



FACULTAD DE POSTGRADO

TESIS DE POSTGRADO

**COMPORTAMIENTO DE ENTREPISOS CONFORMADOS DE
CONCRETO Y ELEMENTOS METÁLICOS LAMINADOS EN
FRÍO ANTE CARGAS SÍSMICAS**

SUSTENTADO POR:

JOSÉ MANUEL DUARTE MEJÍA

JULIO CÉSAR LÓPEZ ZERÓN

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE
MÁSTER EN INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS**

TEGUCIGALPA, F. M., HONDURAS, C.A.

JULIO, 2017

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA
UNITEC
FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

MARLON ANTONIO BREVÉ REYES

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO

JOSÉ ARNOLDO SERMEÑO LIMA

**COMPORTAMIENTO DE ENTREPISOS CONFORMADOS DE
CONCRETO Y ELEMENTOS METÁLICOS LAMINADOS EN
FRIO ANTE CARGAS SÍSMICAS**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MÁSTER EN INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS**

**ASESOR METODOLÓGICO
CARLOS A. ZELAYA OVIEDO**

**ASESOR TEMÁTICO
ÓSCAR RENIERY SÁNCHEZ**

**MIEMBROS DE LA TERNA:
JORGE CENTENO SARMIENTO
DORIAN ESPINOZA
MINA CECILIA GARCÍA**



unitec[®]
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES[®]

FACULTAD DE POSTGRADO

**COMPORTAMIENTO DE ENTREPISOS CONFORMADOS DE CONCRETO Y ELEMENTOS
METÁLICAS LAMINADAS EN FRÍO COMBINACIONES CARGAS SÍSMICA**

AUTORES:

José Manuel Duarte Mejía

Julio César López Zerón

RESUMEN

El presente documento está relacionado con un estudio condensado, el cual pertenece a un análisis del comportamiento de losas de entrepiso conformadas por lámina metálica tipo “deck”, perfil rolado en frío tipo canal (mejor conocido como canaleta), y concreto estructural de media-alta resistencia a la compresión, esto bajo condiciones de carga sísmica, dado que típicamente dicho sistema ha funcionado en forma adecuada para necesidades primarias de condiciones en servicio para cargas gravitacionales (muerta y viva), pero no se ha encontrado evidencia científica sobre su desempeño ante cargas laterales, específicamente sismo, porque las especificaciones geométrico–mecánicas y configuraciones estructurales utilizadas a través del tiempo, han sido recopiladas por causa de las múltiples experiencias generadas en el medio, esto producto de la implementación de dicha solución como alternativa para entrepisos; porque la normativa de diseño está orientada a elementos metálicos fabricados en caliente, ya que ese proceso genera piezas destinadas netamente a usos estructurales, y las canaletas conformadas en frío, no han sido creadas para tal propósito, sino que para uso de soportes secundarios y/o elementos rigidizantes.

Palabras claves: canaleta, sismo, entrepiso, diseño, configuración estructural.



unitec[®]
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES[®]

GRADUATE SCHOOL

**BEHAVIOR BEFORE SEISMIC LOAD OF CONFORMED CONCRETE INTERIORS
AND COLD LAMINATED METAL PARTS CHANNEL TYPE**

By:

José Manuel Duarte Mejía

Julio César López Zerón

ABSTRACT

The present document is related to a condensed study, which belongs to an analysis of the behavior of the mezzanine spaces formed by the "deck" metal sheet, channel type cold rolled profile (better known as a channel), and structural concrete of Medium - High compressive strength, is under seismic loading conditions, since this system has typically operated in a suitable way for primary requirements of conditions in service for gravitational loads (dead and alive) Side loads, specifically earthquake, because the specifications Geometric-mechanical and structural configurations are used over time, have been compiled because of the multiple experiences generated in the medium, this product of implementing such a solution as an alternative to mezzanines; Because the design regulations are oriented to the hot metal elements, since the process generates the elements clearly to structural uses, and the channels formed in cold, have not been created for that purpose, but for the use of secondary supports And / or stiffening elements.

Keywords: Channel, earthquake, deck, design, structural configuration.

DEDICATORIA

A mis padres, por estar conmigo, por enseñarme a crecer, por apoyarme y guiarme, por ser las bases que me ayudaron a llegar hasta aquí.

A mi madre Francis que se encuentra en el cielo, y que gracias a Dios tuve la oportunidad de compartir con ella muchas alegrías y tristezas, cuyo resultado fue la construcción del camino que me ha permitido cumplir determinada parte de los objetivos que hace mucho tiempo fueron planteados; a mi padre Julio César que aún tengo la dicha de tener con vida y que ha sido uno de los pilares fundamentales de mi educación, y a mis hermanos médicos Marco y Miguel que representan un digno ejemplo en cuanto a la perseverancia, dedicación, y compromiso por los estudios; y a mi novia Yosselyn que también pertenece a ésta carrera de Ingeniería Civil, y por lo tanto me ha brindado su apoyo y comprensión en esta aventura académica, debido al sacrificio de tiempo que se requiere en el cumplimiento de este objetivo de crecimiento integral.

AGRADECIMIENTO

A Jehová Dios por darnos la fuerza, sabiduría, entendimiento y discernimiento, para podernos orientar en momentos difíciles y proporcionarnos la fortaleza necesaria para alcanzar la culminación de nuestros estudios.

A todos nuestros familiares y amistades, por el apoyo incondicional brindado, por la comprensión para permitirnos lograr nuestras metas profesionales y personales, sacrificando tiempo valioso, por lo cual esta bendición académica también les pertenece a ellos.

A nuestros familiares y amistades que por causas de la naturaleza humana no están con nosotros, pero que siempre los llevamos presentes en nuestras mentes y corazones, en nuestro vivir diario ya que forman parte de los cimientos que construyeron los caminos de excelencia que debemos recorrer bajo cualquier circunstancia.

El presente trabajo fue realizado gracias a la colaboración de todas las personas que fueron parte de este proceso educativo, a nuestros maestros por habernos transmitido los conocimientos básicos para crecer como profesional, a nuestros compañeros de clase por haber sido de apoyo incondicional en los momentos difíciles durante este largo proceso, y nuevamente, en especial a nuestras familias por todo su apoyo y esfuerzo para ayudarnos a cumplir esta meta.

Finalmente, a todas aquellas personas que nos brindaron su ayuda y apoyo a lo largo de la elaboración de nuestro proyecto de Tesis, que nos brindaron su valioso tiempo y contribuciones llenas de sabiduría, tanto en el aspecto profesional como personal.

CONTENIDO

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Definición del problema	3
1.4 Objetivos del proyecto	4
1.5 Justificación.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Análisis de situación actual	7
2.2 Teorías.....	13
2.3 Metodologías Utilizadas	37
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	54
3.1 Congruencia Metodológica	54
3.2 Enfoque y Métodos	57
3.3 Diseño de la Investigación	60
3.4 Instrumentos, Técnicas y Procedimientos Aplicados	62
3.5 Fuentes de Información	63
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS	64
4.1 Resultados y Análisis de la Encuesta	64
4.2 Diagrama de Ishikawa	75
4.3 Propuesta	79
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	94

5.1 Conclusiones	94
5.2 Recomendaciones	95
GLOSARIO	96
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS	101
Anexo 1. Instrumento de Investigación: Cuestionario a través de la Técnica de Encuesta	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factor de zona sísmica Z	44
Tabla 2. Coeficiente del suelo S^a y parámetros para curvas de espectro ^b	45
Tabla 3. Categoría de ocupación y factores de importancia	46
Tabla 4. Coeficiente R_w para sistemas estructurales	47
Tabla 5. Matriz metodológica	54
Tabla 6. Comparación entre de influencia columnas y mampostería para carga axial.	85
Tabla 7. Comparación entre de influencia columnas y mampostería para cortante.	86
Tabla 8. Comparación entre de influencia columnas y mampostería para cortante.	87
Tabla 9 Comparación entre de influencia columnas y mampostería para momento.	89
Tabla 10. Comparación entre de influencia columnas y mampostería para momento.	90
Tabla 11. Presupuesto.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de esfuerzo deformación	15
Figura 2. Curvas esfuerzo-deformación, a) Fluencia brusca b) Fluencia gradual	20
Figura 3. Estructura de entrepiso compuesta	27
Figura 4. Tipos de Conectores	28
Figura 5. Analogía del funcionamiento de diafragma	31
Figura 6. Terminología del diseño del diafragma: (a) plano, (b) diagrama de la fuerza de corte, y (c) diagrama del momento de flexión	31
Figura 7. Clasificaciones del diafragma SDI.	36
Figura 8. (a) Modelo de parrilla, (b) cruce con continuidad traslacional, (c) cruce con traslación y continuidad rotacional, y (d) grados de libertad en el modelado en parrilla (rejilla plana).	41
Figura 9. Mapa de Zonas Sísmicas.....	44
Figura 10. Definición de las variables	56
Figura 11. Diagrama de variables y dimensiones.....	57
Figura 12. Diseño de la Investigación	60
Figura 13. Procedimientos Aplicados en la Investigación	62
Figura 14. Conocimiento de Normativa sobre Diseño Estructural en Metal	64
Figura 15. Grado de Seguridad de la Losa de Entrepiso ante Carga Sísmica	65
Figura 16. Conocimiento sobre la Fabricación de Acero en Caliente y en Frío.....	66
Figura 17. Razones para Utilizar/Recomendar Losas de Entrepiso con Canaleta	67
Figura 18. Tipo de Lámina utilizada en el Sistema de Entrepiso con Canaleta	68

Figura 19. Tipo de Calibre en Lámina de la Losa de Entrepiso con Canaleta	69
Figura 20. Espesor Utilizado/Recomendado de Concreto en la Losa de Entrepiso	69
Figura 21. Separación/Espaciamiento Transversal entre Canaletas Sencillas	70
Figura 22. Separación/Espaciamiento Transversal entre Canaletas Dobles	71
Figura 23. Longitud/Claro Máximo Utilizado/Recomendado para Canaleta Sencilla	72
Figura 24. Longitud/Claro Máximo Utilizado/Recomendado para Canaleta Doble	73
Figura 25. Criterio Técnico sobre Consideración de los Apoyos de la Canaleta	73
Figura 26. Conocimiento sobre Conectores de Cortante en Losas de Entrepiso	74
Figura 27. Diagrama de Ishikawa	75
Figura 28. Relación Geometría–Carga Axial para el Eje X & Y (piso 1 y piso 2)	83
Figura 29. Relación Geometría–Fuerza Cortante para el Eje X & Y (piso 1 y piso 2)	85
Figura 30. Relación Geometría–Momento Torsor para el Eje X & Y (piso 1 y piso 2) ...	87
Figura 31. Relación Geometría–Momento Flector para el Eje X & Y (piso 1 y piso 2) ..	88
Figura 32. Relación Apoyo Articulado–Apoyo de Fricción para el Eje X & Y	90
Figura 33. Relación Apoyo Articulado–Apoyo de Fricción para el Eje X & Y	91
Figura 34. Relación Apoyo Articulado–Apoyo de Fricción para el Eje X & Y	91
Figura 35. Relación Apoyo Articulado–Apoyo de Fricción para el Eje X & Y	92

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación Biarmónica de Modelo de Placas Delgadas	40
Ecuación 2. Fuerza Cortante en la Base	49
Ecuación 3. Coeficiente C para Cálculo de Cortante	49

Ecuación 4. Periodo Fundamental de la Estructura	50
Ecuación 5. Coeficiente para Cálculo de Periodo	50
Ecuación 6. Relación Ponderada del Área Resistente	50
Ecuación 7. Cálculo del Periodo Fundamental Utilizando el Método B	51
Ecuación 8. Distribución Vertical de la Fuerza Cortante	51
Ecuación 9. Fuerza Concentrada en la Parte Superior de la Estructura	51
Ecuación 10. Distribución de la Fuerza Cortante Horizontal en la Estructura	52
Ecuación 11. Cálculo para el Tamaño de la Muestra	61

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En este presente capítulo describimos la realidad problemática que estudiamos, planteamos la dirección de la investigación y definimos objetivos específicos en los cuales nos enfocamos.

1.1 Introducción

El presente documento tiene por objetivo tratar un tema importante para el rubro de la construcción de obras de importancia significativa como ser residencias de habitación, esto a través de la conformación de sistemas de entrepiso a base de elementos metálicos conformados o rolados en frío, dado que el mismo está relacionado con el estudio del comportamiento o respuesta de dicho sistema ante cargas laterales, específicamente sismos. Desde el estudio en pregrado de la carrera de Ingeniería Civil, se puede apreciar que, en las clases destinadas a la rama de estructuras, no está presente una orientación de trabajo dirigida al desarrollo de diseños de obras configuradas con elementos metálicos conformados en frío, dado que los temarios académicos están inclinados al desarrollo de diseños en elementos rolados en caliente, por ejemplo, los clásicos perfiles con sección transversal en forma de I (designación W).

Por lo anterior, se podría considerar necesario conformar un estudio o recopilación de hallazgos fundamentales, que permitan generar una concepción aceptable sobre la descripción del comportamiento de un sistema de entrepiso, esto bajo condiciones de servicio y ante cargas laterales, dado que la respuesta de una estructura está condicionada en una de sus variables, por el desempeño de su diafragma (entrepiso).

Uno de los aspectos torales de este estudio radica en la investigación de las variables relacionadas principalmente con las propiedades mecánicas de los elementos metálicos rolados en frío, tales como ser, pero no limitados a los módulos de rigidez, elasticidad, tenacidad, entre otros, todas ellas extraídas de múltiples estudios de laboratorio y procesos de fabricación debidamente estandarizados, buscando la misión de poder modelar estructuralmente determinada obra bajo distintos escenarios o configuraciones estructurales y analizar los efectos o comportamiento de dicha propuesta de solución ante ciertos fenómenos, tal como ser un sismo, tomando en consideración el desarrollo de conclusiones a través de un análisis espectral y conformación de los modos de vibración que sean requeridos para generar datos fidedignos sobre las configuraciones estructurales adecuadas para éste tipo de sistemas.

1.2 Antecedentes

De acuerdo con el aumento poblacional y a los cambios surgidos en las diferentes formaciones económicas y sociales, es de conocimiento general que el desarrollo de las naciones es medida en gran parte por sus infraestructuras, generalmente las condiciones habitacionales determinan en gran parte el nivel de calidad de vida de la población. De esta premisa nace la inquietud de buscar formas constructivas que sean de factible aplicación para dicha necesidad.

En la construcción, se ha tratado de optimizar en cuestiones de tiempo y economía, motivo por el cual no es extraño que la industria de los elementos prefabricados o sistemas aligerados (como ser el caso de losas a base de lámina y viga metálicas de perfiles predeterminados o armadas) se hayan convertido en una opción muy atractiva en la actualidad, en vista de lo cual, surge la necesidad de proporcionar una orientación técnica y/o estructural.

1.3 Definición del problema

1.3.1 Enunciado del problema

Según Alcaldía Municipal del Distrito Central, (2010) en Tegucigalpa el 26% de las edificaciones utilizan estructura metálica, el 66% de la edificación utilizan sistemas estructurales de mampostería confinada. La mayoría de estas tipologías estructurales, en caso de ser de dos niveles o más, utilizan sistemas de entrepiso compuesto por concreto y elementos metálicos roladas en frío y concreto reforzado, esto hace que sea de vital importancia el conocimiento del comportamiento de estos tipos de entrepiso ante cargas sísmicas. El limitado conocimiento del comportamiento de esta tipología de entrepisos puede llevar a reducir la seguridad de las estructuras ante eventos extremos de sismo.

1.3.2 Formulación del problema

Limitado conocimiento del comportamiento de losas compuestas por concreto y elementos metálicos laminadas en frío ante combinaciones de servicio de sismo.

¿Cuál es la alternativa más adecuada para estudiar el comportamiento de losas compuestas por concreto y elementos metálicos laminados en frío ante combinaciones de servicio de sismo?

1.3.3 Preguntas de investigación

¿Cuál es el efecto de la variación geométrica en el comportamiento del entrepiso?

¿Cómo afecta la utilización de los diferentes sistemas estructurales en el comportamiento del entrepiso?

¿Qué tipo de comportamiento diafragmático tiene el entrepiso ante una combinación sísmica de servicio?

¿Cuál es el efecto de los diferentes tipos de conexión en el comportamiento del entrepiso?

¿Qué configuración estructural tiene un adecuado comportamiento?

1.4 Objetivos del proyecto

1.4.1 Objetivo general

Estudiar el comportamiento de losas compuestas por concreto y elementos metálicos tipo canal conformados en frío, ante combinaciones de cargas sísmicas; a través de una simulación por computadora aplicando el método de elementos finitos, para la evaluación y descripción de una configuración con un comportamiento estructural óptimo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Conocer el efecto de las variaciones geométricas en el comportamiento del entrepiso.
- Determinar la influencia de los sistemas estructurales en el comportamiento del entrepiso.
- Evaluar el comportamiento diafragmático del entrepiso sometido a combinaciones de carga sísmica.
- Evaluar el efecto del tipo de conexión en el comportamiento del entrepiso.
- Proponer una simulación para estudiar el comportamiento de losas compuestas de elementos metálicos rolados en frío ante carga sísmica.

1.5 Justificación

La misión del proyectista estructural es obtener una estructura económica, segura y factible, que cumpla con los requisitos funcionales y estéticos fijados en el programa del proyecto, por ello es de vital importancia comprender el comportamiento de la estructura para establecer los procesos de estructuración y diseño óptimos que certifiquen la seguridad de las edificaciones.

En función de lo anterior, se vuelve necesario conocer los parámetros fundamentales de comportamiento que rigen un sistema de entrepiso construido a base de concreto y elementos metálicos rolados en frío, tal como ser la canaleta, donde cabe mencionar que dicho material es altamente utilizado y reconocido como solución básica para construir un sistema de entrepiso, típicamente de una vivienda, y generalmente dicho sistema se construye bajo un procedimiento empírico estándar reconocido como “buena práctica”, porque de esa forma ha sido utilizado a través del tiempo, pero se desconoce su respuesta o comportamiento real ante cargas laterales.

Según Shlomo Angel (2002), “aproximadamente, 65-75% de la producción de vivienda anual ocurre actualmente fuera del sector formal, un porcentaje relativamente alto en términos comparativos” (p.34).

El empirismo característico y funcional que ha sido utilizado en la conformación de sistemas de entrepiso aligerados a base de concreto y perfiles metálicos rolados en frío, no ha potenciado la necesidad de desarrollar estudios o análisis en condiciones de servicio, ya sea para consolidar las especificaciones constructivas ampliamente utilizadas, o detectar hallazgos que

permitan reformular el uso de estas tipologías para sistemas de entrepiso, en los cuales, es imperativo mencionar que su proceso de diseño no puede ser copiado de los procedimientos creados para el diseño de sistemas con elementos rolados en caliente, dado que desde el proceso de fabricación, ambos conjuntos de materiales poseen propiedades mecánicas diferentes, lo cual, naturalmente influye significativamente en el comportamiento y por consecuencia en el uso final para el cual serán destinados éstos materiales metálicos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo, se muestra en primera instancia, un resumen condensado de la situación a nivel general, esto en función de los avances que se han desarrollado en estructuras sísmo resistentes, y posteriormente, se brinda un panorama teórico sobre los diferentes fundamentos técnicos que detallan las especificaciones de los materiales y elementos estructurales que forman parte de un sistema de entrepiso de concreto y soporte de acero, para luego finalizar con un resumen condensado sobre las teorías o postulados previamente definidos para explicar el comportamiento de losas ante cargas sísmicas, concepto y clasificación de diafragmas estructurales y método de elementos finitos para cálculos de propiedades mecánicas de estructuras, esto como soporte del procedimiento matemático que utilizan los diferentes programas computacionales relacionados a la asistencia de modelado estructural.

2.1 Análisis de situación actual

Según Wei-Wen & LaBoube (2010) “la construcción de concreto-acero compuesto inicio cerca de 1926. Durante años recientes, el diseño compuesto ha sido ampliamente aplicado...” (p. 349).

2.1.1. Análisis del Macro Entorno

Chile es el país más sísmico del planeta. Solo en los últimos 5 años ha registrado tres terremotos de magnitud superior a 8, pero es también uno de los más resistentes porque la normativa que regula la construcción exige que el edificio quede en pie para salvar vidas humanas. Eso hace que la siniestralidad e incluso los daños materiales sean bajos en comparación con otros países también asentados sobre el cinturón de fuego que rodea el Pacífico.

Ahora, exporta su conocimiento antisísmico a América Latina y a otros países del mundo (Andes, 2015).

La empresa “Lagos” lleva construidos más de 2.000 edificios, entre ellos el Costanera, que con 300 metros de altura y 64 pisos es uno de los más altos de América Latina. Chile está en el grupo de países con mejores tecnologías antisísmicas del mundo, junto con Estados Unidos, Japón y Nueva Zelanda, asegura el ingeniero. A menudo, los tsunamis son tan letales como los sismos que los provocan. De las más de 500 personas que perdieron la vida en el terremoto de 8,8 que sacudió Concepción el 27 de febrero de 2010, 156 murieron ahogadas por la gigantesca ola que provocó.

En comparación, el terremoto de Haití de enero de 2010 de magnitud 7 dejó más de 300.000 muertos y arrasó Puerto Príncipe, la capital. Aunque existen nuevas tecnologías para minimizar daños en infraestructuras, como los aisladores sísmicos y los disipadores de energía, la mayor parte de las construcciones en Chile son tradicionales, es decir, de concreto armado y acero en cantidades reguladas para que resistan. A ello se suman estudios de ingeniería exhaustivos, que incluyen la calidad del suelo. El diseño de Ingeniería está totalmente vinculado al diseño de la arquitectura”, dado que El Código Civil chileno responsabiliza al empresario por deficiencias en la construcción (Andes, 2015).

Japón al igual que Chile es uno de los países más sísmicos del mundo. Por ello le asignan mucha importancia a cómo construyen sus edificios. De hecho, su regulación ha evolucionado al evidenciar los problemas surgidos luego de las grandes catástrofes. No obstante, después de lo

vivido en Chile, uno de los periódicos nipones más importantes llamó a seguir el ejemplo de nuestras construcciones antisísmicas.

De acuerdo con la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2010), la normativa japonesa para la construcción, conocida como la Ley de Estándar de Construcción, establece los requerimientos mínimos con respecto al sitio, la estructura, las instalaciones y el uso de las edificaciones. Ésta existe desde 1950, pero sufrió su mayor revisión en 1995, tras el terremoto de Kobe de 7,2 grados donde murieron más de cinco mil personas. Además, desde el año 2000, la regulación nipona asigna una graduación de 1 a 3 a los edificios, de acuerdo con su capacidad de resistir eventos sísmicos. Y según un estudio crítico a la normativa, si hubiera un temblor mayor a los 7 grados, el 28% de los edificios que cumplen sólo con los estándares mínimos (grado 1 según la regulación) quedarían totalmente destruidos.

De este modo esta ley no demanda un tipo específico de construcción, sino una resistencia ante estos eventos, algo parecido a los que existe en nuestro país, donde hay exigencias en cuanto a los materiales y al cálculo de la resistencia de las construcciones. De hecho, en vista de la magnitud del terremoto que nos afectó y de los daños ocurridos, el día primero de marzo la editorial del periódico Yomiuri, que se titula “Japón debe aprender de las lecciones del terremoto en Chile”, alaba las medidas regulatorias de las construcciones en nuestro país.

Alrededor de 380.000 japoneses se han quedado sin hogar y más de 21.000 han muerto o permanecen desaparecidos tras el terremoto y el posterior tsunami del 11/marzo/11. Sin embargo, las cifras de víctimas serían muchísimo más altas de no ser por la estricta normativa antisísmica

que desde hace décadas se aplica en la construcción en Japón. Y es que la gran mayoría de las muertes tras un terremoto se produce por el derrumbamiento de los edificios y no por la sacudida sísmica (Guerrero, 2011).

Cuando se trata de levantar edificios capaces de resistir fuertes sacudidas, los japoneses siguen siendo los maestros. Los rascacielos que acarician los cielos de las grandes ciudades se han mantenido imperturbables tras el gran seísmo, así como gran parte de las viviendas construidas en los últimos años. Incluso la central nuclear de Fukushima resistió al impacto del terremoto, aunque no al tsunami, que dañó el sistema de emergencia que debía refrigerar los reactores. Legiones de expertos evalúan los daños en los edificios mientras se construyen casas para albergar a las personas que han perdido su hogar.

Según Guerrero (2011), ¿Cómo se logra que un rascacielos de 250 metros no se derrumbe o colapse ante un sismo?; El objetivo es conseguir que el edificio se balancee, pero no se derrumbe, por lo que deben ser estructuras flexibles, que admitan cierto grado de deformación, que puedan vibrar e incluso desplazarse ligeramente. Un terremoto es un movimiento brusco que hace ondular el edificio, por ejemplo, si una caña seca se dobla, ésta se fractura inmediatamente. En cambio, un junco vivo es flexible, puede moverse y/o deformarse, y ese principio mecánico es la esencia de la construcción antisísmica. En todas las plantas, la estructura del edificio debe tener los encuentros articulados [los nudos, es decir, el lugar donde se encuentran los pilares con las vigas o los suelos con los techos] porque permiten cierta movilidad. Este criterio es el mismo que se utiliza en la construcción de rascacielos de todo el mundo, ya que el viento fuerte produce con frecuencia el mismo empuje que un terremoto.

Por ejemplo, la parte superior de las torres de la Castellana que se ubican en la ciudad de Madrid (Capital de España) se mueven ligeramente [unos 30 centímetros] con el fuerte viento, un movimiento que pueden sentir los empleados que trabajan en las plantas superiores. La manera de hacer frente al fenómeno viento es dejar que actúe; dado que la normativa antisísmica en España es muy estricta, y se cumple perfectamente en las zonas con riesgo sísmico, aunque se menciona que la norma española no prohíbe o fija criterios. No se impide la utilización de ninguna técnica ni de ningún material.

2.1.2. Análisis del Micro Entorno

En cuanto a las condiciones sísmicas o referencias históricas sobre estudios sísmicos en Honduras, esto, para recabar información que nos permita poder establecer parámetros técnicos pertinentes al diseño de estructuras sismo resistentes.

Escobar, (2008) comenta que: El primer estudio de amenaza sísmica para Honduras fue realizado por Kiremidjian et al. (1979) y al igual que en estudios posteriores, se encontró que la amenaza más alta se encuentra en el suroeste del país, alcanzándose valores de hasta 0.55 g en Choluteca para 475 años de periodo de retorno. En el año 2000 se realizaron dos estudios independientes de la amenaza sísmica a nivel nacional: uno por Cáceres y Kulhanek (2000) y otro por Cruz et al. (2000). En el primero se obtuvieron, para una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años, valores de PGA mayores a 0.6 y 1.0 g para la zona más próxima a la fosa Centroamericana, mientras que, para el mismo sitio e igual periodo de retorno, el segundo estudio obtuvo valores de 0.4 g y además proporcionó un espectro de amenaza probabilista uniforme. Nuevamente, estas diferencias pueden deberse a las distintas ecuaciones de atenuación utilizadas en ambos estudios. El actual Código Sísmico de Honduras determina un periodo de retorno mínimo de 475 años para las obras civiles. (p. 7)

La información sísmica pre-instrumental para Honduras, cubre el período 1500-1900 para eventos sentidos dentro del territorio y que han causado daños considerables en varias poblaciones del país, aunque la mayor parte de los sismos reportados se han originado en provincias sismo-tectónicas, localizadas fuera de Honduras.

Para caracterizar la sismicidad histórica de Honduras, en la literatura se describen 35 sismos, los cuales oscilan en un rango de intensidades de IV MM a XI MM, con magnitud Richter que va de 3.5 hasta 8.5. A un 85% de los sismos se les ha asociado su respectiva provincia sismo tectónica o posible zona de origen, encontrándose que los sismos relativamente bien documentados, alrededor de un 40%, fueron generados a lo largo del sistema de fallas Motagua-Polochic, un 25% tuvo su origen en la depresión de Honduras, un 26% en la zona de subducción del Pacífico, un 7% en la zona volcánica somera del Pacífico, y un 2% a la zona de subducción intraplaca; asimismo se encuentra que alrededor de 13 sismos han tenido magnitudes mayores o iguales a Ms 6.5 (Escobar, 2008).

Durante el período de 1900-2000, tanto la sismicidad regional como la local ha sido caracterizada. Particularmente importantes son los sismos del 29 de diciembre de 1915 (Ms=6.3) y del 3 de diciembre de 1934 (Ms 6.2), que ocurrieron en el occidente de Honduras. En el sistema de fallas Motagua-Polochic se ha generado una cantidad importante de sismos superficiales, que han afectado a la zona norte de Honduras, como los de septiembre de 1957 (M=6.0) y el del 23 de marzo de 1966 (M=6.0); los del 8 de noviembre de 1967 (M=5.4) y de febrero de 1969 (Dean y Drake, 1978). Asimismo, el gran terremoto de Guatemala del 4 de febrero de 1976 afectó considerablemente al norte y occidente de Honduras. Otros sismos

originados en el norte del país son los del 4 de julio de 1976 (M 4.5) y el de agosto de 1980 (Mw 5.3) (White y Harlow, 1993).

Escobar (2008) menciona que cerca de Comayagua, se reportó un sismo de abril de 1982 (Mw=5.4) y en la zona de subducción del Pacífico, el sismo del 12/enero/1982 (Mw=5.4). En el occidente de Honduras, el 29/sept/1982, se reportaron dos sismos (Mw 4.9 y Mw 5.6). Varios sismos entre Ms4 y Ms5 han sido reportados a partir de los años 60 en las regiones norte, occidental y central. Desde 1993, el principal archivo de datos de la sismicidad de Honduras es efectuado en la sede del Centro Sismológico de América Central (CASC), y éstos han sido incluidos en el catálogo sísmico de Honduras, que actualmente contiene unos 2,050 eventos, entre históricos e instrumentales, con magnitudes mayores a 3.5. Recientemente se ha detectado una importante actividad microsísmica asociada al interior y fronteras tectónicas de Honduras.

2.2 Teorías

2.2.1 Teorías de Sustento

2.2.1.1 Comportamiento del Concreto

Torre (2016) afirma: “El concreto puede definirse como un material con aspecto de roca, conformado por una mezcla cuidadosa de cemento, arena, otros áridos y agua” (p.4). También puede definirse como una mezcla de arena, grava, roca triturada, u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua, donde el cemento actúa como un aglomerante y se encarga de unir los agregados (McCormac & Russell H. Brown, 2011).

En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características del concreto, tales como la ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado. Al igual que la mayoría de los materiales pétreos, el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tensión. El concreto reforzado es una combinación de concreto y acero en la que el refuerzo de acero proporciona la resistencia a la tensión de que carece el concreto (McCormac & Russell H. Brown, 2011).

El proceso de producción del hormigón inicia con la investigación de sus componentes con los que se cuenta, tales como el cemento, el agua y los áridos de los que se debe identificar sus propiedades para con estas poder realizar el diseño de la mezcla que deberá ser probada en laboratorio antes de darse por buena. No es correcto tomar el diseño de una mezcla, en el que se indican las proporciones de cada uno de los componentes, que deberán mezclarse para obtener un hormigón de determinadas características, para aplicarlo en cualquier caso y en cualquier lugar. Cada caso tendrá su propio diseño de acuerdo con las características particulares de sus componentes (Torre, 2016).

Una vez que el diseño de la mezcla se ha probado y ha sido aceptada, es necesario el cuidadoso proceso de dosificación y control de calidad para asegurar la obtención de los requerimientos del hormigón. Luego y no menos importante, es la colocación del mismo, la cual requiere de control, desde su manejo entre el equipo de mezclado o transporte al pie de la obra, hasta la colocación del mismo en los moldes correspondientes. Esto último significa, controlar la temperatura del hormigón durante la colocación, la exposición al viento o a otros agentes

climáticos, como la lluvia o la temperatura ambiente; la compactación y finalmente el curado del hormigón (Torre, 2016).

De acuerdo con Cuevas (2005) el objeto principal del estudio del comportamiento del concreto es la obtención de relaciones acción respuesta del material, bajo la gama total de sollicitaciones a las cuales puede ser expuesta. Estas características acción respuesta pueden descubrirse claramente mediante curvas de esfuerzo deformación.

Las curvas de esfuerzo-deformación unitaria representan los resultados obtenidos en pruebas de compresión en cilindros estándares de resistencias variables a los 28 días, la figura 3 muestra las diferentes curvas de esfuerzo de formación para distintos esfuerzos de compresión (McCormac & Russell H. Brown, 2011).

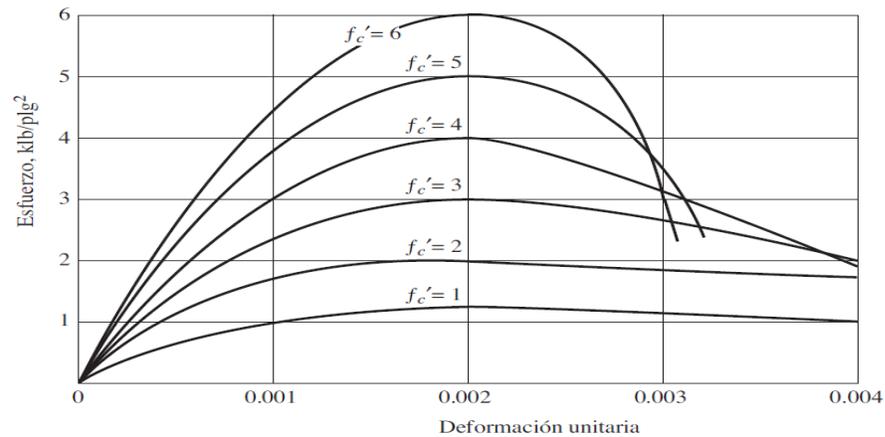


Figura 1. Diagrama de esfuerzo deformación

Fuente: (McCormac & Russell H. Brown, 2011)

El concreto no tiene un módulo de elasticidad bien definido. Su valor varía con las diferentes resistencias del concreto, con la edad de éste, con el tipo de carga, las características y proporciones del cemento y los agregados. Además, hay varias definiciones diferentes del

módulo: El módulo inicial es la pendiente del diagrama de esfuerzo-deformación en el origen de la curva, El módulo por tangente es la pendiente de una tangente a la curva en algún punto de ésta, por ejemplo, en 50% de la resistencia última del concreto entre otros (McCormac & Russell H. Brown, 2011).

2.2.1.2 Acero Laminado en Frío

En la construcción de acero existen en general dos tipos de elementos estructurales. Uno es el formado por los perfiles laminados en caliente y por barras armadas por la unión de chapas planas o la unión de perfiles y chapas planas. El otro está formado por barras con secciones obtenidas por la conformación en frío de chapas planas o planchuelas. Estas secciones pueden ser cerradas de forma circular o rectangular (tubos) o abiertas de formas diversas. En las estructuras de acero pueden combinarse elementos estructurales de ambos tipos buscando aprovechar las ventajas de cada uno o de acuerdo con las disponibilidades del mercado y los costos relativos (Troglia, 2010).

El espesor de las chapas generalmente utilizadas para la conformación de secciones tanto abiertas como tubulares varía desde 0,45 mm (N° 26) a 6,35 mm (1/4") aunque pueden conformarse, bajo especiales condiciones hasta espesores de 25,4 mm (1"). Esto hace que los elementos estructurales conformados en frío sean en general sensiblemente menos pesados que los elementos formados por perfiles laminados o por unión de chapas planas. Por ello a las estructuras formadas por elementos conformados en frío se las suele designar como "Estructuras livianas de acero".

Según Jáuregui & Negri (2012), en general, algunas de las ventajas de la utilización en la construcción de edificios de elementos estructurales conformados en frío, son:

1. Para luces y cargas relativamente pequeñas se pueden obtener elementos estructurales más livianos que los perfiles laminados.
2. Se pueden utilizar formas seccionales adaptadas a las solicitaciones de sección requeridas y por ello con una relación peso-resistencia más favorable.
3. Se pueden producir formas seccionales que se encastran y permiten un empaquetado compacto para su transporte.
4. Paneles y cubiertas portantes pueden proveer superficies útiles para la construcción de techos, pisos y paredes o para la ejecución de celdas para conductos eléctricos o de aire acondicionado.
5. Paneles y cubiertas portantes pueden ser diseñados para tomar no sólo cargas normales a su plano sino para funcionar como diafragmas resistiendo cargas en su plano, pudiendo formar parte del sistema de arrostramiento cuando están adecuadamente unidos entre ellos o a otros elementos estructurales.

En comparación con otros materiales estructurales, Urbán (2010) establece que los elementos realizados con acero conformado en frío presentan algunas ventajas como:

- 1) Bajo peso en comparación con el concreto
- 2) Alta resistencia y rigidez
- 3) Comodidad de prefabricación y producción masiva
- 4) Velocidad y facilidad para el montaje
- 5) Detallado más preciso

- 6) Menores variaciones volumétricas
- 7) No necesitan encofrados
- 8) No es afectado por insectos ni sufre putrefacción
- 9) Calidad uniforme
- 10) Facilidad de transporte y manipuleo
- 11) Incombustibilidad

Los tubos son de sección circular o rectangular (incluye la sección cuadrada). Pueden ser utilizados como arriostres de cubierta, vigas y columnas, barras de pórticos para estructuras de pocas plantas, cordones y barras de alma de vigas reticuladas planas o espaciales con chapas de nudo o uniones directas soldadas, en paneles portantes, entre otros. Las secciones abiertas pueden presentar diversas formas, las cuales serán comentadas posteriormente. Pueden ser utilizadas como arriostres, vigas, en cubiertas, pisos y cerramientos, como barras de vigas de reticulado, en paneles portantes para techos y paredes, entre los usos más comunes (Troglia, 2010).

Debido a que las propiedades del material juegan un papel importante en el rendimiento de los elementos estructurales, es importante estar familiarizado con las propiedades mecánicas de las chapas de acero, tiras, placas o barras planas usadas generalmente en la construcción de acero formado en frío antes de diseñar este tipo de acero miembro estructural. Además, dado que las propiedades mecánicas están muy afectadas por la temperatura, el diseñador debe prestar especial atención a condiciones extremas por debajo de -30°F (-34°C) y por encima de 200°F (93°C) (Wei-Wen & LaBoube, 2010).

La resistencia de los elementos estructurales de acero conformados en frío depende del límite de elasticidad o límite de elasticidad del acero, excepto en las conexiones y en aquellos casos en los que el pandeo local elástico o el pandeo general es crítico. En la edición de 2007 de la Especificación Norteamericana el término genérico de límite de elasticidad se utiliza para designar el límite de elasticidad. Las tensiones de rendimiento de los aceros listados en la especificación norteamericana varían de 24 a 80 ksi (165 a 552 MPa o 1,687 a 5,624 kg /cm²).

Hay dos tipos generales de curvas tensión-deformación, como se muestra en la Fig. 2; uno de ellos es de tipo brusco Fig. 2a y el otro de tipo gradual Fig. 2b. Los aceros producidos por laminación en caliente suelen tener un rendimiento elevado. Para este tipo de acero, la tensión elástica se define por el nivel al cual la curva tensión-deformación se hace horizontal. Los aceros que están fríos o fríos trabajados muestran un rendimiento gradual. Para el acero de gradación gradual, la curva tensión-deformación se redondea en la "rodilla" y la tensión elástica se determina mediante el método de desplazamiento o el método de deformación-subcarga (Wei-Wen & LaBoube, 2010).

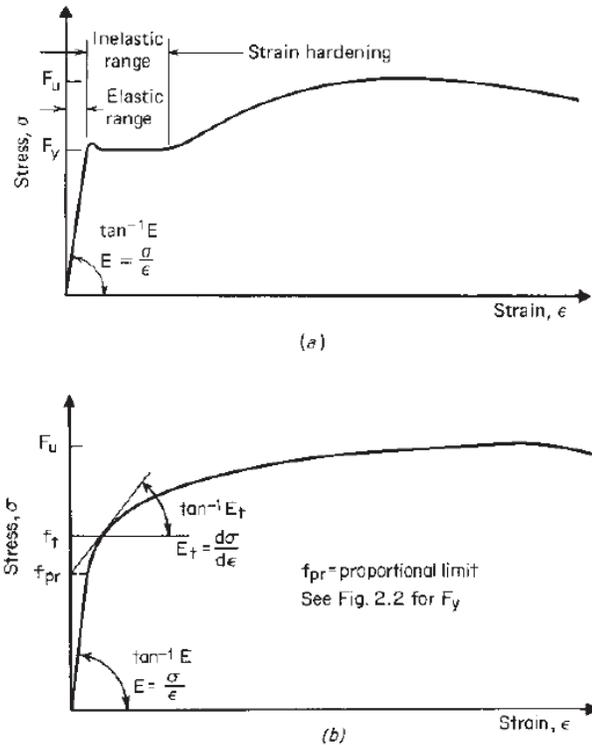


Figura 2. Curvas esfuerzo-deformación, a) Fluencia brusca b) Fluencia gradual

Fuente: (Wei-Wen & LaBoube, 2010)

La resistencia de los miembros que fallan por pandeo depende no sólo de la tensión elástica sino también del módulo de elasticidad E y del módulo tangente E_t . El módulo de elasticidad se define por la pendiente de la porción recta inicial de la curva tensión-deformación. Los valores medidos de E sobre la base de los métodos estándar oscilan generalmente entre 29,000 y 30,000 ksi (200 a 207 GPa o 2.0×10^6 a 2.1×10^6 kg/cm²).

Un valor de 29,500 ksi (203 GPa o 2.07×10^6 kg/cm²) ha sido utilizado por AISI en sus especificaciones para propósitos de diseño y se mantiene en la especificación norteamericana. Este valor es ligeramente superior a 29,000 ksi (200 GPa o 2.0×10^6 kg/cm²) utilizado actualmente en la especificación AISC 1.411 (Wei-Wen & LaBoube, 2010).

El módulo tangente se define por la pendiente de la curva tensión-deformación en cualquier punto, como se muestra en la Fig. 2.1b. Para rendimientos bruscos, $E_t = E$ hasta el límite de elasticidad, pero con rendimientos graduales, $E_t = E$ sólo hasta el límite proporcional. Una vez que la tensión excede el límite proporcional, el módulo tangente E_t se hace progresivamente más pequeño que el módulo de elasticidad inicial.

Por la razón comentada anteriormente, para una esbeltez moderada los aceros de alto rendimiento tienen mayores fuerzas de pandeo que los aceros de gradación gradual. Varias disposiciones de pandeo de la Especificación Norteamericana han sido escritas para aceros de gradación gradual cuyo límite proporcional no suele ser inferior a aproximadamente el 70% del límite de elasticidad mínimo especificado (Wei-Wen & LaBoube, 2010).

Urbán, (2010) establece que Las estructuras metálicas, al igual que los prefabricados de hormigón, presentan un buen porvenir, ya que a medida que aumenta el nivel de vida de un país, van siendo más económicas las técnicas que requieren menor cantidad de mano de obra. Las construcciones ejecutadas con estructuras metálicas permiten luces mayores, especialmente interesantes para locales comerciales, industrias, donde se requieran edificios sin pilares intermedios, así como para edificios de grandes alturas, sin pilares excesivamente gruesos, evitando ocupar espacios importantes. (p.9)

2.2.1.3 Características Mecánicas de los Aceros

Tomando en cuenta el resumen presentado por Urbán (2010), los dos valores fundamentales para el diseño de las piezas de acero son:

- 1.- El límite elástico.
- 2.- El límite de rotura.

- ✓ **El límite elástico** es la carga unitaria para iniciar el escalón de cedencia, es decir a partir del cual las deformaciones no son recuperables. Esta deformación remanente es del 0,2 por 100.
- ✓ **El límite de rotura** (también denominado resistencia a tracción) es la carga unitaria máxima soportada por el acero en el ensayo de tracción. El límite de rotura define un índice de la calidad del mismo.
- ✓ **La soldabilidad** es la aptitud de un acero para ser soldado mediante los procedimientos habituales sin que aparezca fisuración en frío. Es una característica tecnológica importante, de cara a la ejecución de la estructura.
- ✓ **La resistencia al desgarro laminar del acero** se define como la resistencia a la aparición de defectos en piezas soldadas sometidas a tensiones de tracción en dirección perpendicular a su superficie.
- ✓ **La aptitud al doblado** es un índice de la ductilidad del material y se define por la ausencia o presencia de fisuras en el ensayo de doblado.
- ✓ **Aceros laminados en caliente.** Se entiende por tales los aceros no aleados, sin características especiales de resistencia mecánica ni resistencia a la corrosión, y con microestructura normal.
- ✓ **Aceros con características especiales.** Se consideran los siguientes tipos:
 - a) aceros normalizados de grano fino para construcción soldada.
 - b) aceros de laminado termomecánico de grano fino para construcción soldada.
 - c) aceros con resistencia mejorada a la corrosión atmosférica.
 - d) aceros templados y revenidos.
 - e) aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.

- ✓ **Aceros conformados en frío.** Se entiende por tales los aceros cuyo proceso de fabricación consiste en un conformado en frío, que les confiere unas características específicas desde los puntos de vista de la sección y la resistencia mecánica.
- ✓ **Productos laminados.** Los productos laminados se clasifican en función de sus características de forma en:
 - a) **Productos longitudinales:** Los productos longitudinales son aquellos en los que una dimensión, es determinante sobre las otras dos restantes. Se subdividen a su vez en:
 - i. **Perfiles estructurales.** Son los perfiles I, H, L, T, O, con una altura o anchura igual o mayor a 80 mm., en ocasiones denominados perfiles pesados.
 - ii. **Perfiles comerciales.** Incluyen los del grupo anterior con dimensión inferior a 80 mm. e igualmente redondos, cuadrados, hexagonales y pletinas. También se denominan perfiles ligeros.
 - b) **Productos planos.** Los productos planos son aquellos en los que dos de sus dimensiones predominan sobre la tercera. El producto plano utilizado normalmente es la chapa laminada en caliente, que puede ser obtenida por procedimientos discontinuos o bien por troceo de bobinas.

2.2.1.4 Durabilidad de las Estructuras de Acero

La durabilidad es una de las principales características o propiedades mecánicas que presentan los aceros para mantener la calidad requerida durante su vida útil, esto como una consecuencia positiva de los procesos industriales destinados para tal fin.

La durabilidad de una estructura de acero es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían

llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

Una estructura durable debe conseguirse con una estrategia capaz de considerar todos los posibles factores de degradación y actuar consecuentemente sobre cada una de las fases de proyecto, ejecución y uso de la estructura. (Trogia, 2010, p.7)

Y en la misma línea de pensamiento anterior, Jáuregui & Negri (2012) menciona que una estrategia correcta para la durabilidad, debe tener en cuenta que una estructura puede contener múltiples elementos estructurales sometidos a distintos tipos de ambiente. La durabilidad no incumbe sólo a los elementos estructurales. A veces son los elementos no estructurales los que conllevan problemas importantes de cara a la durabilidad.

Para obtener la durabilidad adecuada, Urbán (2010) establece que será necesario respetar una estrategia que contemple todos los posibles mecanismos de degradación, adoptando medidas específicas en función de la agresividad a la que se encuentre sometido cada elemento, por lo tanto, se recomienda incluir de forma obligatoria, al menos, los siguientes aspectos:

- ❖ Selección de la forma estructural, definiendo en proyecto los esquemas estructurales, las formas geométricas y los detalles que sean compatibles con la consecución de una adecuada durabilidad de la estructura.
- ❖ Procurar evitar el empleo de diseños estructurales que conduzcan a una susceptibilidad elevada a la corrosión, eligiendo formas de los elementos sencillas.
- ❖ Reducir al mínimo el contacto directo entre las superficies de acero y el agua.
- ❖ Cuando la estructura presente áreas cerradas (interiores inaccesibles) o elementos huecos, debe cuidarse que estén protegidos de manera efectiva contra la corrosión, mediante soldadura continua.

En casos de especial agresividad, cuando las medidas normales de protección no se consideren suficientes, se podrá recurrir a la disposición de sistemas especiales de protección (materiales de recubrimiento en polvo, productos para tratamiento químico de las superficies, protección catódica, etc.).

2.2.1.5 Ventajas e Inconvenientes De La Estructura Metálica

En concordancia con Urbán (2010), como toda tipología estructural destinada para determinada obra civil, ésta no es perfecta en todos los sentidos de adaptación y desempeño en condiciones de servicio, por ejemplo, haciendo una comparación con un sistema de concreto reforzado, dado que la misma posee ciertas ventajas y desventajas, esto en cuanto a la decisión de utilizar un sistema de estructura metálica como esqueleto de sustento principal, tal como se describe a continuación:

Ventajas:

- a) Las estructuras metálicas, al tomar grandes deformaciones, antes de producirse el fallo definitivo “avisan”.
- b) El material es homogéneo y la posibilidad de fallos humanos es mucho más reducida que en estructuras construidas con otros materiales. El material resiste por igual en todas las sollicitaciones.
- c) Ocupan poco espacio. Los soportes molestan muy poco, para efectos de la distribución interior, por lo que se le obtiene buena rentabilidad a toda la superficie construida. Los cantos de las vigas son reducidos y los anchos aún son menores. En general las estructuras metálicas pesan poco y tienen elevada resistencia.

- d) Las estructuras metálicas no sufren fenómenos reológicos que, salvo deformaciones térmicas, deban tenerse en cuenta. Conservan indefinidamente sus excelentes propiedades.
- e) Estas estructuras admiten reformas, por lo que las necesidades y los usos pueden variar, adaptándose con facilidad a las nuevas circunstancias. Su refuerzo, en general, es sencillo.
- f) Al demolerlas todavía conserva el valor residual del material, ya que es éste es recuperable.
- g) Las estructuras metálicas se construyen de forma rápida, ya que, al ser elementos prefabricados, en parte, pueden montarse en taller. Asimismo, tienen resistencia completa desde el instante de su colocación en obra.

Inconvenientes:

- a) Son necesarios dispositivos adicionales para conseguir la rigidez (diagonales, nudos rígidos, pantallas, etc.)
- b) La elevada resistencia del material origina problemas de esbeltez.
- c) Es necesario proteger las estructuras metálicas de la corrosión y del fuego.
- d) El costo, en principio, es más elevado que el de las estructuras de hormigón armado.
- e) El resultado de las uniones soldadas es dudoso, especialmente en piezas trabajando a tracción.

2.2.1.6 Comportamiento de Materiales Compuestos

Cuando una losa de concreto está apoyada sobre vigas de acero y no existen medios para transferir los esfuerzos cortantes entre ambos elementos, el resultado es una sección en la que éstos trabajan por separado. Es obvio que las cargas que se aplican a secciones con elementos que trabajan por separado hacen que las losas se deflexiones junto con las vigas, lo que conduce

a que parte de la carga sea soportada por las losas. A menos que exista una gran adherencia entre los elementos (como sería el caso cuando la viga de acero estuviera completamente embebida en el concreto, o si se instalara un sistema mecánico de conectores de fuerza cortante), la carga soportada por la losa es pequeña y puede despreciarse.

Las vigas de acero y las losas de concreto reforzado se han utilizado durante muchos años, sin tomar en consideración ningún efecto de colaboración entre ambas. Sin embargo, en las últimas décadas se ha demostrado que puede lograrse gran resistencia, uniéndolas de modo que actúen como una sola unidad para resistir las cargas. Las vigas de acero y las losas de concreto, unidas formando un elemento compuesto, en ocasiones pueden llegar a soportar un aumento en la carga del 33 al 50 por ciento o más de lo que las vigas de acero podrían soportar trabajando por separado (McCormac & Csernak, 2013).

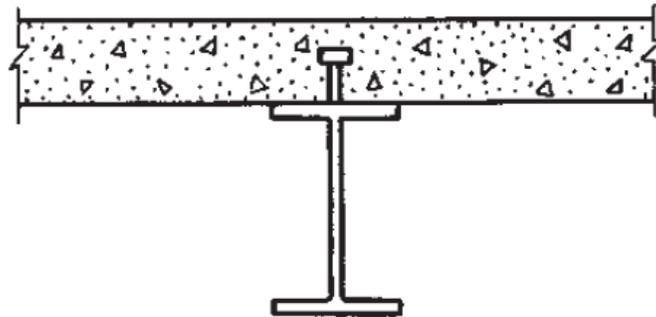


Figura 3. Estructura de entepiso compuesta

Fuente: (Wei-Wen & LaBoube, 2010)

La Fig. 3 muestra una sección de viga compuesta en la que la losa de hormigón armado actúa como la brida de compresión de la sección en T. Los conectores de corte pueden resistir la cizalla horizontal y proporcionar un enclavamiento vertical entre la losa de hormigón y vigas de acero para producir una sección compuesta que actúa como una sola unidad. Los tipos de

conectores cortantes incluyen clavos, canales, ángulos rígidos y barras planas, como se muestra en Figura 2.

Los conectores más utilizados son tornillos cortantes. En la construcción del edificio los pernos se sueldan a través de la cubierta de acero en el marco de acero estructural; En la construcción del puente los pernos se sueldan directamente a los miembros de la estructura (Wei-Wen & LaBoube, 2010).

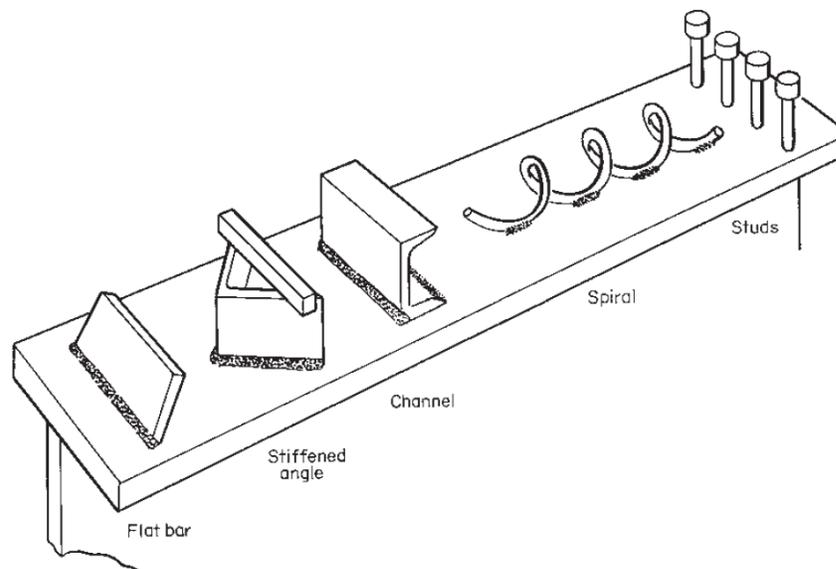


Figura 4. Tipos de Conectores
Fuente: (Wei-Wen & LaBoube, 2010)

2.2.1.7 Comportamiento De Losas Ante Carga Sísmica

Cuando se necesita estimar el comportamiento de una losa, típicamente se describe a través de un análisis estructural que utiliza como parámetro principal, el concepto de diafragma rígido para simular el desempeño de un entrepiso.

Vargas, (2013) menciona que en la actualidad el concepto de diafragma es comúnmente utilizado en el análisis de estructuras sometidas a cargas laterales aplicadas, tales como las acciones de

viento o sismo. La norma técnica del Código Hondureño de la Construcción (CHOC-08) define el término diafragma, como un sistema horizontal, o casi horizontal, que actúa para transmitir fuerzas laterales a los elementos verticales resistentes a fuerzas laterales. Además, incluye en esta definición a los sistemas horizontales arriostrados. (p. 8)

De la misma manera, la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-97) menciona que un diafragma puede definirse como un conjunto estructural horizontal o ligeramente alejado de la horizontal, de espesor pequeño respecto de sus otras dos dimensiones, que tiene la capacidad de trabajar bajo fuerzas contenidas en su propio plano. El reglamento nacional de Edificaciones de Perú, apartado E-070, especifica el concepto de diafragma rígido como una lámina que no se deforma axialmente, ni se flexiona ante cargas contenidas en su plano.

El Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), considera que el sistema de piso de una edificación debe ser capaz de transmitir las fuerzas sísmicas actuantes en el piso a los elementos o sistemas sismo-resistente, comúnmente marcos o muros estructurales. Cuando se logra este objetivo, concluyen que existe la “acción de diafragma” o de “diafragma rígido”. De esta manera, la hipótesis de diafragma rígido es esencial en el análisis y diseño sísmico de edificios, y su empleo permite simplificar de manera considerable el proceso del análisis y diseño sísmico de edificaciones (Garino, 2012).

2.2.1.8 Sistema de Diafragma

El término diafragma se utiliza para identificar miembros de resistencia horizontales, que transmiten fuerzas laterales entre elementos resistentes verticales, tales como paredes o marcos de corte. La acción del diafragma está generalmente proporcionada por los sistemas de suelo y

techo del edificio; A veces, sin embargo, los sistemas de arriostramiento horizontal independientes de la estructura del techo o del piso, sirven como diafragmas. El diafragma se puede visualizar como una amplia viga horizontal con componentes en sus bordes, denominados acordes, diseñados para resistir la tensión y la compresión: los acordes son similares a las bridas de una viga vertical (Barker & Puckett, 2013).

Un diafragma que forma parte de un sistema resistente puede actuar de una manera flexible o rígida, dependiendo en parte de su tamaño (el área entre los elementos de resistencia encerrados) y también de su material. La flexibilidad del diafragma, en relación con la flexibilidad de los Elementos Verticales de Resistencia a la Carga Lateral (VLLR por sus siglas en idioma inglés; Vertical Lateral-Load-Resisting), tales como paredes cortantes, cuyas fuerzas está transmitiendo, también tiene una influencia importante en la naturaleza y magnitud de esas fuerzas. Con diafragmas flexibles fabricados en plataformas de acero sin hormigón, las paredes toman cargas según las áreas tributarias (si la masa está distribuida uniformemente). Con diafragmas rígidos (generalmente losas de hormigón y cubierta de acero con revestimiento de hormigón), las paredes comparten las cargas en proporción a su rigidez (Taranath, 2016).

De acuerdo con la teoría expuesta anteriormente, ahora es posible proceder a mencionar de forma específica, el comportamiento de los diafragmas con especial énfasis en lo siguiente:

- ❖ Conectores
- ❖ Papel de los diafragmas
- ❖ Tipos de diafragmas

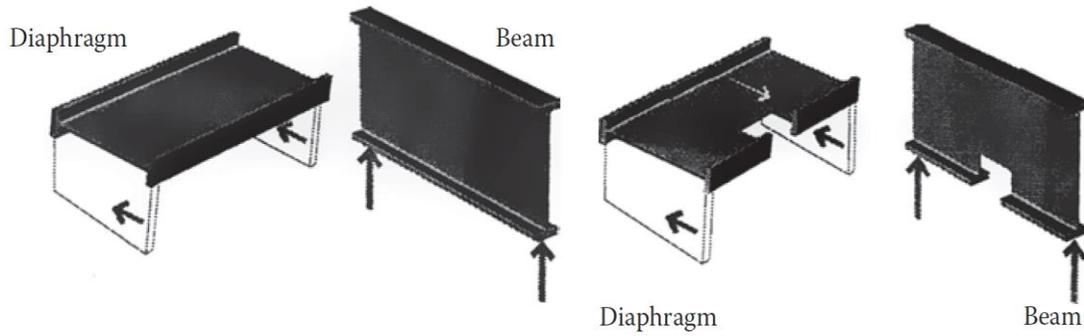


Figura 5. Analogía del funcionamiento de diafragma

Fuente: (Taranath, 2016)

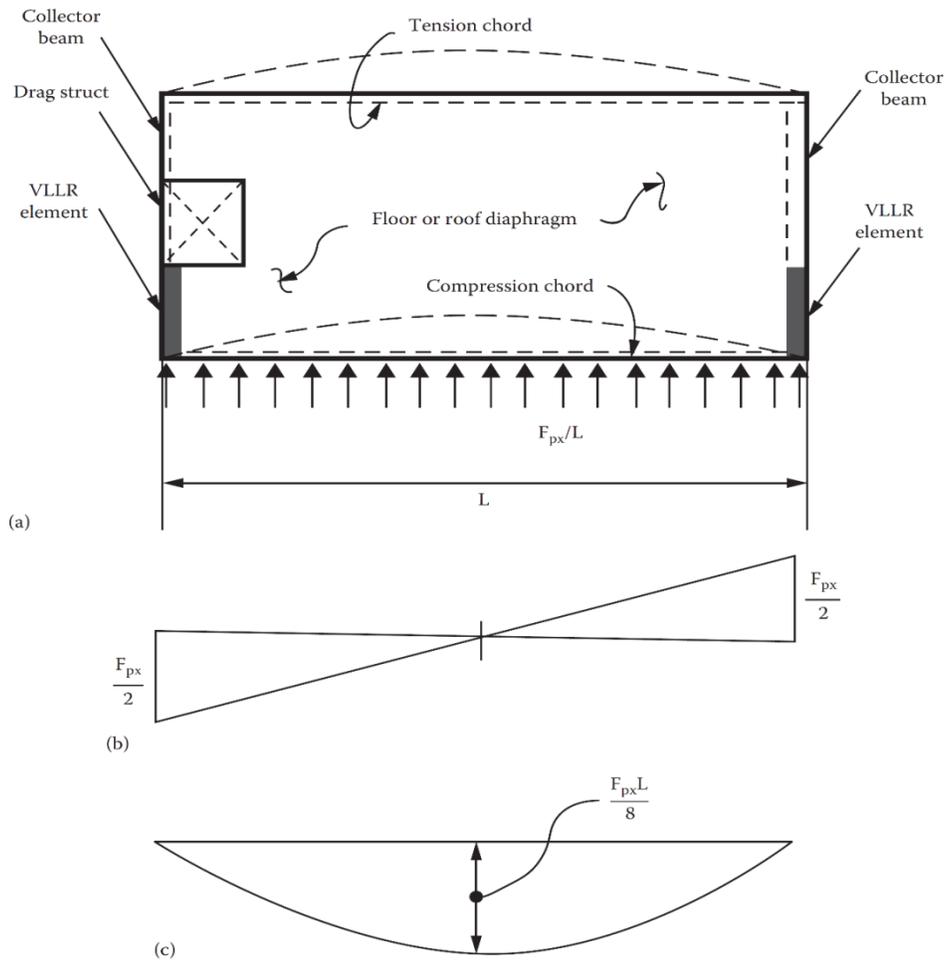


Figura 6. Terminología del diseño del diafragma: (a) plano, (b) diagrama de la fuerza de corte, y (c) diagrama del momento de flexión

Fuente: (Taranath, 2016)

2.2.1.8.1 Conectores

Los conectores, también llamados sostenes de arrastre o lazos, son miembros de armazón de diafragma, los cuales recogen o arrastran, las fuerzas de cizallamiento del diafragma de áreas lateralmente no soportadas a elementos resistentes verticales.

Los pisos y techados, a menudo, presentan determinadas aberturas requeridas para ciertas características, tales como ser, escaleras, elevadores y claraboyas. El tamaño y la ubicación de estas aberturas son críticas para la efectividad del diafragma. La razón de esto no es difícil de ver, cuando el diafragma se visualiza como una viga. Por ejemplo, puede verse que las aberturas cortadas en el patín de tensión de una viga debilitarán significativamente su capacidad de carga. En una situación de carga vertical, una abertura a través del patín de la viga se produciría en una región de tracción o de compresión. En un sistema de carga lateral, la abertura estaría en una región de tensión y compresión, puesto que la carga sísmica alterna rápidamente en dirección. (Barker & Puckett, 2013).

2.2.1.8.2 Papel de los Diafragmas

El diseño resistente a los terremotos requiere que los componentes de la estructura estén conectados o atados de tal manera que se comporten como una unidad. Los diafragmas son un elemento estructural importante para lograr esta interconexión. Los diafragmas se extienden horizontalmente, análogos a las vigas de gran peralte que distribuyen las cargas sísmicas desde su origen hacia los marcos laterales esforzados, orientados verticalmente (marcos con refuerzo, marcos de momento, etc.). Los diafragmas se analizan comúnmente como vigas simples y

continuas, por lo que están sometidos a fuerzas de cizallamiento, momentáneas y axiales (para diafragmas y conectores de viga), así como a las deformaciones asociadas.

Taranath (2016) establece que en los edificios de acero, el piso o la cubierta de techo se diseñan generalmente como el miembro resistente a la cizalla (que es análogo al alma de una viga), y las vigas o el refuerzo suplementario de la cubierta en los límites de los diafragmas, se diseñan como el miembro o cuerda (que es análogo a los patines de una viga). Los diafragmas se clasifican en una de tres categorías: rígida, flexible o semi-rígida. Los diafragmas rígidos son aquellos que poseen la resistencia y rigidez para distribuir las fuerzas laterales a los marcos resistentes, específicamente la fuerza lateral en proporción a la rigidez relativa de los marcos individuales, sin deformación significativa en el diafragma. Por otra parte, la distribución de las fuerzas laterales a través de un diafragma flexible es independiente de la rigidez relativa de los marcos resistentes a la fuerza lateral.

Un diafragma semirrígido, como su nombre lo indica, distribuye fuerzas laterales en proporción a la rigidez del diafragma y la rigidez relativa de los marcos resistentes a la fuerza lateral. Los diafragmas semirrígidos, son a menudo analizados utilizando la analogía de una viga sobre soportes elásticos, donde la viga representa la rigidez del diafragma, y los soportes elásticos representan la rigidez de los marcos resistentes a la fuerza lateral. Dado que muchos edificios tienen marcos de resistencia a la fuerza lateral, que no están uniformemente espaciados y continuos alrededor de los límites del diafragma, se utilizan elementos de conector. Los elementos de conector son miembros de tensión y compresión que sirven para suministrar las fuerzas de diafragma a los marcos de resistencia lateral. Una redistribución de las fuerzas de

conector puede ocurrir a medida que se forman mecanismos de fluencia en los marcos resistentes a la fuerza lateral (Barker & Puckett, 2013).

Taranath (2016) define que el propósito del diafragma, como se ha indicado anteriormente, es distribuir fuerzas laterales a los elementos del VLLRS. Al realizar esta acción:

- ✓ Une el edificio como una unidad
- ✓ Se comporta como una viga horizontal continua, apoyada por el VLLRS
- ✓ Actúa como banda de una viga continua
- ✓ Hace que los miembros en los bordes del piso actúen como patines/cuerdas de la viga
- ✓ Proporciona estabilidad a la estructura

2.2.1.8.3 Tipos de Diafragmas

Existen muchos tipos de materiales y sistemas para su uso como diafragmas de suelo y techo, tales como:

- ✓ Cubierta de acero compuesto con cubierta de hormigón
- ✓ Elementos prefabricados con o sin revestimiento de hormigón
- ✓ Cubierta de acero sin cubierta (cubierta de techo)
- ✓ Revestimiento de madera contrachapada

Como se ha indicado anteriormente, los diafragmas se clasifican normalmente en tres categorías: rígida, flexible y semi-rígida. Un diafragma se considera rígido si presenta las siguientes características:

- ✓ Distribuye fuerzas horizontales a los elementos VLLR en proporción directa con las rigideces relativas de los elementos VLLR.
- ✓ La deflexión del diafragma es insignificante en comparación con la deflexión de los elementos VLLR.

Un ejemplo de diafragma rígido, son las losas de acero compuesto y losas de hormigón (en la mayoría de las condiciones). Además, un diafragma se considera flexible si suceden los siguientes eventos:

- ✓ Distribuye fuerzas horizontales a los elementos VLLR, independientemente de las rigideces relativas de los elementos VLLR.
- ✓ Distribuye fuerzas horizontales a elementos VLLR, basados en áreas tributarias.
- ✓ La deflexión del diafragma es significativamente mayor comparada con la de los elementos VLLR

Como ejemplo, únicamente una cubierta de acero, bajo ciertas condiciones, puede considerarse como un diafragma flexible. Un diafragma semi-rígido, como su nombre lo indica, es uno cuyo comportamiento se encuentra entre el desempeño de los diafragmas rígidos y flexibles. Debe observarse, sin embargo, que la clasificación es sólo para fines analíticos, porque los diafragmas en el diseño del edificio no son completamente rígidos, ni completamente flexibles.

Barker & Puckett (2013) definen que el comportamiento de un diafragma semirrígido puede considerarse análogo al de una viga sobre cimentación elástica. Esto es debido a que la

deflexión de los elementos VLLR y el diafragma bajo fuerzas horizontales, son del mismo orden de magnitud. Por lo tanto, el diseño debe tener en cuenta las rigideces relativas de los elementos VLLR y el diafragma. La mayoría de los estándares sísmicos, exigen que el diafragma sea considerado flexible cuando la deformación lateral máxima del diafragma es mayor a dos veces la deriva media del piso asociado. Es bastante evidente que, para clasificar un diafragma, se debe comparar la rigidez del diafragma con la rigidez del VLLRS. El Steel Deck Institute (SDI), sin embargo, nos da las siguientes pautas para las clasificaciones del diafragma.

Shear Rigidity G'	Classification	Deck Type
6.67–14.3	Flexible	Bare steel deck
14.3–100	Semiflexible	Bare steel deck
100–1000	Semirigid	Concrete-filled steel deck
>1000	Rigid	Concrete-filled steel deck

Figura 7. Clasificaciones del diafragma SDI.

Fuente: (Taranath, 2016)

Es evidente que la deflexión en el plano del diafragma estará limitada al valor que permitirá al elemento unido mantener su integridad estructural bajo las cargas laterales aplicadas, y seguirá soportando el peso propio y la carga vertical si es aplicable. Debe notarse que la relación de deriva generalmente aceptada de $h/400$, esto para la deflexión en el plano, la cual sería experimentada por el revestimiento, y los límites de deriva fuera del plano son considerablemente menos estrictos. Otro aspecto igualmente importante en la clasificación del diafragma es la geometría (relación claro-profundidad) del propio diafragma (Tena Colunga & Cortés Benitez, 2009).

2.3 Metodologías Utilizadas

2.3.1 Método De Elementos Finitos

El uso de estructuras laminares se remonta muchos siglos atrás. Son las cúpulas, bóvedas y arcos los primeros antecedentes de las mismas. Al principio fue una buena dosis de intuición física la que llevaba a ingenieros de antaño a construir edificios como el Panteón Romano (115-126) o Santa Sofía en Constantinopla (532-537), que todavía hoy siguen en pie. No fue hasta el Renacimiento cuando se empezó a modelizar matemáticamente una respuesta estructural a estos problemas, y todavía hoy se sigue en ello. Los primeros elementos estructurales que se modelizan matemáticamente son las vigas. Leonardo Da Vinci (1452-1519), introdujo un principio que más tarde sería de aplicación al modelo de viga conocido hoy como de Euler – Bernoulli. Nombres como Galileo (1564- 1642), Mariotte (1620-1684), Leibniz (1646-1716), Bernoulli (1654-1705) o Euler (1707- 1783) refinaron lo que hoy se conoce como la teoría de vigas de Euler- Bernoulli (Mase & Mase, 1999).

De la introducción de los esfuerzos axiales, flector y cortante por los autores antes nombrados, se pasó a la inclusión de la deformación por cortante (1859) de la mano de Bresse (1822 - 1883) y su extensión a la dinámica estructural por Timoshenko (1878- 1972), cuyo nombre se ha convertido en referencia para este modelo. En esta época se empiezan a estudiar los elementos estructurales que se conocen hoy como placas y láminas. El análisis de láminas delgadas mediante el método de los elementos finitos es uno de los tópicos dentro de este campo que más investigaciones y trabajos han dado lugar (Valle, 2013).

Oliver Olivella & Bosch (2000) mencionan que unas de las primeras hipótesis fueron las hipótesis de la teoría de láminas de Love Kirchhoff (1944) las que dieron lugar a la formulación de distintos elementos finitos válidos para este tipo de problemas. Por otra parte, las funciones de forma utilizadas para la interpolación de los desplazamientos tenían que cumplir una serie de requisitos para garantizar la convergencia y la estabilidad de la solución. Las más importantes serían:

- La continuidad de los desplazamientos y sus derivadas hasta un orden menor de la mayor derivada existente en el funcional a minimizar.
- La nulidad de la variación de la energía de deformación ante movimientos de sólido rígido.

Mediante este método, la energía de flexión se calcula interpolando de forma independiente las rotaciones de cada nodo y acudiendo a la relación entre desplazamientos y rotaciones debidas a la hipótesis de Kirchhoff, llegando así a un elemento conforme con los grados de libertad tradicionales. La validez de un elemento finito depende de la capacidad del mismo para representar los modos de sólido rígido del elemento estructural. Si el elemento en cuestión es capaz de reproducirlos, se habrá mejorado la convergencia del mismo, aunque no se asegure que esta convergencia sea a la solución correcta. Los primeros métodos para modelar láminas delgadas no describían de manera precisa estos modos de deformación. (Love, 1906).

Para José Miguel Martínez (Valle, 2013) se argumentaba que estos podían aproximarse considerando polinomios de orden superior. Los primeros elementos finitos que los describen eficazmente son los llamados “SHEBA elements” y fueron elaborados por Argyris y Scharpf (1972). El elemento finito triangular de Dupuis (1970) o uno más reciente en el tiempo como el

de Wu (2005), incluyen una descripción precisa de estos modos de deformación y utilizan distintas teorías de láminas que aceptan de una u otra manera las hipótesis de Love Kirchhoff. Por otra parte, existen varios elementos que utilizan la aproximación “DKT”.

Dhatt (1986) presentó un elemento con 27 grados de libertad que esencialmente correspondía con un elemento para láminas muy delgadas. Posteriormente este autor y Bathoz (1990), mejoraron este elemento incluyendo los modos de sólido rígido, y desarrollaron un nuevo elemento triangular curvo basado en la teoría de Wempner de láminas que incluye la deformación por cortante. Usaban polinomios hermítianos de orden 3 para los desplazamientos tangenciales y la aproximación DKT para los desplazamientos normales; por lo que al final era un nuevo elemento con 27 grados de libertad, 9 por cada nodo. Curiosamente, no contenía una descripción explícita de los modos de sólido rígido.

De acuerdo con Barker & Puckett (2013), debido a que los factores de distribución de regla AASHTO son aproximados, el ingeniero puede desear realizar un análisis más riguroso y preciso. Las ventajas de un análisis más riguroso incluyen:

- ❖ Los factores / supuestos simplificadores que se hacen en el desarrollo de los factores de distribución para los métodos de línea de viga pueden ser evitados.
- ❖ La variabilidad de parámetros estructurales inciertos puede ser estudiada para su efecto sobre la respuesta del sistema. Por ejemplo, la continuidad, las propiedades del material, el agrietamiento, los efectos no prismáticos y los movimientos de soporte pueden ser de interés.
- ❖ Modelos más rigurosos se desarrollan en el proceso de diseño y se pueden usar en la clasificación de vehículos de permiso y determinar una fuerza de sobrecarga más precisa.

Uno de los mejores modelos matemáticos para la cubierta es la placa delgada que se puede modelar con la ecuación biarmónica (Timoshenko y Woinowsky-Kreiger, 1959, Ugural, 1981):

$$\nabla^4 w = \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{p(x)}{D}$$

Ecuación 1. Ecuación Biarmónica de Modelo de Placas Delgadas

Fuente: (Barker & Puckett, 2013)

Dónde

w = traslación vertical

x = coordenada transversal

y = coordenada longitudinal

p = carga vertical

D = rigidez de la placa, igual a

$$D = \frac{Et^3}{12(1 - \nu^2)}$$

Dónde:

ν = relación de poisson

E = módulo de elasticidad

t = espesor de la placa de estudio

La ecuación 1 es aplicable para una losa isotrópica (mismas propiedades en todas direcciones). Otras formas están disponibles para las placas que presentan una ortotropía significativa debido a diferentes refuerzos en las direcciones transversal y longitudinal. El desarrollo de la Ecuación 1 está basado en una serie de suposiciones, las cuales son:

- ✓ el material se comporta linealmente elásticamente,
- ✓ el perfil de deformación es lineal
- ✓ la placa es isotrópica,
- ✓ las tensiones verticales debidas a la carga aplicada se descuidan y
- ✓ las deformaciones son pequeñas en relación con las dimensiones de la placa.

Soluciones de forma cerrada a la Ecuación 1, se limitan a casos que se basan en condiciones de límites simplificados y cargas. Todavía hay menos soluciones disponibles para los sistemas soportados por vigas. Así, se utilizan modelos numéricos para la solución de la ecuación 1; los métodos más comunes son el mallado, de elementos finitos y de tiras finitas.

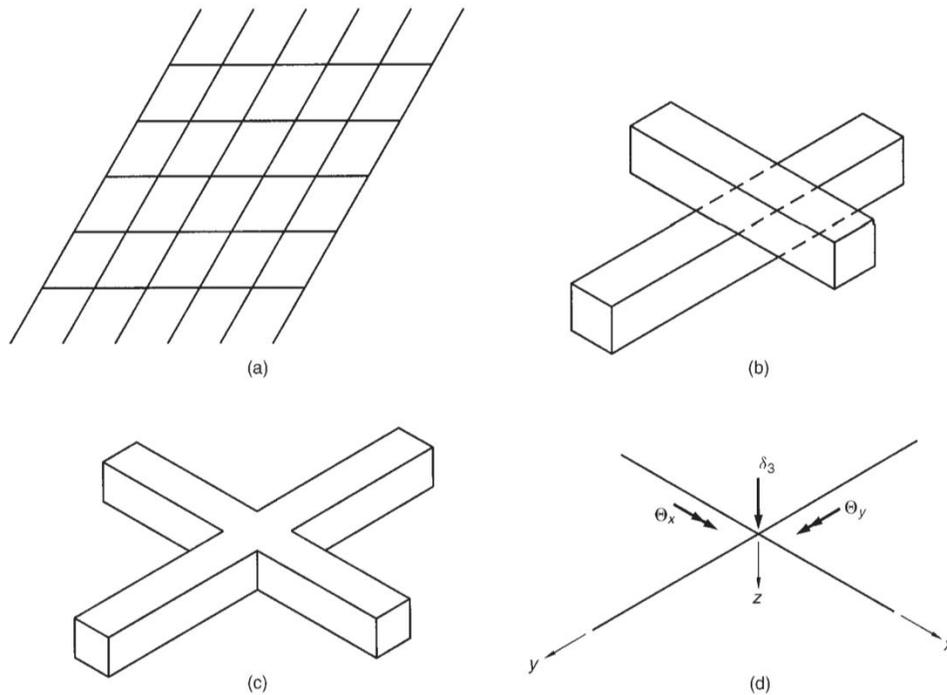


Figura 8. (a) Modelo de parrilla, (b) cruce con continuidad traslacional, (c) cruce con traslación y continuidad rotacional, y (d) grados de libertad en el modelado en parrilla (rejilla plana).

Fuente: (Barker & Puckett, 2013)

Este tipo de sistema sería similar al modelado de una placa con una serie de vigas cruzadas donde un elemento se instala encima del otro como se muestra en las Figuras 8(a) y 8(b). Es posible observar que, en la intersección de las vigas, la única fuerza de interacción entre los elementos es una fuerza vertical. Este tipo de conexión simplifica excesivamente el modelo de la cubierta, que es un continuo. En el continuo, una rotación de flexión en una dirección provoca una rotación torsional en una dirección ortogonal.

Considerando la articulación de la parrilla mostrada en la Figura 8(c), aquí la articulación es continua para la rotación en todas las direcciones, es decir, los desplazamientos de la articulación se definen con los tres desplazamientos (grados de libertad) mostrados en la figura 8(d), que incluye la translación vertical y dos rotaciones. Este tipo de articulación, en combinación con elementos que tienen rigidez tanto a la flexión como a la torsión, es más parecido al continuo y, por lo tanto, se puede modelar con mayor precisión. Este tipo de modelo numérico se denomina mallado (Barker & Puckett, 2013).

El método o modelado a través del mallado, se hizo popular a principios de 1960 con el avance de la computadora digital. Como las metodologías para el análisis de rigidez (o método de desplazamiento) de los marcos, eran bien conocidos, los investigadores buscaron formas convenientes para modelar continuos con elementos de marco.

Lo ideal sería que las rigideces de los elementos en el modelo de parrilla fueran tales, que cuando la plataforma continua sea sometida a una serie de cargas, el desplazamiento del continuo y de la parrilla sea idéntico. En realidad, el mallado sólo puede aproximarse al

comportamiento del continuo descrito por la Ecuación 1. La razón de esta diferencia es doble: (1) el desplazamiento en la parrilla tiende a ser más irregular (baches) que el continuo, y (2) el momento en la parrilla es una función de la curvatura a lo largo de la viga.

En la placa, el momento es una función de las curvaturas en dos direcciones ortogonales debido al efecto de Poisson. Afortunadamente, estos efectos son pequeños y se ha demostrado que el método de parrilla es un método viable de análisis, especialmente para determinar los efectos de carga sobre las vigas (Taranath, 2016).

2.3.2 Método de Cálculo de Fuerza Sísmica

2.3.2.1 Bases para el Diseño

Los procedimientos y limitaciones para el diseño de estructuras se deberán determinar considerando la zonificación, características del sitio, ocupación, configuración, sistema estructural y altura de la estructura de acuerdo con esta sección. Las fuerzas mínimas sísmicas de diseño deberán ser las determinadas de acuerdo con el procedimiento de fuerza lateral estática.

2.3.2.2 Zonas Sísmicas

A cada sitio se deberá asignar una zona sísmica de acuerdo con la Fig.5. A cada estructura se deberá asignar un factor de zona Z de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Factor de zona sísmica Z

ZONA SÍSMICA ^a	1	2	3	4	5	6
Z	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35

Fuente: (Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, 2008)

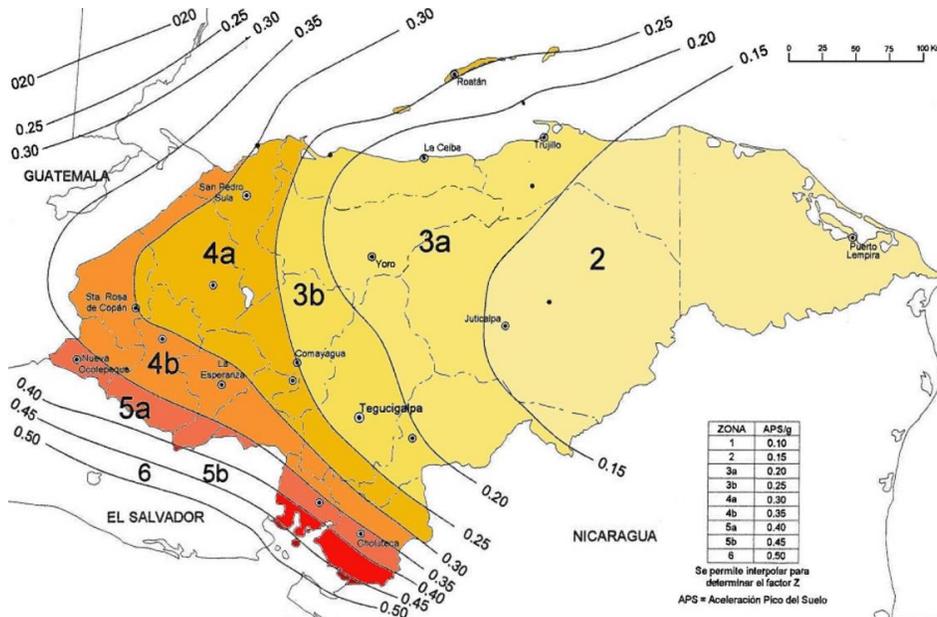


Figura 9. Mapa de Zonas Sísmicas

Fuente: (Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, 2008)

2.3.2.3 Geología del Sitio y Características del Suelo

El tipo de perfil del suelo y los coeficientes del sitio S , deberán establecerse de acuerdo con la Tabla 2.

Tabla 2. Coeficiente del suelo S^a y parámetros para curvas de espectro^b

Tipo	Descripción	Coeficiente	Parámetros para espectros		
			Períodos en segundos		Exponente
			T_a	T_b	e
1	Un perfil de suelo con: (a) Un material tipo roca caracterizado por una velocidad de onda cortante mayor que 760 m/s o por otros medios adecuados de clasificación, o (b) Condiciones de suelo medio-denso a denso, o medio-duro a duro, donde la profundidad del suelo es menor que 60 metros.	1.0	0.155	0.364	2.00
2	Un perfil de suelo con condiciones predominantes de suelo medio-denso a denso, o medio-duro a duro, donde la profundidad del suelo excede los 60 metros.	1.2	0.186	0.524	2.00
3	Un perfil de suelo que contiene más de 6 metros de arcilla blanda a media-duro, pero no más de 12 metros de arcilla blanda.	1.5	0.233	0.818	2.00
4	Un perfil de suelo que contiene más de 12 metros de arcilla blanda, caracterizado por una velocidad de onda cortante menor que 150 m/s.	2.0	0.310	1.455	2.00
notas	El coeficiente del sitio deberá determinarse de datos geotécnicos adecuadamente respaldados. En los lugares donde las propiedades del suelo son desconocidas en suficiente detalle como para determinar el tipo de perfil de suelo, se deberá suponer un perfil de suelo tipo S3; no será necesario asumir un perfil de suelo tipo S4 a menos que el Supervisor determine que un perfil de suelo S4 puede existir en el sitio, o en el caso de que se establezca un perfil de suelo S4 por datos geotécnicos.				
	Los parámetros de curvas para espectros de respuesta se utilizan en los procedimientos dinámicos de análisis. Ver la Sección 3.6.5.7 y la Figura 3.6-1 para los espectros de respuesta para diseño correspondientes a cada Zona Sísmica y Perfil de Suelo.				

Fuente: (Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, 2008)

2.3.2.4 Categorías de Ocupación

Para el propósito de diseño resistente a sismos, cada estructura deberá colocarse en una de las categorías de ocupación indicadas en la Tabla 3. La Tabla 3 indica los factores de importancia I , y los requisitos característicos para cada categoría.

Tabla 3. Categoría de ocupación y factores de importancia

Categoría de Ocupación	Descripción de la ocupación o funciones de la estructura	Factor de importancia sísmica I	Factor de importancia sísmica ^a I_p	Factor de importancia de viento I_w
Estructuras esenciales	Hospitales y otros centros médicos que tienen áreas de cirugía y emergencia. Estaciones de bomberos y policía Garajes y refugios para vehículos y aeronaves de emergencia. Estructuras y refugios en centros de preparación para emergencias. Torres de control de aviación. Estructuras y equipos esenciales del gobierno. Centros de comunicación y otros centros requeridos para la responder a una emergencia. Plantas y equipos generadores de energía para estructuras esenciales. Tanques y otras estructuras que albergan, contienen o soportan agua contra incendios requerida para la protección de estructuras con Categoría tipo 1, 2 o 3.	1.25	1.50	1.15
Estructuras peligrosas	Estructuras que albergan, contienen o soportan sustancias o químicos tóxicos o explosivos en cantidades suficientes que serían peligrosas a la seguridad del público en general si se soltaran.	1.25	1.50	1.15
Estructuras de ocupación especial	Centros de reuniones públicas para más de 300 personas. Escuelas y centros para niños o infantes. Universidades y centros similares para más de 500 estudiantes. Centros de inválidos para más de 50 residentes. Todas las estructuras para más de 5,000 personas. Las estructuras y equipos de plantas generadoras de energía; y otros centros de servicios públicos no incluidos en las Categorías 1 y 2, y que su operación continua es requerida.	1.00	1.00 ^b	1.00
Estructuras ordinarias	Todas las estructuras que tienen una ocupación o función no incluida en las Categorías 1, 2 o 3.	1.00	1.00 ^b	1.00
La limitación de I_p para la conexión de paneles en la Sección 3.8.2.4, deberá ser 1.00 para todo el conector.				
Para el anclaje de maquinaria y equipo requerido para sistemas de seguridad de vidas humanas, el valor de I_p deberá tomarse como 1.5.				

Fuente: (Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, 2008)

2.3.2.5 Sistemas Estructurales

Los sistemas estructurales deberán ser clasificados como uno de los tipos indicados en la

Tabla 4.

Tabla 4. Coeficiente R_w para sistemas estructurales

Sistema básico estructural ^a	Descripción del sistema resistente a fuerzas laterales	R_w ^b	Altura ^c (metros)
Sistema con muros de carga	1. Paredes livianas con marco y paneles de cortante		
	a) Paneles de paredes de madera para estructuras de 3 pisos o menos	8	20
	b) Todas las otras paredes livianas	6	20
	2. Muros cortantes		
	a) Concreto	6	50
	b) Mampostería	6	50
	3. Muros de carga livianos de acero con riostras solo en tensión	4	20
	4. Marcos arriostrados donde las riostras soportan cargas gravitacionales		
	a) Acero	6	50
	b) Concreto ^d	6	-
c) Madera pesada	4	20	
Sistema de marco de edificio	1. Marco arriostrado excéntrico de acero (MAE)	10	75
	2. Paredes livianas con marco y paneles de cortante		
	a) Paneles de paredes de madera para estructuras de 3 pisos o menos	9	20
	b) Todas las otras paredes livianas	7	20
	3. Muros cortantes		
	a) Concreto	8	75
	b) Mampostería	8	50
	4. Marcos arriostrados comunes		
	a) Acero	8	50
	b) Concreto ^d	8	-
c) Madera pesada	8	20	
5. Marcos arriostrados concéntricos especiales de acero	9	75	
Sistema de marco rígido	1. Marcos rígidos especiales (MRE)		
	a) Acero	12	S.L.
	b) Concreto	12	S.L.
	2. Marco-muro rígido de mampostería	9	50
	3. Marcos semirrígidos de concreto (MSR) ^e	8	-
	4. Marcos rígidos comunes (MRC)		
a) Acero	6	50	
b) Concreto ^f	5	-	
Sistemas dobles	1 Muros cortante		
	a) Concreto con MRE	12	S.L.
	b) Concreto con MRC de acero	6	50
	c) Concreto con MSR de concreto ^e	9	50
	d) Mampostería con MRE	8	50
	e) Mampostería con MRC de acero	6	50
	f) Mampostería con MSR de concreto ^d	7	-
	2 Marco arriostrado excéntrico de acero (MAE)		
	a) con MRE de acero	12	S.L.
	b) con MRC de acero	6	50
	3 Marcos arriostrados comunes		
	a) Acero con MRE de acero	10	S.L.
	b) Acero con MRC de acero	6	50
	c) Concreto con MRE de concreto ^d	9	-
	d) Concreto con MSR de concreto ^d	6	-
	4 Marcos arriostrados concéntricos especiales		
a) Acero con MRE de acero	11	S.L.	
b) Acero con MRC de acero	6	50	
No definido	Ver Secciones 3.4.8.3 y 3.4.9.2	-	-
Los sistemas básicos estructurales están definidos en la Sección 3.4.6.			
Ver la Sección 3.5.3 para la combinación de sistemas estructurales.			
Altura límite en metros (S.L. = sin límite) aplicable a las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6. Ver la Sección 3.4.7.			
Prohibido en las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6.			
Prohibido en las Zonas Sísmicas 4, 5 y 6, excepto como se permite en la Sección 3.9.2.			
Prohibido en las Zonas Sísmicas 3, 4, 5 y 6. Ver la Sección 3.8.2.7.			

Fuente: (Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, 2008)

2.3.2.6 Selección del Procedimiento para Determinar las Fuerzas Sísmicas

2.3.2.6.1 Análisis Estático

El procedimiento del análisis estático puede ser utilizado para las siguientes estructuras:

- a) Todas las estructuras, regulares o irregulares, en la Zona Sísmica 1 y con Categoría de Ocupación 4, ubicadas en las Zonas Sísmicas 2 y 3.
- b) Estructuras regulares de una altura menor a 75 metros, con resistencia a cargas laterales proporcionada por los sistemas descritos en la Tabla 4.
- c) Estructuras irregulares con no más de 5 pisos o con una altura que no exceda 20 metros.
- d) Estructuras que tienen una parte superior flexible apoyada en una parte inferior rígida, donde ambas partes de la estructura consideradas separadamente se pueden clasificar como regulares, la rigidez promedio de los pisos de la parte inferior es por lo menos 10 veces la rigidez promedio de los pisos de la parte superior, y el período de toda la estructura no es mayor que 1.1 veces el período de la parte superior considerada como una estructura separada y empotrada en su base.

2.3.2.7 Fuerzas Mínimas Laterales de Diseño y Efectos Relacionados

2.3.2.7.1 Generalidades

Las estructuras deberán diseñarse para fuerzas sísmicas que actúan en cualquier dirección horizontal. Se puede asumir que las fuerzas sísmicas de diseño actúan separadamente en la dirección de cada eje principal de la estructura.

El peso sísmico W , es el peso total de la carga muerta más las porciones de otras cargas indicadas a continuación:

- a) En ocupaciones para almacenes y bodegas, deberá incluirse por lo menos el 25% de la carga viva de piso.
- b) Cuando una carga por divisiones se utiliza en el diseño del piso, se deberá incluir una carga no menor que 50 Kg/m².
- c) Se deberá incluir el peso total del equipo o maquinaria permanente.

2.3.2.7.2 Procedimiento Estático para Determinar las Fuerzas Sísmicas

2.3.2.7.2.1 Cortante de Diseño en la Base

El cortante total de diseño en la base en una dirección establecida, deberá determinarse por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{ZIC}{R_W} W$$

Ecuación 2. Fuerza Cortante en la Base

$$C = \frac{1.25 S}{T^{2/3}}$$

Ecuación 3. Coeficiente C para Cálculo de Cortante

El valor de **C** no necesita exceder 2.75, y este valor puede utilizarse para cualquier estructura sin consideraciones de tipo de suelo o período de la estructura.

El valor mínimo de **C/R_W** deberá ser 0.075, excepto para las disposiciones donde las fuerzas prescritas por estas normas son aumentadas por **3(R_W/8)**.

2.3.2.7.2.2 Período de la Estructura

El valor de **T** deberá determinarse de uno de los métodos siguientes:

a) **Método A:** Para todos los edificios, el valor de T puede aproximarse de la ecuación siguiente:

$$T = C_t (h_n)^{3/4}$$

Ecuación 4. Periodo Fundamental de la Estructura

donde:

$C_t = 0.0853$ para marcos rígidos de acero.

$C_t = 0.0731$ para marcos rígidos de concreto reforzado y marcos arriostrados excéntricamente.

$C_t = 0.0488$ para todos los otros edificios.

Alternativamente, el valor de C_t para estructuras con muros cortante de concreto o mampostería puede tomarse como:

$$C_t = \frac{0.0743}{\sqrt{A_c}}$$

Ecuación 5. Coeficiente para Cálculo de Periodo

El valor de A_c está dado en m^2 , y deberá determinarse de la siguiente ecuación:

$$A_c = \sum A_e \left[0.2 + (D_e/h_n)^2 \right]$$

Ecuación 6. Relación Ponderada del Área Resistente

El valor de D_e/h_n usado en la ecuación 6 no deberá exceder 0.9.

b) **Método B:** El período fundamental T puede ser calculado utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes en un análisis adecuadamente comprobado. Este requisito puede satisfacerse utilizando la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n w_i \delta_i^2 \right) \div \left(g \sum_{i=1}^n f_i \delta_i \right)}$$

Ecuación 7. Cálculo del Periodo Fundamental Utilizando el Método B

Los valores de f_i representan cualquier fuerza lateral distribuida aproximadamente en concordancia con los principios de las ecuaciones (3.5-6), (3.5-7) y (3.5-8), o cualquier otra distribución racional. Las deflexiones elásticas δ_i , deberán calcularse usando la aplicación de las fuerzas laterales f_i . El valor de T del Método B, no deberá ser mayor que el 40% del valor de T obtenido del Método A.

2.3.2.7.2.3 Distribución Vertical de la Fuerza Cortante en la Base

La fuerza total V , en ausencia de un procedimiento más riguroso, deberá distribuirse sobre la altura de la estructura de acuerdo con las ecuaciones 6, 7 y 8.

$$V = F_t + \sum_{i=1}^n F_i$$

Ecuación 8. Distribución Vertical de la Fuerza Cortante

La fuerza concentrada en la parte superior de la estructura F_t , la cual es adicional a F_n , deberá determinarse de la siguiente ecuación:

$$F_t = 0.07TV$$

Ecuación 9. Fuerza Concentrada en la Parte Superior de la Estructura

El valor de T con el propósito de calcular F_t , puede ser el período que corresponde al cortante de diseño de la base, determinado por la ecuación 1. El valor de F_t no necesita exceder

$0.25V$ y puede considerarse igual a cero cuando el período T es menor o igual a 0.7 segundos. La parte restante del cortante en la base V deberá distribuirse sobre la altura de la estructura, incluyendo el nivel n , de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

Ecuación 10. Distribución de la Fuerza Cortante Horizontal en la Estructura

En cada nivel designado como x , la fuerza F_x deberá aplicarse sobre el área del edificio de acuerdo con la distribución de masas en ese nivel. Los esfuerzos en cada elemento estructural deberán calcularse como el efecto de las fuerzas F_x y F_t aplicadas a los niveles apropiados sobre la base.

2.3.2.7.2.4 Distribución Horizontal de Cortante

El cortante de diseño de piso V_x , para cualquier piso, deberá ser la suma de las fuerzas F_t y F_x sobre ese piso. El valor de V_x deberá distribuirse entre los diferentes elementos del sistema resistente a fuerzas laterales, en proporción a su rigidez, considerando la rigidez del diafragma.

Cuando los diafragmas no son flexibles, se deberá suponer que la masa en cada nivel está desplazada del centro de masas calculado en cada dirección, una distancia igual al 5% de la dimensión del edificio en ese nivel perpendicular a la dirección de la fuerza bajo consideración. Deberá considerarse el efecto de este desplazamiento de la fuerza en la distribución del cortante en el piso.

Para propósitos de distribución de cortante y momentos torsionantes en pisos, los diafragmas deberán considerarse flexibles cuando la deformación máxima lateral del diafragma es más que 2 veces el desplazamiento lateral promedio relativo del piso correspondiente. Esto puede determinarse comparando la deflexión en el plano calculada en el centro del diafragma bajo la carga lateral, con el desplazamiento lateral relativo de piso de los elementos resistentes verticales adjuntos bajo una carga tributaria lateral equivalente (Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras, 2008).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Este capítulo se explica las técnicas utilizadas, procedimientos y/o metodologías. Es también una descripción del proyecto de investigación, que explica cómo se llevó a la práctica y como se proporciona la información necesaria.

3.1 Congruencia Metodológica

3.1.1 Matriz Metodológica

Tabla 5. Matriz metodológica

Problema	Preguntas de Investigación	Objetivo		Variables	
		Generales	Específicos	Independientes	Dependientes
Limitado conocimiento del comportamiento de losas compuestas por concreto y elementos metálicos laminadas en frío ante combinaciones de servicio de sismo.	¿Cuál es el efecto de las variaciones geométricas en el comportamiento del entepiso?	Estudiar el comportamiento de losas compuestas por concreto y elementos metálicos tipo canal conformados en frío, ante combinaciones de cargas sísmicas; a través de una simulación por computadora aplicando el	Conocer el efecto de las variaciones geométricas en el comportamiento del entepiso.	Geometría	Simulación
	¿Cómo afecta la utilización de los diferentes sistemas estructurales en el comportamiento del entepiso?	método de elementos finitos, para la evaluación y descripción de una	Determinar la influencia de los sistemas estructurales en el comportamiento del entepiso	Sistema Estructural	
	¿Qué tipo de comportamiento diafragmático tiene el entepiso ante una		Evaluar el comportamiento diafragmático del entepiso sometido a	Fuerza Sísmica	

	combinación sísmica de servicio?	configuración con un comportamiento estructural óptimo.	combinaciones de carga sísmica		
	¿Cuál es el efecto de los diferentes tipos de conexión en el comportamiento del entrepiso?		Evaluar el efecto del tipo de conexión en el comportamiento del entrepiso	Configuración Estructural	
	¿Qué configuración estructural tiene un adecuado comportamiento?		Proponer una configuración estructural que tenga un comportamiento óptimo ante carga sísmica.		

3.1.2 Definición y Operacional de las Variables

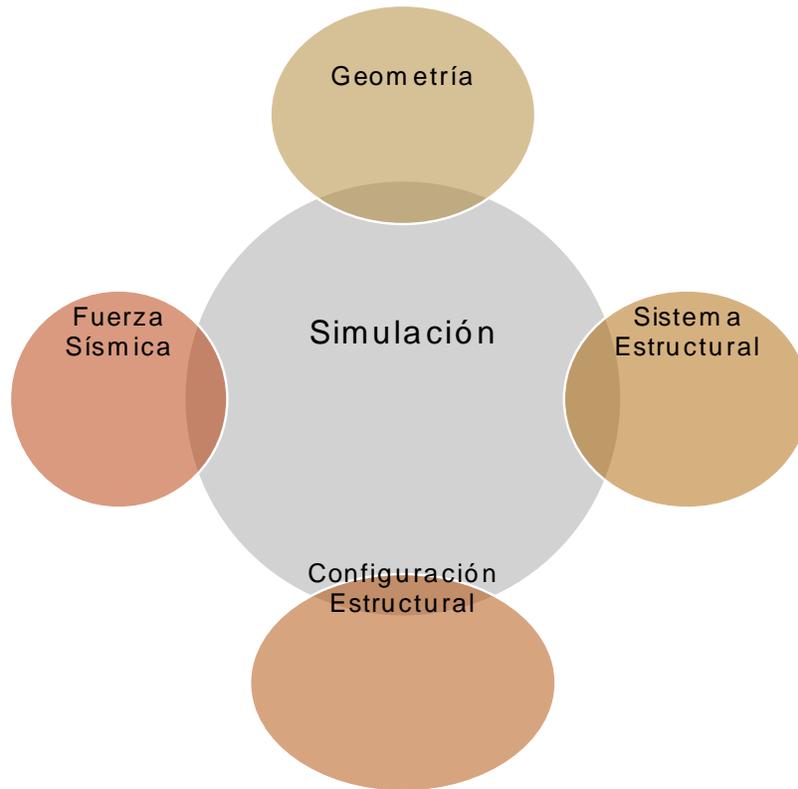


Figura 10. Definición de las variables

Geometría: es la relación que existe entre el ancho y largo del tablero de la losa de entrepiso.

Sistema Estructural: son los tipos de sistemas resistentes de cargas laterales, para nuestro caso en particular utilizaremos los sistemas más comunes en viviendas unifamiliares en Honduras, marcos rígidos y mampostería confinada.

Configuración Estructural: se define como las formas de construir el entrepiso, por ejemplo: tipo de canaleta y espaciamiento, tipo de lámina, espesor de losa de concreto y tipo de conexión entre lámina y canaleta.

Fuerza Sísmica: Magnitud vectorial que describe la relación entre aceleración sísmica y masa.

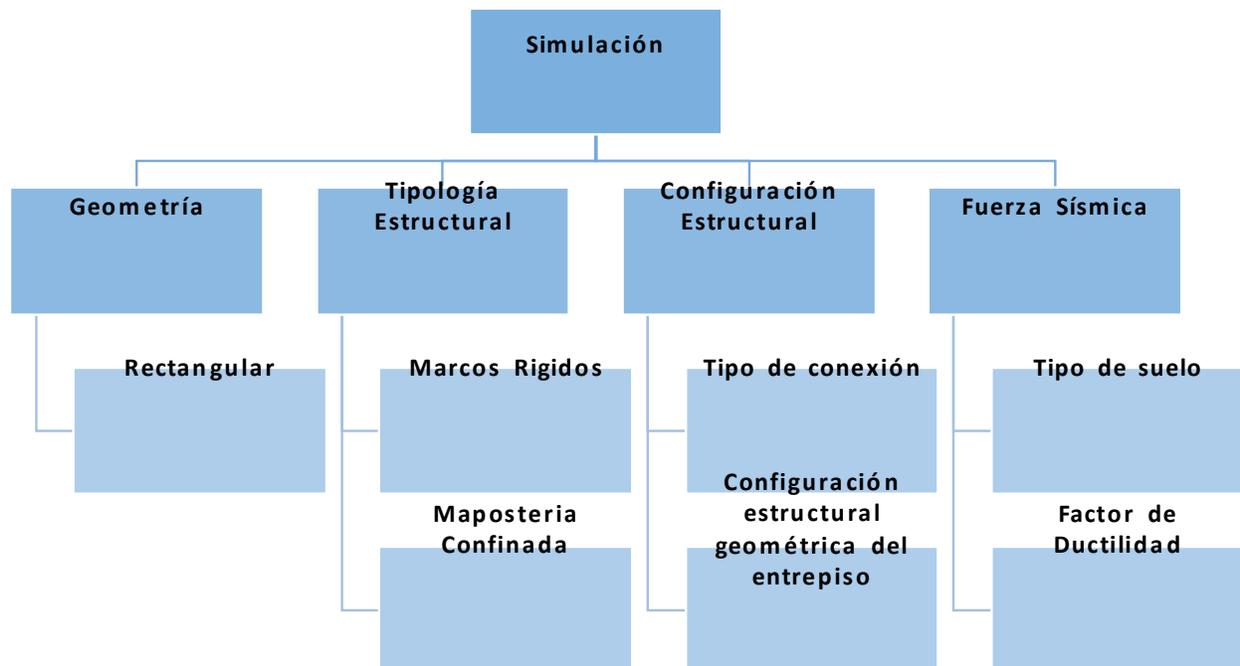


Figura 11. Diagrama de variables y dimensiones

3.2 Enfoque y Métodos

La Ingeniería Civil en general busca describir y comprender diferentes fenómenos que influyen en la resolución de los problemas estas descripciones se realizan a través de mediciones, en este caso en particular la mayoría de las mediciones se obtienen de pruebas de laboratorio, simulaciones realizadas o encuestas sobre un evento en particular, es por esta razón que podemos decir que esta investigación predomina completamente el enfoque cuantitativo.

El enfoque cuantitativo (que representa, como ha sido mencionado, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, es posible redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las

preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis (Hernández-Sampieri, 2014).

El enfoque cualitativo también se guía por áreas o temas significativos de investigación. Sin embargo, en lugar de que la claridad sobre las preguntas de investigación e hipótesis preceda a la recolección y el análisis de los datos (como en la mayoría de los estudios cuantitativos), los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de los datos. Con frecuencia, estas actividades sirven, primero, para descubrir cuáles son las preguntas de investigación más importantes; y después, para perfeccionarlas y responderlas. La acción indagatoria se mueve de manera dinámica en ambos sentidos: entre los hechos y su interpretación, y resulta un proceso más bien “circular” en el que la secuencia no siempre es la misma, pues varía con cada estudio (Hernández-Sampieri, 2014).

Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio (Hernández-Sampieri, 2014).

Mediante dicho apartado se puede establecer que la investigación está configurada bajo un enfoque cuantitativo, ya que de acuerdo a sus características, se proyecta realizar la medición

de las propiedades mecánicas de los elementos metálicos rolados en frío en el desempeño y/o funcionamiento en determinada obra, utilizando ciertas herramientas técnicas y computaciones de simulación estructural, para describir el comportamiento de la estructura; utilizando para ello un proceso secuencial y deductivo que permita la ejecución de un análisis objetivo de la realidad que se está estudiando, y de esa manera poder obtener datos precisos.

Generalmente, el enfoque cuantitativo usa la recolección de datos para describir, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Además, es sumamente fundamental mencionar que una investigación fidedigna establece que la realidad objetiva es diferente de nuestras creencias, dichas creencias o aseveraciones iniciales deben ser sustancialmente transformadas y/o acoplarse a la realidad encontrada, o, en otras palabras, es posible resumir que la “realidad” no cambia, es la misma; lo que debe ser ajustado es el conjunto de creencias o hipótesis del investigador.

En última instancia y de acuerdo a los tipos de la investigación científica debidamente incorporados en la clasificación de la misma, es posible establecer que éste trabajo posee determinadas características que permiten la conformación de una conjunción de varios métodos de investigación en un solo documento, donde sus respectivas definiciones fundamentales contienen determinados rasgos esenciales que pudiesen definir y/o delimitar éste estudio o investigación científica, sobre los procedimientos técnicamente recomendados para diseñar en forma adecuada una estructura metálica bajo el uso de elementos rolados en frío.

3.3 Diseño de la Investigación

La investigación se realizó en un periodo académico del cual se realizaron diferentes etapas por semana, presentando en las primeras semanas el anteproyecto de tesis, las próximas semanas se dedicaron a la fundamentación, recopilación y análisis de la información obtenida. La recopilación de la información consto de tres etapas la primera consistió en conocer las variables utilizadas en el entorno nacional a través de una encuesta, la segunda realizar una simulación con las variables obtenidas de la encuesta para analizar y describir su comportamiento, la tercera etapa consistió en el planteo de la propuesta con el objetivo de optimizar el comportamiento del entepiso.

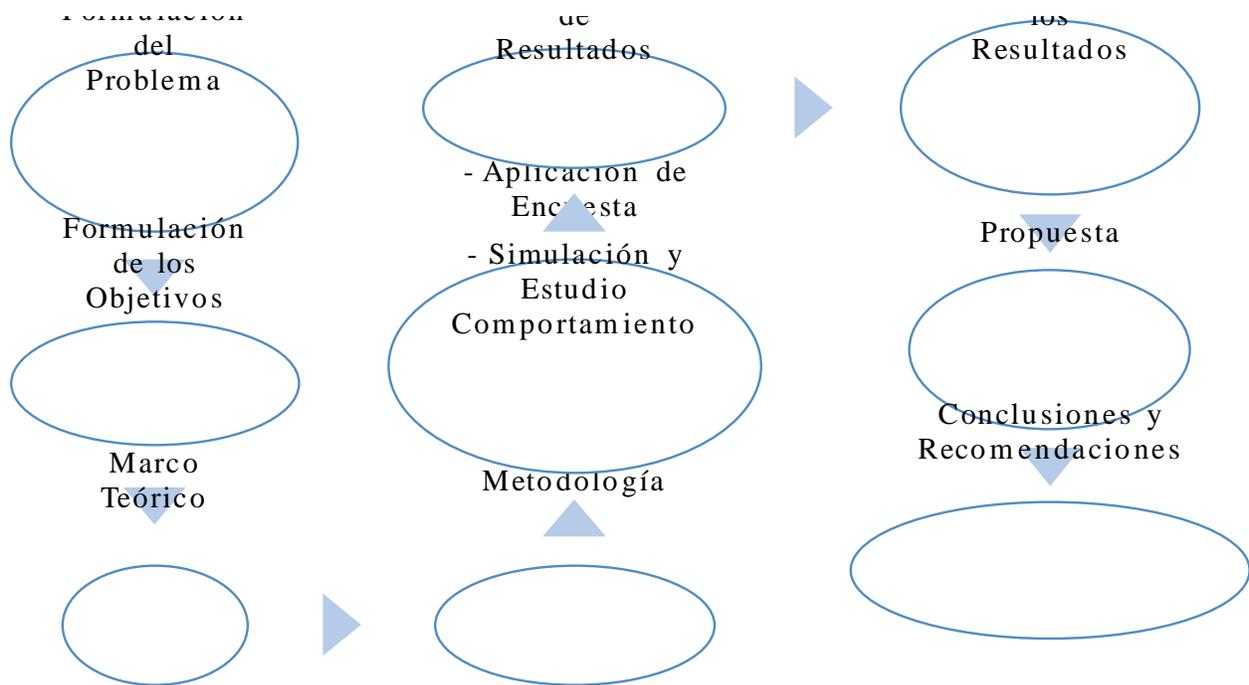


Figura 12. Diseño de la Investigación

3.3.1 Población

Para el calculo de nuestra muestra se considero un tamaño de muestra “n” de 3,500 Ingenieros Civiles activos en Tegucigalpa, un nivel de confianza “alpha” del 90% y una

confiabilidad de la muestra del 10%. El resultado del calculo del tamaño de la muestra es de 66 encuestas.

3.3.2 Muestra

La muestra es una parte o porción de la población seleccionada para análisis. Se utiliza la técnica de muestra probabilística, en la cual todos los elementos del subgrupo tienen posibilidad de ser escogidos. Para poblaciones grandes, o que tienden a ser infinitas será necesario realizar más observaciones que en las poblaciones finitas o más pequeñas (Lavine, Berenson, & Krehbiel, 2006).

El tamaño de la muestra según Morales Vallejo (2012) se calcula como muestra la siguiente ecuación:

$$TM = \frac{N * (\alpha * 0.5)^2}{1 + (e^2 * (N - 1))}$$

Ecuación 11. Cálculo para el Tamaño de la Muestra

Donde alpha es el nivel confianza en otras palabras es el riesgo que aceptamos de equivocarnos al presentar nuestros resultados el nivel habitual de confianza es del 95%, e se define como el margen de error de la muestra suele definirse entre 2 a 5% y N es el tamaño de la población.

3.3.3 Unidad de Análisis

Para esta investigación se definió como unidad de análisis los ingenieros civiles activos en la ciudad de Tegucigalpa.

3.3.3 Unidad de Respuesta

Tomando como referencia la orientación técnica de esta investigación se definió como unidad de respuesta: unidades y porcentajes.

3.4 Instrumentos, Técnicas y Procedimientos Aplicados

3.4.1 Instrumentos

El principal instrumento de recolección fue la utilización de un cuestionario, mediante el cual se preguntó a la muestra acerca de cada variable. Para la simulación se utilizó un software computacional para obtener los datos que describen el comportamiento.

3.4.2 Técnicas

Debido a que el enfoque cuantitativo de esta investigación se diseñó una encuesta, con el objetivo de recopilar información sobre las variables de investigación, y se estudió a través de una simulación la influencia de estas variables en el comportamiento del empresario.

3.4.3 Procedimientos Aplicados



Figura 13. Procedimientos Aplicados en la Investigación

3.5 Fuentes de Información

3.5.1 Fuentes Primarias

La información primaria se obtuvo a través de libros académicos de consulta.

3.5.2 Fuentes Secundarias

Entre las fuentes secundarias utilizadas, podemos mencionar, pero no limitado a: tabulación de encuestas y consulta a expertos en el tema, artículos de revistas, páginas de internet, tesis relacionadas a la temática de estudio.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo, se muestra un resumen explicativo de los resultados más importantes que han resultado producto de la investigación y estudio técnico del tema desarrollado, así como un análisis descriptivo de dichos resultados, los cuales serán la plataforma o dirección específica para la construcción de las recomendaciones y conclusiones.

4.1 Resultados y Análisis de la Encuesta

Pregunta 1; ¿Conoce alguna normativa de Diseño estructural que esté orientada al estudio de losas conformadas a base de canaletas o elementos metálicos fabricados en frío?

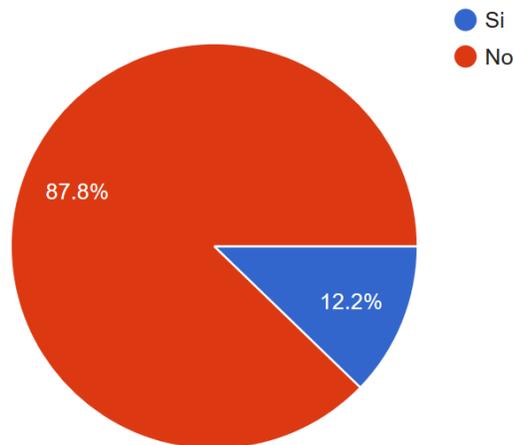


Figura 14. Conocimiento de Normativa sobre Diseño Estructural en Metal

Como génesis de todo proceso de diseño estructural, éste camino pasa por el hecho de conocer determinada normativa, ya sea nacional o internacional, para aplicar los lineamientos debidamente estipulados y reconocidos por instituciones técnicas, que a través de múltiples estudios y pruebas de laboratorio, han validado con el debido respaldo científico necesario todas las recomendaciones que los Ingenieros deben aplicar en estudios, motivo por el cual, es muy interesante poder apreciar que el 87.8% de los(as) encuestados(as) establecen que no conocen

alguna normativa de diseño que regule el uso de elementos conformados en frío, como lo son los perfiles en forma de canal (o mejor conocidos como canaletas) objeto de ésta investigación, donde éste hallazgo establece una línea o patrón de tendencia, que indica claramente el desconocimiento existente por parte de los profesionales de la Ingeniería Civil, en cuanto a la aplicación de recomendaciones reconocidas como “buenas prácticas”, para tomar en consideración al momento de trabajar con canaletas, dado que de acuerdo a lo mencionado a lo largo del documento, éstos elementos poseen diferentes propiedades en comparación a los elementos conformados en caliente.

Pregunta 2; ¿Qué tan segura ante carga sísmica, considera Ud. que es una losa de entrepiso conformada por canaleta y lamina de Aluzinc?

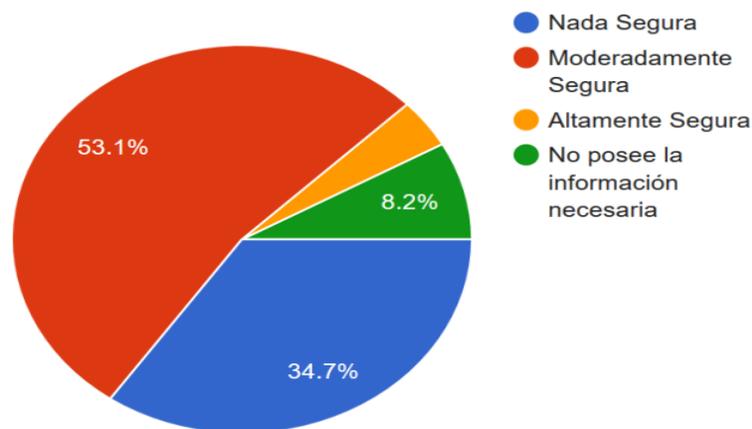


Figura 15. Grado de Seguridad de la Losa de Entrepiso ante Carga Sísmica

Un parámetro muy importante que vale la pena mencionar, radica en el hecho de que los profesionales consultados mencionaron en su mayoría (53.1%), que la solución de entrepiso a base de carpeta de concreto sobre un sistema de vigas conformadas por canaletas laminadas en frío, es moderadamente segura ante cargas sísmicas, lo cual se puede establecer que dicha solución es aceptable para el propósito de brindar seguridad estructural para el usuario de la obra,

pero, ésta afirmación es altamente debatible porque un 87.8% mencionó que desconocen sobre alguna normativa relacionada al tema de diseño estructural para perfiles conformados en frío (perfil C tipo canaleta para éste caso específico); lo cual representa una clara evidencia de que el criterio utilizado para establecer que éste sistema posee una seguridad media, radica en la experiencia directa o indirecta, porque sin poseer el conocimiento de una normativa, no se puede establecer de forma técnica o científica, la seguridad o inseguridad de un sistema.

Pregunta 3; En función de su conocimiento técnico y/o experiencia, ¿Ud. sabe que el procedimiento para fabricar canaletas (rolado en frío) es diferente al proceso de fabricación de otros tipos de perfiles metálicos (rolados en caliente) y que eso influye en sus propiedades mecánico-estructurales?

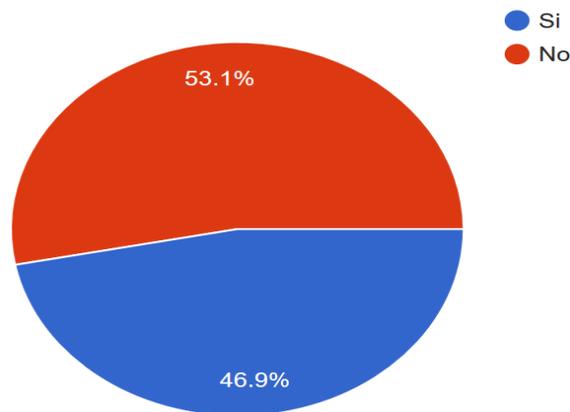


Figura 16. Conocimiento sobre la Fabricación de Acero en Caliente y en Frío

Otra evidencia contundente del “empirismo” utilizado durante el desarrollo y posterior construcción de éste tipo de sistema de entrepiso, radica en el hecho de que el 53.1% de los profesionales consultados, menciona que desconoce el factor perteneciente al proceso de fabricación de un perfil metálico conformado en caliente y otro conformado en frío, y más allá de eso, que las propiedades mecánicas predeterminadas para cada tipo de perfil, son totalmente diferentes, lo cual es un indicio para establecer que típicamente los profesionales usan de forma

indistinta los perfiles metálicos sin analizar las propiedades de los mismos y los usos recomendados en función de su composición natural, específicamente por el hecho de los perfiles rolados en caliente son fabricados netamente para fines estructurales, detalle que no sucede con los perfiles rolados en frío, dado que su uso está orientado a elementos secundarios que ayudan a rigidizar estructuras.

Pregunta 4; De acuerdo con su experiencia directa o indirecta ¿Por qué ha utilizado o recomendado la solución de losa de entrepiso a base de canaletas?

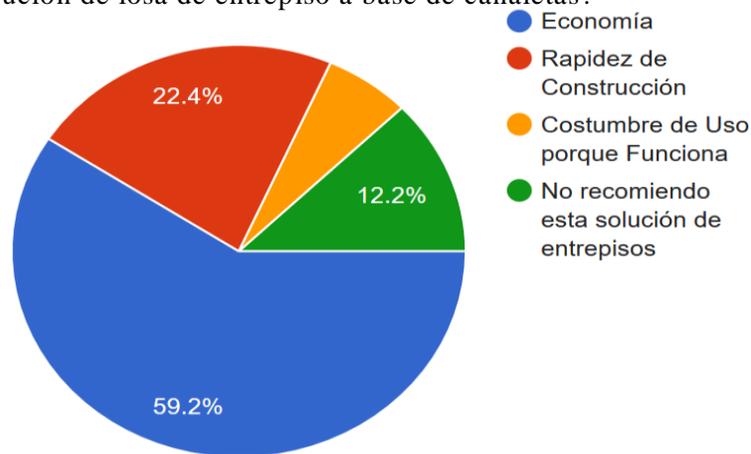


Figura 17. Razones para Utilizar/Recomendar Losas de Entrepiso con Canaleta

Naturalmente, ante la evidencia del desconocimiento sobre el diseño y uso de elementos metálicos conformados en frío, resulta característico poder establecer que el factor preponderante para recomendar o implementar este tipo de solución, radica en el factor económico, y el 59.2% avala que el bajo costo en una economía inestable se encuentra por encima del desconocimiento. En función de lo anterior, la razón fundamental para recomendar y/o utilizar este tipo de losas, recae en el factor netamente económico, más allá del aspecto estructural, el bajo costo de este sistema se presenta como el factor de decisión, porque se desconoce sobre normativas de diseño y procesos de fabricación de los perfiles metálicos en función de su temperatura de producción.

Pregunta 5; En las múltiples viviendas o diferentes construcciones visitadas o en las cuales haya estado involucrado(a), directa o indirectamente ¿Qué tipo de lámina ha sido utilizada con mayor frecuencia para este tipo de losas?

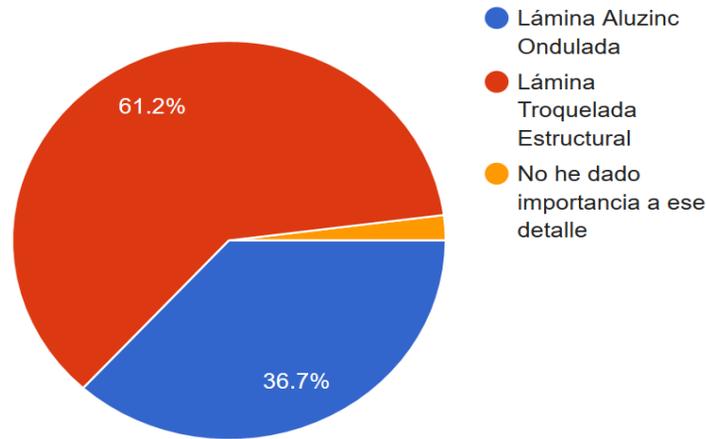


Figura 18. Tipo de Lámina utilizada en el Sistema de Entrepiso con Canaleta

Otro factor relevante en éste sistema, consiste en el hecho del tipo de lámina que se utiliza como encofrado inferior de la carpeta de concreto, dado que hay láminas creadas para fines estructurales, como por ejemplo la pieza troquelada, así como también existe la lámina para techo, del tipo ondulada conformada a base de aluminio y zinc (Aluzinc por su nombre comercial) que no es adecuada para soluciones estructurales de sistema de entrepiso, dado que desde su fabricación, las propiedades brindadas se limitan a un sistema de cubierta de techo; en función de lo anterior, es muy positivo que el 61.2% de los profesionales encuestados haya mencionado que utiliza o recomienda una lámina estructural, aunque también cabe mencionar de que una cantidad mayor que la mitad de ese grupo (36.7%), se inclina por la lámina ondulada, donde también se puede suponer que el factor económico es determinante en éste caso.

Pregunta 6; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto al calibre de la lámina, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

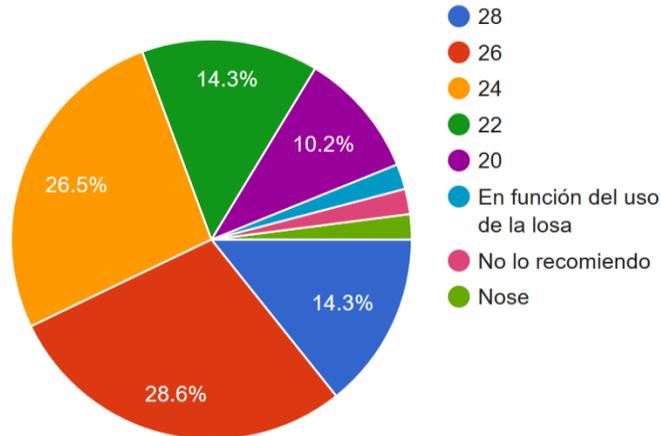


Figura 19. Tipo de Calibre en Lámina de la Losa de Entrepiso con Canaleta

Siempre en la misma temática de la lámina de encofrado, es necesario conocer la tendencia de los calibres (especificación técnica de grosor) mayormente utilizados, donde en este caso, los profesionales se inclinan principalmente por el calibre 26 (28.6%) y 28 (26.5%).

Pregunta 7; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto al espesor de concreto, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

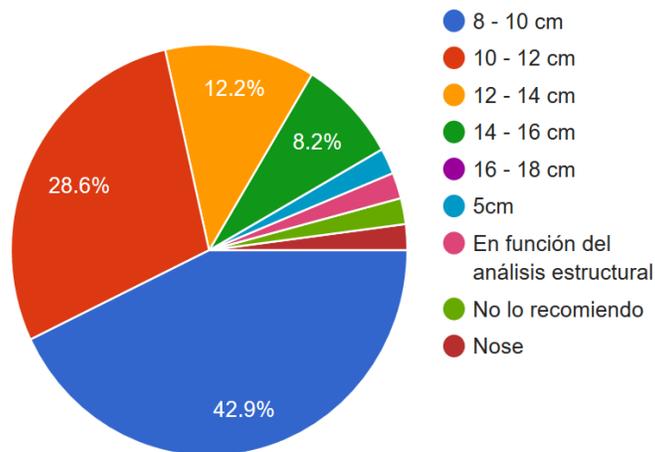


Figura 20. Espesor Utilizado/Recomendado de Concreto en la Losa de Entrepiso

Como éste sistema se denomina “losa aligerada” porque la carpeta de concreto no es una pieza completamente maciza debido a la forma geométrica de la lámina metálica que le sirve de formaleta o encofrado inferior (ya sea lámina ondulada o troquelada), los espesores son menores en comparación a las losas macizas de concreto, y en éste caso se confirma que los espesores más comunes para la carpeta de concreto (medido desde la parte más baja de la lámina hasta la superficie expuesta), oscilan entre 8 y 10 cm (42.9%), lo cual coincide con los valores típicamente resultantes del proceso de diseño para una obra del tipo residencial, ya que para otras obras con diferentes usos, por ejemplo estacionamiento, el espesor podría ser entre 14 y 16 cm.

Pregunta 8; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto a la separación "centro a centro" entre canaletas sencillas, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

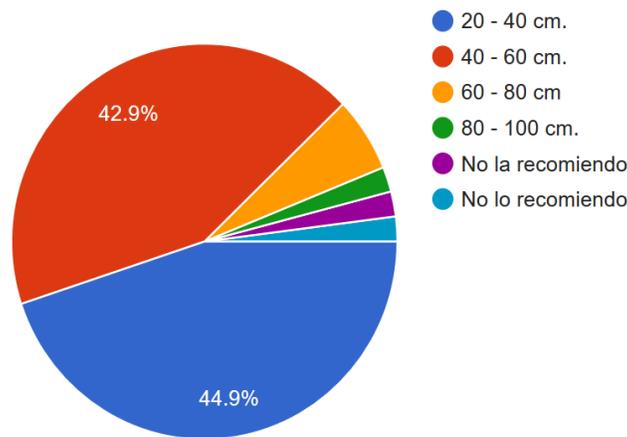


Figura 21. Separación/Espaciamento Transversal entre Canaletas Sencillas

Dado que existe desconocimiento sobre normativa técnica sobre el diseño de elementos conformados en frío, es de suma importancia conocer los valores de disposiciones estructurales que típicamente utilizan los profesionales consultados, y aquí se puede apreciar que las separaciones típicamente utilizadas entre canaletas sencillas (espaciamento centro a centro)

oscilan entre 20 y 40 cm (44.9%), además de 40 y 60 cm (42.9%) que aproximadamente equivale a 2 pies, esto en función de las experiencias de campo adquirida a través del tiempo, dado que éste valor coincide con las separaciones recomendadas para otras actividades constructivas de cerramiento interno, por ejemplo, la separación entre los postes de aluminio que se utilizan para rigidizar las divisiones internas a base de paredes de tablayeso, o las regletas principales en el entramado o mallado metálico para instalar el cielo falso suspendido; y es perceptible poder observar que separaciones mayores a 60 cm (2 pies), no son recomendadas y/o utilizadas para éste tipo de sistema de entepiso, muy probablemente por el tema de utilizar las recomendaciones que se han transmitido a través de las experiencias en el desarrollo y funcionamiento de ésta alternativa.

Pregunta 9; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto a la separación "centro a centro" entre canaletas dobles, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

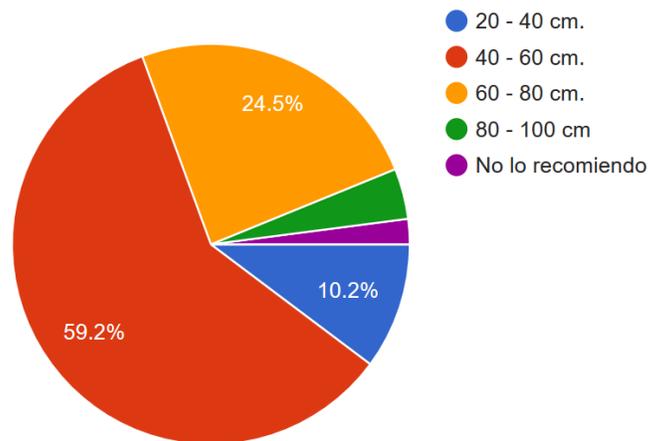


Figura 22. Separación/Espaciamento Transversal entre Canaletas Dobles

Intentando valorar el hecho de la influencia de la disposición geométrica de las canaletas, en este caso, uso de canaletas dobles adheridas a través de soldadura en su parte abierta para formar una viga tipo cajón, se puede apreciar que el 59.2% de los profesionales se inclina una

separación de 40–60cm entre las mismas, y un poco menos de la mitad (24.5%) establece que la separación podría extenderse hasta los 80 cm, lo cual refuerza la creencia que al duplicar la canaleta para conformar la sección transversal de la viga, es posible ampliar el margen del espaciamiento entre las mismas.

Pregunta 10; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto al claro máximo de las vigas a base de canaletas sencillas, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

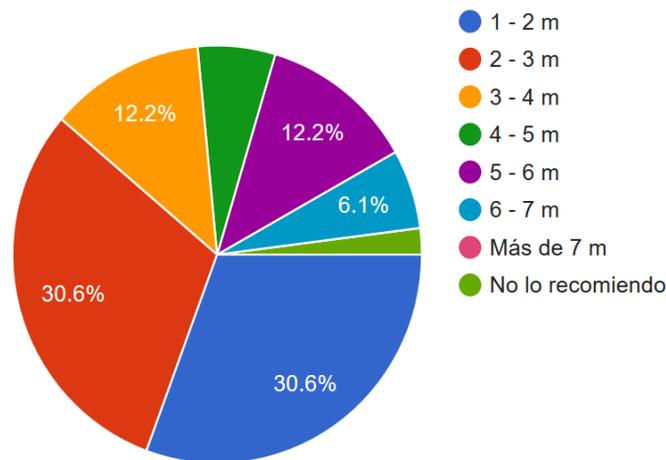


Figura 23. Longitud/Claro Máximo Utilizado/Recomendado para Canaleta Sencilla

Luego de haber consultado sobre las separaciones o espaciamiento entre canaletas sencillas, esto como parte de la configuración estructural del sistema de entrepiso, también es muy importante conocer el valor sobre la distancia longitudinal o luz máxima que típicamente los profesionales utilizan o recomiendan, donde en éste caso, la tendencia es exactamente igual (30.6%) para luces que van desde 1m hasta los 3m., lo cual, típicamente limita su uso en cuanto a vigas principales que requieren una longitud de claro mayor a los 3 m, y es por ello que las canaletas se desempeñan como vigas secundarias para atender la longitud corta de la losa de entrepiso, y de esa manera poder controlar las deflexiones para éste tipo de perfiles metálicos.

Pregunta 11; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto al claro máximo de las vigas a base de canaletas dobles, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

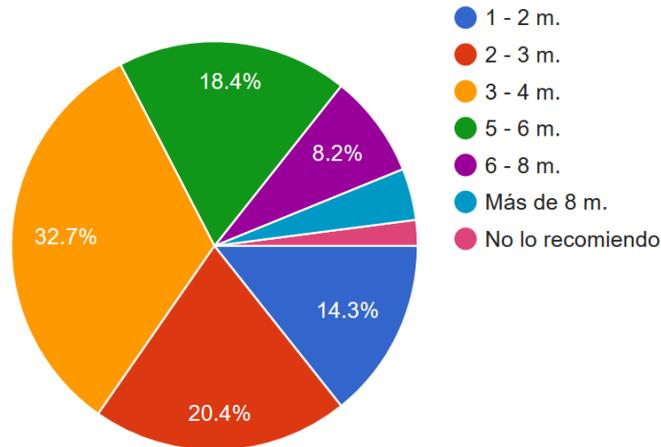


Figura 24. Longitud/Claro Máximo Utilizado/Recomendado para Canaleta Doble

Siempre bajo la temática de la luz máxima que los profesionales recomiendan para las canaletas, esto en base a experiencia previa o consultas, se puede apreciar que el 32.7% de los mismos utiliza o recomienda luces que oscilan entre 3 y 4m, mostrando nuevamente (al igual que la temática relacionada con el espaciamiento entre canaletas), que el factor de conformar una viga tipo cajón a base de conectar dos canaletas mediante soldadura, brinda mayor seguridad.

Pregunta 12; De acuerdo con su criterio técnico o experiencia en el diseño o construcción de este tipo de losas ¿Cómo desarrolla o ha visto que se construyen los apoyos de las vigas a base de canaletas?

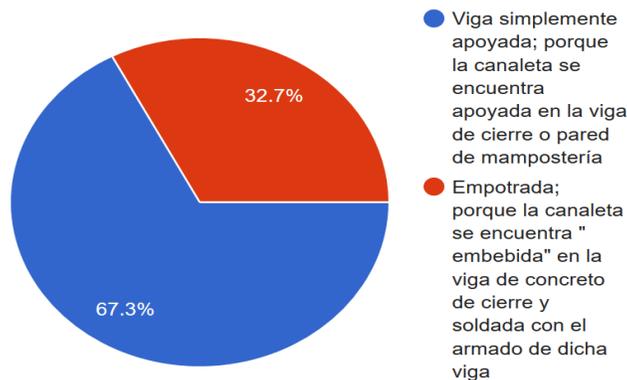


Figura 25. Criterio Técnico sobre Consideración de los Apoyos de la Canaleta

Adicionalmente, es importante analizar la percepción o criterio que el profesional posee sobre el modelo de apoyo entre la canaleta y el sistema de soporte (ya sea una viga de concreto o pared de mampostería confinada), donde el 67.3% establece que la canaleta funciona como una viga simplemente apoyada sin resistencia a movimientos rotacionales (apoyos articulados), y el 32.7% opina que la canaleta es concebida empotrada porque se genera alguna conexión entre la canaleta y el armado de la viga de concreto o solamente está “embebida”, aunque no se haya encontrado evidencia científica o técnica durante la investigación, sobre dicho procedimiento estructural, por lo cual se puede establecer que el fundamento sigue siendo la experiencia.

Pregunta 13; En función de su conocimiento técnico y/o experiencia sobre conectores de cortante en este tipo de losas aligeradas:

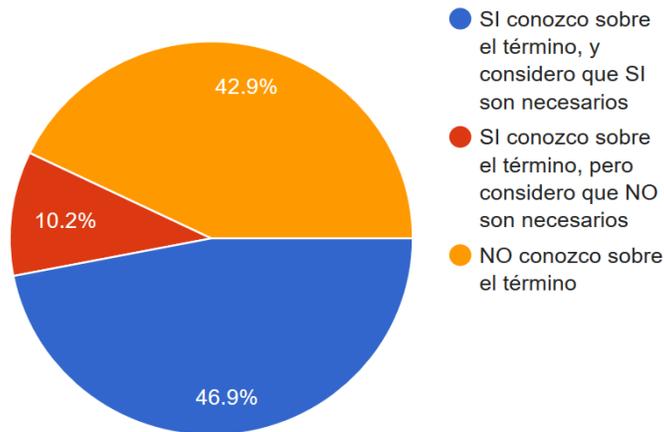


Figura 26. Conocimiento sobre Conectores de Cortante en Losas de Entrepiso

Ante cargas laterales, la losa de concreto podría deslizarse sobre la lámina metálica, y para ello se utilizan conectores de cortante, los cuales son piezas metálicas verticales que generan una conexión entre las vigas y la losa, pero es muy interesante poder apreciar que el 42.9% no conoce sobre dicho procedimiento, lo cual se puede interpretar que, durante la construcción de este tipo de losas, los elementos son instalados para funcionar únicamente por fricción.

4.2 Diagrama de Ishikawa

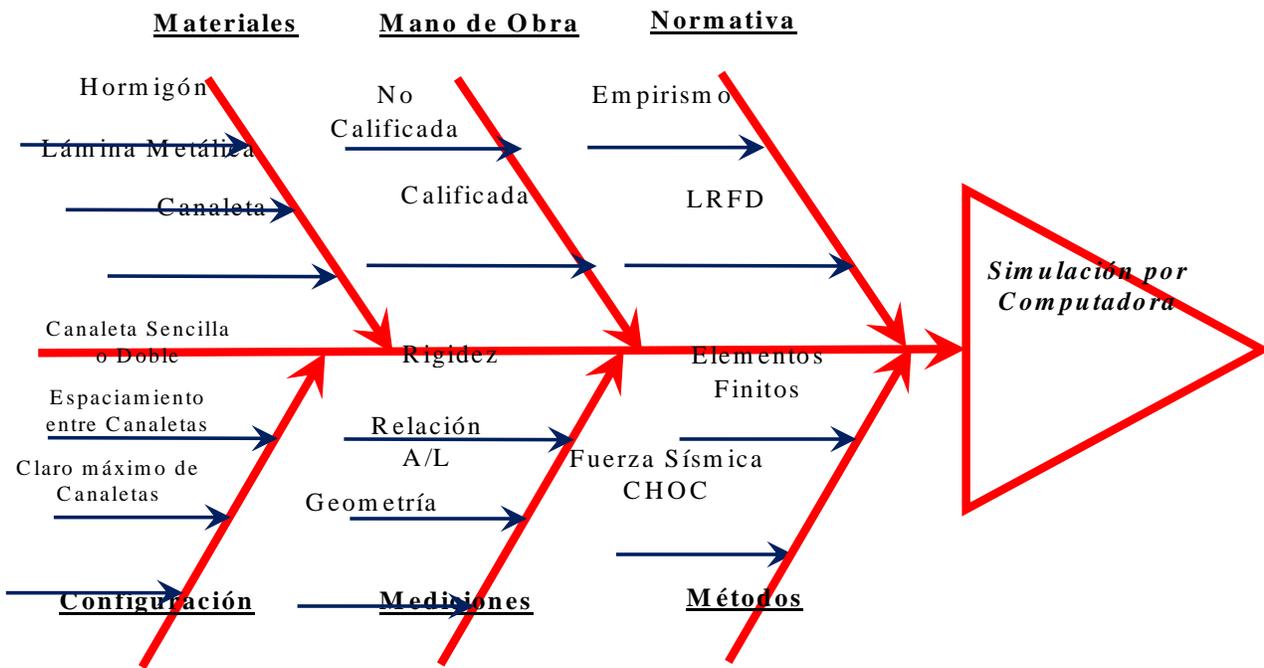


Figura 27. Diagrama de Ishikawa

4.2.1 Materiales

- Hormigón: propiedades mecánicas y de resistencia, tales como ser la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, módulo de poisson, entre otros parámetros determinantes que deben ser incorporados al modelo estructural del sistema de entrepiso.
- Lámina Metálica: existe una conexión importante relacionada con el calibre utilizado, el cual determina el espesor de dicha lámina, y que es o puede ser utilizado para configurar una sección transformada, buscando el objetivo de convertir el espesor de acero en un espesor equivalente de concreto que se incorpora a la carpeta preestablecida.
- Canaleta: dado que éste elemento representa una pieza metálica conformada en frío, la cual no ha sido creada con propiedades estructurales significativas, la geometría y calibre, representan parámetros que pudiesen afectar relativamente el comportamiento de la losa de entrepiso.

4.2.2 Mano de Obra

- a) No Calificada: generalmente cuando se refiere a Mano de Obra “No Calificada”, es posible incluir a los ayudantes o peones de una construcción, personal cuyo conocimiento técnico es limitado en determinadas áreas, y es por ello que su principal labor recae en el aspecto físico o trabajo netamente operativo bajo instrucciones específicas, y por tal razón, éste tipo de mano de obra puede influir negativamente durante la construcción de un sistema de entrepiso, en cuanto a los aspecto de instalación de la canaleta, lámina metálica y carpeta de concreto, porque se requiere determinado cumplimiento de todos los parámetros previamente definidos.
- b) Calificada: dentro del grupo de Mano de Obra Calificada se pueden incluir a todo el personal debidamente calificado en el aspecto técnico y/o constructivo para determinada área de la construcción, por ejemplo, un maestro de obra, albañil, electricista, soldador, armador de hierro, entre otros; los cuales, adicional al conocimiento de campo, poseen habilidades técnicas adquiridas, generalmente, mediante instrucción académica, y ese detalle es determinante al momento de instalar, no solamente éste tipo de losas de entrepiso, sino que todo tipo de estructura combinada de metal y concreto que requiera condiciones especiales de separación de elementos y conexiones adecuadas de las mismas.

4.2.3 Normativa

- a) Empirismo: desconocimiento de normativa estándar de diseño para éste tipo de losas que están conformadas con elementos metálicos conformados en frío, dado que en su gran mayoría, las normativas de diseño, están configuradas para elementos conformados en caliente, ya que sus propiedades mecánicas han sido configuradas para fines estructurales desde el momento de su fabricación; por lo tanto, las personas que utilizan o recomiendan éste

tipo de solución para sistemas de entrepiso, poseen un conocimiento técnico básico que ha sido adquirido a través de la experiencia propia, o intercambio de procedimientos con otros profesionales que han utilizado durante determinado periodo de tiempo ésta alternativa.

- b) LRFD: por sus siglas en ingles de Load and Resistance Factor Design (Diseño por Factor de Carga y Resistencia), es el método creado y utilizado para diseñar estructuras que utilizan como principal material de construcción el acero, pero conformado en caliente, dado que anteriormente se ha mencionado que éste material posee propiedades estructural, a diferencia de los elementos conformados en frío, pero, según las investigaciones realizadas, se ha encontrado una norma LRDF del año 1996 que fue configurada para piezas metálicas roladas en frío, la cual es desconocida por las personas que trabajan ésta solución de entrepiso.

4.2.4 Configuración Estructural

- a) Canaleta Sencilla o Doble: dentro de las principales configuraciones estructurales para éste sistema de entrepiso, es posible mencionar la conformación de la sección transversal de la viga a base de canaleta, dado que puede ser una C sencilla, o puede ser una viga tipo Cajón al unir dos canaletas a través de soldadura por sus extremos para forma un elemento hueco, buscando de esta manera modificar alguna propiedad geométrica que incremente la resistencia de dicho elemento, principalmente por el factor de la inercia, dado que el cambio de sección podría influir en el comportamiento de los elementos ante cargas.
- b) Espaciamiento entre Canaletas: la separación entre canaletas básicamente determina el ancho tributario de carga que puede ser aplicado a cada viga representada por estos elementos, y esta dimensión de separación, naturalmente influye en el comportamiento de la canaleta, porque las fuerzas internas aumentan a medida se incremente la separación entre ellas.

c) Claro Máximo de Canaletas: ésta dimensión representa la longitud máxima no apoyada bajo la cual puede trabajar la canaleta que se desempeña generalmente como viga secundaria, la cual está relacionada con las propiedades geométricas y/o mecánicas de la canaleta, además de la separación entre ellas que fue comentada en el ítem anterior, y ésta longitud máxima no soportada, influye también en el comportamiento de la estructura ante determinada combinación de cargas, orientado al aspecto del cumplimiento de las deflexiones máximas o permisibles para determinado elemento en función del material y uso de la obra.

4.2.5 Mediciones

- a) Rigidez: uno de los principales factores para estimar el comportamiento de este tipo de sistema de entrepiso, consiste en poder modelar la rigidez y sus múltiples variaciones en función de los elementos estructurales propuestos, por ejemplo, espesor de la losa de concreto, dimensiones de las columnas, o en su lugar, pared de mampostería confinada, la cual influye en función del desplazamiento provocado por una determinada carga.
- b) Relación A/L: la relación ancho/largo es relevante para modelar los múltiples escenarios de carga a los cuales pudiese estar sometido el sistema de entrepiso, dado que entre menor sea esa relación, la losa de entrepiso será más larga, lo cual provocará un incremento en la masa de los elementos que conforman la carpeta (en especial el concreto), y eso generará un aumento en la rigidez y resistencia del sistema ante cargas laterales, reduciendo en forma significativa los desplazamientos relativos de la estructura.
- c) Geometría: las dimensiones de la canaleta, espesor de la carpeta de concreto, calibre de la lámina, entre otros, influyen en las propiedades resistentes de los elementos como conjunto, principalmente la propiedad del momento de inercia que ayuda a restringir el movimiento.

4.2.6 Métodos Aplicados

- a) Elementos Finitos: este método matemático es la plataforma de cálculo para poder modelar el entrepiso, dado que este método funciona bajo la creación de una malla a través de toda la placa que se desempeña como losa de concreto, y de esa manera poder estimar los esfuerzos y/o desplazamientos en todos los puntos representados por las intersecciones de las líneas del mallado, cuya densidad depende de la exactitud o cantidad de información requerida.
- b) Fuerza Sísmica del CHOC: el fundamento del planteamiento de la carga sísmica en el modelo ha sido la metodología de trabajo recomendada por la normativa del Código Hondureño de la Construcción que fue confeccionado en el año 2008 (CHOC-08), donde se establece la mecánica de procedimiento recomendada para modelar en forma adecuada, la carga de sismo a una estructura ubicada dentro del territorio nacional.

4.3 Propuesta

4.3.1 Simulación por Computadora mediante Elementos Finitos

4.3.2 Introducción

4.3.3 Descripción de la Propuesta

4.3.3.1 Parámetros Geométricos y Configuración Estructural

4.3.3.2 Parámetros Sísmicos

4.3.3.3 Parámetros de Carga Gravitacional

4.3.3.4 Realización de los Modelos de Simulación

4.3.3.5 Análisis de Resultados de la Modelación

4.3.4 Presupuesto

4.3.5 Cronograma de Ejecución

4.3.2 Introducción

La siguiente propuesta de solución pretende establecer de forma documental el estudio del comportamiento de entrepisos compuestos por elementos tipo canal laminados en frío y concreto reforzado a través de una simulación por computadora, con el objetivo de brindar al lector una descripción documental de dicho comportamiento ante carga sísmica. Además, se describen los mecanismos mediante los cuales trabajan estas tipologías de losas para establecer criterios para su diseño.

4.3.3 Descripción de la Propuesta

La simulación consta de varias etapas las cuales se describen a continuación:

4.3.3.1 Parámetros Geométricos y Configuración Estructural

Para esta simulación se tomaron en cuenta los datos obtenidos de las encuestas, de la encuesta tomamos los valores críticos en cuanto la geometría, en este caso en particular tomamos un claro máximo de canaleta de 3 metros y variamos el largo para poder estudiar su comportamiento. Para la evaluación de la losa se consideró una sección transformada de la interacción del concreto con la lámina con el objetivo de modelarlo como una placa de espesor constante que representa esa interacción, concreto lamina.

4.3.3.2 Parámetros Sísmicos

Para la evaluación sísmica se consideró un análisis en base al CHOC-08, utilizando parámetros del peor suelo, un tipo S4, también se consideró un análisis tiempo historia para poder evaluar la interacción entre la canaleta y su superficie de apoyo, se utilizaron datos de

sismo ocurrido en el Centro California en 1940 debido a que no existen datos históricos en Honduras de sismos que hayan ocurrido en el país.

4.3.3.3 Parámetros de Carga Gravitacional

Para las cargas gravitacionales se tomaron las que recomienda el CHOC-08 para residencias, y para la carga muerta se consideró el peso propio más la carga promedio de paredes para un total aproximado de 200 kgf/m².

4.3.3.4 Realización de los Modelos de Simulación

Se realizaron 3 modelos donde se variaron los diferentes parámetros que influyen en el comportamiento de la losa de concreto, posteriormente se muestra el análisis de los resultados.

A continuación, se presenta una serie de gráficos que cumplen el propósito de condensar en forma visual, un compendio de los principales resultados obtenidos, donde es importante mencionar que ha sido creada una simbología numérica para designar el tipo de soporte vertical que ha sido propuesto para sustenta la losa de entrepiso, misma que se lista seguidamente:

1. Columna de concreto reforzado con sección 25x25cm
2. Columna de concreto reforzado con sección 35x35cm
3. Columna de concreto reforzado con sección 45x45cm
4. Columna de concreto reforzado con sección 55x55cm
5. Columna de concreto reforzado con sección 65x65cm
6. Muro de mampostería reforzada confinada a lo largo del perímetro

Adicional a la descripción de la simbología utilizada para nombrar el sustento vertical en cada caso, se han creado tres modelos de variación geométrica de la losa de entrepiso (esto a través de una diferenciación unidimensional en una distancia específica de la losa), con el objetivo de verificar el efecto de incidencia de la relación base/largo (B/L) en los 6 casos de sustento vertical y viceversa; y cabe mencionar que las variaciones de B/L, son del orden unidimensional (como fue mencionado anteriormente), porque únicamente se modificó la dimensión de largo (L) de dicha relación, y la base (B) se mantuvo constante en todos los modelos propuestos, así que en función de la explicación debidamente brindada, dichas variaciones de B/L, también se describen inmediatamente:

- A.** Losa de concreto de 3x3m, con relación $B/L=3/3=1$
- B.** Losa de concreto de 3x5m, con relación $B/L=3/5=0.6$
- C.** Losa de concreto de 3x3m, con relación $B/L=3/7=0.43$

4.3.3.5 Análisis de Resultados de la Modelación

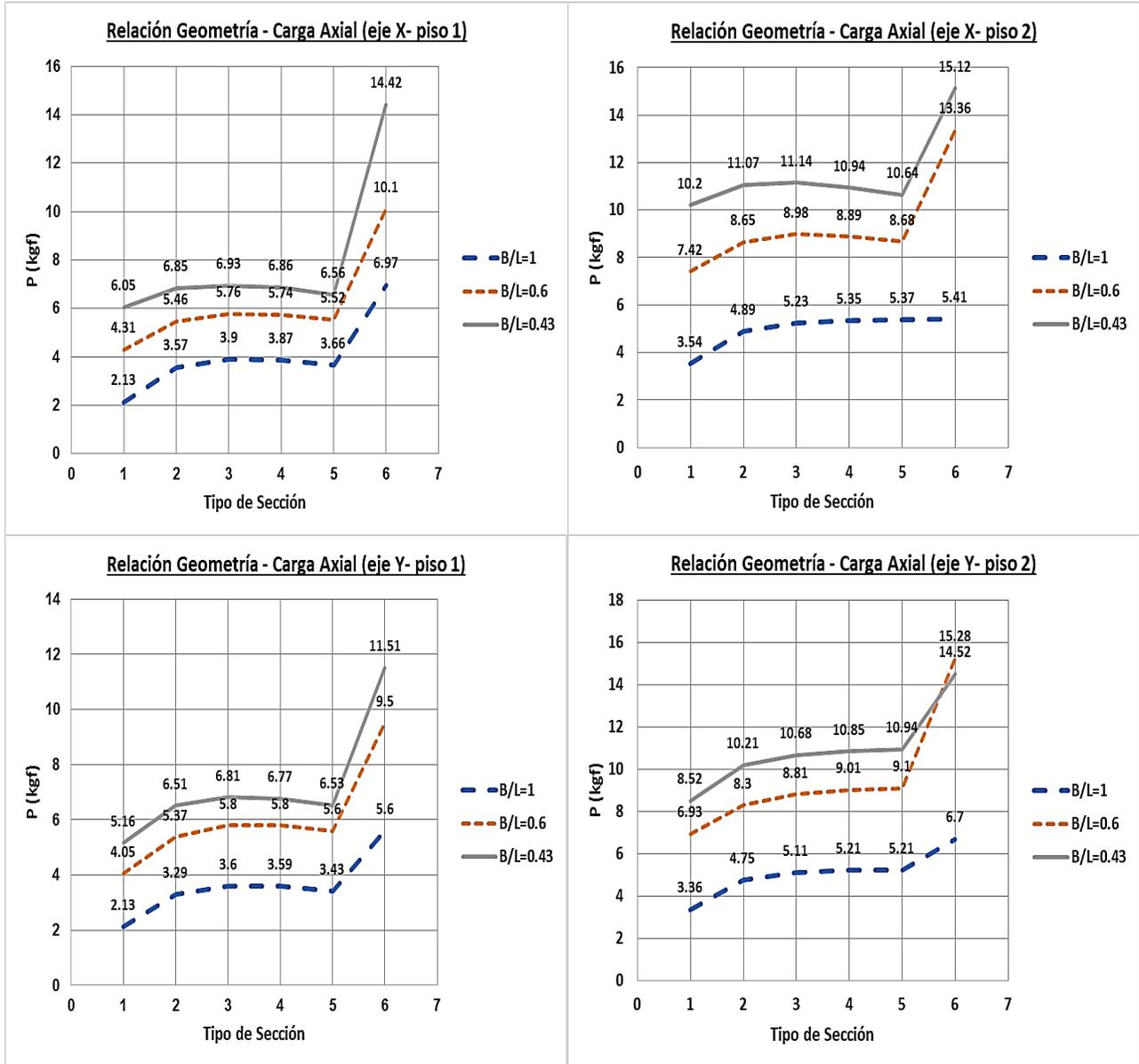


Figura 28. Relación Geometría–Carga Axial para el Eje X & Y (piso 1 y piso 2)

La figura 28 muestra la conexión existente entre la geometría de la losa de entrepiso (medida a través de la relación B/L) y la carga axial actuante en la estructura horizontal, esto para tres modelos geométricos del entrepiso, tanto para una estructura de vivienda familiar conformada por un piso, como por dos pisos; en la cual se puede apreciar que las condiciones

más críticas de sollicitación de sismo se presentan en el modelo configurado a base de la relación $B/L=0.43$, y naturalmente eso es inevitable porque su cantidad de área superficial ($3 \times 7\text{m}$), por lo tanto, la estructura posee una rigidez significativamente más alta en comparación a la rigidez que pudiesen presentar los otros modelos de relación B/L mayor.

En el escenario de 1 nivel, a base de columnas de concreto reforzado, la fuerza axial más grande que puede ser soportada a través del eje X es $P=6.93$ kgf, y en el eje Y es $P=6.81$ kgf, lo cual indica que la fuerza resistente causada por la carga sísmica a través del eje X es 1.76% mayor, que corresponde al lado de 7m, y por tal razón, dicha fuerza debe atravesar mayor masa de concreto de la losa; siempre en el escenario de 1 nivel, cabe mencionar que el modelo configurado a base de paredes de mampostería confinada armada de concreto, presenta una mayor rigidez, y eso es normal porque las paredes generan un cajón sólido al encerrar todo el perímetro de la vivienda, y por tal razón, en el eje X, la fuerza resistente es $P=14.42$ kgf, y en el eje Y es $P=11.51$ kgf, presentando una diferencia (siempre favorable para el eje X donde se ubica el lado más largo), de 25.28%.

De igual manera, para el escenario de 2 pisos, existen diferencias entre las fuerzas axiales causadas por el sismo que pueden ser resistidas, tanto por el eje X, como por el eje Y; pero, las diferencias no son tan perceptibles como el escenario de 1 piso, y esto es posible por la cantidad de masa y distribución geométrica de dos sistemas de entrepiso conectados, ya sea por columnas, o por mampostería confinada, tal como se puede ver a continuación:

Tabla 6. Comparación entre sustento de columnas y mampostería para carga axial.

Descripción	Eje X	Eje Y	Diferencia
Carga resistente con columnas (kgf)	11.14	10.94	1.83% favorable para el eje X
Carga resistente con muro de mampostería confinada (kgf)	15.12	15.28	1.06% favorable para el eje Y

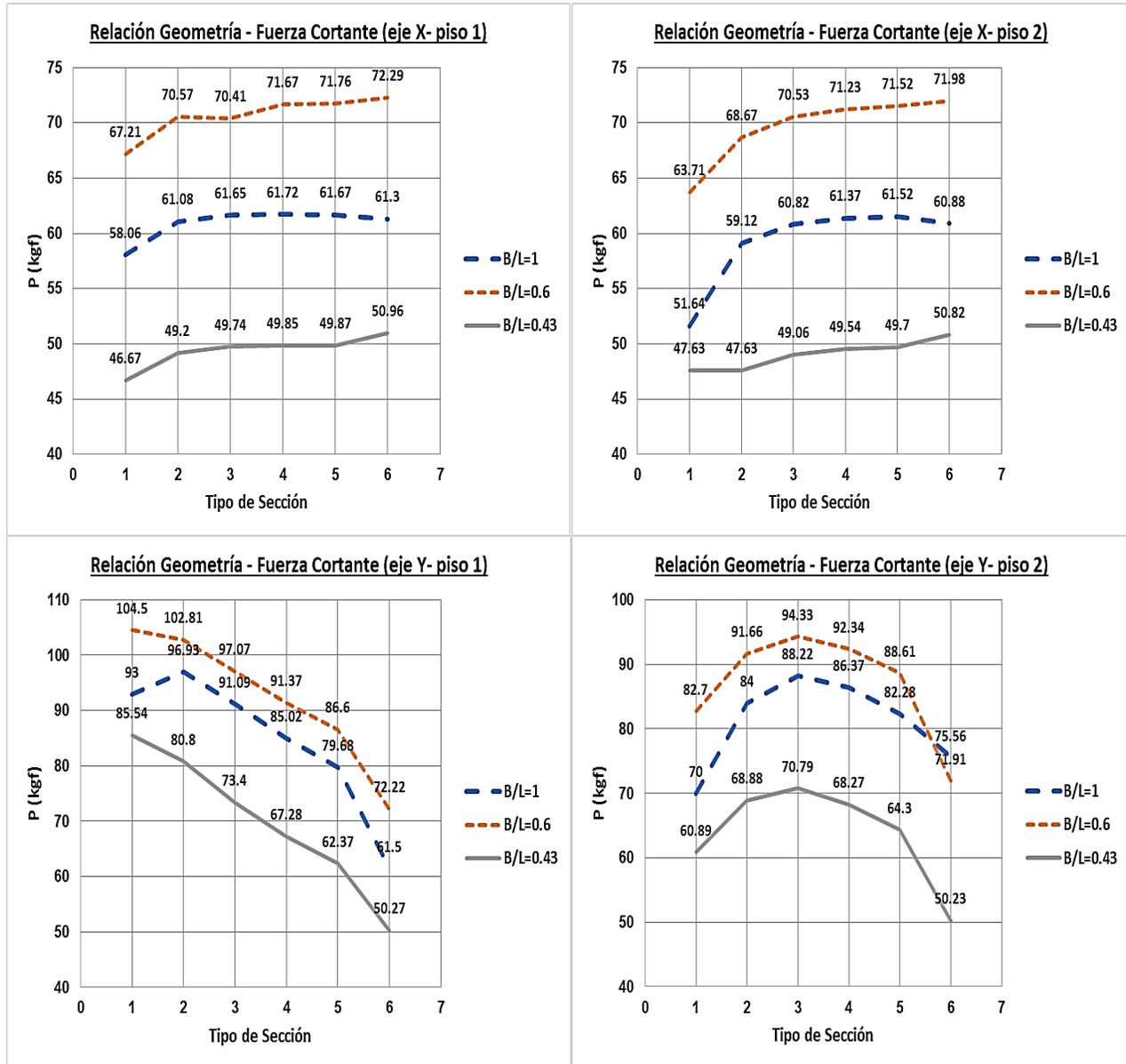


Figura 29. Relación Geometría–Fuerza Cortante para el Eje X & Y (piso 1 y piso 2)

La figura 29 muestra la conexión existente entre la geometría de la losa de entrepiso (medida a través de la relación B/L) y la fuerza cortante causada por la carga de servicio (muerta + viva + sismo) en cada una de las direcciones estudiadas (X & Y), esto para tres modelos geométricos del entrepiso, tanto para una estructura de vivienda familiar conformada por un piso, como por dos pisos; en la cual para éste caso en particular (a diferencia de la situación analizada anteriormente), se puede apreciar que las condiciones más críticas de solicitación de cortante de servicio por causa de sismo, se presentan en el modelo configurado a base de la relación B/L=0.6.

Para el escenario de 1 piso, existen diferencias entre las fuerzas cortantes causadas por la carga de servicio que pueden ser resistidas, tanto por el eje X, como por el eje Y, tal como se puede apreciar a continuación:

Tabla 7. Comparación entre sustento de columnas y mampostería para cortante.

<i>Descripción</i>	<i>Eje X</i>	<i>Eje Y</i>	<i>Diferencia</i>
Carga resistente con columnas (kgf)	71.76	104.5	45.62% favorable para el eje Y
Carga resistente con muro de mampostería confinada (kgf)	72.29	72.22	0.097% favorable para el eje X

Tomando como referencia la tabla resumen de resultados, el muro de mampostería genera un equilibrio en cortante para ambos ejes de estudio; pero, en el caso de las columnas, el sismo que hace su recorrido en la dirección Y de la estructura, genera fuerzas cortantes de servicio más altas debido a su baja rigidez en comparación con el eje X, por la temática de la relación B/L, donde el lado paralelo al eje X sigue siendo mayor y genera mayor cantidad de masa.

De igual manera, para el escenario de 2 pisos, existen diferencias entre las fuerzas cortantes de servicio causadas por el sismo, tanto por el eje X, como por el eje Y; y se mantiene

la tendencia del escenario de 1 piso, donde el eje Y representa el eje donde se desarrollan las fuerzas cortantes de servicio más altas, para ambos modelos, tal como se puede observar:

Tabla 8. Comparación entre sustento de columnas y mampostería para cortante.

Descripción	Eje X	Eje Y	Diferencia
Carga resistente con columnas (kgf)	71.52	94.33	31.89% favorable para el eje Y
Carga resistente con muro de mampostería confinada (kgf)	71.98	75.56	4.97% favorable para el eje Y

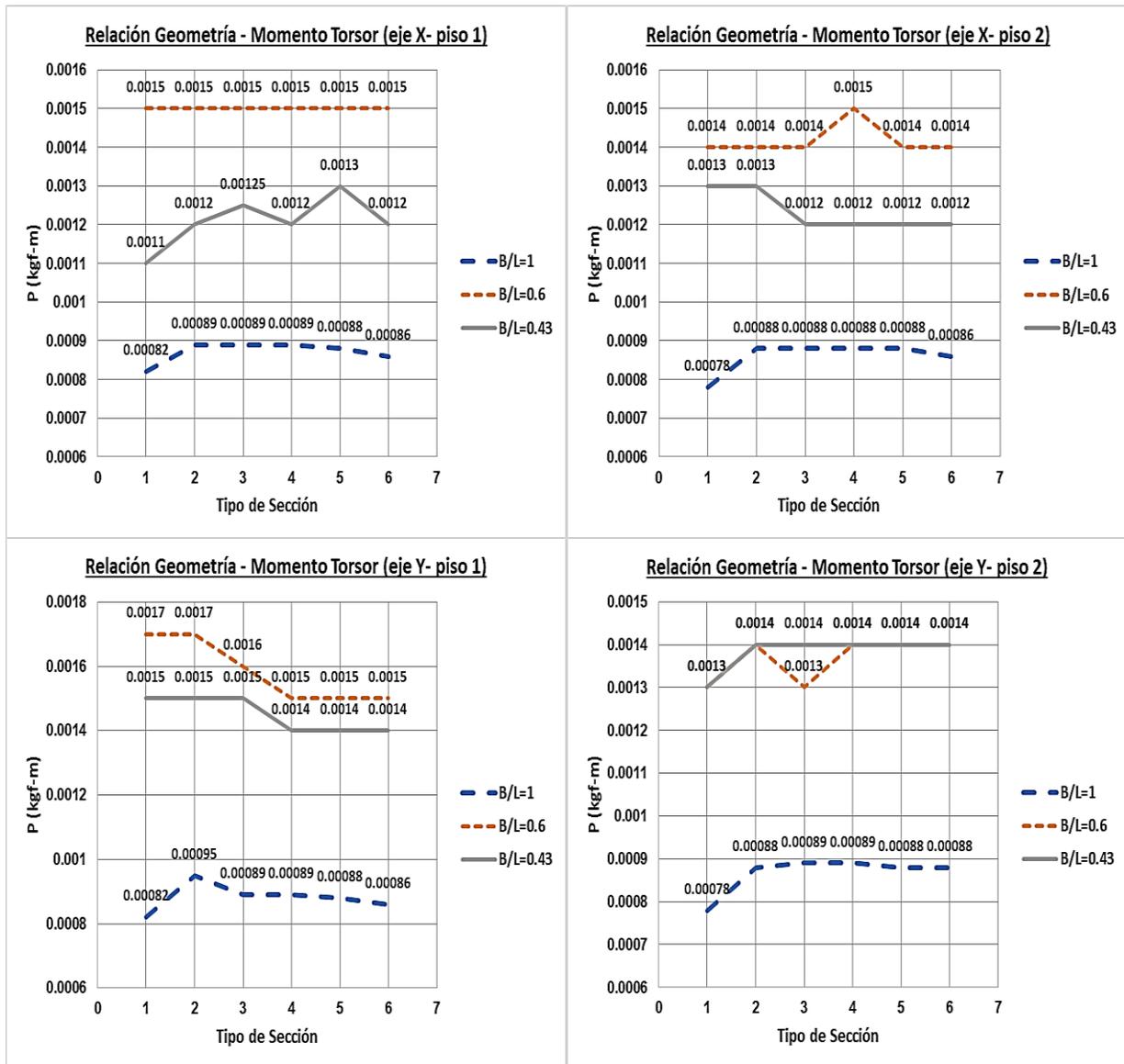


Figura 30. Relación Geometría–Momento Torsor para el Eje X & Y (piso 1 y piso 2)

La figura 30 muestra la conexión existente entre la geometría de la losa de entrepiso (medida a través de la relación B/L) y el momento torsor causado por la carga de servicio sísmica en cada una de las direcciones estudiadas (X & Y), esto para tres modelos geométricos del entrepiso, tanto para una estructura de vivienda familiar de 1 piso, como por 2 pisos; en la cual para éste caso, siempre se mantiene la tendencia del análisis anterior, donde las condiciones más críticas de solicitación de momento torsor de servicio por causa de sismo, se presentan en el modelo configurado a base de la relación B/L=0.6. Adicionalmente, en este caso específico de torsión, los valores generados son muy bajos (del orden de 0.0015 kgf-m), y las diferencias por perceptibles, lo cual indica que la fuerza sísmica no demanda ese aspecto de la estructura.

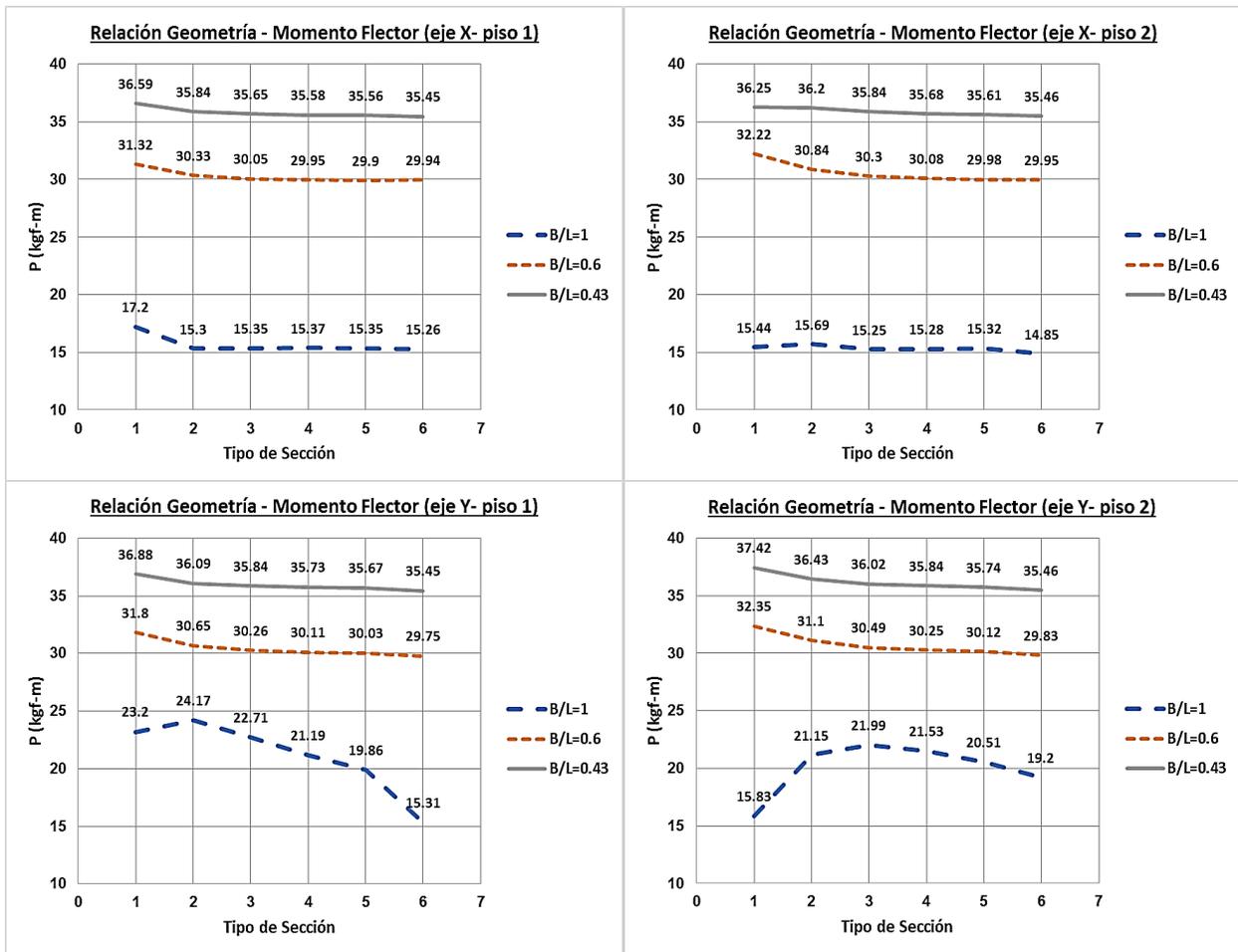


Figura 31. Relación Geometría–Momento Flector para el Eje X & Y (piso 1 y piso 2)

La figura 31 muestra la conexión existente entre la geometría de la losa de entrepiso (medida a través de la relación B/L) y el momento flector causado por la carga de servicio sísmica en cada una de las direcciones estudiadas (X & Y), esto para tres modelos geométricos del entrepiso, tanto para una estructura de vivienda familiar conformada por un piso, como por dos pisos; en la cual se puede apreciar que las condiciones más críticas de sollicitación de sismo se presentan en el modelo configurado a base de la relación B/L=0.43, y naturalmente eso es inevitable porque su cantidad de área superficial (3x7m), le confiere mayor rigidez al desplazamiento o movimiento por causa de las cargas.

Para el escenario de 1 piso, existen diferencias muy poco perceptibles entre los momentos flectores causados por la carga de servicio que pueden ser resistidas, tanto por el eje X, como por el eje Y, tal como se puede apreciar a continuación:

Tabla 9. Comparación entre sustento de columnas y mampostería para momento.

<i>Descripción</i>	<i>Eje X</i>	<i>Eje Y</i>	<i>Diferencia</i>
Carga resistente con columnas (kgf)	36.59	36.88	0.793% favorable para el eje Y
Carga resistente con muro de mampostería confinada (kgf)	35.45	35.45	0.00%

De igual manera, para el escenario de 2 pisos, las diferencias entre los momentos flectores de servicio causadas por el sismo, tanto por el eje X, como por el eje Y; y se mantiene la tendencia del escenario de 1 piso, donde los momentos flectores desarrollados en la estructura son similares, tanto en dirección, condiciones de sustento vertical y configuración de 1 y 2 pisos para ambos modelos, tal como se puede observar:

Tabla 10. Comparación entre sustento de columnas y mampostería para momento.

Descripción	Eje X	Eje Y	Diferencia
Carga resistente con columnas (kgf)	36.25	37.42	3.22% favorable para el eje Y
Carga resistente con muro de mampostería confinada (kgf)	35.46	35.43	0.00%

A continuación, se muestran los resultados de la simulación para un piso, en la cual se modelo con un apoyo articulado comparado con un apoyo en la cual se simula la fricción, para modelar la fricción se utilizó un resorte con una rigidez de 754,590 kgf/m, similar a la de un aislador, se modelo para la forma más crítica cabe decir que el objetivo no era estudiar con exactitud la rigidez apropiada para evaluar la disipación de energía, sino tener una idea de su comportamiento ante una carga sísmica.

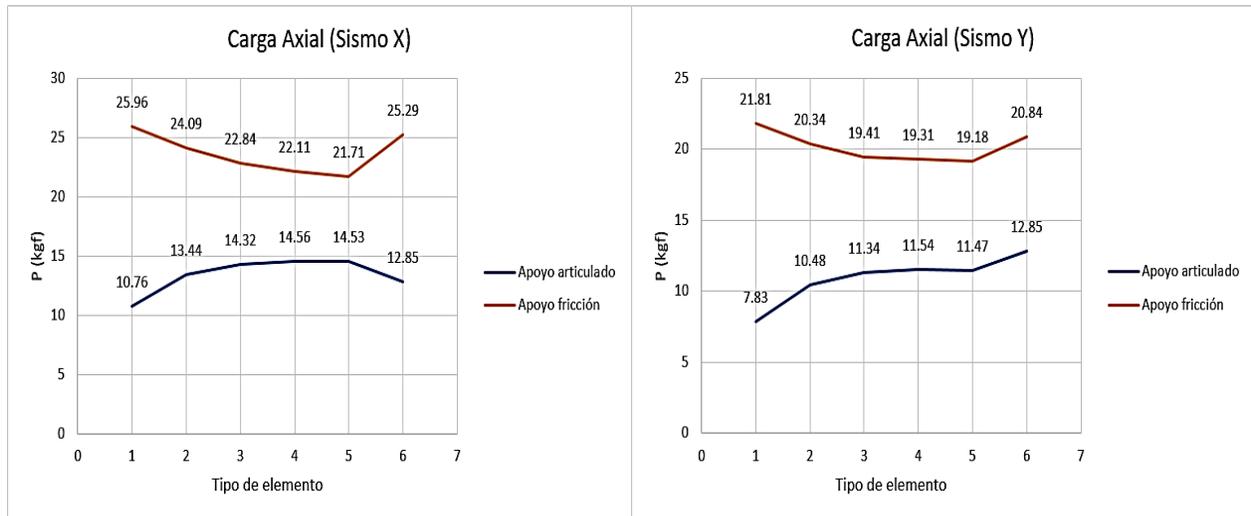


Figura 32. Relación Apoyo Articulado–Apoyo de Fricción para el Eje X & Y

En la figura 32 se muestra la comparación de las cargas axiales entre el modelo con apoyo articulado y el modelo con apoyo de fricción ante una carga de servicio con sismo en dirección X & Y, como se puede observar en la figura en ambos casos cuando se utiliza el apoyo

de fricción las fuerzas actuantes aumentan en ente un 200% y un 151%, esto sucede porque la transmisión de esfuerzos a la hacía el marco principal es mucho menor debido a la cierta libertad que tiene la interacción friccioneaste entre el entrepiso y la estructura.

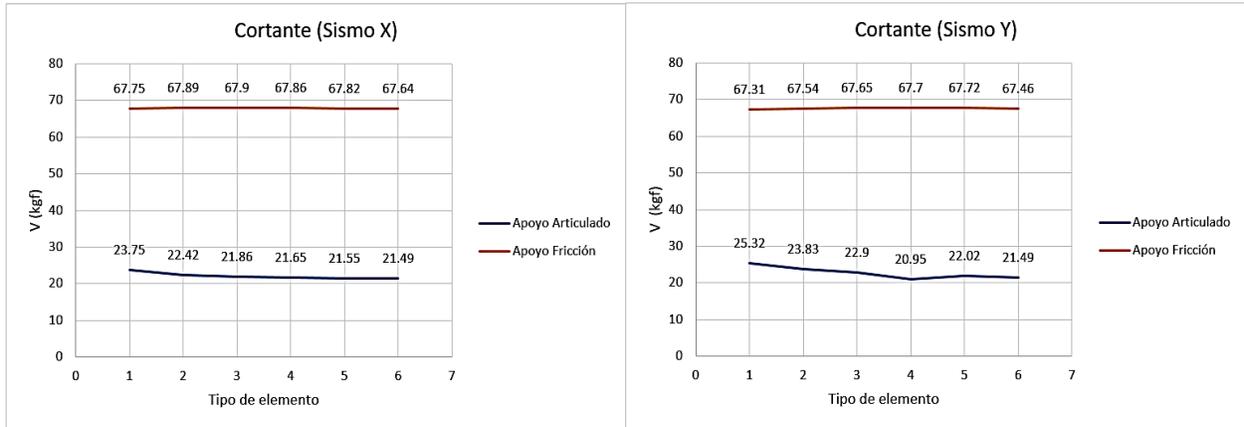


Figura 33. Relación Apoyo Articulado–Apoyo de Fricción para el Eje X & Y

En la figura 33 se muestra la comparación de los esfuerzos cortantes entre el modelo con apoyo articulado y el modelo con apoyo de fricción ante una carga de servicio con sismo en dirección X & Y, como se puede observar en la figura en ambos casos cuando se utiliza el apoyo de fricción las fuerzas actuantes aumentan en ente un 300% y un 285%.

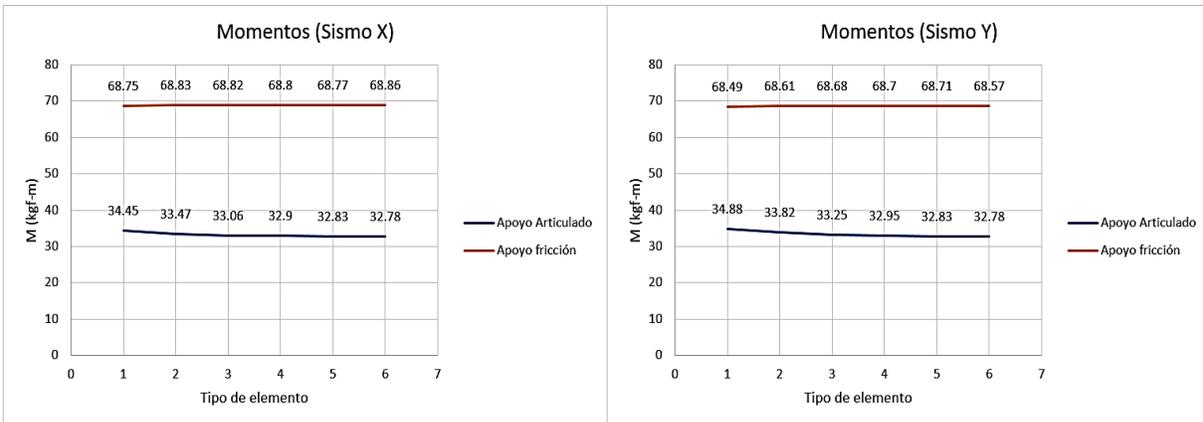


Figura 34. Relación Apoyo Articulado–Apoyo de Fricción para el Eje X & Y

En la figura 34 se muestra la comparación de los esfuerzos de momento entre el modelo con apoyo articulado y con apoyo de fricción ante una carga de servicio con sismo en dirección X & Y, y es posible ver que en el apoyo de fricción las fuerzas actuantes aumentan en 200%.

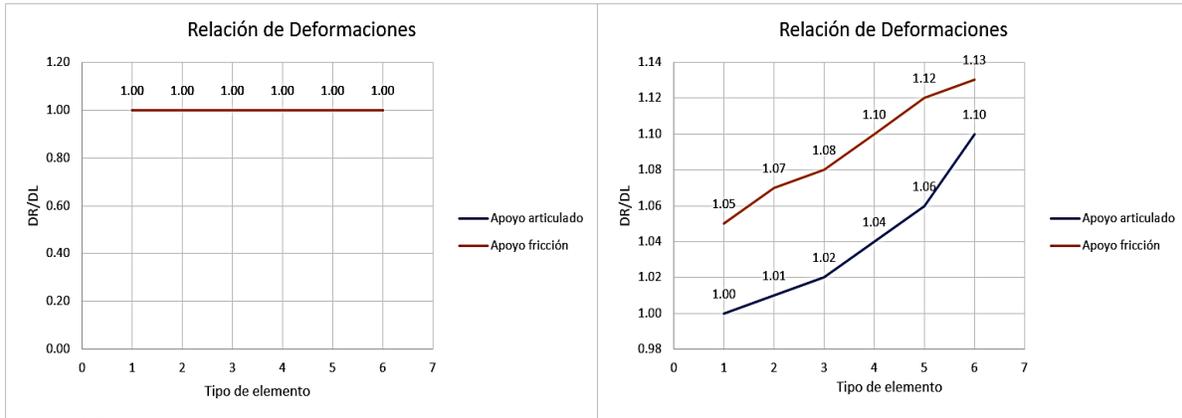


Figura 35. Relación Apoyo Articulado–Apoyo de Fricción para el Eje X & Y

En la figura 35 se muestra la comparación de los esfuerzos de momento entre el modelo con apoyo articulado y el modelo con apoyo de fricción ante una carga de servicio con sismo en dirección X y Y, la relación DL/DR indica que tanto se ha deformado la losa en relación a la deformación de la columna, como se puede observar en la figura, en la izquierda se muestra el grafico de deformación con sismo en dirección X donde se observa que la relación se mantiene constante en los dos tipos de apoyos esto indica que la losa no es flexible en los dos casos de apoyo, en el grafico derecho se observa un aumento de la relación DL/DR en relación a la rigidez que está asociada al tipo de elemento estructural utilizado, indica que la losa se está deformando 110% más que las columnas, en el caso de apoyos con fricción se deforma un 113% más que las columnas, se puede concluir que las diferencias entre deformaciones son muy pequeñas como para considera la losa totalmente flexible, se podría decir que está en un rango cercano al rígido por lo cual se puede considerar como totalmente rígido.

4.3.4 Presupuesto

Tabla 11. Presupuesto General de la Propuesta

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (L.)	Total (L.)
1	Investigación sobre parámetros técnicos y/o estructurales sobre sistema de entrepiso conformados a base de concreto y canaleta.	Global	1	5,000.00	5,000.00
2	Ordenamiento de datos y tabulación de resultados paramétricos para conformación de modelo teórico	Global	1	1,000.00	1,000.00
3	Ingreso de datos, modelado y análisis de datos, generación de resultados, recomendaciones y conclusiones	Global	1	25,000.00	20,000.00
4	Elaboración de informe técnico sobre el trabajo de investigación y modelado	Global	1	20,000.00	15,000.00
				Total	41,000.00

4.3.5 Cronograma de Ejecución

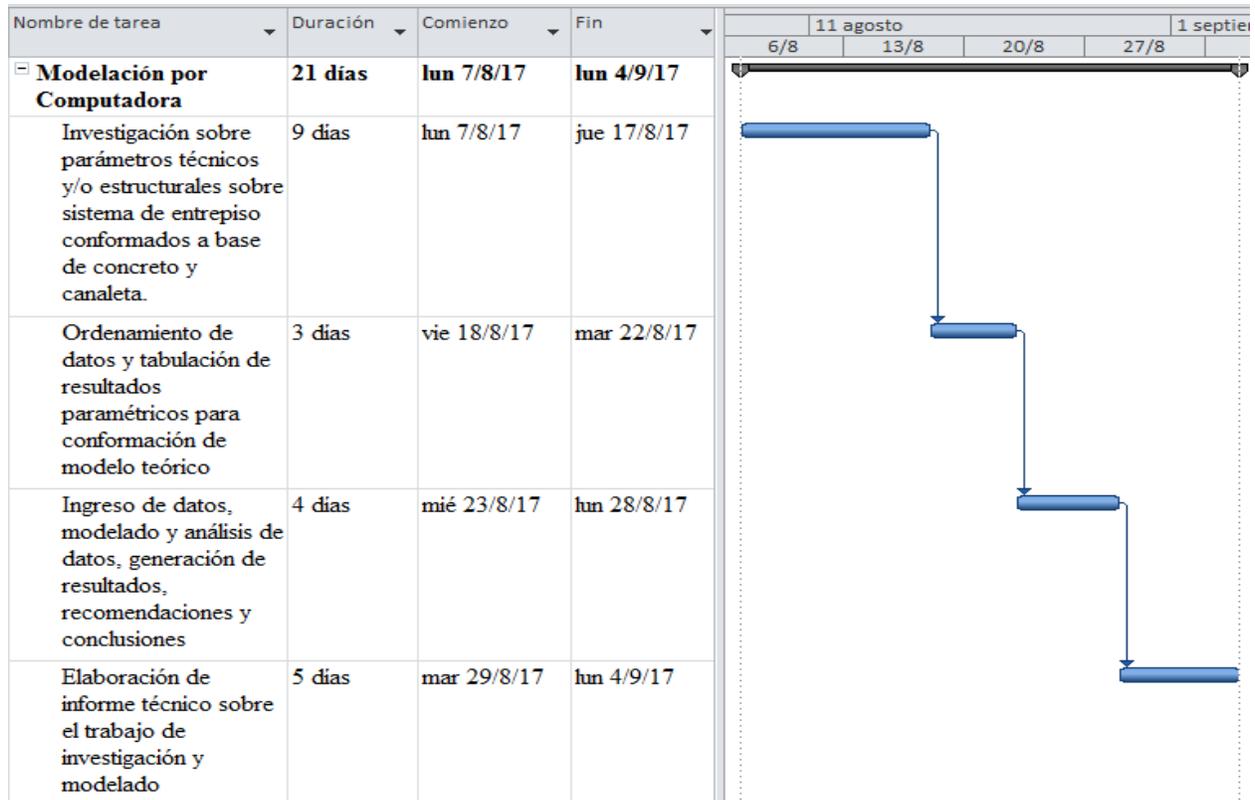


Figura 36. Cronograma de Ejecución

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta un compendio de los hallazgos y resultados de mayor relevancia técnica que permitirán poder atender los objetivos específicos, donde se podrá recopilar la información fundamental para generar conclusiones sobre los puntos específicos que han sido el núcleo de los respectivos análisis aplicados a los resultados, y, por lo tanto, también la presentación del compendio de recomendaciones que se consideran necesarias para este estudio.

5.1 Conclusiones

1. El efecto de la variación de la geometría causa un aumento de las fuerzas actuantes en el entepiso y por en un aumento en las deformaciones del entepiso.
2. La utilización de los sistemas estructurales tiene un efecto importante en la carga axial que actúa en el entepiso denotando un aumento, mientras que el cortante se observa una disminución del cortante a medida variamos la rigidez del sistema estructural.
3. El análisis de deformaciones variando la tipología de estructura nos indica un comportamiento en su mayoría de diafragma rígido, teniendo un comportamiento 1.1 veces más flexible cuando se utilizan paredes de mampostería confinada.
4. El sistema de entepiso conformado a base de losa de concreto estructural (mínimo una resistencia a la compresión de 3,000 psi), lámina troquelada también estructural y canaleta sencilla rolada en fría con sección transversal de 2"x4" (con espaciamiento de 2 pies y luz

máxima de 3 metros), funciona como un diafragma rígido, esto para condiciones de uso en viviendas de máximo 2 niveles de altura.

5. Con relación a la configuración estructural del apoyo entre las canaletas y la estructura principal (ya sea viga de cierre o sistema de mampostería confinada), modelado a través de resortes para simular la fricción, fue posible apreciar que la mayoría de las fuerzas actuantes en el sistema de entrepiso aumentan entre un 150% a 300%.

5.2 Recomendaciones

1. Es importante abocarse a una normativa adecuada para realizar el estudio, análisis y posterior diseño estructural, de estructuras metálicas conformadas por piezas laminadas en frío, debido a que sus propiedades mecánicas difieren significativamente con relación a los elementos metálicos conformados en caliente.
2. Para el caso de estructuras más complejas, ya sea una vivienda con altura mayor a dos niveles, u otra edificación de mayor área, formas irregulares o conformación de cargas especiales, es necesario realizar un análisis más profundo para determinar el comportamiento diafragmático de una losa a base de concreto, lámina y canaleta, si en dado caso, esa alternativa se considera dentro de las soluciones para entrepiso.
3. Este tipo de losas a base de canaletas debe ser diseñado y no propuesto por experiencia, esto debido a la consideración de las propiedades geométricas y mecánicas, en especial el factor de rigidez de la canaleta porque su bajo espesor puede ocasionar esfuerzos adicionales.

GLOSARIO

1. **Área transformada.** El área de la sección transversal de un material teóricamente cambiado a un área equivalente de otro material multiplicándola por la relación de los módulos de elasticidad de los dos materiales. Para ilustración, un área de acero se cambia a un área equivalente de concreto, expresada como tal.
2. **Carga muerta.** Cargas de magnitud constante que permanecen en una sola posición. Ejemplos: el peso de muros, pisos, techos, plomería, accesorios, marcos estructurales, etcétera.
3. **Cargas de servicio.** Cargas reales que se suponen aplicadas a una estructura cuando está en servicio (llamadas también cargas de trabajo).
4. **Cargas de trabajo.** Cargas reales aplicadas a una estructura cuando está en servicio (llamadas también cargas de servicio).
5. **Cargas vivas.** Cargas que cambian de posición y de magnitud. Éstas se mueven o son movidas. Ejemplos: camiones, gente, viento, lluvia, sismos, cambios de temperatura, etcétera.
6. **Categoría de diseño sísmico.** Una clasificación dada a una estructura basada en su categoría de ocupación y la severidad del movimiento del suelo del sismo de diseño en el lugar.
7. **Concreto.** Mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados, unidos por medio de una pasta de cemento y agua con consistencia de piedra.
8. **Concreto reforzado.** Combinación de concreto y refuerzo de acero, donde el acero suministra la resistencia a tensión que falta en el concreto. (El refuerzo de acero también puede usarse para resistir fuerzas de compresión.)
9. **Estado de servicio.** Se refiere al comportamiento de las estructuras bajo cargas normales de servicio y tiene que ver con deflexiones, vibraciones, agrietamiento y deslizamiento.
10. **Losa en una dirección.** Losa diseñada para flexionarse en una dirección.

11. **Losa plana.** Losa de concreto reforzado con capiteles y/o paneles abatidos.
12. **Losas en dos direcciones.** Losas de piso o techo, soportadas por columnas o muros, dispuestos de manera que las losas pueden flexionarse en dos direcciones.
13. **Módulo de elasticidad.** Relación del esfuerzo a la deformación unitaria en los materiales elásticos. Entre mayor es su valor, menores serán las deformaciones en un miembro.
14. **Módulo de ruptura.** Resistencia a la tensión por flexión del concreto.
15. **Momento de agrietamiento.** Momento flexionante en un miembro, cuando el esfuerzo de tensión en el concreto es igual al módulo de ruptura y empieza el agrietamiento.
16. **Placa plana.** Pisos de concreto sólido o losas de techo de espesor uniforme que transfieren las cargas directamente a las columnas de soporte sin la ayuda de vigas, capiteles o paneles abatidos.

BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Municipal del Distrito Central. (2010). *Evaluación del Riesgo Sísmico en el Distrito Central, Honduras*. Tegucigalpa.

Andes, L. (31 de Diciembre de 2015). Obtenido de <http://www.losandes.com.ar/article/la-construccion-antisismica-de-chile-ya-es-modelo-en-el-mundo>

Angel, S. (2002). *Politica De Vivienda en Honduras*. Nueva York.

Barker, R., & Puckett, J. (2013). *Design of Highway Bridges*. New Jersey: Wiley.

Bernal, C. A. (2010). *Metodologia de la investigacion*. Colombia: Prentice Hall.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (4 de Marzo de 2010). Recuperado el 3 de Junio de 2017, de <http://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/normativa-antisismica-japon>

Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras. (2008). *Código Hondureño de la Construcción*. Tegucigalpa.

Cuevas, Ó. M. (2005). *Apectos Fundamentales del Concreto Reforzado*. Mexico: Limusa.

Escobar, J. (2008). *Evaluación de la Amenaza Sísmica en Centroamérica*.

Garino, P. (2012). *Losas Mixtas Conformadas por Placas de Acero Colaborante con Vigas Compuestas*.

Guerrero, T. (23 de Marzo de 2011). *El Mundo*. Recuperado el 3 de Junio de 2017, de <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/03/21/ciencia/1300706112.html>

- Jáuregui, E., & Negri, C. (2012). *Casas Con Estructuras de Acero*. Buenos Aires: FADU, Ciudad Universitaria.
- Lavine, D. M., Berenson, M. L., & Krehbiel, T. C. (2006). *Estadística para la Administración*.
- Love, A. E. (1906). *A TREATISE ON THE MATHEMATICAL THEORY OF ELASTICITY*.
- Malvern, L. (1969). *Introduction To The Mechanics of a Continuous Medium*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Mase, T., & Mase, G. (1999). *Continuum Mechanics for Engineers*. New York: CRC Press.
- McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2013). *Diseño de Estructuras de Acero*. Mexico: Alfaomega.
- McCormac, J. C., & Russell H. Brown. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. México: Alfaomega.
- Morales Vallejo, P. (2012). *Estadística aplicada a las Ciencias Sociales*.
- Oliver Olivella, X., & Bosch, C. A. (2000). *Mecánica de Medios Continuos para Ingenieros*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: McGrawHill.
- Taranath, B. (2016). *Tall Building Design*. Florida: Taylor & Francis Group.
- Tena Colunga, A., & Cortés Benitez, J. A. (2009). *Evaluación de la Condición de Diafragma Rífigo o Flexible para el Empleo del Método Simplificado en Estructuras de Mampostería*. Puebla: Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.
- Timoshenko, S. (1989). *Teoría de Placas y Láminas*. Mc-Graw-Hill.
- Torre, J. E. (2016). *Manual del curso de Comportamiento del Concreto*. Tegucigalpa.

Trogia, G. (2010). *Estructuras de Acero con Tubos y Secciones Abiertas Conformadas en Frío*. Córdoba: Jorge Sarmiento Editor- Universitas Libros.

Urbán, P. (2010). *Construcción de Estructuras Metálicas*. Alicante: Editorial Club Universitario.

Valle, J. M. (2013).

<http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/11565/2014000000898.pdf?sequence=>

3. Obtenido de

<http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/11565/2014000000898.pdf?sequence=>

3.

Vargas, R. A. (2013). *Comportamiento de Losa como Diafragma Rígido*. Tegucigalpa.

Wei-Wen, Y., & LaBoube, R. (2010). *Cold Formed Steel Design*. Missouri: Wiley.

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de Investigación: Cuestionario a través de la Técnica de Encuesta

Pregunta 1; ¿Conoce alguna normativa de Diseño estructural que esté orientada al estudio de losas conformadas a base de canaletas o elementos metálicos fabricados en frío?

- a) Nada Segura
- b) Moderadamente Segura
- c) Altamente Segura
- d) No poseo la información necesaria

Pregunta 2; ¿Qué tan segura ante carga sísmica, considera Ud. que es una losa de entrepiso conformada por canaleta y lamina de Aluzinc?

- a) Si
- b) No

Pregunta 3; En función de su conocimiento técnico y/o experiencia, ¿Ud. sabe que el procedimiento para fabricar canaletas (rolado en frío) es diferente al proceso de fabricación de otros tipos de perfiles metálicos (rolados en caliente) y que eso influye en sus propiedades mecánico-estructurales?

- a) Si
- b) No

Pregunta 4; De acuerdo a su experiencia directa o indirecta ¿Por qué ha utilizado o recomendado la solución de losa de entepiso a base de canaletas?

- a) Economía
- b) Rapidez de Construcción
- c) Costumbre de Uso porque Funciona
- d) No recomiendo esta Solución de Entrepisos

Pregunta 5; En las múltiples viviendas o diferentes construcciones visitadas o en las cuales haya estado involucrado(a), directa o indirectamente ¿Qué tipo de lámina ha sido utilizada con mayor frecuencia para este tipo de losas?

- a) Lámina Aluzinc Ondulada
- b) Lámina Troquelada Estructural
- c) No he dado importancia a ese detalle

Pregunta 6; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto al calibre de la lámina, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

- a) 28
- b) 26
- c) 24
- d) 22
- e) 20

Pregunta 7; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto al espesor de concreto, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

- a) 8 – 10 cm
- b) 10 – 12 cm
- c) 12 – 14 cm
- d) 14 – 16 cm
- e) 16 – 18 cm

Pregunta 8; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto a la separación "centro a centro" entre canaletas sencillas, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

- a) 20 – 40 cm
- b) 40 – 60 cm
- c) 60 – 80 cm
- d) 80 – 100 cm

Pregunta 9; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto a la separación "centro a centro" entre canaletas dobles, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

- a) 20 – 40 cm
- b) 40 – 60 cm
- c) 60 – 80 cm
- d) 80 – 100 cm

Pregunta 10; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto al claro máximo de las vigas a base de canaletas sencillas, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

- a) 1 – 2 m
- b) 2 – 3 m
- c) 3 – 4 m
- d) 4 – 5 m
- e) 5 – 6 m
- f) 6 – 7 m
- g) más de 7 m

Pregunta 11; De acuerdo con su criterio técnico en cuanto al claro máximo de las vigas a base de canaletas dobles, ¿Cuál es el valor que comúnmente Ud. utiliza o recomendaría, para este tipo de losas?

- a) 1 – 2 m
- b) 2 – 3 m
- c) 3 – 4 m
- d) 5 – 6 m
- e) 6 – 8 m
- f) más de 8 m

Pregunta 12; De acuerdo con su criterio técnico o experiencia en el diseño o construcción de este tipo de losas ¿Cómo desarrolla o ha visto que se construyen los apoyos de las vigas a base de canaletas?

- a) Viga simplemente apoyada; porque la canaleta se encuentra apoyada en la viga de cierre o pared de mampostería.
- b) Empotrada; porque la canaleta se encuentra "embebida" en la viga de concreto de cierre y soldada con el armado de dicha viga.

Pregunta 13; En función de su conocimiento técnico y/o experiencia sobre conectores de cortante en este tipo de losas aligeradas

- a) SI conozco sobre el término, y considero que SI son necesarios
- b) SI conozco sobre el término, pero considero que NO son necesarios
- c) NO conozco sobre el término