:

Carné: 201990367
Alumno: Hector Rolando Lopez Marin
Maestría: Estructuras
Título de la Investigación: Evaluación del nivel de Fisuramiento en los Muros de un Edificio de Concreto Reforzado de Baja Ductilidad

En este sentido, extendo el Visto Bueno correspondiente, para el cumplimiento de requisitos de la Escuela de Estudios de Postgrado, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sin otro particular


José Humberto Rosal Paz
INGENIERO CIVIL
MSc. INGENIERIA ESTRUCTURAL
COLEGIADO No. 5869
Msc. Ing. Humberto Rosal
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

- | | |
|---------------------|---|
| Dios | Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas. |
| Mis padres | Hector Lopez y Iris Marin. Su amor será siempre mi inspiración. |
| Mi familia | Marvin Pinto y Belmar Hernández, por ser motivo de inspiración y apoyo, para alcanzar mis sueños. |
| Mis hermanos | Carlos y Vivian Marin por su cariño y apoyo. |

AGRADECIMIENTOS A:

**Msc. Ing. Humberto
Rosal**

Por asesorarme en la realización de mi trabajo de graduación.

Msc. Ing. César Castillo

Por su dedicación al revisar mi trabajo de graduación.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser forjadora de profesionales con éxito y brindar la oportunidad de seguir especializando en los diferentes campos de la ingeniería.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. EDIFICIO EN ESTUDIO	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Características de los muros estructurales de baja ductilidad	2
1.3. Verificación de dimensiones de los principales miembros estructurales del edificio en estudio, ubicado en la zona 4 del Municipio de Mixco	3
1.4. Cargas de Servicio	10
1.5. Cargas estructurales.....	10
1.5.1. Carga Muerta	10
1.5.2. Carga Viva o Cargas de Servicio	11
1.5.3. Cargas por Lluvia	11
1.5.4. Cargas Sísmicas	11
1.6. Combinaciones de cargas para cálculo estructural	12
2. FISURAS ESTRUCTURALES.....	13
2.1. Características y tipos de fisuras	13
2.1.1. Fisuras estructurales.....	13

2.1.2.	Fisuras no estructurales	14
2.2.	Posibles causas de las fisuras	14
2.2.1.	Cuando es una estructura nueva.....	14
2.2.2.	Cuando es una estructura existente	15
2.3.	Identificar la zona afectada por las fisuras	16
2.4.	Localización de las fisuras en las paredes (muros) del edificio	16
2.5.	Toma de Datos. Análisis actual del estado	18
2.5.1.	Medición de fisuras.....	18
3.	EVALUACIÓN DE MUROS, DEL EDIFICIO EN ESTUDIO	25
3.1.	Requisitos de las paredes concreto de baja ductilidad.....	25
3.1.1.	Diafragmas	25
3.1.2.	Vigas.....	25
3.1.3.	Columnas	26
3.1.4.	Instalación de tuberías adentro de las paredes de concreto.....	26
3.1.5.	Dinteles y sillares.....	27
3.2.	Materiales de los muros	30
3.2.1.	Concreto	30
3.2.2.	Acero de Refuerzo.....	30
3.2.3.	Mallas electrosoldadas	30
3.3.	Valores de Carga	30
3.3.1.	Carga muerta.....	30
3.3.2.	Carga viva	31
3.3.3.	Carga ejercida por variación de temperatura.....	31
3.3.4.	Carga sísmica.....	33
3.3.4.1.	Índice de Sismicidad	33
3.3.4.2.	Grado de protección sísmica	33

3.3.4.3.	Ajuste por grado de fuerza sísmica característico	35
3.3.4.4.	Períodos de vibración de transición	38
3.3.4.5.	Posibilidad de que ocurra el sismo de diseño	38
3.3.5.	Espectros genéricos probables	39
3.3.6.	Aceleración del suelo máximo (amsd)	39
3.3.7.	Sismo de diseño, componente vertical (svd).....	40
3.3.8.	Procedimiento de la carga estática sísmica equivalente.....	40
3.3.9.	Factor sísmico al límite de cedencia (Cs)	40
3.3.10.	Valor mínimo de Cs.....	41
3.3.11.	Período de vibración fundamental (Ta)	42
3.3.12.	Calibración modal del análisis.....	42
3.4.	Derivas laterales tolerables	43
3.5.	Progresión de deriva y desplazamiento.....	43
3.5.1.	Derivas últimas máximas tolerables.....	43
3.6.	Combinación de carga de trabajo	44
3.6.1.	Combinaciones de cargas – Método de esfuerzos de resistencia.....	44
3.6.2.	Método de los esfuerzos de servicio - Combinación de carga	45
3.7.	Geometría de las paredes de concreto de ductilidad limitada ...	46
3.7.1.	Espesor mínimo (T_{Wmin})	46
3.7.2.	Mínimo espesor de pared por pandeo elástico (T_{pe})....	47
3.7.3.	Relación de alto / largo	47
3.7.4.	Mínimo espesor por pandeo post-elástico (T_{pp}).....	47
3.7.5.	Área mínima de pared.....	49
3.8.	Verificación de ductilidad	49

3.8.1.	Elementos finitos - comprobación simplificada	50
3.8.2.	Procedimiento alternativo del eje neutro	50
3.9.	Cuantía de refuerzo longitudinal.....	52
3.9.1.	Cuantía mínima	52
3.9.2.	Cuantía máxima.....	53
3.10.	Diseño por corte	53
3.10.1.	Reducción por cortante.....	54
3.10.2.	Demanda por cortante de diseño.....	55
3.10.3.	Límite máximo de la capacidad cortante de pared	55
3.11.	Módulo de rompimiento del concreto	56
4.	PRESENTACIÓN RESULTADOS OBTENIDOS	57
4.1.	Esfuerzos por temperatura	57
4.2.	Carga sísmica	58
4.3.	Resultados de derivas laterales tolerables	64
4.4.	Revisión por geometría de los muros	67
4.5.	Verificación de ductilidad.....	71
4.6.	Revisión de cuantía por el método alternativo del eje neutro	73
4.7.	Revisión por cortante	79
4.8.	Módulo de rompimiento del concreto (fr)	84
	CONCLUSIONES.....	89
	RECOMENDACIONES	91
	REFERENCIAS	93
	APENDICES.....	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Distribución del Nivel 1, edificio T2	4
2.	Distribución del Nivel 2, edificio T2	5
3.	Distribución del Nivel 3, edificio T2	6
4.	Distribución del Nivel 4, edificio T2	7
5.	Detalle isométrico del edificio T2 (parte frontal e izquierda).....	8
6.	Detalle isométrico del edificio T2 (parte trasera y derecha)	9
7.	Fisuras formadas en el edificio en estudio	16
8.	Fisuras formadas en el edificio en estudio	17
9.	Fisuras formadas en el edificio en estudio	17
10.	Medición de ancho de fisura	19
11.	Fisuras en muros (Eje X - A)	20
12.	Fisuras en muros (Eje Y - 1)	21
13.	Fisuras en muros (Eje Y - 2)	22
14.	Fisuras en muros (eje Y - 7).....	23
15.	Fisuras en muros (eje X - B)	24
16.	Fisura provocada en muros por instalaciones eléctricas.....	26
17.	Fisura provocada en muros por instalaciones eléctricas.....	27
18.	Sillares	28
19.	Dinteles	29
20.	Comportamiento de paredes de concreto por variación de temperatura.....	32
21.	Mapa de Zonificación Sísmica de Guatemala.....	34
22.	Espectro sísmico diseñado	61

23.	Período modal en la dirección X.....	62
24.	Período modal en la dirección Y.....	62
25.	Desplazamientos en dirección X por sismo.....	65
26.	Desplazamiento en dirección Y por sismo.....	66
27.	Esfuerzos (kg/cm ²) por carga gravitacional en muros (dirección Y, eje 11).....	72
28.	Esfuerzos (kg/cm ²) por carga gravitacional en muros (dirección Y, eje 12).....	72
29.	Esfuerzos (kg/cm ²) por carga gravitacional en muros (dirección X, eje A).....	73
30.	Cortante de análisis del tramo de muro (dirección Y, eje 11).....	80
31.	Cortante de análisis del tramo de muros (dirección Y, eje 12).....	82
32.	Cortante de análisis del tramo de muro (dirección X, eje A).....	83
33.	Esfuerzos (kg/cm ²) por combinaciones de servicio en muros (dirección Y, eje 11).....	85
34.	Esfuerzos (kg/cm ²) por combinaciones de servicio en muros (dirección Y, eje 12).....	86
35.	Esfuerzos (kg/cm ²) por combinaciones de servicio en muros (dirección X, eje A).....	86

TABLAS

I.	Guía de anchos de fisura razonables en el concreto.....	15
II.	Fisuras en muros (Eje X – A).....	20
III.	Fisuras en muros (Eje Y – 1).....	21
IV.	Fisuras en muros (Eje Y – 2).....	22
V.	Fisuras en muros (Eje Y – 7).....	23
VI.	Fisuras en Muros (Eje X – B).....	24
VII.	Cargas Vivas para edificaciones.....	31

VIII.	Listado de Amenaza Sísmica y Velocidad Básica del Viento por Municipio para la República de Guatemala.....	34
IX.	Fa (Factor de sitio)	36
X.	Fv (Factor de sitio)	36
XI.	Tipo de fuente sísmica	36
XII.	Coeficiente Na para período corto de vibración	37
XIII.	Coeficiente Nv para período largo de vibración	37
XIV.	Coeficientes Kd según el grado del sismo	38
XV.	Coeficiente y factor de diseño para sistemas sismorresistentes.....	41
XVI.	Derivas ultimas máximas tolerables.....	44
XVII.	Parámetro θ . Rotación plástica a desarrollar	48
XVIII.	Valor complemento de ecuación 38	52
XIX.	Cálculo de derivas en la dirección X	65
XX.	Cálculo de derivas en la dirección Y	66
XXI.	Espesor mínimo de muros	67
XXII.	Área de paredes en dirección X.....	68
XXIII.	Área de paredes en dirección Y	69
XXIV.	Área mínima de muros.....	70
XXV.	Porcentaje de área mínima de muros en la dirección X.....	70
XXVI.	Porcentaje de área mínima de muros en la dirección Y	70

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ab	Área bruta de la sección del bloque
Ag	Área gruesa del muro
As	Área del acero de refuerzo
h_p:	Altura de piso para el que se calcula la deriva
Hw	Altura del muro desde la base hasta su remate
AMSd	Aceleración máxima del suelo
S1d	Aceleración espectral de diseño períodos de 1 segundo
Scd	Aceleración espectral de diseño para períodos cortos
Vn	Capacidad nominal cortante de la sección
A_R	Carga de tefra volcánica
M	Carga muerta
ΔT	Cambio de temperatura
V	Carga viva
P_L	Carga por lluvia
V_t	Carga viva de techo

S_{hd}	Carga sísmica horizontal
S_{vd}	Carga sísmica vertical
F_v	Coeficiente de sitio para períodos de vibración largos
F_a	Coeficiente de sitio para períodos de vibración cortos
α	Coeficiente térmico
V_u	Corte de diseño
V_{am}	Corte del análisis, combinación mayorad
C_d	Coeficiente sísmico al límite de cedencia
δ_T	Deformación térmica
δ_c:	Desplazamiento horizontal al limite de cedencia de la estructura
δ_c:	Desplazamiento horizontal al limite de cedencia de la estructura
δ_u	Desplazamiento horizontal de la estructura despues de haber sobrepasado el rango post-elástico (Deriva [Δ] del nivel K)
h_p:	Es la altura del piso para el que se calcula la deriva
σ_T	Esfuerzo por temperatura
T_{W_{min}}	Espesor mínimo en muros
vs	instalado

vc	Esfuerzo resistente aportado por el concreto
lo	Índice de sismicidad
fy	Límite de fluencia en el acero
Lwp	Longitud efectiva de pandeo del muro
Lw	Longitud del muro en planta
E	Módulo de elasticidad del concreto
S1s	Ordenada espectral correspondiente a períodos de vibración de 1 segundo; ambos para un amortiguamiento nominal de 5% del crítico
Scs	Ordenada espectral del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras de período de vibración corte
θ	Parámetro de rotación plástica
To	Período que define el inicio de la meseta del espectro de diseño
Ts	Período de transición del espectro de diseño
T	Período de vibración
Ta	Período fundamental de vibración

GLOSARIO

Agregado	Se denominan agregados o áridos al conjunto de gránulos, granos o partículas inertes que por su origen, tamaño y naturaleza están destinados a ser aglomerantes, y que en presencia del agua y el cemento forman el llamado concreto u hormigón.
Capacidad post-elástica	Se refiere a estructuras que poseen alta ductilidad.
Cargas Estáticas	Es una acción estacionaria de una fuerza o un momento que actúan sobre cierto objeto. Para que una fuerza o momento sean estacionarios o estáticos deben poseer magnitud, dirección y punto (o puntos) de aplicación que no varíen con el tiempo.
Cargas Dinámicas	Producidas por el impacto de un cuerpo en movimiento pueden originar en la estructura o en parte de ella efectos vibratorios. Si la carga dinámica se repite en forma periódica, y su frecuencia coincide con el período de vibración del elemento, éste puede entrar en resonancia.

Cangrejeras	Es una zona con vacío o bolsas de aire, con pérdida o separación de finos por causa de la segregación del concreto durante el proceso de vaciado.
Códigos de Diseño	Se refiere a las normas técnicas que deben cumplirse al momento de diseñar una estructura segura para sus ocupantes.
Curvas de Fragilidad	Se definen como la representación gráfica de la función de distribución acumulada, de la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño límite específico, dada una respuesta estructural, ante una acción sísmica determinada (FEMA, 1999).
Desplazamiento	Se define como el cambio de posición de un cuerpo entre dos instantes o tiempos bien definidos.
Deformación	El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas.
Diseño Estructural	El Diseño estructural es una de las áreas donde se desarrolla la Ingeniería Civil y se realiza a partir de las potencialidades que un material puede ofrecer, así como sus características naturales que lo hacen específico, su bajo costo y las propiedades mecánicas que posee.

Ductilidad	Es la propiedad que define la posibilidad de la estructura o algunos de sus componentes estructurales de experimentar deformaciones más allá del límite elástico sin reducir de manera significativa su resistencia o rigidez.
Esfuerzo de fluencia	Indicación del esfuerzo máximo que se puede desarrollar en un material sin causar una deformación plástica. Es el esfuerzo en el que un material exhibe una deformación permanente especificada y es una aproximación práctica de límite elástico.
Espectros de respuesta	Es un valor utilizado en los cálculos de ingeniería sísmica, que mide la reacción de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta. El más habitual en cálculos sísmicos es el espectro elástico de respuesta, que relaciona la aceleración.
Eje de Planos	Es el elemento más elemental para organizar en forma regular, formas y espacios arquitectónico.

Falla súbita	Se refiere a un colapso que se produce de pronto, sin preparación o aviso en una estructura civil.
Fuerza axial	Actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo, produciendo un esfuerzo uniforme.
Hormigón Armado	Bloque de hormigón reforzado interiormente por una armadura de barras de hierro o acero para, una vez fraguado, absorber los esfuerzos de tracción a que queda sometido.
Losa	Son elementos estructurales bidimensionales, en los que la tercera dimensión es pequeña. Las cargas que actúan sobre las losas son esencialmente perpendiculares al plano principal de las mismas, por lo que su comportamiento está dominado por la flexión.
Redundancia estructural	Debe entenderse en este caso como la conformada por un razonable número de columnas o muros (o cualquier otro elemento ligado directamente a la cimentación) en cada eje.

Resistencia nominal	Resistencia de un elemento o sección transversal calculada usando las Hipótesis y ecuaciones de resistencia del Método de Diseño por Resistencia, antes de aplicar cualquier factor de reducción de la resistencia.
SAP2000	Programa o Software de elementos finitos para modelado, análisis y dimensionamiento de cualquier estructura
Software	Es el equipamiento lógico o soporte lógico de un sistema informático, que comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas, en contraposición a los componentes físicos que son llamados hardware.
Viga	En Ingeniería y Arquitectura se denomina viga a un elemento estructural lineal que trabaja principalmente a flexión. En las vigas, la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones y suele ser horizontal.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La falta del establecimiento de niveles de fisuramiento aceptable en los muros o paredes delgadas de concreto reforzado de ductilidad limitada, puede afectar la resistencia del edificio.

El sistema de paredes delgadas de concreto de ductilidad limitada en edificios de varios pisos, con 1 o 2 mallas de refuerzo, se están realizando de manera habitual en los procesos constructivos con el propósito de reducir costos en el proyecto.

El objetivo actual de las estructuras, en zonas de alta sismicidad, es evitar que los elementos de concreto sean frágiles o posean poca ductilidad, para que su desempeño sea satisfactorio cuando se supera su límite elástico y su reducida capacidad post-elástica.

Lastimosamente, los muros delgados de baja ductilidad poseen esta limitación, sobre todo los muros que utilizan de refuerzo solo una malla.

Por tanto, debemos cuestionar lo siguiente:

- ¿Qué provoca el nivel de fisuramiento en los muros del Edificio de Concreto Reforzado de Baja Ductilidad, y hasta donde esto compromete la integridad estructural?

Además, se formulan las siguientes preguntas secundarias:

- ¿Los cambios de temperatura en la zona, pueden afectar de manera directa los muros del edificio?
- ¿La instalación incorrecta de tubería eléctricas y sanitarias provoca fisuras?
- ¿De qué forma las fisuras en muros de concreto de baja ductilidad podrían afectar la resistencia sísmica del edificio?
- ¿Cuál es la manera correcta de tratar las fisuras en los muros de acuerdo a su severidad, comportamiento y dimensiones?

OBJETIVOS

General

Evaluar los Muros de Concreto Reforzado de Baja Ductilidad que posee el edificio ubicado en la zona 4 del Municipio de Mixco, para determinar su nivel de fisuramiento por cargas de servicio.

Específicos

- Localizar las fisuras existentes y determinar sus dimensiones.
- Establecer el nivel de fisuramiento del edificio de 4 niveles mediante las revisiones por ductilidad, cuantía y cortante.
- Determinar si las fisuras provocadas en las paredes delgadas de concreto de baja ductilidad son por una consideración inadecuada de cargas de servicio, efectos de la temperatura, ciclos de humedad y secado de concreto y/o shrinkage (contracción), para establecer qué tan comprometida esta la estructura.
- Conocer las consecuencias que tendría las fisuras en la resistencia sísmica del edificio.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de la investigación se hizo una recolección de información que permitió encontrar los normativos que redireccionaron los procedimientos que se deben realizar para la determinación de los distintos datos que sirvieron para poder establecer las conclusiones. Para ello se describen una serie de fases, a continuación:

- Fase 1: Revisión Bibliográfica.

La revisión bibliográfica fue para conocer el uso de los Muros de Concreto Reforzado de Baja Ductilidad y los materiales con que se deben construir, las especificaciones y requerimientos sismo-resistente que debe cumplir, también establecer el estado límite de fisuración por las razones que lo estaban provocando.

- Fase 2: Visita técnica.

Se visitó el edificio ubicado en zona 4 del Municipio de Mixco, para corroborar las medidas descritas en los planos estructurales, también se hizo una evaluación de las paredes por medio de un reconocimiento visual y así localizar y medir las fisuras existentes, y comparar estos datos con el modelamiento de la estructura en el software.

- Fase 3: Análisis Estructural del Edificio de 4 Niveles.

Se realizó un análisis estructural con las dimensiones del edificio, las cargas de servicio y especificaciones sísmicas de la zona que establece el Código de Construcción de Guatemala por medio de un software estructural llamado SAP2000.

Así mismo se realizó una revisión de ductilidad, cuantía y esfuerzo cortante y de esta forma se pudo proveer información de la resistencia que provee el edificio, de acuerdo a las cargas de servicio impuestas.

- Fase 4: Análisis y comparación de resultados.

Se presentaron tablas de resultado en cuanto al desempeño estructural que posee el edificio según el normativo y el diseño estructural con el cual se construyó.

Para el estudio presente, se implementó un análisis univariado que permitió describir la información recabada, en el cual se utilizó un software de cálculo llamado Excel.

INTRODUCCIÓN

El nivel de fisuramiento en los muros o paredes delgadas de concreto reforzado de ductilidad limitada en un edificio, puede generar miedo o desconfianza en los usuarios del mismo, creyendo que al aparecer ciertas fisuras puede existir daño o inestabilidad en el edificio. Por lo anterior, esta investigación fue importante porque al establecer el nivel y las causas que las provocan, se pudo medir el nivel de estabilidad estructural.

El presente estudio, determinó de manera científica las causas que están provocando las fisuras en las paredes del edificio, utilizando la revisión por ductilidad, cuantía y cortante para determinar su nivel de fisuramiento existente, mediante el modelado en software SAP2000.

Además, se estableció si el ancho y cantidad de las fisuras encontradas en los muros de baja ductilidad realmente pueden generar un daño profundo en el edificio.

Dentro del documento se podrá visualizar los componentes que guiarán el desarrollo del trabajo y encontrar los resultados deseados que permitirán aportes científicos al rubro de la construcción.

En el capítulo uno de esta investigación se dará a conocer el funcionamiento y características de las paredes de ductilidad limitada; en el capítulo dos se realizará una evaluación de las fisuras existentes y la medición respectiva; en el tercer capítulo se presentarán las ecuaciones que llevarán al análisis de los muros; finalizando el último capítulo, se presentaran los resultados obtenidos del

software estructural, como también de las ecuaciones del capítulo 3, y al final las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1. EDIFICIO EN ESTUDIO

1.1. Antecedentes

En la zona 4 del Municipio de Mixco se están construyendo actualmente edificios con un método estructural, llamado Muros de Concreto Reforzado de Baja Ductilidad o como se conoce en otros países Paredes Delgadas de Concreto de Ductilidad Limitada, y debido a que en la construcción no poseen confinamiento en los extremos, esto provoca una rápida construcción y con bajo presupuesto, este sistema comenzó a ser usado en el año 1,990 en Perú, especialmente para viviendas de bajo presupuesto.

Luego se han ido utilizando en estructuras de varios niveles “Las edificaciones de varios niveles, estructuradas con paredes delgadas de concreto con una sola malla de refuerzo, han permitido recortar costos constructivos, pero tienen una importante limitación: tienen baja ductilidad y si están muy esforzadas, son frágiles” (NSE-7.9, AGIES, 2015, pág. 8).

Actualmente países como Guatemala, Ecuador y México han ido adoptando este sistema. Sin embargo, la ciudad Guatemala es una zona de alta sismicidad, por tal razón es importante la seguridad de las estructuras ante dichos fenómenos.

El uso de Muros Ductilidad Limitada se sustenta en gran medida en la existencia de una gran cantidad de muros que resisten las cargas verticales y laterales, de tal forma que los esfuerzos en los muros individuales sean bajos y

de manera, que la falla de un muro en particular no comprometa la estabilidad global de la edificación.

Es necesario entonces tener una cantidad de muros que sea significativa. Satisfacer solamente lo preceptuado en la Sección 4.5 no garantiza que necesariamente se logren los objetivos, pero constituye un punto de partida antes de aplicar la generalidad de requisitos de esta norma. (NSE-7.9, AGIES, 2018, pág. 26).

1.2. Características de los muros estructurales de baja ductilidad

Los muros estructurales de hormigón se constituyen de paredes delgadas entre 10 y 15 cm de espesor, con varilla de acero grado 60 de refuerzo, sin confinar en cada extremo y una malla soldada en el centro del muro.

La resistencia nominal $f'c$ es de 175 kg/cm² (para muros), con un tamaño nominal de 1cm de agregado y para lo que tiene que ver con el sistema de losas se emplean hormigones con una resistencia nominal $f'c$ de 210 kg/cm². Para el refuerzo, por lo general se emplean mallas electro soldadas, con un esfuerzo de fluencia equivalente de 5000 kg/cm² (ASTM A185), para el sistema de techos se utilizan losas bidireccionales macizas de hormigón con espesores de 10 cm y 12 cm. Comúnmente se emplean hormigones premezclados con asentamientos mayores a 15 cm que requieren aditivos súper plastificante. (Ayala Barrantes, Carrión Rojas, y Fernández Aguilar, 2012, pág. 7)

Según ensayos experimentales se ha concluido que no deben construir edificios mayores a 7 niveles con este sistema estructural, y que deberán ser apoyados sobre una cimentación de losas con un espesor entre 15 y 25 cm. Una

de las propiedades críticas de los muros es su resistencia post-elástica dúctil limitada.

Las áreas indicadas son un punto de partida y muy frecuentemente la cantidad de paredes será mayor que la requerida como mínimo por razones funcionales no-estructurales. La ecuación 4.5.1-1 está basada en un estimado de $1,250 \text{ kg/m}^2$, carga ya mayorada por metro cuadrado de construcción generando un esfuerzo axial de $0.12 f'c$ con una eficiencia del 67 %, uniformemente distribuido sobre las paredes de la edificación sin importar su dirección. No es la intención la ecuación 4.5.1-1 que el diseñador se limite a esa área mínima. (NSE-7.9, AGIES , 2018, pág. 26)

1.3. Verificación de dimensiones de los principales miembros estructurales del edificio en estudio, ubicado en la zona 4 del Municipio de Mixco

Conforme a los planos originales utilizados en la construcción del edificio de apartamentos, se verificó que las dimensiones de los muros especificados en los planos cumplieran dimensiones reales que poseen los muros del edificio.

Las paredes del edificio están distribuidas en dirección X y Y conforme a ejes en la forma siguiente:

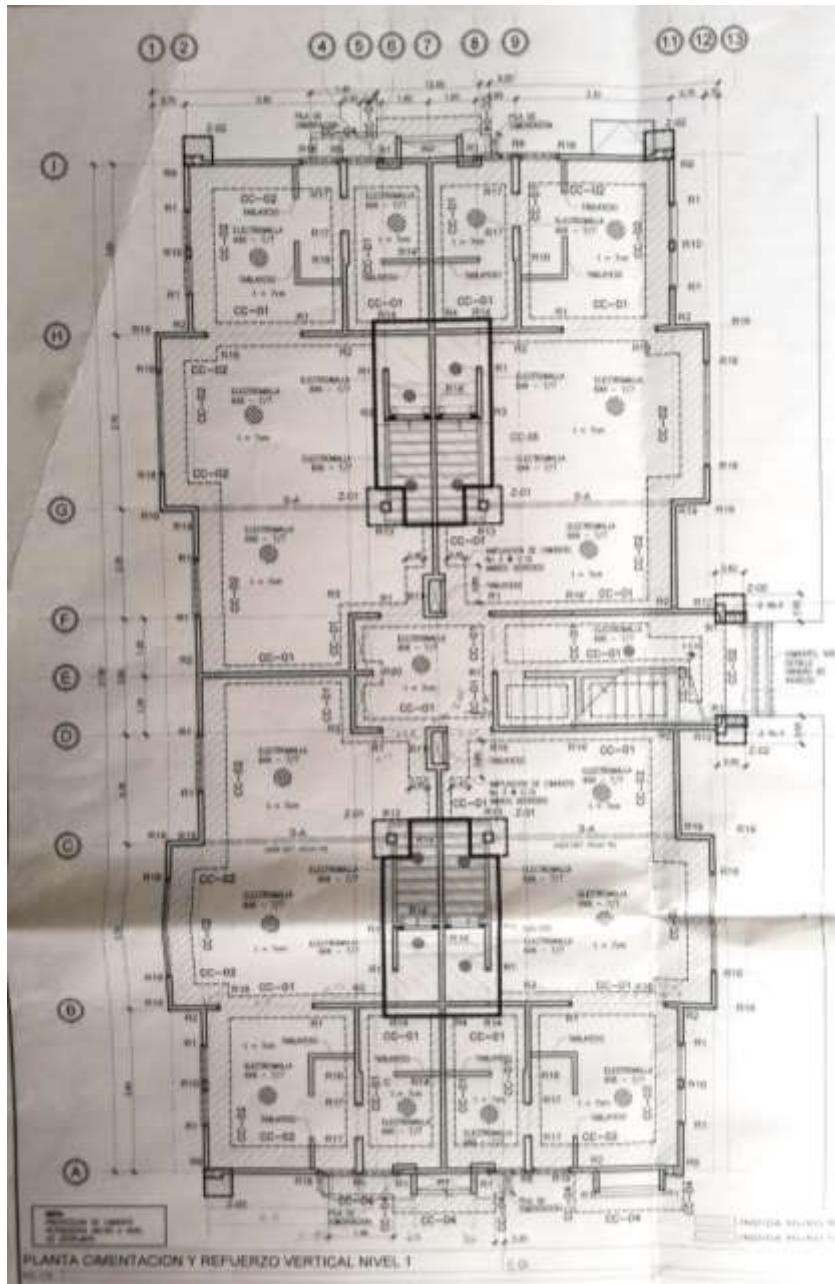
Dirección Y, ejes: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 7a; 8; 9; 10; 11; 12; 13.

Dirección X, ejes: A; B; C; D; E; F; G; H; I.

Y posee 4 niveles, con altura de 2.62 m por cada uno, teniendo un total de 10.48 m.

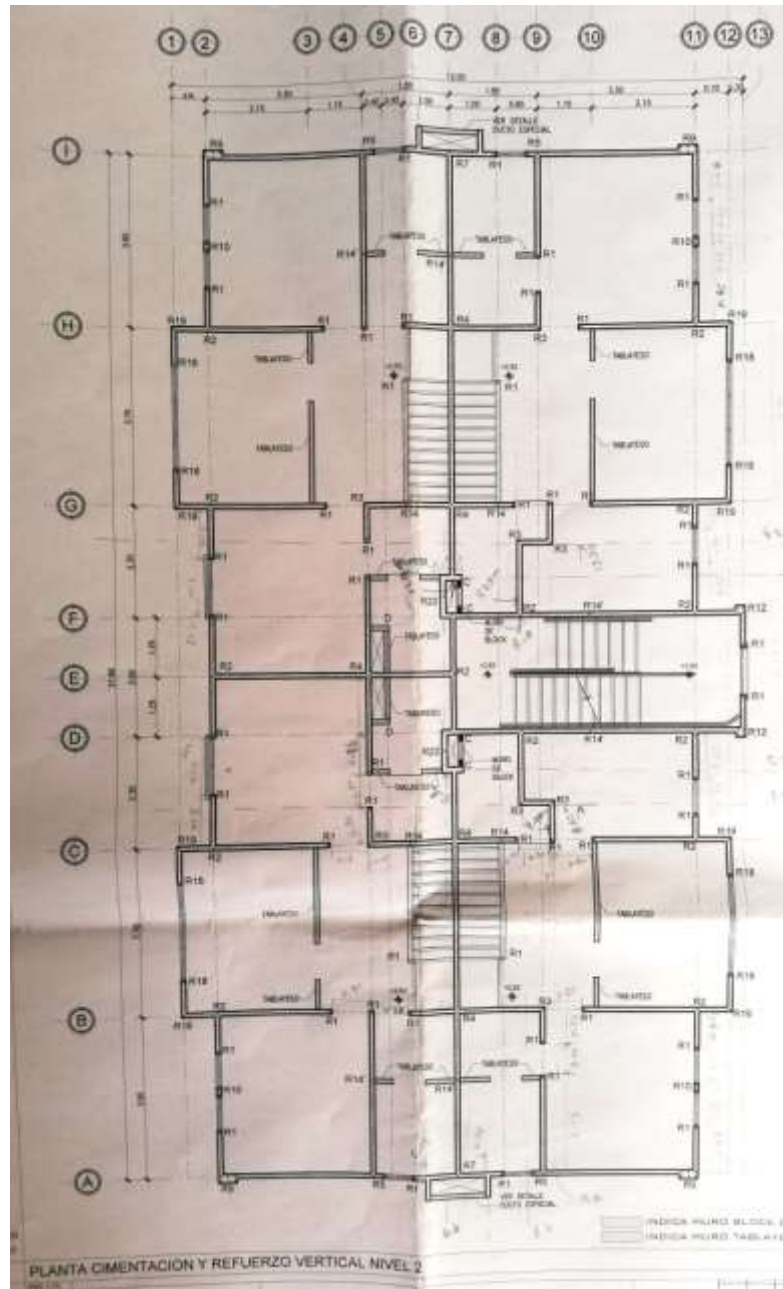
En las siguientes imágenes se muestran el dimensionamiento de los muros por nivel y también en su forma isométrico.

Figura 1. **Distribución del Nivel 1, edificio T2**



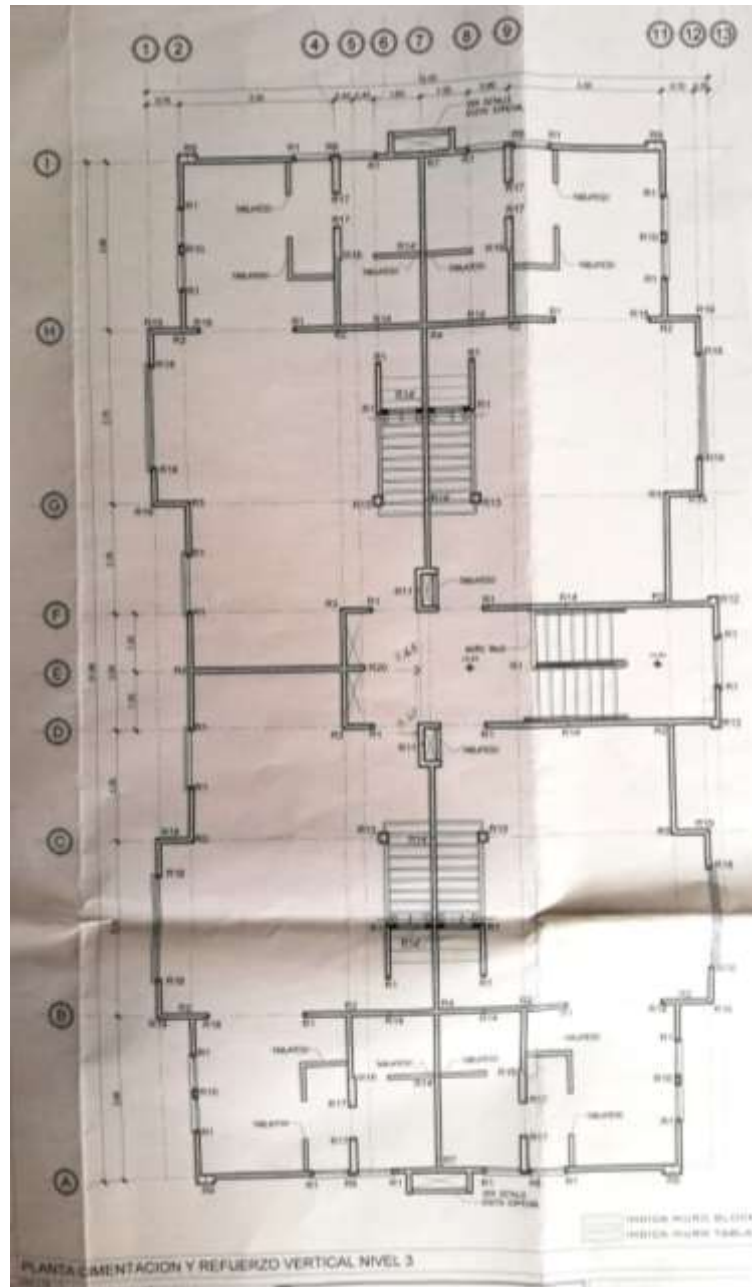
Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular. BP-INGENIERIA, Planos Estructurales.

Figura 2. **Distribución del Nivel 2, edificio T2**



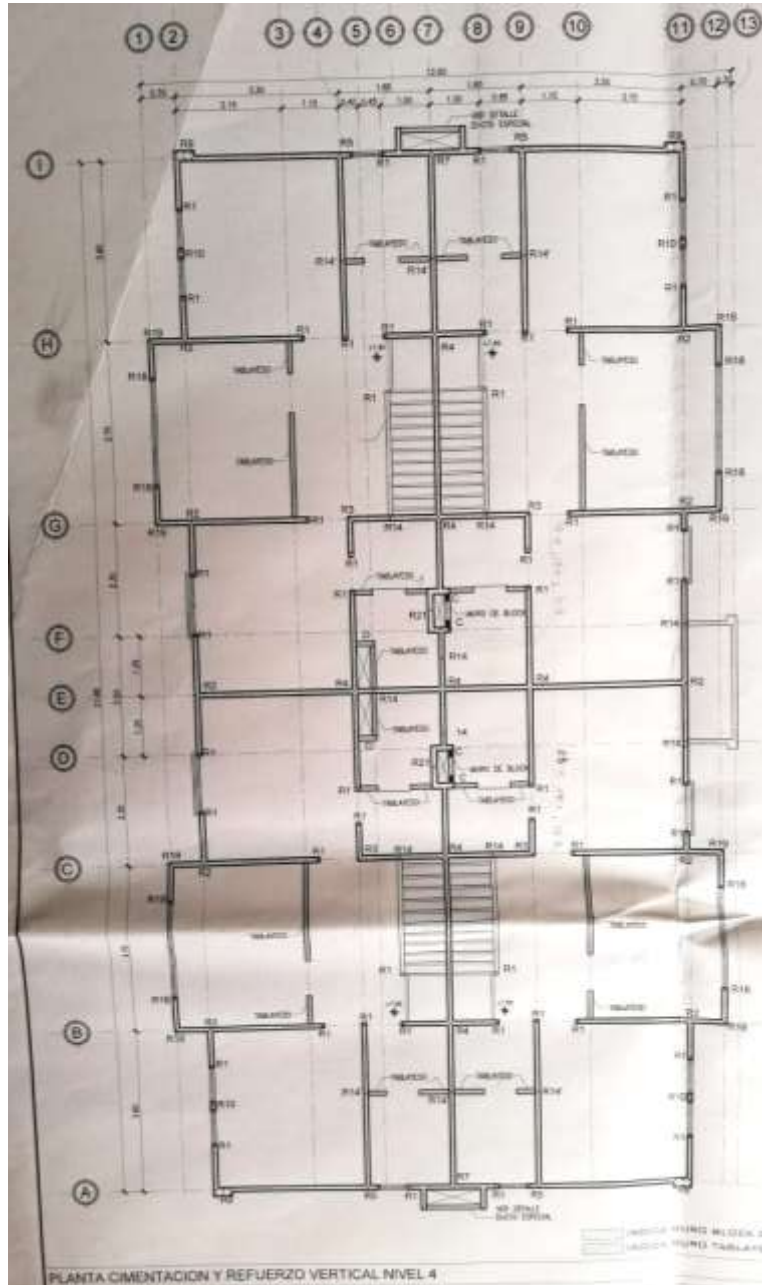
Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular. BP-INGENIERIA, Planos Estructurales.

Figura 3. **Distribución del Nivel 3, edificio T2**



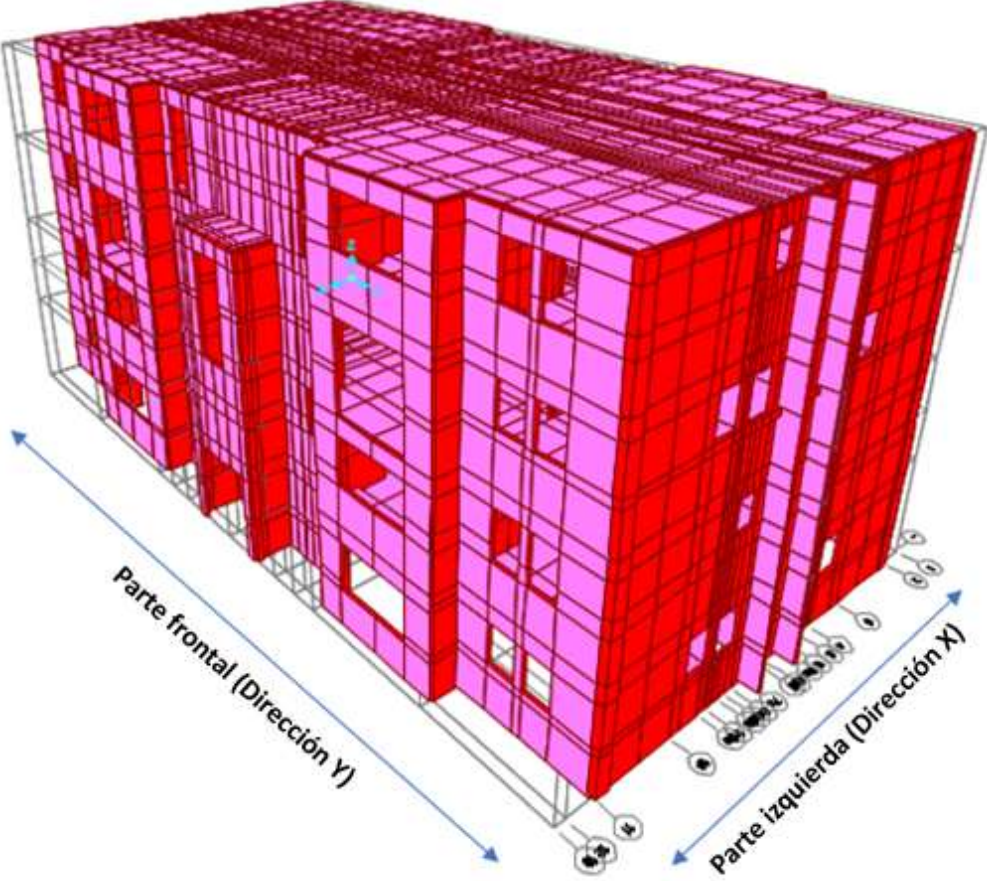
Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular. BP-INGENIERIA, Planos Estructurales.

Figura 4. Distribución del Nivel 4, edificio T2



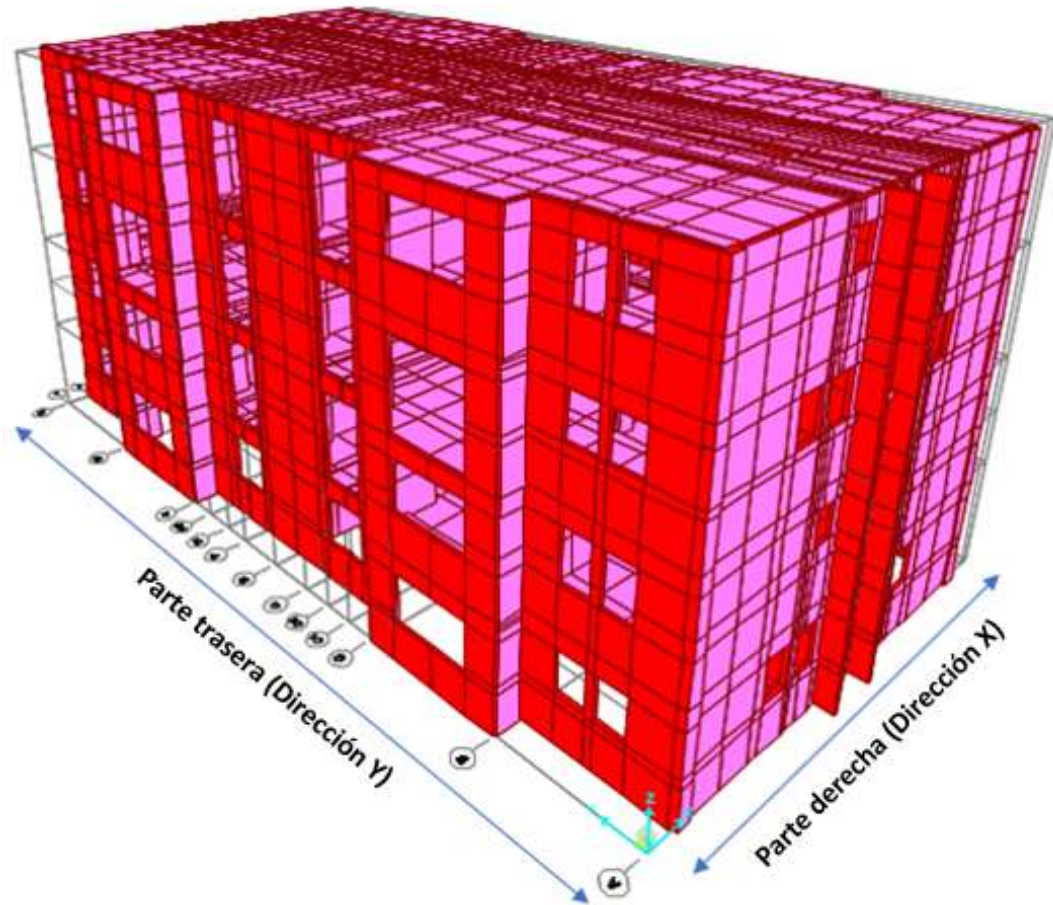
Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular. BP-INGENIERIA, Planos Estructurales.

Figura 5. **Detalle isométrico del edificio T2 (parte frontal e izquierda)**



Fuente: elaboración propia, realizado con software Sap2000.

Figura 6. **Detalle isométrico del edificio T2 (parte trasera y derecha)**



Fuente: elaboración propia, realizado con software Sap2000.

Los muros son de paredes delgadas con espesor de 10 y 20 cm y una losa por nivel con espesor de 12 cm. El refuerzo de los muros consiste en una electro-malla soldada en el centro, de acero grado 70 ($f_y=70,000 \text{ Lb/plg}^2$), también posee refuerzo sin confinar grado 60 ($f_y=60,000 \text{ Lb/plg}^2$) en los extremos en varillas de acero con diámetro 3/8", 4/8", 5/8", 6/8" y grado 40 ($f_y = 40,000 \text{ Lb/plg}^2$) en varilla con diámetro 1/4". "La resistencia nominal del concreto es de 280 kg/cm² (para muros y losa), con un tamaño nominal de 1cm de agregado.

Los dinteles y los sillares son monolíticos, los muros no poseen juntas de dilatación, las instalaciones hidrosanitarias (tubería vertical) se encuentran por dentro de los muros estructurales.

1.4. Cargas de Servicio

Se define como cargas a las fuerzas gravitacionales, estas se aplican a los elementos de una estructura que conforman un edificio. Para cada miembro se utiliza un material con dimensiones volumétricas determinadas y sujeta a soportar esfuerzos como parte de dicha estructura.

Los esfuerzos son consecuencia de las cargas ejercidas en cada miembro, y por ello es importante determinar o suponer la magnitud de estas fuerzas. “Son las fuerzas externas aplicadas a los elementos resistentes, o también su propio peso” (Crespo, 1987, pág. 1).

1.5. Cargas estructurales

Dado que una estructura está constituida por una variedad de elementos (miembros), los cuales están sometidas a cargas ya sean fuerzas externas o su propio peso, estas se definirán a continuación.

1.5.1. Carga Muerta

Este se refiere al peso de la edificación, no necesariamente se refiere al peso propio, sino también a los rellenos, vidrieras, cielos, pisos, tabiques fijos y equipo rígidamente anclado en la edificación. “Son las que tienen carácter permanente sobre el miembro que actúan” (Crespo, 1987, pág. 2).

1.5.2. Carga Viva o Cargas de Servicio

Son las que se producen por la ocupación y uso de la edificación. Su intensidad se establece por norma. “Las cargas vivas son generalmente empíricas, basadas en criterios de ingeniería de larga trayectoria; algunas veces pueden tener una base estadística, pero con dispersiones muy amplias. Son transitorias con distribución cambiante” (NSE-2, 2018, pág. 23).

1.5.3. Cargas por Lluvia

Dado que las lluvias no generan una fuerza que pueda afectar la resistencia de soporte para la cual se diseñó el techo de una estructura, no obstante, cabe mencionar que si no se deja un drenaje adecuado estas pueden generar empozamiento y esta acumulación de agua afectaría el desempeño del mismo. “Los techos equipados con mecanismos para controlar el ritmo del drenaje serán equipados con un sistema de rebalse a una elevación que impida la acumulación de agua en el techo por encima de esa elevación”. (NSE-2, 2018, pág. 59).

1.5.4. Cargas Sísmicas

Es un concepto utilizado en ingeniería sísmica, que define las acciones que provoca un evento sísmológico en la estructura de un edificio y por tanto debe ser soportado. Se transmiten por el suelo

La carga de sismo está definida en las normas NSE como una acción que corresponde al nivel de resistencia a la cedencia del sistema estructural al que se aplica; por eso se recurre al artificio de reducir el sismo al 70%, reducción que quedará compensada al comparar los esfuerzos resultantes

con una capacidad de servicio y no una capacidad cedente (NSE-2, 2018, pág. 69).

1.6. Combinaciones de cargas para cálculo estructural

Las combinaciones de carga se establecen para determinar la resistencia mínima que deben tener los componentes de una estructura.

Compara una combinación de cargas mayorada con una resistencia nominal del componente estructural, reducida por un factor de confiabilidad que depende del sistema constructivo y el tipo de esfuerzo. Permite una aproximación más selectiva a las incertidumbres de los distintos tipos de carga y los diferentes tipos de esfuerzos (NSE-2, AGIES , 2018, pág. 64).

2. FISURAS ESTRUCTURALES

Las fisuras son ranuras que se reflejan en el hormigón una vez que han alcanzado el fraguado y comúnmente son resultados de: esfuerzos en el concreto que son superados por esfuerzos de tensionados, métodos constructivos deficientes para realizar el recubrimiento del acero, mal drenaje de concreto, excesiva pérdida de agua provocando contracción en el hormigón.

El concreto (hormigón), al igual que otros materiales de construcción, se contrae y se expande con los cambios de humedad y temperatura, y se deforma dependiendo las cargas y condiciones de apoyo. Pueden ocurrir fisuras cuando no se han tomado las medidas necesarias en el diseño y la construcción para soportar dichos movimientos. (NRMCA, 2018, pág. 1).

2.1. Características y tipos de fisuras

Las fisuras dependen de cuanto es cargado un miembro estructural. Por ejemplo, las fisuras se presentarán en la parte inferior que es la zona que está en tensión. Si la carga es uniforme, así lo serán las fisuras que aparezcan a lo largo del elemento.

De acuerdo a lo anterior las fisuras se clasifican en:

2.1.1. Fisuras estructurales

Se forman por métodos deficientes al momento de realizar los cortes en losas, esfuerzos altos de tensión en el concreto al igual que esfuerzos de

compresión y por sobrecargas que no fueron contempladas en la estructura al momento de su diseño.

Las Fisuras Estructurales se presentan por deficiencias en el diseño estructural o por prácticas indebidas en el proceso de construcción. Este tipo de fisuras pueden evitarse con un diseño que contenga las especificaciones adecuadas y donde se contemplen las condiciones de trabajo del concreto de manera estructural además de las condiciones de durabilidad. (OSORIO, 2011, pág. 1).

2.1.2. Fisuras no estructurales

Estas normalmente se forman por una mala práctica en el proceso constructivo, ya que no se contemplan las especificaciones ya sea al momento de fabricar el concreto, o al momento de su colocación.

Fisuras no Estructurales, son ocasionadas por la contracción del concreto, que se define como la modificación de su volumen debido a la pérdida de una parte del agua utilizada para su elaboración. (OSORIO, 2011, pág. 1).

2.2. Posibles causas de las fisuras

A continuación, se presenta de manera muy general, algunos tipos de fisuras con sus posibles causas de origen y características para reconocerlas.

2.2.1. Cuando es una estructura nueva

Se puede mencionar el exceso de agua en el concreto, falta de curado, retiro del encofrado antes de tiempo, una sección insuficiente de elementos

estructurales (columnas, vigas, paredes y losas), acero insuficiente o mala ubicación.

2.2.2. Cuando es una estructura existente

La causa más común es el aumento de cargas en la estructura, que no fueron contempladas en su diseño o el uso que se le da actualmente.

Tabla I. **Guía de anchos de fisura razonables en el concreto**

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	plg	mm
Aire seco	0.016	0.41
Aire húmedo y/o humedad	0.012	0.30
Productos químicos para descongelar	0.007	0.18
Pulverización de agua de mar, Agua de mar, secado y humectación	0.006	0.15
Estructuras que retienen agua	0.004	0.10

Fuente: Código del ACI, 224R-01, pág. 4.

La tabla I presenta una guía general para lo que podrían considerarse anchos de fisura razonables en la zona de tracción del concreto reforzado para condiciones típicas. Estos valores razonables de ancho de fisura están destinados a servir solo como una guía para proporcionar el refuerzo durante el diseño. Es de esperar que una parte de las fisuras de la estructura supere estos valores con el tiempo.

2.3. Identificar la zona afectada por las fisuras

Generalmente la zona afectada por las fisuras será la totalidad del espesor, provocando que haya filtración por humedad. La humedad puede filtrarse por las ranuras del concreto y al llegar al refuerzo de acero y provocar oxidación y descomposición y al mismo tiempo provoca que el volumen de la varilla aumente, presionando el concreto hasta partirlo y de esta forma provocando las grietas.

2.4. Localización de las fisuras en las paredes (muros) del edificio

En esta sección se toman se muestra una descripción de la localización y medición de fisuras.

En la figura 7, 8 y 9 se muestran las fisuras del edificio y el comportamiento que están teniendo. En la actualidad se están haciendo reparaciones de este tipo sin un estudio previo.

Figura 7. **Fisuras formadas en el edificio en estudio**



Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular.
Guatemala.

Figura 8. Fisuras formadas en el edificio en estudio



Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular.
Guatemala.

Figura 9. Fisuras formadas en el edificio en estudio



Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular.
Guatemala.

2.5. Toma de Datos. Análisis actual del estado

Se hará una revisión ocular de las fisuras, describiendo todas las que se puedan encontrar. Se tomarán fotos de las fisuras, y notas como sea posible, lo cual ayudara a conocer la disposición de la fisura y también su dirección para la respectiva consulta y análisis.

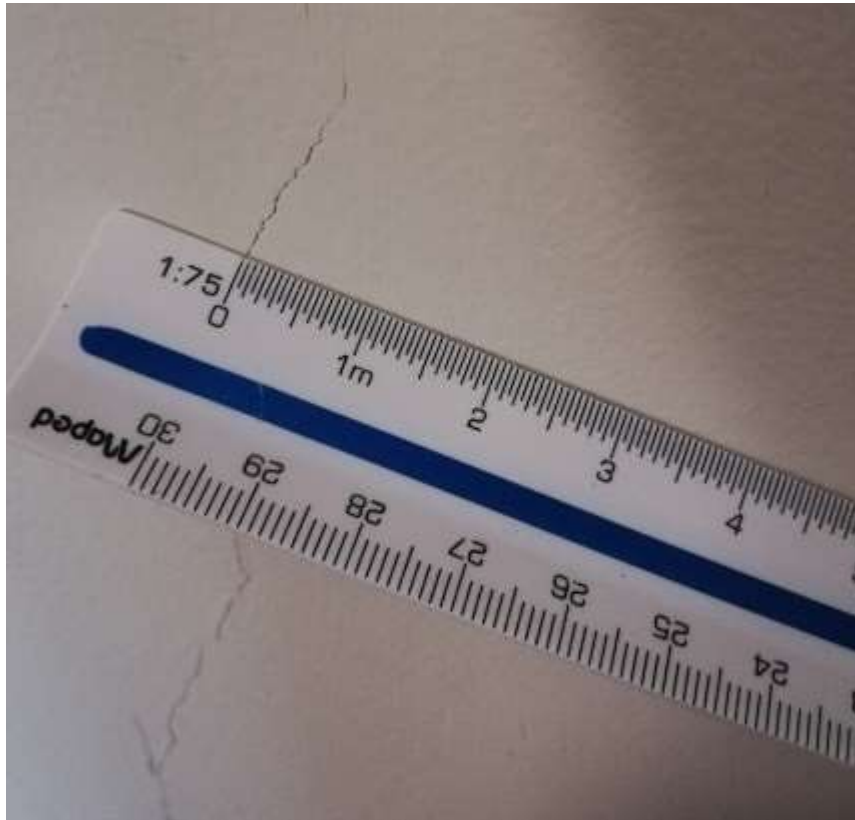
Se deberá realizar una muy detallada descripción, para determinar las características actuales de los miembros y como serán afectados a lo largo de un período de tiempo.

Las fisuras deberán presentarse con todas sus características, para una mejor visión y tener un mejor análisis de las causas probables. La presentación de las fisuras deberá hacerse sobre esquemas que representen las paredes del edificio. Los esquemas deberán presentar las puertas, ventanas y todas sus paredes ya que constituyen las zonas más débiles y donde existen mayores esfuerzos de tensión.

2.5.1. Medición de fisuras

Las fisuras de deben medir con la mayor exactitud posible, definiendo el ancho y si el ancho es uniforme, si es una fisura continua, ondulada, lisa o discontinua, si existe evidencia de movimiento en las dos caras de la fisura, y si lo hay, indicar el sentido del movimiento.

Figura 10. **Medición de ancho de fisura**



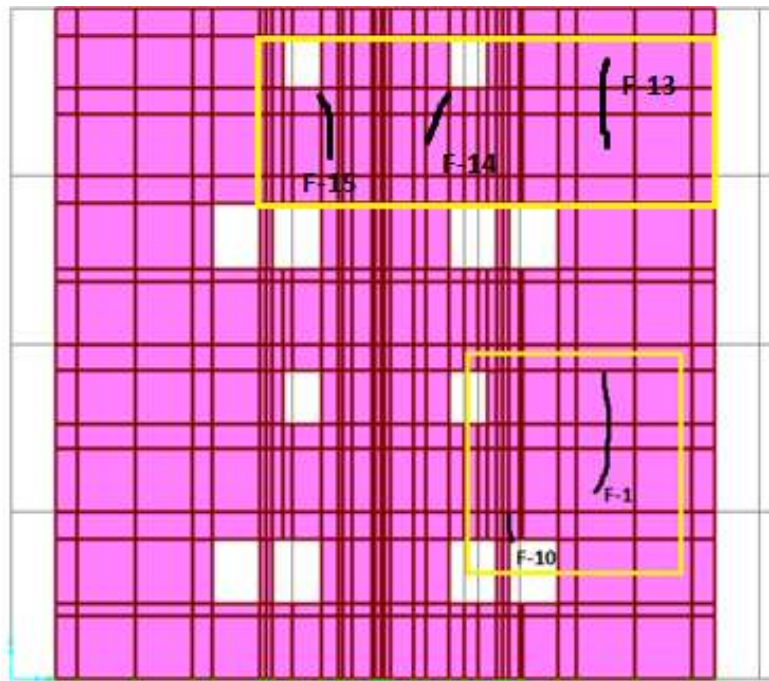
Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular. Guatemala.

Para la medición del ancho de fisuras se utilizó un escalímetro con escala 1:75 para mejorar la precisión del ancho de fisura, luego se convirtió a escala real 1:1 para obtener el dato correcto. De esta forma se puede conocer el ancho real de la fisura reflejada en la pared o muro de baja ductilidad.

En las siguientes imágenes se muestran cómo están distribuidas las fisuras en las paredes del edificio:

La figura 11 muestra las fisuras en las paredes internas del edificio, en dirección X eje A, y se ubican en los muros del nivel 1, 2 y 4. La tabla II describe su longitud.

Figura 11. **Fisuras en muros (Eje X - A)**



Fuente: elaboración propia, realizado con software Sap2000.

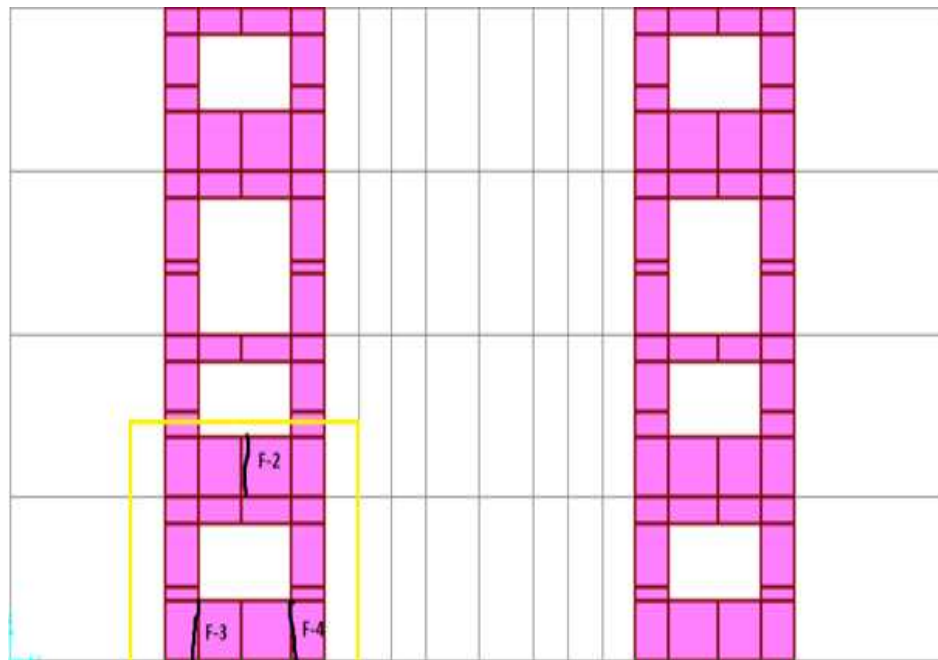
Tabla II. **Fisuras en muros (Eje X – A)**

Eje	Descripción	Longitud (cm)	Ancho (mm)
A	F-1	227	0.40
A	F-10	030	0.40
A	F-13	180	0.40
A	F-14	60	0.40
A	F-15	90	0.40

Fuente: elaboración propia.

La figura 12 muestra las fisuras internas del edificio, en dirección Y eje 1, y se ubican en los muros del nivel 1, 2. En la tabla III se describe su longitud.

Figura 12. Fisuras en muros (Eje Y - 1)



Fuente: elaboración propia, realizado con software Sap2000.

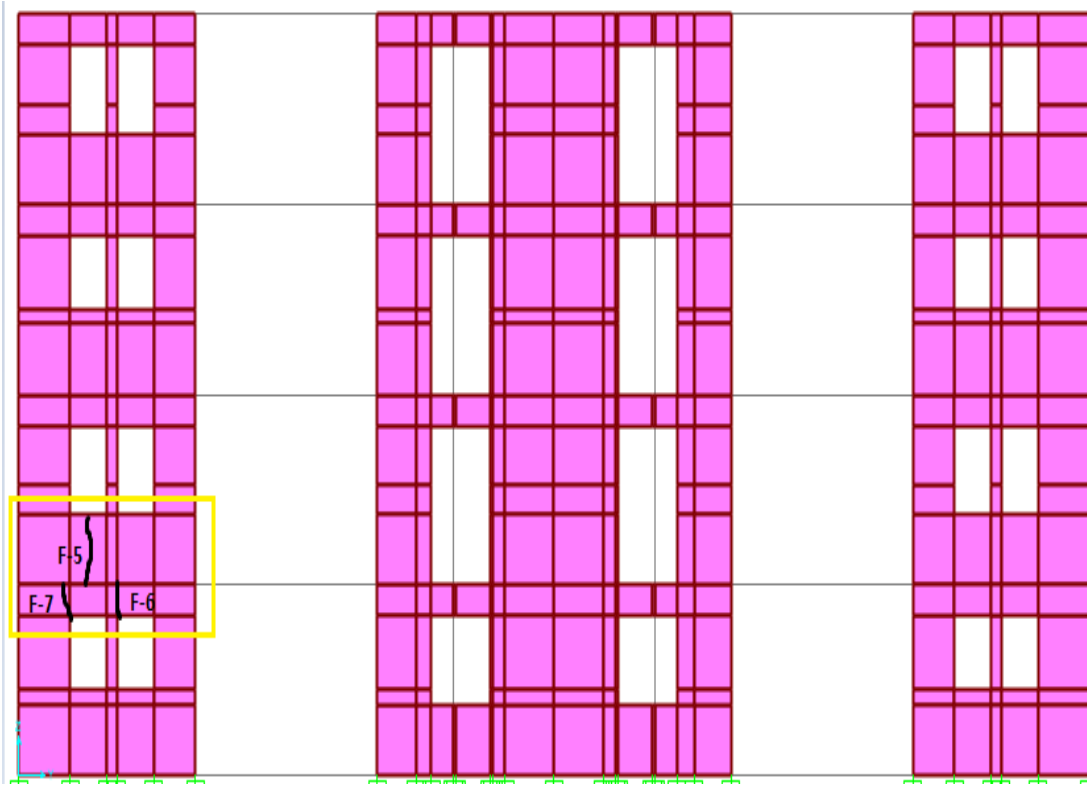
Tabla III. Fisuras en muros (Eje Y – 1)

Eje	Descripción	Longitud (cm)	Ancho (mm)
1	F-2	88	0.40
1	F-3	88	0.40
1	F-4	80	0.40

Fuente: elaboración propia.

La figura 13 muestra las fisuras internas del edificio, en dirección Y eje 2, y se ubican en los muros del nivel 1, 2. La tabla IV describe su longitud.

Figura 13. Fisuras en muros (Eje Y - 2)



Fuente: elaboración propia extraída del software Sap2000.

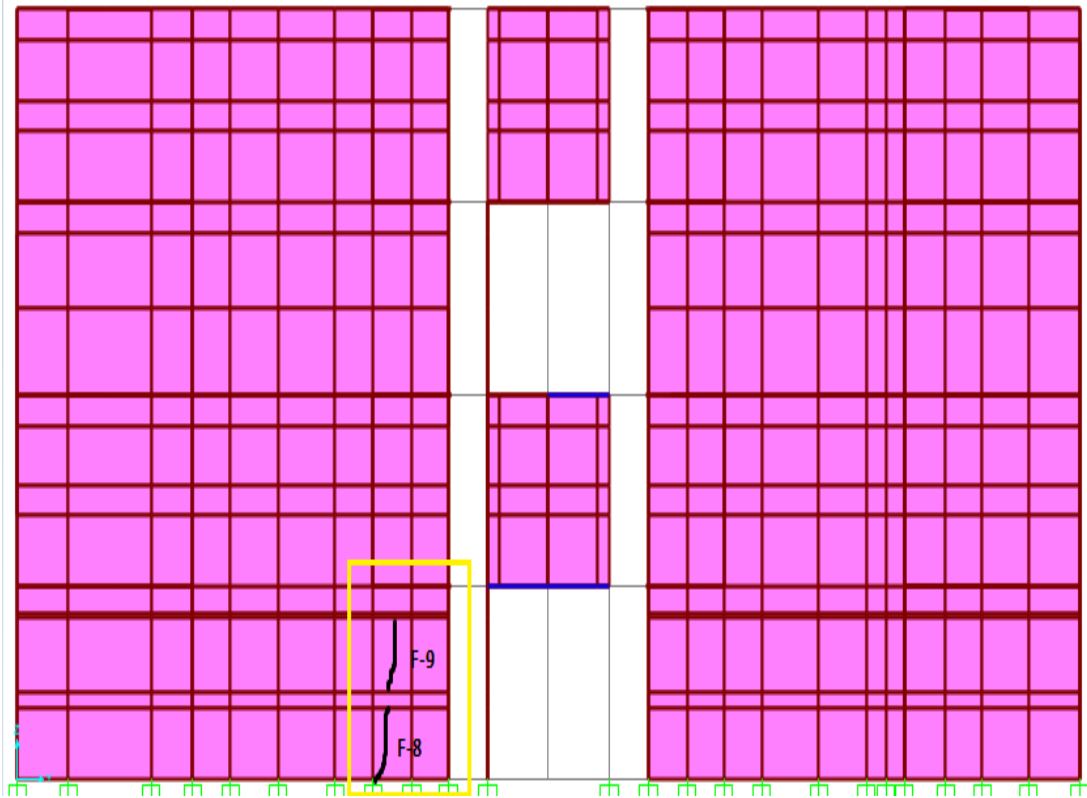
Tabla IV. Fisuras en muros (Eje Y - 2)

Eje	Descripción	Longitud (cm)	Ancho (mm)
2	F-5	88	0.40
2	F-6	37	0.40
2	F-7	40	0.40

Fuente: elaboración propia.

La figura 14 muestra las fisuras internas de la edificación, en dirección Y eje 7, y se ubican en las paredes del nivel 1. La tabla V describe su longitud.

Figura 14. **Fisuras en muros (eje Y - 7)**



Fuente: elaboración propia, realizado con software Sap2000.

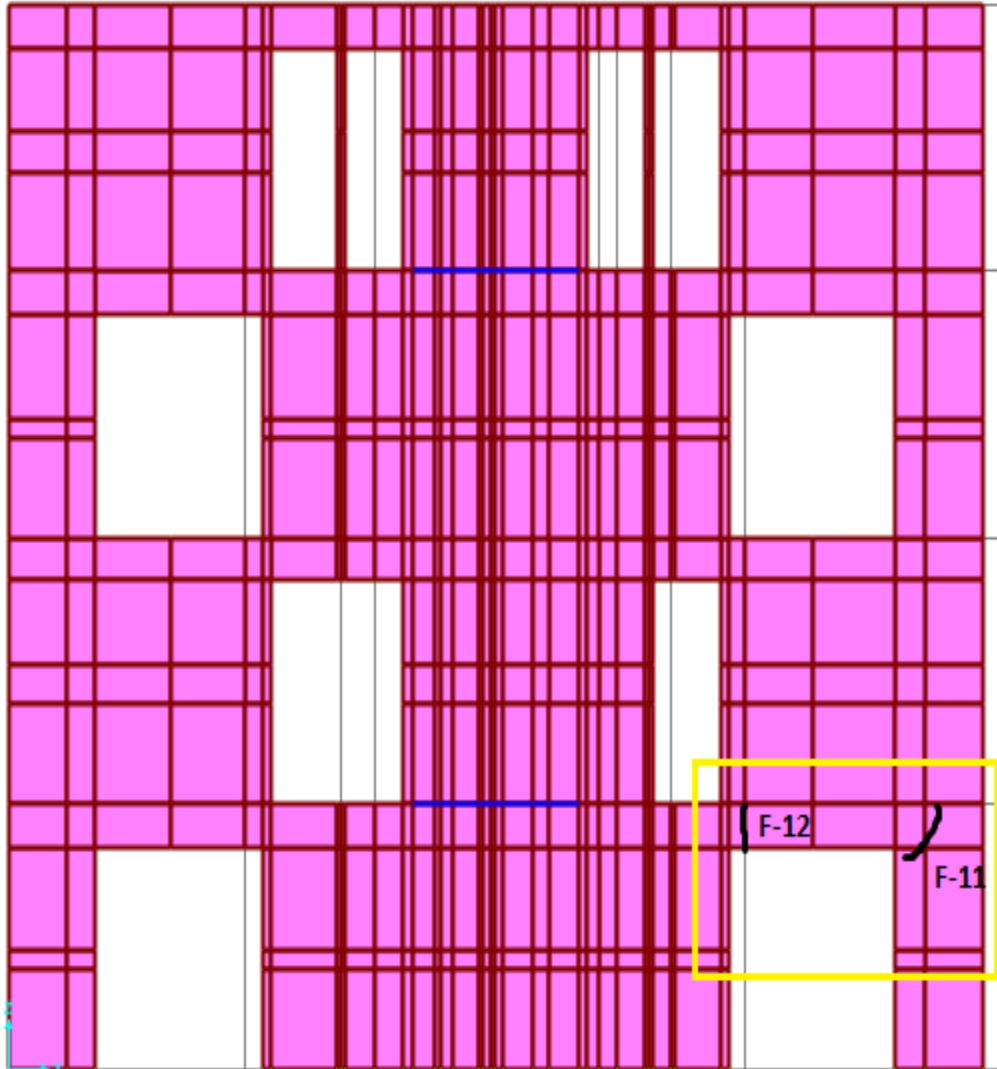
Tabla V. **Fisuras en muros (Eje Y – 7)**

Eje	Descripción	Longitud (cm)	Ancho (mm)
7	F-8	73	0.40
7	F-9	122	0.40

Fuente: elaboración propia.

La figura 15 muestra las fisuras internas del edificio, en dirección X eje B, y se ubican en los muros del nivel 1. La tabla VI describe su longitud.

Figura 15. Fisuras en muros (eje X - B)



Fuente: elaboración propia, realizado con software Sap2000.

Tabla VI. Fisuras en Muros (Eje X – B)

Eje	Descripción	Longitud (cm)	Ancho (mm)
B	F-11	30	0.40
B	F-12	70	0.40

Fuente: elaboración propia.

3. EVALUACIÓN DE MUROS, DEL EDIFICIO EN ESTUDIO

Se presenta a continuación, de forma general las revisiones que establece el código de construcción para los elementos de la edificación.

3.1. Requisitos de las paredes concreto de baja ductilidad

Para introducir una respuesta ordenada, pronosticable y calculable en los muros de baja ductilidad de una estructura de varios pisos, se buscan que sean componentes prismáticos, con sección uniforme de piso a piso. Los elementos prismáticos pueden ser modelados analíticamente con mayor certidumbre y las franjas de muro en compresión que pudieran requerir una mayor ductilidad quedan mejor definidas (NSE-7.9, AGIES , 2018, pág. 50).

3.1.1. Diafragmas

La edificación tendrá entrepisos que deben generar una acción horizontal de diafragma entre las paredes portantes. Para lograr esta acción de diafragmas el entre piso debe ser losa de concreto fundido en el sitio.

3.1.2. Vigas

Cuando existan, las vigas no deben ser parte del sistema sismo-resistente, solo deben utilizarse como elementos que soportan cargas gravitacionales.

3.1.3. Columnas

Cuando existan, las columnas no deben ser parte del sistema sismo-resistente, solo deben utilizarse como elementos que soportan cargas gravitacionales.

3.1.4. Instalación de tuberías adentro de las paredes de concreto

Se permitirá instalar tuberías de pvc o policarbonato dentro de los muros o losas cuando el diámetro nominal de las tuberías no exceda $1/7$ del espesor de muro o losa. Instalar tuberías horizontales en muros estructurales está terminantemente prohibido, ya sea que tengan una o dos mallas de refuerzo. (NSE-7.9, AGIES , 2018, pág. 100).

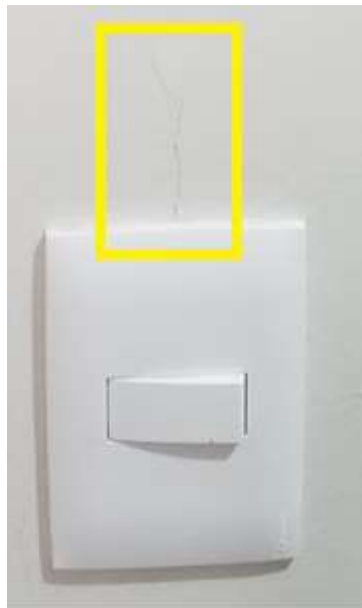
Figura 16. Fisura provocada en muros por instalaciones eléctricas



Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular.
Guatemala.

Dado que las instalaciones adentro de los muros afectan un porcentaje del espesor del muro y así mismo su resistencia estructural, no es recomendable hacer uso de ellas si no se tiene un espesor de muro considerable.

Figura 17. **Fisura provocada en muros por instalaciones eléctricas**



Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular. Guatemala.

Como puede observarse en las imágenes anteriores, la instalación de tubería eléctrica dentro de los muros provoca fisuramiento, si no se considera un espesor adecuado.

3.1.5. Dinteles y sillares

Estos no deben ser considerados elementos estructurales, cuando se integran a un sistema sismo-resistente de ductilidad limitada de varios pisos. En

dicho caso lo recomendable es separar los sillares y dinteles de los soportes de la estructura o quitarlos del todo.

Separar los sillares y dinteles de la estructura consiste en dejar juntas verticales en los extremos del elemento excepto en la parte superior. Las juntas no deben ser profundas, bastará con utilizar 1 cm, que luego se le aplicará un sellador elástico.

Figura 18. **Sillares**



Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular.
Guatemala.

Un sillar es un elemento que acopla las paredes de concreto, cuando se conecta sobre una losa, pero no conecta con la siguiente, comúnmente se utilizan en la parte de abajo de las ventanas.

Figura 19. **Dinteles**



Fuente: [Fotografía de Hector Lopez]. (Zona 4 de Mixco, 2020). Colección particular. Guatemala.

Un dintel es un elemento de acople entre muros, comúnmente se utilizan en la parte superior de ventanas o puertas.

Como puede observarse en las imágenes anteriores algunos dinteles y sillares poseen juntas mas no todos. Cabe mencionar que los dinteles y sillares no poseen juntas por dentro del edificio lo que se considera que no están totalmente desacoplados de los muros.

3.2. Materiales de los muros

Los requisitos que deben cumplir los materiales para ser utilizados en los muros son los siguientes:

3.2.1. Concreto

En paredes delgadas de concreto de ductilidad limitada, la resistencia de compresión (F'_c), no debe exceder los 5,000 psi (350 kg/cm^2) y tampoco menor a 2,800 psi (200 kg/cm^2).

3.2.2. Acero de Refuerzo

Deberá estar conforme al normativo ASTM A706, solo deberá utilizarse acero con una resistencia a la fluencia de 60 ksi ($F_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$)

3.2.3. Mallas electrosoldadas

La resistencia nominal para diseño podrá utilizarse grado 70 ($f_y = 4,900 \text{ kg/cm}^2$).

3.3. Valores de Carga

A continuación, se muestran de forma general las cargas de servicio que deben aplicarse al edificio, en base al código de construcción NSE-2 2018 (AGIES).

3.3.1. Carga muerta

(Definida en la sección 1.5.4). Se utilizó una carga de uso de 125 kg/m^2 .

3.3.2. Carga viva

Definida anteriormente en la sección 1.5.2. Según la norma NSE-2, 2018 de AGIES.

Tabla VII. **Cargas Vivas para edificaciones**

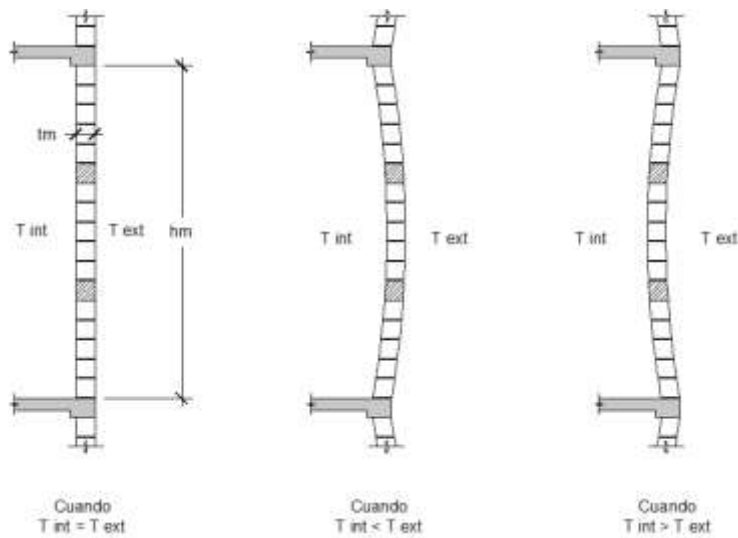
Tipo de Ocupación	Carga (Kg/m²)
Techo	100
Pasillos y habitaciones	200
gradas	300

Fuente: AGIES, NSE 2-2018, pág. 28.

3.3.3. Carga ejercida por variación de temperatura

Las paredes de concreto de ductilidad limitada se encuentran expuestos a una variación de temperatura en períodos de tiempo largos o cortos, el efecto de aumento de temperatura provoca que las paredes se expandan o dilaten su longitud, en cambio sí disminuye la temperatura las paredes se contraen. Este comportamiento en las paredes por cambios de temperatura provoca esfuerzos de compresión y tracción, y si este cambio de temperatura se da con mayor intensidad en solo una de las caras de la pared, provoca una combinación de esfuerzos flexión y axial.

Figura 20. **Comportamiento de paredes de concreto por variación de temperatura**



Fuente: Manuel Jiménez, 2020, pág. 92.

La deformación que se forma en las paredes de concreto por variación de temperatura, provoca un esfuerzo por temperatura que va en relación con el módulo de elasticidad, altura y material del elemento.

- Deformación térmica en la pared:

$$\delta_{temp} = \Delta T * \alpha * H \quad \text{(Ecuación 1)}$$

- Esfuerzo de temperatura:

$$\sigma_{temp} = \Delta T * \alpha * E \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

ΔT : Cambio de temperatura.

δT : Deformación térmica.

α : Coeficiente térmico.

σT : Esfuerzo por temperatura.

H: Altura del muro.

3.3.4. Carga sísmica

Definida anteriormente en la sección 1.5.5. los aspectos a tomar, para el cálculo de carga sísmica se muestra a continuación:

3.3.4.1. Índice de Sismicidad

Es un valor imprescindible en el diseño de la estructura, e incide en la protección sísmica.

El valor clasifica las zonas por condiciones geológicas y que puedan generar una amenaza sísmica. Guatemala es un territorio que se divide en macro-zonas que caracteriza el índice de sismicidad y se muestra en la Figura 14.

3.3.4.2. Grado de protección sísmica

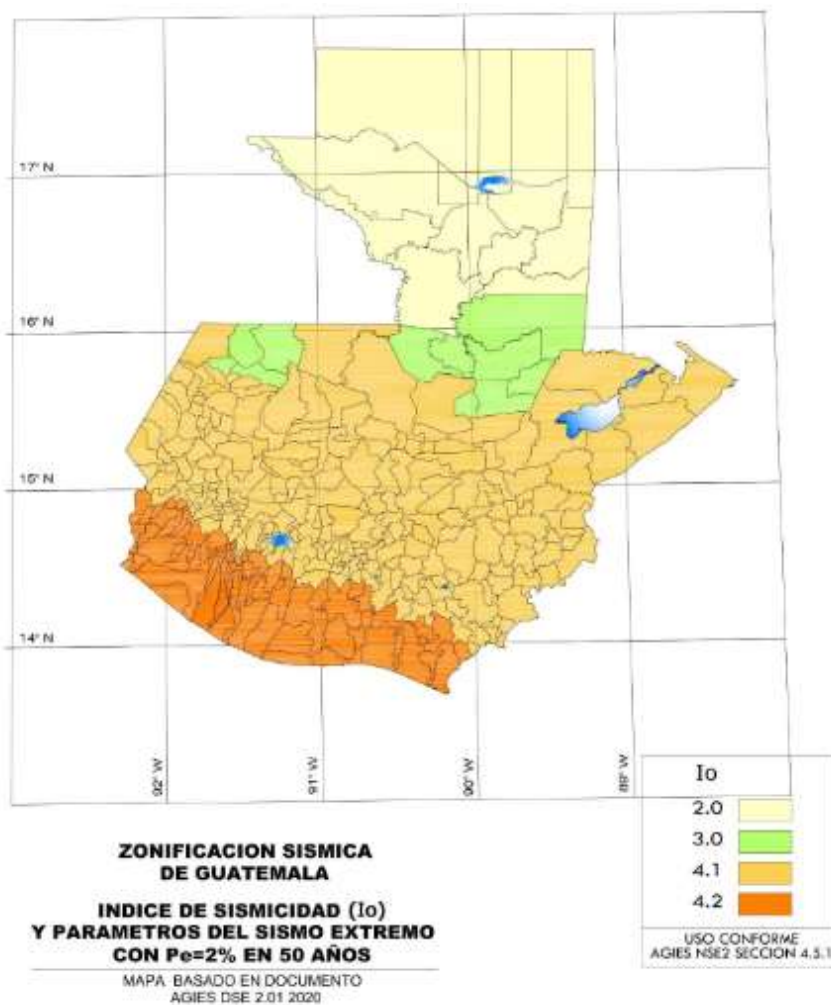
Es el valor mínimo que una estructura debe poseer como defensa sísmica y se muestra a continuación:

Tabla VIII. **Listado de Amenaza Sísmica y Velocidad Básica del Viento por Municipio para la República de Guatemala**

ubicación	Tipo de Suelo: C			
	I _o	S _{cr}	S _{1r}	T _L
Mixco Guatemala	4.1	1.53	0.68	2.69

Fuente: AGIES, NSE 2 - 2018, pág. 88.

Figura 21. **Mapa de Zonificación Sísmica de Guatemala**



Fuente: AGIES, NSE 2 - 2018, pág. 35.

3.3.4.3. Ajuste por grado de fuerza sísmica característico

Es un valor de ajuste por posibilidad de intensidad aumentada de vibración en un lugar, se obtiene con las siguientes expresiones:

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v * N_v \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

S_{cs} : ordenada espectral en estructuras con período de vibración corto, para un sismo extremo. Con amortiguamiento de 5 %.

S_{1s} : ordenada espectral que vibra con período de un segundo. Con amortiguamiento de 5 %.

F_a : es el factor de sitio en período de vibración corto (Tabla X)

F_v : es el factor de sitio en un período de vibración largo (Tabla XI).

N_a y N_v : son coeficientes que se deben aplicar por la proximidad de amenazas (tabla XIII y XIV respectivamente).

Tabla IX. **Fa (Factor de sitio)**

Tipo de sitio	Índice de sismicidad			
	2	3	4.1	4.2
A, B	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0
D	1.0	1.0	1.0	1.0
E	1.0	1.0	1.0	1.0
F	Requiere una evaluación especial			

Fuente: AGIES, NSE 2 – 2018, pág. 37.

Tabla X. **Fv (Factor de sitio)**

Tipo de sitio	Índice de sismicidad			
	2	3	4.1	4.2
A, B	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0
D	1.0	1.0	1.0	1.0
E	1.0	1.0	1.0	1.0
F	Requiere una evaluación especial			

Fuente: AGIES, NSE 2 – 2018, pág. 37.

Tabla XI. **Tipo de fuente sísmica**

Tipo de fuente	Descripción	Máxima magnitud-momento	Tasa de corrimiento (mm / año)
C	Falla geológica incapaz de generar un evento de gran magnitud y que tiene una baja tasa de sismicidad	$M_o \leq 6.5$	$TC \leq 2$

Continúa tabla XI.

B	Falla geológica que no son A o C	$M_o \geq 7.0$	$TC < 5$
		$M_o < 7.0$	$TC > 2$
		$M_o \geq 6.5$	$TC < 2$
A	Falla geológica capaz de generar un evento de gran magnitud y con una alta tasa de sismicidad	$M_o \geq 7.0$	$TC \geq 5$

Fuente: AGIES, NSE 2 – 2018, pág. 41.

Tabla XII. **Coefficiente N_a para período corto de vibración**

Tipo de Fuente	Distancia de la falla sísmica más cerca		
	≥ 10 km	5 km	≤ 2 km
A	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	1.00
C	1.00	1.00	1.00

Fuente: AGIES, NSE 2 – 2018, pág. 42.

Tabla XIII. **Coefficiente N_v para período largo de vibración**

Tipo de Fuente	Distancia de la falla sísmica más cerca			
	≥ 15 km	≥ 10 km	5 km	≤ 2 km
A	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	1.00	1.00
C	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: AGIES, NSE 2 – 2018, pág. 42.

3.3.4.4. Períodos de vibración de transición

El período T_s separa el período corto de los largos.

$$T_s = S1s/Scs \quad (\text{Ecuación 5}).$$

El período T_o indica el inicio de la meseta en un período pequeño del espectro.

$$T_o = 0.20 * T_s \quad (\text{Ecuación 6}).$$

3.3.4.5. Posibilidad de que ocurra el sismo de diseño

Se determina de acuerdo con al grado de protección sísmica que requiera la edificación, según los factores K_d que indica la tabla siguiente:

Tabla XIV. **Coefficientes K_d según el grado del sismo**

Probabilidad	Sismo de diseño	Factor K_d
Condición de excepción	sismo mínimo	0.55
Sismo extremo - 2% posibilidad de ser excedido en 50 años	Sismo extremo	1.00
Sismo severo - 5% posibilidad de ser excedido en 50 años	Sismo severo	0.80
Sismo ordinario - 10% posibilidad de ser excedido en 50 años	Sismo ordinario	0.66

Fuente: AGIES, NSE 2 – 2018, pág. 38.

Los coeficientes del espectro se ajustarán de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$S_{cd} = K_d * S_{cs} \quad (\text{Ecuación 7}).$$

$$S_{1d} = K_d * S_{1s} \quad (\text{Ecuación 8}).$$

3.3.5. Espectros genéricos probables

Cuando se deban usar los espectros genéricos probables, la ordenanza espectral $S_a(T)$ en cualquier período de vibración, se usarán las siguientes ecuaciones:

$$S_a(T) = S_{cd} \quad \text{Cuando } T_0 \leq T \leq T_s \quad (\text{Ecuación 9}).$$

$$S_a(T) = \frac{S_{1d}}{T} \leq S_{cd} \quad \text{Cuando } T > T_s \quad (\text{Ecuación 10}).$$

$$S_a(T) = S_{cd} \left[0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right] \quad \text{Cuando } T < T_0 \quad (\text{Ecuación 11}).$$

3.3.6. Aceleración del suelo máximo (amsd)

Los casos en que es necesario calcular la aceleración de suelo máximo que corresponderá al sismo de diseño, debe partir de espectros genéricos, utilizando la ecuación siguiente:

$$AMS_d = 0.40 * S_{cd} \quad (\text{Ecuación 12}).$$

3.3.7. Sismo de diseño, componente vertical (svd)

El valor de Svd es nominal y se debe determinar con la ecuación siguiente:

$$Svd = 0.20 * Scd \quad \text{(Ecuación 13).}$$

3.3.8. Procedimiento de la carga estática sísmica equivalente

Este método hace que la sollicitación sísmica sea modelada como fuerza estática vertical y horizontal, aplicadas en lo ancho y alto de la estructura. Está basado en una respuesta espectral del sismo diseñado, peso útil de la estructura, propiedad elástica y período de vibración empírico fundamental.

El modelo analítico a veces subestima la respuesta del sismo y hace necesario usar un calibrador empírico y así tener un resultado eficaz. Por esta razón se recurre al procedimiento estático equivalente y de esta forma calibrar el impacto del sismo en la estructura.

3.3.9. Factor sísmico al límite de cedencia (Cs)

El coeficiente sísmico (Cs) en cada dirección de análisis se establecerá de la manera siguiente:

$$Cs = Sa(T) / R \quad \text{(Ecuación 14).}$$

Donde:

Sa (T): es la demanda del sismo diseñado, en una edificación que posee un período (T) que se obtiene del espectro sísmico diseñado, determinado para el sitio, conforme a la posibilidad de ocurrencia necesaria.

T: período modal fundamental de vibración de la edificación.

R: factor de Modificación de respuesta sísmica (Tabla XVI).

Tabla XV. **Coficiente y factor de diseño para sistemas sismorresistentes**

Sistema Estructural	R	Ω_R	Cd
E2 - Sistema de Muros			
De concreto reforzada ductilidad alta	6	2.5	5
De concreto reforzada ductilidad baja	4	2.5	4
De mampostería reforzada ductilidad alta	4	2.5	3.5
De mampostería reforzada ductilidad baja	3	2.5	2

Fuente: AGIES, NSE 3 – 2018, pág. 28.

3.3.10. Valor mínimo de Cs

Se revisará que Cs cumpla las siguientes expresiones:

$$C_s \geq 0.044 * S_{cd} \geq 0.01 \quad \text{(Ecuación 15).}$$

$$C_s \geq (0.75 * K_d * S_{1r})/R \quad \text{(Ecuación 16).}$$

3.3.11. Período de vibración fundamental (Ta)

El período de vibración fundamental de la educación se calculará conforme a la siguiente expresión:

$$T_a = K_T * (h_n)^x \quad (\text{Ecuación 17}).$$

Donde:

h_n : altura completa de la estructura (en metros).

Factores: $K_T = 0.049$, $x = 0.75$, Para sistema estructural E2.

3.3.12. Calibración modal del análisis

El cortante basal dinámico, del cálculo inicial en las direcciones horizontales (V_{1x} y V_{1y}), no debe utilizarse sin que se haya calibrado antes.

La referencia de calibración será el cortante estático V_{EX} y V_{EY} obtenidos con la ecuación 14, utilizando los períodos (T) obtenidos.

$$V_{DX} = \max(0.85V_{EX}, V_{1X}) \quad (\text{Ecuación 18}).$$

$$V_{DY} = \max(0.85V_{EY}, V_{1Y}) \quad (\text{Ecuación 19}).$$

La fuerza resultante del análisis modal de debe multiplicar por los factores V_{DX}/V_{1X} y V_{DY}/V_{1Y} y se usaran para integrar las sollicitaciones sísmicas del diseño. Mas adelante se hace referencia a resultados calibrados del análisis modal.

3.4. Derivas laterales tolerables

Es la diferencia horizontal de desplazamiento en el centro de masa del nivel X, con relación al centro de masa del nivel X-1.

3.5. Progresión de deriva y desplazamiento

Las derivas dependerán del desplazamiento horizontal entre dos pisos o niveles consecutivos de la edificación y por tanto se calculará de la siguiente manera:

$$\delta_u = Cd * \delta_c \quad (\text{Ecuación 20}).$$

Donde:

δ_u : representa el movimiento horizontal de la edificación después de sobrepasar el límite post-elástico (Deriva $[\Delta]$ del nivel K).

δ_c : desplazamiento horizontal al límite de fluencia de la estructura.

Cd : coeficiente de incremento del movimiento elástico (tabla XVI).

3.5.1. Derivas últimas máximas tolerables

Para controlar la deformación horizontal, no es necesario el desplazamiento absoluto, pero si las derivas (Δ).

Se calcularán conforme a la tabla XVII.

Tabla XVI. Derivas ultimas máximas tolerables

Tipo de Estructura	Clasificación de Obra		
	Categoría IV	Categoría III	Categoría II
E2 - Sistema de Muros	$0.010 \cdot h_p$	$0.010 \cdot h_p$	$0.010 \cdot h_p$

Fuente: AGIES, NSE 3 – 2018, pág. 62.

Donde:

h_p : altura de piso donde la deriva es calculada.

3.6. Combinación de carga de trabajo

Definida anteriormente en la sección 1.6. La combinación de carga a utilizar para encontrar capacidad mínima resistente que debe tener la pared de concreto de baja ductilidad son:

3.6.1. Combinaciones de cargas – Método de esfuerzos de resistencia

La estructura y sus componentes se deben diseñar de manera que las resistencias de cálculo sean mayores o iguales que los efectos de cargas nominales factoradas, y para ello se presentan las siguientes combinaciones.

- Carga por gravedad

$$CR1 \rightarrow 1.4M \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$CR2 \rightarrow 1.2M + 1.6V + 0.5(V_t, P_L, A_R) \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$CR3 \rightarrow 1.2M + V + 1.6(V_t, P_L, A_R) \quad (\text{Ecuación 23})$$

- Carga por sismo

$$CR4 \rightarrow 1.2M + V + S_{vd} \pm S_{hd} \quad (\text{Ecuación 24})$$

$$CR5 \rightarrow 0.9M - S_{vd} \pm S_{hd} \quad (\text{Ecuación 25})$$

3.6.2. Método de los esfuerzos de servicio - Combinación de carga

Además de asegurar la resistencia contra la falla, es necesario asegurar que los elementos se comporten adecuadamente para el servicio normal cuando las cargas son aquellas que realmente se esperan.

- Carga por gravedad

$$CS1 \rightarrow M + V \quad (\text{Ecuación 26})$$

$$CS2 \rightarrow M + \text{máx}(V_t, P_L, A_R) \quad (\text{Ecuación 27})$$

$$CS3 \rightarrow M + 0.75 * V + 0.75 * \text{máx}(V_t, P_L, A_R) \quad (\text{Ecuación 28})$$

- Carga por sismo

$$CS4 \rightarrow M + 0.7 * (S_{vd} \pm S_{hd}) \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde:

M: carga muerta.

CR1 y CS1: combo 1.

V: carga viva.	CR2 y CS2: combo 2.
V _t : carga viva de techado.	CR3 y CS3: combo 3.
P _L : carga por lluvia.	CR4 y CS4: combo 4.
A _R : carga de tefra volcánica.	CR5: combo 5.
S _{vd} : carga sísmica vertical.	
S _{hd} : carga sísmica horizontal.	

3.7. Geometría de las paredes de concreto de ductilidad limitada

A continuación, se presentan de forma general los requisitos que deben desempeñar las paredes en cuanto a geometría.

3.7.1. Espesor mínimo ($T_{w_{min}}$)

El espesor mínimo una pared delgada de baja ductilidad se establecerá por la siguiente expresión:

$$T_{w_{min}} = 0.01 * N + 0.05 \geq 10cm \quad (\text{Ecuación 30})$$

Donde:

N: es la cantidad de niveles desde la superficie del piso en el que se está analizando la pared.

3.7.2. Mínimo espesor de pared por pandeo elástico (T_{pe})

Además de lo establecido en la sección 3.10.1, la pared debe tener un mínimo de espesor para evitar el pandeo elástico, indicado en la expresión siguiente:

$$T_{w_{min}} \geq T_{pe} = hp/25 \quad (\text{Ecuación 31})$$

Donde:

hp: altura libre del piso.

3.7.3. Relación de alto / largo

Para establecer un adecuado comportamiento sismo-resistente, la pared deberá satisfacer la siguiente expresión:

$$H_w/L_w \leq 16 \quad (\text{Ecuación 32})$$

Donde:

H_w: altura de la pared desde la superficie inferior hasta el remate.

L_w: longitud de pared en planta.

3.7.4. Mínimo espesor por pandeo post-elástico (T_{pp})

Aparte de lo establecido en la sección 3.10.1, el espesor de pared para evitar el pandeo post-elástico deberá satisfacer lo siguiente expresión:

$$T_{w_{min}} \geq T_{pp} = L_{wp} * \frac{\sqrt{\theta}}{65 * G} \quad (\text{Ecuación 33})$$

$$L_{wp} = 1.6 * h_p \leq L_w \quad (\text{Ecuación 34})$$

Donde:

L_{wp} : longitud útil de pandeo de pared.

$G = 0.9$ si el acero de refuerzo se distribuye en 2 camas, colocada en los extremos del espesor de pared.

$G = 0.7$ si el acero de refuerzo es solo 1 cama, ubicado en el tercio medio de pared.

θ = parámetro de rotación plástica (tabla XVIII).

Tabla XVII. **Parámetro θ . Rotación plástica a desarrollar**

Hw / Lw	θ	$\sqrt{\theta}$
1	2.00	1.41
2	2.80	1.67
3	3.39	1.84
4	3.79	1.95
5	4.11	2.03
6	4.36	2.09
7	4.58	2.14
8	4.75	2.18
9	4.90	2.21
10	5.04	2.24
11	5.15	2.27

Fuente: AGIES, NSE 7.9 – 2018, pág. 54.

3.7.5. Área mínima de pared

Es el área mínima transversal de la sección en planta del total de paredes en las 2 direcciones, debe cumplir la siguiente expresión:

$$A_{pTxy} \geq (1.50 * N_A) / f'c \quad (\text{Ecuación 35})$$

$$N_A = A_{losa} * \#Ps \quad (\text{Ecuación 35-a})$$

Donde:

A_{pTxy} : sección de área transversal mínima en m².

N_A : es la sumatoria de todas las áreas construidas sobre todos los pisos del edificio en m².

A_{losa} : área de losa.

$\#Ps$: número de niveles construidos, sobre el piso de análisis.

$f'c$: resistencia a compresión del concreto en kg/cm².

- La mínima área de pared en cada dirección debe ser mayor a 40 %

$$\%A_{min} = \frac{A_{pTxy}[\text{del nivel}]}{A_{total \text{ nivel}}} * 100 > 40\% \quad (\text{Ecuación 35-b})$$

3.8. Verificación de ductilidad

Se busca que la pared de concreto de ductilidad limitada proporcione un desempeño post-elástico sin tener bordes confinados.

3.8.1. Elementos finitos - comprobación simplificada

Para revisar la ductilidad de pared usando el método de elementos finitos, deberá cumplir las siguientes ecuaciones:

- La pared deber ser prismático y, también:

$$Hw/Lw \leq 16 \quad (\text{Ecuación 32-repetida})$$

- En cada combinación de carga gravitacional mayorada, el esfuerzo promedio gravitacional ($\sigma_{mg [med]}$), no será mayor que:

$$\sigma_{mg[med]} \leq \sigma_{max} = -0.12 * \phi_c * f'c \quad (\text{Ecuación 36})$$

$$\phi_c = 0.90$$

Donde:

Φ_c : factor que reduce la capacidad flexo-compresión en las paredes.

- El esfuerzo máximo axial ($\sigma_{my [max]}$) producido por cualquier combinación de carga mayorada en un punto cualquiera de cada miembro prismático de pared, no debe ser mayor que:

$$\sigma_{my[max]} \leq 0.20 * f'c \quad (\text{Ecuación 37})$$

3.8.2. Procedimiento alternativo del eje neutro

En caso de no cumplir las ecuaciones de máximo esfuerzo (Ecuación 36 y Ecuación 37), aún es probable constatar que hay ductilidad suficiente, revisando

indirectamente la deformación unitaria del concreto por el procedimiento alterno del eje neutro.

Se considera que hay ductilidad suficiente si cumple la siguiente expresión:

$$Ku = 4.4 * k * \left[\left(1 - \frac{k}{2 * Ar} \right) / 1000 * D \right] \quad \text{(Ecuación 38)}$$

Donde:

$$Ar = Hw / Lw \quad \text{(Ecuación 39)}$$

$$k = 0.2 + 0.044 * Ar \quad \text{(Ecuación 40)}$$

(Ecuación 41)

$$D = 1.5 * Cd * \frac{\delta}{Hw} \geq [0.8 * D1 \text{ ó } 0.0075, \text{ la que sea mayor de las dos}]$$

(Ecuación 42)

$$D1 = [(A1 - A2 * \sigma a) * Ar + A3 + A4 * \sigma a - A5 * \sigma a^2] / 1000$$

$$\sigma a = Pu / [0.9 * Ag * f'c] \quad \text{(Ecuación 43)}$$

$Cd = 4$ (tabla XVI).

δ : deformación elástica que corresponde al corte basal diseñado, el cual se mide desde la altura de sección de pared revisada, hasta la zona superior de la edificación (Se adquiere del análisis de la estructura con $l_e = 0.35 * l_g$).

Hw: altura de pared a revisar, hasta la parte superior de la estructura.

Lw: longitud del muro.

El valor de A5, A4, A3, A2 y A1 se presentan en la tabla XIX.

Tabla XVIII. **Valor complemento de ecuación 38**

	$f_y = 4900 \text{ kg/cm}^2$	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
A1	1.576	1.413
A2	3.161	2.468
A3	1.496	1.391
A4	5.895	4.725
A5	22.537	15.343

Fuente: AGIES (NSE 7.9 – 2018, pág. 60).

Para verificar la ductilidad, se debe seleccionar el mayor de c / Lw del resultado de las combinaciones de trabajo, y deberán ser menor a:

$$C_{max} = Ku * Lw \quad (\text{Ecuación 44})$$

3.9. Cuantía de refuerzo longitudinal

La cuantía por refuerzo longitudinal será la siguiente:

3.9.1. Cuantía mínima

La cuantía por refuerzo vertical ρ_L , depende de la necesidad flexo-compresión o cortante.

La mínima cuantía vertical será de $\rho_L = 0.002$.

3.9.2. Cuantía máxima

La máxima cuantía del acero vertical será:

$$\rho_L = \left[A_{st} / A_g \right] \leq \rho_{LD \text{ máximo}} \quad (\text{Ecuación 45})$$

Donde:

Ast: área de acero vertical total en pared.

Ag: área bruta de pared.

El $\rho_{LD \text{ máximo}}$ va en función del eje neutro, su posición, carga axial sobre la pared, resistencia del concreto y resistencia del acero, conforme a la siguiente ecuación:

$$\rho_{LD \text{ máximo}} = \left[\frac{f'_c / f_y}{(1 - 2 * K_u)} * \left[(0.7225 * K_u) - \frac{P_u}{\phi_c * A_g * f'_c} \right] \right] \quad (\text{Ecuación 46})$$

Donde:

Ku: se encuentra con la ecuación 38.

f_y: límite del fluencia del acero.

3.10. Diseño por corte

La resistencia nominal en corte V_n se establecerá mediante las siguientes expresiones.

$$V_n = A_{cv} * [v_c + v_s] \quad (\text{Ecuación 47})$$

$$A_{cv} = L_w * T_w \quad (\text{Ecuación 48})$$

$$v_s = \rho_h * f_y \quad (\text{Ecuación 49})$$

$$v_c = 0.53 * \sqrt{f'_c \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} \quad (\text{Ecuación 50})$$

Donde:

V_n : capacidad de cortante nominal de sección.

A_{cv} : área que resiste cortante en la pared.

T_w : espesor de muro.

L_w : longitud del muro.

v_s : esfuerzo aportado por resistencia del refuerzo instalado.

ρ_h : cuantía de acero horizontal en la pared. La cuantía mínima ρ_h será 0.0020.

v_c : Esfuerzo aportado por resistencia del concreto.

3.10.1. Reducción por cortante

El coeficiente de reducción por cortante en la pared delgada será:

$$\phi_v = \frac{1}{[0.9 + N/10]} \quad (\text{Ecuación 51})$$

$$0.60 \leq \phi_v \leq 0.85$$

Donde:

N: número de pisos de la estructura.

3.10.2. Demanda por cortante de diseño

El diseño cortante resistente se expresa a continuación:

$$V_u = 2.0 * V_{am} \quad (\text{Ecuación 52})$$

Donde:

V_u : corte de diseño.

V_{am} : cortante de análisis (combinación mayorada).

3.10.3. Límite máximo de la capacidad cortante de pared

La capacidad cortante de pared no debe ser mayor que los valores siguientes:

- Para refuerzo en una cama.

$$V_n \leq 1.6 * A_{cv} * \sqrt{f'_c} \quad (\text{Ecuación 53})$$

Por tanto, el cortante ultimo V_u debe ser menor que la fuerza cortante nominal V_n .

3.11. Módulo de rompimiento del concreto

Se define como la máxima tensión que puede resistir el concreto y se determina con la siguiente expresión:

$$f_r = 8 * \sqrt{f'_c} \quad (\text{Ecuación 54})$$

4. PRESENTACIÓN RESULTADOS OBTENIDOS

El edificio en estudio fue modelado mediante un software estructural denominado Sap2000, siguiendo todas las especificaciones en cuanto materiales y dimensiones de los planos de construcción y en cuanto a cargas de servicio se utilizaron las establecidas en la norma de construcción de Guatemala (AGIES).

Los resultados de la revisión estructural del edificio se presentan a continuación.

4.1. Esfuerzos por temperatura

A continuación, se presenta el cálculo realizado para determinar la deformación térmica y los esfuerzos por temperatura que soportan los muros.

- Deformación térmica.

(Ecuación 1)

$$\delta T = \Delta T * \alpha * H = (28^{\circ}\text{C} - 16^{\circ}\text{C}) * \left(1.12 * 10^{-5} \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right) * 1048\text{cm} = 0.141\text{cm}$$

- Esfuerzo por temperatura.

(Ecuación 2)

$$\sigma_{temp} = \Delta T * \alpha * E = (28^{\circ}\text{C} - 16^{\circ}\text{C}) * \left(1.12 * 10^{-5} \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \right) * \left(252,671.33 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$\sigma_{temp} = 33.96 \frac{kg}{cm^2}$$

Por lo anterior, el esfuerzo generado en los muros por la variación de temperatura que se genera en la zona, no sobrepasa el módulo de ruptura del concreto, pero si se encuentra muy cerca de su valor.

4.2. Carga sísmica

Estos parámetros se definen de acuerdo con la ubicación geográfica del edificio, tipo de obra, entre otros.

Se establecen a continuación:

Clasificación de Obra: Ordinaria (Tipo II).

Ubicación: Guatemala.

Índice de sismicidad: $I_0 = 4.1$.

Clase de sitio: C

- Scr y S1r (parámetros del sismo extremo)

Scr = 1.53 g.

S1r = 0.68 g.

$$T_L = 2.69$$

- Probabilidad de ocurrencia del sismo diseñado y grado de resistencia sísmica

Según la tabla VIII, para el índice de sismicidad igual a 4.2 y una obra ordinaria, el grado de resistencia sísmica debe ser Tipo D y la probabilidad de superar el sismo diseñado, es del 10 % en un período de retorno de 50 años. Por tanto, el sismo que le corresponde es: Ordinario.

- Ajuste por intensidad sísmica especial

Según la tabla X y XI, para un índice por sismicidad, $I_0 = 4.1$, y clase de sitio C, los coeficientes de sitio son:

- $F_a = 1.1$.
- $F_v = 1.1$.

Según la tabla XI, para fallas geológicas que son incapaces de generar un evento de alta magnitud y que tienen una tasa baja de sismicidad, le corresponde una fuente tipo C.

Según la tabla XIII y XIV, para una fuente tipo C, con una distancia horizontal cercana a fuentes sísmicas mayor de 10 km, los factores que aplicaran por la cercanía de las amenazas especiales son:

- Para períodos cortos de vibración, factor $N_a = 1.00$.

- Para períodos largos de vibración, factor $N_v = 1.00$.

Parámetros espectrales ajustados:

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a = 1.53 * 1.0 * 1.0 = 1.53 \text{ g} \quad (\text{Ecuación 3})$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v * N_v = 0.68 * 1.0 * 1.0 = 0.68 \text{ g} \quad (\text{Ecuación 4})$$

- T_s y T_o (período de vibración de transición)

$$T_s = S_{1s} / S_{cs} = \frac{0.68}{1.53} = 0.44 \text{ sg} \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$T_o = 0.20 * T_s = 0.20 * 0.44 = 0.08 \text{ sg} \quad (\text{Ecuación 6})$$

- Factor K_d (posibilidad de que ocurra el sismo de diseño)

Según la tabla XV, el sismo ordinario con 10 % de posibilidad de ser superado en 50 años, le corresponde un factor $K_d = 0.66$.

- S_{cd} y S_{1d} (parámetros del espectro calibrados)

$$S_{cd} = K_d * S_{cs} = 0.66 * 1.53 = 1.00 \text{ g} \quad (\text{Ecuación 7})$$

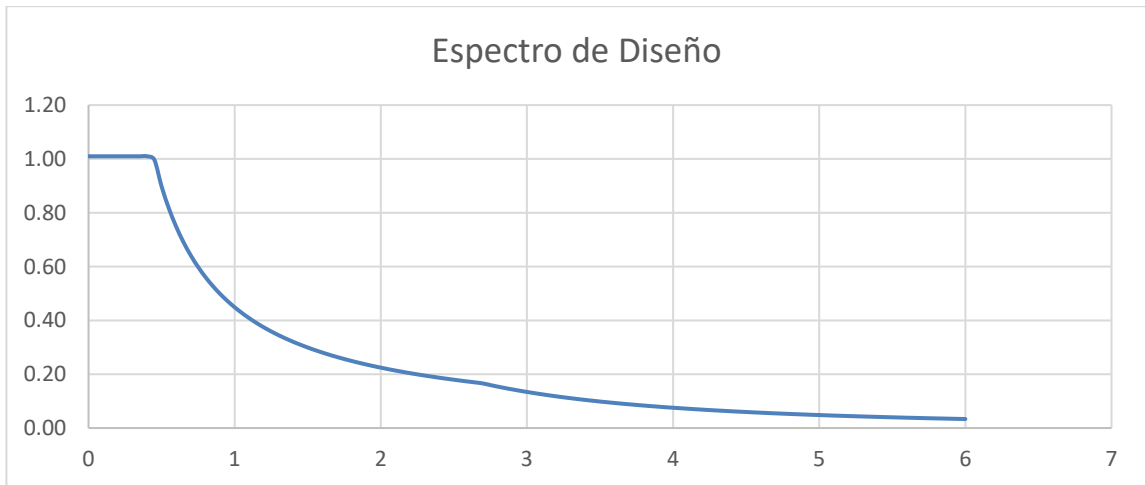
$$S_{1d} = K_d * S_{1s} = 0.66 * 0.68 = 0.45 \text{ g} \quad (\text{Ecuación 8})$$

- S_a (espectros genéricos probables)

$$S_a(T) = S_{cd} = 1.00 \text{ g} \quad \text{Cuando } T_o \leq T \leq T_s \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$S_a(T) = \frac{S_{1d}}{T} = \frac{0.51}{T} \quad \text{Cuando } T > T_s \quad \text{(Ecuación 10)}$$

Figura 22. **Espectro sísmico diseñado**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Excel.

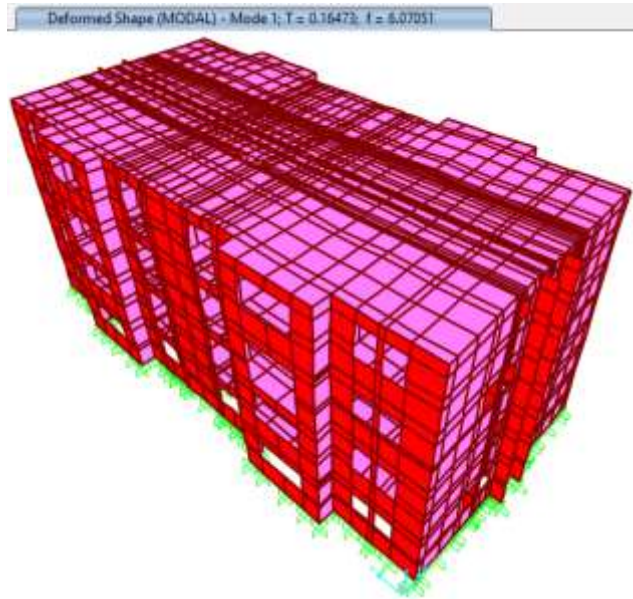
- Factor R (Procedimiento de la carga estática sísmica equivalente)

Según la tabla XVI, para un edificio con muros E2, el factor R=4.

- Períodos modales, tomados del modelamiento del edificio en el software Sap2000.

Período modal del sismo en la dirección X, Txx = 0.16 sg.

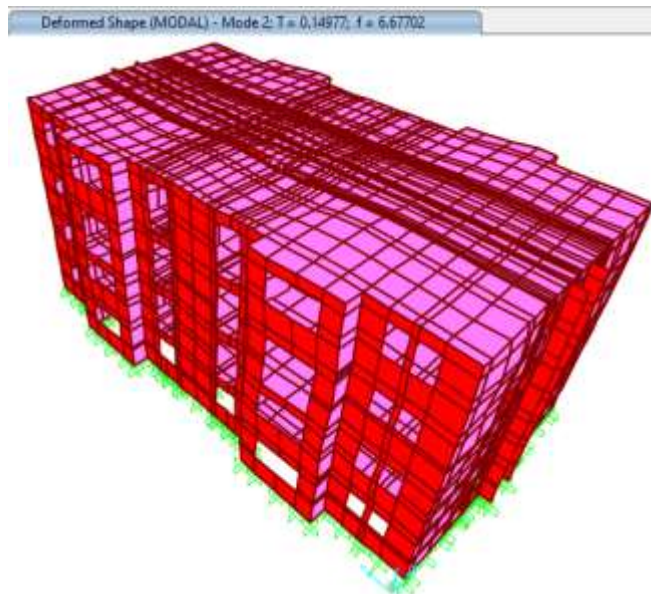
Figura 23. **Período modal en la dirección X**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Período modal del sismo en la dirección Y, $T_{yy} = 0.1497$ sg.

Figura 24. **Período modal en la dirección Y**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

- T_a (período de vibración fundamental)

Para una altura de la edificación de 10.8 m, con sistema estructural E2, los factores $K_T=0.049$ y $x=0.75$.

$$T_a = K_T * (h_n)^x = 0.049 * (10.8)^{0.75} = 0.29 \text{ sg} \quad (\text{Ecuación 17})$$

- $C_{S\text{dinámico}}$ (coeficiente sísmico al límite de cedencia dinámico)

$$C_{S_{XX}} = \frac{S_a(T_{xx})}{R} = \frac{1.10}{4} = 0.275 \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$C_{S_{YY}} = \frac{S_a(T_{yy})}{R} = \frac{1.10}{4} = 0.275 \quad (\text{Ecuación 14})$$

- $C_{S\text{estático}}$ mínimos (coeficiente sísmico al límite de cedencia estático)

$$C_{S_{T_a}} = \frac{S_a(T_a)}{R} = \frac{1.10}{4} = 0.275 \quad (\text{Ecuación 14})$$

$$C_s \geq 0.044 * S_{cd} = 0.044 * 1.10 = 0.0484 \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$C_s \geq \frac{(0.75 * K_d * S_{1r})}{R} = \frac{(0.75 * 0.66 * 0.55)}{4} = 0.068 \quad (\text{Ecuación 16})$$

El valor de $C_{S\text{estático}}$ será el máximo de los calculados anteriormente.

Valor máximo (0.275, 0.052, 0.068) $\rightarrow C_{S\text{estático}} = 0.275$.

- Análisis modal (calibración)

(Ecuación 18)

$$V_{DX} = \max(0.85V_{EX}, V_{1X}) = \max(0.85 * 0.275, 0.275) = 0.275$$

(Ecuación 19)

$$V_{DY} = \max(0.85V_{EY}, V_{1Y}) = \max(0.85 * 0.275, 0.275) = 0.275$$

$$\text{Factor de calibración sismo XX} = \frac{V_{DX}}{C_{sXX}} = \frac{0.275}{0.275} = 1.00$$

$$\text{Factor de calibración sismo YY} = \frac{V_{DY}}{C_{sYY}} = \frac{0.275}{0.275} = 1.00$$

Dado que los períodos modales del edificio se mantienen en la meseta del espectro de respuesta (figura 22), no necesita factor de calibración.

4.3. Resultados de derivas laterales tolerables

Se denotan los cálculos realizados en el cálculo de derivas laterales tolerables.

- Derivas laterales en dirección X.

A continuación, se presentan los resultados de deriva en dirección X.

Tabla XIX. Cálculo de derivas en la dirección X

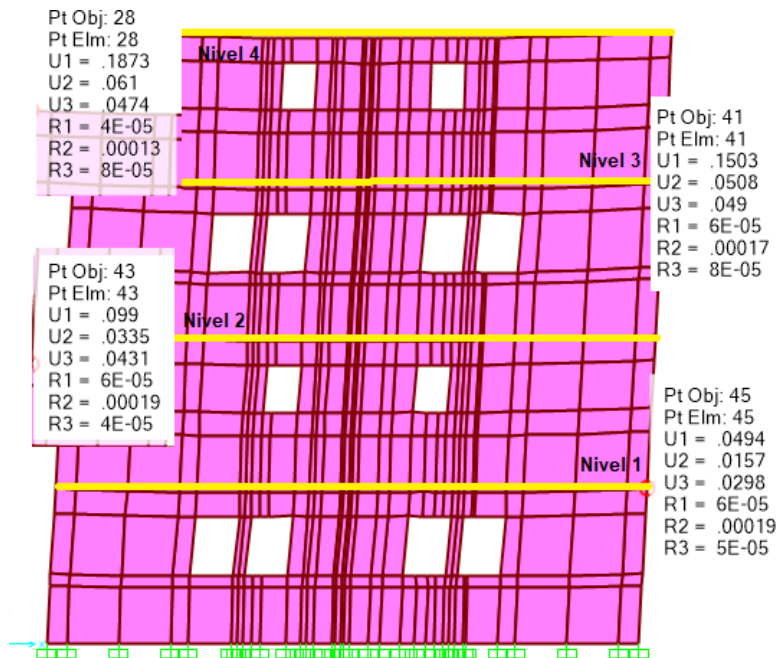
Nivel	Desplazamientos		Deriva Última Δu (cm) ($Des_{UN} - Des_{UN-1}$)	Altura de nivel H (cm)	Deriva Última Permissible (Tabla XVII) Δu_p (cm)
	Elástico U1 [cm] (Figura 25)	Último [cm] (Ecuación 20)			
1	0.0490	0.20	0.20	262.00	2.62
2	0.0989	0.400	0.20	262.00	2.62
3	0.1503	0.600	0.21	262.00	2.62
4	0.1873	0.750	0.15	262.00	2.62

(Ta. XV) Cd	4
-------------	---

Fuente: elaboración propia.

Por lo anterior, las derivas últimas son menores que las derivas ultimas permisibles.

Figura 25. Desplazamientos en dirección X por sismo



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

- Derivas laterales en dirección Y.

A continuación, se presentan los resultados de derivas en dirección Y.

Tabla XX. **Cálculo de derivas en la dirección Y**

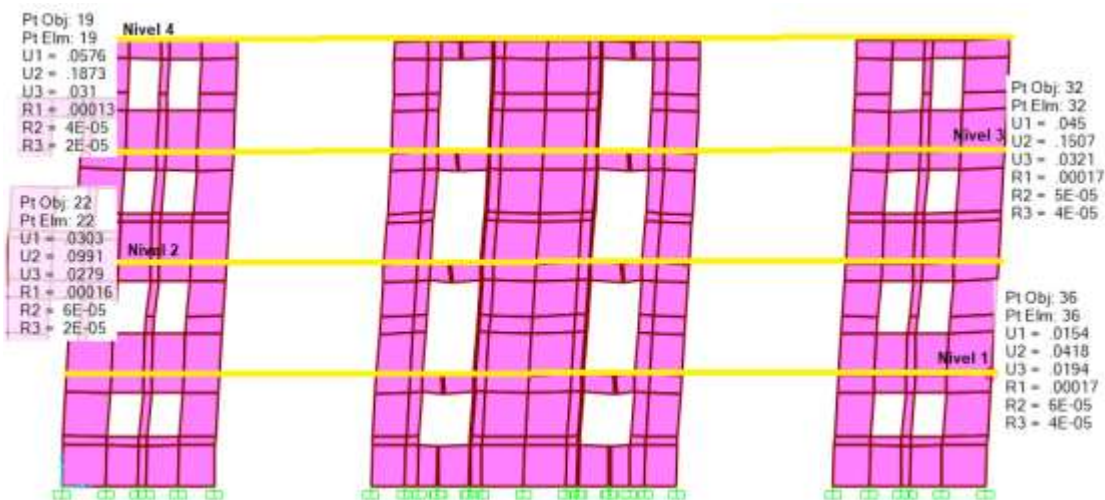
Nivel	Desplazamiento		Deriva Última Δu (cm) (DesUN - DesUN-1)	Altura de nivel H (cm)	Deriva Última Permisible (Tabla XVII) Δup (cm)
	Elástico U2 [cm] (Figura 26)	Último [cm] (Ecuación 20)			
1	0.0418	0.17	0.17	262.0	2.62
2	0.0991	0.40	0.23	262.0	2.62
3	0.1507	0.60	0.21	262.0	2.62
4	0.1873	0.75	0.15	262.0	2.62

(Ta XV) Cd	4
------------	---

Fuente: elaboración propia.

Por lo anterior, las derivas ultimas son menores que las derivas ultimas permisibles.

Figura 26. **Desplazamiento en dirección Y por sismo**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Por lo anterior, las derivas que posee la edificación en dirección X y dirección Y, son menores que las derivas máximas tolerables, por tanto, cumple con el requisito establecido en la norma NSE 3 -2018 (AGIES), sección 4.3.3.

4.4. Revisión por geometría de los muros

Los muros de la edificación deben cumplir con una geometría que le permita resistir las diferentes cargas aplicadas.

- Espesor mínimo.

A continuación, se establece los cálculos para el espesor mínimo de muros.

Tabla XXI. **Espesor mínimo de muros**

Nivel	N (# de niveles incluyéndolo)	Tw [cm] (Ecuación 30)	tw [m] ≥ 10
4	1	0.06	0.10
3	2	0.07	0.10
2	3	0.08	0.10
1	4	0.09	0.10

Fuente: elaboración propia.

El espesor mínimo que deben tener los muros es de 10 cm.

- Tpe (espesor por pandeo elástico mínimo)

$$Tpe = \frac{hp}{25} = \frac{262}{25} = 10.48 \text{ cm} \quad (\text{Ecuación 31})$$

- Lw (longitud mínima del muro).

$$Lw = \frac{Hw}{16} = \frac{262 \text{ cm}}{16} = 16.38 \text{ cm} \quad (\text{Ecuación 32})$$

- Lwp (longitud efectiva del muro)

$$Lwp = 1.6 * hp = 1.6 * 262 \text{ cm} = 419.20 \text{ cm} \quad (\text{Ecuación 34})$$

- Tpp (espesor por pandeo post-elástico mínimo)

$$Tpp = Lwp * \frac{\sqrt{\theta}}{65 * G} = 419.20 * \frac{\sqrt{2}}{65 * 0.7} = 13.03 \text{ cm} \quad (\text{Ecuación 33})$$

- Área mínima de muros

La tabla siguiente, muestra los resultados del área total en dirección X.

Tabla XXII. **Área de paredes en dirección X**

Eje	Largo total (m)	Aberturas por puertas y ventanas (m)	Largo Neto (m)	Espesor (m)	Área (m ²)
A	10.30	5.40	4.90	0.10	0.490
B	11.70	7.20	4.50	0.10	0.450
C	11.70	10.30	1.40	0.10	0.140
C1	0.00	0.00	0.00	0.10	0.000
C2	0.45	0.00	0.45	0.10	0.045
D	8.00	2.55	5.45	0.10	0.545
E	3.70	0.00	3.70	0.10	0.370
F	8.00	2.55	5.45	0.10	0.545
F1	0.45	0.00	0.45	0.10	0.045
F2	0.00	0.00	0.00	0.10	0.000

Continuación de tabla XXII.

G	11.70	10.30	1.40	0.10	0.140
H	11.70	7.20	4.50	0.10	0.450
I	10.30	5.40	4.90	0.10	0.490

Área total (m²)	3.710
-----------------------------------	--------------

Fuente: elaboración propia.

La tabla siguiente, muestra los resultados del área total en dirección Y.

Tabla XXIII. **Área de paredes en dirección Y**

Eje	Largo total (m)	Aberturas por puertas y ventanas (m)	Largo Neto (m)	Espesor (m)	Área (m ²)
1	14.60	11.50	3.10	0.10	0.310
2	21.80	5.40	16.40	0.10	1.640
3	0.00	0.00	0.00	0.10	0.000
4	21.80	13.50	8.30	0.10	0.830
5	0.00	0.00	0.00	0.10	0.000
6	0.00	0.00	0.00	0.10	0.000
6a	22.80	21.80	1.00	0.10	0.100
6b	4.10	2.50	1.60	0.10	0.160
7	21.80	4.10	17.70	0.10	1.770
7a	22.80	21.80	1.00	0.10	0.100
8	0.00	0.00	0.00	0.10	0.000
9	21.80	17.40	4.40	0.10	0.440
10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.000
11	21.80	14.40	7.40	0.10	0.740
12	14.60	11.50	3.10	0.10	0.310
13	0.00	0.00	0.00	0.10	0.000

Área total (m²)	6.400
-----------------------------------	--------------

Fuente: elaboración propia.

Área total de piso = $3.71+6.40 = 10.11 \text{ m}^2$.

En la siguiente tabla se presenta los cálculos para el área mínima de paredes.

Tabla XXIV. **Área mínima de muros**

Nivel	Na (Ecuación 35-a)	A_{pTxy} (m ²) (Ecuación 35)	Área total (m ²)	$A_{pTxy} < \text{Área total}$
4	233.91	1.25	10.11	Cumple
3	467.82	2.51	10.11	Cumple
2	701.73	3.76	10.11	Cumple
1	935.64	5.01	10.11	Cumple

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Porcentaje de área mínima de muros en la dirección X**

% Área XX (Ecuación 35-b)	% Área XX > 0.4
2.96	Cumple
1.48	Cumple
0.99	Cumple
0.74	Cumple

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Porcentaje de área mínima de muros en la dirección Y**

% Área YY (Ecuación 35-b)	% Área YY >0.4
5.11	Cumple
2.55	Cumple
1.70	Cumple
1.28	Cumple

Fuente: elaboración propia.

El área mínima por nivel es menor que el total de área por nivel, y el porcentaje de área mínima en dirección X y dirección Y, superan el 40%, por tanto, cumple con lo establecido en NSE 7.9 -2018 (AGIES) sección 4.5.1.

4.5. Verificación de ductilidad

Atendiendo la sección 3.7.1 se presentan los resultados siguientes:

- Comprobación simplificada por elementos finitos.

(Ecuación 36)

$$\sigma_{mg[med]} \leq \sigma_{max} = -0.12 * \phi_c * f'c = 0.12 * 0.90 * 280 \frac{kg}{cm^2}$$

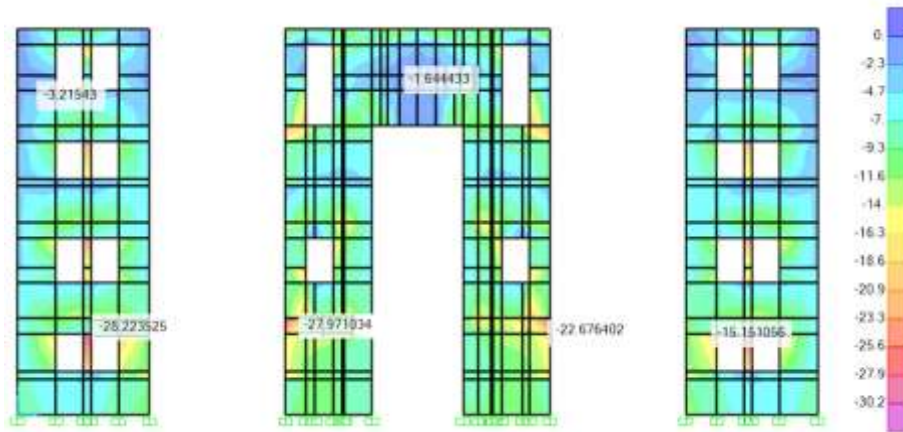
Los esfuerzos por carga gravitacional σ_{mg} en los muros, no deberán exceder el esfuerzo máximo σ_{max} que se muestra a continuación:

$$\sigma_{mg[med]} \leq \sigma_{max} = -30.24 \text{ kg/cm}^2$$

Para la combinación de carga por gravedad establecidos en la sección 3.5.1, la figura 27, figura 28 y figura 29 muestran de forma gráfica los esfuerzos resultantes en los muros.

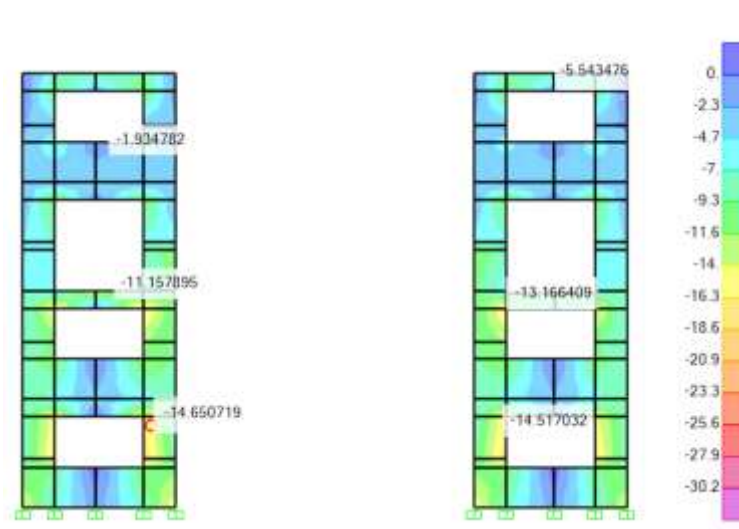
En la parte derecha de la imagen aparece una barra de colores que indica los valores correspondientes a los esfuerzos, que va desde el color AZUL que indica el menor esfuerzo gravitacional que soportan los muros ($\sigma = 0 \text{ kg / cm}^2$), hasta el color MORADO que indica el máximo esfuerzo que deberán resistir los muros ($\sigma_{max} = -30.24 \text{ kg / cm}^2$).

Figura 27. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección Y, eje 11)**



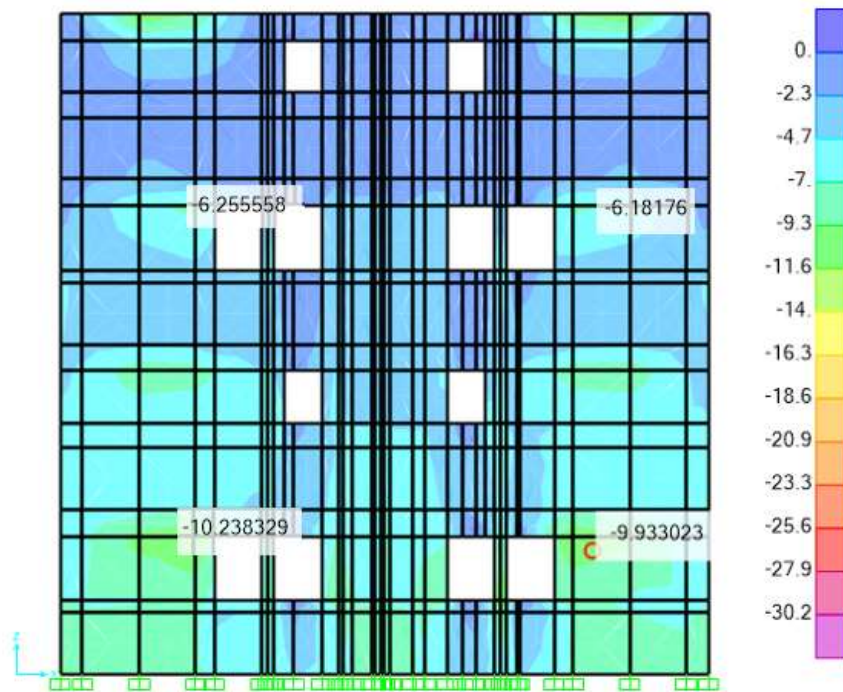
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Figura 28. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección Y, eje 12)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Figura 29. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección X, eje A)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Las figuras 27, 28 y 29 se observa que los esfuerzos por carga gravitacional σ_{mg} en los muros, son menores al esfuerzo máximo $\sigma_{max}=30.24 \text{ kg/cm}^2$, por tanto, cumple con lo estipulado el código NSE 7.9 – 2018 (AGIES) sección 11.4.5.

4.6. Revisión de cuantía por el método alterno del eje neutro

En caso que los muros superen el esfuerzo máximo $\sigma_{max}=30.24 \text{ kg/cm}^2$, siempre es posible comprobar la ductilidad necesaria por el método del eje neutro.

- Paredes de la edificación en dirección Y, eje 11

- Cuantía a utilizar:

$$\rho_L = 0.002 \quad (\text{Ecuación 45})$$

- Cuantía máxima calculada:

$$Ar = Hw/Lw = 1048\text{cm}/85\text{cm} = 12.33 \quad (\text{Ecuación 39})$$

$$k = 0.2 + 0.044 * Ar = 0.2 + 0.044 * 12.33 = 0.74 \quad (\text{Ecuación 40})$$

$$D = 1.5 * Cd * \frac{\delta}{Hw} = 1.5 * 4 * \frac{0.22}{1048} = 0.0013 \quad (\text{Ecuación 41})$$

(Ecuación 43)

$$\sigma a = Pu/[0.9 * Ag * f'c] = \frac{2.55 * 1000}{0.9 * 850 * 280} = 0.012 \text{ kg/cm}^2$$

(Ecuación 42)

$$D1 = [(A1 - A2 * \sigma a) * Ar + A3 + A4 * \sigma a - A5 * \sigma a^2]/1000$$

$$D1 = \frac{[(1.58 - 3.16 * 0.012) * 12.33 + 1.50 + 5.90 * 0.012 - 22.54 * 0.012^2]}{1000}$$

$$D1 = 0.021$$

El D a utilizar, debe ser el mayor de los calculados anteriormente.

$$\text{Max}[0.0013; 0.80 * D1 = 0.016; 0.0075]$$

$$D = 0.016$$

(Ecuación 38)

$$Ku = 4.4 * k * \left[\left(1 - \frac{k}{2 * Ar} \right) / 1000 * D \right] = 4.4 * 0.74 * \left[\frac{\left(1 - \frac{0.74}{2 * 12.33} \right)}{1000 * 0.016} \right] = 0.195$$

$$C_{max} = Ku * Lw = 0.195 * 85 \text{ cm} = 16.55 \text{ cm} \quad \text{(Ecuación 44)}$$

(Ecuación 46)

$$\rho_{LD \text{ máximo}} = \left[\frac{f'c/fy}{(1 - 2 * Ku)} * \left[(0.7225 * Ku) - \frac{Pu}{\phi_c * A_g * f'c} \right] \right]$$

$$\rho_{LD \text{ máximo}} = \left[\frac{280/5000}{(1 - 2 * 0.195)} * \left[(0.7225 * 0.195) - \frac{2.55}{0.90 * 850 * 280} \right] \right] = 0.013$$

$$\rho_L = 0.002 \leq \rho_{LD \text{ máximo}} = 0.013 \Rightarrow Ok$$

Por lo anterior, la cuantía $\rho = 0.002$ que poseen los muros en dirección Y, eje 11, es menos que la cuantía máxima calculada $\rho_{LD \text{ máximo}} = 0.013$, entonces cumple con lo indicado en el código NSE 7.9 – 2018 (AGIES), sección 11.6.3-1.

Muros del edificio en la dirección Y, eje 12

- Cuantía a utilizar:

$$\rho_L = 0.002 \quad (\text{Ecuación 45})$$

- o Cuantía máxima calculada:

$$Ar = Hw/Lw = 1048cm/77.5cm = 13.52 \quad (\text{Ecuación 39})$$

$$k = 0.2 + 0.044 * Ar = 0.2 + 0.044 * 13.52 = 0.79 \quad (\text{Ecuación 40})$$

$$D = 1.5 * Cd * \frac{\delta}{Hw} = 1.5 * 4 * \frac{0.22}{1048} = 0.0013 \quad (\text{Ecuación 41})$$

$$(\text{Ecuación 43})$$

$$\sigma a = Pu/[0.9 * Ag * f'c] = \frac{7.75 * 1000}{0.9 * 775 * 280} = 0.040 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\text{Ecuación 42})$$

$$D1 = [(A1 - A2 * \sigma a) * Ar + A3 + A4 * \sigma a - A5 * \sigma a^2]/1000$$

$$D1 = \frac{[(1.58 - 3.16 * 0.040) * 13.52 + 1.50 + 5.90 * 0.040 - 22.54 * 0.040^2]}{1000}$$

$$D1 = 0.021$$

El D a utilizar debe ser el mayor de:

$$\text{Max}[0.0013; 0.80 * D1 = 0.017; 0.0075]$$

$$D = 0.017$$

(Ecuación 38)

$$Ku = 4.4 * k * \left[\left(1 - \frac{k}{2 * Ar} \right) / 1000 * D \right] = 4.4 * 0.79 * \left[\frac{\left(1 - \frac{0.79}{2 * 13.52} \right)}{1000 * 0.017} \right] = 0.201$$

$$C_{max} = Ku * Lw = 0.201 * 77.5 \text{ cm} = 15.57 \text{ cm} \quad (\text{Ecuación 44})$$

(Ecuación 46)

$$\rho_{LD \text{ máximo}} = \left[\frac{f'c/fy}{(1 - 2 * Ku)} * \left[(0.7225 * Ku) - \frac{Pu}{\phi_c * A_g * f'c} \right] \right]$$

$$\rho_{LD \text{ máximo}} = \left[\frac{280/5000}{(1 - 2 * 0.201)} * \left[(0.7225 * 0.201) - \frac{7.75}{0.90 * 775 * 280} \right] \right] = 0.014$$

$$\rho_L = 0.002 \leq \rho_{LD \text{ máximo}} = 0.014 \Rightarrow Ok$$

Por lo anterior, la cuantía $\rho = 0.002$ que poseen los muros en dirección Y, eje 12, es menor que la cuantía máxima calculada $\rho_{LD \text{ máximo}} = 0.014$, cumple con lo estipulado en el código NSE 7.9 – 2018 (AGIES) sección 11.6.3-1.

- Paredes del edificio en dirección X, eje A

- Cuantía a utilizar:

$$\rho_L = 0.002 \quad (\text{Ecuación 45})$$

- Cuantía máxima calculada:

$$Ar = Hw/Lw = 1048 \text{ cm} / 245 \text{ cm} = 4.28 \quad (\text{Ecuación 39})$$

$$k = 0.2 + 0.044 * Ar = 0.2 + 0.044 * 4.28 = 0.39 \quad (\text{Ecuación 40})$$

$$D = 1.5 * Cd * \frac{\delta}{Hw} = 1.5 * 4 * \frac{0.22}{1048} = 0.0013 \quad (\text{Ecuación 41})$$

$$(\text{Ecuación 43})$$

$$\sigma a = Pu / [0.9 * Ag * f'c] = \frac{7.35 * 1000}{0.9 * 2450 * 280} = 0.012 \text{ kg/cm}^2$$

$$(\text{Ecuación 42})$$

$$D1 = [(A1 - A2 * \sigma a) * Ar + A3 + A4 * \sigma a - A5 * \sigma a^2] / 1000$$

$$D1 = \frac{[(1.58 - 3.16 * 0.012) * 4.28 + 1.50 + 5.90 * 0.012 - 22.54 * 0.012^2]}{1000}$$

$$D1 = 0.008$$

El D a utilizar será el mayor de:

$$\text{Max}[0.0013; 0.80 * D1 = 0.007; 0.0075]$$

$$D = 0.0075$$

$$(\text{Ecuación 38})$$

$$Ku = 4.4 * k * \left[\left(1 - \frac{k}{2 * Ar} \right) / 1000 * D \right] = 4.4 * 0.39 * \left[\left(1 - \frac{0.39}{2 * 4.28} \right) / 1000 * 0.0075 \right] = 0.219$$

$$C_{max} = Ku * Lw = 0.219 * 245 \text{ cm} = 53.75 \text{ cm} \quad (\text{Ecuación 44})$$

(Ecuación 46)

$$\rho_{LD \text{ máximo}} = \left[\frac{f'c/fy}{(1 - 2 * Ku)} * \left[(0.7225 * Ku) - \frac{Pu}{\phi_c * A_g * f'c} \right] \right]$$

$$\rho_{LD \text{ máximo}} = \left[\frac{280/5000}{(1 - 2 * 0.219)} * \left[(0.7225 * 0.219) - \frac{7.35}{0.90 * 2450 * 280} \right] \right] = 0.016$$

$$\rho_L = 0.002 \leq \rho_{LD \text{ máximo}} = 0.016 \Rightarrow Ok$$

Por lo anterior, la cuantía $\rho = 0.002$ que poseen los muros en dirección X, eje A, es menor que la cuantía máxima calculada $\rho_{LD \text{ máximo}} = 0.016$, cumple con lo estipulado en el código NSE 7.9 – 2018 (AGIES) sección 11.6.3-1.

4.7. Revisión por cortante

La revisión por cortante evita que el esfuerzo interno resultante de las tensiones paralelas corte las barras por dicha sección.

- Muros en la dirección Y, eje 11.

$$Acv = Lw * Tw = 10 * 85 = 850 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ecuación 48})$$

$$vs = \rho_h * fy = 0.002 * 5000 = 10 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ecuación 49})$$

$$vc = 0.53 * \sqrt{f'c \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} = 0.53 * \sqrt{280 * \left[\frac{kg}{cm^2} \right]} = 8.87 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ecuación 50})$$

$$Vn = Acv * [vc + vs] = 850 * [8.87 + 10] = 16,038.30 \text{ kg} \quad (\text{Ecuación 47})$$

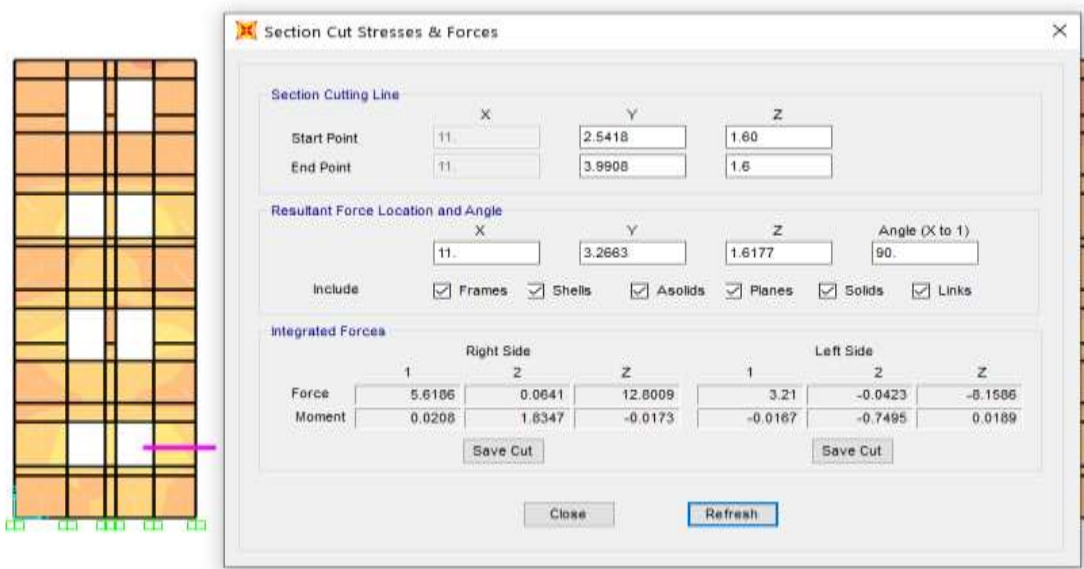
$$V_n = 16.038 \text{ Ton}$$

$$\phi_v = \frac{1}{[0.9 + N/10]} = \frac{1}{[0.9 + 4/10]} = 0.77 \quad (\text{Ecuación 51})$$

$$V_u = 2.0 * V_{am} = 2.0 * 5.60 = 11.20 \text{ Ton} \quad (\text{Ecuación 52})$$

El cortante de análisis V_{am} es un valor tomado del software Sap2000 (ver figura30). La línea morada representa el corte en el tramo de muro que se está analizando y el valor de la fuerza 1, será el valor del corte de análisis.

Figura 30. **Cortante de análisis del tramo de muro (dirección Y, eje 11)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

$$V_n \leq 1.6 * A_{cv} * \sqrt{f'c} = 1.6 * 850 * \sqrt{280} = 22.76 \text{ Ton} \quad (\text{Ecuación 54})$$

$$V_n = 16.038 \text{ Ton} \leq 22.76 \text{ Ton} \Rightarrow Ok \quad (\text{Ecuación 54})$$

$$\phi_v V_n = 0.77 * 16.038 = 12.34 \text{ Ton}$$

$$V_u = 11.20 \text{ Ton} \leq \phi_v V_n = 12.34 \text{ Ton} \Rightarrow Ok$$

Por lo anterior, el esfuerzo cortante último V_u en los muros en dirección Y eje 11, es menos que el esfuerzo cortante nominal V_n , por tanto, cumple con lo indicado en el código NSE 7.9 – 2018 (AGIES), sección 11.7.

- Paredes del edificio en dirección Y, eje 12.

$$A_{cv} = L_w * T_w = 10 * 77.5 = 775 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ecuación 48})$$

$$v_s = \rho_h * f_y = 0.002 * 5000 = 10 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ecuación 49})$$

$$v_c = 0.53 * \sqrt{f'_c \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]} = 0.53 * \sqrt{280 * \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]} = 8.87 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ecuación 50})$$

$$V_n = A_{cv} * [v_c + v_s] = 775 * [8.87 + 10] = 14,623.20 \text{ kg} \quad (\text{Ecuación 47})$$

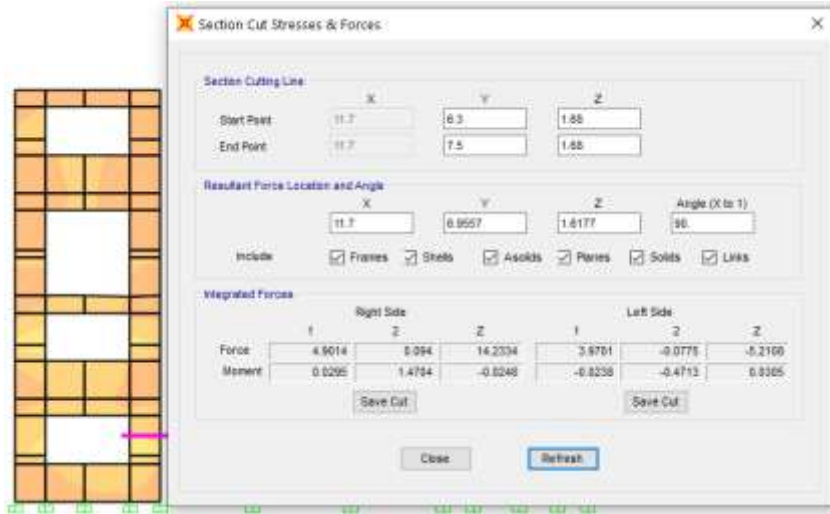
$$V_n = 14.623 \text{ Ton}$$

$$\phi_v = \frac{1}{[0.9 + N/10]} = \frac{1}{[0.9 + 4/10]} = 0.77 \quad (\text{Ecuación 51})$$

$$V_u = 2.0 * V_{am} = 2.0 * 4.90 = 9.80 \text{ Ton} \quad (\text{Ecuación 52})$$

El cortante de análisis V_{am} es un valor tomado del software Sap2000 (ver figura 31). La línea morada representa el corte en el tramo de muro que se está analizando y el valor de la fuerza 1, será el valor del corte de análisis.

Figura 31. Cortante de análisis del tramo de muros (dirección Y, eje 12)



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

$$V_n \leq 1.6 * A_{cv} * \sqrt{f'c} = 1.6 * 775 * \sqrt{280} = 15.96 \text{ Ton} \quad (\text{Ecuación 54})$$

$$V_n = 14.623 \text{ Ton} \leq 15.96 \text{ Ton} \Rightarrow Ok \quad (\text{Ecuación 54})$$

$$\phi_v V_n = 0.77 * 14.623 = 11.259 \text{ Ton}$$

$$V_u = 9.80 \text{ Ton} \leq \phi_v V_n = 11.259 \text{ Ton} \Rightarrow Ok$$

Por lo anterior, el esfuerzo cortante último V_u en los muros en dirección Y eje 12, es menor que el esfuerzo cortante nominal V_n , por tanto, cumple con lo estipulado en el código NSE 7.9 – 2018 (AGIES) sección 11.7.

- Muros del edificio en la dirección X, eje A.

$$A_{cv} = L_w * T_w = 10 * 245 = 2450 \text{ cm}^2 \quad (\text{Ecuación 48})$$

$$vs = \rho_h * fy = 0.002 * 5000 = 10 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ecuación 49})$$

$$vc = 0.53 * \sqrt{f'c \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]} = 0.53 * \sqrt{280 * \left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]} = 8.87 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ecuación 50})$$

$$Vn = Acv * [vc + vs] = 2450 * [8.87 + 10] = 46,228.10 \text{ kg} \quad (\text{Ecuación 47})$$

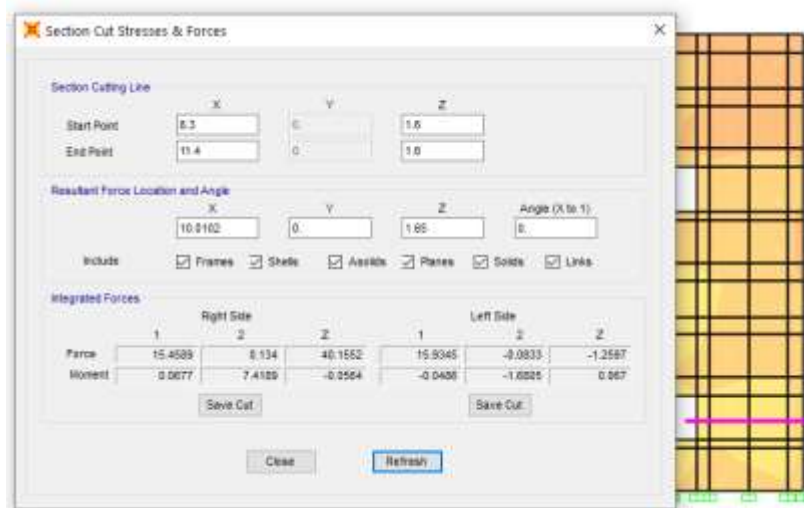
$$Vn = 46.23 \text{ Ton}$$

$$\phi_v = \frac{1}{[0.9 + N/10]} = \frac{1}{[0.9 + 4/10]} = 0.77 \quad (\text{Ecuación 51})$$

$$Vu = 2.0 * Vam = 2.0 * 15.45 = 30.9 \text{ Ton} \quad (\text{Ecuación 52})$$

El cortante de análisis V_{am} es un valor tomado del software Sap2000 como se muestra en la figura 30. La línea morada representa el corte en el tramo de muro que se está analizando y el valor de la fuerza 1, será el valor del corte de análisis.

Figura 32. **Cortante de análisis del tramo de muro (dirección X, eje A)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

$$Vn \leq 1.6 * Acv * \sqrt{f'c} = 1.6 * 2450 * \sqrt{280} = 65.59 \text{ Ton} \quad (\text{Ecuación 54})$$

$$Vn = 46.23 \text{ Ton} \leq 65.59 \text{ Ton} \Rightarrow Ok \quad (\text{Ecuación 54})$$

$$\phi_v Vn = 0.77 * 46.23 = 35.59 \text{ Ton}$$

$$Vu = 30.9 \text{ Ton} \leq \phi_v Vn = 35.59 \text{ Ton} \Rightarrow Ok$$

Por lo anterior, el esfuerzo cortante último V_u en los muros, en dirección X eje A, es menor que el esfuerzo cortante nominal V_n , por tanto, cumple con lo estipulado en el código NSE 7.9 – 2018 (AGIES) sección 11.7.

4.8. Módulo de rompimiento del concreto (f_r)

Se presenta el resultado del módulo de rompimiento del concreto.

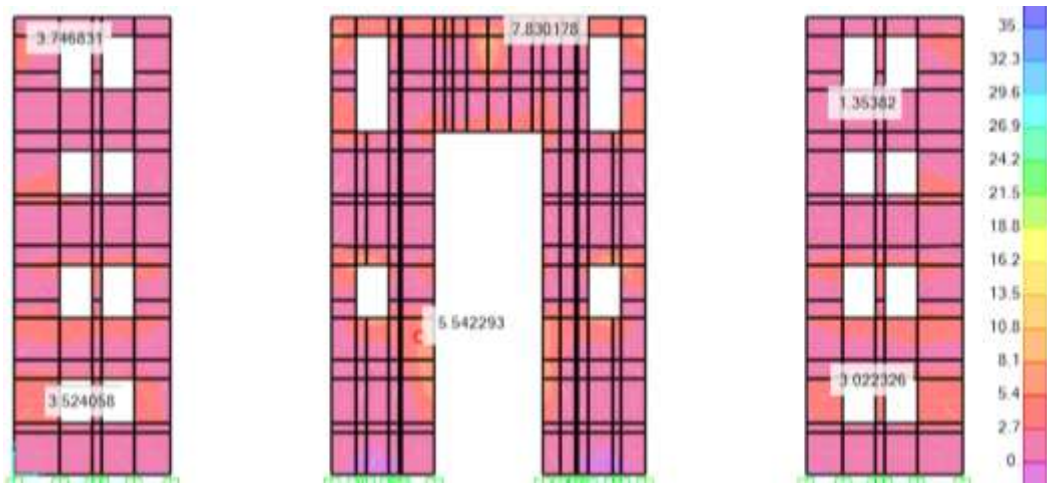
$$f_r = 8 * \sqrt{f'c} = 8 * \sqrt{280 \frac{kg}{cm^2}} = 35.495 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Ecuación 54})$$

En las siguientes imágenes se observará si las combinaciones de carga de trabajo están excediendo el módulo de rompimiento del concreto.

La figura 33, figura 34 y figura 35, muestra los esfuerzos que se generan en los muros por combinaciones de servicio, en la parte derecha de la imagen aparece una barra de colores que indica los valores correspondientes a los esfuerzos, que va desde el color MORADO que indica el menor esfuerzo por servicio que soportan los muros ($\sigma = 0 \text{ kg/cm}^2$), hasta el color AZUL que indica

el máximo esfuerzo que deberán resistir los muros por módulo de ruptura ($f_r = 35.495 \text{ kg / cm}^2$).

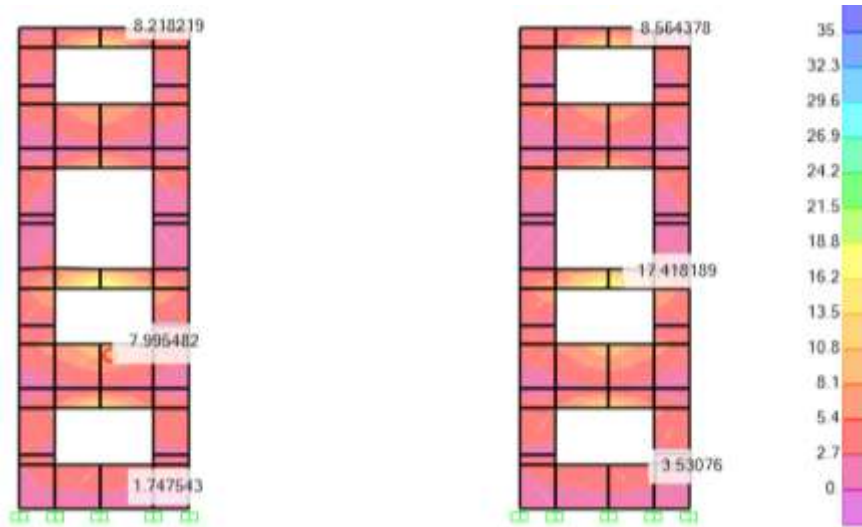
Figura 33. **Esfuerzos (kg/cm^2) por combinaciones de servicio en muros (dirección Y, eje 11)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Por lo anterior, en la figura 33 se observa que los esfuerzos por combinaciones de cargas de servicio en los muros, no están excediendo el módulo de ruptura $f_r = 35.495 \text{ kg / cm}^2$.

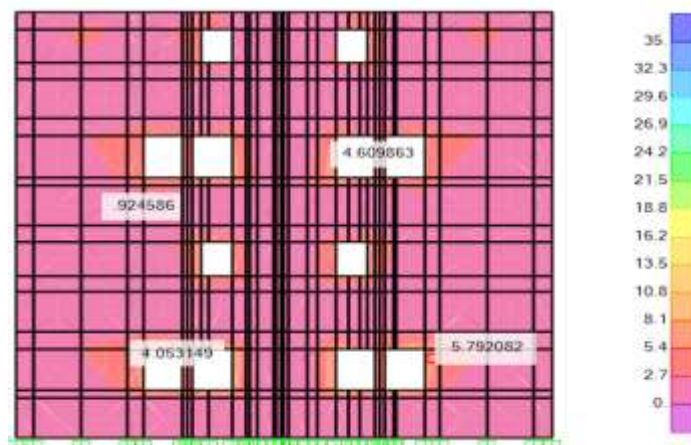
Figura 34. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección Y, eje 12)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Por lo anterior, en la figura 34 se observa que los esfuerzos por combinaciones de cargas de servicio en los muros, no están excediendo el módulo de ruptura $f_r = 35.495 \text{ kg / cm}^2$.

Figura 35. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección X, eje A)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Por lo anterior, en la figura 35 se observa que los esfuerzos por combinaciones de cargas de servicio en los muros, no están excediendo el módulo de ruptura $f_r = 35.495 \text{ kg / cm}^2$.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo al análisis realizado, las fisuras existentes en las paredes del edificio se consideran No Estructurales, ya que no son provocadas por las cargas de servicio, dado que los esfuerzos que actúan, no exceden el módulo de rompimiento del concreto y tampoco el máximo esfuerzo establecido en la norma de NSE 7.9 2018 (AGIES) sección 11.4.5. Las fisuras formadas en los extremos de los dinteles y sillares son producidas por la falta de juntas y por qué no se encuentran totalmente desacoplados de los muros.
2. Se identificó que la colocación de tuberías eléctricas e hidrosanitarias exceden el límite indicado por el código NSE 7.9 (AGIES) sección 22.2, equivalente a $1/7$ del espesor de pared, por tanto, es un factor que genera fisuras en las paredes (ver figura 16 y 17).
3. Los cambios de temperatura ambiente donde se ubica el edificio, afectan los muros de forma directa ya que provocan esfuerzos de tensión en una de las caras del muro y contracción en el otro, si bien no superan el módulo de ruptura del concreto, los muros externos del edificio se encuentran cerca del límite.
4. El ancho de fisuras de las paredes, se encuentran en los anchos razonables establecidos en la Tabla I de este trabajo, para condiciones de aire húmedo y seco. Se establece un nivel de severidad bajo, ya que las fisuras son finas, longitudinales y no se encuentran interconectadas, tampoco existe rotura del material a lo largo de la fisura.

5. El nivel de severidad, establece que no afectara la resistencia sísmica del edificio, sin embargo, pueden ser susceptibles al ingreso de humedad y corroer el acero de refuerzo. Los muros que no presentan fisuras, solo se revisaron por ductilidad y por combinaciones de servicio, verificando que cumplieran satisfactoriamente.

RECOMENDACIONES

1. Se deben considerar las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias para que no excedan el 1/7 del que indica la norma NSE 7.9 – 2018 (AGIES).
2. Para edificaciones de este tipo, se deben desacoplar los dinteles y sillares, lo cual consiste en la instalación de juntas en los extremos con un ancho mínimo 1 centímetro en ambas caras del muro y rellenarlos con un sellador elastomérico.
3. Para la reparación de los muros por fisuras existentes, dado que no son estructurales, se recomienda ampliar la fisura a un mínimo de 1.5 mm de ancho y una profundidad de 3 mm, luego limpiar la superficie y retirar los residuos de concreto, utilizar un imprimante en los labios de la fisura ampliada, luego aplicar un soporte para sello de juntas, y luego aplicar el sellante. Después esperar un aproximado de 24 a 48 horas para que el material haya sellado correctamente la fisura y por último proceder a aplicar el acabado y pintura final.
4. Aunque las fisuras habían sido reparadas sin realizar un estudio previo, se considera adecuado el tratamiento que se ha realizado, tal como se indica en el acápite anterior.
5. Esta investigación no tomo en cuenta la profundidad de la fisura para su análisis, dado que ya se encontraban en su mayoría reparadas, por lo que se recomienda a futuras investigaciones que profundicen este tipo

de estructuras que se tome en cuenta la medición de la profundidad de la fisura si existiera el caso.

REFERENCIAS

1. Ayala Barrantes, P., Carrión Rojas, G., y Fernández Aguilar, D. (2012). *Muros de Ductilidad Limitada*. Lima, Perú : Colegio de Ingenieros.
2. Crespo, A. (1987). F. *Introducción a la Construcción*. La Habana: Pueblo y Educación.
3. Crespo, A. (1987). F. *Introducción a la Construcción*. La Habana: Pueblo y Educación.
4. Ing. Manuel Jiménez. (2020). *DISEÑO ESTRUCTURAL DE FACHADAS DE MAMPOSTERÍA*. Guatemala.
5. NRMCA. (2018). CIP 4 - Agrietamiento de las Superficies del Concreto. *National Ready Mixed Concrete Association, 2*.
6. NSE-2. (2018). *DEMANDAS ESTRUCTURALES Y CONDICIONES DE SITIO. GUATEMALA, AGIES*.
7. NSE-2. (2018). *DEMANDAS ESTRUCTURALES Y CONDICIONES DE SITIO. GUATEMALA, AGIES*.
8. NSE-2, AGIES . (2018). *DEMANDAS ESTRUCTURALES Y CONDICIONES DE SITIO. GUATEMALA, AGIES*.

9. NSE-7.9, AGIES . (2018). *NSE-7.9 Edificaciones de Concreto Reforzado con Muros de Ductilidad Baja*. Guatemala: AGIES.
10. NSE-7.9, AGIES. (1 de Marzo de 2015). *Guia 7.9-1 Paredes de Baja Ductilidad con Concreto con Refuerzo, utilizadas como Elementos Principales de Soporte*. Guatemala, Guatemala, Guatemala: AGIES 2015.
12. NSE-7.9, AGIES. (2018). *NSE-7.9 Edificaciones de Concreto Reforzado con Muros de Ductilidad Baja*. Guatemala: AGIES.
13. OSORIO, J. D. (2011). *¿QUÉ HACER CUANDO SE PRESENTA FISURAS EN EL CONCRETO?* ARGOS 360, 2.

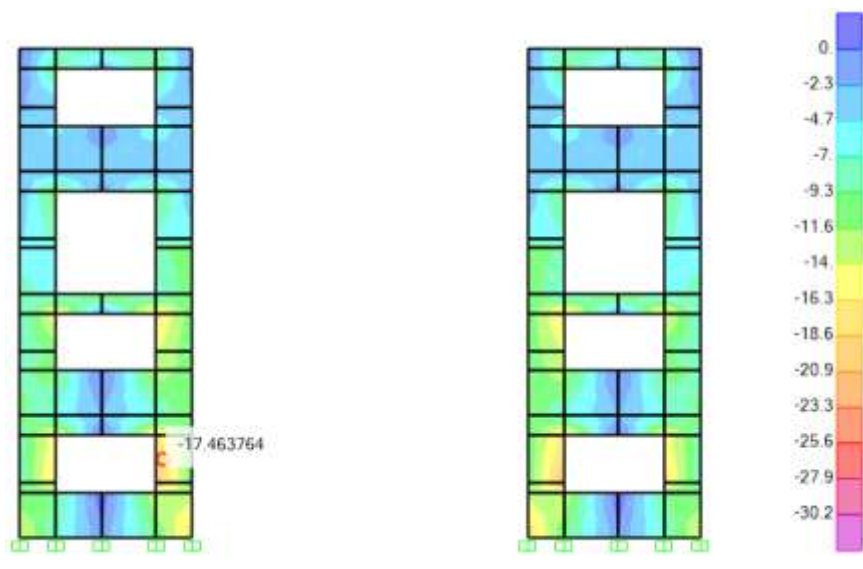
APENDICES

Esfuerzos por carga gravitacional en los muros del edificio.

En las siguientes muestran de forma gráfica, los esfuerzos resultantes por cargas gravitacionales en los muros del edificio.

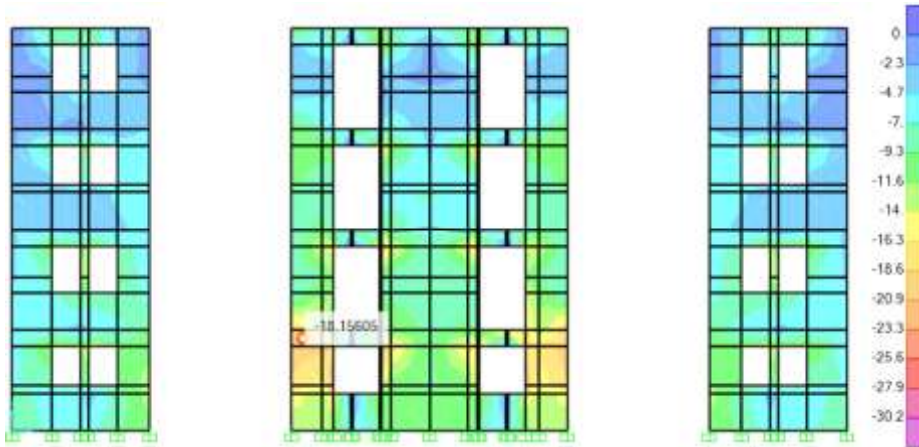
En la parte derecha de la imagen aparece una barra de colores que indica los valores correspondientes a los esfuerzos, que va desde el color AZUL que indica el menor esfuerzo gravitacional que soportan los muros ($\sigma = 0 \text{ kg / cm}^2$), hasta el color MORADO que indica el máximo esfuerzo que deberán resistir los muros ($\sigma_{\text{max}} = -30.24 \text{ kg / cm}^2$).

Apéndice 1. Esfuerzos (kg/cm^2) por carga gravitacional en muros (dirección Y, eje 1)



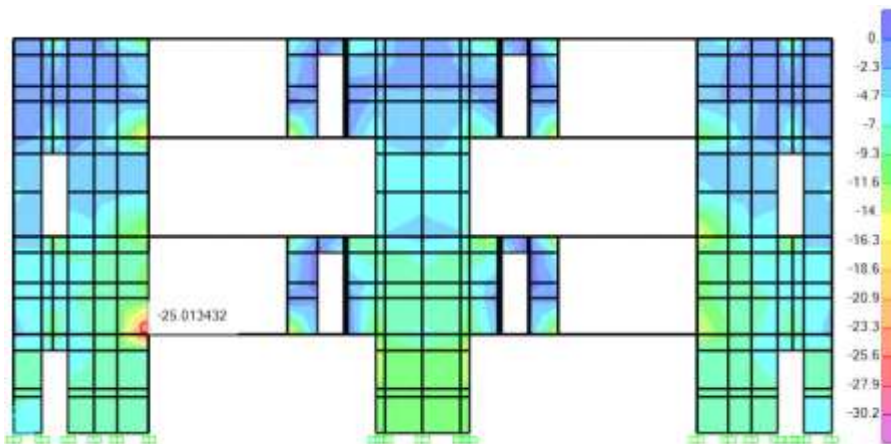
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 2. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección Y, eje 2)**



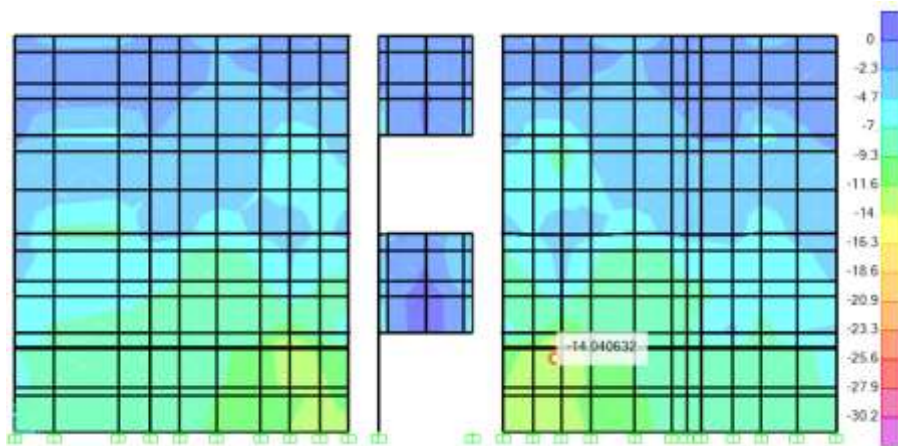
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 3. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección Y, eje 4)**



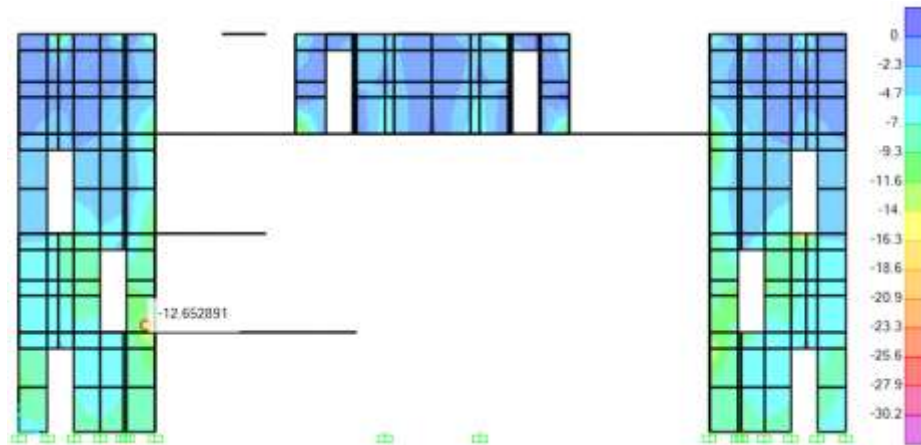
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 4. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección Y, eje 7)**



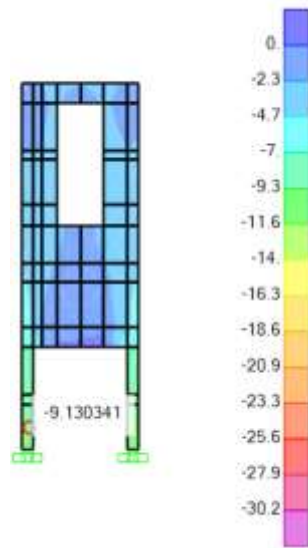
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 5. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección Y, eje 9)**



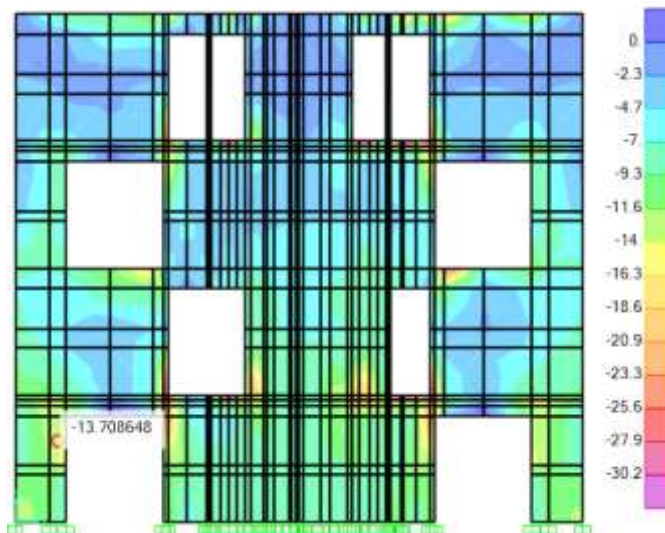
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 6. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección Y, eje 13)**



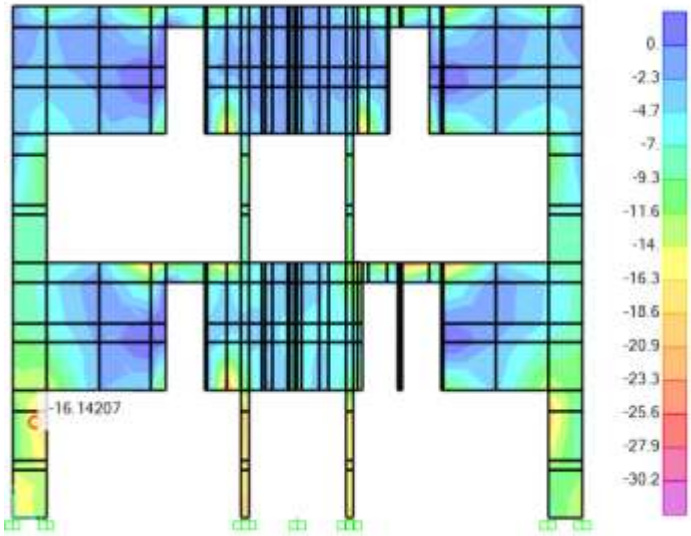
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 7. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección X, eje B)**



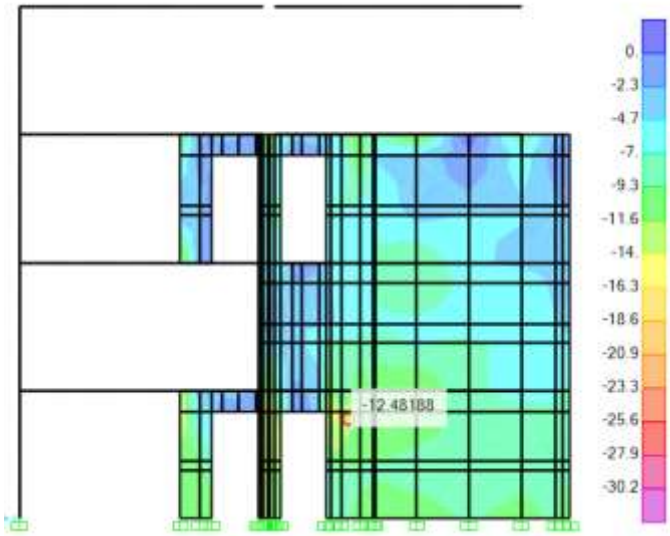
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 8. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección X, eje C)**



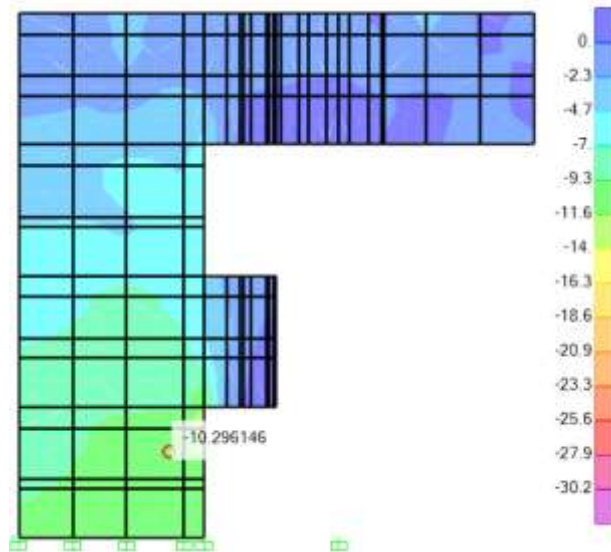
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 9. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección X, eje D)**



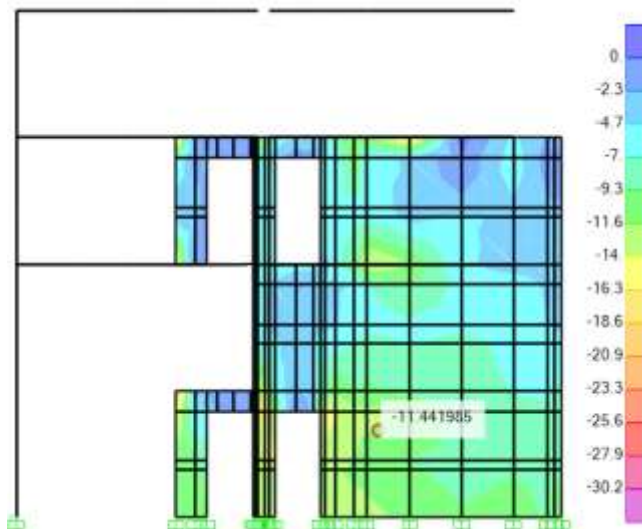
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 10. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección X, eje E)**



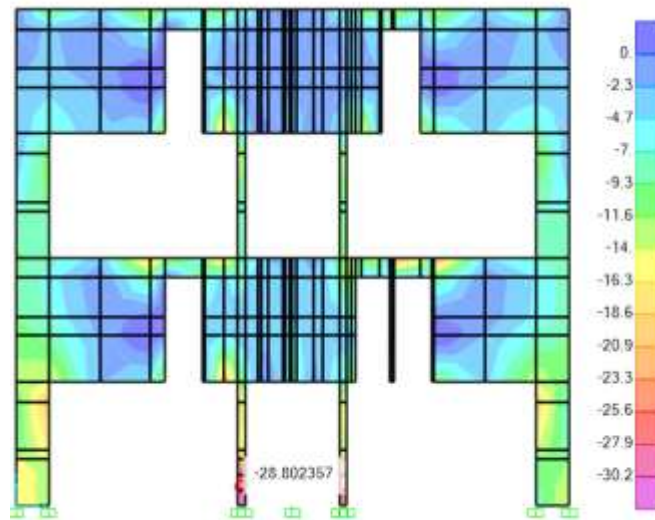
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 11. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección X, eje F)**



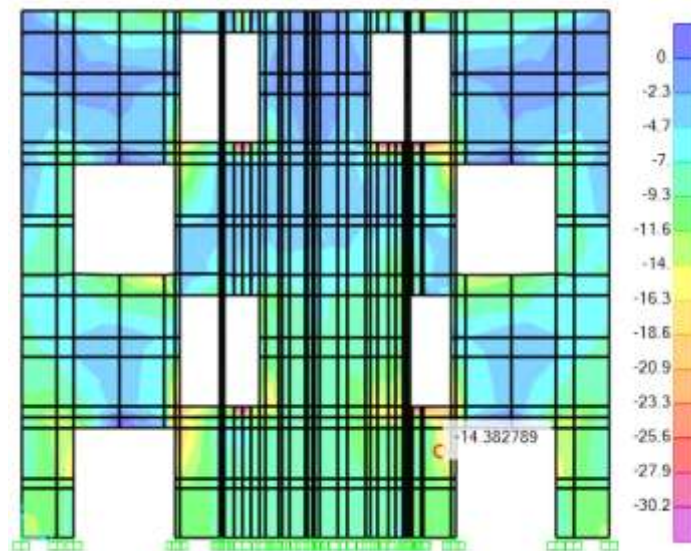
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 12. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección X, eje G)**



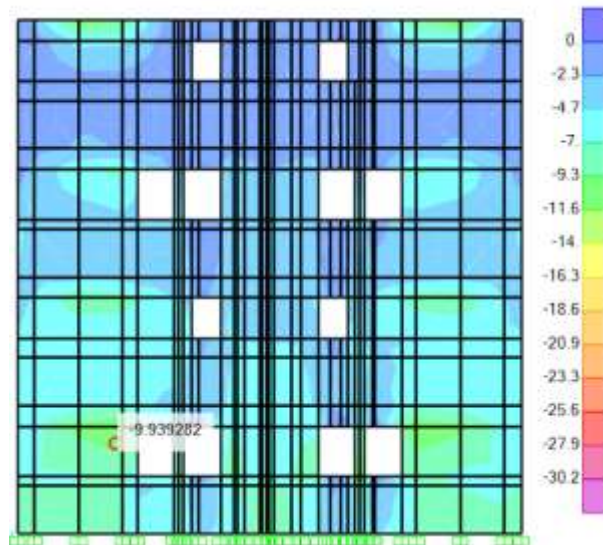
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 13. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección X, eje H)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 14. **Esfuerzos (kg/cm²) por carga gravitacional en muros (dirección X, eje I)**



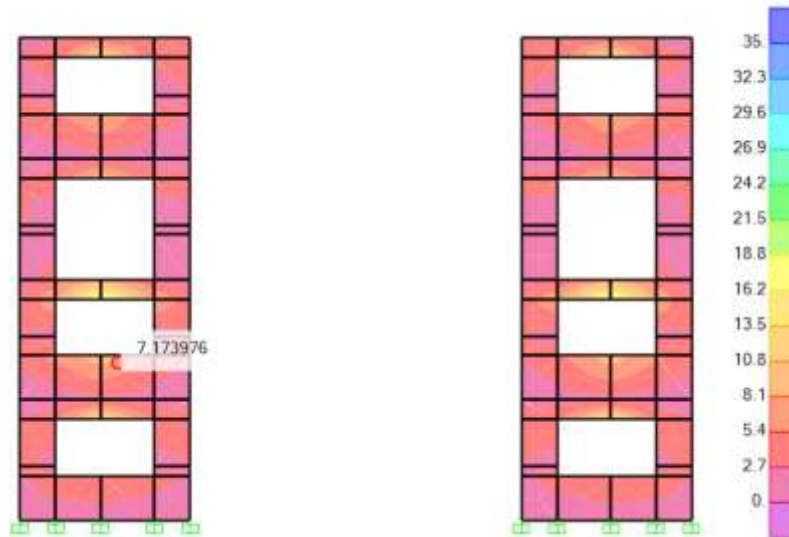
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

- Esfuerzos por combinaciones de servicio en muros.

Las siguientes imágenes muestran de forma gráfica, los esfuerzos por combinaciones de servicio en los muros del edificio.

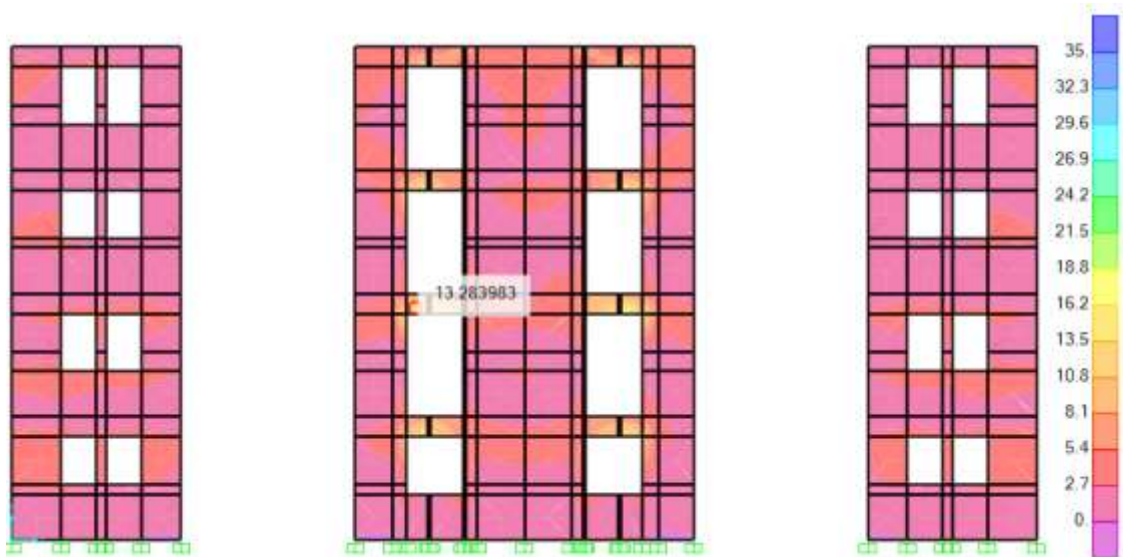
El color MORADO que indica el menor esfuerzo por servicio que soportan los muros ($\sigma = 0 \text{ kg / cm}^2$), hasta el color AZUL que indica el máximo esfuerzo que deberán resistir los muros por módulo de ruptura ($f_r = 35.495 \text{ kg / cm}^2$).

Apéndice 15. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección Y, eje 1)**



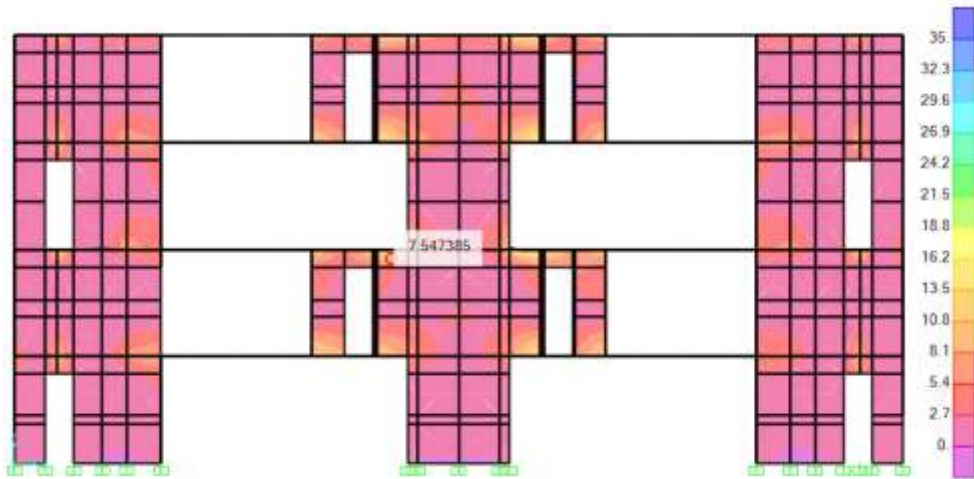
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 16. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección Y, eje 2)**



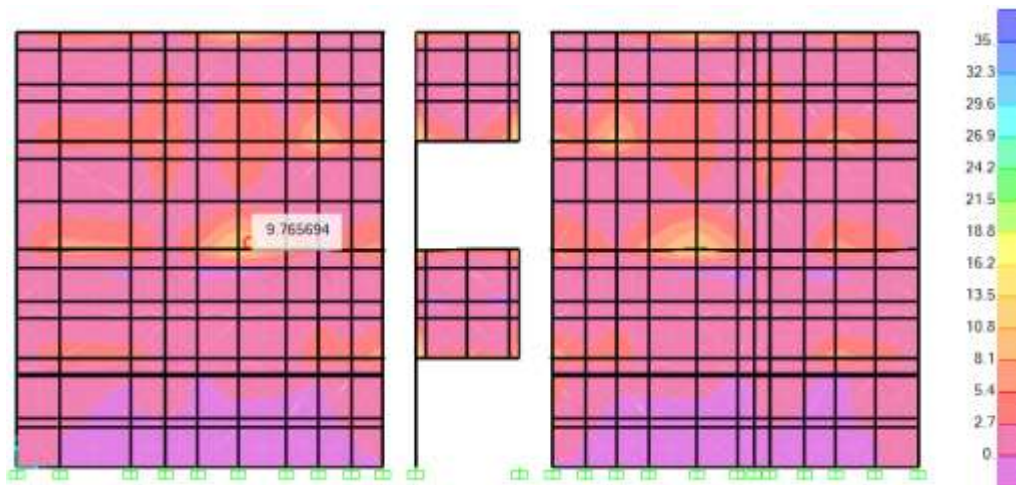
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 17. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección Y, eje 4)**



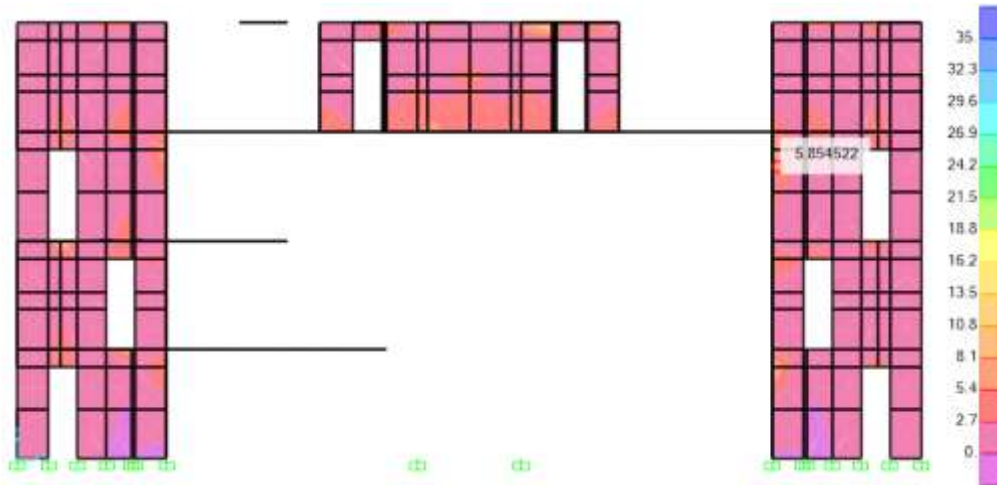
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 18. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección Y, eje 7)**



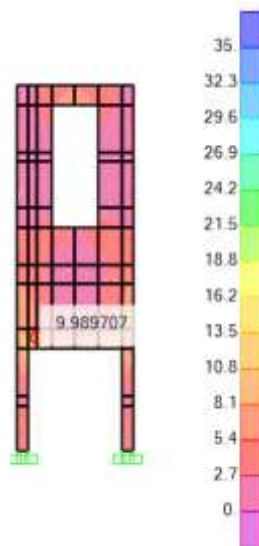
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 19. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección Y, eje 9)**



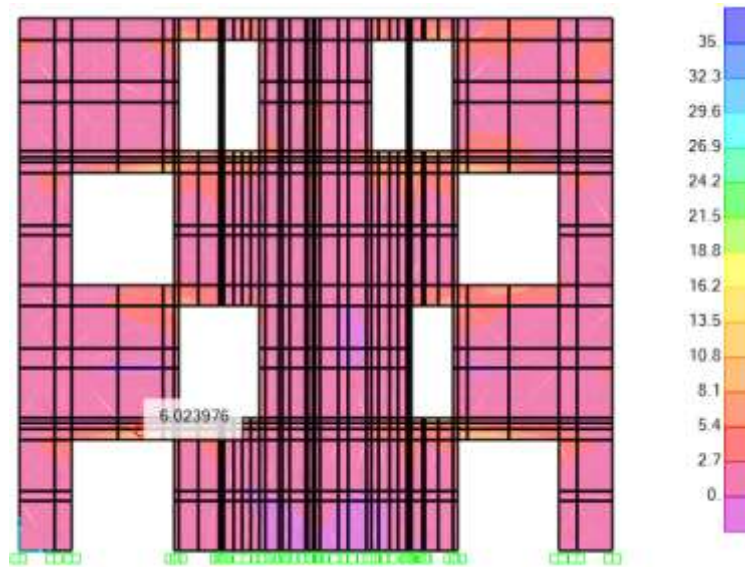
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 20. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección Y, eje 13)**



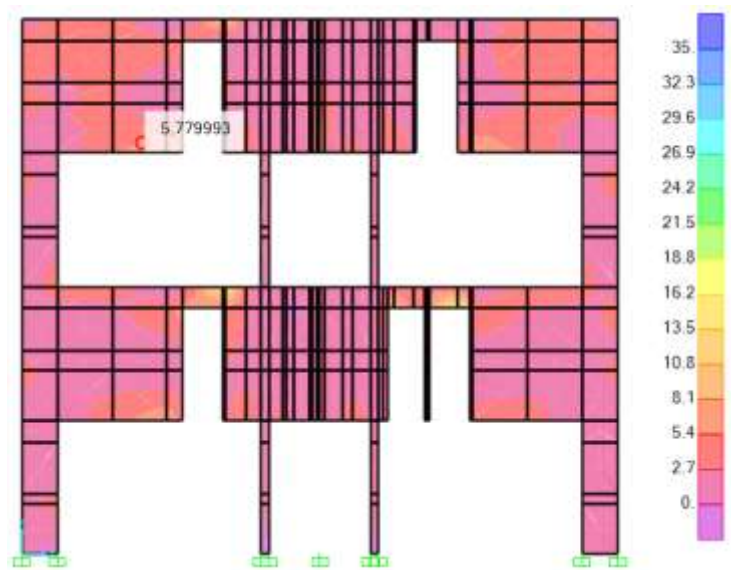
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 21. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección X, eje B)**



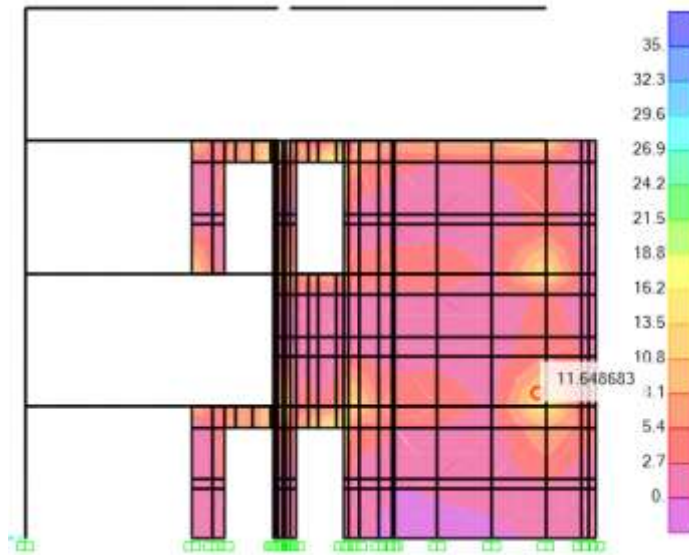
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 22. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección X, eje C)**



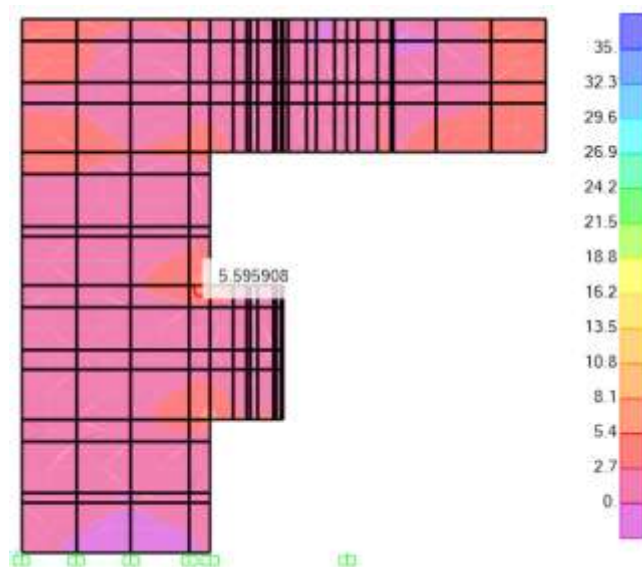
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 23. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección X, eje D)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 24. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección X, eje E)**



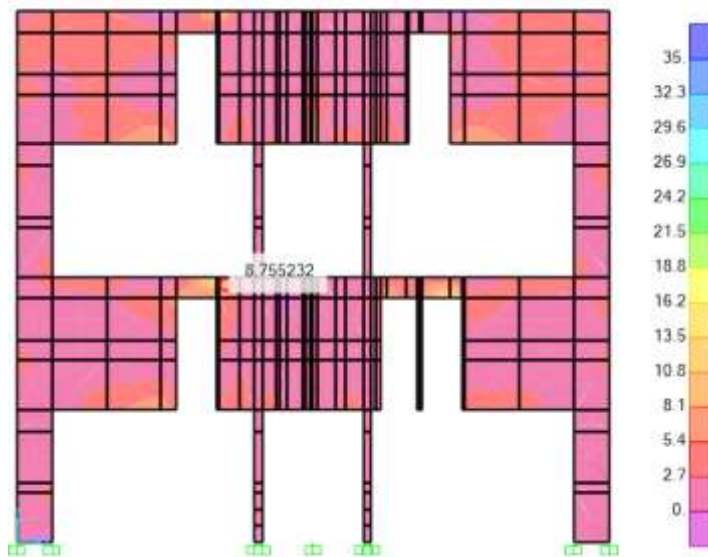
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 25. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección X, eje F)**



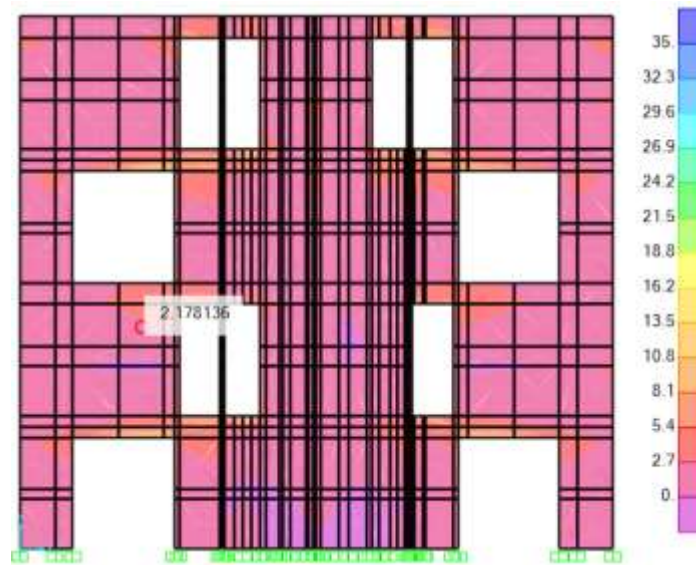
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 26. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección X, eje G)**



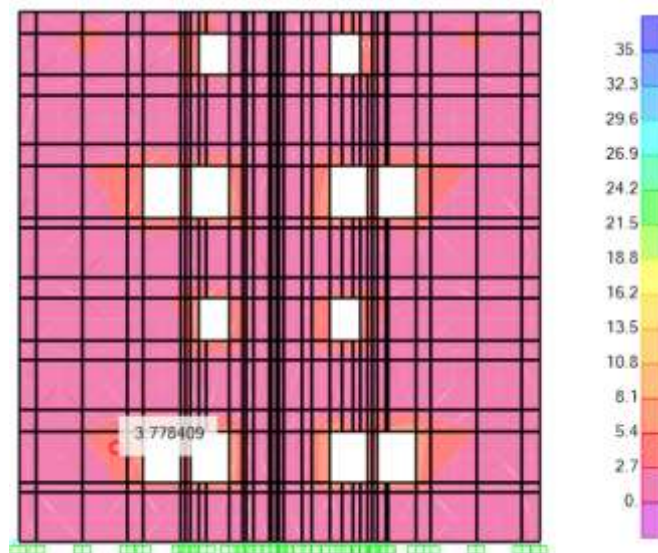
Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 27. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección X, eje H)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.

Apéndice 28. **Esfuerzos (kg/cm²) por combinaciones de servicio en muros (dirección X, eje I)**



Fuente: elaboración propia, utilizando software Sap2000.