



FACULTAD DE POSTGRADO

TESIS DE POSTGRADO

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DIAFRAGMÁTICO DE LAS
LOSAS RETICULARES MIXTAS**

SUSTENTADO POR:

DANIEL ENRIQUE MENDOZA CORRALES

**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

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DIAFRAGMÁTICO DE LAS
LOSAS RETICULARES MIXTAS**

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

INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS

**ASESOR METODOLÓGICO:
CARLOS AUGUSTO ZELAYA OVIEDO**

**ASESORES TEMÁTICOS:
JOAQUÍN EDGARDO TORRE MONCADA
OSCAR RENIERY SÁNCHEZ ROSALES**

MIEMBROS DE LA TERNA

LUZ MARINA FUNES

JORGE CENTENO

MANUELA FLORES



FACULTAD DE POSGRADO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DIAFRAGMÁTICO DE LAS LOSAS RETICULARES MIXTAS

DANIEL ENRIQUE MENDOZA CORRALES:

Resumen

La presente investigación facilita al lector la información necesaria para realizar un análisis comparativo del comportamiento diafragmático. Los sistemas de entrepiso evaluados fueron el reticular con losas mixtas junto al sistema de referencia de viguetas de alma abierta en una dirección con losas mixtas. Se evaluó la correspondiente incidencia de estos sistemas en la respuesta estructural de las edificaciones. Se incluyó en el estudio, diferentes configuraciones estructurales, modificando variables de relación de aspecto, área de entrepiso, topología de retículas y alturas de tres, cinco y diez niveles. Con esto, se determinaron los beneficios y desventajas que ofrece el comportamiento diafragmático con la implementación de ambos sistemas de entrepisos. Se concluyó que resulta factible alcanzar un comportamiento de diafragma rígido con un sistema de entrepiso mixto, que se asegura mediante una correcta transferencia cortante para la sección compuesta entre el acero y la losa mixta de hormigón. Para los sistemas reticulares se obtienen mejores controles para los requerimientos de rigidez lateral y resistencia de la estructura sumado a las recomendaciones de serviciabilidad producto de las vibraciones inducidas por la actividad humana.

Palabras claves: Comportamiento diafragmático, estructura espacial mixta, tridilosa.



GRADUATE SCHOOL

ANALYSIS OF THE DIAPHRAGMATIC BEHAVIOR OF THE MIXED RETICULAR SLABS

DANIEL ENRIQUE MENDOZA CORRALES:

Abstract

The present research provides the reader with the information necessary to perform a comparative analysis of the diaphragmatic behavior between two lightweight floor systems, the mixed reticular slabs and the reference system of one direction joist floor slabs. The corresponding incidence of these systems was evaluated in the structural response of the buildings. The research includes the study of different structural configurations modifying variables of aspect relation, floor area, grid topology and heights of three, five and ten levels. With this, the benefits and disadvantages offered by diaphragmatic behavior were determined with the implementation of both floor systems. It was concluded that it is feasible to achieve a rigid diaphragm behavior with a mixed slabs system, which is ensured by a correct shear transfer for the composite section between the steel and the mixed concrete slab. For the reticular systems, better controls are obtained in the requirements of lateral stiffness and resistance of the structure added to the recommendations of serviceability product of the vibrations induced by the human activity.

Key words: Diaphragmatic behavior, mixed space structure, tridilosa.

DEDICATORIA

A mis padres José Conrado Mendoza y Nimia Alejandra Corrales, quienes aportaron todo su esfuerzo en mi formación académica y profesional, inculcándome los valores, el honor y respeto que se debe hacia los demás dentro del primer centro de enseñanzas que me acogió, su núcleo familiar.

A Idalia Marissa Ordoñez, quien me ha demostrado que el amor y la comprensión son fundamentales para alcanzar la felicidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios todopoderoso, quien me ha proporcionado la fortaleza necesaria para no detenerme en este continuo caminar, permitiéndome culminar una etapa más de mi desarrollo académico.

Al Dr. Joaquín Torre, quien noblemente ha compartido sus conocimientos, ideas, valores y consejos los cuales han contribuido a mi formación tanto académica y profesional como personal.

A Marcos Javier Martínez, por brindarme su amistad sincera, siempre tendiendo su mano y apoyando cuando es necesario.

A todos los integrantes del cuerpo docente que compartieron sus conocimientos, experiencias y que, a través de sus enseñanzas, han permitido mi formación profesional, aportando a su manera los conocimientos necesarios para la elaboración del presente documento.

A mis amistades y familiares quienes de cualquier manera me han expresado su apoyo y me han alentado a perseguir mis sueños y lograr mis metas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes del problema.....	3
1.3 Definición del problema	5
1.3.1 Enunciado del problema	5
1.3.2 Formulación del problema.....	5
1.3.3 Preguntas de investigación.....	6
1.4 Objetivos del proyecto	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Justificación	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Situación actual.....	9
2.1.1 Macroentorno.....	9
2.1.2 Microentorno.....	11
2.1.2.1 Marco Legal	12
2.1.3 Entorno Local.....	12
2.2 TEORÍAS.....	13
2.2.1 Teorías de sustento.....	13
2.2.1.1 Teoría de Diafragma	13
2.2.1.2 Teoría de Elasticidad.....	21
2.2.2 Conceptualización.....	23
	XI

2.3 ANTECEDENTES DE METODOLOGÍAS PREVIAS.....	24
2.3.1 Metodología descriptiva.....	24
2.3.2 Metodología de diseño.....	26
Análisis crítico de las metodologías empleadas.....	27
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	28
3.1 Congruencia metodológica	28
3.1.1 La matriz metodológica	28
3.1.2 Definición operacional de las variables	29
3.1.3 Hipótesis	31
3.2 Enfoque y métodos	31
3.3 Diseño de la investigación	33
3.3.1 Población.....	35
3.3.2 Muestra	35
3.3.3 Unidad de análisis	36
3.3.3 Unidad de respuesta.....	36
3.4 Técnicas, instrumentos y procedimientos aplicados.....	37
3.4.1 Técnicas	37
3.4.2 Instrumentos.....	37
3.4.3 Procedimientos.....	38
3.4.3.1 Etapa 1	38
3.4.3.2 Etapa 2	41
3.5 Fuentes de información.....	54
3.5.1 Fuentes primarias.....	54

3.4.2 Fuentes secundarias	55
3.6 Limitantes del estudio	55
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	56
4.1 Resultados de la encuesta.....	56
4.2 Resultados del análisis comparativo	65
4.2.1 Análisis estadístico.....	126
4.3 Diagrama de Ishikawa.....	128
4.4 Propuesta.....	131
4.4.1 Plataforma de análisis comparativo	131
4.4.2 Introducción.....	131
4.4.3 Descripción de la propuesta.....	132
4.4.3.1 Modelo matemático representativo.....	132
4.4.3.3 Determinación de la flexibilidad del diafragma.....	135
4.4.3.4 Evaluación de la respuesta estructural.....	137
4.4.4 Presupuesto	141
4.4.5 Cronograma.....	141
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	143
5.1 Conclusiones.....	143
5.2 Recomendaciones	145
BIBLIOGRAFÍA	148
ANEXOS.....	153
Anexo 1. Cuestionario de la encuesta aplicada en la etapa 1.....	153
Anexo 2. Cálculo del espesor equivalente del entrepiso compuesto:	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. La matriz metodológica	28
Tabla 2. Operacionalización de variables.	30
Tabla 3. Relaciones de aspecto de modelos en fase inicial, etapa 2	46
Tabla 4. Combinaciones y factores de carga, fase inicial.....	47
Tabla 5. Combinaciones y factores de carga, fase final.....	53
Tabla 6. Resultados para múltiplos de tableros de 8x8.....	66
Tabla 7. Resultados para múltiplos de tableros de 16x16.....	67
Tabla 8. Resultados para múltiplos de tableros de 32x32.....	67
Tabla 9. Resumen del comparativo entre transferencia de cortante o no	67
Tabla 10. Resumen del comparativo entre muros de cortante y marcos rígidos.	69
Tabla 11. Resumen del comparativo de espesores de losa en la EEMP.....	69
Tabla 12. Resumen del comparativo de JOIST C/T, EEMP y EEMP fase inicial	70
Tabla 13. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo JOIST, 3 niveles.	73
Tabla 14. Irregularidad torsional. Modelo JOIST, 3 niveles.	74
Tabla 15. Comportamiento diafragmático. Modelo JOIST, 3 niveles.....	75
Tabla 16. Desplazamiento máximo vertical. Modelo JOIST, 3niveles	76
Tabla 17. Relación D/C. Modelo JOIST, 3 niveles.	76
Tabla 18. Relación Peso / Volumen. Modelo JOIST, 3 niveles.	76
Tabla 19. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo JOIST, 5 niveles.	77
Tabla 20. Irregularidad torsional. Modelo JOIST, 5 niveles	78
Tabla 21. Comportamiento diafragmático. Modelo JOIST, 5 niveles.....	79

Tabla 22. Desplazamiento máximo vertical. Modelo JOIST, 5 niveles.	80
Tabla 23. Relación D/C. Modelo JOIST, 5 niveles.	80
Tabla 24. Relación peso / volumen. Modelo JOIST, 5 niveles.....	80
Tabla 25. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo JOIST, 10 niveles.	81
Tabla 26. Irregularidad torsional. Modelo JOIST, 10 niveles.	82
Tabla 27. Comportamiento diafragmático. Modelo JOIST, 10 niveles.....	83
Tabla 28. Desplazamiento máximo vertical. Modelo JOIST, 10 niveles.	84
Tabla 29. Relación D/C. Modelo JOIST, 10 niveles.	85
Tabla 30. Relación Peso / Volumen. Modelo JOIST, 10 niveles.	85
Tabla 31. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMG, 3 niveles.	87
Tabla 32. Irregularidad torsional. Modelo EEMG, 3 niveles.	87
Tabla 33. Comportamiento diafragmático. Modelo EEMG, 3 niveles.	88
Tabla 34. Desplazamiento máximo vertical. Modelo EEMG, 3 niveles.	89
Tabla 35. Relación D/C. Modelo EEMG, 3 niveles.	89
Tabla 36. Relación Peso / Volumen. Modelo EEMG, 3 niveles.....	89
Tabla 37. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMG, 5 niveles.	90
Tabla 38. Irregularidad torsional. Modelo EEMG, 5 niveles.	91
Tabla 39. Comportamiento diafragmático. Modelo JOIST, 5 niveles.....	92
Tabla 40. Desplazamiento máximo vertical. Modelo JOIST, 5 niveles.	92
Tabla 41. Relación D/C. Modelo JOIST, 5 niveles.	92
Tabla 42. Relación Peso / Volumen. Modelo JOIST, 5 niveles.	93
Tabla 43. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMG, 10 niveles.	94
Tabla 44. Irregularidad torsional. Modelo EEMG, 10 niveles.	95

Tabla 45. Comportamiento diafragmático. Modelo EEMG, 10 niveles.	96
Tabla 46. Desplazamiento máximo vertical. Modelo EEMG, 10 niveles.	97
Tabla 47. Relación D/C. Modelo EEMG, 10 niveles.	97
Tabla 48. Relación Peso / Volumen. Modelo EEMG, 10 niveles.....	97
Tabla 49. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMP, 3 niveles.....	99
Tabla 50. Irregularidad torsional. Modelo EEMP, 3 niveles.	99
Tabla 51. Comportamiento diafragmático. Modelo EEMP, 3 niveles.....	100
Tabla 52. Desplazamiento máximo vertical. Modelo EEMP, 3 niveles.	100
Tabla 53. Relación D/C. Modelo EEMP, 3 niveles.	101
Tabla 54. Relación Peso / Volumen. Modelo EEMP, 3 niveles.	101
Tabla 55. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMP, 5 niveles.....	102
Tabla 56. Irregularidad torsional. Modelo EEMP, 5 niveles.	103
Tabla 57. Comportamiento diafragmático. Modelo EEMP, 5 niveles.....	104
Tabla 58. Desplazamiento máximo vertical. Modelo EEMP, 5 niveles.	104
Tabla 59. Relación D/C. Modelo EEMP, 5 niveles.	105
Tabla 60. Relación Peso / Volumen. Modelo EEMP, 5 niveles.	105
Tabla 61. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMP, 10 niveles.....	106
Tabla 62. Irregularidad torsional. Modelo EEMP, 10 niveles.	107
Tabla 63. Comportamiento diafragmático. Modelo EEMP, 10 niveles.....	108
Tabla 64. Desplazamiento máximo vertical. Modelo EEMP, 10 niveles.	109
Tabla 65. Relación D/C. Modelo EEMP, 10 niveles.	109
Tabla 66. Relación Peso / Volumen. Modelo EEMP, 10 niveles.	110
Tabla 67. Matriz comparativa desplazamientos relativos en Y, fase final	111

Tabla 68. Índice de Ju-Lin para borde 3 edificio 3 niveles Joist.	117
Tabla 69. Relaciones demanda capacidad para sistemas JOIST, EEMG y EEMP.....	120
Tabla 70. Relaciones de peso/volumen.....	121
Tabla 71. Análisis descriptivo de las diferencias en peso total estructural.....	126
Tabla 72. Análisis descriptivo de las diferencias del comportamiento diafragmático ...	127
Tabla 73. Parámetros de relación peso de acero / volumen de hormigón.....	139
Tabla 74. Valores recomendados de amortiguamiento y límites de a_o/g	141
Tabla 75. Presupuesto para la propuesta de análisis comparativo.	141
Tabla 76. Cronograma para la propuesta de análisis comparativo.	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Puente de Tordera, Barcelona, España.	10
Figura 2. Entrepiso espacial desarrollado por Space Deck.	11
Figura 3. Puente Peatonal con estructura reticular mixta	13
Figura 4. Estructura espacial reticular como cubierta de techo.	13
Figura 5. Estructura espacial reticular como cubierta de techo en voladizo.	13
Figura 6. Tipos Básicos de Diafragma: (a) Diafragma de panel, (b) Diafragma horizontalmente arriostrado.	16
Figura 7. Acción de viga del Diafragma.	17
Figura 8. Terminologías de diseño del diafragma	18
Figura 9. Comportamiento diafragmático.	21
Figura 10. Diagrama de variables	29
Figura 11. Diseño de la investigación.	34
Figura 12. Sección transformada del entrepiso mixto a hormigón.	43
Figura 13. Unidades básicas de modelos	45
Figura 14. Unidades rigidizadas de modelos.	46
Figura 15. Planta típica marcos rígidos, fase final.	49
Figura 16. Planta típica tridilosa (EEMP) en claros de 16.60x23.2 y EEMG en claros interiores y voladizos, fase final.	51
Figura 17. Espectro de respuesta elástico para $S=2$, $R_w=8$, $I=1$ y $Z=0.25$	52
Figura 18. Conocimiento del riesgo sísmico en Honduras	56
Figura 19. Normativas de construcción observadas en proyectos y obras.	57

Figura 20. Promedios de la valoración de los elementos de selección para un sistema de entrepiso.....	59
Figura 21. Diagrama de caja y bigote: valoración de los elementos de selección para un sistema de entrepiso.	59
Figura 22. Uso de entrepisos aligerados en obras.....	60
Figura 23. Motivos del uso de sistemas de entrepiso aligerados.....	61
Figura 24. Motivos del no uso de sistemas de entrepiso aligerados.....	63
Figura 25. Disponibilidad al cambio del sistema de entrepiso.	64
Figura 26. Conocimiento del sistema reticular aligerado.	65
Figura 27. Comparativa entre transferencia cortante o no.....	68
Figura 28. Comparativa de JOIST C/T, EEMP y EEMP fase inicial.....	71
Figura 29. Configuración de joist en una dirección.....	73
Figura 30. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo JOIST, 3 niveles.....	73
Figura 31. Desplazamientos relativos. Modelo JOIST, 3 niveles.....	75
Figura 32. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo JOIST, 5 niveles.....	77
Figura 33. Desplazamientos relativos. Modelo JOIST, 5 niveles.....	79
Figura 34. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo JOIST, 10 niveles.....	81
Figura 35. Desplazamientos relativos. Modelo JOIST, 10 niveles.....	83
Figura 36. Configuración de EEMG en dos direcciones.	86
Figura 37. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo EEMG, 3 niveles.....	86
Figura 38. Desplazamientos relativos. Modelo EEMG, 3 niveles.....	88
Figura 39. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo EEMG, 5 niveles.....	90
Figura 40. Desplazamientos relativos. Modelo EEMG, 5 niveles.....	91

Figura 41. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo EEMG, 10 niveles.	93
Figura 42. Desplazamientos relativos. Modelo EEMG, 10 niveles.	94
Figura 43. Configuración de EEMP en dos direcciones.	98
Figura 44. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo EEMP, 3 niveles.	98
Figura 45. Desplazamientos relativos. EEMP, 3niveles.	100
Figura 46. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo EEMP, 5 niveles.	101
Figura 47. Desplazamientos relativos. Modelo EEMP, 5 niveles.	103
Figura 48. Desplazamientos relativos. Modelo EEMP, 10 niveles.	106
Figura 49. Desplazamientos relativos. Modelo EEMP, 10 niveles.	108
Figura 50. Comparativa de irregularidades torsionales, fase final.	114
Figura 51. Comportamiento diafragmático en X ($\delta/\Delta x$)	115
Figura 52. Comportamiento diafragmático en Y ($\delta/\Delta y$)	116
Figura 53. Desplazamientos verticales para el sistema EEMP.	119
Figura 54. Desplazamientos verticales para sistemas JOIST y EEMG.	119
Figura 55. Función de Pulso magnitud de carga unitario vs tiempo (s)	123
Figura 56. Aceleraciones pico – Frecuencia para límites de comodidad humana.	124
Figura 57. Aceleraciones pico en entrepisos.	125
Figura 58. Diferencial de rigidez JOIST vs EEMG. (a) eje X, (b) eje Y.	128
Figura 59. Diagrama de Ishikawa.	130
Figura 60. Correlación entre espesores de losa y relación de aspecto en su comportamiento diafragmático.	134
Figura 61. Flexibilidad del diafragma.	136
Figura 62. Vista en planta de las posibles distorsiones del entrepiso.	136

Figura 63. Irregularidad torsional	138
Figura 64. Cantidades de acero para sistemas resistentes gravitacionales y laterales	139
Figura 65. Aceleraciones Pico recomendadas para la comodidad debido a vibraciones por actividad humana (Allen y Murray, 1993).....	140
Figura 66. Diagrama de Gantt para la propuesta de análisis comparativo.....	142

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Es la introducción general del estudio que incluye segmentos importantes como el planteamiento problema que es la base de la tesis y la formulación de los objetivos. Concluyendo con la justificando la investigación identificando el aporte que se pretende para la sociedad.

1.1 Introducción

El ingeniero estructuralista, durante las diferentes etapas que conlleva un proyecto estructural, procura tomar decisiones que le aseguren el comportamiento óptimo de la estructura, es por ello que Martínez y Ramírez (1999) define el diseño estructural como un proceso que “involucra todas aquellas actividades encaminadas a la definición de las propiedades del sistema (estructural) que proporcionan de manera económica *resistencia y rigidez* a la construcción” (p.172).

Muchos factores se involucran en la mejora o deterioro del comportamiento estructural de una edificación. El concepto de la simetría estructural, que aboga por una armonía entre las rigideces y las masas, procurando la disminución de las excentricidades entre sus centros de acción; resulta ser una herramienta valiosa para alcanzar este objetivo de comportamiento óptimo.

Las configuraciones arquitectónicas pueden derivar en irregularidades estructurales que requieren de tratamientos específicos establecidos por las normativas de diseño. Estas inciden en la selección de la tipología estructural con la que se puede lograr el mejor desempeño estructural.

La tipología estructural se define como el conjunto de elementos estructurales (vigas, columnas, muros, entrepisos, etc.) que conforman un sistema resistente a las cargas que debe soportar la edificación, tanto gravitacionales como laterales. Estos elementos, como partes

individuales tienen una función específica, por ejemplo: la losa procura transmitir las cargas de servicio verticales a los pilares o columnas, pero ante un evento sísmico o cargas de viento, su aporte al sistema es la distribución de las cargas laterales inerciales al resto de elementos que conforman el sistema resistente, de manera diferente ya sea si es que se comporta como un diafragma rígido, semi rígido o flexible.

Un factor que resulta beneficioso, cuando se toman en consideración grandes luces y a su vez, en zonas con riesgo sísmico; es la reducción del peso propio de las estructuras, una forma de lograrlo es aligerando los entrepisos mediante el uso de losas mixtas. Los entrepisos compuestos están configurados típicamente por entramados de vigas de alma abierta (joist) en una dirección, conectadas mediante transferencia de cortante a una losa mixta de hormigón superior de espesor reducido, resultando también en simplificaciones constructivas y menores costes. Su comportamiento diafragmático puede variar de rígido a flexible, en cuyo caso, la metodología de diseño debe cambiarse, de acuerdo a las filosofías de diseño tradicionales, debido a una distribución de esfuerzos diferentes respecto a la que se muestra en las normativas, que están dictadas para un comportamiento de diafragma rígido.

Es necesario entonces, realizar un estudio de su comportamiento diafragmático y la respuesta que conlleva la flexibilización del comportamiento de diafragma, entendiendo que serán el resto de elementos que conforman el sistema lateral resistente (las vigas y columnas o muros) quienes deban aportar la rigidez requerida que deja de aportar el diafragma, ya sean los marcos rígidos compuestos de columnas y vigas u otros elementos verticales como muros cortantes.

1.2 Antecedentes del problema

Un elemento necesario para el análisis y diseño de estructuras sometidas a solicitaciones laterales debidas a la acción del viento o sismo es el diafragma. El Código Hondureño de la Construcción (CHOC-2008) le define como “un sistema horizontal, o casi horizontal, que actúa para transmitir fuerzas laterales a los elementos verticales resistentes a fuerzas laterales”.

Es pues el eslabón primordial en la cadena de transmisión de cargas y distribución de los esfuerzos, que permiten a la estructura la absorción de esfuerzos y su respectiva disipación de energía mediante los desplazamientos y deformaciones, si se trata de un diafragma rígido. En función a la permisividad de los desplazamientos en el plano, los diafragmas se pueden categorizar como diafragmas rígidos, semi rígidos y flexibles. El Uniform Building Code (1994) define que un diafragma “debe considerarse flexible para los propósitos de distribución del cortante basal y momentos torsores cuando la deformación lateral máxima del diafragma es mayor a dos veces el desplazamiento relativo horizontal del entrepiso asociado”. Matemáticamente esto se puede representar mediante la expresión $\delta_{m\acute{a}x} \geq 2\Delta_h$.

Una práctica común en la ingeniería estructural es asumir un comportamiento de diafragma rígido, esto permite que la distribución de fuerzas laterales entre los elementos resistentes sea de acuerdo con sus rigideces, disminuyendo los grados de libertad y creando un análisis más amigable. Esta asunción no resulta necesariamente conservadora, en el caso de un comportamiento de diafragma flexible, llevando a diseños ineficientes e inseguros (Hadianfard, 2012). Diferentes autores han enfocado sus estudios para determinar las principales variables que afectan la rigidez o no del sistema de entrepisos ante las deformaciones en su plano, y como estas afectan el comportamiento de la estructura como un todo.

Se identifica a la geometría propia del entrepiso, como una de las principales variables que afectan su rigidez, las relaciones de aspecto largo y ancho influyen directamente en una necesidad de incrementar el espesor del diafragma para lograr el comportamiento rígido del mismo de manera directa en proporcionalidad (Girón, 2013). Otro factor en consideración es la configuración del sistema resistente a cargas laterales, cuando incluye elementos verticales con alta rigidez (muros de cortante), acentúan la relación entre el desplazamiento máximo y el promedio de los desplazamientos relativos, volviendo un factor crítico la ubicación de estos elementos para mejorar el comportamiento rígido del diafragma (Tena-Colunga, 2000).

Bhuiyan y León (2013) en su investigación de respuesta del efecto de la flexibilidad de diafragma en edificios de gran altura, concluyen que “los diafragmas flexibles producen en la estructura mayores desplazamientos con respecto a estructuras con diafragmas rígidos, y sus períodos fundamentales de vibración tienden a aumentar en igual medida”. Esto significa una disminución en la rigidez global del sistema estructural, lo cual puede ocasionar problemas de control en los desplazamientos laterales permisibles y la consecuente demanda de elementos más rígidos como los muros de cortante que a su vez son una solución de mayor costo.

El comportamiento de diafragma flexible es común a la tipología de losas mixtas con viguetas metálicas de alma abierta, la diferencia con respecto a las losas reticulares mixtas se debe a las características intrínsecas que nos expone Bozzo M. (2003) “Las estructuras espaciales mixtas (EEM) proporcionan, además, un aumento de la inercia de la sección sin un sensible incremento del peso muerto de la misma” (p. 50). Dado que la inercia es directamente proporcional a la rigidez, estamos asegurando contar con una mayor rigidez de diafragma.

En cuanto al comportamiento del sistema reticular mixto con respecto a las soluciones tradicionales, se aventaja gracias a la reducción de peso del sistema que incide directamente en las fuerzas cortantes equivalentes que actúan en el entrepiso.

1.3 Definición del problema

1.3.1 Enunciado del problema

Un estudio orientado al control de vibraciones excesivas de un entrepiso compuesto con viguetas de alma abierta, realizado durante mis estudios de la patología estructural; la causante determinada fue una falta de rigidez en el sistema. Esto me llevó a cuestionar el desempeño de este tipo de entrepisos y cuál es el impacto en la respuesta global de la estructura.

Es necesario para el profesional de la ingeniería estructural tener claridad frente a este tipo de situaciones ya que, durante el proceso de configuración estructural, las tipologías pueden afectar directamente en el desempeño, incidiendo en la eficiencia de los elementos que conforman la edificación que se proyecta. Los diafragmas, como parte del sistema lateral resistente, son un elemento primordial en la distribución inercial de los esfuerzos y su incidencia en el desempeño de la estructura resulta importante. Es por esto que implementar un análisis comparativo de la respuesta de diferentes tipologías de diafragmas mixtos, permitirá al proyectista una mayor claridad para el control de las deficiencias en la respuesta estructural.

1.3.2 Formulación del problema

Deficiencias de rigidez y respuesta estructural debido a la implementación de sistemas de entrepisos mixtos con un comportamiento de diafragma no rígido.

¿Qué tan factible es alcanzar un comportamiento de diafragma rígido en un sistema de entrepiso mixto con el que se provea de eficiencia a la respuesta estructural del edificio?

1.3.3 Preguntas de investigación

Para poder evaluar este trabajo de investigación se plantea las siguientes preguntas:

- ¿Qué factores limitan o potencian un comportamiento de diafragma rígido, propiciando la eficiencia del comportamiento estructural?
- ¿Existe una necesidad real de información respecto al comportamiento diafragmático?
- ¿Con qué opciones de sistemas de entrepiso mixto se cuenta para lograr un comportamiento de diafragma rígido que conlleve una respuesta estructural óptima?
- ¿Cuál sería la alternativa más factible para hacer más eficiente la respuesta estructural y que ventajas se obtienen con una mayor rigidez del diafragma?

1.4 Objetivos del proyecto

1.4.1 Objetivo general

Proveer la información necesaria que facilite la implementación de un sistema de entrepiso eficiente, mediante una plataforma de análisis comparativo de sistemas de entrepisos mixtos con enfoque en su comportamiento diafragmático y la consecuente respuesta de la estructura, identificando los beneficios que permitan el desempeño óptimo del edificio.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar las causas o factores que limitan o potencian la rigidez del diafragma y que influye en la respuesta estructural.

- Determinar las necesidades de información respecto al comportamiento diafragmático de sistemas de entrepiso mixtos en el gremio de Ingenieros Civiles en Honduras.
- Analizar comparativamente la respuesta de sistemas de diafragma de losas mixtas con vigas joist y losas mixtas reticulares, identificando los beneficios en el comportamiento estructural.
- Proponer una plataforma de análisis comparativo de sistemas de entrepisos con enfoque en su comportamiento diafragmático y la consecuente respuesta de la estructura que permita seleccionar la alternativa más factible y eficiente.

1.5 Justificación

Para la mayoría de los economistas la ausencia de una infraestructura adecuada, así como la provisión ineficiente de servicios de infraestructura, constituyen obstáculos de primer orden para la implementación eficaz de políticas de desarrollo y la obtención de tasas de crecimiento económico que superen los promedios internacionales.

Muchas naciones, incluido Honduras, apuestan por invertir en infraestructura para promover e incentivar la economía; de ahí que la construcción, como parte de la infraestructura de edificaciones, es parte fundamental del desarrollo y el mejor acomodo de asentamientos en el país. Sistemas constructivos y tipologías que contribuyan a la eficiencia y uso racional de los materiales, permiten una mejor inversión de los recursos, aumentando la accesibilidad al producto esperado, en nuestro caso particular, las edificaciones.

Los beneficios de una tipología mixta cuyo comportamiento diafragmático sea rígido y se traduzca en una respuesta estructural eficiente se resumen en:

- Mejora en el control de desplazamientos.
- Reducción de las secciones de elementos verticales que conforman el sistema resistente a cargas laterales.
- Reducción del peso de la estructura y consecuentes beneficios para la cimentación.
- Mejores condiciones de serviciabilidad.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

Mediante una revisión bibliográfica de las fuentes informativas relacionadas con el tema de investigación, se presenta un análisis de la situación actual en el entorno y contexto alrededor de la problemática. Un análisis de las metodologías aplicadas, articuladas para alcanzar los objetivos, especificando los alcances, ventajas y limitaciones; así como las alternativas para superar dichas limitantes.

2.1 Situación actual

El hormigón, como material de construcción, ha demostrado su eficacia bajo esfuerzos de compresión, pero una debilidad a la tracción, es por ello que se auxilia del acero de refuerzo, el cual complementa su carencia de resistencia a tracción configurando al hormigón reforzado. Esta combinación de materiales, moldean elementos estructurales como las vigas que, bajo cargas perpendiculares a su eje o fuera de su plano, son aptas para resistir los esfuerzos de flexión. La flexión produce zonas de compresión y tracción en la sección transversal de la viga, siendo la compresión resistida por una porción del hormigón y acero de refuerzo en conjunto, pero la tracción únicamente por el acero refuerzo.

2.1.1 Macroentorno

Observando ese comportamiento típico de viga, surge la idea de implementar sistemas que aporten hormigón únicamente donde se necesita (zona compresiva) y acero estructural en las zonas de tracción, dando paso a los sistemas de losas mixtas. En España se construyó el puente mixto de Tordera (1948), obra de E. Torroja, conformando el puente mediante un tablero superior de hormigón que sirve como superficie de rodadura y estructuras de acero en una triangulación bajo el tablero con una variación parabólica, según la ley de momentos flectores (Figura 1).



Figura 1. Puente de Tordera, Barcelona, España.

Fuente: (Ebe 2005-2007)

Este tipo de estructuras se conocen como estructuras espaciales mixtas, y sus orígenes se remontan a Alexander Graham Bell en 1907, quien además de ser el inventor del teléfono, trabajó con unidades tetraédricas y octaédricas para crear varias configuraciones consistentes en ensamblajes de múltiples capas de barras de igual longitud y unidas entre sí mediante conexiones simples, esta fue la primera estructura espacial.

El primer sistema comercial de estructuras espaciales fue el sistema Mero (1943), creado por el Dr. Max Mengerhausen, basado en conectores esféricos simples y prácticos. El sistema de entrepiso espacial fue desarrollado a principios de la década de los 50, por Space Deck en Reino Unido. El sistema fue realizado mediante pirámides invertidas prefabricadas con cuerdas superiores y cuatro miembros de arrioste diagonales. Las unidades fueron conectadas entre sí utilizando tirantes y pernos tal como se muestra en la Figura 2. En México, el ingeniero Heberto Castillo toma el concepto de la estructura espacial mixta y forma un conjunto estructural resistente uniendo una estructura espacial metálica con dos losas de hormigón armado, al cual denominó “Tridilosa” y lo aplicó como losas de entrepisos en el proyecto Hotel de México (1967), cubiertas de techo y puentes vehiculares.

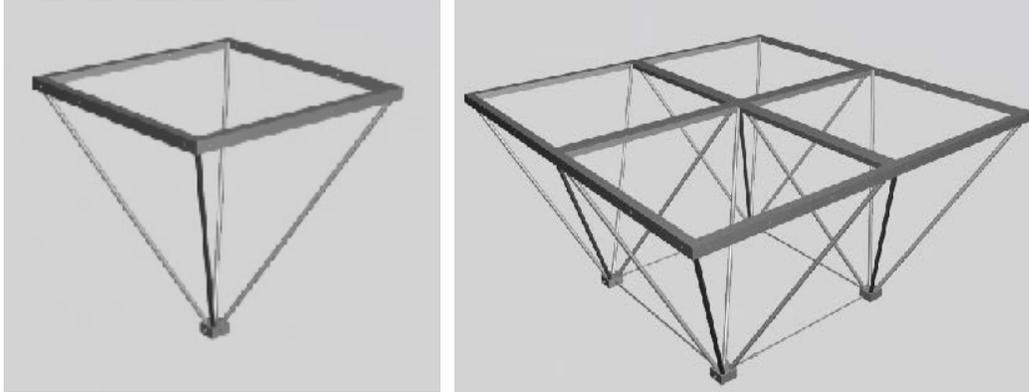


Figura 2. Entrepiso espacial desarrollado por Space Deck.

Fuente: Virginia Polytechnic Institute and State University (2011)

La Tridilosa es en sí una malla reticular mixta, una estructura espacial la cual “es una versión en el espacio de las tradicionales celosías o cerchas planas, empleadas antiguamente más por limitación en el análisis que por otro condicionante” (Bozzo M., Bozzo L., 2003) y que representan una alternativa de entrepiso que posee las condiciones para comportarse como un diafragma rígido en ambas direcciones.

2.1.2 Microentorno

La tendencia constructiva en las ciudades de Tegucigalpa y San Pedro Sula, presiona por la construcción vertical, que optimice los espacios y el territorio en un proceso de densificación típico de las ciudades urbanizadas. Esto crea una demanda por sistema constructivos de bajo costo y eficientes que cumplan con los requerimientos de resistencia y serviciabilidad, es decir seguros dada la gran inversión que requieren estas edificaciones.

Tipologías de losa plana postensada sin vigas y muros cortantes (flat slab) surgen como alternativas para edificaciones superiores a los 10 niveles con luces considerables, alrededor de los 8 metros, otras tipologías como mampostería confinada y losas planas reforzadas cubren la necesidad para edificios a los 10 niveles y con luces más reducidas. Las tipologías de marcos

rígidos de hormigón o acero con entrepisos aligerados de vigas de alma abierta tipo joist, cubren la necesidad para edificaciones de tipo comercial, donde se necesitan cubrir luces mayores de los 8 metros y es en este sector, donde el sistema de losas reticulares mixtas puede tomar ventajas competitivas que beneficien a la industria de la construcción.

2.1.2.1 Marco Legal

Es notable destacar la observancia de la normativa vigente en nuestro país, en nuestro caso y para todo el presente estudio, se estarán observando los criterios de diseño especificados en el Código Hondureño de la Construcción (CHOC, 2008), el cual, considerando que Honduras se encuentra ubicado geográficamente en zonas susceptibles a desastres naturales, por lo que ha sido necesario su implementación para reducir vulnerabilidades, con la finalidad de desarrollar mejores prácticas y técnicas de construcción en edificaciones seguras y confiables. Esta norma fue declarada como norma técnica nacional de construcción por el Congreso Nacional de la República, por lo que su observancia es de carácter obligatorio para los proyectos que se desarrollen dentro del territorio nacional (Decreto 173-2010, 2010).

2.1.3 Entorno Local

La aplicación de estructuras espaciales o reticulares en la ciudad de Tegucigalpa es reducida y orientada a estructuras de puentes peatonales (Figura 3) y de cobertura de espacios amplios como el polideportivo de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (Figura 4). Otro ejemplo de la implementación del sistema como cubierta de techo se encuentra en la sede del capítulo noroccidental del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH), en donde se implementó para un voladizo de más de 15 metros (Figura 5) para cumplir siempre con la función de cobertura de techo.



Figura 3. Puente Peatonal con estructura reticular mixta

Fuente: Diario la Tribuna Honduras, 2015



Figura 4. Estructura espacial reticular como cubierta de techo.

Fuente: Dirección Ejecutiva de Gestión de Tecnología UNAH, 2015



Figura 5. Estructura espacial reticular como cubierta de techo en voladizo.

2.2 TEORÍAS

2.2.1 Teorías de sustento.

2.2.1.1 Teoría de Diafragma

Para tener un panorama claro con un enfoque en el comportamiento estructural del diafragma, es necesario definir los papeles que este desempeña, así como sus componentes, previo

a describir los métodos de análisis y diseño utilizados con anterioridad durante el desarrollo del posgrado que resultan necesarios para la evaluación de la respuesta estructural de la edificación que se pretende.

Funciones del Diafragma Estructural

Como se describió anteriormente, la finalidad última de un sistema de entrepiso no es exclusivamente la de transmitir cargas verticales a los elementos de soporte, siguiendo un flujo a través de vigas, columnas, muros de cortante y cimentación. Las cargas ecológicas horizontales como el viento, los sismos y empujes de suelos o fluidos, convierten al entrepiso en un elemento más activo dentro del sistema estructural en conjunto, necesitando éste de componentes verticales resistentes a cargas laterales (VLLR, por sus siglas en inglés) compuesto por muros de cortante y marcos rígidos y los elementos horizontales resistentes a cargas laterales compuesto por el diafragma en sí.

El Programa Nacional de Reducción de Riesgo Sísmico Norteamericano (NEHRP) define que la función principal del entrepiso como diafragma incluye la transferencia lateral de fuerzas inerciales a los elementos verticales del sistema lateral resistente, dichas fuerzas se generan en el plano del diafragma y, dependiendo de su comportamiento, este será capaz de distribuir cargas cortantes y torsionales. A su vez, otro papel desempeñado es la resistencia a las cargas verticales fuera de plano producto de las cargas superpuestas permanentes y el peso propio (NEHRP, 2011).

Nielson (2013) nos indica que el soporte lateral o arriostramiento de los elementos verticales también recae en el diafragma ya que a través de su conexión con los elementos verticales en un edificio de varios niveles, reduce la longitud efectiva no arriostrada de los mismos, lo cual le permite en el caso de un muro de retención de suelos, servir de apoyo lateral al muro,

distribuyendo los esfuerzos desde el muro hacia el resto de elementos verticales resistentes y de estos hasta el cimiento, produciéndole al diafragma reacciones compresivas en sus bordes.

El propósito de los diafragmas es distribuir las fuerzas laterales a los elementos que componen el VLLR sirviendo como agente de enlace transformando al edificio en una sola unidad, se comporta como una viga horizontal continua soportada entre los componentes del VLLRS, actúa como una malla de vigas continuas (*retícula*), provoca que los miembros de los bordes del piso actúen como patines o cuerdas de una viga continua y proveen de estabilidad a las estructuras. (Tanarath, 2016, p.77)

De esta manera esclarecemos la importancia del comportamiento diafragmático del sistema de entrepiso en el conjunto de elementos que componen la estructura y lo importante que este resulta para la eficiencia del comportamiento global del edificio.

Tipos de Diafragma

Podemos ahora construir el significado del concepto diafragma en función a sus papeles desempeñados, pero ¿Qué nos dicen los Códigos de construcción al respecto? El International Building Code (IBC, 2006) es su sección 1602.1 define al diafragma como “un sistema horizontal o inclinado actuante para transferir cargas laterales a los elementos verticales resistentes. Cuando la palabra diafragma es utilizada, deberá incluir los sistemas de arriostamiento horizontal”.

Nielson (2013) nos brinda una clasificación de los diafragmas de acuerdo al tipo básico:

Diafragmas de panel. Estos pueden analizarse como si se tratara de una viga I, donde los patines o cuerdas toman el esfuerzo a flexión y el alma de la viga toma el esfuerzo cortante (Figura 6a).

Diafragmas horizontalmente arriostrados: Se comportan como una armadura, transmitiendo los esfuerzos mediante puntales y tensores, a este tipo de diafragmas se refiere el

código IBC (2006) al indicar que “al referirse a diafragmas se deberán incluir los sistemas de arriostramiento horizontal”, haciendo mención también de los sistemas constructivos metálicos de marcos arriostrados inclusive (Figura 6 (b)).

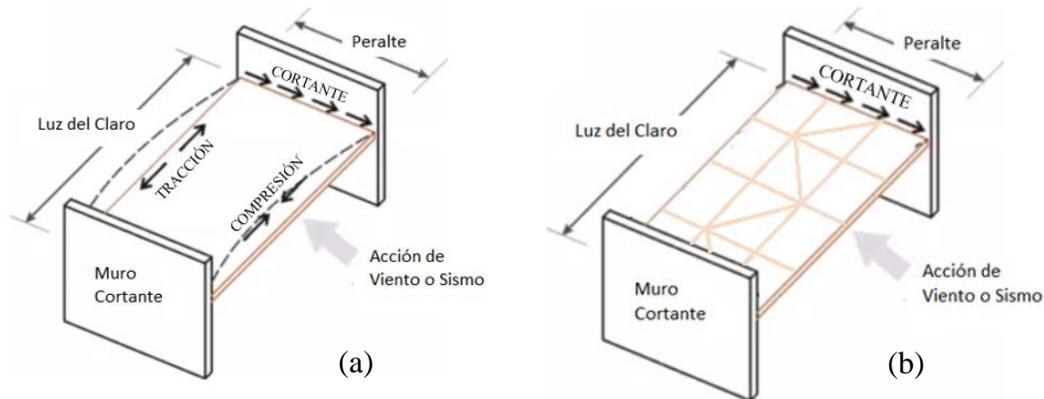


Figura 6. Tipos Básicos de Diafragma: (a) Diafragma de panel, (b) Diafragma horizontalmente arriostrado.

Fuente: (Nielson, 2013)

Dado su composición en cuanto a materiales y a la configuración del sistema, podríamos clasificarlos como:

- Losas sólidas de hormigón.
- Elementos prefabricados con o sin losa de relleno de hormigón (vigüeta y bovedilla).
- Vigas compuestas de acero con losa de relleno.
- Entrepiso metálico sin losa de relleno de hormigón (o cubiertas de techo).

Componentes del Diafragma

El ASCE 7 Minimum Design Loads fo Buildings and Structures 2010 en su sección 11.2 define a los elementos de borde de los diafragmas y muros de cortante entre los cuales el diafragma transmite sus fuerzas. “Los miembros de borde incluyen cuerdas y puntales de arrioste en el diafragma y en los perímetros del muro, en el interior de aberturas, discontinuidades y reentrantes

de esquinas”. Definiendo también que un miembro de borde es “la porción a través de la cual los bordes de muro y diafragma se refuerzan por el refuerzo longitudinal y transversal”.

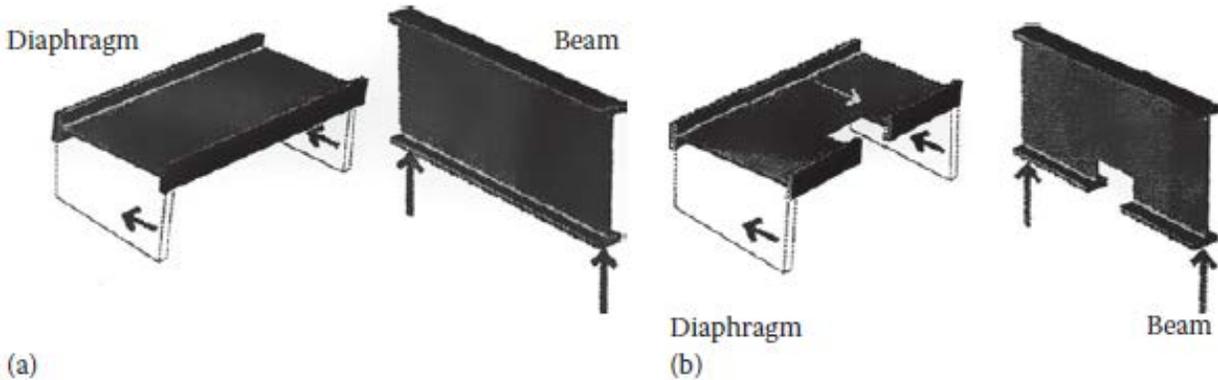


Figura 7. Acción de viga del Diafragma

Fuente: (Tanarath, 2016)

La analogía del comportamiento de viga para el diafragma resulta útil para la comprensión de estas definiciones y el entendimiento del funcionamiento del diafragma (Figura 7). Continuando con dicha analogía y teniendo una mejor comprensión de lo que el ASCE nos indica, nos ayudaremos de la figura 8a para identificar los diferentes componentes del diafragma. Esta ilustración nos presenta una planta idealizada de entrepiso que nos permite identificar los apoyos consistentes de los elementos VLLR, la carga uniformemente distribuida generada por la acción ecológica ya sea de viento, sismo o un empuje de suelo, la cual hace que los bordes de la losa perpendiculares a la carga actuante se compriman y traccionen debido al par de fuerzas generada por la flexión que se produce (Figura 8c), adquiriendo el comportamiento de cuerdas que tenemos en una viga simplemente apoyada. Estas cuerdas deberán diseñarse para soportar las tracciones o compresiones generadas por el comportamiento de viga.

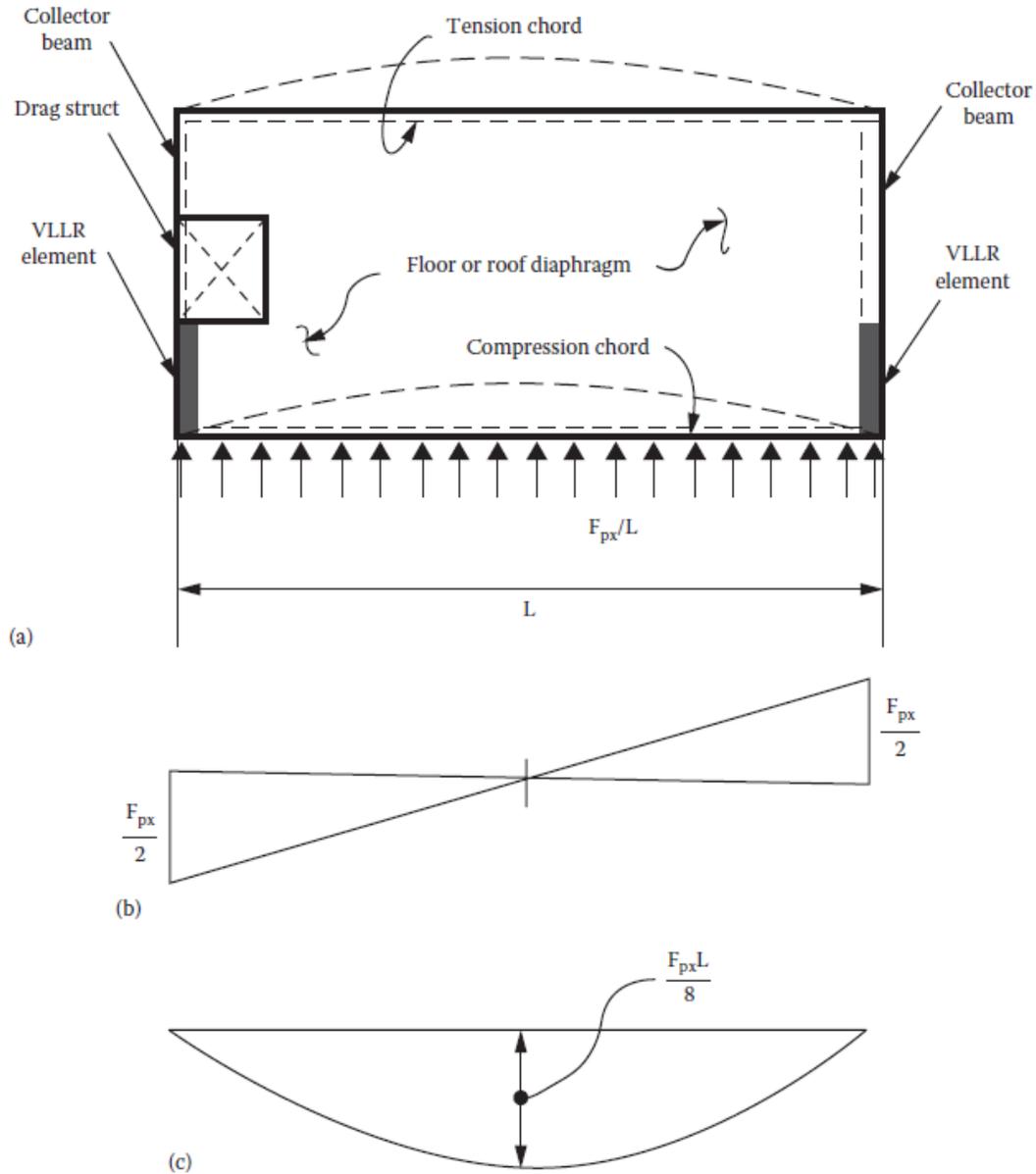


Figura 8. Terminologías de diseño del diafragma: (a) vista en planta (b) diagrama de cortantes, (c) diagrama de momentos. Nota: F_{px} fuerza de diseño de diafragma (ASCE 7-10 sección 12.10.1.1)

Fuente: (Tanarath, 2016)

Los colectores, es la zona de interacción entre los bordes tanto de la losa como del elemento VLLR o apoyo, los cuales están sometido a esfuerzos de corte (Figura 8 (b)), y son a través de los cuales las cortantes del entrepiso se transfieren a los elementos del sistema VLLR. Otros

importantes elementos dentro del diafragma son los elementos de arriostre o “drag struct”, los cuales permiten darles continuidad a las cuerdas y/o colectores ante las discontinuidades generadas en el diafragma, esto debido a la configuración arquitectónica del entrepiso o a los vacíos necesarios para ductos o cubos de ascensores y gradas de acceso. Estos se comportarán como puntales o tensores, transfiriendo los esfuerzos de la cuerda o colector de un extremo a otro de la discontinuidad. Tanarath (2016) los define como “elementos lineales de diafragma que colectan o arrastran las fuerzas cortantes del diafragma desde las áreas no soportadas del diafragma hasta los elementos resistentes verticales” (p. 96).

Comportamiento diafragmático y principios de diseño

De acuerdo a su comportamiento en cuanto a la distribución de las fuerzas del entrepiso, los diafragmas se pueden clasificar en tres tipos básicos:

Diafragmas Flexibles. “Son diafragmas compuestos de entrepisos de acero sin relleno de hormigón o paneles estructurales de madera cuando los elementos verticales son de acero o marcos arriostrado de acero compuesto con hormigón, o de hormigón, mampostería, acero o muros cortantes compuestos” (ASCE-7, 12.3.1.1).

El Uniform Building Code (UBC, 1994) define los Diafragmas flexibles como aquellos “donde el cálculo del máximo desplazamiento en el plano del diafragma bajo cargas laterales es mayor que dos veces el promedio del desplazamiento lateral relativo del sistema vertical resistente a cargas laterales adjunto”.

De acuerdo con Nielson (2013), la distribución de las cargas se realiza de acuerdo al área tributaria de la viga equivalente para los elementos de soporte que conforman el VLLR asumiendo

una viga simplemente apoyada (articulada en los apoyos). Los puntos claves para el diafragma flexible son que este “es muy flexible en comparación con el sistema VLLR (muros cortantes, marcos arriostrados), el análisis resulta simple y se puede realizar a mano, teniendo en cuenta que este diafragma no es capaz de distribuir fuerzas torsionales” (Figura 9 c).

Para Lindeburg & McMullin (2008) los diafragmas flexibles deben cumplir con los requerimientos estructurales que le permitan tener la resistencia suficiente para soportar las acciones del viento o sismo, el diafragma debe estar anclado de manera segura a sus soportes de manera que pueda transmitir las fuerzas paralelas y perpendiculares a estos.

Diafragmas Rígidos. “Los diafragmas de losas de hormigón o entrepiso metálico sin losa de relleno de hormigón con una relación largo ancho menor que 3 se consideran rígidos. La estructura no deberá tener irregularidades horizontales” (ASCE-7, 12.3.1.1), a su vez aclara que dicha definición es indistinta al sistema VLLR y que la distribución de fuerzas será de manera relativa a la rigidez de dicho sistema.

Para Tena-Colunga (2007) “un diafragma rígido es aquel capaz de transmitir los movimientos de cuerpo rígido sin experimentar deformación alguna” (p. 368). Bajo esta aproximación de comportamiento del diafragma se asume que la deformación del diafragma con respecto a su sistema de soporte VLLR es insignificante (Naeim F., 2001). La torsión se puede y debe distribuir en un 5% de la dirección perpendicular a la carga de acuerdo al Código Hondureño de la Construcción (2008) y los cálculos de distribución resultan un poco más complejas debido al giro que produce la torsión (Figura 9b).

Diafragmas Semi rígidos: Para Nielson (2008) este tipo de enfoque de comportamiento es más preciso que las aproximaciones anteriores y requiere una modelación computacional

utilizando elementos de cascaron (shell) para el diafragma. Técnicamente es más realista y se considera la torsión (Figura 9d).

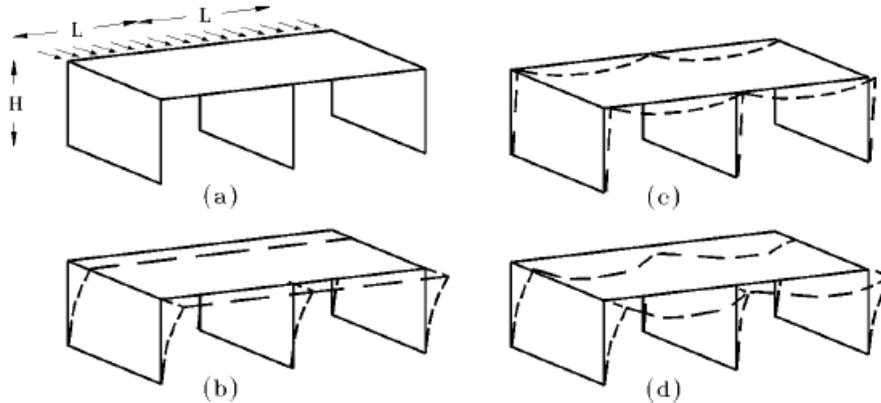


Figura 9. Comportamiento diafragmático. (a) Cargas y proporciones del edificio, (b) Comportamiento de Diafragma rígido. (c) Comportamiento de diafragma Flexible, (d) Comportamiento Semi rígido.

Fuente: (Naeim, 2001)

Al momento de clasificar un diafragma debemos recordar que “Ningún diafragma es perfectamente rígido o flexible. Asunciones racionales, tienden a tomarse sobre el comportamiento diafragmático rígido o flexible, en el orden de simplificar el análisis” (Naeim F., 2001).

2.2.1.2 Teoría de Elasticidad

Se dice que un cuerpo perfectamente elástico es aquel que recupera su forma después de retirar las fuerzas que actúan sobre si mismo. Esta hipótesis se cumple con diferente grado de aproximación para la mayoría de materiales estructurales, si las fuerzas no superan un umbral definido. En caso contrario, se inducen en el cuerpo fenómenos de plasticidad.

La elasticidad puede ser de tipo lineal o no lineal, esto dependerá si existe una proporcionalidad entre las tensiones y las deformaciones (ley de Hooke). Algunos materiales elásticos no son lineales, como por ejemplo el caucho natural.

Cuando se estudian estructuras masivas, el enfoque tradicional de análisis se hace desde la perspectiva de la Teoría de Elasticidad, buscando resolver el problema a partir de la integración de ecuaciones diferenciales que gobiernan la cinemática de un sólido elástico. Cuando la estructura es compleja, se hace necesario la aplicación de métodos numéricos eficientes que, entre las opciones como los métodos de elementos de contornos y los métodos sin malla, el uso del método de elementos finitos se ha impuesto para la mayoría de casos prácticos (Hurtado Gómez, 2002).

Método de los elementos finitos

Apoyado en los métodos matriciales por elementos finitos, Castillo (1960) fundamentaba su teoría de los invariantes estructurales, los cuales correspondientes a toda estructura reticular, determinaban la respuesta de la estructura a cualquier sistema de cargas que pudiera actuar sobre la misma sin que se sobrepase el esfuerzo correspondiente al límite de proporcionalidad de sus miembros. Un problema de la solución de sistemas de ecuaciones simultáneas ligados al análisis estructural de antaño, mediante iteraciones y métodos sucesivos como el de Hardy Cross, era el factor tiempo, lo cual motivó el uso de métodos más eficientes.

Castillo (1967), presenta un método para el cálculo de estructuras reticulares con desplazamientos lineales, planteando un método de solución matricial más estructurado y de acuerdo al que utilizamos en la actualidad. Estos métodos forman parte de la diversidad de métodos de solución a través de modelos matemáticos representativos para las estructuras, los cuales pueden clasificarse como “aquellos que tratan a la estructura como un continuo y otros en las que se considera como un ensamblado de elementos o miembros discretos, conectados por medio de nudos. Los conjuntos de datos discretos se pueden representar matemáticamente de manera conveniente mediante matrices” (Torre, 2017).

Para Bozzo M. (2003) el método de los elementos finitos es “una solución aproximada mediante interpolación de funciones cuyo modelo matemático es la discretización o subdivisión de campos y a cada campo se le denomina un sub campo o elemento finito. Esta discretización consta de un proceso convergente a la solución exacta”.

El método consiste en la solución de un sistema de ecuaciones de equilibrio que surgen de la proporcionalidad esfuerzo deformación que dicta la ley de Hooke, donde la variable desconocida son los desplazamientos en los nudos de la estructura, como se muestra en la Ecuación 1.

$$[X]_{(NP)(NLC)} = [ASA^T]^{-1}_{(NP)(NP)} [P]_{(NP)(NLC)} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde $[ASA^T]$ ó $[K]$ es la matriz que expresa las fuerzas externas en términos de los desplazamientos de los nudos, indicando la rigidez externa de la estructura completa en función del número posible de desplazamientos en los nudos o grados de libertad (NP), $[P]$ es la matriz de fuerzas externas en función del número posible de fuerzas externas y el número de condiciones de carga a investigar (NLC) y $[X]$ es la matriz incógnita, los posibles desplazamientos de los miembros en función de las combinaciones de carga a investigar.

2.2.2 Conceptualización

Rigidez. Torre (2017) enuncia que la rigidez “es la fuerza necesaria para que, en el sentido del desplazamiento investigado, un miembro aislado sufra un desplazamiento unitario. Si el desplazamiento investigado es rotación, por ejemplo, diremos que la rigidez del miembro a la rotación, es la fuerza necesaria para que el miembro sufra una rotación de 1 radian” (p. 7).

Estamos ante una propiedad intrínseca de la sección o el conjunto que conforman la estructura, dependientes de las propiedades de sus materiales componentes (módulo elástico) y la

inercia geométrica de las mismas, que se opone ante el desplazamiento producto de una carga externa que la provoca.

Resistencia. Es la capacidad de un elemento individual, que en su conjunto conforman el sistema estructural, para soportar la carga que se le aplica. El esfuerzo aplicado puede tratarse de una carga axial, esfuerzos cortantes y torsores, esfuerzos de flexión, de manera individual o combinada. Gere & Goodno (2016), asegura que “nuestro interés principal de diseño es la resistencia, es decir, la capacidad del objeto para soportar o transmitir cargas”.

Diafragmas de entrepiso. La respuesta sísmica de los edificios sujetos a las aceleraciones del suelo durante un sismo, dependen no solo de las características de sus sistemas resistentes a cargas gravitacionales, sino también de los elementos horizontales resistentes a cargas laterales. Estos elementos horizontales, típicamente consisten de diafragmas de entrepisos. Su función es la de transmitir las fuerzas inerciales desde el sistema de entrepiso a los elementos verticales del sistema resistente a cargas sísmicas, además de vincular a dichos elementos verticales entre sí, estabilizando y transmitiendo las fuerzas entre estos durante un sismo (Hadianfard, 2013).

Losas reticulares mixtas. Según M. Bozzo (2003) las mallas espaciales son la versión en el espacio de las tradicionales armaduras planas en una dirección, es decir, un conjunto de armaduras planas perpendiculares entre sí, conformando un entramado de elementos de pequeña longitud con respecto a la superficie que cubren.

2.3 ANTECEDENTES DE METODOLOGÍAS PREVIAS.

2.3.1 Metodología descriptiva

Debemos hacer uso de esta metodología para, como elemento de partida, describir el modelo representativo de la estructura que se pretende diseñar.

Para la evaluación de la respuesta estructural de la estructura, es necesario realizar un acoplamiento de un modelo geométrico, un modelo de los materiales y un modelo de cargas; estos conforman el denominado modelo estructural, este en la medida que la discretización matemática lo permita, representa a la estructura mediante un sistema de ecuaciones de equilibrio que, en su conjunto, permitirán determinar o predecir la respuesta de la estructura. (Torre, 2015)

El *modelo geométrico* es producto de la configuración que el arquitecto ha definido de acuerdo a los requerimientos de espacio solicitados por el propietario, en este se representan los miembros o componentes de la estructura mediante sus posibles secciones transversales, de la cual dependen el momento de inercia y su constante torsional, con las que se determina la rigidez del sistema.

El *modelo de materiales*, contiene aquellas propiedades físico-mecánicas de los materiales que conforman a los elementos estructurales. Esas propiedades son el módulo elástico, la relación de Poisson, el coeficiente de expansión térmico y la densidad del material, así como su punto de fluencia y rotura entre otros.

El *modelo de cargas* que representa las solicitaciones que demandarán a la estructura rigidez y resistencia, en una determinada cantidad de escenarios a investigar. Debido a su alto grado de incertidumbre debe tratarse de manera estocástica.

Es criterio universal para estructuras de utilización o destino de uso normal utilizar períodos de retorno de 476 años (redondeado a 500 años para su simplificación) para el modelo de cargas, pero para estructuras de mayor importancia tales como hospitales, puentes de carreteras de comunicación importante, aeropuertos, presas hidroeléctricas, naves para almacenamiento de productos o vitales o peligrosos, el criterio varía desde 700 años hasta 5,000 años dependiendo de las características de uso de la estructura (CHOC, 2008). El modelo de cargas se puede subdividir

en cargas primarias y en las combinaciones de estas mismas las cuales tomarán en cuenta las probabilidades de ocurrencia simultánea de las cargas primarias. Las cargas primarias pueden ser *cargas de servicio*, producidas por el efecto gravitacional de las masas que conforman la estructura y cargas super impuestas adheridas a la misma y cargas vivas o temporales las cuales no siempre se encontrarán sobre la estructura.

Otro tipo de carga primaria son las *cargas ecológicas*, estas pueden ser producidas por el entorno que rodea a la estructura tales como sismos, vientos, presiones de agua, empuje de suelos y otros eventos de los que no se tiene control.

2.3.2 Metodología de diseño

Esta etapa no puede desarrollarse si no es a través de la observancia del reglamento de construcción vigente, en nuestro caso es el Código Hondureño de la Construcción (CHOC, 2008). Este acompañamiento inicia y se desarrolla durante aspectos medulares como la selección de la tipología, de la cual se deriva la visión del desempeño de la estructura, el nivel de ductilidad y el detallado que deberá proporcionarse al producto final. El desarrollo del modelo de cargas, la aceptación de la configuración a través de los requerimientos de rigidez (control de desplazamientos y torsiones) y la identificación de irregularidades tanto verticales como en planta para su debido tratamiento de acuerdo con los criterios establecidos en el código mismo.

La observancia del proceso de diseño establecido para cada tipo de elemento estructural sometido a los esfuerzos de tracción, compresión, flexión, cortante y torsión, así como los escenarios combinados de los mismos como la flexo-compresión biaxial, con lo cual se obtiene un producto final, el detallado de los miembros (Torre, 2017).

Análisis crítico de las metodologías empleadas.

Fue necesario en el desarrollo de esta investigación el representar los diafragmas, respecto a las diferentes configuraciones estructurales, como diafragmas con un comportamiento semi rígido, a través de la herramienta de software Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems (Análisis Tridimensional Extendido de Edificaciones) denominado ETABS, el cual permitió el análisis de los desplazamientos en el plano de los entrepisos, considerando las rigideces locales de los mismos y las deformaciones del sistema VLLR a través del método de los elementos finitos. Esto permitió que el análisis mostrara los resultados esperados, debido a que no podemos partir de un comportamiento completamente rígido o flexible, ya que es el propósito de esta investigación, el análisis del comportamiento del sistema de entrepiso reticular, comparándolo con el sistema de entrepiso de joist en una dirección.

En los modelos estructurales evaluados se describieron de sus componentes, materiales y cargas, pasando por el proceso analítico anteriormente expuesto y culminando con la etapa de diseño hasta la etapa de aceptación de la configuración de la solución que es donde se verifica si el comportamiento de la estructura es adecuado en aspectos de rigidez y la posterior evaluación de sus miembros por resistencia.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la aplicación de los métodos y procedimientos. Se precisa la definición operacional de las variables, la hipótesis a verificar y el diseño de la investigación.

3.1 Congruencia metodológica

3.1.1 La matriz metodológica

La congruencia metodológica es apreciable implementando una matriz (Tabla 1). Esta estrategia permitió el diseño de la investigación garantizando que, en cada uno de los elementos usados en la investigación, exista congruencia horizontal y vertical entre ellos.

Tabla 1. La matriz metodológica

Título	Problema	Preguntas de Investigación	Objetivos		Variables	
			General	Específicos	Independiente	Dependiente
Análisis del comportamiento diafragmático de las losas reticulares mixtas.	Deficiencias de rigidez y respuesta estructural debido a la implementación de sistemas de entrepisos mixtos con un comportamiento de diafragma no rígido.	¿Qué factores limitan o potencian un comportamiento rígido que propicie la eficiencia del comportamiento estructural?	Proveer la información necesaria que facilite la implementación de un sistema de entrepiso eficiente, mediante una plataforma de análisis comparativo de sistemas de entrepisos mixtos con enfoque en su comportamiento diafragmático y la consecuente respuesta de la estructura, identificando los beneficios que permitan el desempeño óptimo del edificio.	Determinar las causas o factores que limitan o potencian la rigidez del diafragma y que influye en la respuesta estructural.	Materiales y configuración en el sistema de entrepiso (Diafragma).	Plataforma de análisis comparativo de sistemas de entrepisos mixtos con enfoque en la respuesta estructural.
		¿Existe una necesidad real de información respecto al comportamiento diafragmático?		Determinar las necesidades de información respecto al comportamiento diafragmático en el gremio de Ingenieros.	Sistema vertical resistente a cargas laterales.	
		¿Qué opciones de sistemas mixtos logran un comportamiento de estructural óptimo?		Analizar comparativamente la respuesta de sistemas de diafragma de losas mixtas.	Relación de aspecto (largo contra ancho).	
		¿Cuál sería la alternativa más factible y qué ventajas trae una mayor rigidez del diafragma?		Proponer una plataforma de análisis para sistemas de entrepisos mixtos, que permita la identificación del sistema más factible.	Altura de la estructura.	

3.1.2 Definición operacional de las variables

Las variables de estudio de esta investigación (Figura 10) se dividen en: variables independientes que incluyen al sistema lateral resistente compuesto de elementos verticales, los materiales y la configuración que componen el sistema lateral resistente compuesto por el sistema de entrepiso con un comportamiento diafragmático esperado. La altura de la edificación, la cual es directamente proporcional a las cargas ecológicas tanto de viento como de sismo y hace notar la carencia o no de rigidez en la estructura. La relación de aspecto de cada tablero del entrepiso, tal y como se describe en el marco teórico, este afecta al comportamiento diafragmático del sistema de entrepiso.

La variable dependiente consiste en la plataforma de análisis comparativo aplicado a los sistemas de entrepiso enfocado en la respuesta estructural de la edificación, los indicadores de control que se pueden tomar son: períodos naturales de frecuencia de la estructura (T), los desplazamientos laterales relativos, el comportamiento torsional de la estructura y las relaciones de demanda contra capacidad de los elementos verticales (columnas y/o muros).

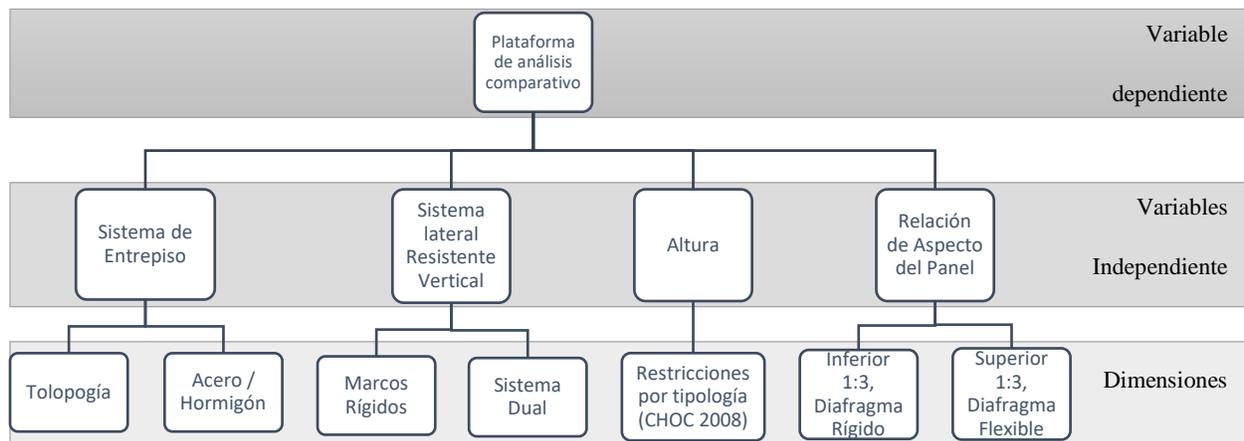


Figura 10. Diagrama de variables

Tabla 2. Operacionalización de variables.

Variables	Definición		Dimensión	Indicador	Items	Categorías	Medición
	Independientes	Conceptual					
Sistema de entrepiso	Unifica la estructura como un todo, sosteniendo las cargas de servicio.	Transmitir las fuerzas inerciales desde el sistema de entrepiso verticales del sistema resistentes.	Topología y materiales	Rigidez del entrepiso: Relación desplazamiento máximo / desplazamiento relativo del entrepiso. ($\delta_{m\acute{a}x}/\Delta_h$)	¿Cómo se comporta el diafragma?	$\delta_{m\acute{a}x}/\Delta_h = 1$, rígido	1
						$1 < \delta_{m\acute{a}x}/\Delta_h < 2$, semi rígido	2
						$\delta_{m\acute{a}x}/\Delta_h \geq 2$, flexible	3
Sistema resistente vertical	El conjunto de elementos estructurales que conforman un sistema resistente a cargas laterales.	Aporta Rigidez y soporte al sistema de entrepiso.	Marcos Rígidos Marcos Rígidos + Muros de cortante	Rigidez de la estructura: Relación desplazamiento relativo del entrepiso entre la altura del mismo. (Δ_h / h)	¿Se cumplen los límites de desplazamiento?	Cumple si: $\Delta_h / h < 0.005$ ó $0.04/R_w$ para $T < 0.7$ 0.004 ó $0.03/R_w$ para $T \geq 0.7$	1 2
Altura de la estructura	Depende de la necesidad del propietario.	Incide en la necesidad de rigidez de la estructura.	N/A	Cubre los requisitos de rigidez anteriores	¿Cumple los requisitos de rigidez?	Si No	1 2
Relación de aspecto	Es la relación ancho largo del tablero o entrepiso.	Incide en el comportamiento diafragmático del entrepiso.	N/A	Excede la limitante si: Relación $> 1:3$	¿Excede la relación 1:3?	Si No	1 2
Dependiente	Conceptual	Operacional	Dimensión	Indicador	Items	Categorías	Medición
Plataforma de análisis comparativo (con enfoque en la respuesta de la estructura)	Sirve como método racional de selección de un sistema de entrepiso para la estructura a proyectar.	Toma las combinaciones de variables dependientes y devuelve una respuesta estructural a comparar.	Las Variables Independientes	Períodos de Frecuencia Natural (T)	¿Qué Período?	$T < 0.7$ $T \geq 0.7$	1 2
				Existe Irregularidad Torsional $\delta_{m\acute{a}x}/\delta_{prom} \geq 1.2$	¿Irregularidad Torsional?	$\delta_{m\acute{a}x}/\delta_{prom} < 1.2$ $\delta_{m\acute{a}x}/\delta_{prom} \geq 1.2$	1 2
				Demanda / Capacidad de Columnas (D/C)	¿Cumple la D/C?	Cumple si $D/C \leq 1$	1 2

3.1.3 Hipótesis

En relación a los objetivos planteados con anterioridad, se requiere validar o rechazar las siguientes hipótesis:

- A mayor rigidez lateral del diafragma del sistema mixto de entrepiso, mayor eficiencia de la respuesta estructural del edificio.
- Al implementar sistemas de entrepisos aligerados soportados sobre marcos rígidos, el sistema de pórticos toma un papel mayoritario en el aporte de la rigidez del diafragma.

3.2 Enfoque y métodos

El enfoque de la investigación que se desarrolló es mixto con tendencia al enfoque cuantitativo, ya que se analizaron las hipótesis formuladas mediante la línea del método deductivo. Parte de la investigación fue de tipo cuasi experimental, esto debido a que las muestras no fueron obtenidas de un proceso de selección aleatorio sino conveniente para este estudio y se manipularon las variables de forma deliberada para determinar la relación causa-efecto del fenómeno físico, en busca de una correlación que confirmó nuestras hipótesis a través de dicho proceso deductivo. El carácter cualitativo de la investigación se dio en la primera etapa de la investigación, donde mediante el estudio de la población del gremio de ingenieros civiles activos, se determinó la percepción de estos respecto a las normativas, su interacción con los sistemas estructurales y sus preferencias, que justificaron la presente investigación. Esto generó, mediante un proceso inductivo, formular necesidades de conocimiento, entre otros, dentro de la unidad de análisis.

El método deductivo fue útil al momento de realizar la observación estructurada de los resultados en el análisis comparativo de los sistemas de entrepisos mediante el cual se sometió a

prueba la hipótesis en función de la respuesta obtenida por el sistema más rígido, la losa reticular mixta.

El método hipotético-deductivo supone que el contexto de descubrimiento no se atiene a reglas y procedimientos controlados, y sostiene que las hipótesis se admiten o rechazan según sea el resultado de la contrastación de las mismas: una hipótesis se justifica y acepta si queda confirmada por la experiencia (contexto de justificación) y se rechaza si es refutada. Resumiendo, el método hipotético-deductivo: Parte de problemas, propone hipótesis para explicarlos, extrae consecuencias observables de las hipótesis, las somete a prueba, si la consecuencia es verdadera, confirma la hipótesis, si la consecuencia es falsa, refuta la hipótesis. (Colegio24hs, 2004, p. 6)

Con el método inductivo se motivó al indagar sobre la necesidad de información por parte del gremio de ingenieros respecto a sistemas de entrepisos que cubran los requisitos de las normativas. Bernal (2010) asegura que el método “utiliza el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos, para llegar a conclusiones cuya aplicación sea de carácter general” (p. 59).

El método histórico, permitió ubicarnos en el contexto de la actualidad del problema, haciendo una reseña de metodologías previas de análisis, diseño y comportamiento diafragmático, que posibilitaron el desarrollo de la presente investigación. El método explicativo, sirve de herramienta para la interpretación de los resultados obtenidos del análisis comparativo, identificando las causas y efectos, aportando respuestas a las interrogantes de la investigación probando la hipótesis propuesta. Mediante el método descriptivo, indicamos las características físico mecánicas de los materiales, la definición geométrica de secciones y de la estructura que definen el modelo geométrico y de materiales, el modelo de cargas que permiten representar a la estructura real para el análisis.

Haciendo uso del método analítico, fue posible separar en partes la evaluación de la respuesta de los sistemas de entrepisos para cada variable indicada y para el conjunto de elementos que conforman la estructura objeto. Y, a través del método sintético, fue posible elaborar la propuesta de plataforma de análisis comparativa de los sistemas mixtos analizados, integrando de nuevo las fases del mismo, a modo que se permita abrir una línea de investigación y a su vez, desarrollar criterios fundamentados que permitan al proyectista poder determinar qué sistema de entrepiso se adapta mejor a las necesidades de su proyecto en curso.

3.3 Diseño de la investigación

De acuerdo al diseño de la investigación (Figura 11), esta se puede segmentar en dos etapas, donde la primera tuvo la intención de justificar y vincular el estudio de acuerdo a las necesidades y criterios del gremio de ingenieros, que es a quien se dirige la presente investigación y serán los posibles usuarios. Durante esta etapa se desarrolló una encuesta de opinión que trata de valorar temáticas relacionadas a este estudio desde la perspectiva de normativa, criterios que definen la implementación de un sistema en los proyectos desde un enfoque técnico y económico, una posible vinculación de la conciencia respecto al impacto ambiental de las obras, las razones que incentivan al uso de un sistema de entrepiso aligerado o que le descartan, así como la apertura del agremiado hacia nuevos sistemas y tecnologías indistintamente si se desconoce, lo cual permite que esta investigación se justifique como una herramienta que permita alternativas al usuario de la tecnología constructiva. De igual forma permite identificar el nivel de conocimiento del sistema reticular, así como el conocimiento del riesgo sísmico en el país.

La segunda etapa tuvo como meta del cumplimiento de los objetivos específicos los cuales se basan alrededor del análisis comparativo de los sistemas de losa mixta tipo joist o vigas de alma

abierta, el cual es un sistema muy implementado y conocido en nuestro medio; y el sistema de losas reticulares mixtas. A través de este análisis se pretenden encontrar los puntos débiles del sistema, posibles ventajas con respecto al sistema de referencia, aparte de confirmar la hipótesis planteada para concluir con la propuesta de alternativa para un sistema de entrepiso que eficiente la respuesta de la estructura.

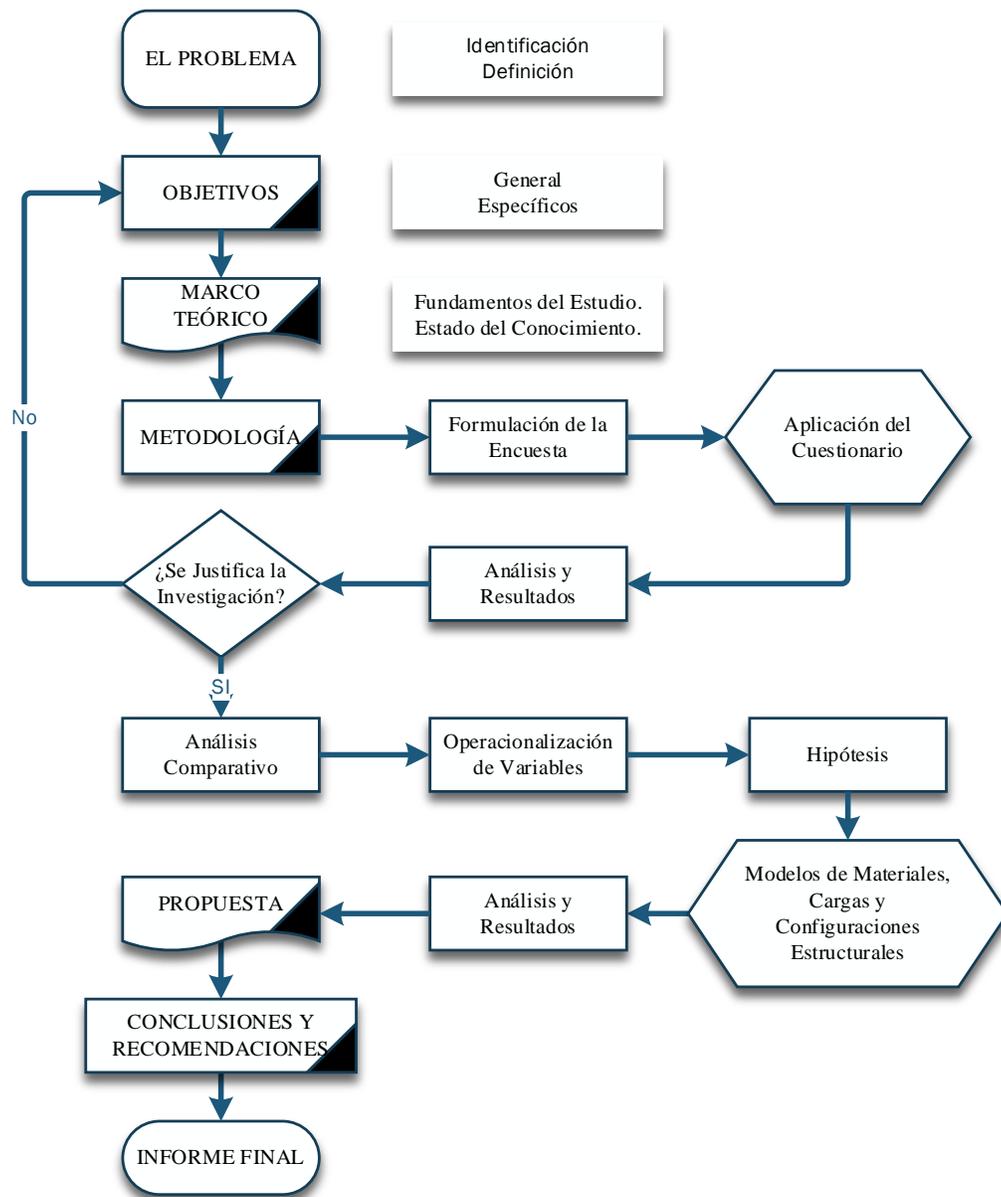


Figura 11. Diseño de la investigación.

3.3.1 Población

Dado que la investigación consta de dos etapas, las poblaciones estudiadas son diferentes para cada una de ellas, por lo que en la primera etapa de la investigación se estudió a la población constituida por el gremio de ingenieros civiles activos en Honduras de acuerdo con la institución que regula el ejercicio profesional, el Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH), la cual consta de 6,315 agremiados habilitados para el ejercicio de la profesión en todo el país.

En la segunda etapa de la investigación, donde se realizó el análisis comparativo de los sistemas de entrepiso aligerados, se estudió una población de 43 modelos representativos de edificaciones, los cuales significan una muestra para una población infinita de edificaciones. Estos constan de 4 variables independientes las cuales se modificaron a discreción, de modo que permitiesen encontrar una correlación entre dichas variables y la respuesta de la estructura, tomando como variable principal los sistemas de entrepiso, y a su vez, destacar los factores que benefician a una respuesta adecuada y aquellos que le perjudican.

3.3.2 Muestra

Para la primera etapa de la investigación con la población del gremio de ingenieros civiles activos en el país y mediante el uso de una herramienta estadística, se determinó el tamaño de la muestra necesarias para cubrir una población finita de $N = 6,315$ la misma que depende de la probabilidad que la hipótesis sea verdadera del 50% ($p = q = 0.50$), un error estimado por estudiar la muestra en lugar de toda la población aceptable del 10% ($n = 0.10$) y un coeficiente de confiabilidad correspondiente a una distribución normal ($Z = 2.58$) según el porcentaje de confianza requerida del 99%. La muestra correspondiente deberá ser de acuerdo a lo indicado en la Ecuación 2.

$$n = \frac{Z^2 pq N}{e^2(N-1) + Z^2 pq} = \frac{(2.58)^2(0.50)(0.50)(6,315)}{(0.10)^2(6,315-1) + (2.58)^2(0.50)(0.50)} = 169 \text{ personas}$$

Ecuación 2. Expresión para el cálculo de la muestra

Fuente (Figuroa et al. 2014)

En la segunda etapa de la investigación, la muestra se adoptó en 43 especímenes, representando al universo de la población infinita, esta decisión se tomó a conveniencia, ya que el objetivo no es representar con un alto grado de confianza a la población, sino trazar las bases de una plataforma de análisis del comportamiento diafragmático del sistema aligerado reticular, mediante un comparativo con un sistema de referencia de losa mixta con vigas de alma abierta.

3.3.3 Unidad de análisis

La unidad de análisis dentro del gremio de ingenieros civiles son los individuos de cuya población se extrajo una muestra representativa a ser estudiada mediante una encuesta de opinión sobre aspectos esenciales que justifican la necesidad de esta investigación.

En la segunda etapa, la población se conformó de 43 modelos estructurales representativos enfocados en la rigidez del sistema y su consecuente respuesta estructural.

3.3.3 Unidad de respuesta

La unidad de respuesta para el cuestionario de la encuesta aplicada fue la porcentual (%). Para la observación estructurada la unidad de respuesta son los períodos de frecuencia natural de la estructura, la relación adimensional del desplazamiento máximo entre el desplazamiento relativo del entrepiso, los factores de corrección torsionales adimensionales también, los desplazamientos horizontales relativos y verticales del entrepiso en metros y la relación de demanda capacidad de los elementos expresada en forma adimensional donde la unidad representa un 100% de uso.

3.4 Técnicas, instrumentos y procedimientos aplicados

3.4.1 Técnicas

La técnica de la encuesta se aplicó para la primera parte de la investigación mediante la cual se estudió a la población del gremio de ingenieros civiles con un grado de confiabilidad del 99% para un error muestral del 10%.

En la segunda parte se hace uso de la observación estructurada de los resultados obtenidos del análisis comparativo de los sistemas de entrepiso, con el cual se dio respuesta a las interrogantes de la investigación.

3.4.2 Instrumentos

La etapa justificativa o primera hizo uso de un cuestionario de respuestas cerradas, a través del uso de la técnica de la encuesta, este se enfocó en investigar sobre la observancia de las normativas de diseño y construcción que el gremio de ingenieros tiene, los criterios de selección utilizados al momento de definir un sistema de entrepiso más allá de su comportamiento estructural, las razones que le motivan a seleccionar o no dichos sistemas y el grado de conocimiento así como la apertura hacia nuevas tecnologías de sistemas como se presenta con el sistema reticular mixto.

En la segunda etapa se implementó el cuestionario de respuestas abiertas (ítems de la tabla 2), a través de la técnica de la observación estructurada, esta tiene un enfoque de carácter técnico mediante el análisis comparativo de la respuesta estructural de los diferentes modelos matemáticos representativos de edificaciones prototipo a los cuales se modificaron las variables independientes a la espera de encontrar una correlación de las mismas con la respuesta estructural del edificio. En función de la validación o no de las hipótesis y las respuestas a las preguntas de investigación, que

permitieron el cumplimiento de los objetivos de la investigación, la metodología de trabajo se basó en la caracterización de modelos matemáticos representativos de una estructura idealizada, que permitieron un contraste entre el sistema de referencia y el sistema propuesta reticular, de modo que, mediante la identificación y medición de las variables independientes, permitieron discernir el nivel de comportamiento de la estructura.

La herramienta para la obtención de resultados del análisis comparativo expuesto con anterioridad, se realizó mediante el uso de la herramienta informática para ordenador Extended Three-dimensional Analysis of Building Systems (ETABS), que es un programa comercial enfocado en el análisis estructural y diseño de modelos matemáticos de estructuras utilizando el método matemático de los elementos finitos.

3.4.3 Procedimientos

3.4.3.1 Etapa 1

Se diseñó un instrumento de encuesta con el objeto de justificar la investigación determinando la necesidad de información respecto a la temática de este estudio, por parte del gremio de Ingenieros Civiles en Honduras. Este se implementó mediante la herramienta de formularios Google (2017), la cual permite a través de un enlace electrónico, acceder al cuestionario de preguntas y a su vez, almacena en tiempo real los resultados de la misma. Esto probó resultar de gran utilidad ya que permite acortar distancias entre los participantes de la encuesta, cuyo enlace se distribuyó mediante el contacto electrónico a través de ciertas redes sociales y de contactos electrónicos provistos por el CICH. La encuesta constó de 7 preguntas breves las cuales se describen a continuación y define la vinculación y el propósito de la misma respecto a la investigación planteada:

Pregunta 1: ¿Tiene conocimiento del riesgo sísmico en Honduras?

- Si o No

El propósito de la misma fue tener un índice sobre el nivel de conocimiento del individuo sobre el riesgo sísmico al que está expuesta la geografía territorial nacional, esta se vincula con nuestra investigación ya que es ante este tipo de eventos que se generan cargas inerciales que afectan el comportamiento de la respuesta de las estructuras y a su vez, producen el comportamiento diafragmático de los entresijos.

Pregunta 2: ¿Qué normativa de construcción observa en el desarrollo de sus proyectos y obras? (selección múltiple)

Código Hondureño de la Construcción

ACI 318 en versiones posteriores a 1999

AISC 360

EUROCÓDIGO

Otros: _____

Es necesario ubicar a la población dentro del contexto de las normativas vigentes y actualizadas debido a que una posible causa de diseños ineficientes sea la poca observancia de las normativas, las cuales nos enmarcan dentro de los parámetros seguros y razonablemente eficientes, para el correcto funcionamiento de las estructuras proyectadas. Se deja una posibilidad abierta con la opción otros, por si se observan normas regionales u otras fuentes.

Pregunta 3: Cuando selecciona un sistema de entresijo a implementar ¿Qué elementos toma en consideración? (Valore la importancia en orden de 5-1, donde 5 es más importante que 1).

(a)_Cumplimiento de la normativa

(b)_Facilidades constructivas

(c)_Calidad de los materiales

(d)_Tiempo de construcción

(e)_Costos

Se trató de una pregunta de respuesta cruzada, permitió al encuestado la libertad de valorar por importancia, los criterios que más considera al momento de seleccionar un tipo de sistema de entrepiso, a su vez, permitió identificar cuál de estos factores es el considerado más importante sobre el resto.

Pregunta 4: ¿Utiliza algún tipo de entrepisos aligerados en sus obras?

- Si o No

En este punto la encuesta pretendió orientar al encuestado a la temática central de la investigación, los sistemas aligerados. La pregunta se descompone en dos opciones dependiendo de la respuesta, con la intención que se proporcione más información respecto al porqué de su respuesta en las preguntas 4.1 (afirmativa) o 4.2 (negativa).

Pregunta 4.1 ¿Por qué si utiliza sistemas de entrepiso aligerados? (selección múltiple)

Rapidez Constructiva.

Reducción de obra falsa (apuntalamientos).

Menor impacto ambiental (menos uso de madera u otro material de encofrados).

Bajo costo del sistema mismo.

Menor peso de la estructura.

Otro.

Pregunta 4.2 ¿Por qué no utiliza sistemas de entrepiso aligerados?

Problemas con vibraciones.

Requiere de mano de obra calificada.

Alto costo del sistema mismo.

Su comportamiento contra incendios.

Mayor Peralte del Entrepiso.

Otro.

Pregunta 5. Independientemente del sistema de entrepiso que utiliza, si se le proporcionara un sistema aligerado que cubre con los requerimientos de la normativa vigente, pero ligeramente superior en costo ¿Cambiaría de sistema?

- Si o No

Se pretendía indagar sobre si el costo es el factor más importante al momento de seleccionar, de ser así, esta respuesta se cruza con los resultados de la pregunta 3 lo cual nos permitiría validar esta afirmación, también se puede medir, en caso de la población que no utilice los sistemas aligerados, que tan dispuestos a cambiar de sistema se encuentran.

Pregunta 6. ¿Conoce el sistema de entrepiso aligerado conformado por estructuras tipo joist en ambas direcciones conocido como tridilosa?

- Si o No

Se presentó un concepto fácil de comprender para el sistema reticular mediante una comparativa con el sistema de referencia ya conocido, “las estructuras tipo joist en ambas direcciones conocido como tridilosa”. Esta pregunta nos permitió medir el nivel de desconocimiento del sistema en sí.

3.4.3.2 Etapa 2

Para la etapa 2, se procedió a realizar el análisis comparativo del sistema propuesto de losas reticulares mixtas y el sistema de referencia de vigas de alma abierta con losa compuesta de hormigón y lamina de acero. Para esto debemos describir los modelos de materiales, cargas, configuración estructural, las asunciones de diseño y de la configuración del modelo matemático de los especímenes en estudio.

Modelo Geométrico fase Inicial

En una fase inicial y para optimizar los tiempos del análisis comparativo, se pretendió comparar el aporte en rigidez que brinda la solución del sistema de losa reticular mixta respecto al sistema de referencia de vigas joist, para ello se modeló una estructura básica de un nivel con un tablero de 8x8m en planta, sin excentricidades ni irregularidades apoyados sobre un sistema VLLR

de marcos rígidos compuesto de 4 columnas de 0.40x0.40m. de sección ubicados en cada esquina del tablero y con vigas perimetrales de 0.40x0.40m de sección. Se modeló el entrepiso considerando un apoyo articulado para las cuerdas superiores de los joist y de las estructuras reticulares, donde la losa mixta no interactúa con el marco rígido, pudiendo inferir la distribución de cargas de la losa mixta al sistema de apoyo de joist o reticular, y de estos a las vigas de los marcos, cabe destacar que el pre dimensionamiento para las vigas que reciben a los joist en una dirección resultaron insuficientes a la flexión y cortante por lo que debió incrementar su sección a 0.40x0.70m, este es un factor importante que influye en la interpretación de los resultados. Esta diferencia surge de la intención de tener una comparativa más realista de cómo la configuración del entrepiso afecta a los miembros a quienes les transfiere la carga, desarrollando de manera natural, la necesidad de elementos más resistentes.

Un factor importante al evaluar entrepisos mixtos, es la representación de este entrepiso en la manera más fiel posible para nuestro modelo matemático, con dicho objetivo existen diferentes procedimientos basados en espesores equivalentes y volúmenes de materiales. La metodología escogida para este caso se basa en igualar, a través de un espesor equivalente t de una losa rectangular, la inercia de la sección compuesta por el firme de hormigón y la lámina colaborante de acero (LOSACERO). Para esto se siguió el procedimiento de cálculo para la inercia de la sección compuesta del Anexo 4 de la normativa C-2011 para losas de entrepisos compuestos (ANSI/SDI, 2012), la cual nos permite el cálculo del momento de inercia de la sección agrietada y el momento de Inercia no agrietado, promediando ambos para la obtención de la inercia de la sección (Ver Anexo 2). Con dicha inercia, es fácil encontrar el espesor equivalente para una sección rectangular que permita obtener el mismo momento de inercia, faltando un diferencial de

carga o peso equivalente con el cual se deben ajustar las masas de ambos entrepisos equivalentes, el real y el rectángulo equivalente (Ver Figura 12).

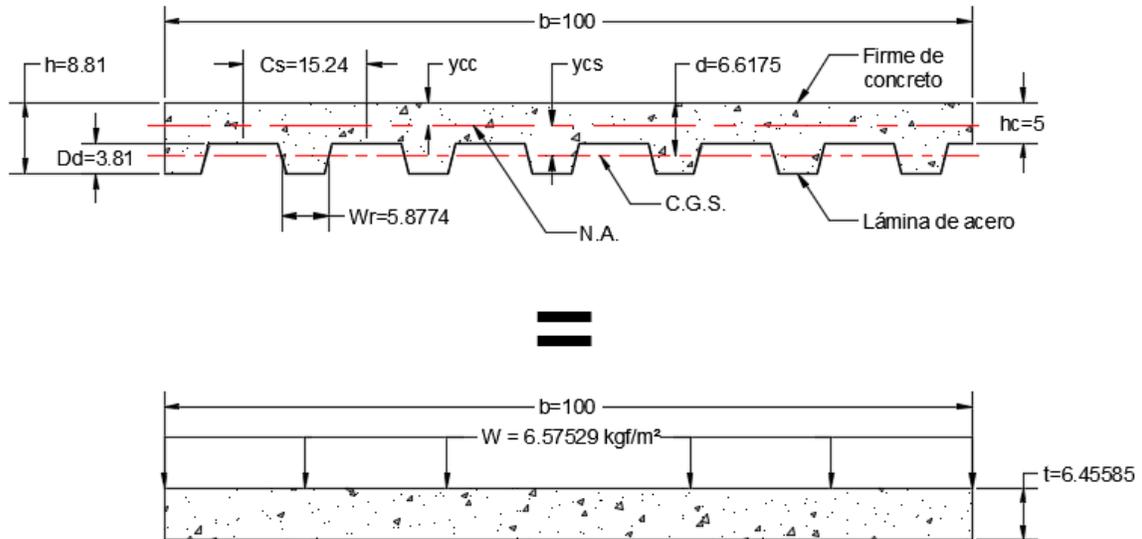


Figura 12. Sección transformada del entrepiso mixto a hormigón.

Unidades de longitud (m), NA = eje neutro, CGS = Centro de gravedad de lámina de acero.

Las variables independientes que se mantuvieron fijas en este primer ensayo son el peralte de la sección compuesta (0.30m), el peralte equivalente de la losa mixta (0.0646m), las cargas gravitacionales vivas para uso comercial de acuerdo al capítulo 1 del CHOC 2008 (250kgf/m^2), la carga super impuesta (150kgf/m^2), la carga adicional de 6.54529kgf/m^2 donde se utilizó LOSACERO (modelos con joist), la tipología de marcos rígidos fue constante no así la configuración de sus miembros, 1 nivel con una altura de 3.15m. Las condiciones de los apoyos se asumieron como empotramientos infinitamente rígidos de los cuales, se obtienen las fuerzas que descargan a la cimentación, la cual no es objeto de estudio en el presente trabajo.

Las variables independientes modificadas fueron las cargas dinámicas por sismo, la relación de aspecto del entrepiso, las secciones de los miembros de acuerdo a su demanda de

capacidad por resistencia (esto variará el peso de la estructura), la topología de las estructuras espaciales mixtas (piramidal y generalizada) aparte del sistema de referencia de joist en una dirección.

La unidad básica se modeló con diferentes tipos de entrepisos (ver Figura 13):

(a) Joist en una dirección espaciados a 1.23m, con arriostramiento por pandeo lateral a cada tercio de su longitud, con cuerdas superiores e inferiores de doble angular 2x2x3/8", cuerdas de 2x2x1/4", arriostres de 2x2x3/8" y necesitando de 4 angulares conformando secciones tubulares (\square \square) en los apoyos, con una LOSACERO de espesor equivalente de 0.0646m modelada como shell y diafragma semirrígido.

(b) Joist en una dirección sin transferencia de cortante con la misma configuración anterior con la diferencia que la LOSACERO se modeló como carga distribuida en las cuerdas superiores de los joist ya que únicamente cumplen la función de transmisión de cargas y la acción diafragmática recae sobre el marco rígido y los joist conectados entre sí.

(c) Una estructura espacial mixta con una topología piramidal clásica (EEMP) compuesta de barras de acero soldadas entre sí con una retícula de 2 veces el peralte (0.60m) con cuerdas de doble barra de 1/2" inferiores, barra de 1/2" superior y almas simples o dobles de 1/2" de acero A706 grado 60 para poder soldar en los nudos, y una losa modelada como shell con el mismo espesor que la LOSACERO de los joist con transferencia de cortante lo que garantiza la acción de la sección compuesta.

(d) Una estructura espacial mixta con una topología generalizada (EEMG) propuesta por Bozzo M., Bozzo L. (2003), similar a una configuración de joist en dos direcciones, formando una

retícula de 0.80x0.80m donde las cuerdas superior e inferior son doble angular de 2x2x1/4" y almas conformadas por barras dobles de 3/4".

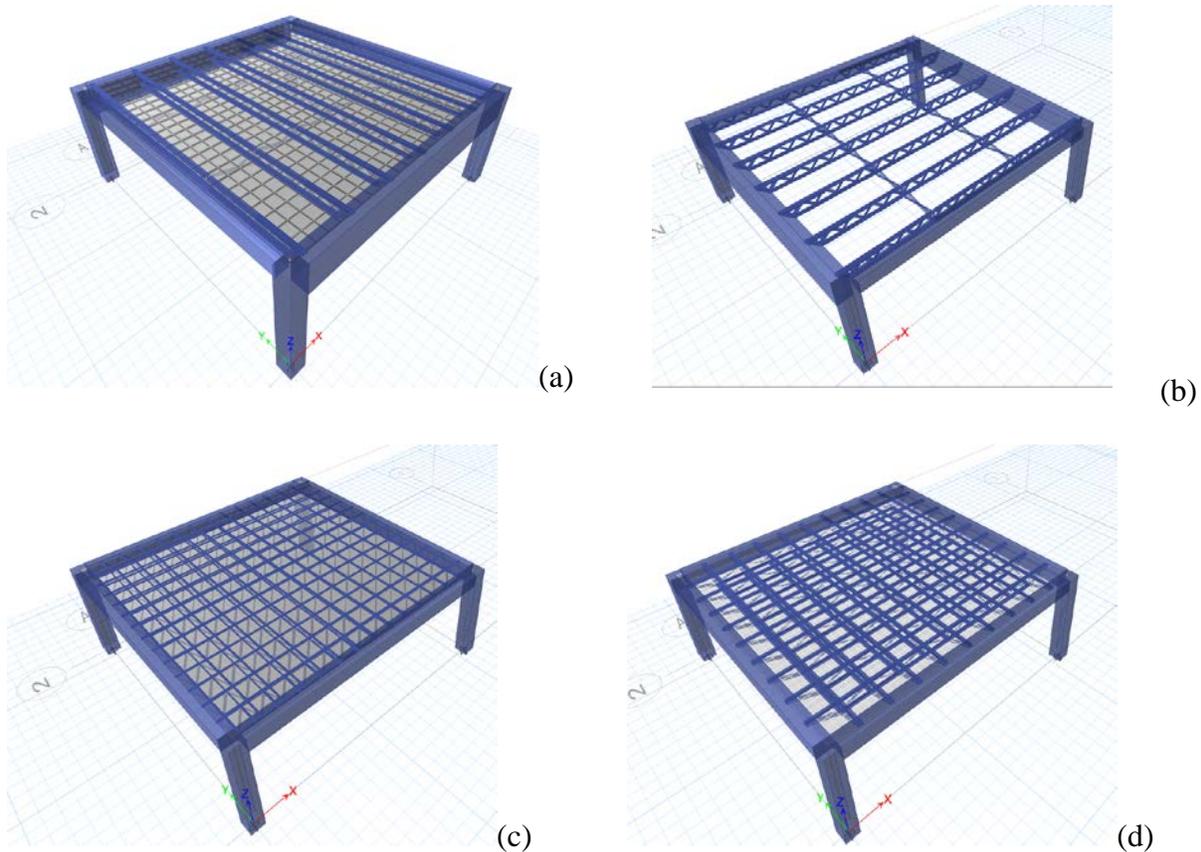


Figura 13. Unidades básicas de modelos: (a) Joist en una dirección con transferencia cortante, (b) Joist en una dirección sin transferencia cortante, (c) EEM Piramidal, (d) EEM Generalizada.

Se incluyeron otras variables dentro de estas, específicas para ciertos casos con la intención de determinar el efecto que estas tienen sobre el comportamiento diafragmático como cambios en el espesor de la losa de hormigón en la EEMP y la adición de muros de cortante para la configuración de joist representando un sistema más rígido de marco dual con muros de cortante de 12cm de hormigón reforzado, para evaluar el aspecto rigidizante del sistema VLLR y su influencia en dichos sistemas de entrepisos. Cabe destacar que se aseguró que todos los miembros

tanto del marco como del entrepiso cumplieran sus requerimientos de resistencia tal y como lo indica el CHOC 2008, sometido a las cargas de servicio a las que estarán expuestas y la correspondiente carga dinámica por el método estático que determina la norma para el efecto sísmico (Ver Figura 14).

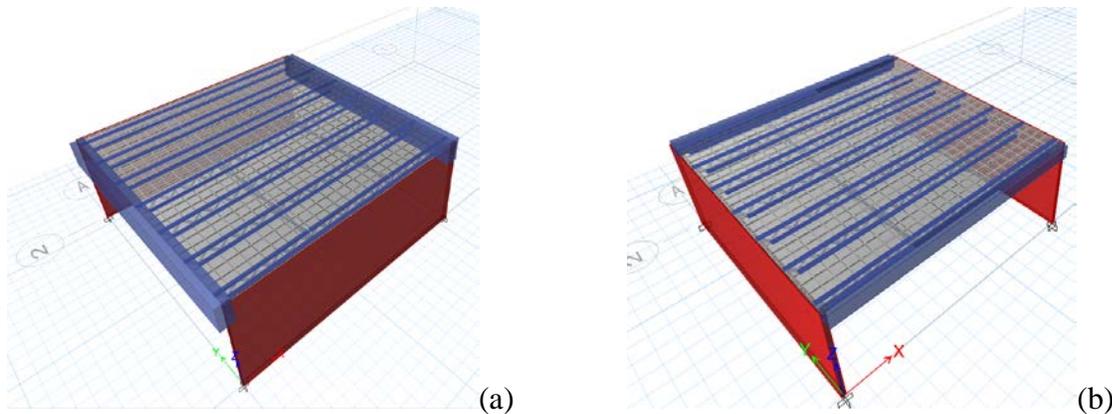


Figura 14. Unidades rigidizadas de modelos: (a) Joist paralelos a muros cortantes, (b) Joist perpendiculares a muros cortantes.

Evaluada la rigidez, se procedió a modificar ciertas variables como la relación de aspecto (1:1, 1:2, 1:3), expandiendo los tableros básicos en múltiplos de sí mismos y el área del entrepiso como se muestra en la Tabla 3, de manera que pudiera determinarse cuales de estas variables resultan más sensibles al momento de evaluar la respuesta de rigidez del sistema y su comportamiento diafragmático. Esto permitió determinar los factores que inciden en un comportamiento estructural deficiente y a su vez, cuales le potencian a una mejora del mismo, de un total de 34 especímenes evaluados para esta fase inicial de la etapa 2.

Tabla 3. Relaciones de aspecto de modelos en fase inicial, etapa 2

A (m) lado corto	8	8	8	16	16	16	32	32	32
B (m) lado largo	8	16	24	16	32	48	32	64	96
Área (m²)	64	128	192	256	512	768	1,024	2,048	3,072
Relación de aspecto	1:1	1:2	1:3	1:1	1:2	1:3	1:1	1:2	1:3

Modelo de Cargas fase inicial

En los modelos de estructuras investigados, se usaron como cargas primarias la carga muerta (CM, que incluye peso propio + carga muerta super impuesta), carga viva CV, sismo en la dirección X y sismo en la dirección Y, las cuales se configuraron en las combinaciones de carga de la Tabla 4.

Tabla 4. Combinaciones y factores de carga, fase inicial

Primarias Combinación	CM	CV	Sismo X	Sismo Y
Servicio	1.00	1.00	0	0
SSX	0.75	0.75	1.00	0
SSY	0.75	0.75	0	1.00
Resistencia	1.40	1.70	0	0
RSX	1.05	1.275	1.4025	0.4208
RSY	1.05	1.275	0.4208	1.4025

Para las cargas vivas, el criterio de carga fue 250kgf/m² para el área de entrepiso y para la carga super impuesta fue de 150kgf/m² para instalaciones eléctricas, hidrosanitarias y enchapes, aparte del diferencial de carga del entrepiso equivalente de la sección mixta.

Para la única carga ecológica considerada de sismo, se utilizó el método pseudo estático equivalente enunciado en el CHOC 2008 o en el UBC 94 a partir de los datos siguientes: el coeficiente del suelo (S=1.2), el coeficiente de ductilidad global del sistema (Rw =8), un factor de zona sísmica para Tegucigalpa de Z=0.25g (con un período de retorno de 500 años) y un factor de importancia para la edificación de I=1. El cortante es dependiente del período natural de la estructura y su peso W (en kgf), el cual se calcula de la siguiente forma:

$$V = \left(\frac{ZIC}{R_w} \right) W \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde V es el cortante de diseño en la base, para un C/R_w mínimo de 0.075, y C

$$C = 1.25S/T^{2/3} \leq 2.75 \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Donde T se obtiene del menor de $1.4T_a$ y T_b

Para $T_a = C_t(hn)^{3/4}$, donde C_t es 0.0731 para nuestro caso y hn es la altura del edificio.

T_b se obtiene de la superposición de modos de vibración de la estructura en función a la participación de masas.

De la Ecuación 4 podemos comprender la influencia que tiene el período de vibración natural de la estructura en el cálculo del cortante de diseño, el cual es inversamente proporcional al cortante, y este a su vez se ve afectado por el peso de la estructura.

Modelo de Materiales fase inicial

Los materiales a utilizar en los modelos correspondientes a la fase inicial son:

Hormigón en columnas, vigas, muros de cortante y losa.....	$f'c = 280.00 \text{ kgf/cm}^2$
Hormigón losa de entrepiso	$f'c = 280.00 \text{ kgf/cm}^2$
Acero de refuerzo (todo el edificio)	$f_y = 4,200 \text{ kgf/cm}^2$
Lamina de acero acanalada de $h = 3.81\text{cm}$, $C_s = 15.24$, $W_r = 5.8774$ calibre 24, A653.....	$f_y = 2,320 \text{ kgf/cm}^2$
Acero de perfiles angulares A36.....	$f_y = 2,530 \text{ kgf/cm}^2$

Los módulos elásticos para ambos materiales de acuerdo con el artículo 2.8.5 del CHOC (2008) son:

Hormigón ($E_c = 15,100\sqrt{f'c}$)	$E_c = 252,671.33 \text{ kgf/cm}^2$
Acero	$E_s = 2,030,000.00 \text{ kgf/cm}^2$

Modelo Geométrico fase final

En una fase última, se procedió a realizar un análisis a fondo de ambos sistemas con una configuración estructural que permitiera evaluar los sistemas dentro de una estructura de tres, cinco

y diez niveles para un marco rígido como sistema VLLR, dado que la relación de aspecto y la rigidez del sistema de apoyo resultan como variables críticas para el desempeño del diafragma, se escogió un caso de estudio donde la relación de aspecto es superior de 1:3 (20.90m de ancho por 67.72m de largo), encontrando que el sistema de marcos fue lo suficientemente rígido para controlar los desplazamientos relativos, por lo que no se requirió la implementación de muros de cortante (Figura 15).

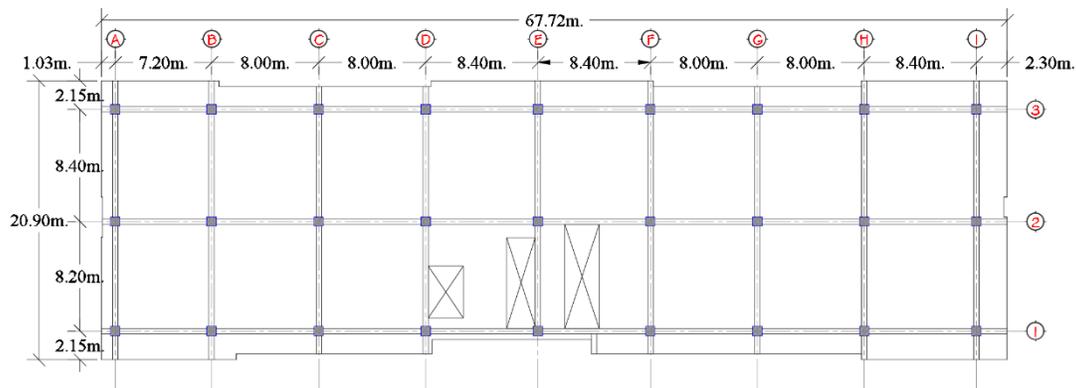


Figura 15. Planta típica marcos rígidos, fase final.

En esta fase, la relación de aspecto se fijó sin cambios, así como la tipología del sistema resistente a cargas laterales (Marcos rígidos de hormigón), se maneja de igual forma que en la etapa inicial el espesor del entrepiso mixto conformado de la lámina de acero y el relleno de 5cm de hormigón armado con la diferencia del material lo cual influye en el espesor equivalente modelado (Ver Anexo 2). Las variables cambiantes fueron la topología de la estructura espacial mixta en cuya comparativa directa fue la generalizada, debido a que se obtuvo un mejor control de deflexiones verticales y permite una distribución o espaciamiento de elementos de soporte idéntica a los joist en una de sus direcciones. La variable de la altura, permitió que se evaluara la rigidez torsional de los entrepisos. Las condiciones de apoyo de las losas es la misma que en la fase inicial,

articulando las cuerdas superiores sobre las vigas de apoyo del sistema de marcos, con su consecuente distribución de esfuerzos.

De esta forma, la configuración para el sistema de joist (Figura 29), estos se ubican de manera paralela al eje menor del edificio, se encuentran espaciados a 1.10m entre sí, con un arriostramiento a cada $L/3$ de su longitud. El peralte de los mismos es de 0.40m sin considerar la losa mixta superior, y en los voladizos, así como en los tableros con irregularidades (vacíos), la distribución de los joist se ajustó en dos direcciones (de manera reticular), y las cuerdas inferiores se empotraron en las vigas adyacentes en los voladizos para proveer de mayor rigidez a la estructura. La configuración con el sistema EEMG (Figura 36), las retículas se encuentran espaciadas entre sí a 1.10m en ambos sentidos similares a la configuración de joist para mantener cierta igualdad de configuraciones, y el peralte de la retícula es de 0.40m. En los voladizos las cuerdas inferiores se empotraron en las vigas adyacentes y dándole continuidad a las cuerdas superiores en una configuración idéntica al sistema de joist, por lo cual la diferencia de sistemas únicamente se dio en los tableros interiores de la estructura.

De otra forma, se pretendió también evaluar las bondades del sistema reticular mixto (Figura 16), utilizando un área de tablero más extensa y superior a los 8 metros de claro, quedando la posibilidad de uso para eliminar apoyos interiores y maximizar el espacio útil del entrepiso, contabilizando un total de 9 estructuras para esta fase final de la etapa 2. Para este tercer modelo se utilizó la configuración EEMP (figura 43), las retículas se encuentran espaciadas a 0.80m en ambos sentidos, el peralte es de 0.60m para mejorar el control de deflexiones debido a la gran luz que se cubrió en cada tablero, de igual forma se modifica el espesor del entrepiso mixto para un total de 10cm (Ver anexo 2) con el mismo propósito y con un hormigón de mayor módulo de

elasticidad. En los voladizos y tableros centrales se mantiene la configuración EEMG. La cobertura de claros de la EEMP es de 16.60m x 23.20m (relación de aspecto de 1:1.40), esto permitiría el aprovechamiento del espacio que restan las columnas centrales de dos claros (Ejes B2, C2, G2 y H2).

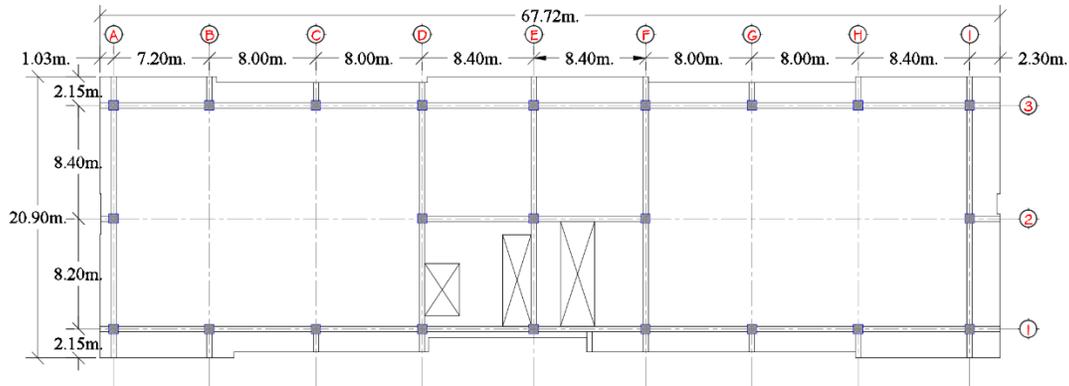


Figura 16. Planta típica tridilosa (EEMP) en claros de 16.60x23.2 y EEMG en claros interiores y voladizos, fase final.

Modelo de Cargas fase final

A diferencia de la fase inicial, ahora el uso destinado para el edificio es habitacional, lo que modificó la carga viva a 200.00kg/m^2 , es necesario adicionar una carga super impuesta de 100.00kg/cm^2 debido a las divisiones de pared ligeras que se suman a los 150.00 + el diferencial de peso de la losa equivalente mixta, 256.57kg/cm^2 totales. Se adicionaron nuevas condiciones de carga primarias, el viento, el cual se calculó de acuerdo al capítulo 1 del CHOC 2008, basado en el UBC 94 cuyas fuerzas fueron aplicadas al centro de masas de cada entrepiso. Para el cálculo de la carga de sismos, se utilizó el análisis modal espectral, para el espectro de respuesta de suelo mostrado en la figura 17, esto permite que la distribución de fuerzas cortantes en los entrepisos, sea de acuerdo a la rigidez y distribución de masas en la estructura, escalando dichas fuerzas al 90% de la cortante en la base de diseño tal y como se calculó en la fase inicial.

Las cargas primarias implementadas son la carga DEAD que incluye el peso propio y las cargas super impuestas permanentes, la carga viva o LIVE, las condiciones de sismo con idénticos parámetros a la fase inicial y el correspondiente espectro de respuesta para el análisis modal espectral (Figura 17) con excentricidades de 5% positivas y negativas de modo que EQXEP es la combinación para sismo en dirección X con excentricidad positiva (+5%), EQXEN sismo X con excentricidad negativa, lo mismo para la dirección Y (EQYEN y EQYEP) con una distribución de cortantes de acuerdo al análisis modal espectral, y cuyas fuerzas fueron escaladas al 90% del cortante estático en la base. El viento WX y WY calculados de acuerdo al procedimiento UBC 94 para los parámetros de velocidad mínima básica de viento de 120km/h según el CHOC.

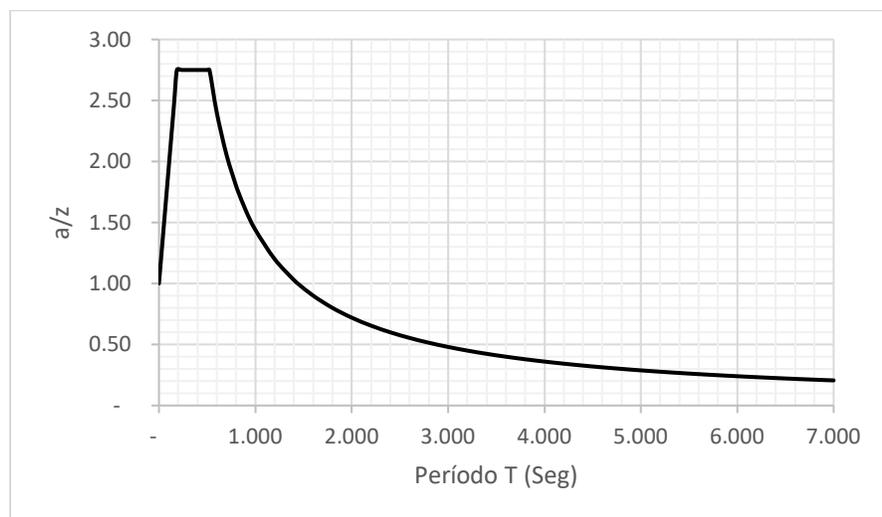


Figura 17. Espectro de respuesta elástico para S=2, R_w=8, I=1 y Z=0.25.

La tabla 5 nos presenta las combinaciones de carga evaluadas para esta fase final. Se presentan 13 combinaciones de servicio, con las cuales es posible evaluar la respuesta de la estructura para los desplazamientos tanto horizontales como verticales. 25 combinaciones de resistencia, con los factores de mayoración de cargas estipulados por el CHOC-2008. Dichos factores responden a

estudios estocásticos de la variación de cargas, a los cuales comúnmente se les denomina factores de incertidumbre.

Las combinaciones de resistencia, como su nombre lo indica, permiten evaluar individualmente a los miembros. Se determinan los esfuerzos al que estará sometido el elemento, lo que se denomina Demanda y se evalúa la Capacidad de resistencia del miembro, de acuerdo con sus propiedades geométricas y físico-mecánicas.

Tabla 5. Combinaciones y factores de carga, fase final

Primarias Combinación	DEAD	LIVE	EQXEP	EQXEN	EQYEP	EQYEN	WX	WY
SERVICIO	1.00	1.00						
SPEQXEP	0.75	0.75	0.75		0.225			
SNEQXEP	0.75	0.75	-0.75		0.225			
SPEQYEP	0.75	0.75	0.225		0.75			
SNEQYEP	0.75	0.75	0.225		-0.75			
SPEQXEN	0.75	0.75		0.75	0.225			
SNEQXEN	0.75	0.75		-0.75	0.225			
SPEQYEN	0.75	0.75	0.225			0.75		
SNEQYEN	0.75	0.75	0.225			-0.75		
SWXP	0.75	0.75					0.75	0.225
SWXN	0.75	0.75					-0.75	0.225
SWYP	0.75	0.75					0.225	0.75
SWYN	0.75	0.75					0.225	-0.75
RESISTENCIA	1.4	1.7						
RPEQXEP	1.05	1.285	1.4025		0.4028			
RNEQXEP	1.05	1.285	-1.4025		0.4028			
RPEQYEP	1.05	1.285	0.4028		1.4025			
RNEQYEP	1.05	1.285	0.4028		-1.4025			
RPEQXEN	1.05	1.285		1.4025	0.4028			
RNEQXEN	1.05	1.285		-1.4025	0.4028			
RPEQYEN	1.05	1.285	0.4028			1.4025		
RNEQYEN	1.05	1.285	0.4028			-1.4025		
RWXP	1.05	1.285					1.275	0.3825
RWXN	1.05	1.285					-1.275	0.3825
RWYP	1.05	1.285					0.3825	1.275
RWYN	1.05	1.285					0.3825	-1.275

Primarias Combinación	DEAD	LIVE	EQXEP	EQXEN	EQYEP	EQYEN	WX	WY
RPEQXEP2	0.90		1.43			0.429		
RNEQXEP2	0.90		-1.43			0.429		
RPEQYEP2	0.90		0.429		1.43			
RNEQYEP2	0.90		0.429		-1.43			
RPEQXEN2	0.90			1.43	0.429			
RNEQXEN2	0.90			-1.43	0.429			
RPEQYEN2	0.90		0.429			1.43		
RNEQYEN2	0.90		0.429			-1.43		
RWXP2	0.90						1.3	0.39
RWXN2	0.90						-1.3	0.39
RWYP2	0.90						0.39	1.3
RWYN2	0.90						0.39	-1.3

Modelo de Materiales fase final

Los materiales a utilizar en los modelos correspondientes a la fase inicial son:

Hormigón en columnas, vigas.....	$f^c = 280.00 \text{ kgf/cm}^2$
Hormigón losa de entrepiso	$f^c = 210.00 \text{ kgf/cm}^2$
Acero de refuerzo (todo el edificio)	$f_y = 4,200 \text{ kgf/cm}^2$
Lamina de acero acanalada de $h = 3.81\text{cm}$, $C_s = 15.24$, $W_r = 5.8774$ calibre 24, A653.....	$f_y = 2,320 \text{ kgf/cm}^2$
Acero de perfiles angulares A36.....	$f_y = 2,530 \text{ kgf/cm}^2$

Los módulos elásticos se mantienen para la fase final excepto en el hormigón de la losa ($E_c = 218,819.79 \text{ kgf/cm}^2$)

3.5 Fuentes de información

3.5.1 Fuentes primarias

Para la presente investigación se recopiló información de primera mano a través de las encuestas aplicadas al gremio de ingenieros con la finalidad de la justificación del presente estudio, la observación estructurada de los resultados obtenidos en el análisis comparativo de los sistemas

de entrepiso de los diferentes modelos representativos de estructuras y de los conocimientos adquiridos durante los estudios de este posgrado.

3.4.2 Fuentes secundarias

Estas constan de las normativas consultadas, los libros de texto, reportes y artículos científicos obtenidos de las diferentes fuentes de información bibliográfica disponibles que permitieron establecer el marco teórico sobre el cual se fundamenta este estudio.

3.6 Limitantes del estudio

La investigación se encuentra enmarcada a la aplicabilidad de sistemas mixtos reticulares para edificaciones que cuentan con grandes claros entre ejes columnares combinados con tipologías de marcos rígidos de hormigón, limitando el estudio al no evaluar otras tipologías como marcos de acero estructural especiales, arriostrados, sistemas duales, así como otras combinaciones de configuraciones posibles. En el aspecto técnico, en el país se carece de un laboratorio de mecánica y dinámica estructural que cuente con el equipo necesario (telemétrico) para evaluar la respuesta de prototipos a escala que permitan calibrar los modelos matemáticos y ciertas asunciones tomadas (transferencia de cortante entre la lámina de acero y el recubrimiento de hormigón), de manera que realmente se compruebe la representatividad de los mismos respecto a la estructura real.

La necesidad de una investigación más amplia, con la integración de más variables que afecten la respuesta estructural es una de las limitantes de este estudio, ya que el recurso de tiempo no permitió ampliar el alcance del estudio impidiendo la obtención de un punto de equilibrio para el sistema reticular propuesto, no obstante, en la presente investigación, se provee la plataforma de estudio y análisis que permitirá la posibilidad de ampliar la investigación a futuro.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se describe e ilustra la información producto de la metodología aplicada, esto permite, mediante un análisis generar un mapa mental de los resultados de la investigación que sirvieron de base para la comprobación de la hipótesis y una posible propuesta de mejora.

4.1 Resultados de la encuesta

Con el objeto de justificar la investigación determinando la necesidad de información respecto a la temática de este estudio, por parte del gremio de ingenieros civiles en Honduras, se procedió a la aplicación de la encuesta. A continuación, se presenta el resumen de la información analizada.

Pregunta 1: ¿Tiene conocimiento del riesgo sísmico en Honduras?

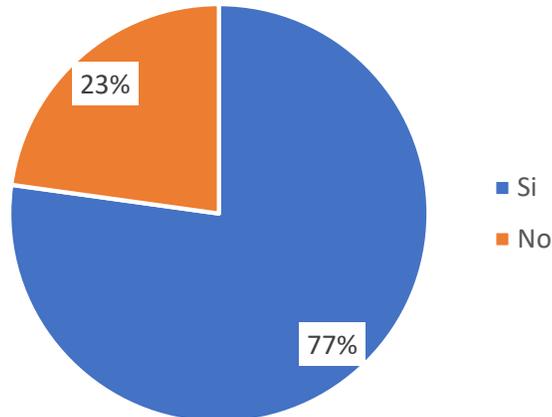


Figura 18. Conocimiento del riesgo sísmico en Honduras

Una mayoría significativa (77%) de los agremiados tiene conocimiento sobre el riesgo sísmico al que está expuesta la geografía territorial nacional, este aspecto es positivo para la investigación ya que el ingeniero se encuentra en la misma sintonía del presente estudio, y es por ello que resulta de utilidad toda aquella información que vaya dirigida a mejorar la respuesta de

las estructuras ante este tipo de eventos naturales (Figura 18). No obstante, existe una minoría considerable (23%) que desconocen el riesgo sísmico al que se encuentra expuesto el territorio nacional, por lo que surge una necesidad de información que debe ser expresada en forma universal para que, como profesionales de las obras civiles, los Ingenieros sean bastión de la mitigación de riesgos en el aspecto de sismicidad implementando los criterios sismo resistentes de la normativa vigente en sus obras. La tendencia con el presente estudio es que el conocimiento aumente y que los profesionales tengan la conciencia de dicho riesgo, para atender las recomendaciones del caso.

Pregunta 2: ¿Qué normativa de construcción observa en el desarrollo de sus proyectos y obras?

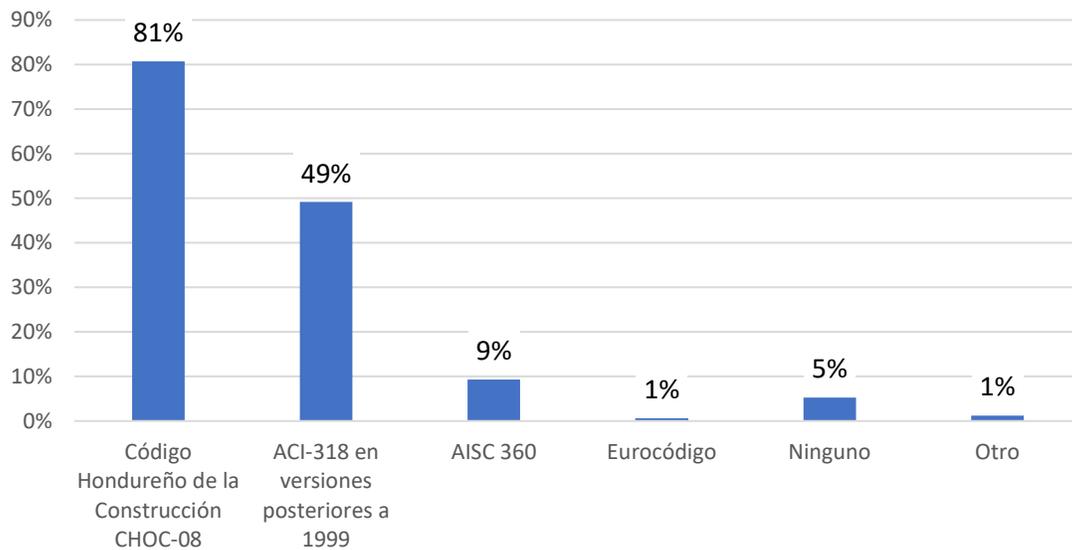


Figura 19. Normativas de construcción observadas en proyectos y obras.

Consistente con el resultado de la primera pregunta, un 80% del gremio observa la normativa vigente (Figura 19), dando méritos al esfuerzo realizado para la implementación de dicha normativa. Solo un 5% no observa ninguna normativa, por lo que el desconocimiento del riesgo sísmico no se encuentra vinculado al desconocimiento de la normativa y puede traducirse

en una falta de conciencia del riesgo sísmico, ya que si se observa la normativa que hace énfasis en parámetros sísmicos, por omisión los desconoce. Es destacable que un 49% observa normativas ACI posteriores al CHOC 2008, lo cual pone de manifiesto la necesidad de una actualización a la normativa vigente basada en la normativa ACI 318 de 1999, no tanto así con la normativa AISC 360 (9%) para diseño en acero la cual tiene la filosofía de diseño por factores de incertidumbre que incrementan las cargas y la reducción de capacidad de los esfuerzos (load resistance factor design LRFD) distinta a la enmarcada en el CHOC 2008 por esfuerzos admisibles (allowed stress design ASD).

Honduras tiene una fuerte influencia de las normativas norteamericanas, esto es claro ya que solo un 1% observa la normativa europea, el mismo porcentaje que observa la normativa de puentes de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). La tendencia es ascendente hacia el uso de la normativa oficial en curso, la cual puede lograrse, identificando los motivos por los que se utilizan normativas más actualizadas e implementando los cambios que se consideren necesarios para cubrir esas necesidades de diseño.

Pregunta 3: Cuando selecciona un sistema de entepiso a implementar ¿Qué elementos toma en consideración?

En una escala del 1 al 5, donde 5 es la mayor importancia, la calidad de los materiales (4.3) es el factor más valorado al momento de seleccionar qué sistema de entepiso se va a implementar en el proyecto, este requisito es factible de cumplir ya que se cuenta con ensayos para la verificación de la calidad constructiva de los materiales (Figura 20). No muy distante se encuentra el cumplimiento de la normativa (4.26) a sabiendas que un 80% del gremio observa la normativa CHOC 2008 es un resultado lógico y sirve de validación a las respuestas anteriores, con estos

critérios se puede decir que se cubre la parte de la seguridad de la estructura ante el tercer factor por importancia los costos económicos (4.12).

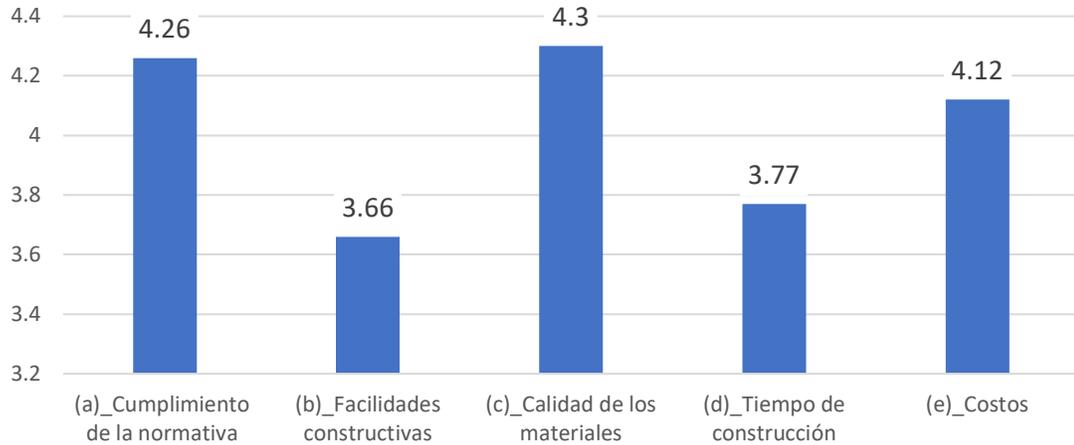


Figura 20. Promedios de la valoración de los elementos de selección para un sistema de entrepiso.

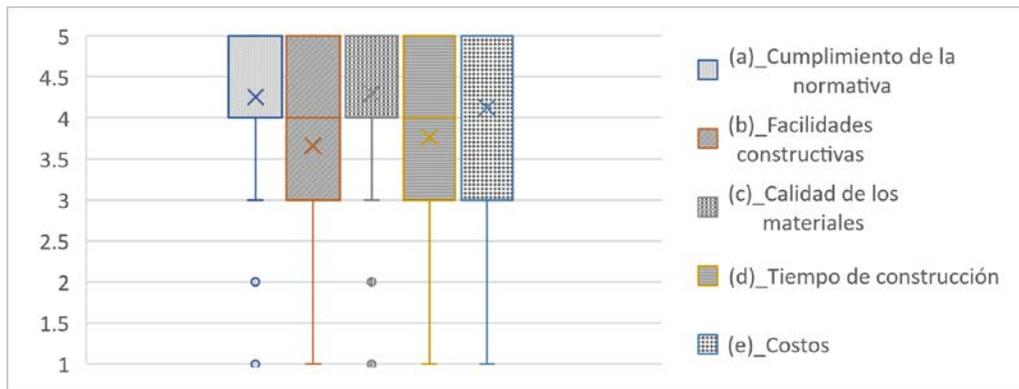


Figura 21. Diagrama de caja y bigote: valoración de los elementos de selección para un sistema de entrepiso.

Con un diagrama de caja y bigote (Figura 21) podemos observar como los aspectos constructivos como el tiempo de construcción (3.77) y las facilidades constructivas (3.66) tienen un plano secundario al momento de seleccionar un sistema de entrepiso, inclusive los costos tienen

una mayor dispersión de importancia dejando claro que los aspectos de seguridad del cumplimiento de la normativa y la calidad de los materiales son prioritarios. Existe la tendencia a que la seguridad vaya de la mano con el costo.

Pregunta 4: ¿Utiliza algún tipo de entrepisos aligerados en sus obras?

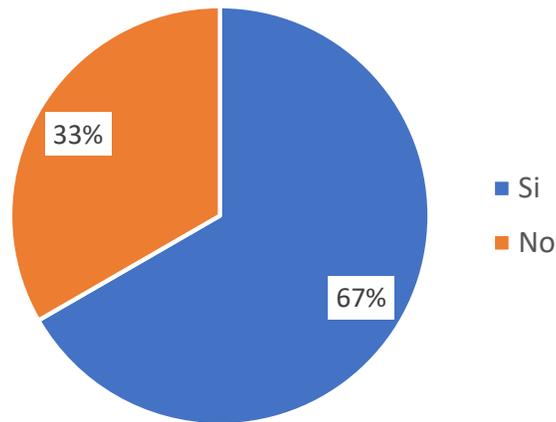


Figura 22. Uso de entrepisos aligerados en obras.

En esta parte de la encuesta se pretende obtener información específica sobre el uso de entrepisos aligerados. Un 67% de la muestra los utiliza (Figura 22), por lo que el estudio se dirigió a una mayoría del gremio contrastando con un 33% que no lo utiliza. Los motivos por los cuales hace uso o no del sistema se describen a continuación. Se pretende que exista una tendencia hacia el uso racional de los sistemas aligerados mixtos en las obras, es por ello que este estudio aportará a que la implementación de estos sistemas sea segura en cuanto a los aspectos estructurales.

Pregunta 4.1 ¿Por qué si utiliza sistemas de entrepiso aligerados? (selección múltiple), esta sub pregunta 4.1 (Ver Figura 23) nos indica que el motivo para el uso de entrepisos aligerados es la rapidez constructiva (68% de quienes los utilizan), esto no necesariamente puede ocurrir si

tomamos en cuenta toda el cronograma constructivo, ya que existe un tiempo en taller de ensamblado que en la obra no se ve, pero basta con una buena planificación para que durante los tiempos de ejecución de las obras primarias (cimientos y estructura vertical) se realice la tarea simultánea en taller y posteriormente el ensamblaje en obra sea la única ruta crítica del cronograma

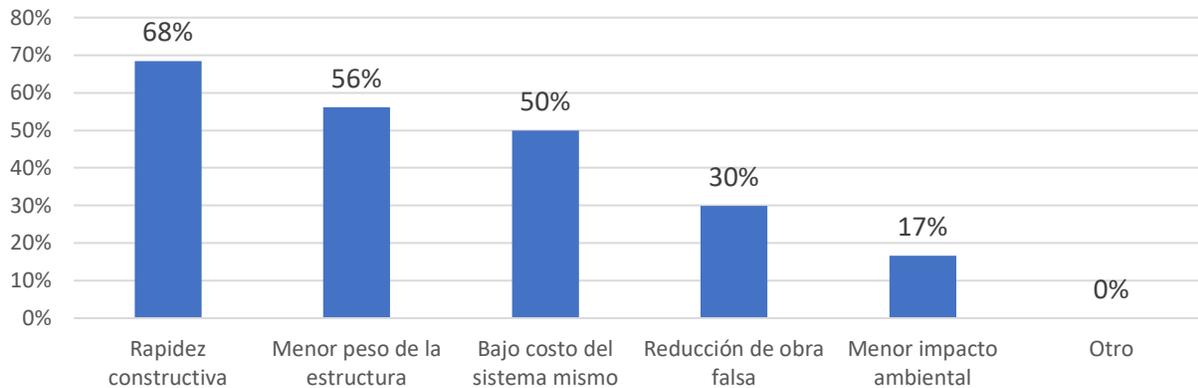


Figura 23. Motivos del uso de sistemas de entrepiso aligerados.

Un menor peso (56%) y una baja en costo (50%) se encuentran estrechamente ligados, más por los ahorros en volumen de materiales como el hormigón que compensan el costo del importe del acero. Una reducción en la obra falsa (30%), no siempre es posible, aunque en los entrepisos de losa de acero colaborantes, la doble función de el encofrado durante la etapa de endurecimiento del relleno de hormigón y como acero de refuerzo ya en sección compuesta, ayuda a la disminución de materias primas tradicionales para el encofrado como la madera, los cuales tienen una vida útil limitada y consecuentemente se convierten en desperdicios de construcción, esto va ligado al menor impacto al ambiente (17%) el cual no resulta muy incidente como motivo de selección del sistema quizás por una falta de cultura hacia lo amigable con el medio ambiente, pese a las campañas que surgen de todos los sectores de la población. La tendencia se marca hacia la

efectividad del sistema y la eficiencia del uso de los materiales, que se traducen en reducciones de costos por materiales y por tiempo.

Pregunta 4.2 ¿Por qué no utiliza sistemas de entrepiso aligerados?

Las principales razones por las cuales un 33% no utilizan estos sistemas de entrepisos son el Alto costo del sistema (39%) en el que quizás no se esté observando el beneficio global de la estructura y solo el ítem del entrepiso por separado (Figura 24). Los problemas de serviciabilidad debido a vibraciones inesperadas (37%) que es resultado de una falta de observación de las normativas y la práctica común de no permitir el trabajo en conjunto del perfil de acero y el relleno de hormigón mediante la transferencia de cortante, lo cual es discutible, aunque no justificable debido a que en la normativa CHOC 2008, no cuenta con las provisiones respectivas lo cual motiva a una mejora de la misma. El requerimiento de la mano de obra calificada es un tercer motivo que va más allá de los costes que esto implique, la mano de obra en acero, sobre todo la cultura de la soldadura, es un oficio que no se ha tecnificado en el país, muchas de las recomendaciones para el adecuado uso de esta técnica son obviados, restándole ductilidad a la junta e incrementando un riesgo de futuras fallas ya sea por fatiga del material o por un evento sísmico mayor, es necesario que la soldadura sea tecnificada en el país, de manera que pasen este aspecto pase a ser solución y no parte del problema.

Un mayor peralte del entrepiso puede verse desventajoso desde el punto de vista de un alargamiento de las longitudes de las columnas, pero existe un beneficio intrínseco con la altura de la estructura y es un aumento en el período de vibración, esto reduce las fuerzas inerciales de la respuesta reduciendo la demanda de los elementos estructurales. El comportamiento contra incendios (4%) es un aspecto ampliamente estudiado en los códigos norteamericanos ya que ,

contrario a las secciones de hormigón donde existe un recubrimiento y el material en sí es más resistente al fuego que el acero, este último puede llegar a su punto de fusión, perdiendo su capacidad para resistir los esfuerzos y provocando un colapso más prematuro, se requiere pues de recubrimientos especiales ignífugos para retrasar los efectos del calor en el acero, facilitando las obras de mitigación de daños. El hecho que se reste importancia a este aspecto es preocupante y forma parte de un elemento más que debe adicionarse a la normativa de construcción.

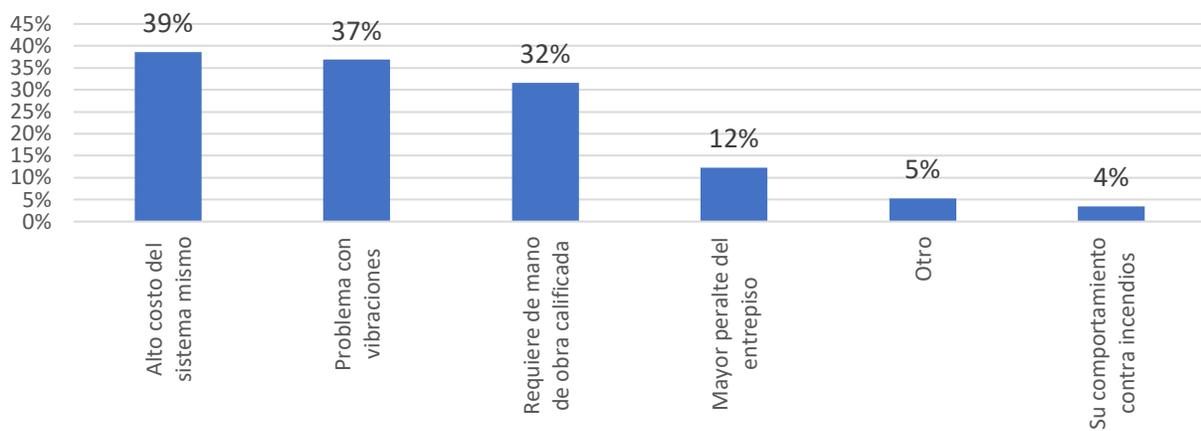


Figura 24. Motivos del no uso de sistemas de entrepiso aligerados.

Otro aspecto considerado fue la poca rigidez que aportan estos sistemas en cuanto a su comportamiento sísmico resistente, para lo cual existen diferentes recomendaciones enfocadas a la solución de esta desventaja. Este estudio pretende en parte el análisis del comportamiento de la losa reticular mixta, cuyo sistema representa una alternativa para proveer de rigidez al entrepiso. La tendencia esperada es potenciar esas carencias de conocimientos para que los sistemas de entrepisos aligerados no se vean limitados por lo mismo, los altos costos pueden ser resultado de una falta de apreciación de los beneficios globales para la edificación y la mano de obra calificada le brinda un factor de calidad y seguridad a la construcción que debe valorarse también.

Pregunta 5. Independientemente del sistema de entrepiso que utiliza, si se le proporcionara un sistema aligerado que cubre con los requerimientos de la normativa vigente, pero ligeramente superior en costo ¿Cambiaría de sistema?

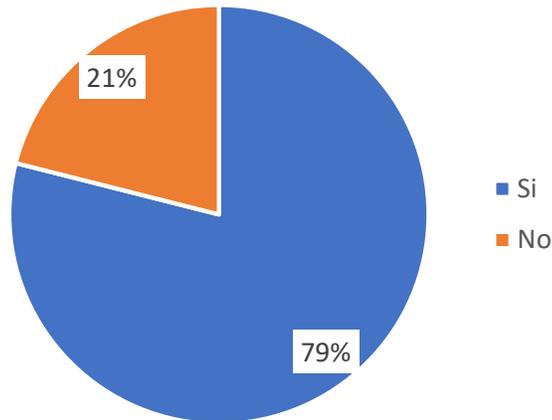


Figura 25. Disponibilidad al cambio del sistema de entrepiso.

Un objetivo primordial del diseño de esta pregunta en el cuestionario fue contrastar si en efecto el costo es el factor principal al momento de seleccionar un sistema de entrepiso, de los resultados de la pregunta dos, observamos que el costo tiene un tercer lugar por debajo de la seguridad de la estructura y se ve reflejado aquí también, un 79% estaría dispuesto a un sistema aligerado que cubre con los requerimientos de la normativa vigente, pero ligeramente superior en costo (Figura 25). Del 21% restante negativo a un cambio de sistema, nos indica que un 12% de quienes no utilizan sistemas aligerados, si estarían dispuestos a utilizarlo en función de la información que se le proporcione respecto a este sistema hipotético de entrepiso, incrementando el porcentaje de posibles usuarios de este documento.

Pregunta 6. ¿Conoce el sistema de entrepiso aligerado conformado por estructuras tipo joist en ambas direcciones conocido como tridilosa?

Se presenta un concepto fácil de comprender del sistema que aquí se estudió mediante una comparativa con el sistema de referencia ya conocido, “las estructuras tipo joist en ambas direcciones conocido como tridilosa”. Esta pregunta nos permitió medir el nivel de desconocimiento del sistema en sí, solo un 37% tiene conocimiento de los entrepisos reticulares mixtos (Figura 26). Esto motiva a que el presente estudio sirva como una referencia de los beneficios que aporta este sistema poco implementado en nuestro país y que sirva de alternativa en beneficio de la respuesta de la estructura. Con este estudio se pretende que la tendencia sea disminuir el desconocimiento de estos sistemas reticulares mixtos, dando a conocer los beneficios que aportan al proyecto.

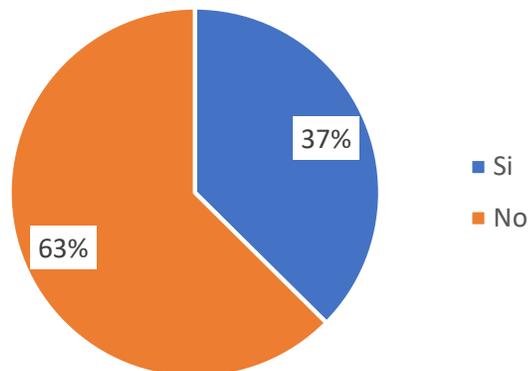


Figura 26. Conocimiento del sistema reticular aligerado.

4.2 Resultados del análisis comparativo

Fase inicial

Esta fase tenía como objetivo identificar las variables más sensitivas para el comportamiento diafragmático de los sistemas de entrepisos propuestos. En las Tablas 6, 7 y 8 se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 6. Resultados para múltiplos de tableros de 8x8

DIMENSIONES	8 x 8							
SISTEMA	JOIST + MURO X	JOIST + MURO Y	JOIST C/T	JOIST S/T	EEMP	EEMP e<	EEMP e>	EEMG
Tx (s)	0.024	0.242	0.155	0.215	0.178	0.174	0.174	0.184
Ty (s)	0.242	0.020	0.200	0.123	0.178	0.174	0.174	0.184
Vx (kgf)	4,129.74	3,469.74	3,505.21	3,515.81	2,974.35	2,784.58	3,436.35	3,135.92
Vy (kgf)	4,129.74	3,469.74	3,505.21	3,515.81	2,974.35	2,784.58	3,436.35	3,135.92
Kx (Tonf/m)	375,430.91	1,609.34	6,886.46	4,121.70	4,479.44	4,337.35	4,383.10	4,373.67
Ky (Tonf/m)	1,297.44	433,717.50	4,128.63	6,880.25	4,479.44	4,337.35	4,377.52	4,367.58
Δx (mm)	0.011	2.156	0.509	0.853	0.664	0.642	0.784	0.717
Δy (mm)	3.183	0.008	0.849	0.511	0.664	0.642	0.785	0.718
δx (mm)	0.125	2.283	0.554	2.155	0.760	0.736	0.832	0.807
δy (mm)	3.195	0.039	1.002	6.813	0.753	0.728	0.826	0.800
δz (mm)	18.050	11.822	17.341	26.735	29.950	30.174	26.756	17.024
$\delta/\Delta x$	11.364	1.059	1.088	2.526	1.145	1.146	1.061	1.126
$\delta/\Delta y$	1.004	4.875	1.180	13.333	1.134	1.134	1.052	1.114
Peso (Tonf)			43.21		37.030	34.82	42.41	38.91
Diferencial Peso					14.3%	19.4%	1.9%	9.9%

DIMENSIONES	8 x 16				8 x 24			
SISTEMA	JOIST C/T	JOIST S/T	EEMP	EEMG	JOIST C/T	JOIST S/T	EEMP	EEMG
Tx (s)	0.174	0.242	0.194	0.199	0.182	0.242	0.2	0.205
Ty (s)	0.224	0.242	0.200	0.205	0.235	0.242	0.21	0.215
Vx (kgf)	6,718.37	6,739.56	5,591.89	5,912.36	9,931.53	9,963.32	8,208.55	8,691.16
Vy (kgf)	6,718.37	6,739.56	5,591.89	5,912.36	9,931.53	9,963.32	8,208.55	8,691.16
Kx (Tonf/m)	10,448.48	10,432.76	6,981.14	7,021.81	14,147.48	14,132.37	9,668.49	9,721.66
Ky (Tonf/m)	6,284.72	5,835.12	6,509.77	6,554.72	8,488.49	8,493.88	8,788.60	8,877.59
Δx (mm)	0.643	0.646	0.801	0.842	0.702	0.705	0.849	0.894
Δy (mm)	1.069	1.155	0.859	0.902	1.170	1.173	0.934	0.979
δx (mm)	0.834	6.461	0.907	0.961	0.826	6.536	0.985	1.047
δy (mm)	1.272	2.354	0.935	1.002	1.443	2.535	1.035	1.106
δz (mm)	16.356	25.453	30.230	17.322	16.554	25.695	30.541	17.479
$\delta/\Delta x$	1.297	10.002	1.132	1.141	1.177	9.271	1.160	1.171
$\delta/\Delta y$	1.190	2.038	1.088	1.111	1.233	2.161	1.108	1.130
Peso (Tonf)	81.81		68.70	72.43	120.41		100.36	105.97
Diferencial Peso			16.0%	11.5%			16.7%	12.0%

Los sistemas representados son Joist en una dirección con transferencia de cortante (JOIST C/T) y sin transferencia de cortante (JOIST S/C), Estructuras espaciales mixtas Piramidal (EEMP) con espesor menor de 5cm (e<) o 10cm (e>) y Generalizada (EEMG). T representa el período natural de la estructura, V es la fuerza cortante en el entrepiso, K es la rigidez del entrepiso, Δ representa el desplazamiento relativo de los elementos verticales del sistema resistente a cargas laterales y δ el desplazamiento máximo del entrepiso. La comparativa en los tableros múltiplos de 8x8, entre el sistema joist sin transferencia de cortante y con transferencia de cortante permite

identificar la importancia de poder contar con una sección compuesta a través de la transferencia cortante entre la losa mixta y el sistema de soporte o vigueta joist en este caso (Tabla 9).

Tabla 7. Resultados para múltiplos de tableros de 16x16

DIMENSIONES	16 x 16			16 x 32			16 x 48		
SISTEMA	JOIST C/T	EEMP	EEMG	JOIST C/T	EEMP	EEMG	JOIST C/T	EEMP	EEMG
Tx (s)	0.192	0.217	0.223	0.206	0.227	0.233	0.211	0.231	0.237
Ty (s)	0.242	0.217	0.223	0.242	0.233	0.24	0.242	0.240	0.242
Vx (kgf)	12,277.61	10,525.41	11,167.19	24,023.10	20,393.29	21,676.86	35,768.59	30,261.18	32,186.53
Vy (kgf)	12,277.61	10,525.41	11,167.19	24,023.10	20,393.29	21,676.86	35,768.59	30,261.18	32,186.53
Kx (Tonf/m)	15,289.68	10,359.66	10,436.63	25,638.31	18,031.20	18,124.46	35,414.45	25,408.21	25,524.61
Ky (Tonf/m)	9,238.23	10,359.66	10,436.63	15,099.37	17,037.00	17,176.59	20,592.16	23,440.11	23,631.81
Δx (mm)	0.803	1.016	1.070	0.937	1.131	1.196	1.010	1.191	1.261
Δy (mm)	1.329	1.016	1.070	1.591	1.197	1.262	1.737	1.291	1.362
δx (mm)	0.846	1.127	1.212	0.999	1.296	1.406	0.999	1.401	1.530
δy (mm)	1.638	1.124	1.209	1.975	1.305	1.402	1.975	1.388	1.487
δz (mm)	19.564	30.225	17.378	19.716	30.541	17.412	19.716	30.362	17.421
$\delta/\Delta x$	1.054	1.109	1.212	1.066	1.146	1.176	1.096	1.176	1.213
$\delta/\Delta y$	1.233	1.106	1.209	1.241	1.090	1.111	1.328	1.075	1.092
Peso (Tonf)	148.310	127.921	135.389	288.614	246.376	261.312	428.917	364.831	387.235
Diferencial W		13.7%	8.7%		14.6%	9.5%		14.9%	9.7%

Tabla 8. Resultados para múltiplos de tableros de 32x32

DIMENSIONES	32 x 32			32 x 64			32 x 96		
SISTEMA	JOIST C/T	EEMP	EEMG	JOIST C/T	EEMP	EEMG	JOIST C/T	EEMP	EEMG
Tx (s)	0.224	0.242	0.242	0.232	0.242	0.242	0.236	0.242	0.242
Ty (s)	0.242	0.242	0.242	0.242	0.242	0.242	0.242	0.242	0.242
Vx (kgf)	45,779.10	39,523.51	42,090.65	90,545.92	77,783.95	82,918.22	135,312.74	116,044.39	123,745.80
Vy (kgf)	45,779.10	39,523.51	42,090.65	90,545.92	77,783.95	82,918.22	135,312.74	116,044.39	123,745.80
Kx (Tonf/m)	38,469.83	29,363.68	29,516.58	65,660.57	51,410.41	51,566.06	84,995.44	70,586.61	70,590.87
Ky (Tonf/m)	43,724.07	29,363.68	29,516.58	41,611.18	49,861.51	49,980.84	53,230.82	67,585.55	67,399.67
Δx (mm)	1.190	1.346	1.426	1.379	1.513	1.608	1.592	1.644	1.753
Δy (mm)	1.047	1.346	1.426	2.176	1.560	1.659	2.542	1.717	1.836
δx (mm)	1.940	1.479	1.671	2.276	1.479	1.907	1.926	2.008	2.629
δy (mm)	2.432	1.479	1.639	3.331	1.479	1.786	3.111	1.713	2.388
δz (mm)	20.164	30.382	17.451	20.171	30.382	17.460	20.172	30.541	17.468
$\delta/\Delta x$	1.630	1.099	1.172	1.650	1.153	1.186	1.210	1.221	1.500
$\delta/\Delta y$	2.323	1.099	1.149	1.531	1.055	1.077	1.224	0.998	1.301
Peso (Tonf)	547.822	475.030	504.902	1,080.841	932.338	992.083	1,613.860	1,389.647	1,479.263
Diferencial W		13.3%	7.8%		13.7%	8.2%		13.9%	8.3%

Tabla 9. Resumen del comparativo entre transferencia de cortante o no

Serie	Configuración	δz (mm)	$\delta/\Delta x$	$\delta/\Delta y$
1	8x8CT	17.341	1.088	1.180
2	8x16CT	16.356	1.297	1.190
3	8x24CT	16.554	1.177	1.233
1	8x8ST	26.735	2.526	13.333
2	8x16ST	25.453	10.001	2.038
3	8x24ST	25.695	9.271	2.161

El comportamiento de las deflexiones acusa a la falta de inercia de la sección cuando existe la transferencia cortante (Figura 27a) con una deflexión máxima de 26.735mm que representa un incremento del 54% respecto a los 17.341mm cuando si contamos con la sección compuesta.

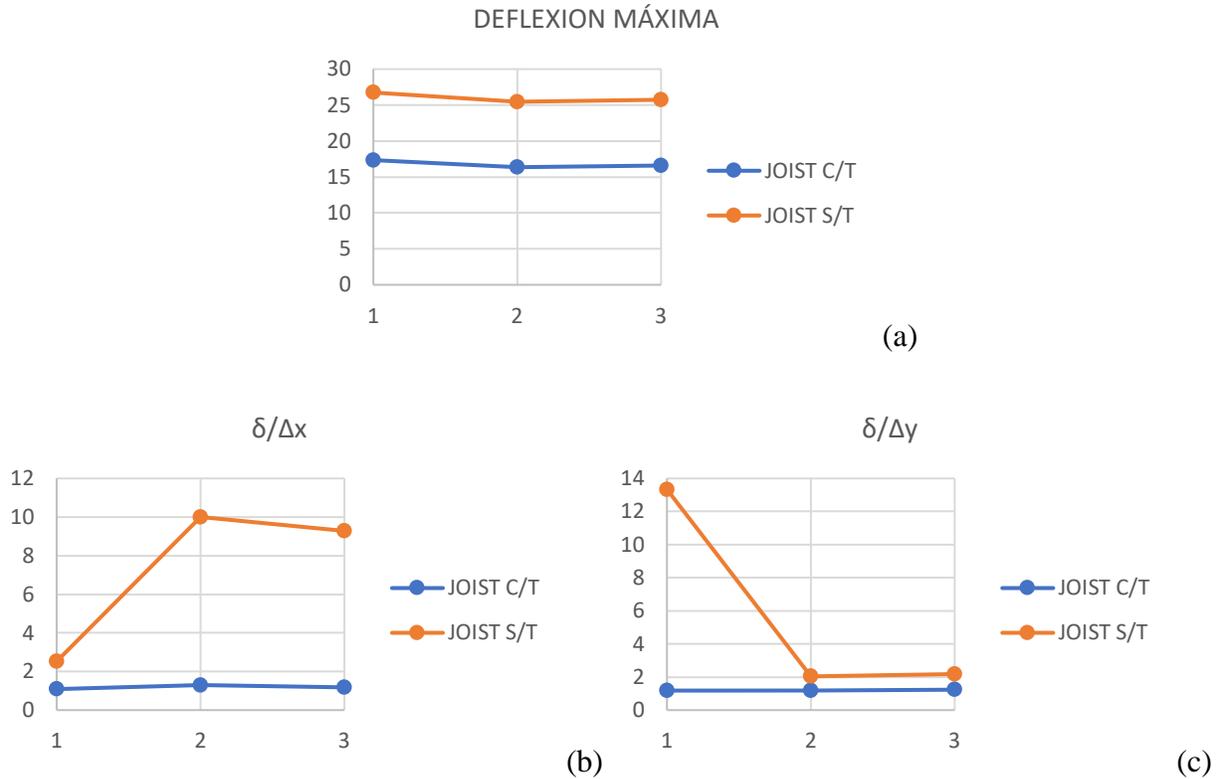


Figura 27. Comparativa entre transferencia cortante o no

En cuanto al comportamiento diafragmático, debido a la carencia de un arriostramiento constante para la cuerda superior del joist, la relación de los desplazamientos máximos del entrepiso contra el desplazamiento relativo de los elementos verticales del entrepiso, para los joist sin transferencia de cortante las relaciones superan el valor de 2 en ambas direcciones, lo cual es indicativo de un diafragma flexible, distinto al comportamiento semi rígido del joist con arriostramiento con relaciones cercanas a la unidad (Figura 27 b, c).

Otra comparativa realizada fue la implementación de paredes de cortante de hormigón reforzado de 12 cm (Tabla 10), paralelas a la dirección de los joist y perpendiculares, con esto se demostró que al rigidizar el sistema de soporte (VLLR), se acentúan los desplazamientos o distorsiones del entrepiso respecto a estos, denotando un comportamiento diafragmático flexible, con índices δ/Δ superiores a 2, siempre en la dirección perpendicular a la disposición de los muros de apoyo.

Tabla 10. Resumen del comparativo entre muros de cortante y marcos rígidos.

SISTEMA	δ/Δ_x	δ/Δ_y
JOIST + MURO X	11.364	1.004
JOIST + MURO Y	1.059	4.875
8x8CT	1.088	1.180

También, se realizó la investigación sobre la incidencia del espesor de la losa en la estructura espacial mixta piramidal (Tabla 11), obteniéndose una mejora en cuanto a comportamiento diafragmático con relaciones δ/Δ inferiores (1.061 para X) al espesor de referencia (1.145 para X), aunque no incidiendo de manera significativa. Los desplazamientos verticales se reducen al tener una mayor inercia de la sección compuesta. Un mayor espesor significa una reducción en el diferencial de peso que se identificó como una ventaja de estas estructuras respecto a los joist con transferencia cortante en una dirección.

Tabla 11. Resumen del comparativo de espesores de losa en la EEMP

SISTEMA	δ/Δ_x	δ/Δ_y	$\delta z(\text{mm})$
EEMP e<	1.146	1.134	30.174
EEMP	1.145	1.134	29.950
EEMP e>	1.061	1.052	26.756

La última comparativa se realizó entre todos los modelos evaluados para los sistemas de joist con transferencia cortante y las estructuras espaciales mixtas piramidal y generalizada (Tabla 12).

Tabla 12. Resumen del comparativo de JOIST C/T, EEMP y EEMP fase inicial

Serie	Dimensión	$\delta z(\text{mm})$			$\delta/\Delta x$			$\delta/\Delta y$		
		JOIST C/T	EEMP	EEMG	JOIST C/T	EEMP	EEMG	JOIST C/T	EEMP	EEMG
1	8 x 8	17.341	29.950	17.024	1.088	1.145	1.126	1.180	1.114	1.114
2	8 x 16	16.356	30.230	17.322	1.297	1.132	1.132	1.190	1.088	1.111
3	8 x 24	16.554	30.541	17.479	1.177	1.160	1.171	1.233	1.108	1.130
4	16 x 16	19.564	30.225	17.378	1.054	1.109	1.212	1.233	1.106	1.209
5	16 x 32	19.716	30.541	17.412	1.066	1.146	1.176	1.241	1.090	1.111
6	16 x 48	19.716	30.362	17.421	1.096	1.176	1.213	1.328	1.075	1.092
7	32 x 32	20.164	30.382	17.451	1.630	1.099	1.172	2.323	1.099	1.149
8	32 x 64	20.171	30.382	17.460	1.650	1.153	1.186	1.531	1.055	1.077
9	32 x 96	20.172	30.541	17.468	1.210	1.221	1.500	1.224	0.998	1.301

En esta comparativa, los desplazamientos (Figura 28a) para las EEM se mantienen constantes, la topología piramidal presenta desplazamientos verticales fuera de su plano alrededor de los 30.5mm superiores a los 17.5mm de la topología generalizada, destacando que la topología piramidal consta de elementos de barras con diámetro de 1/2” con menor inercia respecto a los angulares de las cuerdas de la topología generalizada de 2x2x1/4”, sugiriendo que si pretendemos una deflexión similar, se deben modificar o bien un peralte mayor a los 30cm de la sección compuesta o un espesor de losa de hormigón mayor. El desplazamiento del sistema de joist resulta muy similar a la topología generalizada (EEMG), reportando un incremento ascendente a medida el área del tablero se incrementa, esto es resultado de la deflexión relativa de las vigas que reciben la doble carga de los joist en una dirección en tableros adyacentes. Por un menor peso, la EEMG presenta mejores controles de deflexiones respecto al sistema de referencia.

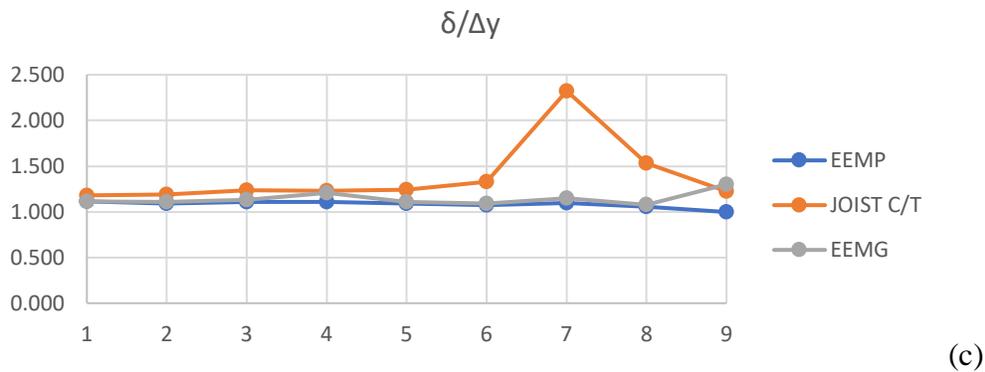
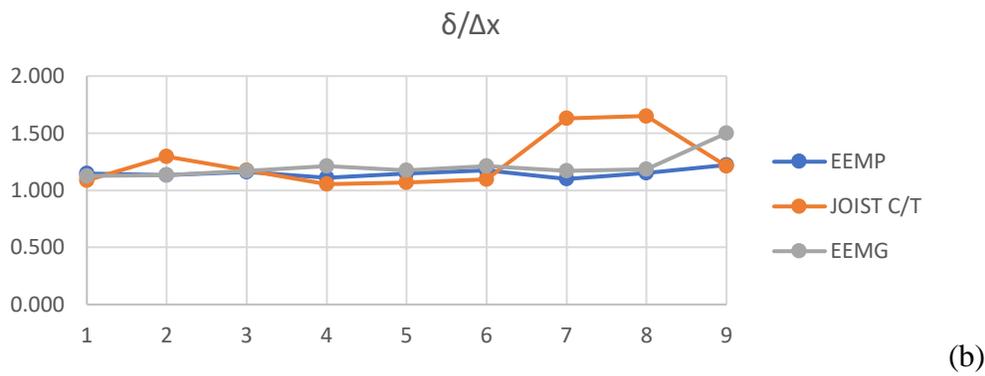
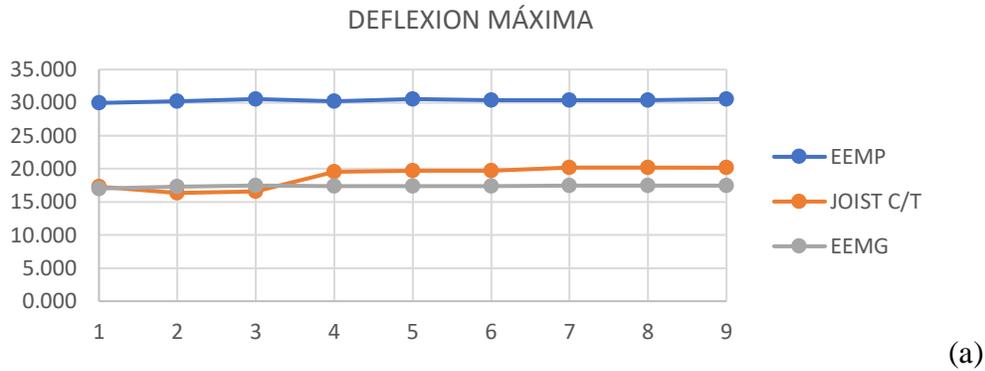


Figura 28. Comparativa de JOIST C/T, EEMP y EEMP fase inicial

En cuanto al comportamiento diafragmático, los tres sistemas se encuentran dentro del rango entre 1 y 2 para su relación de distorsión δ/Δ , aunque el sistema de joist presentó resultados erráticos para el tablero de 36x36m y 36x64m, incluso comportándose como diafragma flexible en la dirección Y paralela a la dirección de los joist.

Se destaca la significancia en estos resultados que tiene la flexibilidad del sistema de soporte, referido al marco rígido el cual, toma el papel importante en la acción diafragmática, donde si se incorporó la participación de elementos rigidizantes como muros de cortante, se observó cómo se acentúa la distorsión de deformaciones en el plano del entrepiso respecto al sistema de soporte, por lo que esta fase del análisis no es concluyente respecto al comportamiento diafragmático de los sistemas estudiados a falta de incorporar otras variables al estudio (fase final). No obstante, se puede concluir parcialmente, que a mayor flexibilidad del sistema de soporte (marco rígido), la influencia del comportamiento diafragmático del entrepiso es poca, delegando la función de diafragma al marco rígido el cual debe compensar la carencia de rigidez como se observó en los modelos de joist en una dirección, donde las vigas perpendiculares a los joist (de apoyo de estos) aumentaron de sección para cubrir los requerimientos de resistencia, aportando una mayor rigidez en esa dirección.

Fase final

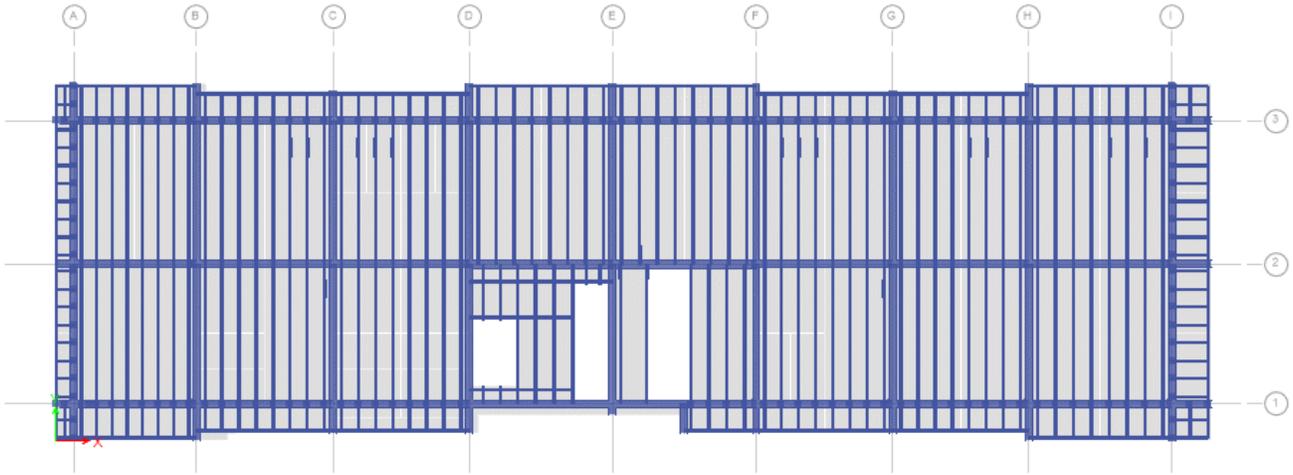
Esta fase tenía como objetivo modificar las variables de altura que permitieron identificar las irregularidades torsionales, así como los elementos para calificar la respuesta estructural en términos de rigidez y resistencia de sus elementos independientes. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

Resultados del análisis estructural edificación con sistema de joist en una dirección y marcos rígidos.

La configuración de los joist se muestra en la Figura 29, paralelos al eje menor del edificio, se encuentran espaciados a 1.10m entre sí, con un arriostramiento a cada $L/3$ de su longitud. El peralte de los mismos es de 0.40m, en los voladizos, así como en los tableros con irregularidades

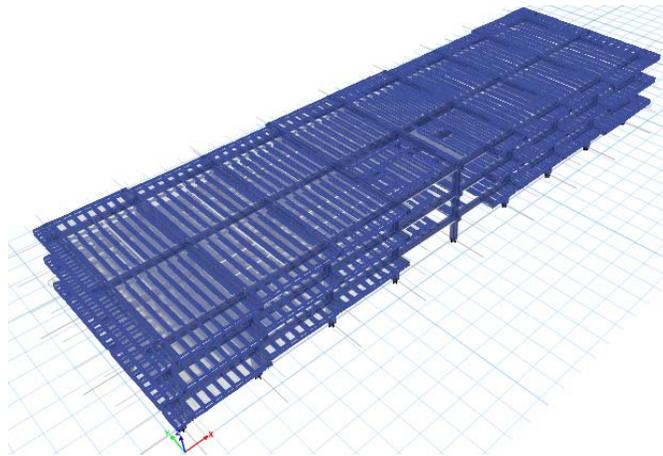
(vacíos) la distribución de los joist se ajustó en dos direcciones, y las cuerdas inferiores se empotraron en las vigas adyacentes en los voladizos.

Figura 29. Configuración de joist en una dirección.



3 niveles joist en una dirección y marcos rígidos.

Los resultados del análisis sísmico estático se muestran en la Figura 30, el período se encuentra gobernado por 1.4 T estático, razón por la que los cortantes estáticos son iguales.



Rw =	8
Tx =	0.55 s
Ty =	0.55 s
W =	2,326,783.27 kgf
ρ (escalamiento) =	0.90
V _X ESTÁTICO =	162,114.77 kgf
V _Y ESTÁTICO =	162,114.77 kgf

Figura 30. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo JOIST, 3 niveles.

Tabla 13. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo JOIST, 3 niveles.

Fuerzas del análisis dinámico en sentido x-x					Sismo escalado (1.54)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N3	50,598.98	1,115.37	50,598.98	1,115.37	78,123.50	1,722.10
N2	77,768.55	1,898.13	27,169.57	782.76	41,949.10	1,208.56
N1	94,498.56	2,228.32	16,730.01	330.19	25,830.70	509.80
Fuerzas del análisis dinámico en sentido y-y					Sismo escalado (1.81)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N3	1,118.99	44,880.91	1,118.99	44,880.91	2,020.00	81,018.84
N2	1,903.78	65,537.44	784.79	20,656.53	1,416.70	37,289.09
N1	2,228.32	80,824.07	324.54	15,286.63	585.86	27,595.36

Presenta irregularidades para las cargas de sismo en Y, donde la relación (rel.) del desplazamiento máximo / promedio supera el límite de 1.2, que a su vez se utiliza para el cálculo del facto de amplificación de momentos Ax (Tabla 14). Se observó que los desplazamientos relativos (Figura 31) son cumplidos para todas las combinaciones de servicio en toda la Elevación total. Para la evaluación del comportamiento del diafragma (Tabla 15), se consideraron las relaciones de distorsión entre los extremos del entrepiso y la parte central para todo el perímetro. Se obtuvo un comportamiento cercano al diafragma rígido para los bordes cortos cercanos a los ejes A e I c, para los bordes largos, el comportamiento fue con tendencia a un diafragma flexible, con valores $\delta/\Delta x$ que tienden a superar el límite de 2 a medida que aumenta la elevación.

Tabla 14. Irregularidad torsional. Modelo JOIST, 3 niveles.

Entrepiso	Carga	Dir	Máximo	Promedio	Rel.	Ax
N3	EQXEP	X	0.010936	0.010553	1.036	1.00
N2	EQXEP	X	0.007475	0.007222	1.035	1.00
N1	EQXEP	X	0.003069	0.002915	1.053	1.00
N3	EQXEN	X	0.011075	0.010682	1.037	1.00
N2	EQXEN	X	0.007555	0.007309	1.034	1.00
N1	EQXEN	X	0.003114	0.002964	1.051	1.00
N3	EQYEP	Y	0.016248	0.013546	1.199	1.00
N2	EQYEP	Y	0.010333	0.008726	1.184	1.00
N1	EQYEP	Y	0.004184	0.003408	1.228	1.05
N3	EQYEN	Y	0.016426	0.011971	1.372	1.31
N2	EQYEN	Y	0.010857	0.008043	1.35	1.27
N1	EQYEN	Y	0.004169	0.003131	1.332	1.23

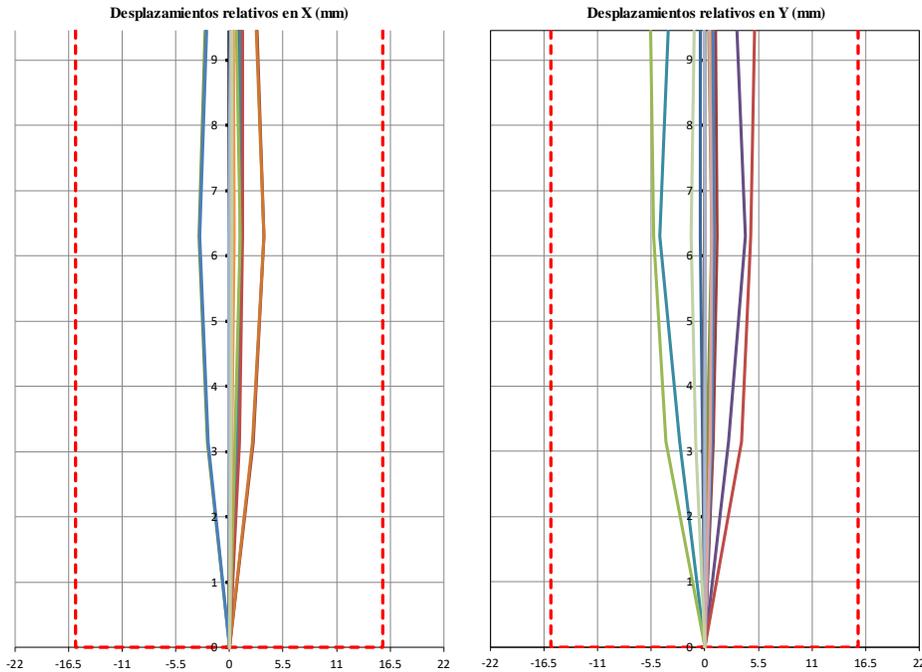


Figura 31. Desplazamientos relativos. Modelo JOIST, 3 niveles.

Tabla 15. Comportamiento diafragmático. Modelo JOIST, 3 niveles.

Borde	Nivel	Combinación	δ_{x1} (m)	δ_{x2} (m)	δ_{xc} (m)	δ_x relativo (m)	Δx (m)	$\delta/\Delta x$
A	N1	SPEQXEN	0.00249	0.00233	0.00223	0.00095	0.00077	1.24
	N2	SPEQXEN	0.00617	0.00567	0.00573	0.00135	0.00117	1.16
	N3	SPEQXEN	0.00811	0.00810	0.00827	0.00115	0.00098	1.17
I	N1	SPEQXEN	0.00213	0.00206	0.00228	0.00095	0.00077	1.24
	N2	SPEQXEN	0.00560	0.00551	0.00575	0.00136	0.00117	1.17
	N3	SPEQXEN	0.00926	0.00847	0.00874	0.00111	0.00098	1.13
Borde	Nivel	Combinación	δ_{y1} (m)	δ_{y2} (m)	δ_{yc} (m)	δ_y relativo (m)	Δy (m)	$\delta/\Delta y$
1	N1	SNEQYEN	0.00306	0.00173	0.00302	0.00167	0.00104	1.60
	N2	SNEQYEN	0.00833	0.00439	0.00802	0.00333	0.00168	1.99
	N3	SNEQYEN	0.01282	0.00641	0.01257	0.00444	0.00149	2.98
3	N1	SNEQYEN	0.00311	0.00173	0.00329	0.00191	0.00104	1.83
	N2	SNEQYEN	0.00840	0.00439	0.00825	0.00353	0.00168	2.11
	N3	SNEQYEN	0.01291	0.00644	0.01268	0.00449	0.00149	3.01

El control de deflexiones se cumple para los límites de $L/360$ (0.022m para 8m de luz) en los claros centrales para la deformación por carga viva (Tabla 16). Se tomaron como puntos de control para la relación demanda capacidad (D/C) de los elementos las columnas del primer nivel sobre el eje A, no obstante, todos los elementos cumplen dicha relación menor que 1 (Tabla 17).

Tabla 16. Desplazamiento máximo vertical. Modelo JOIST, 3niveles

Nivel	$\delta z(m)$ Servicio	$\delta z(m)$ DL	$\delta z(m)$ LL
N1	0.02571	0.016977	0.008733
N2	0.024577	0.017155	0.007422
N3	0.025356	0.017717	0.007639

Tabla 17. Relación D/C. Modelo JOIST, 3 niveles.

Eje	Sección	D/C
2A	COL50X50-8X8	0.642
2E	COL50X50-8X8	0.813
2I	COL50X50-8X8	0.823

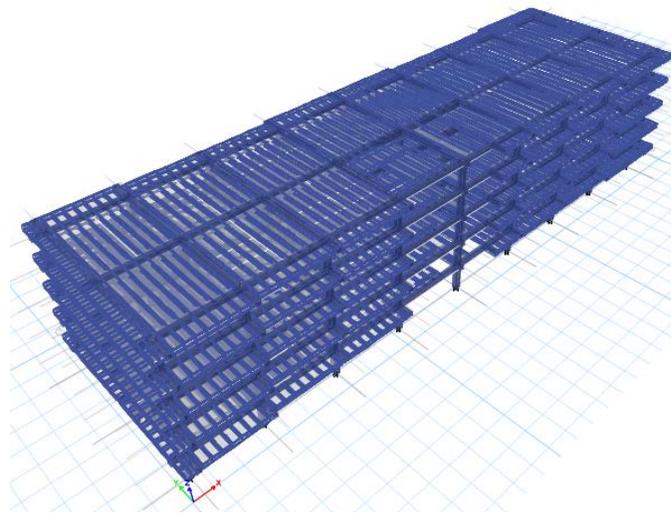
La Tabla 18 muestra las secciones de viga utilizadas y su correspondiente peso, así como las secciones de acero que conforman las cuerdas y alma de los joist, donde las secciones CAPOYO1 consta de dos cuerdas tubulares conformadas por 4 angulares de 2x2x1/4", CAPOYO 2 consta de dos cuerdas tubulares conformadas por 4 angulares de 2x2x3/8". Concluye con la relación peso de acero de refuerzo / volumen de las columnas, el cual es un parámetro comparativo de costos que permite evaluar dentro de un rango racional, las cantidades de material utilizadas.

Tabla 18. Relación Peso / Volumen. Modelo JOIST, 3 niveles.

Sección	Longitud Total (m)	Peso Total (kgf)		
V40X60	49.80	27,816.55	VIGAS	
V40X40	1,066.08	390,769.42		
V50X70	50.40	41,070.35		
	$\Sigma =$	459,656.32		
LL3X3X3/8"	3.56	73.71	JOIST	
LL2X2X3/8"	127.46	1,732.47		
LL2X2X1/4"	9,729.84	91,213.31		
L1X1X1/4"	6,935.51	15,334.61		
CAPOYO1	91.35	1,689.51		
CAPOYO2	90.75	3,846.97		
	$\Sigma =$	113,890.58		
Sección	Longitud Total (m)	Vol. de Hormigón (m ³)	Peso Total Acero (kgf)	Peso/Volumen
COL50X50-8X8	255.15	63.79	8,136.22	127.55

Edificio de 5 niveles con joist en una dirección y marcos rígidos.

Los resultados del análisis sísmico estático se muestran en la Figura 32. La Tabla 19 contiene las fuerzas dinámicas escaladas al 90% del cortante en la base obtenida del análisis sísmico estático. De esta forma se tomaron los cortantes obtenidos del análisis dinámico, se escalaron y luego se aplicaron al centro de masas de cada nivel, de ahí, este se distribuyó a todos los nudos declarados del diafragma en función de su rigidez.



Rw =	8
Tx =	0.809 s
Ty =	0.809 s
W =	3,895,000.66 kgf
ρ =	0.90
V _X ESTÁTICO =	210,208.28 kgf
V _Y ESTÁTICO =	210,208.28 kgf

Figura 32. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo JOIST, 5 niveles.

Tabla 19. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo JOIST, 5 niveles.

Fuerzas del análisis dinámico en sentido x-x					Sismo escalado (1.99)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N5	40,811.06	935.14	40,811.06	935.14	81,051.14	1,857.20
N4	59,517.61	1,524.32	18,706.55	589.18	37,151.38	1,170.12
N3	71,640.17	1,890.80	12,122.56	366.48	24,075.52	727.83
N2	84,344.47	2,241.69	12,704.30	350.89	25,230.86	696.87
N1	95,260.11	2,448.55	10,915.64	206.86	21,678.56	410.83
Fuerzas del análisis dinámico en sentido y-y					Sismo escalado (2.38)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N5	931.57	36,627.68	931.57	36,627.68	2,212.59	86,995.03
N4	1,520.23	49,909.65	588.66	13,281.97	1,398.14	31,546.23
N3	1,892.24	58,632.89	372.01	8,723.24	883.57	20,718.72
N2	2,246.01	69,159.38	353.77	10,526.49	840.25	25,001.65
N1	2,448.55	79,653.95	202.54	10,494.57	481.06	24,925.83

Las irregularidades torsionales se presentan nuevamente en la dirección del sismo en Y, esto es debido a la relación de aspecto del edificio la cual propicia que la diferencia entre el desplazamiento máximo en un extremo del edificio sea mayor a 1.2 veces el promedio de los desplazamientos en los extremos opuestos a este (Tabla 20). Los desplazamientos relativos cumplen (Figura 33).

La tendencia en el comportamiento diafragmático flexible es ascendente hacia el último nivel, similar a los resultados obtenidos en el edificio anterior de 3 niveles (Tabla 21). El control de deflexiones se cumple para los límites de $L/360$ en los claros centrales para la deformación por carga viva, con desplazamientos en servicio similares a la versión de 3 niveles, con una leve tendencia ascendente a medida se aumenta de nivel debido al acortamiento elástico de las columnas por la acción de su peso propio (Tabla 22).

Tabla 20. Irregularidad torsional. Modelo JOIST, 5 niveles

Entrepiso	Carga	Dir	Máximo	Promedio	Rel.	Ax
N5	EQXEP	X	0.02471	0.023918	1.033	1.00
N4	EQXEP	X	0.021285	0.020622	1.032	1.00
N3	EQXEP	X	0.016321	0.015825	1.031	1.00
N2	EQXEP	X	0.01029	0.009975	1.032	1.00
N1	EQXEP	X	0.003942	0.00381	1.035	1.00
N5	EQXEN	X	0.024497	0.023875	1.026	1.00
N4	EQXEN	X	0.021123	0.020595	1.026	1.00
N3	EQXEN	X	0.016211	0.015807	1.026	1.00
N2	EQXEN	X	0.010214	0.009966	1.025	1.00
N1	EQXEN	X	0.003972	0.003847	1.033	1.00
N5	EQYEP	Y	0.042152	0.033622	1.254	1.09
N4	EQYEP	Y	0.035953	0.028699	1.253	1.09
N3	EQYEP	Y	0.027085	0.021622	1.253	1.09
N2	EQYEP	Y	0.016463	0.013128	1.254	1.09
N1	EQYEP	Y	0.005893	0.004687	1.257	1.10
N5	EQYEN	Y	0.039659	0.033056	1.200	1.00
N4	EQYEN	Y	0.033853	0.028239	1.199	1.00
N3	EQYEN	Y	0.025528	0.021289	1.199	1.00
N2	EQYEN	Y	0.015544	0.012929	1.202	1.00
N1	EQYEN	Y	0.005586	0.004621	1.209	1.02

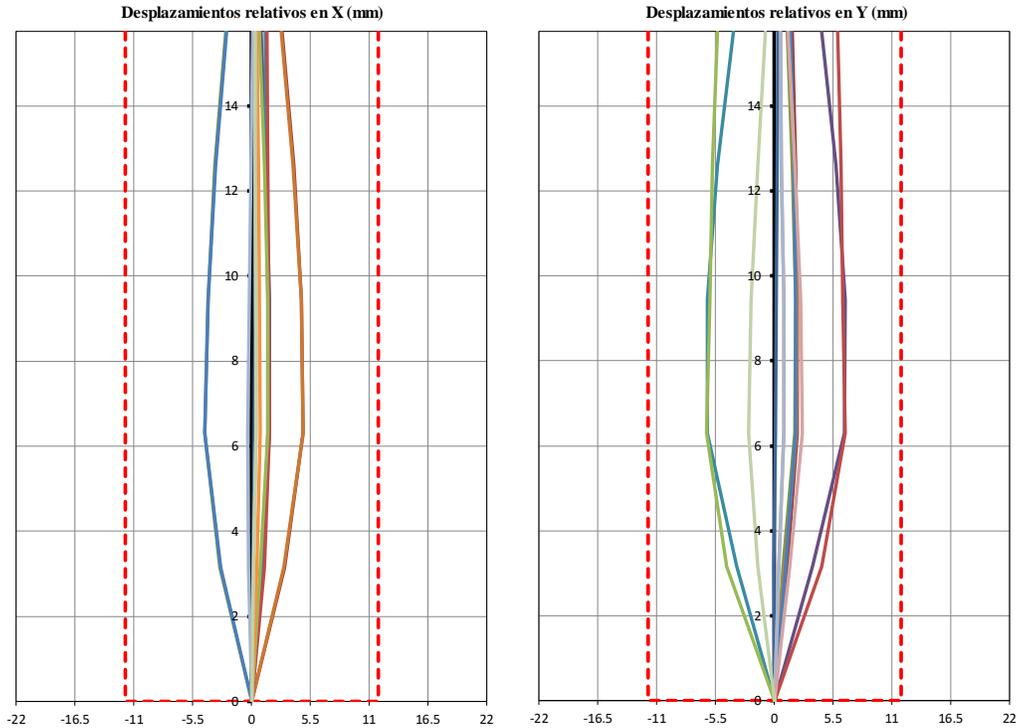


Figura 33. Desplazamientos relativos. Modelo JOIST, 5 niveles.

Tabla 21. Comportamiento diafragmático. Modelo JOIST, 5 niveles.

Borde	Nivel	Combinación	$\Delta x1$ (m)	$\Delta x2$ (m)	Δxc (m)	Δx relativo (m)	Δx (m)	$\Delta/\delta x$
A	N1	SPEQXEN	0.00330	0.00302	0.00312	0.00107	0.00102	1.04
	N2	SPEQXEN	0.00864	0.00813	0.00821	0.00187	0.00170	1.10
	N3	SPEQXEN	0.01374	0.01291	0.01316	0.00179	0.00162	1.11
	N4	SPEQXEN	0.01799	0.01686	0.01724	0.00154	0.00136	1.13
	N5	SPEQXEN	0.02130	0.01990	0.02048	0.00119	0.00107	1.11
I	N1	SPEQXEN	0.00281	0.00298	0.00307	0.00120	0.00102	1.18
	N2	SPEQXEN	0.00777	0.00816	0.00815	0.00188	0.00170	1.11
	N3	SPEQXEN	0.01261	0.01322	0.01310	0.00180	0.00162	1.11
	N4	SPEQXEN	0.01672	0.01741	0.01726	0.00156	0.00136	1.14
	N5	SPEQXEN	0.01955	0.02011	0.01999	0.00123	0.00107	1.15
Borde	Nivel	Combinación	$\Delta y1$ (m)	$\Delta y2$ (m)	Δyc (m)	Δy relativo (m)	Δy (m)	$\Delta/\delta y$
1	N1	SNEQYEN	0.00441	0.00249	0.00387	0.00185	0.00143	1.29
	N2	SNEQYEN	0.01266	0.00667	0.01054	0.00349	0.00263	1.33
	N3	SNEQYEN	0.02120	0.01084	0.01715	0.00384	0.00271	1.42
	N4	SNEQYEN	0.02847	0.01428	0.02323	0.00417	0.00232	1.80
	N5	SNEQYEN	0.03375	0.01653	0.02843	0.00500	0.00171	2.92
3	N1	SNEQYEN	0.00446	0.00248	0.00414	0.00210	0.00143	1.47
	N2	SNEQYEN	0.01273	0.00668	0.01081	0.00373	0.00263	1.42
	N3	SNEQYEN	0.02126	0.01085	0.01742	0.00408	0.00271	1.51
	N4	SNEQYEN	0.02853	0.01427	0.02347	0.00438	0.00232	1.89
	N5	SNEQYEN	0.03383	0.01657	0.02853	0.00504	0.00171	2.95

Tabla 22. Desplazamiento máximo vertical. Modelo JOIST, 5 niveles.

Nivel	$\delta z(m)$ Servicio	$\delta z(m)$ DL	$\delta z(m)$ LL
N1	0.02475	0.01912	0.00563
N2	0.02551	0.01856	0.00694
N3	0.02617	0.01834	0.00783
N4	0.02647	0.01785	0.00862
N5	0.02723	0.01728	0.00996

La relación demanda/capacidad de la Tabla 23 nos muestran una diferencia de 20% entre las secciones extremas. La Tabla 24 resume la volumetría y pesos de los materiales requeridos para este edificio.

Tabla 23. Relación D/C. Modelo JOIST, 5 niveles.

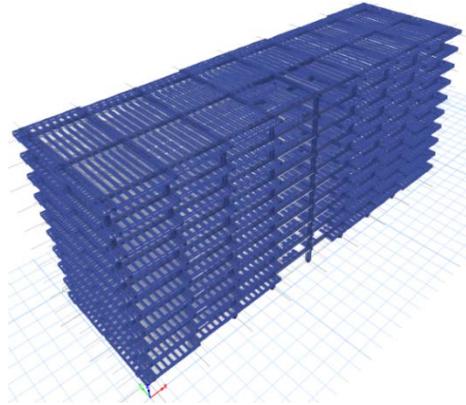
Eje	Sección	D/C
2A	COL50X50-12X10	0.711
2E	COL50X50-12X10	0.85
2I	COL50X50-12X10	0.858

Tabla 24. Relación peso / volumen. Modelo JOIST, 5 niveles.

Sección	Longitud Total (m)	Peso Total (kgf)		
V40X60	83.00	46,360.91		
V40X40	1,776.80	651,282.37		
V50X70	84.00	68,450.58		
	$\Sigma =$	766,093.86		
LL3X3X3/8	5.93	122.86		
LL2X2X3/8	212.43	2,887.44		
LL2X2X1/4	16,216.40	152,022.18		
L1X1X1/4	11,559.18	25,557.68		
CAPOYO1	152.25	2,815.84		
CAPOYO2	151.25	6,411.62		
	$\Sigma =$	189,817.62		
Sección	Longitud Total (m)	Vol. de Hormigón (m3)	Peso Total Acero (kgf)	Peso/Volumen
COL50X50-8X8	390.60	97.65	12,455.45	142.28
COL50X50-12X10	34.65	8.66	2,670.27	

Edificio de 10 niveles con joist en una dirección y marcos rígidos.

Los resultados del análisis sísmico estático se expresan en la Figura 34.



Rw =	8
Tx =	1.361 s
Ty =	1.361 s
W =	7,927,001.54 kgf
ρ =	0.90
V _x ESTÁTICO =	302,507.56 kgf
V _y ESTÁTICO =	302,507.56 kgf

Figura 34. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo JOIST, 10 niveles.

Tabla 25. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo JOIST, 10 niveles.

Fuerzas del análisis dinámico en sentido x-x					Sismo escalado (2.74)	
Piso	V _x (kgf)	V _y (kgf)	F _x (kgf)	F _y (kgf)	F _x (kgf)	F _y (kgf)
N10	29,647.73	214.90	29,647.73	214.90	81,227.31	588.77
N9	45,259.62	316.54	15,611.89	101.64	42,772.65	278.47
N8	53,676.56	362.88	8,416.94	46.34	23,060.30	126.96
N7	62,085.74	399.39	8,409.18	36.51	23,039.04	100.03
N6	69,126.75	412.54	7,041.01	13.15	19,290.59	36.03
N5	75,944.83	438.44	6,818.08	25.90	18,679.82	70.96
N4	81,415.57	474.27	5,470.74	35.83	14,988.45	98.17
N3	87,211.45	517.74	5,795.88	43.47	15,879.25	119.10
N2	95,125.74	577.69	7,914.29	59.95	21,683.16	164.25
N1	99,372.93	609.10	4,247.19	31.41	11,636.23	86.06
Fuerzas del análisis dinámico en sentido y-y					Sismo escalado (2.81)	
Piso	V _x (kgf)	V _y (kgf)	F _x (kgf)	F _y (kgf)	F _x (kgf)	F _y (kgf)
N10	212.50	29,142.50	212.50	29,142.50	596.98	81,870.68
N9	315.87	44,070.85	103.37	14,928.35	290.40	41,938.55
N8	362.92	52,283.79	47.05	8,212.94	132.18	23,072.80
N7	399.39	60,520.68	36.47	8,236.89	102.46	23,140.08
N6	411.85	67,284.60	12.46	6,763.92	35.00	19,002.03
N5	436.83	73,969.58	24.98	6,684.98	70.18	18,780.26
N4	472.96	79,286.63	36.13	5,317.05	101.50	14,937.31
N3	516.02	84,970.87	43.06	5,684.24	120.97	15,968.86
N2	576.37	92,771.98	60.35	7,801.11	169.54	21,915.83
N1	609.09	96,911.91	32.72	4,139.93	91.92	11,630.40

Se observa un incremento en el período de la estructura congruente con el aumento de la altura y debido a la regularidad de la distribución de masas en la estructura, la distribución de cortantes es uniforme (Tabla 25). La irregularidad torsional se observó reducida en comparación con los edificios de 5 y 3 niveles respectivos, esto debería representar un comportamiento de

diafragma rígido o semi rígido (Tabla 26). Los desplazamientos relativos se cumplen (Figura 35).

El comportamiento de diafragma tiende a ser flexible y se hace más evidente en los niveles superiores para los desplazamientos en Y (Tabla 27).

Tabla 26. Irregularidad torsional. Modelo JOIST, 10 niveles.

Entrepiso	Carga	Dir	Máximo	Promedio	Rel.	Ax
N10	EQXEP	X	0.071908	0.070591	1.019	1.00
N9	EQXEP	X	0.068073	0.066853	1.018	1.00
N8	EQXEP	X	0.062512	0.061417	1.018	1.00
N7	EQXEP	X	0.055683	0.054705	1.018	1.00
N6	EQXEP	X	0.047795	0.046954	1.018	1.00
N5	EQXEP	X	0.039069	0.038383	1.018	1.00
N4	EQXEP	X	0.029847	0.029316	1.018	1.00
N3	EQXEP	X	0.020518	0.020121	1.02	1.00
N2	EQXEP	X	0.011278	0.011053	1.02	1.00
N1	EQXEP	X	0.00371	0.003531	1.051	1.00
N10	EQXEN	X	0.071908	0.070591	1.019	1.00
N9	EQXEN	X	0.068073	0.066853	1.018	1.00
N8	EQXEN	X	0.062512	0.061417	1.018	1.00
N7	EQXEN	X	0.055683	0.054705	1.018	1.00
N6	EQXEN	X	0.047795	0.046954	1.018	1.00
N5	EQXEN	X	0.039069	0.038383	1.018	1.00
N4	EQXEN	X	0.029847	0.029316	1.018	1.00
N3	EQXEN	X	0.020518	0.020121	1.02	1.00
N2	EQXEN	X	0.011278	0.011053	1.02	1.00
N1	EQXEN	X	0.00371	0.003531	1.051	1.00
N10	EQYEP	Y	0.084653	0.073235	1.156	1.00
N9	EQYEP	Y	0.08036	0.069577	1.155	1.00
N8	EQYEP	Y	0.073744	0.063945	1.153	1.00
N7	EQYEP	Y	0.065365	0.0568	1.151	1.00
N6	EQYEP	Y	0.055678	0.048505	1.148	1.00
N5	EQYEP	Y	0.04574	0.039671	1.153	1.00
N4	EQYEP	Y	0.034973	0.030112	1.161	1.00
N3	EQYEP	Y	0.023714	0.020483	1.158	1.00
N2	EQYEP	Y	0.01327	0.011315	1.173	1.00
N1	EQYEP	Y	0.004578	0.003796	1.206	1.01
N10	EQYEN	Y	0.084653	0.073235	1.156	1.00
N9	EQYEN	Y	0.08036	0.069577	1.155	1.00
N8	EQYEN	Y	0.073744	0.063945	1.153	1.00
N7	EQYEN	Y	0.065365	0.0568	1.151	1.00
N6	EQYEN	Y	0.055678	0.048505	1.148	1.00
N5	EQYEN	Y	0.04574	0.039671	1.153	1.00
N4	EQYEN	Y	0.034973	0.030112	1.161	1.00
N3	EQYEN	Y	0.023714	0.020483	1.158	1.00
N2	EQYEN	Y	0.01327	0.011315	1.173	1.00
N1	EQYEN	Y	0.004578	0.003796	1.206	1.01

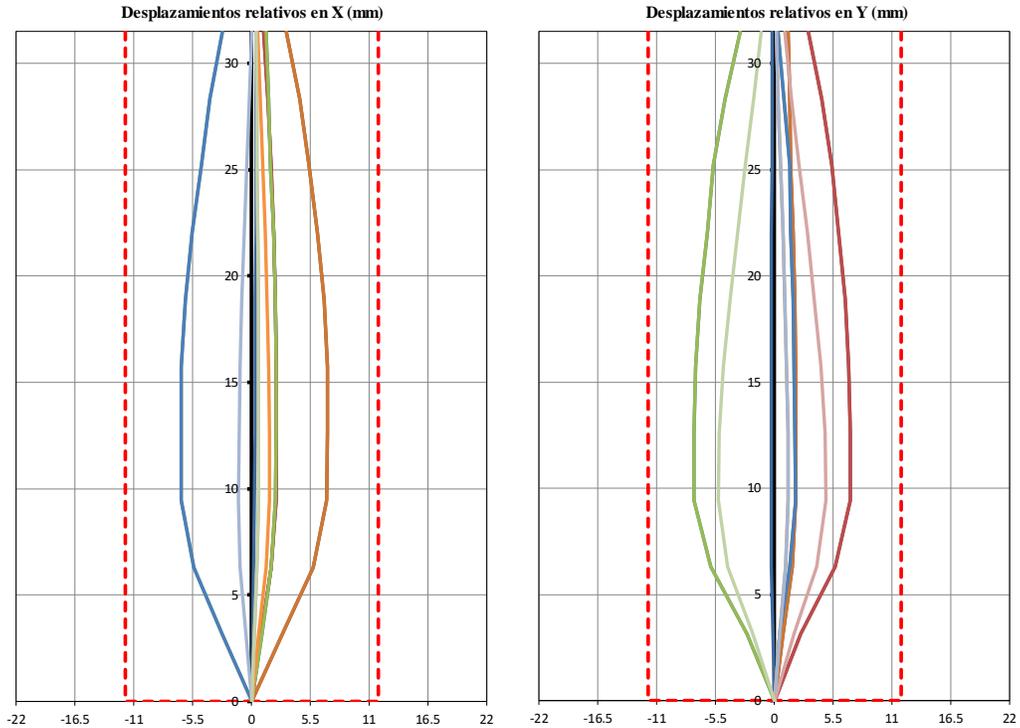


Figura 35. Desplazamientos relativos. Modelo JOIST, 10 niveles.

Tabla 27. Comportamiento diafragmático. Modelo JOIST, 10 niveles.

Borde	Nivel	Combinación	Δx_1 (m)	Δx_2 (m)	Δx_c (m)	Δx relativo (m)	Δx (m)	$\Delta/\delta x$
A	N1	SNEQXEP	0.00223	0.00241	0.00255	0.00109	0.00086	1.26447
	N2	SPEQXEP	0.00872	0.00878	0.00852	0.00212	0.00188	1.12467
	N3	SPEQXEP	0.01576	0.01581	0.01556	0.00247	0.00225	1.10089
	N4	SPEQXEP	0.02293	0.02294	0.02272	0.00250	0.00229	1.09218
	N5	SPEQXEP	0.02997	0.03003	0.02979	0.00246	0.00226	1.09220
	N6	SPEQXEP	0.03667	0.03676	0.03651	0.00236	0.00215	1.09605
	N7	SPEQXEP	0.04278	0.04288	0.04263	0.00216	0.00195	1.10542
	N8	SPEQXEP	0.04815	0.04820	0.04797	0.00191	0.00171	1.11827
	N9	SPEQXEP	0.05253	0.05250	0.05230	0.00164	0.00143	1.14961
	N10	SPEQXEP	0.05595	0.05577	0.05571	0.00124	0.00109	1.13996
I	N1	SNEQXEP	0.00256	0.00286	0.00251	0.00106	0.00086	1.22454
	N2	SPEQXEP	0.00833	0.00834	0.00847	0.00202	0.00188	1.07283
	N3	SPEQXEP	0.01526	0.01537	0.01550	0.00243	0.00225	1.08263
	N4	SPEQXEP	0.02245	0.02258	0.02268	0.00246	0.00229	1.07318
	N5	SPEQXEP	0.02947	0.02968	0.02976	0.00244	0.00226	1.08223
	N6	SPEQXEP	0.03612	0.03643	0.03644	0.00231	0.00215	1.07535
	N7	SPEQXEP	0.04224	0.04257	0.04259	0.00214	0.00195	1.09698
	N8	SPEQXEP	0.04756	0.04795	0.04793	0.00189	0.00171	1.10568
	N9	SPEQXEP	0.05188	0.05243	0.05235	0.00162	0.00143	1.13700
	N10	SPEQXEP	0.05468	0.05544	0.05522	0.00125	0.00109	1.15009

Borde	Nivel	Combinación	$\Delta y_1(m)$	$\Delta y_2(m)$	$\Delta y_c(m)$	Δy relativo (m)	$\Delta y(m)$	$\Delta/\delta y$
1	N1	SNEQYEP	0.00279	0.00363	0.00307	0.00126	0.00113	1.11862
	N2	SNEQYEP	0.00716	0.01031	0.00881	0.00222	0.00215	1.03490
	N3	SNEQYEP	0.01317	0.01844	0.01622	0.00300	0.00259	1.15893
	N4	SNEQYEP	0.01933	0.02722	0.02376	0.00327	0.00279	1.17462
	N5	SNEQYEP	0.02564	0.03560	0.03116	0.00320	0.00266	1.20331
	N6	SNEQYEP	0.03153	0.04334	0.03816	0.00318	0.00246	1.29207
	N7	SNEQYEP	0.03680	0.05091	0.04456	0.00311	0.00240	1.29392
	N8	SNEQYEP	0.04133	0.05747	0.05030	0.00298	0.00208	1.43111
	N9	SNEQYEP	0.04493	0.06269	0.05537	0.00325	0.00169	1.92570
	N10	SNEQYEP	0.04732	0.06611	0.05938	0.00409	0.00142	2.88603
3	N1	SNEQYEP	0.00279	0.00363	0.00307	0.00126	0.00113	1.11862
	N2	SNEQYEP	0.00715	0.01031	0.00912	0.00254	0.00215	1.18148
	N3	SNEQYEP	0.01315	0.01843	0.01653	0.00333	0.00259	1.28577
	N4	SNEQYEP	0.01927	0.02721	0.02407	0.00362	0.00279	1.29953
	N5	SNEQYEP	0.02562	0.03558	0.03147	0.00353	0.00266	1.32582
	N6	SNEQYEP	0.03152	0.04334	0.03846	0.00349	0.00246	1.41829
	N7	SNEQYEP	0.03679	0.05089	0.04486	0.00342	0.00240	1.42256
	N8	SNEQYEP	0.04133	0.05745	0.05058	0.00327	0.00208	1.57177
	N9	SNEQYEP	0.04491	0.06267	0.05563	0.00353	0.00169	2.09147
	N10	SNEQYEP	0.04734	0.06613	0.05958	0.00426	0.00142	3.00847

Cabe notar que la diferencia entre el borde 1 y 3 oscila alrededor del 10%, esto nos indica que existen desplazamientos diferenciales entre las columnas lo que confirma el comportamiento flexible del diafragma y es congruente con lo observado en las torsiones (Tabla 26). Se observó el mismo comportamiento ascendente para los desplazamientos (Tabla 28).

Tabla 28. Desplazamiento máximo vertical. Modelo JOIST, 10 niveles.

NIVEL	$\delta z(m)$ Servicio	$\delta z(m)$ DL	$\delta z(m)$ LL
N1	0.02474	0.01729	0.00745
N2	0.02603	0.01825	0.00778
N3	0.02741	0.01928	0.00813
N4	0.02868	0.02023	0.00845
N5	0.02986	0.02111	0.00875
N6	0.03087	0.02186	0.00901
N7	0.03176	0.02252	0.00924
N8	0.03240	0.02300	0.00940
N9	0.03271	0.02323	0.00948
N10	0.03347	0.02378	0.00969

Las columnas, ahora más solicitadas, demandan una sección de 70x70 con relaciones D/C cercanas a la unidad (Tabla 29), nótese la diferencia de demanda respecto a la columna sobre el

eje A y la columna sobre el eje I, esto debido a que el edificio está rotando, este efecto se aprecia mejor al comparar los desplazamientos del 10 nivel de la tabla 27 en la dirección Y, 0.04734m en el extremo 1 y 0.06613m en el extremo opuesto.

En la Tabla 30 se observó un aumento progresivo en la relación Peso del refuerzo / Volumen de hormigón siempre dentro del rango recomendable entre 100 – 600 kgf/m³ (Suarez, 2002, p. 104).

Tabla 29. Relación D/C. Modelo JOIST, 10 niveles.

Eje	Sección	D/C
2A	COL70X70-20X8	0.722
2E	COL70X70-20X8	0.951
2I	COL70X70-28X8	0.931

Tabla 30. Relación Peso / Volumen. Modelo JOIST, 10 niveles.

Sección	Longitud Total (m)	Peso Total (kgf)		
V40X70	332.00	215,745.47		
V40X40	3,387.60	1,237,886.27		
V50X70	168.00	136,354.56		
	Σ =	1,589,986.30		
LL3X3X3/8	4.00	85.28		
LL2X2X3/8	417.00	5,669.97		
LL2X2X1/4	25,725.32	240,490.31		
L1X1X1/4	4,748.00	10,498.02		
CAPOYO1	304.50	5,631.69		
CAPOYO2	302.50	12,823.23		
	Σ =	275,198.50		
Sección	Longitud Total (m)	Vol. de Hormigón (m3)	Peso Total Acero (kgf)	Peso/Volumen
COL70X70-20X8	53.55	26.24	4,269.01	190.20
COL70X70-28X8	3.15	1.54	351.57	
COL50X50-8X8	466.20	116.55	14,866.19	
COL50X50-12X10	141.75	35.44	10,923.82	
COL50X50-12X11	47.25	11.81	4,495.74	
COL60X60-12X10	119.70	43.09	9,224.56	
COL60X60-12X11	18.90	6.80	1,798.30	

Resultados del análisis estructural edificación con sistema de Estructura espacial mixta generalizada (EEMG) y marcos rígidos.

La configuración EEMG se muestra en la Figura 36, las retículas se encuentran espaciadas 1.10m en ambos sentidos similar a la configuración de joist, El peralte es de 0.40m, en los voladizos las cuerdas inferiores se empotraron en las vigas adyacentes y dándole continuidad a las cuerdas superiores.

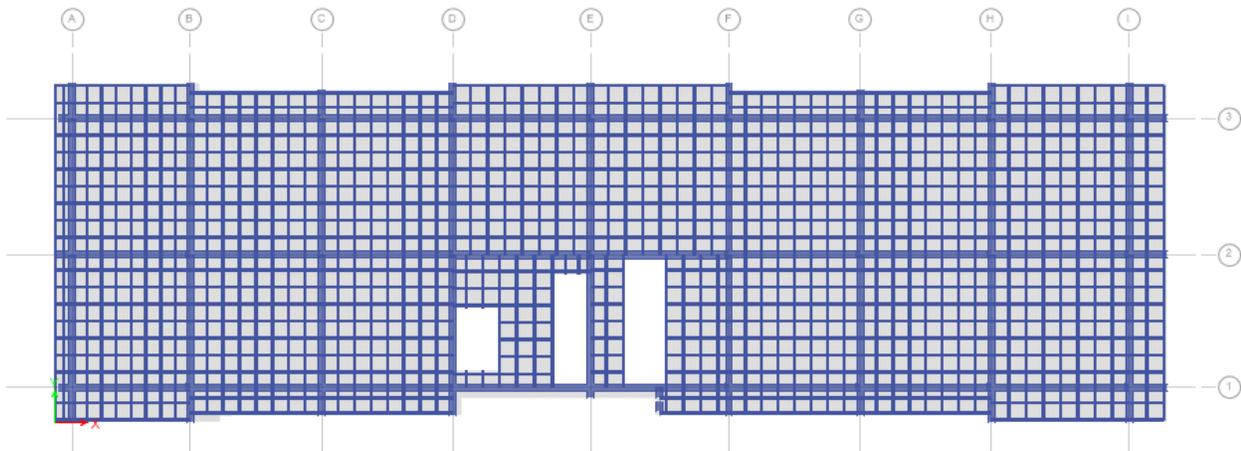
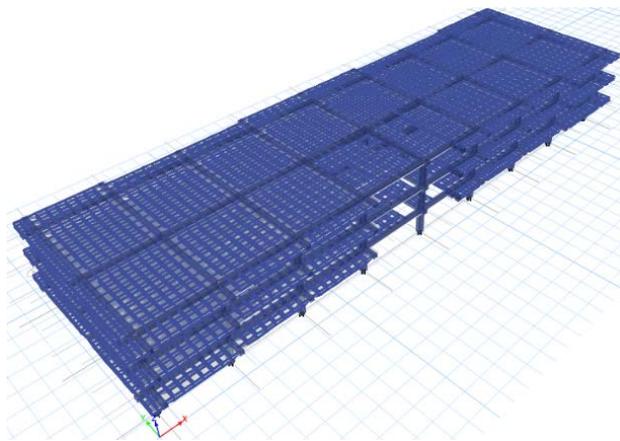


Figura 36. Configuración de EEMG en dos direcciones.

Edificio de 3 niveles con EEMG y marcos rígidos.

Los resultados del análisis sísmico estático se muestran en la Figura 37.



Rw =	8
Tx =	0.55 s
Ty =	0.55 s
W =	2,642,103.81 kgf
ρ =	0.90
V _x ESTÁTICO =	184,084.21 kgf
V _y ESTÁTICO =	184,084.21 kgf

Figura 37. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo EEMG, 3 niveles.

Tabla 31. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMG, 3 niveles.

Fuerzas del análisis dinámico en sentido x-x					Sismo escalado (1.36)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N3	61,885.75	628.96	61,885.75	628.96	84,072.80	854.45
N2	100,199.74	973.00	38,313.99	344.04	52,050.18	467.38
N1	121,953.48	1,177.46	21,753.74	204.46	29,552.81	277.76
Fuerzas del análisis dinámico en sentido y-y					Sismo escalado (1.57)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N3	622.52	55,721.23	622.52	55,721.23	978.44	87,578.92
N2	960.57	86,578.94	338.05	30,857.71	531.32	48,500.09
N1	1,177.46	105,409.60	216.89	18,830.66	340.89	29,596.78

Se presentaron irregularidades para las cargas de sismo en Y, donde la relación del desplazamiento máximo / promedio (Rel.) supera el límite de 1.2 (Tabla 32). Se observó que los desplazamientos relativos (Figura 38) son cumplidos para todas las combinaciones de servicio en toda la elevación total.

Tabla 32. Irregularidad torsional. Modelo EEMG, 3 niveles

Entrepiso	Carga	Dir	Máximo	Promedio	Rel.	Ax
N3	EQXEP	X	0.008394	0.008099	1.036	1.00
N2	EQXEP	X	0.006119	0.005922	1.033	1.00
N1	EQXEP	X	0.002757	0.00265	1.04	1.00
N3	EQXEN	X	0.008507	0.008204	1.037	1.00
N2	EQXEN	X	0.006193	0.005994	1.033	1.00
N1	EQXEN	X	0.00279	0.002688	1.038	1.00
N3	EQYEP	Y	0.012794	0.010187	1.256	1.10
N2	EQYEP	Y	0.008791	0.007088	1.24	1.07
N1	EQYEP	Y	0.0038	0.00303	1.254	1.09
N3	EQYEN	Y	0.012601	0.010202	1.235	1.06
N2	EQYEN	Y	0.008687	0.007125	1.219	1.03
N1	EQYEN	Y	0.003734	0.003042	1.228	1.05

El comportamiento del diafragma (Tabla 33) presenta una mejora en cuanto a su flexibilidad, con valores máximos en Y de 2.128 para el índice δ/Δ , definiendo un diafragma flexible en el último nivel. La mejoría también es perceptible en los desplazamientos verticales, con un máximo de 1.655cm en el nivel 3 (Tabla 34).

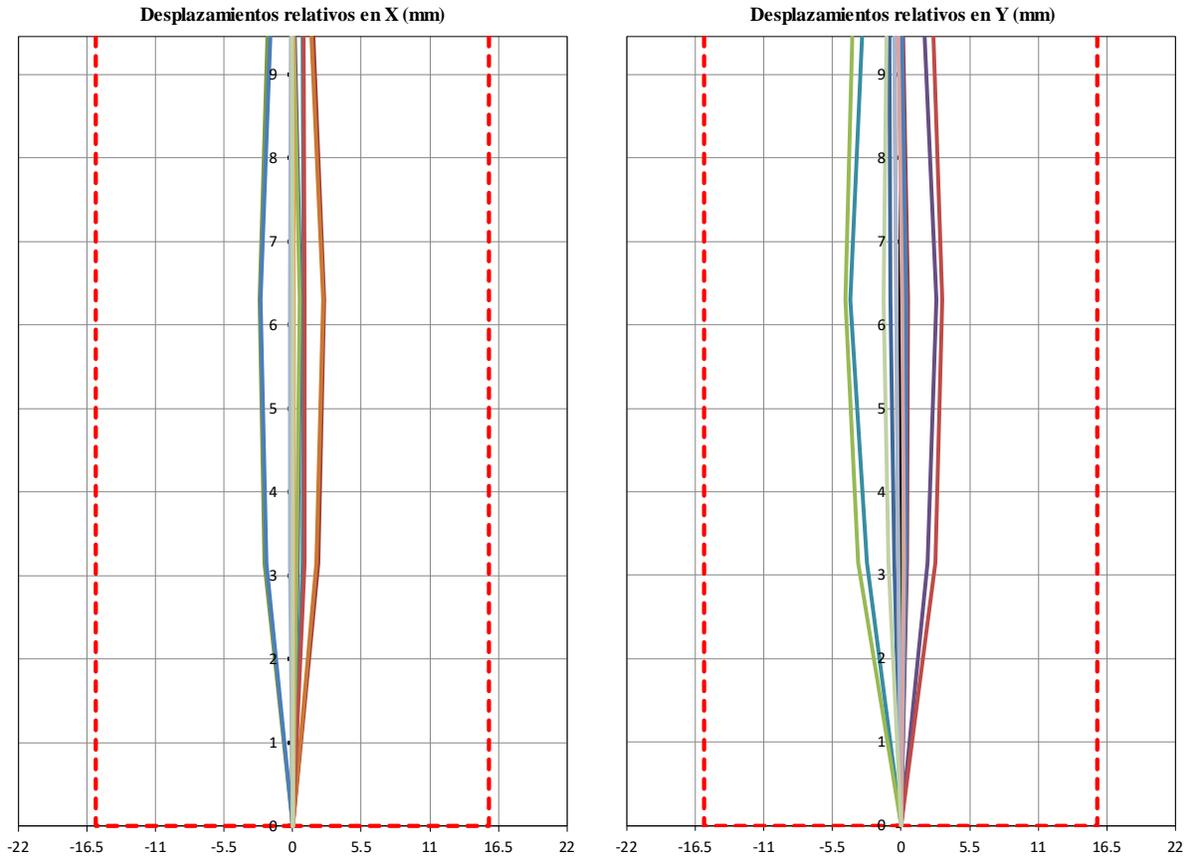


Figura 38. Desplazamientos relativos. Modelo EEMG, 3 niveles.

Tabla 33. Comportamiento diafragmático. Modelo EEMG, 3 niveles.

Borde	Nivel	Combinación	Δx_1 (m)	Δx_2 (m)	Δx_c (m)	Δx relativo (m)	Δx (m)	$\Delta/\delta x$
A	N1	SPEQXEN	0.00255	0.00241	0.00244	0.00083	0.00079	1.04918
	N2	SPEQXEN	0.00612	0.00559	0.00582	0.00117	0.00114	1.03172
	N3	SPEQXEN	0.00897	0.00803	0.00848	0.00093	0.00091	1.02704
I	N1	SPEQXEN	0.00203	0.00181	0.00193	0.00080	0.00079	1.01009
	N2	SPEQXEN	0.00542	0.00495	0.00520	0.00115	0.00114	1.00969
	N3	SPEQXEN	0.00797	0.00741	0.00771	0.00092	0.00091	1.02042
Borde	Nivel	Combinación	Δy_1 (m)	Δy_2 (m)	Δy_c (m)	Δy relativo (m)	Δy (m)	$\Delta/\delta y$
1	N1	SPEQYEP	0.00204	0.00329	0.00294	0.00131	0.00103	1.26647
	N2	SPEQYEP	0.00521	0.00845	0.00759	0.00240	0.00164	1.46431
	N3	SPEQYEP	0.00772	0.01257	0.01176	0.00303	0.00143	2.12807
2	N1	SPEQYEP	0.00192	0.00310	0.00272	0.00124	0.00103	1.19864
	N2	SPEQYEP	0.00509	0.00826	0.00733	0.00230	0.00164	1.40299
	N3	SPEQYEP	0.00757	0.01235	0.01139	0.00286	0.00143	2.00667

Tabla 34. Desplazamiento máximo vertical. Modelo EEMG, 3 niveles.

Nivel	$\delta z(m)$ Servicio	$\delta z(m)$ DL	$\delta z(m)$ LL
N1	0.01595	0.01134	0.00461
N2	0.01633	0.01163	0.00470
N3	0.01655	0.01180	0.00475

Para la relación demanda capacidad (Tabla 35), se mantienen las mismas secciones de columnas que en la opción de joist para el mismo edificio con relaciones demanda capacidad más uniforme entre la columna 2I de D/C a 0.743 y a 0.70 en la columna 2A. Por otra parte, el peso en vigas y acero de la retícula es mayor a la opción de joist, incurriendo en mayores costes y mayores fuerzas inerciales para la estructura (Tabla 36).

Tabla 35. Relación D/C. Modelo EEMG, 3 niveles.

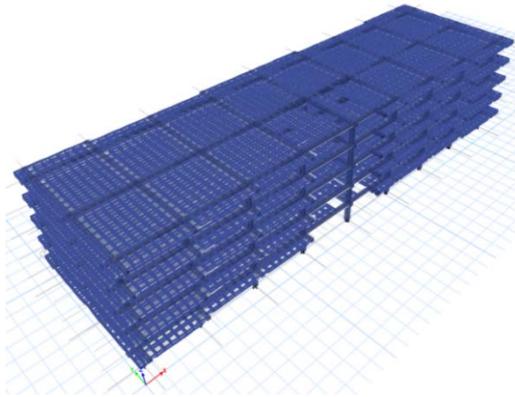
Eje	Sección	D/C
2A	COL50X50-8X8	0.700
2E	COL50X50-8X8	0.857
2I	COL50X50-8X8	0.743

Tabla 36. Relación Peso / Volumen. Modelo EEMG, 3 niveles.

Sección	Longitud Total (m)	Peso Total (kgf)		
V40X40	1,115.88	408,817.43	VIGAS	
V50X70	50.40	41,070.35		
	$\Sigma =$	449,887.78		
LL2X2X3/8	18.75	255.01	RETÍCULA	
LL2X2X1/4	15,429.66	144,968.49		
L1X1X1/4	4,837.33	10,695.52		
BARRA 1/2"	662.86	653.54		
CAPOYO1	143.76	2,715.15		
	$\Sigma =$	159,287.71		
Sección	Longitud Total (m)	Vol. de Hormigón (m3)	Peso Total Acero (kgf)	Peso/Volumen
COL50X50-8X8	255.15	63.79	8,136.22	127.55

Edificio de 5 niveles con EEMG y Marcos rígidos.

Los resultados del análisis sísmico estático se muestran en la Figura 39.



Rw =	8
Tx =	0.809 s
Ty =	0.809 s
W =	4,445,665.07 kgf
ρ =	0.90
Vx ESTÁTICO =	239,926.95 kgf
Vy ESTÁTICO =	239,926.95 kgf

Figura 39. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo EEMG, 5 niveles.

Tabla 37. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMG, 5 niveles.

Fuerzas del análisis dinámico en sentido x-x					Sismo escalado (1.71)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N5	48,889.30	565.64	48,889.30	565.64	83,535.86	966.49
N4	77,297.20	832.26	28,407.90	266.62	48,539.83	455.57
N3	96,622.02	1,009.84	19,324.82	177.58	33,019.81	303.43
N2	113,540.30	1,184.35	16,918.28	174.51	28,907.82	298.18
N1	126,375.36	1,319.60	12,835.06	135.25	21,930.93	231.10
Fuerzas del análisis dinámico en sentido y-y					Sismo escalado (1.97)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N5	568.41	46,471.91	568.41	46,471.91	1,117.39	91,354.99
N4	831.00	68,658.91	262.59	22,187.00	516.20	43,615.45
N3	998.83	82,589.66	167.83	13,930.75	329.92	27,385.22
N2	1,172.50	97,291.90	173.67	14,702.24	341.40	28,901.83
N1	1,319.60	109,844.87	147.10	12,552.97	289.17	24,676.77

Las irregularidades torsionales se presentan nuevamente en la dirección del sismo en Y para la excentricidad positiva, esto puede ser resultado de la leve asimetría que se presenta en planta en los ejes H-I con un claro y voladizos un poco mayores respecto a los ejes A-B y su voladizo menor (Tabla 38). El diafragma se comporta como semi rígido en todas sus elevaciones (Tabla 39). Los desplazamientos relativos cumplen (Figura 40).

Tabla 38. Irregularidad torsional. Modelo EEMG, 5 niveles.

Entrepiso	Carga	Dir	Máximo	Promedio	Rel.	Ax
N5	EQXEP	X	0.018187	0.017641	1.031	1.00
N4	EQXEP	X	0.01598	0.015516	1.03	1.00
N3	EQXEP	X	0.01253	0.012168	1.03	1.00
N2	EQXEP	X	0.008182	0.007942	1.03	1.00
N1	EQXEP	X	0.003425	0.003317	1.033	1.00
N5	EQXEN	X	0.018097	0.017677	1.024	1.00
N4	EQXEN	X	0.015817	0.0155	1.02	1.00
N3	EQXEN	X	0.0124	0.012155	1.02	1.00
N2	EQXEN	X	0.008095	0.007934	1.02	1.00
N1	EQXEN	X	0.003425	0.003338	1.026	1.00
N5	EQYEP	Y	0.02863	0.023204	1.234	1.06
N4	EQYEP	Y	0.024917	0.020177	1.235	1.06
N3	EQYEP	Y	0.019239	0.015536	1.238	1.06
N2	EQYEP	Y	0.012263	0.009835	1.247	1.08
N1	EQYEP	Y	0.004918	0.003901	1.261	1.10
N5	EQYEN	Y	0.026994	0.022943	1.177	1.00
N4	EQYEN	Y	0.023473	0.019957	1.176	1.00
N3	EQYEN	Y	0.018098	0.015367	1.178	1.00
N2	EQYEN	Y	0.011488	0.00972	1.182	1.00
N1	EQYEN	Y	0.004573	0.003847	1.189	1.00

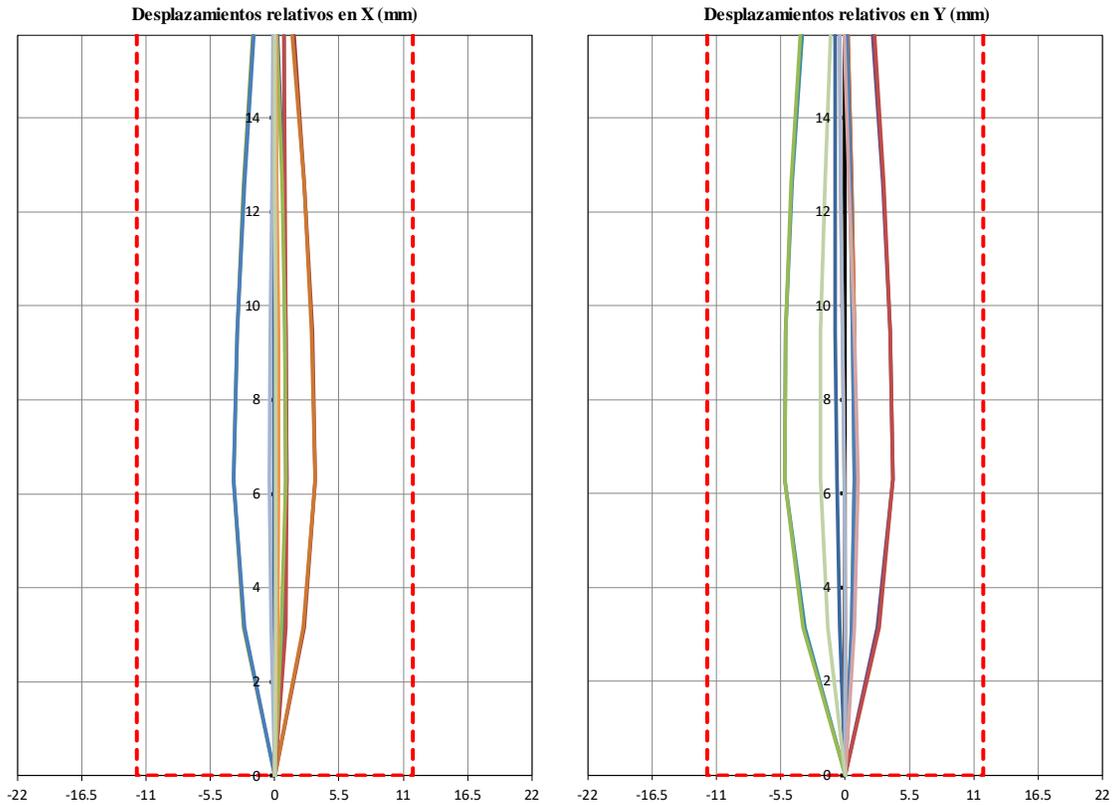


Figura 40. Desplazamientos relativos. Modelo EEMG, 5 niveles.

Tabla 39. Comportamiento diafragmático. Modelo JOIST, 5 niveles.

Borde	Nivel	Combinación	$\Delta x_1(m)$	$\Delta x_2(m)$	$\Delta y_c(m)$	$\Delta x(m)$ relativo	$\Delta x(m)$	$\Delta/\delta x$
A	N1	SPEQXEN	0.00334	0.00314	0.00320	0.00108	0.00104	1.03931
	N2	SPEQXEN	0.00854	0.00781	0.00814	0.00169	0.00165	1.02180
	N3	SPEQXEN	0.01346	0.01217	0.01279	0.00160	0.00157	1.02138
	N4	SPEQXEN	0.01757	0.01576	0.01664	0.00134	0.00131	1.02221
	N5	SPEQXEN	0.02063	0.01836	0.01948	0.00098	0.00097	1.01337
I	N1	SPEQXEN	0.00285	0.00251	0.00269	0.00105	0.00104	1.00671
	N2	SPEQXEN	0.00793	0.00704	0.00749	0.00166	0.00165	1.00606
	N3	SPEQXEN	0.01286	0.01143	0.01216	0.00158	0.00157	1.00893
	N4	SPEQXEN	0.01691	0.01513	0.01604	0.00132	0.00131	1.01378
	N5	SPEQXEN	0.01962	0.01775	0.01871	0.00100	0.00097	1.02521
Borde	Nivel	Combinación	$\Delta y_1(m)$	$\Delta y_2(m)$	$\Delta y_c(m)$	$\Delta y(m)$ relativo	$\Delta y(m)$	$\Delta/\delta y$
1	N1	SPEQYEP	0.00079	0.00183	0.00123	0.00151	0.00144	1.05177
	N2	SPEQYEP	0.00204	0.00489	0.00334	0.00267	0.00255	1.04722
	N3	SPEQYEP	0.00331	0.00795	0.00548	0.00271	0.00256	1.05716
	N4	SPEQYEP	0.00438	0.01051	0.00741	0.00218	0.00215	1.01536
	N5	SPEQYEP	0.00516	0.01234	0.00907	0.00198	0.00166	1.19807
3	N1	SPEQYEP	0.00068	0.00163	0.00103	0.00156	0.00144	1.08478
	N2	SPEQYEP	0.00193	0.00468	0.00313	0.00272	0.00255	1.06681
	N3	SPEQYEP	0.00319	0.00774	0.00527	0.00276	0.00256	1.07647
	N4	SPEQYEP	0.00427	0.01032	0.00721	0.00224	0.00215	1.04002
	N5	SPEQYEP	0.00500	0.01211	0.00880	0.00190	0.00166	1.14553

El control de deflexiones verticales se cumple (Tabla 40), la relación demanda capacidad muestra una distribución más uniforme de esfuerzos a lo largo del eje 2 (Tabla 41), y existe un leve aumento en la relación Peso/Volumen de las columnas, no así en cuanto al peso de la retícula respecto a la configuración con joist en una dirección (Tabla 42).

Tabla 40. Desplazamiento máximo vertical. Modelo JOIST, 5 niveles.

Nivel	$\delta z(m)$ Servicio	$\delta z(m)$ DL	$\delta z(m)$ LL
N1	0.01633	0.01164	0.00469
N2	0.01709	0.01222	0.00487
N3	0.01765	0.01265	0.00500
N4	0.01803	0.01294	0.00509
N5	0.01824	0.01310	0.00514

Tabla 41. Relación D/C. Modelo JOIST, 5 niveles.

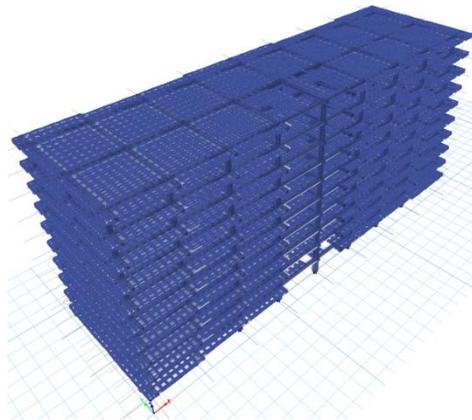
Eje	Sección	D/C
2A	COL50X50-12X10	0.74200
2E	COL50X50-12X10	0.86600
2I	COL50X50-12X10	0.81100

Tabla 42. Relación Peso / Volumen. Modelo JOIST, 5 niveles.

Sección	Longitud Total (m)	Peso Total (kgf)		
V40X60	1,859.80	681,362.39	VIGAS	
V40X40	75.60	61,605.52		
V50X70	8.40	7,822.92		
	$\Sigma =$	750,790.83		
LL2X2X3/8	31.25	425.02	RETÍCULA	
LL2X2X1/4	25,716.10	241,614.14		
L1X1X1/4	8,062.21	17,825.87		
BARRA 1/2"	1,104.77	1,089.24		
CAPOYO1	239.60	4,525.26		
	$\Sigma =$	265,479.53		
Sección	Longitud Total (m)	Vol. de Hormigón (m3)	Peso Total Acero (kgf)	Peso/Volumen
COL50X50-8X8	381.15	95.29	12,154.11	146.29
COL50X50-12X10	44.10	11.03	3,398.52	

Edificio 10 niveles con EEMG y marcos rígidos.

Los resultados del análisis sísmico estático se muestran en la Figura 41



Rw =	8
Tx =	1.361 s
Ty =	1.361 s
W =	9,255,561.92 kgf
$\rho =$	0.90
V _x ESTÁTICO =	353,207.63 kgf
V _y ESTÁTICO =	353,207.63 kgf

Figura 41. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo EEMG, 10 niveles.

La irregularidad torsional (Tabla 44) se mantiene dentro de los límites para X, excediéndose severamente para el sismo en la dirección Y, nos indica una fuerte rotación en el edificio a pesar que el diafragma se comporta como semi rígido. Los desplazamientos relativos se cumplen (Figura 42).

Tabla 43. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMG, 10 niveles.

Fuerzas del análisis dinámico en sentido x-x					Sismo escalado (2.02)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N10	42,413.20	144.53	42,413.20	144.53	85,729.40	292.14
N9	69,189.81	230.79	26,776.61	86.26	54,123.31	174.36
N8	85,233.63	257.23	16,043.82	26.44	32,429.22	53.44
N7	98,236.10	265.26	13,002.47	8.03	26,281.77	16.23
N6	109,037.07	257.64	10,800.97	-7.62	21,831.90	-15.40
N5	119,205.63	267.80	10,168.56	10.16	20,553.61	20.54
N4	128,993.83	287.58	9,788.20	19.78	19,784.80	39.98
N3	139,760.45	332.05	10,766.62	44.47	21,762.47	89.89
N2	151,250.91	388.37	11,490.46	56.32	23,225.56	113.84
N1	157,269.26	411.43	6,018.35	23.06	12,164.83	46.61
Fuerzas del análisis dinámico en sentido y-y					Sismo escalado (2.45)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N10	162.32	38,050.14	162.32	38,050.14	398.25	93,355.76
N9	243.40	58,319.52	81.08	20,269.38	198.93	49,730.79
N8	258.65	69,945.05	15.25	11,625.53	37.42	28,523.16
N7	263.54	80,667.83	4.89	10,722.78	12.00	26,308.27
N6	265.73	90,074.66	2.19	9,406.83	5.37	23,079.59
N5	266.86	98,834.50	1.13	8,759.84	2.77	21,492.21
N4	283.04	105,835.15	16.18	7,000.65	39.70	17,176.05
N3	324.45	114,289.11	41.41	8,453.96	101.60	20,741.73
N2	381.09	124,360.49	56.64	10,071.38	138.97	24,710.06
N1	411.44	129,565.01	30.35	5,204.52	74.46	12,769.25

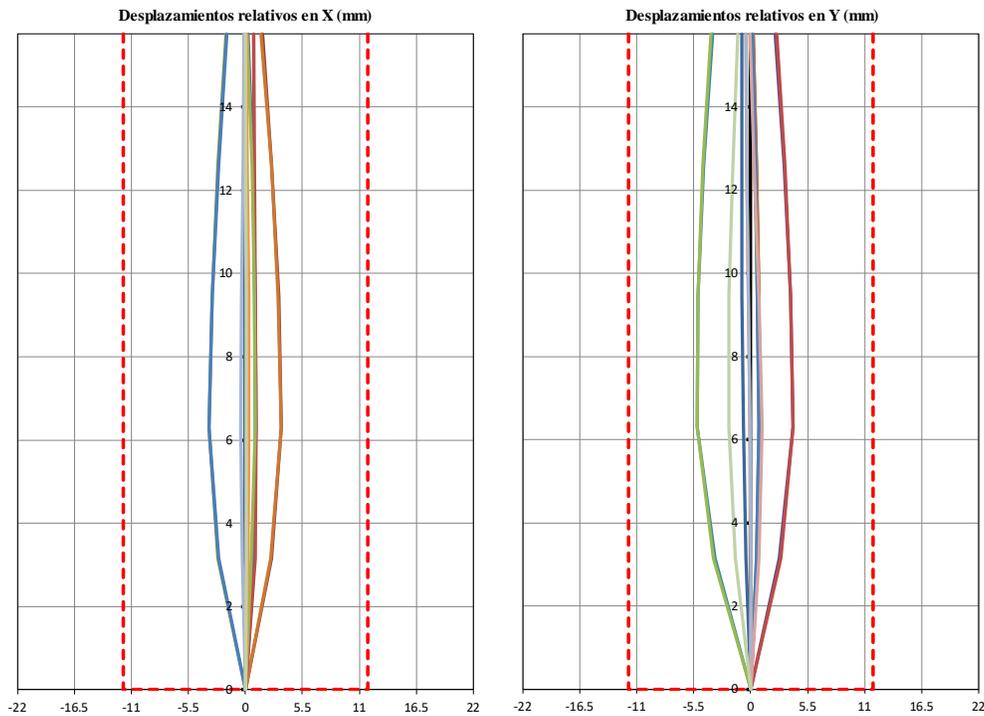


Figura 42. Desplazamientos relativos. Modelo EEMG, 10 niveles.

Tabla 44. Irregularidad torsional. Modelo EEMG, 10 niveles.

Entrepiso	Carga	Dir	Máximo	Promedio	Rel.	Ax
N10	EQXEP	X	0.067315	0.065232	1.032	1.00
N9	EQXEP	X	0.063753	0.061802	1.032	1.00
N8	EQXEP	X	0.058528	0.056754	1.031	1.00
N7	EQXEP	X	0.052088	0.050511	1.031	1.00
N6	EQXEP	X	0.044694	0.043344	1.031	1.00
N5	EQXEP	X	0.036639	0.035536	1.031	1.00
N4	EQXEP	X	0.02826	0.027404	1.031	1.00
N3	EQXEP	X	0.019466	0.018884	1.031	1.00
N2	EQXEP	X	0.010683	0.010361	1.031	1.00
N1	EQXEP	X	0.0036	0.003471	1.037	1.00
N10	EQXEN	X	0.067315	0.065232	1.032	1.00
N9	EQXEN	X	0.063753	0.061802	1.032	1.00
N8	EQXEN	X	0.058528	0.056754	1.031	1.00
N7	EQXEN	X	0.052088	0.050511	1.031	1.00
N6	EQXEN	X	0.044694	0.043344	1.031	1.00
N5	EQXEN	X	0.036639	0.035536	1.031	1.00
N4	EQXEN	X	0.02826	0.027404	1.031	1.00
N3	EQXEN	X	0.019466	0.018884	1.031	1.00
N2	EQXEN	X	0.010683	0.010361	1.031	1.00
N1	EQXEN	X	0.0036	0.003471	1.037	1.00
N10	EQYEP	Y	0.119669	0.090792	1.318	1.21
N9	EQYEP	Y	0.112906	0.085408	1.322	1.21
N8	EQYEP	Y	0.103229	0.077708	1.328	1.22
N7	EQYEP	Y	0.091311	0.068315	1.337	1.24
N6	EQYEP	Y	0.077775	0.057898	1.343	1.25
N5	EQYEP	Y	0.06298	0.046795	1.346	1.26
N4	EQYEP	Y	0.047784	0.035569	1.343	1.25
N3	EQYEP	Y	0.032116	0.024032	1.336	1.24
N2	EQYEP	Y	0.017068	0.01289	1.324	1.22
N1	EQYEP	Y	0.005323	0.004075	1.306	1.18
N10	EQYEN	Y	0.119669	0.090792	1.318	1.21
N9	EQYEN	Y	0.112906	0.085408	1.322	1.21
N8	EQYEN	Y	0.103229	0.077708	1.328	1.22
N7	EQYEN	Y	0.091311	0.068315	1.337	1.24
N6	EQYEN	Y	0.077775	0.057898	1.343	1.25
N5	EQYEN	Y	0.06298	0.046795	1.346	1.26
N4	EQYEN	Y	0.047784	0.035569	1.343	1.25
N3	EQYEN	Y	0.032116	0.024032	1.336	1.24
N2	EQYEN	Y	0.017068	0.01289	1.324	1.22
N1	EQYEN	Y	0.005323	0.004075	1.306	1.18

El comportamiento de semi rígido a rígido (Tabla 45) es congruente con lo observado en las torsiones (Tabla 44). Se cumplen los límites de desplazamientos verticales (Tabla 46) y las relaciones D/C tienen una diferencia del 12%. Se observó un aumento progresivo al aumentar la

cantidad de niveles en la relación Peso del refuerzo / Volumen de hormigón siempre dentro del rango recomendable entre 100 – 600 kgf/m³ (Suarez, 1999, p. 104), lo cual resulta lógico al tener una mayor demanda a flexo compresión de las mismas.

Tabla 45. Comportamiento diafragmático. Modelo EEMG, 10 niveles.

Borde	Nivel	Combinación	Δx_1 (m)	Δx_2 (m)	Δy_c (m)	Δx relativo(m)	Δx (m)	$\Delta/\delta x$
	N1	SPEQXEP	0.00294	0.00296	0.00290	0.00098	0.000923	1.06067
	N2	SPEQXEP	0.00847	0.00840	0.00841	0.00179	0.001757	1.01736
	N3	SPEQXEP	0.01519	0.01496	0.01502	0.00220	0.002154	1.02182
	N4	SPEQXEP	0.02197	0.02154	0.02171	0.00220	0.00216	1.01875
A	N5	SPEQXEP	0.02849	0.02785	0.02812	0.00212	0.002072	1.02124
	N6	SPEQXEP	0.03473	0.03394	0.03430	0.00203	0.001992	1.01657
	N7	SPEQXEP	0.04051	0.03958	0.04001	0.00187	0.001836	1.01879
	N8	SPEQXEP	0.04560	0.04453	0.04503	0.00165	0.001616	1.01949
	N9	SPEQXEP	0.04977	0.04856	0.04914	0.00137	0.001336	1.02208
	N10	SPEQXEP	0.05291	0.05147	0.05217	0.00101	0.000994	1.01761
	N1	SPEQXEP	0.00247	0.00240	0.00240	0.00096	0.000923	1.04117
	N2	SPEQXEP	0.00785	0.00760	0.00774	0.00177	0.001757	1.00711
	N3	SPEQXEP	0.01463	0.01417	0.01440	0.00216	0.002154	1.00255
	N4	SPEQXEP	0.02143	0.02075	0.02110	0.00217	0.00216	1.00255
I	N5	SPEQXEP	0.02794	0.02705	0.02748	0.00208	0.002072	1.00483
	N6	SPEQXEP	0.03421	0.03313	0.03368	0.00200	0.001992	1.00452
	N7	SPEQXEP	0.03998	0.03879	0.03939	0.00184	0.001836	1.00245
	N8	SPEQXEP	0.04501	0.04379	0.04441	0.00162	0.001616	1.00402
	N9	SPEQXEP	0.04911	0.04795	0.04854	0.00135	0.001336	1.00711
	N10	SPEQXEP	0.05184	0.05087	0.05137	0.00101	0.000994	1.01710
Borde	Nivel	Combinación	Δy_1 (m)	Δy_2 (m)	Δy_c (m)	Δy relativo(m)	Δy (m)	$\Delta/\delta y$
	N1	SPEQYEP	0.00229	0.00408	0.00335	0.00148	0.001312	1.12843
	N2	SPEQYEP	0.00688	0.01324	0.01015	0.00295	0.002867	1.03000
	N3	SPEQYEP	0.01251	0.02478	0.01861	0.00370	0.003664	1.00860
	N4	SPEQYEP	0.01830	0.03681	0.02722	0.00415	0.00382	1.08599
1	N5	SPEQYEP	0.02399	0.04851	0.03586	0.00411	0.003715	1.10633
	N6	SPEQYEP	0.02982	0.05992	0.04427	0.00422	0.003622	1.16538
	N7	SPEQYEP	0.03559	0.07038	0.05242	0.00389	0.003323	1.17123
	N8	SPEQYEP	0.04103	0.07963	0.05992	0.00335	0.002937	1.14232
	N9	SPEQYEP	0.04560	0.08718	0.06647	0.00248	0.002399	1.03293
	N10	SPEQYEP	0.04885	0.09250	0.07174	0.00287	0.001798	1.59677
	N1	SPEQYEP	0.00219	0.00401	0.00316	0.00138	0.001312	1.04840
	N2	SPEQYEP	0.00675	0.01301	0.00991	0.00289	0.002867	1.00872
	N3	SPEQYEP	0.01239	0.02454	0.01829	0.00384	0.003664	1.04694
	N4	SPEQYEP	0.01817	0.03655	0.02700	0.00418	0.00382	1.09463
3	N5	SPEQYEP	0.02387	0.04823	0.03562	0.00414	0.003715	1.11467
	N6	SPEQYEP	0.02970	0.05963	0.04404	0.00424	0.003622	1.17035
	N7	SPEQYEP	0.03546	0.07008	0.05218	0.00391	0.003323	1.17725
	N8	SPEQYEP	0.04091	0.07932	0.05968	0.00337	0.002937	1.14760
	N9	SPEQYEP	0.04548	0.08687	0.06622	0.00244	0.002399	1.01667
	N10	SPEQYEP	0.04869	0.09215	0.07137	0.00275	0.001798	1.52753

Tabla 46. Desplazamiento máximo vertical. Modelo EEMG, 10 niveles.

NIVEL	$\delta z(m)$ Servicio	$\delta z(m)$ DL	$\delta z(m)$ LL
N1	0.01655	0.01180	0.00475
N2	0.01756	0.01259	0.00498
N3	0.01872	0.01348	0.00524
N4	0.01973	0.01428	0.00546
N5	0.02077	0.01504	0.00573
N6	0.02182	0.01575	0.00608
N7	0.02265	0.01638	0.00628
N8	0.02332	0.01689	0.00643
N9	0.02364	0.01719	0.00645
N10	0.02422	0.01756	0.00667

Tabla 47. Relación D/C. Modelo EEMG, 10 niveles.

Eje	Sección	D/C
2A	COL60X60-12X11	0.67900
2E	COL70X70-20X8	0.96700
2I	COL70X70-28X10	0.76100

Tabla 48. Relación Peso / Volumen. Modelo EEMG, 10 niveles.

Sección	Longitud Total (m)	Peso Total (kgf)		
V40X40	3,670.40	1,340,374.67		
V50X70	217.20	176,163.54		VIGAS
	$\Sigma =$	1,516,538.21		
LL2X2X3/8	62.50	850.04		
LL2X2X1/4	51,432.21	483,228.28		
L1X1X1/4	16,124.42	35,651.74		
BARRA 1/2"	2,209.53	2,178.49		
CAPOYO1	479.21	9,050.52		RETÍCULA
	$\Sigma =$	530,959.07		
Sección	Longitud Total (m)	Vol. de Hormigón (m3)	Peso Total Acero (kgf)	Peso/Volumen
COL70X70-20X8	28.35	13.89	2,260.06	
COL70X70-28X8	15.75	7.72	1,757.83	
COL70X70-28X10	3.15	1.54	566.42	
COL50X50-8X8	362.25	90.56	11,551.43	202.66
COL50X50-12X10	223.65	55.91	17,235.36	
COL60X60-12X10	211.05	75.98	16,264.36	
COL60X60-12X11	6.30	2.27	599.43	

Resultados del análisis estructural Edificación con sistema de Estructura espacial mixta piramidal (EEMP) y Marcos rígidos.

La configuración EEMP se muestra en la figura 43, las retículas se encuentran espaciadas a 0.80m en ambos sentidos, el peralte es de 0.60m para mejorar el control de deflexiones, en los voladizos y tableros centrales se mantiene la configuración EEMG. La cobertura de claros de la EEMP es de 16.60m x 23.20m (relación de aspecto de 1:1.40), esto permitiría el aprovechamiento del espacio que restan las columnas centrales de dos claros (Ejes B2, C2, G2 y H2).

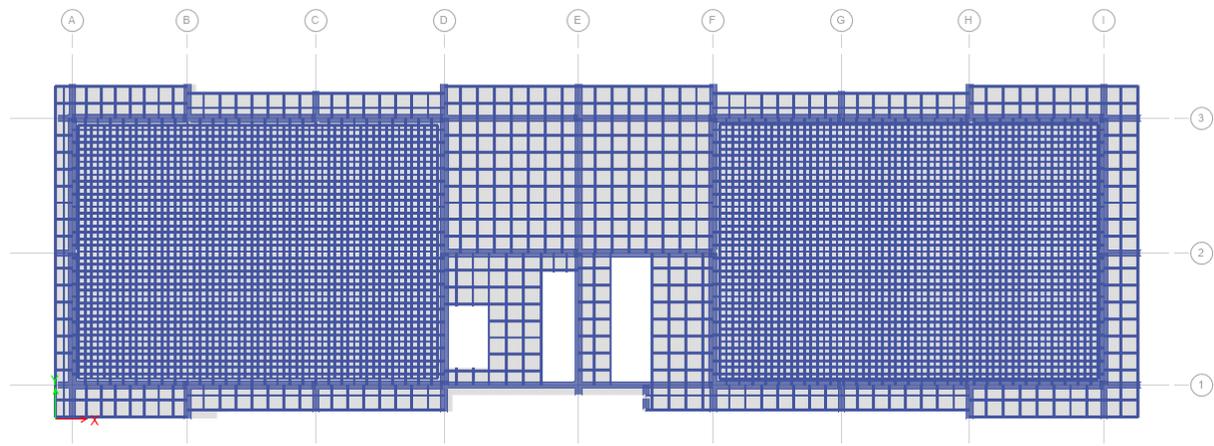
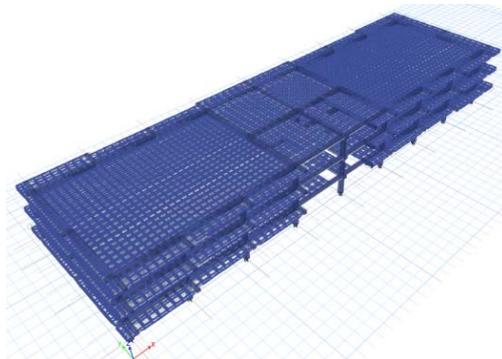


Figura 43. Configuración de EEMP en dos direcciones.

Edificio de 3 niveles con EEMP y marcos rígidos.

Los resultados del análisis sísmico se muestran en la figura 44.



Rw =	8
Tx =	0.552 s
Ty =	0.552 s
W =	2,642,103.81 kgf
ρ =	0.90
V _X ESTÁTICO =	184,084.21 kgf
V _Y ESTÁTICO =	184,084.21 kgf

Figura 44. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo EEMP, 3 niveles.

Tabla 49. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMP, 3 niveles.

Fuerzas del análisis dinámico en sentido x-x					Sismo escalado (1.36)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N3	61,885.75	628.96	61,885.75	628.96	84,072.80	854.45
N2	100,199.74	973.00	38,313.99	344.04	52,050.18	467.38
N1	121,953.48	1,177.46	21,753.74	204.46	29,552.81	277.76
Fuerzas del análisis dinámico en sentido y-y					Sismo escalado (1.57)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N3	622.52	55,721.23	622.52	55,721.23	978.44	87,578.92
N2	960.57	86,578.94	338.05	30,857.71	531.32	48,500.09
N1	1,177.46	105,409.60	216.89	18,830.66	340.89	29,596.78

La irregularidad torsional presentada es en la dirección Y, consistente con los modelos de 3 niveles para las opciones anteriormente evaluadas (Tabla 50). Los desplazamientos relativos se encuentran dentro de los límites (Figura 45), los desplazamientos verticales (Tabla 52) para la carga viva también se encuentran dentro de los permisible ($L/360 = 0.0444m$ para $L = 16.00m$). El comportamiento diafragmático tiende a flexibilizarse en la dirección Y, a medida que se aumenta la altura de nivel a nivel (Tabla 51). Para la relación demanda capacidad (Tabla 53), se mantienen las mismas secciones de columnas que en las opciones anteriores, pero con una cuantía mayor de acero. Por otra parte, el peso en vigas y acero de la retícula es mayor a la opción de joist, incurriendo en mayores costes y mayores fuerzas inerciales para la estructura (Tabla 54).

Tabla 50. Irregularidad torsional. Modelo EEMP, 3 niveles.

Entrepiso	Carga	Dir	Máximo	Promedio	Rel.	Ax
N3	EQXEP	X	0.008394	0.008099	1.036	1.00
N2	EQXEP	X	0.006119	0.005922	1.033	1.00
N1	EQXEP	X	0.002757	0.00265	1.04	1.00
N3	EQXEN	X	0.008507	0.008204	1.037	1.00
N2	EQXEN	X	0.006193	0.005994	1.033	1.00
N1	EQXEN	X	0.00279	0.002688	1.038	1.00
N3	EQYEP	Y	0.012856	0.010129	1.269	1.12
N2	EQYEP	Y	0.008817	0.007039	1.253	1.09
N1	EQYEP	Y	0.00382	0.003013	1.268	1.12
N3	EQYEN	Y	0.012572	0.010243	1.227	1.05
N2	EQYEN	Y	0.008677	0.007159	1.212	1.02
N1	EQYEN	Y	0.003727	0.003055	1.22	1.03

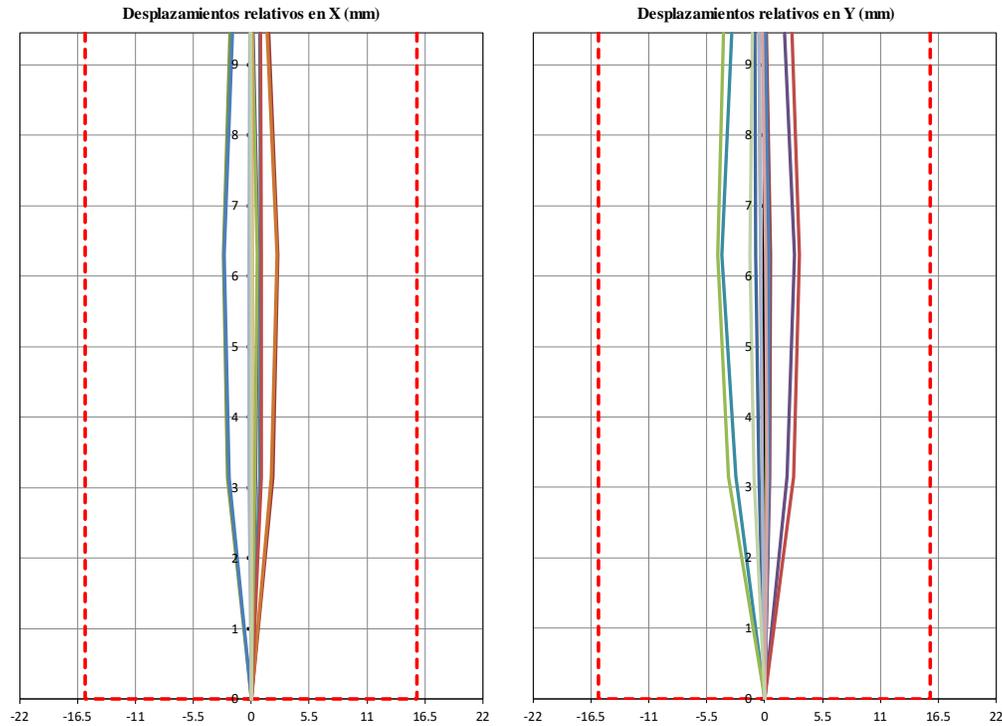


Figura 45. Desplazamientos relativos. EEMP, 3niveles

Tabla 51. Comportamiento diafragmático. Modelo EEMP, 3 niveles.

Borde	Nivel	Combinación	Δx_1 (m)	Δx_2 (m)	Δx_c (m)	Δx (m)relativo	Δx (m)	$\Delta/\delta x$
A	N1	SNEQXEP	0.00154	0.00175	0.00172	0.00081	0.000741	1.09717
	N2	SNEQXEP	0.00380	0.00436	0.00418	0.00094	0.000842	1.11876
	N3	SNEQXEP	0.00526	0.00609	0.00581	0.00072	0.000577	1.23917
I	N1	SNEQXEP	0.00222	0.00244	0.00218	0.00089	0.000741	1.20040
	N2	SNEQXEP	0.00465	0.00507	0.00472	0.00099	0.000842	1.17221
	N3	SNEQXEP	0.00630	0.00684	0.00643	0.00072	0.000577	1.25217
Borde	Nivel	Combinación	Δy_1 (m)	Δy_2 (m)	Δy_c (m)	Δy (m)relativo	Δy (m)	$\Delta/\delta y$
1	N1	SNEQYEP	0.00183	0.00311	0.00290	0.00159	0.001152	1.37804
	N2	SNEQYEP	0.00464	0.00752	0.00712	0.00244	0.001405	1.73701
	N3	SNEQYEP	0.00698	0.01093	0.01051	0.00274	0.001184	2.31503
3	N1	SNEQYEP	0.00186	0.00309	0.00305	0.00173	0.001152	1.49826
	N2	SNEQYEP	0.00467	0.00750	0.00721	0.00253	0.001405	1.79929
	N3	SNEQYEP	0.00704	0.01093	0.01059	0.00280	0.001184	2.36064

Tabla 52. Desplazamiento máximo vertical. Modelo EEMP, 3 niveles.

Nivel	δz (m) Servicio	δz (m) DL	δz (m) LL
N1	0.04470	0.03260	0.01210
N2	0.04537	0.03310	0.01226
N3	0.04586	0.03348	0.01238

Tabla 53. Relación D/C. Modelo EEMP, 3 niveles.

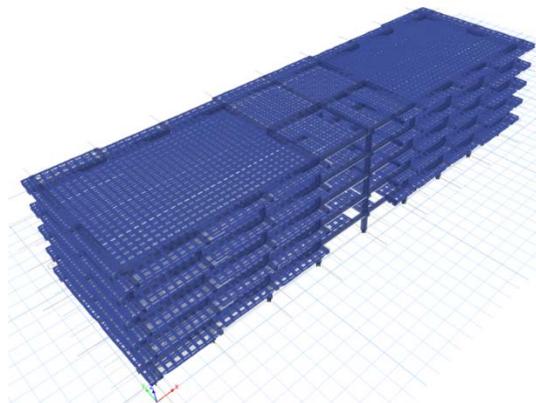
Eje	Sección	D/C
2A	COL50X50-12X10	0.65900
2E	COL50X50-12X10	0.65400
2I	COL50X50-12X10	0.73100

Tabla 54. Relación Peso / Volumen. Modelo EEMP, 3 niveles.

Sección	Longitud Total (m)	Peso Total (kgf)		
V40X60	289.17	101,209.32	VIGAS	
V40X40	285.54	200,623.38		
V50X70	249.60	204,544.46		
$\Sigma =$		506,377.16		
LL2X2X3/8	1,423.05	19,541.91	RETICULAS	
LL2X2X1/4	22,035.71	208,286.23		
L1X1X1/4	5,629.46	12,446.96		
BARRA 1/2"	1,427.87	1,407.81		
CAPOYO1	1,094.53	20,733.85		
CAPOYO2	839.97	23,041.29		
$\Sigma =$		285,458.05		
Sección	Longitud Total (m)	Vol. de Hormigón (m3)		Peso Total Acero (kgf)
COL50X50-8X8	132.30	33.08	4,218.78	198.26
COL50X50-12X10	85.05	21.26	6,554.29	

Edificio de 5 niveles con EEMP y marcos rígidos.

Los resultados del análisis sísmico estático se muestran en la Figura 46.



$$\begin{aligned}
 R_w &= 8 \\
 T_x &= 0.809 \text{ s} \\
 T_y &= 0.809 \text{ s} \\
 W &= 4,445,665.07 \text{ kgf} \\
 \rho &= 0.90 \\
 V_x \text{ ESTÁTICO} &= 239,926.95 \text{ kgf} \\
 V_y \text{ ESTÁTICO} &= 239,926.95 \text{ kgf}
 \end{aligned}$$

Figura 46. Resultados del análisis sísmico estático. Modelo EEMP, 5 niveles.

Tabla 55. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMP, 5 niveles.

FUERZAS DEL ANÁLISIS DINÁMICO EN SENTIDO X-X					SISMO ESCALADO (1.71)	
PISO	Vx (Kgf)	Vy (Kgf)	Fx (Kgf)	Fy (Kgf)	Fx (Kgf)	Fy (Kgf)
N5	48,889.30	565.64	48,889.30	565.64	83,535.86	966.49
N4	77,297.20	832.26	28,407.90	266.62	48,539.83	455.57
N3	96,622.02	1,009.84	19,324.82	177.58	33,019.81	303.43
N2	113,540.30	1,184.35	16,918.28	174.51	28,907.82	298.18
N1	126,375.36	1,319.60	12,835.06	135.25	21,930.93	231.10
FUERZAS DEL ANÁLISIS DINÁMICO EN SENTIDO Y-Y					SISMO ESCALADO (1.97)	
PISO	Vx (Kgf)	Vy (Kgf)	Fx (Kgf)	Fy (Kgf)	Fx (Kgf)	Fy (Kgf)
N5	568.41	46,471.91	568.41	46,471.91	1,117.39	91,354.99
N4	831.00	68,658.91	262.59	22,187.00	516.20	43,615.45
N3	998.83	82,589.66	167.83	13,930.75	329.92	27,385.22
N2	1,172.50	97,291.90	173.67	14,702.24	341.40	28,901.83
N1	1,319.60	109,844.87	147.10	12,552.97	289.17	24,676.77

La irregularidad torsional presentada es en la dirección Y, para la excentricidad positiva consistente con los modelos de 5 niveles para las opciones anteriormente evaluadas siendo un probable resultado de la irregularidad que ocasionan los vacíos en el tablero de acceso al cubo de gradas, con vacíos e interrupciones del entrepiso (Tabla 56).

Los desplazamientos relativos se cumplen (Figura 47) mostrando un mejor control respecto al sistema de JOIST implementado en los primeros modelos desarrollados. El comportamiento diafragmático (Tabla 57) tienden a ser rígido para la dirección X y en la dirección perpendicular Y para los últimos niveles, el comportamiento del entrepiso resulta flexible para ambos bordes, donde la diferencia entre ambos es menor al 1%, indicando un comportamiento rígido más uniforme entre los extremos, desempeñándose en mejor medida respecto al sistema de referencia.

El mayor peso de la estructura influye para que las fuerzas inerciales aumenten, de momento esa es una ventaja competitiva en la que aún no se alcanzó el equilibrio entre los sistemas reticulares y el de joist en una dirección. Será necesario continuar con investigaciones futuras cuyo enfoque meta sea el punto de equilibrio en donde el sistema reticular resulte más competitivo.

Tabla 56. Irregularidad torsional. Modelo EEMP, 5 niveles.

ENTREPISO	CARGA	DIR	MÁXIMO	PROMEDIO	REL.	A _x
N5	EQXEP	X	0.018187	0.017641	1.031	1.00
N4	EQXEP	X	0.01598	0.015516	1.03	1.00
N3	EQXEP	X	0.01253	0.012168	1.03	1.00
N2	EQXEP	X	0.008182	0.007942	1.03	1.00
N1	EQXEP	X	0.003425	0.003317	1.033	1.00
N5	EQXEN	X	0.018097	0.017677	1.024	1.00
N4	EQXEN	X	0.015817	0.0155	1.02	1.00
N3	EQXEN	X	0.0124	0.012155	1.02	1.00
N2	EQXEN	X	0.008095	0.007934	1.02	1.00
N1	EQXEN	X	0.003425	0.003338	1.026	1.00
N5	EQYEP	Y	0.028927	0.023212	1.246	1.08
N4	EQYEP	Y	0.025178	0.020184	1.247	1.08
N3	EQYEP	Y	0.019445	0.015541	1.251	1.09
N2	EQYEP	Y	0.0124	0.009839	1.26	1.10
N1	EQYEP	Y	0.004977	0.003903	1.275	1.13
N5	EQYEN	Y	0.026994	0.022943	1.177	1.00
N4	EQYEN	Y	0.023473	0.019957	1.176	1.00
N3	EQYEN	Y	0.018098	0.015367	1.178	1.00
N2	EQYEN	Y	0.011488	0.00972	1.182	1.00
N1	EQYEN	Y	0.004573	0.003847	1.189	1.00

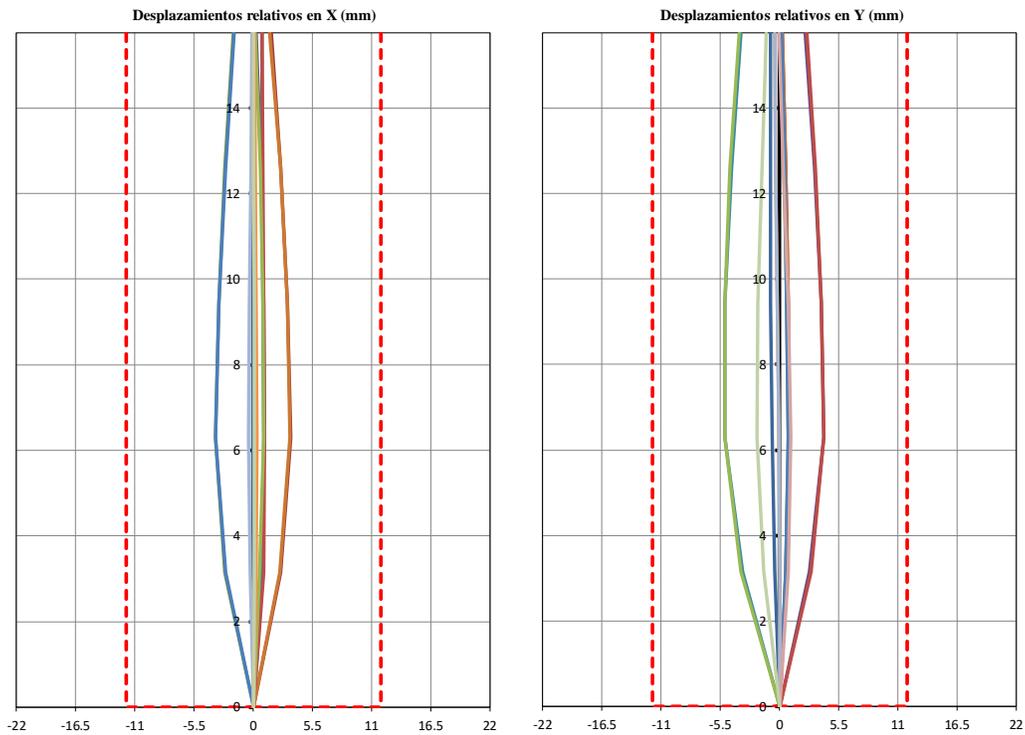


Figura 47. Desplazamientos relativos. Modelo EEMP, 5 niveles.

Tabla 57. Comportamiento diafragmático. Modelo EEMP, 5 niveles.

BORDE	NIVEL	COMBINACIÓN	$\delta_{x1}(m)$	$\delta_{x2}(m)$	$\delta_{xc}(m)$	$\delta_{x(m)}\text{relativo}$	$\Delta x(m)$	$\delta/\Delta x$
A	N1	SNEQXEP	0.00204	0.00227	0.00222	0.00098	0.000915	1.06612
	N2	SNEQXEP	0.00527	0.00591	0.00569	0.00128	0.001186	1.08052
	N3	SNEQXEP	0.00826	0.00929	0.00887	0.00117	0.001074	1.09078
	N4	SNEQXEP	0.01059	0.01200	0.01139	0.00095	0.000861	1.10685
	N5	SNEQXEP	0.01199	0.01367	0.01296	0.00069	0.000563	1.23357
I	N1	SNEQXEP	0.00267	0.00300	0.00268	0.00107	0.000915	1.16721
	N2	SNEQXEP	0.00601	0.00674	0.00623	0.00134	0.001186	1.12563
	N3	SNEQXEP	0.00903	0.01009	0.00941	0.00122	0.001074	1.13734
	N4	SNEQXEP	0.01143	0.01271	0.01193	0.00101	0.000861	1.17131
	N5	SNEQXEP	0.01305	0.01444	0.01360	0.00072	0.000563	1.27087
BORDE	NIVEL	COMBINACIÓN	$\delta_{y1}(m)$	$\delta_{y2}(m)$	$\delta_{yc}(m)$	$\delta_{y(m)}\text{relativo}$	$\Delta y(m)$	$\delta/\Delta y$
1	N1	SNEQYEP	0.00224	0.00399	0.00333	0.00160	0.00138	1.15616
	N2	SNEQYEP	0.00599	0.01016	0.00844	0.00233	0.001959	1.19040
	N3	SNEQYEP	0.00977	0.01612	0.01352	0.00247	0.001895	1.30528
	N4	SNEQYEP	0.01300	0.02112	0.01802	0.00255	0.001589	1.60541
	N5	SNEQYEP	0.01544	0.02471	0.02158	0.00275	0.001242	2.21095
3	N1	SNEQYEP	0.00227	0.00397	0.00348	0.00174	0.00138	1.26377
	N2	SNEQYEP	0.00602	0.01015	0.00857	0.00245	0.001959	1.24911
	N3	SNEQYEP	0.00981	0.01611	0.01365	0.00259	0.001895	1.36596
	N4	SNEQYEP	0.01303	0.02111	0.01811	0.00263	0.001589	1.65356
	N5	SNEQYEP	0.01551	0.02473	0.02166	0.00279	0.001242	2.24235

Los desplazamientos verticales (Tabla 58) se encuentran dentro de los límites para carga viva, pudiendo utilizarse una contra flecha que ayude a disminuir los desplazamientos en servicio. Para la relación demanda capacidad (Tabla 59), se mantienen las mismas secciones de 50x50 en columnas de las opciones anteriores para el mismo edificio, pero con diferente cuantía metálica, observándose una diferencia del índice D/C entre los extremos. Por otra parte, el peso en vigas y acero de la retícula es mayor, esto debido a la mayor demanda cortante y torsional que recae sobre las vigas debido a los claros más amplios (Tabla 60).

Tabla 58. Desplazamiento máximo vertical. Modelo EEMP, 5 niveles.

NIVEL	$\delta z(m)$ Servicio	$\delta z(m)$ DL	$\delta z(m)$ LL
N1	0.04528	0.033046	0.01224
N2	0.04660	0.03405	0.01255
N3	0.04752	0.03475	0.01277
N4	0.04813	0.03522	0.01292
N5	0.04866	0.03562	0.01305

Tabla 59. Relación D/C. Modelo EEMP, 5 niveles.

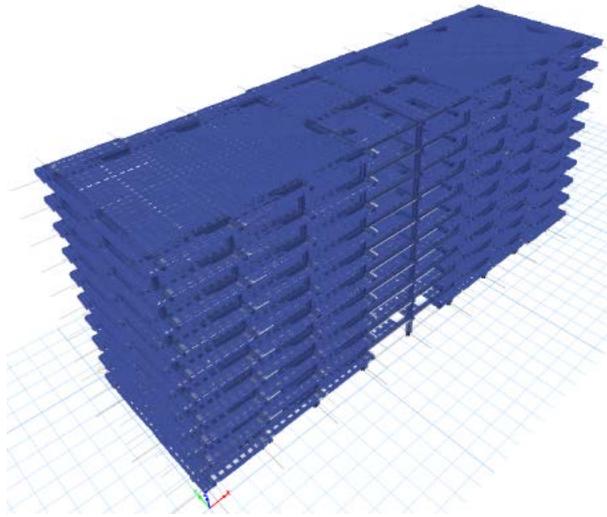
Eje	Sección	D/C
2A	COL50X50-12X11	0.80600
2E	COL50X50-12X10	0.84200
2I	COL50X50-12X11	0.93100

Tabla 60. Relación Peso / Volumen. Modelo EEMP, 5 niveles.

SECCIÓN	Longitud Total (m)	Peso Total (kgf)		
V40X40	481.95	168,682.19	VIGAS	
V50X60	391.90	275,700.37		
V50X70	332.00	272,288.67		
V60X70	84.00	82,039.79		
V60X60	84.00	70,406.31		
	Σ =	869,117.33		
LL2X2X3/8	2,371.75	32,569.84	RETICULAS	
LL2X2X1/4	36,726.18	347,143.70		
L1X1X1/4	9,382.43	20,744.93		
BARRA 1/2"	2,379.78	2,346.34		
CAPOYO1	1,824.21	34,556.42		
CAPOYO2	1,399.96	38,402.16		
	Σ =	475,763.39		
SECCIÓN	Longitud Total (m)	Vol. de Hormigón (m3)		Peso Total Acero (kgf)
COL50X50-8X8	157.50	39.38	5,022.36	231.80
COL50X50-12X10	166.95	41.74	12,865.83	
COL50X50-12X11	25.20	6.30	2,397.73	
COL60X60-12X10	9.45	3.40	728.25	
COL60X60-12X11	3.15	1.13	299.72	

10 niveles EEMP y Marcos rígidos.

Los resultados del análisis sísmico estático se muestran en la Figura 48. Hasta este punto, el sistema reticular basado en el sistema EEMP para la configuración de claros mayores a 8.40m ha mostrado un desempeño similar e inclusive superior en ciertos aspectos, en comparación al sistema de referencia o Joist en una dirección. La Tabla 62 muestra una mínima irregularidad torsional en el sentido Y para los niveles 1 y 2.



$R_w = 8$
 $T_x = 1.361 \text{ s}$
 $T_y = 1.361 \text{ s}$
 $W = 9,255,561.92 \text{ kgf}$
 $\rho = 0.90$
 $V_{x \text{ ESTÁTICO}} = 353,207.63 \text{ kgf}$
 $V_{y \text{ ESTÁTICO}} = 353,207.63 \text{ kgf}$

Figura 48. Desplazamientos relativos. Modelo EEMP, 10 niveles.

Tabla 61. Fuerzas del análisis dinámico. Modelo EEMP, 10 niveles.

Fuerzas del análisis dinámico en sentido x-x					Sismo escalado (2.02)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N10	42,413.20	144.53	42,413.20	144.53	85,729.40	292.14
N9	69,189.81	230.79	26,776.61	86.26	54,123.31	174.36
N8	85,233.63	257.23	16,043.82	26.44	32,429.22	53.44
N7	98,236.10	265.26	13,002.47	8.03	26,281.77	16.23
N6	109,037.07	257.64	10,800.97	-7.62	21,831.90	-15.40
N5	119,205.63	267.80	10,168.56	10.16	20,553.61	20.54
N4	128,993.83	287.58	9,788.20	19.78	19,784.80	39.98
N3	139,760.45	332.05	10,766.62	44.47	21,762.47	89.89
N2	151,250.91	388.37	11,490.46	56.32	23,225.56	113.84
N1	157,269.26	411.43	6,018.35	23.06	12,164.83	46.61
Fuerzas del análisis dinámico en sentido y-y					Sismo escalado (2.45)	
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N10	162.32	38,050.14	162.32	38,050.14	398.25	93,355.76
N9	243.40	58,319.52	81.08	20,269.38	198.93	49,730.79
N8	258.65	69,945.05	15.25	11,625.53	37.42	28,523.16
N7	263.54	80,667.83	4.89	10,722.78	12.00	26,308.27
Piso	Vx (kgf)	Vy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fx (kgf)	Fy (kgf)
N6	265.73	90,074.66	2.19	9,406.83	5.37	23,079.59
N5	266.86	98,834.50	1.13	8,759.84	2.77	21,492.21
N4	283.04	105,835.15	16.18	7,000.65	39.70	17,176.05
N3	324.45	114,289.11	41.41	8,453.96	101.60	20,741.73
N2	381.09	124,360.49	56.64	10,071.38	138.97	24,710.06
N1	411.44	129,565.01	30.35	5,204.52	74.46	12,769.25

Tabla 62. Irregularidad torsional. Modelo EEMP, 10 niveles.

ENTREPISO	CARGA	DIR	MÁXIMO	PROMEDIO	REL.	Ax
N10	EQXEP	X	0.039108	0.037968	1.03	1.00
N9	EQXEP	X	0.036999	0.03594	1.029	1.00
N8	EQXEP	X	0.033697	0.032748	1.029	1.00
N7	EQXEP	X	0.02963	0.028804	1.029	1.00
N6	EQXEP	X	0.025017	0.024325	1.028	1.00
N5	EQXEP	X	0.019989	0.019401	1.03	1.00
N4	EQXEP	X	0.015326	0.014826	1.034	1.00
N3	EQXEP	X	0.010711	0.01038	1.032	1.00
N2	EQXEP	X	0.006287	0.00609	1.032	1.00
N1	EQXEP	X	0.002314	0.002222	1.041	1.00
N10	EQXEN	X	0.038825	0.037946	1.023	1.00
N9	EQXEN	X	0.036753	0.035924	1.023	1.00
N8	EQXEN	X	0.033502	0.032741	1.023	1.00
N7	EQXEN	X	0.029481	0.028805	1.023	1.00
N6	EQXEN	X	0.024908	0.024327	1.024	1.00
N5	EQXEN	X	0.019987	0.019459	1.027	1.00
N4	EQXEN	X	0.015241	0.014875	1.025	1.00
N3	EQXEN	X	0.010621	0.010378	1.023	1.00
N2	EQXEN	X	0.006238	0.006097	1.023	1.00
N1	EQXEN	X	0.002292	0.002228	1.029	1.00
N10	EQYEP	Y	0.066924	0.056444	1.186	1.00
N9	EQYEP	Y	0.062956	0.053154	1.184	1.00
N8	EQYEP	Y	0.05704	0.048239	1.182	1.00
N7	EQYEP	Y	0.049855	0.042215	1.181	1.00
N6	EQYEP	Y	0.042416	0.035765	1.186	1.00
N5	EQYEP	Y	0.034168	0.02891	1.182	1.00
N4	EQYEP	Y	0.026165	0.022008	1.189	1.00
N3	EQYEP	Y	0.018282	0.015267	1.198	1.00
N2	EQYEP	Y	0.010387	0.008626	1.204	1.01
N1	EQYEP	Y	0.003652	0.002959	1.234	1.06
N10	EQYEN	Y	0.066976	0.056133	1.193	1.00
N9	EQYEN	Y	0.063158	0.052888	1.194	1.00
N8	EQYEN	Y	0.057435	0.048031	1.196	1.00
N7	EQYEN	Y	0.050353	0.042063	1.197	1.00
N6	EQYEN	Y	0.042415	0.035581	1.192	1.00
N5	EQYEN	Y	0.034474	0.028814	1.196	1.00
N4	EQYEN	Y	0.026096	0.021891	1.192	1.00
N3	EQYEN	Y	0.018002	0.015163	1.187	1.00
N2	EQYEN	Y	0.010187	0.008571	1.189	1.00
N1	EQYEN	Y	0.003407	0.002909	1.171	1.00

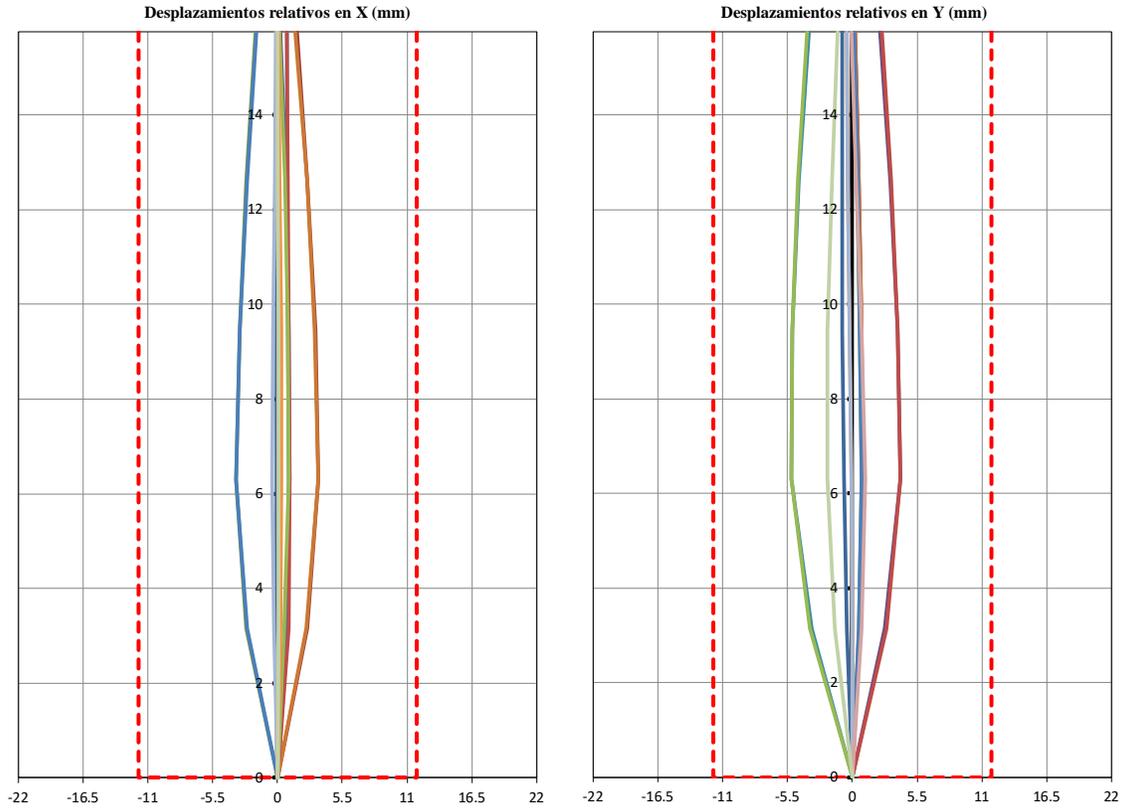


Figura 49. Desplazamientos relativos. Modelo EEMP, 10 niveles.

Tabla 63. Comportamiento diafragmático. Modelo EEMP, 10 niveles.

BORDE	NIVEL	COMBINACIÓN	$\delta_{x1}(m)$	$\delta_{x2}(m)$	$\delta_{xc}(m)$	$\delta_x(m)$ relativo	$\Delta x(m)$	$\delta/\Delta x$
A	N1	SNEQXEP	0.00129	0.00147	0.00142	0.00067	0.000627	1.06061
	N2	SNEQXEP	0.00398	0.00448	0.00431	0.00109	0.001012	1.07559
	N3	SNEQXEP	0.00702	0.00790	0.00755	0.00119	0.001095	1.08311
	N4	SNEQXEP	0.01020	0.01155	0.01094	0.00123	0.001157	1.05877
	N5	SNEQXEP	0.01364	0.01515	0.01447	0.00124	0.001168	1.06293
	N6	SNEQXEP	0.01709	0.01910	0.01815	0.00131	0.001254	1.04346
	N7	SNEQXEP	0.02028	0.02268	0.02154	0.00120	0.001138	1.05316
	N8	SNEQXEP	0.02309	0.02586	0.02453	0.00107	0.00101	1.06040
	N9	SNEQXEP	0.02530	0.02845	0.02693	0.00088	0.000823	1.07047
	N10	SNEQXEP	0.02660	0.03005	0.02842	0.00064	0.000541	1.19039
I	N1	SNEQXEP	0.00184	0.00209	0.00181	0.00078	0.000627	1.23923
	N2	SNEQXEP	0.00467	0.00527	0.00482	0.00116	0.001012	1.14773
	N3	SNEQXEP	0.00769	0.00870	0.00806	0.00123	0.001095	1.12237
	N4	SNEQXEP	0.01095	0.01232	0.01148	0.00131	0.001157	1.13570
	N5	SNEQXEP	0.01422	0.01595	0.01496	0.00129	0.001168	1.10445
	N6	SNEQXEP	0.01778	0.01988	0.01869	0.00140	0.001254	1.11483
	N7	SNEQXEP	0.02101	0.02345	0.02210	0.00127	0.001138	1.11907
	N8	SNEQXEP	0.02384	0.02662	0.02510	0.00114	0.00101	1.13168
	N9	SNEQXEP	0.02614	0.02912	0.02750	0.00096	0.000823	1.16343
	N10	SNEQXEP	0.02772	0.03080	0.02912	0.00068	0.000541	1.26155

BORDE	NIVEL	COMBINACIÓN	$\delta y_1(m)$	$\delta y_2(m)$	$\delta y_c(m)$	$\delta y(m)$ relativo	$\Delta y(m)$	$\delta/\Delta y$
1	N1	SNEQYEP	0.00180	0.00290	0.00250	0.00118	0.001034	1.14555
	N2	SNEQYEP	0.00560	0.00833	0.00734	0.00210	0.001726	1.21582
	N3	SNEQYEP	0.00999	0.01474	0.01280	0.00247	0.002037	1.21085
	N4	SNEQYEP	0.01460	0.02114	0.01822	0.00239	0.002034	1.17281
	N5	SNEQYEP	0.01940	0.02768	0.02394	0.00248	0.00208	1.19399
	N6	SNEQYEP	0.02388	0.03439	0.02960	0.00260	0.002133	1.22082
	N7	SNEQYEP	0.02838	0.04049	0.03492	0.00242	0.00194	1.24794
	N8	SNEQYEP	0.03247	0.04647	0.03996	0.00238	0.001901	1.25381
	N9	SNEQYEP	0.03589	0.05154	0.04462	0.00252	0.001607	1.56658
	N10	SNEQYEP	0.03849	0.05523	0.04826	0.00266	0.001252	2.12260
3	N1	SNEQYEP	0.00184	0.00288	0.00265	0.00132	0.001034	1.27853
	N2	SNEQYEP	0.00561	0.00831	0.00748	0.00224	0.001726	1.29838
	N3	SNEQYEP	0.01005	0.01472	0.01294	0.00259	0.002037	1.27369
	N4	SNEQYEP	0.01463	0.02112	0.01836	0.00252	0.002034	1.24066
	N5	SNEQYEP	0.01944	0.02766	0.02408	0.00261	0.00208	1.25577
	N6	SNEQYEP	0.02391	0.03437	0.02974	0.00273	0.002133	1.28129
	N7	SNEQYEP	0.02842	0.04048	0.03505	0.00254	0.00194	1.30825
	N8	SNEQYEP	0.03252	0.04646	0.04008	0.00250	0.001901	1.31326
	N9	SNEQYEP	0.03593	0.05152	0.04471	0.00259	0.001607	1.61263
	N10	SNEQYEP	0.03544	0.05522	0.04834	0.00426	0.001252	3.40176

Tabla 64. Desplazamiento máximo vertical. Modelo EEMP, 10 niveles.

NIVEL	$\delta z(m)$ Servicio	$\delta z(m)$ DL	$\delta z(m)$ LL
N1	0.04460	0.03256	0.01204
N2	0.04640	0.03393	0.01247
N3	0.04764	0.03490	0.01275
N4	0.04920	0.03609	0.01311
N5	0.05058	0.03715	0.01343
N6	0.05218	0.03838	0.01380
N7	0.05344	0.03935	0.01409
N8	0.05439	0.04008	0.01431
N9	0.05500	0.04055	0.01445
N10	0.05557	0.04098	0.01459

Tabla 65. Relación D/C. Modelo EEMP, 10 niveles.

Eje	Sección	D/C
2A	COL70X70-28X11	0.61800
2E	COL70X70-28X11	0.66300
2I	COL70X70-28X11	0.71900

Cabe destacar que los desplazamientos relativos para ambos sistemas reticulares, presentan valores inferiores al sistema de joist (Figura 49), El comportamiento diafragmático (Tabla 63) se

mantiene de rígido a semirrígido excepto en el último nivel, el cual presenta mayores distorsiones ($\delta/\Delta y = 3.20$) y el control de desplazamientos verticales (Tabla 64) se encuentra dentro de los parámetros, gracias a la observación de la fase inicial para el sistema EEMP que requiere de mayores peraltes para lograr este objetivo.

Para la relación demanda capacidad (Tabla 65), las secciones son más solicitadas y se requiere una mayor cuantía de acero al tener menos puntos de apoyo, debido a la remoción de 4 columnas interiores. Por otra parte, el peso en vigas y acero de la retícula es mayor a las opciones de joist y EEMG, incurriendo en mayores costes y mayores fuerzas inerciales para la estructura (Tabla 66).

Tabla 66. Relación Peso / Volumen. Modelo EEMP, 10 niveles.

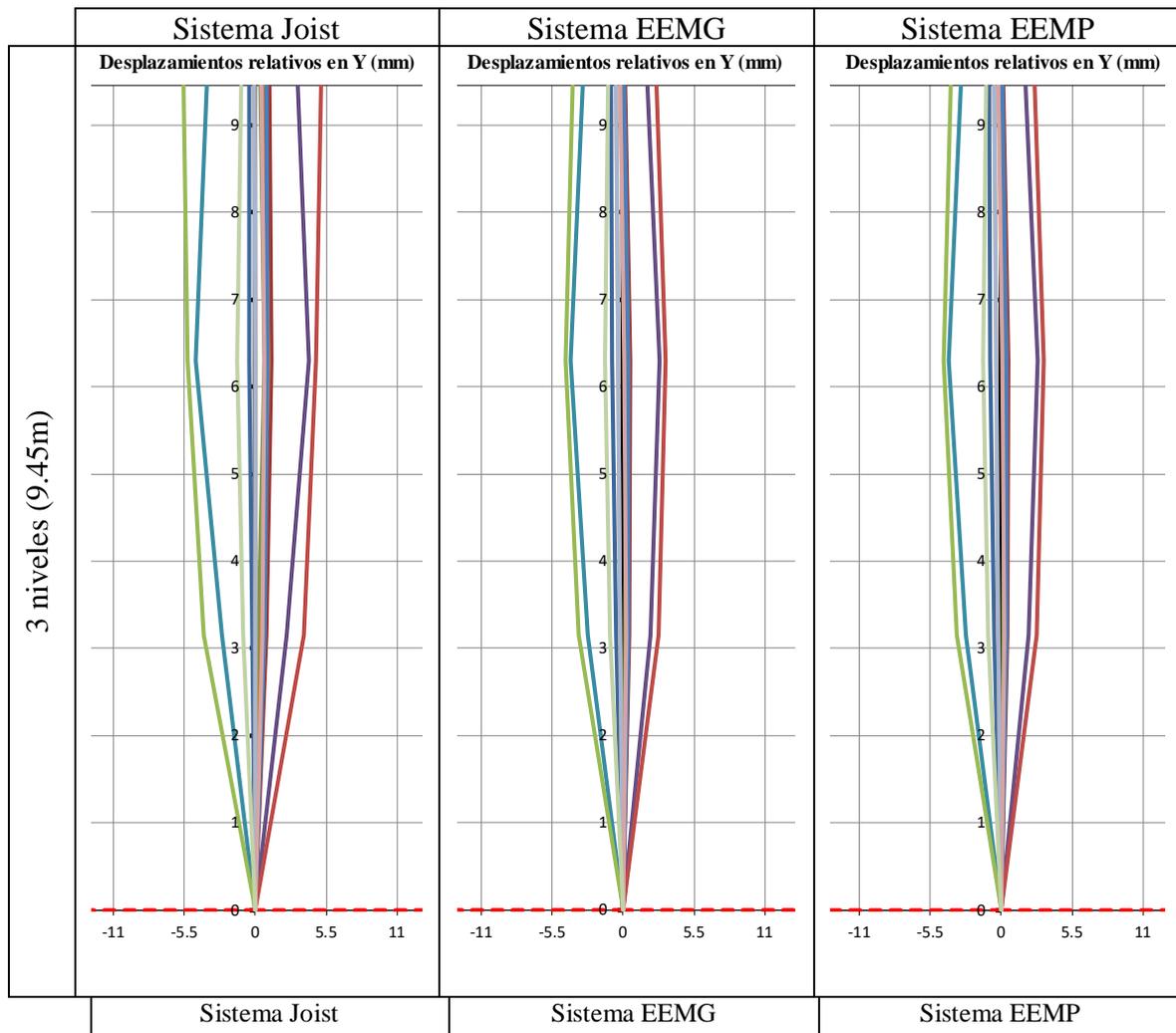
SECCIÓN	Longitud Total (m)	Peso Total (kgf)		
V40X40	963.90	334,106.44	VIGAS	
V50X60	320.00	224,128.17		
V50X70	246.00	201,903.99		
V60X70	1,217.80	1,192,553.72		
	$\Sigma =$	760,138.60		
LL2X2X3/8	4,740.30	65,079.12	RETICULAS	
LL2X2X1/4	75,130.36	705,668.50		
L1X1X1/4	18,009.66	39,820.08		
BARRA 1/2"	3,843.97	3,789.95		
CAPOYO1	3,648.43	69,026.20		
CAPOYO2	2,799.91	76,782.33		
	$\Sigma =$	960,166.18		
SECCIÓN	Longitud Total (m)	Vol. de Hormigón (m3)		Peso Total Acero (kgf)
COL70X70-28X11	173.25	84.89	38,463.58	379.31
COL50X50-12X11	400.90	100.23	38,144.87	
COL60X60-12X11	154.35	55.57	14,686.09	

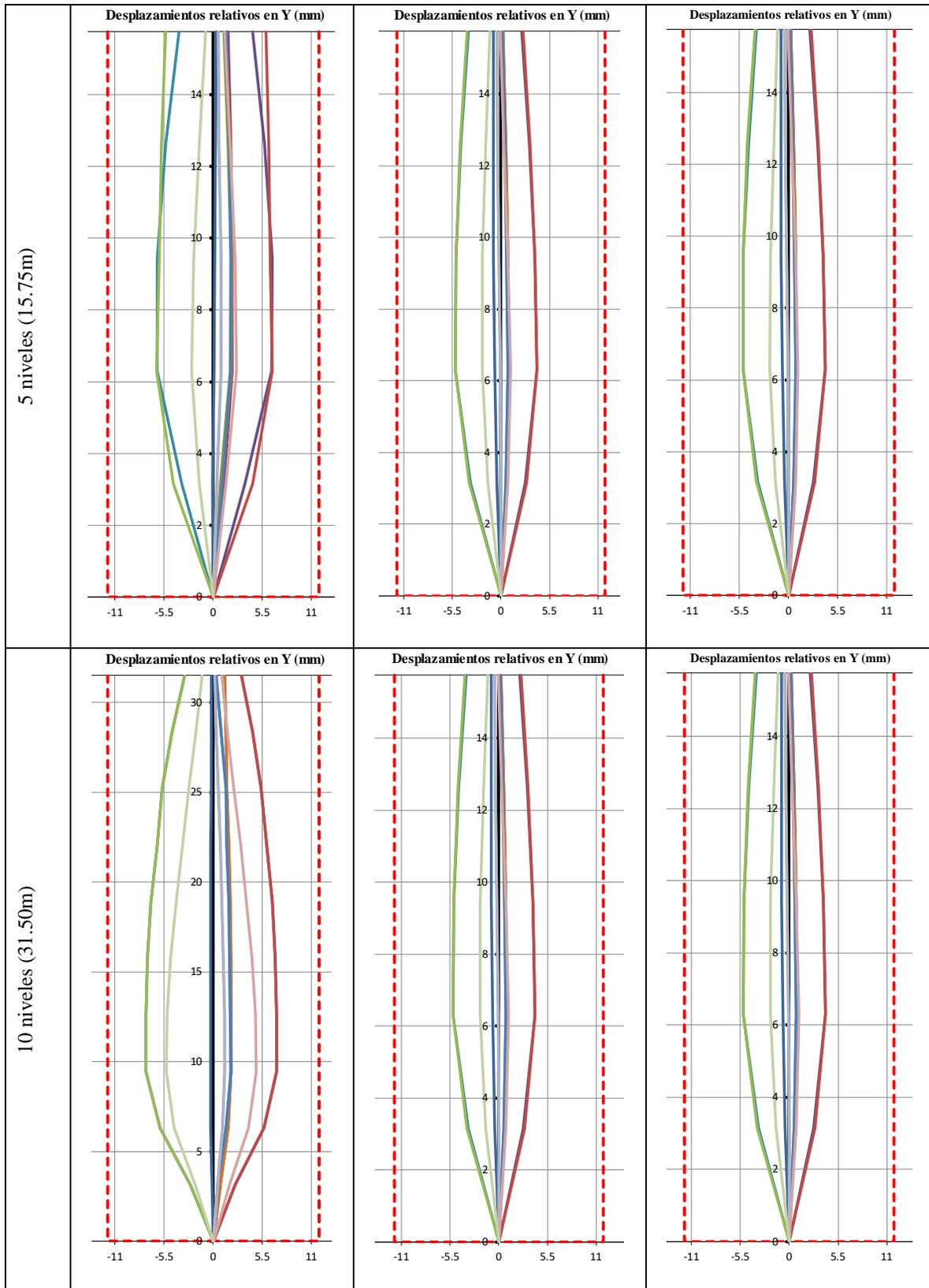
Los resultados individuales nos proporcionan puntos importantes en la comparativa de ambos sistemas, reticular y de joist en una dirección, por lo que se procedió a realizar el análisis comparativo de dichos resultados a continuación.

Análisis comparativo de resultados, fase final

Desplazamientos relativos. De los resultados obtenidos se observó el cumplimiento de la normativa para todos los casos estudiados durante esta etapa, teniendo mayores desplazamientos en la dirección Y respecto a la dirección X. Este factor es importante ya que los desplazamientos son inversamente proporcionales a la rigidez de acuerdo con la Ley de Hooke dentro del rango elástico, por lo que podemos determinar que en todos los casos la rigidez en Y es inferior a la rigidez en X para todos los diafragmas.

Tabla 67a. Matriz comparativa desplazamientos relativos en Y, fase final





Entre configuraciones si existe una diferencia, para el caso particular en los desplazamientos en Y, existe una reducción evidente de los mismos entre el sistema de joist en una dirección y ambos sistemas reticulares, la matriz comparativa (Tabla 67a, b) muestra que para los sistemas reticulares los desplazamientos relativos se encuentran por valores inferiores a 5.5mm, caso contrario con los desplazamientos relativos del sistema de joist que si los superan. Esto nos indica una mayor rigidez de diafragma y una poco sustancial mejora en el control de los desplazamientos relativos en el plano del diafragma con una tendencia a una mejor respuesta estructural.

Tabla 68a. Matriz comparativa desplazamientos relativos en Y, fase final

	Δ (mm)					
	Sistema JOIST		Sistema EEMG		Sistema EEMP	
	Y (min)	Y (máx.)	Y (min)	Y (máx.)	Y (min)	Y (máx.)
3 niveles	-5.57	5.11	-4.69	3.75	-4.49	3.32
5 niveles	-6.34	6.60	-5.22	4.50	-5.13	4.10
10 niveles	-7.35	6.96	-5.45	5.05	-5.48	5.02

Irregularidad Torsional. Para las irregularidades torsionales, existe una cierta tendencia, para los modelos de tres niveles y cinco niveles (Figura 50 a y b) de asociar el comportamiento diafragmático rígido con menores irregularidades de este tipo, cabe destacar que esta irregularidad es la tendencia a rotar del edificio, que para la relación de aspecto estudiada mayor de 1:3, es lo que se espera. Esa tendencia se interrumpe para el modelo de diez niveles con el sistema EEMG (Figura 40 c), donde es posible una mayor flexibilidad en el sistema resistente a cargas laterales de columnas y vigas con mayor inercia de un extremo en comparación al opuesto, haya acentuado el efecto de la irregularidad torsional y por ello sus valores Ax (factor de amplificación) fueron mayores a la tendencia esperada. Esto denota la importancia que tiene el sistema de elementos verticales para la respuesta de la estructura, más allá del comportamiento de diafragma del entrepiso.

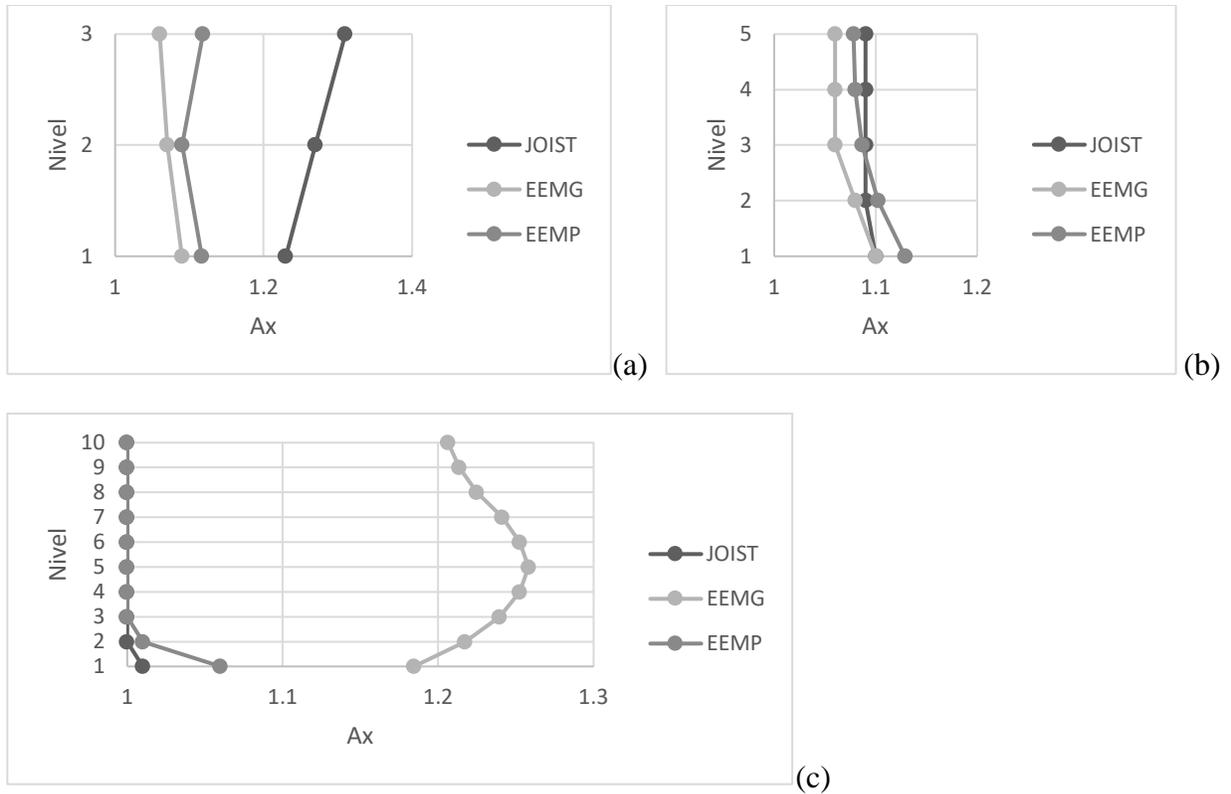


Figura 50. Comparativa de irregularidades torsionales, fase final

Comportamiento diafragmático. El comportamiento diafragmático en la dirección larga del edificio (X) resultó como un diafragma semi rígido (Figura 51), ya que en esa dirección el edificio cuenta con un mayor aporte de inercia respecto a la dirección corta (Y), no obstante, el sistema EEMG presenta mayores rigideces al contar con distorsiones entre 1-1.05 con respecto a los sistemas de joist y EEMP, ambos con un comportamiento muy similar a pesar que el sistema EEMP posee menos intercolumnios centrales sobre el eje 2. Respecto al comportamiento diafragmático en la dirección corta (Y), el entrepiso con tendencia hacia el comportamiento rígido a medida aumenta la elevación del edificio, teniendo mayores distorsiones en los entrepisos cercanos a la base con un comportamiento similar al de los cortantes de entrepiso (Figura 52).

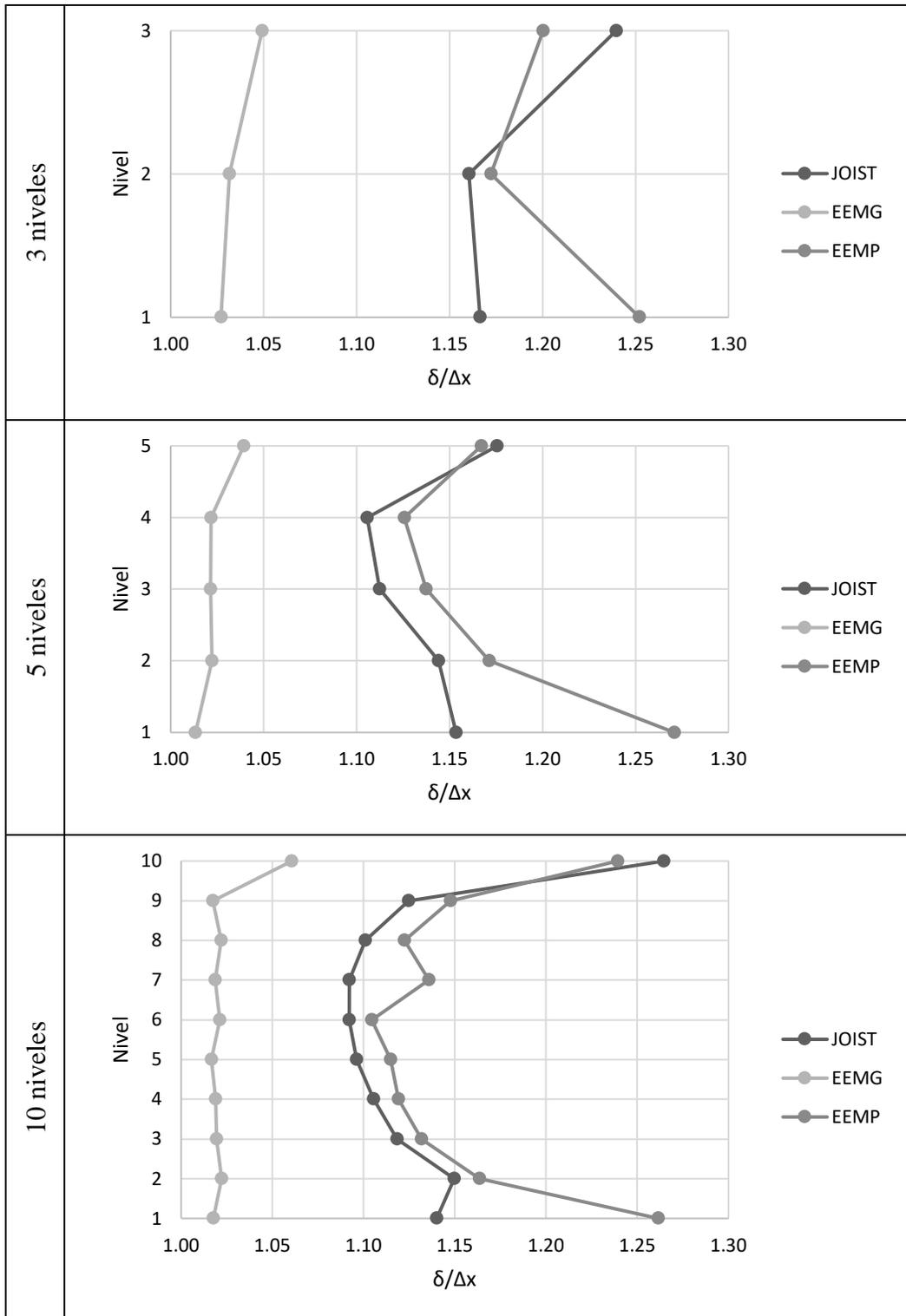


Figura 51. Comportamiento diafragmático en X ($\delta/\Delta x$)

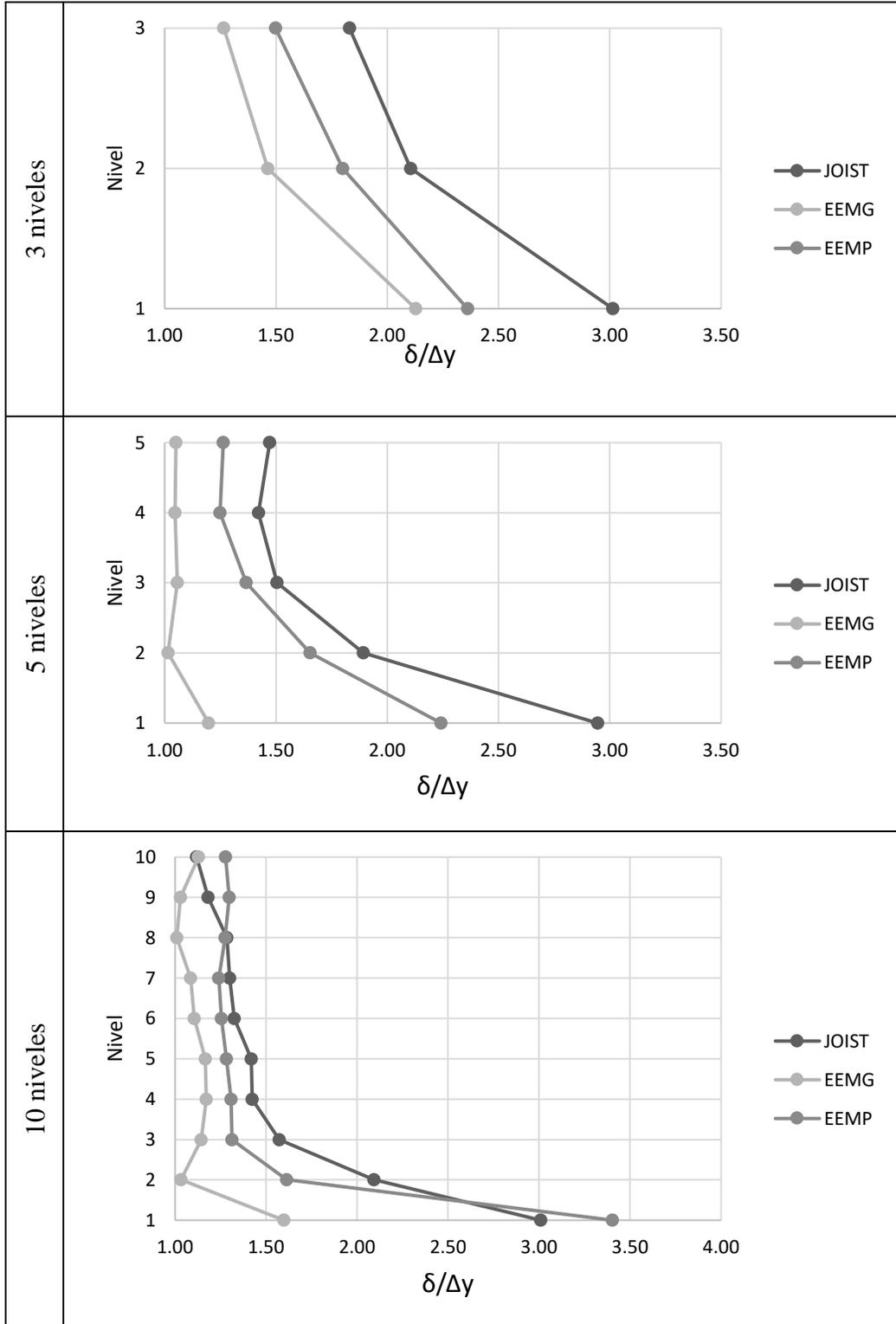


Figura 52. Comportamiento diafragmático en Y ($\delta/\Delta y$)

Hay una tendencia hacia el comportamiento rígido a medida se aumenta la elevación de la estructura, debido a que el marco rígido tiende a flexibilizarse y la distorsión del entrepiso respecto a este disminuye.

Existe otro método para determinar el comportamiento diafragmático de un entrepiso en función al margen de error ocasionado a partir de la presunción de un diafragma infinitamente rígido y el comportamiento semi rígido, mediante el cual se deben calcular las distorsiones del entrepiso para ambos modelos uno con diafragma rígido declarado (Δr) y otro con semirrígido (Δf) para determinar el porcentaje de diferencia entre ambos resultados, luego estos se catalogan de acuerdo a la escala donde para valores de $R = 1 - \Delta r / \Delta f$ menores del 20% se pueden considerar como rígidos, obteniendo hasta un 20% de error en nuestro análisis si consideramos el diafragma rígido; para relaciones de $0.10 \leq R \leq 0.45$, el comportamiento pudiera considerarse semirrígido y para $R > 0.45$ un diafragma flexible (Ju y Lin, 1999).

La Tabla 68 muestra los resultados del índice de Ju-Lin para el borde 3 del edificio de 3 niveles del sistema de joist en una dirección, es uno de los entrepisos que mostró un comportamiento más flexible, y podemos observar que el índice R no supera el 13.31%, lo que nos indica que pudiésemos considerar nuestros entrepisos como diafragmas rígidos obteniendo un porcentaje de error en nuestros resultados de un 13.31% máximo.

Tabla 69. Índice de Ju-Lin para borde 3 edificio 3 niveles Joist.

$\delta y(m)$ flexible	$\delta y(m)$ rígido	$1 - \Delta r / \Delta f$
0.001042	0.001082	3.79%
0.001677	0.001879	12.05%
0.001491	0.001690	13.31%

De la teoría de diafragma sabemos, que las asunciones de un diafragma rígido o flexibles corresponden a una aproximación de la realidad con la intención de facilitar el análisis matemático. La filosofía del diseño en la que se inspiran los códigos como el UBC 94 y por ende el CHOC 2008, instan a rigidizar nuestro diafragma y tratarlo como tal, ya que los métodos numéricos de que se disponían, carecían de la potencia de análisis actuales en función de la eficiencia del tiempo de cálculo. Para efectos prácticos, surgieron estas aproximaciones de comportamiento donde los análisis pueden alcanzar un porcentaje de error de hasta un 20%. Todo este tipo de asunciones son las que se ven reflejadas luego en factores de reducción de esfuerzos o inclusive la obligatoriedad de realizar un escalamiento de las cortantes dinámicas a un 90 o 100% de la cortante en la base por un método estático.

En la actualidad, con las herramientas de análisis estructural disponibles, es recomendable entonces no asumir absolutos y disponer de un diafragma cuyo comportamiento sea más realista al comportamiento de la estructura en estudio. Esta práctica significará mayores desplazamientos y un incremento en los esfuerzos a no ser que se revisen los códigos y se ajusten esos factores que absorben los errores por las asunciones tomadas.

Desplazamientos verticales. El sistema EEMG presenta un mejor control de deflexiones lo cual era de esperarse, esto debido a la acción en dos direcciones de la retícula, tiene una mayor inercia en su sentido fuera de plano con respecto al sistema de joist en una dirección (Figura 53).

Por otra parte, el comportamiento para todos estos desplazamientos es con una tendencia negativa, debido al acortamiento elástico de las columnas debido a la carga axial ya que se están tomando en consideración los desplazamientos verticales absolutos máximos en los centros de los

claros, de ahí que los desplazamientos para el sistema EEMP no tienen la misma pendiente ni valores aproximados entre las variables de altura de tres, cinco y diez niveles (Figura 54).

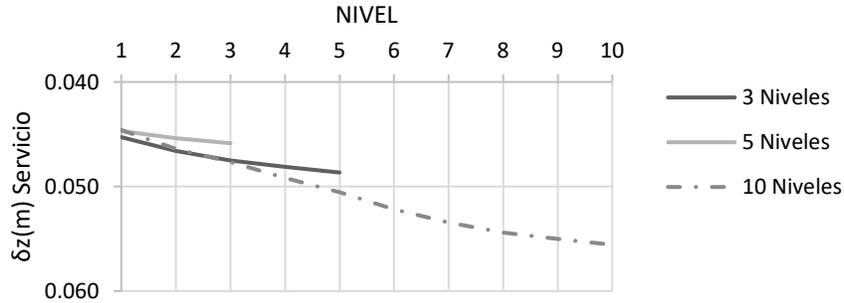


Figura 53. Desplazamientos verticales para el sistema EEMP

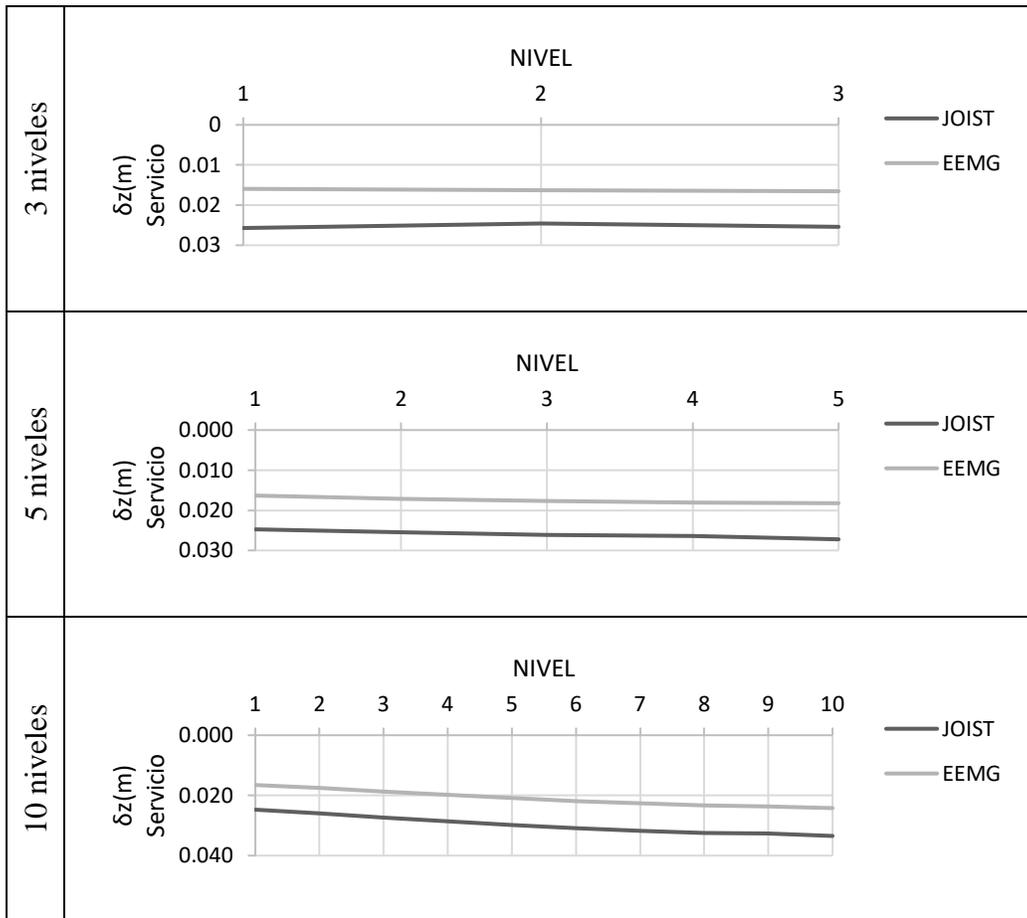


Figura 54. Desplazamientos verticales para sistemas JOIST y EEMG

Relaciones demanda/capacidad. El espíritu de este análisis comparativo es apreciar las ventajas y beneficios que ofrecen ambos sistemas bajos ciertas condiciones similares (peralte de entrepiso, tipología de marcos rígidos), pero observando el cumplimiento de la rigidez y la resistencia de sus miembros bajos los parámetros de diseño que se generan propios de cada uno, la comparativa de las relaciones de demanda/capacidad únicamente tienen el objetivo de identificar la posible distribución de esfuerzos uniforme entre ciertos elementos columnas sobre el eje 2 en el primer nivel, identificando las columnas extremo y centrales, de igual forma los posibles cambios de sección y cuantía metálica (Tabla 69).

Tabla 70. Relaciones demanda capacidad para sistemas JOIST, EEMG y EEMP.

Niveles	Eje	JOIST		EEMG		EEMP	
		Sección	D/C	Sección	D/C	Sección	D/C
3	2A	COL50X50-8X8	0.642	COL50X50-8X8	0.70000	COL50X50-12X10	0.659
	2E	COL50X50-8X8	0.813	COL50X50-8X8	0.85700	COL50X50-12X10	0.654
	2I	COL50X50-8X8	0.823	COL50X50-8X8	0.74300	COL50X50-12X10	0.731
5	2A	COL50X50-12X10	0.711	COL50X50-12X10	0.74200	COL50X50-12X11	0.806
	2E	COL50X50-12X10	0.85	COL50X50-12X10	0.86600	COL50X50-12X10	0.842
	2I	COL50X50-12X10	0.858	COL50X50-12X10	0.81100	COL50X50-12X11	0.931
10	2A	COL70X70-20X8	0.722	COL60X60-12X11	0.67900	COL70X70-28X11	0.618
	2E	COL70X70-20X8	0.951	COL70X70-20X8	0.96700	COL70X70-28X11	0.663
	2I	COL70X70-28X8	0.931	COL70X70-28X10	0.76100	COL70X70-28X11	0.719

Las secciones entre los sistemas de JOIST y EEMG son similares (Tabla 69), COL50X50-8X8 para los 3 niveles, COL50X50-12x10 para 5 niveles y difieren en los ejes extremos para el edificio de 10 niveles. Respecto al sistema EEMP, las secciones demandan cuantías de acero mayores, aunque para efectos de inercia por sección gruesa de hormigón, si se mantienen en el mismo rango (50x50 para niveles 3 y 5, 70x70 para 10 niveles), esto es resultado de la disminución de los apoyos interiores ya que recordemos que dicha configuración cuenta con un panel de losa más amplio con la intención de eliminar esos intercolumnios interiores.

La relación demanda/capacidad para el sistema de JOIST tienden a solicitarse más las columnas sobre los ejes 2I respecto a las columnas sobre los ejes 2A (0.823-0.642, 0.858-0.711, 0.931-0.722), lo cual se refleja en las rotaciones observadas en los desplazamientos laterales de la estructura y un comportamiento asimétrico de la distribución de esfuerzos en esos elementos. Para la configuración del sistema EEMG, dichas relaciones no son tan distantes aparentando una distribución más uniforme y guardando un similar comportamiento entre columnas 2I -2A respecto al sistema JOIST (0.743-0.70, 0.811-0.742, 0.761-0.679) y para la configuración del sistema EEMP también (0.731-0.659, 0.931-0.806, 0.719-0.618).

Relaciones de peso/volumen. Esto permite hacer una cuantificación práctica de los materiales utilizados, la revisión se hace en función de tres parámetros: Peso de los elementos de viga, Peso del acero que conforma la retícula (o las viguetas de alma abierta) y una relación del Peso del acero de refuerzo en columnas contra el volumen de hormigón de estas.

Para facilitar la interpretación de los datos, en la Tabla 70 se han tomado como cantidad unitaria los parámetros del sistema de referencia JOIST y así cuantificar el porcentaje adicional o inferior que se obtiene en el resto de configuraciones a comparar (EEMG y EEMP).

Tabla 71. Relaciones de peso/volumen.

Niveles	Sistema	Peso Vigas	Peso Retícula	Peso/Volumen
3	JOIST	100%	100%	100%
	EEMG	98%	140%	100%
	EEMP	110%	179%	155%
5	JOIST	100%	100%	100%
	EEMG	98%	140%	103%
	EEMP	113%	251%	163%
10	JOIST	100%	100%	100%
	EEMG	95%	193%	107%
	EEMP	113%	251%	199%

Para el caso de las vigas, el sistema EEMG presenta un 2% menos de peso para los 3 y 5 niveles y disminuyendo a 5% menos para la estructura de 10 niveles, distante del 9.52% con una desviación de $\pm 1.44\%$ obtenido en la fase inicial para edificaciones de 1 nivel. Al respecto se observó que, dado el requerimiento de mayor rigidez de las columnas debido a la altura, el requerimiento de una sección mayor de viga para mantener la rigidez del marco se vio disminuida en la configuración de joist para varios niveles, de ahí que la diferencia en peso para las vigas se haya reducido. La brecha se reduce en cuanto a esta mejora para cuando tenemos múltiples niveles. En el sistema EEMP presenta un aumento de 10% adicional para los 3 niveles y un aumento del 13% para los 5 y 10 niveles. Esto es congruente debido a que carecemos de un intercolumnio interior en esta configuración, por ende, el tablero cubre una mayor área tributaria cargando más al sistema de vigas. En cuanto al peso de la retícula EEMG oscila entre un 40% para los 3 y 5 niveles y aumenta el doble para los 10 niveles (93% adicional), esto nos indica que el sistema aún no se encuentra en el punto de equilibrio en donde puede llegar a ser competitivo respecto al sistema de Joist ya que el sistema EEMG ha presentado mejor respuesta estructural en cuanto a desplazamientos relativos, verticales, comportamiento diafragmático y distribución de esfuerzos, por lo cual se requeriría un estudio más a fondo aumentando las luces cubiertas por los paneles para encontrar donde resulta más eficiente.

Para el sistema EEMP, las diferencias son considerables entre un 79 y 151% de peso adicional, resultando que, al intentar cubrir una mayor área de entrepiso, el sistema requiere de mayores inercias de sus secciones componentes y peraltes, demostrando un desempeño muy similar al sistema de Joist con la ventaja de eliminar el intercolumnio interior. Debería ampliarse el estudio de que ocurre con la cimentación, para tener un panorama más completo respecto estas

dos configuraciones. Para las relaciones Peso de acero / volumen de hormigón, en el sistema EEMG las diferencias son pocas, un 3% adicional para los 5 niveles y un 7% para los 10 niveles. En el caso del sistema EEMP, las diferencias oscilan entre 55, 63 y 99% adicional para los 3, 5 y 10 niveles respectivamente, congruente con la distribución del mismo peso de servicio entre menos elementos verticales.

Análisis de Vibraciones debido a actividad humana. Como un requisito de la evaluación de la serviciabilidad es recomendable realizar un análisis estructural de las vibraciones inducidas debido a la actividad humana, para ello se realizó un análisis tiempo historia representando la carga generada por una persona caminando a través de un tablero en particular para cada uno de nuestros modelos analizados, debido a que los tableros están articulados, es válido tomar un solo tablero, de lo contrario debería tomarse el entrepiso completo. El peso del peatón es 75.46kgf, la frecuencia del paso es 2 Hz, con una velocidad de 1.50m/s, la longitud del paso de 0.75m, un factor de carga de 1.4 y una duración del pulso de 0.45s (Figura 55).

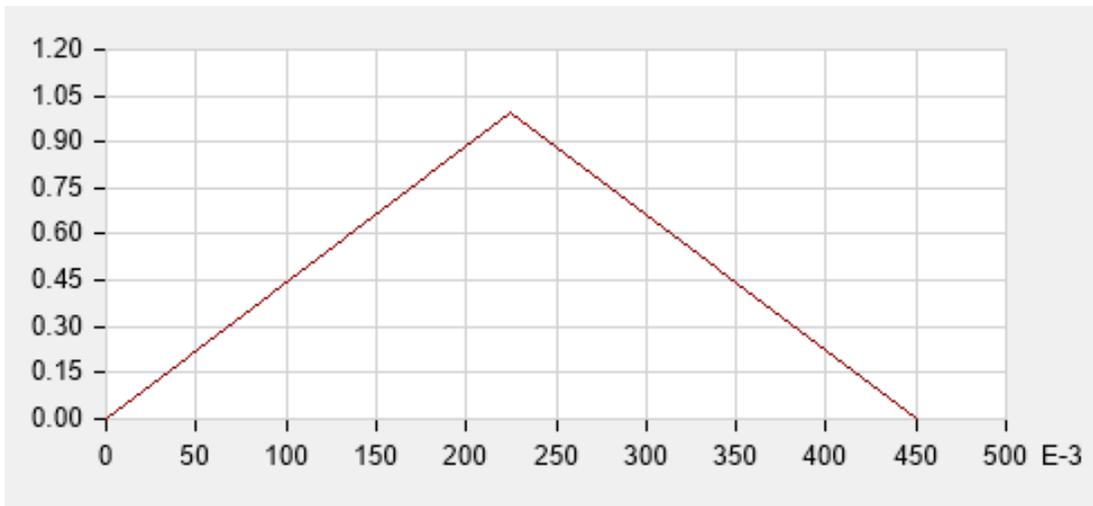


Figura 55. Función de Pulso magnitud de carga unitario vs tiempo (s)

El criterio de diseño de acuerdo a la AISC indica que el porcentaje de aceleración en función de la gravedad no debe superar el 0.5% para residencias con un porcentaje de amortiguamiento de 0.05, lo que se traduce en 0.049035m/s^2 .

De los resultados obtenidos para los tres sistemas de JOIST y EEMG con similar claro para el tablero $8.40 \times 8.40\text{m}$ y del sistema EEMP para el tablero de $16.60 \times 24.40\text{m}$, se observa que las aceleraciones pico para los sistemas reticulares son inferiores al sistema de JOIST que supera el límite establecido (Figura 57). Otro criterio para la evaluación de la serviciabilidad en función del nivel de comodidad, se muestra en la Figura 56, el cual incluye la variable de la frecuencia natural del sistema la cual se obtuvo mediante un análisis por superposición modal. De ahí que el sistema de JOIST falla ante este criterio de serviciabilidad.

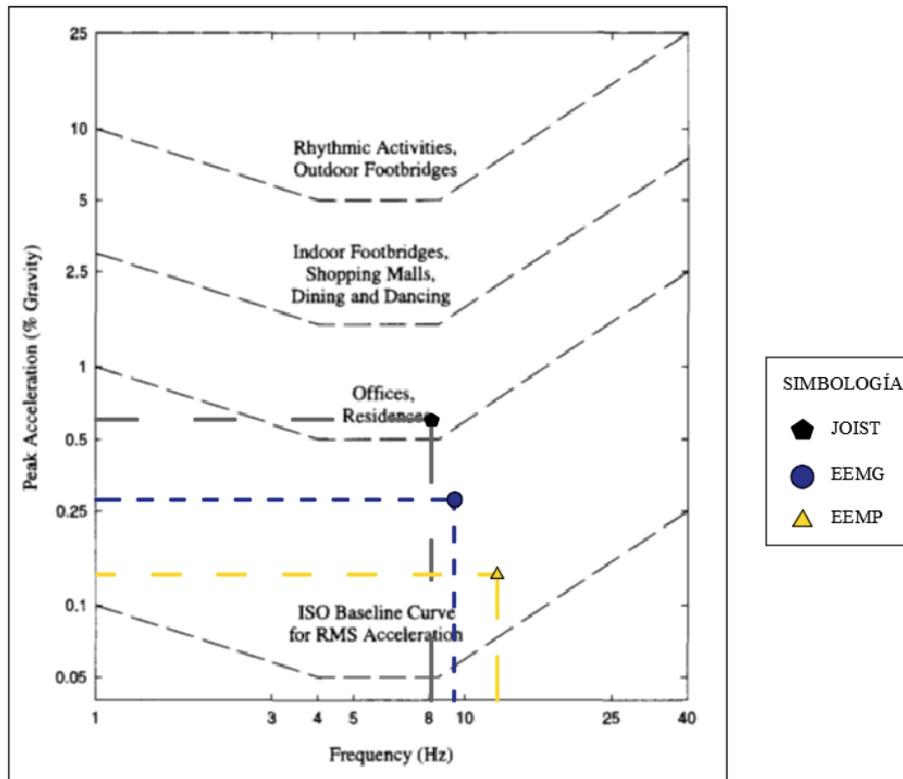
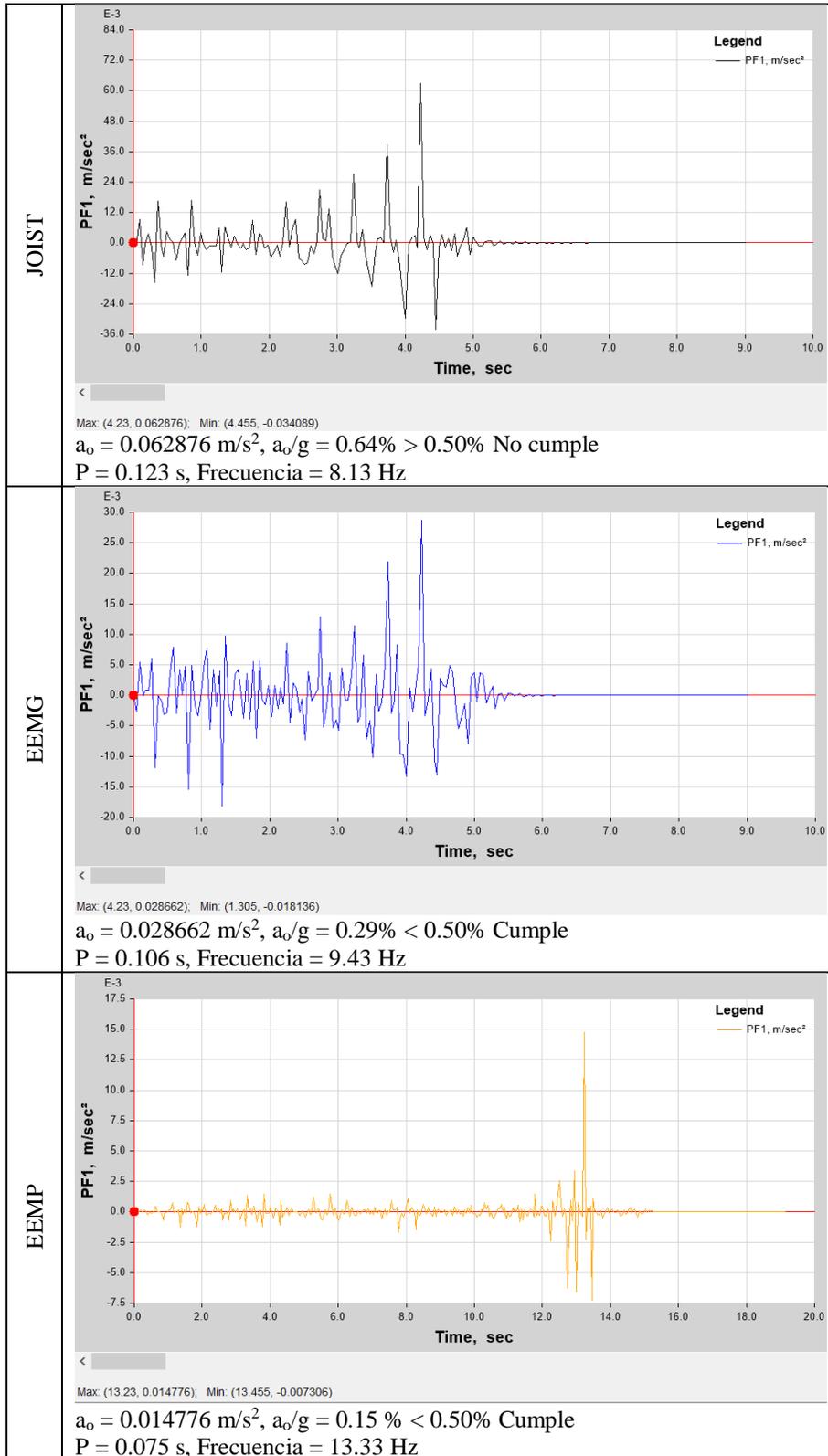


Figura 56. Aceleraciones pico – Frecuencia para límites de comodidad humana.

Figura 57. Aceleraciones pico en entrepisos.



4.2.1 Análisis estadístico

Fase inicial

Si bien la experimentación realizada no consideró una selección aleatoria de las muestras sumado a la baja cantidad de especímenes de la muestra, inciden en la confiabilidad de estos análisis estadísticos. Con el objetivo de determinar la reducción porcentaje en peso que se obtiene con el uso de las estructuras espaciales mixtas piramidal y generalizada respecto al sistema de referencia de joist con transferencia cortante, se ha realizado el análisis descriptivo del cual se muestran los resultados en la tabla 71.

Tabla 72. Análisis descriptivo de las diferencias en peso total estructural

	<i>EEMP</i>	<i>EEMG</i>
Media	0.1458	0.0952
Error estándar	0.0038	0.0048
Mediana	0.1430	0.0946
Desviación estándar	0.0113	0.0144
Varianza muestral	0.0001	0.0002
Curtosis	-0.0965	-0.5839
Asimetría	0.9342	0.7093
Rango	0.0336	0.0415
Mínimo	0.1329	0.0783
Máximo	0.1665	0.1199
Sumatoria	1.3122	0.8567
Datos	9	9
Nivel de confianza (99.0%)	0.0126	0.0162

La tabla 71 nos permite determinar que la diferencia en peso de la EEMP respecto al sistema de referencia para las condiciones expresadas en esta fase es de 14.58% con una desviación estándar de $\pm 1.13\%$, de igual forma, para las EEMG respecto al sistema de referencia, la reducción en peso global de la estructura es de 9.52% con una desviación de $\pm 1.44\%$, valido para edificios de una sola planta.

De lo anterior se concluye que ambas estructuras espaciales mixtas, logran una disminución considerable en cuanto al peso global de la estructura lo cual se puede traducir en menores demandas de hormigón, menores demandas de capacidad de soporte al suelo y una consecuente reducción del sistema de cimentación el cual no se encuentra dentro del alcance de este estudio.

Fase final

De la observación realizada en los resultados de la fase final, el sistema reticular EEMG, en comparación con el sistema JOIST y en cuya configuración estructural se cubren los mismos claros, presentó un comportamiento diafragmático más rígido, esto se confirma mediante el un análisis estadístico descriptivo que muestra la diferencia entre ambos sistemas (Tabla 72).

Tabla 73. Análisis descriptivo de las diferencias del comportamiento diafragmático

	EJE X	EJE Y
Media	0.109	0.423
Error estándar	0.007	0.064
Mediana	0.102	0.301
Desviación estándar	0.043	0.383
Varianza muestral	0.002	0.146
Curtosis	1.105	1.967
Asimetría	0.546	1.512
Rango	0.222	1.567
Mínimo	0.003	0.005
Máximo	0.225	1.571
Sumatoria	3.940	15.215
Datos	36	36
Nivel de confianza (99.0%)	0.019	0.174

Para una mejor interpretación de estos resultados podemos observar los diagramas de caja y bigote, mediante los cuales vemos la diferencia entre la media y la mediana y cual de ambas resulta más representativa (Figura 58). La diferencia de la rigidez para la dirección larga del edificio (x) puede ser representada por la mediana, de la figura de la caja y bigote observamos lo compacto de los resultados cercanos a esta y una diferencia mínima entre la media geométrica y

la mediana, aunque la media se ve afectada por el valor máximo de 0.225, es por ello que para esta dirección la diferencia entre ambos sistemas es de aproximadamente 10.2%.

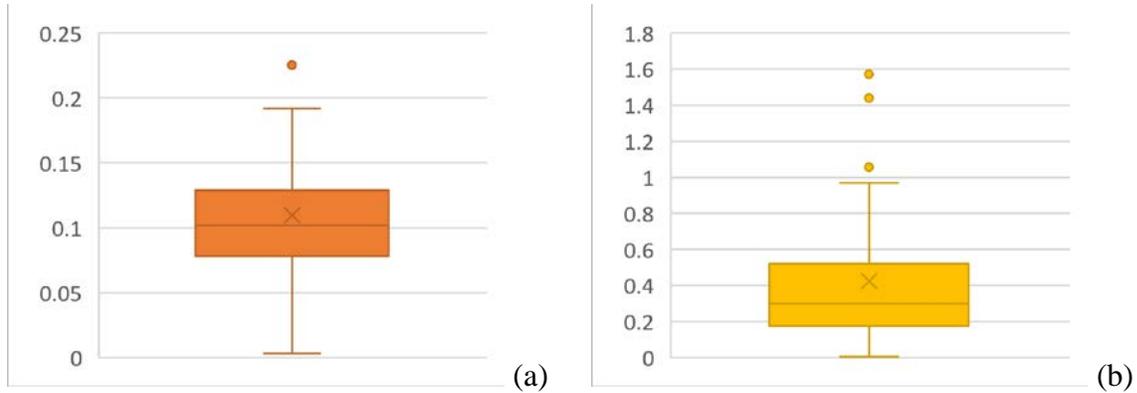


Figura 58. Diferencial de rigidez JOIST vs EEMG. (a) eje X, (b) eje Y

Para la dirección corta del edificio (y), en la diferencia de rigidez diafragmática de ambos sistemas, los valores de la media geométrica se ven afectados por tres valores atípicos que observamos en los primeros niveles de los modelos estudiados, por lo que su mediana resultaría más representativa, alcanzando un 30.1%. Las diferencias entre ambas direcciones de más de un 20% para el eje menor, se ven influenciadas por otros factores ajenos al sistema de entrepiso como la relación de aspecto (superior a 3:1 en esta fase) y la configuración del sistema de apoyo (marcos rígidos), por lo que resulta correcto realizar una comparativa de estos sistemas en las condiciones reales como se construirán y no por separado como un elemento aislado.

4.3 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Causa-Efecto ("Espina de Pescado") desarrollado por Kaoru Ishikawa, permite estructurar las causas potenciales de un problema para una mejor comprensión de su solución. El diafragma puede aplicarse a procesos en general como el planteado en el presente estudio.

Su propósito es organizar y exhibir las interrelaciones de varias teorías de la causa raíz de un problema. Al centrar la atención en las posibles causas de un problema específico de una manera estructurada y sistemática, el diagrama permite a un equipo de resolución de problemas aclarar su pensamiento acerca de esas causas potenciales y le permite trabajar más productivamente para descubrir la verdadera causa raíz o Causas. (Juran & Godfrey,1998)

El método más común para la elaboración del mismo, consiste en agrupar las causas potenciales en las seis ramas principales (Figura 59):

1. Ambiente: este nos permite configurar el modelo de cargas por efectos naturales como el sismo y el viento, que dependen de la ubicación geográfica y el entorno local de las propiedades del suelo y su exposición al viento.
2. Mano de Obra: este es un aspecto más constructivo que es dependiente del sistema de entresijos y la tipología seleccionada, es usual en nuestro medio que la mano de obra sea con formación empírica en su mayoría por sobre la tecnificada, este aspecto es importante para el proyectista ya que, proyectos y sistemas constructivos complejos aumentarán las probabilidades de errores constructivos, por lo que se debe tener una visión sencilla de las soluciones estructurales, mantener las cosas simples.
3. Materiales: Es predominante y generalizado el uso de estructuras de hormigón reforzado, pero como vimos en la encuesta aplicada, el uso de estructuras mixtas de hormigón y acero estructural, van creciendo como opciones reales para los sistemas de entresijos e inclusive para las tipologías estructurales. Estrictamente si se trata de entresijos, tenemos las losas solidas de hormigón reforzadas, presforzadas y los entresijos aligerados convencionales y mixtos.

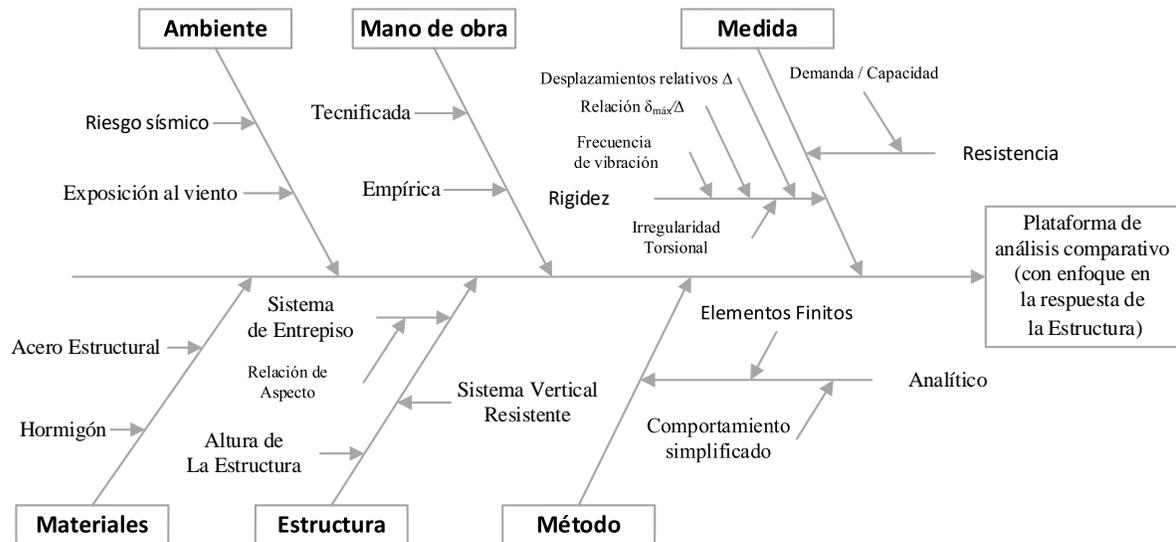


Figura 59. Diagrama de Ishikawa.

4. La estructura: conformada por elementos que en su conjunto dan cuerpo al sistema resistente a cargas laterales, este se compone de dos subconjuntos, los elementos verticales que dan apoyo y transmiten las cargas hacia el vínculo a suelo y los sistemas de entrepiso que unifican a los elementos en un todo, la altura de la estructura dependerá de la necesidad de aprovechamiento del espacio vertical que desee el propietario del inmueble.
5. Método: haciendo referencia a la metodología de trabajo, se hizo uso del método analítico que puede desarrollarse a través de aproximaciones del comportamiento diafragmático que facilitan el análisis (rígido o flexible) o a través de elementos finitos asumiendo un comportamiento más realista del sistema de entrepisos (semi rígido).
6. Medida: Permite medir los resultados del análisis, enfocados a la respuesta de la estructura, la cual se puede clasificar de acuerdo a la rigidez que depende de los desplazamientos relativos de cada entrepiso, su relación respecto a los desplazamientos

máximos, la frecuencia natural de vibración y la irregularidad torsional; la segunda causa es la resistencia, determinada en función de la relación demanda capacidad de los elementos.

4.4 Propuesta

4.4.1 Plataforma de análisis comparativo

4.4.2 Introducción

4.4.3 Descripción de la propuesta

4.4.3.1 Modelo matemático representativo.

4.4.3.3 Determinación de la flexibilidad del diafragma.

4.4.3.4 Evaluación de la respuesta estructural.

4.4.4 Presupuesto

4.4.5 Cronograma

4.4.1 Plataforma de análisis comparativo

Se pretende utilizar el análisis comparativo como una herramienta útil para el ingeniero proyectista al momento en que se determine la configuración estructural y que, a través de una investigación breve de los sistemas de entrepiso disponibles, le permita un criterio racional de selección para el sistema que le brinde el resultado óptimo de la respuesta estructural.

4.4.2 Introducción

A través de una comparativa del comportamiento diafragmático de los sistemas de entrepiso que dispone, es posible determinar cuál sistema resulta ideal para su proyecto. De esta

forma, se puede asegurar una respuesta adecuada de la estructura en términos de rigidez global y resistencia de sus componentes.

4.4.3 Descripción de la propuesta

Se deben tomar en consideración factores claves para determinar cuál sistema de entrecimpo es quien nos brindará una respuesta óptima de la estructura y sus consecuentes beneficios en seguridad y economía. Estos factores hacen referencia a qué tan representativo es nuestro modelo matemático respecto al comportamiento que tendrá en la realidad, las variables que afectan el comportamiento diafragmático de nuestro entrecimpo propuesto y la consecuente respuesta de la estructura ante el evento sísmico esperado. El diagrama de causa y efecto (Figura 59) permite al lector un mapa general de las variables que inciden en el desempeño de la estructura de modo que pueda identificar que variables puede modificar y tener control sobre ellas para que los resultados del análisis arrojen resultados determinantes para la selección del tipo de entrecimpo a utilizar.

4.4.3.1 Modelo matemático representativo.

Las condiciones de apoyo y transmisión de cargas.

En la etapa del análisis estructural es importante determinar cómo el sistema de entrecimpo efectuará la transferencia de las cargas a su respectivo sistema de apoyo, en el caso de un sistema de apoyo vertical compuesto por una tipología de marcos rígidos, es discutible si la losa de entrecimpo tendrá una conexión a momento con los elementos de viga mediante una transferencia cortante y si esta misma es posible. En el caso de tener un diafragma en panel como lo son las losas sólidas de hormigón, la conexión entre viga y losa a momento es posible, teniendo que tomar atención al cortante por acción de viga entre la losa y viga en sí.

En sistemas mixtos aligerados, difícilmente dicha conexión se logre, ya que se manejan espesores reducidos de hormigón que, en caso de conectarse directamente al sistema de apoyo, tenderán a articularse a través de la formación de rótulas plásticas. Una forma de no tener que implementar elementos de rotulas plásticas en nuestros modelos es evitar la conexión física de las placas representativas de la losa con el elemento lineal que representa la viga, asegurando una transmisión de esfuerzos desde la losa al sistema reticular de viguetas y de estos a las vigas principales. Tendremos entonces un diafragma reticular el cual no necesariamente se comportará como un diafragma flexible, ya que entre los pares de fuerzas de los puntales y tensores es posible que la transmisión de torsiones se logre sin necesidad de conectar la losa de entrepiso a las vigas en el caso de una tipología de marco rígido.

Otro punto en consideración es la transferencia cortante entre las placas y viguetas y si las placas actuarán en sección compuesta con estas, en el caso afirmativo, basta con que la discretización de la placa tome en consideración al elemento de vigueta para que el análisis sea realista, caso contrario resulta mejor prescindir del elemento de placa y únicamente modelar la carga del área tributaria que le corresponde a dicha vigueta.

Espesores de entrepiso y peraltes recomendables.

La influencia en el espesor del entrepiso afecta de manera directa a la rigidez del entrepiso tanto dentro como fuera del plano evaluado. En cuanto al comportamiento diafragmático, el espesor de la losa de hormigón es directamente proporcional a su rigidez, es decir, a mayor peralte una mayor rigidez en el plano del diafragma. La figura 60 nos presenta un estudio que confirma las relaciones anteriormente descritas.

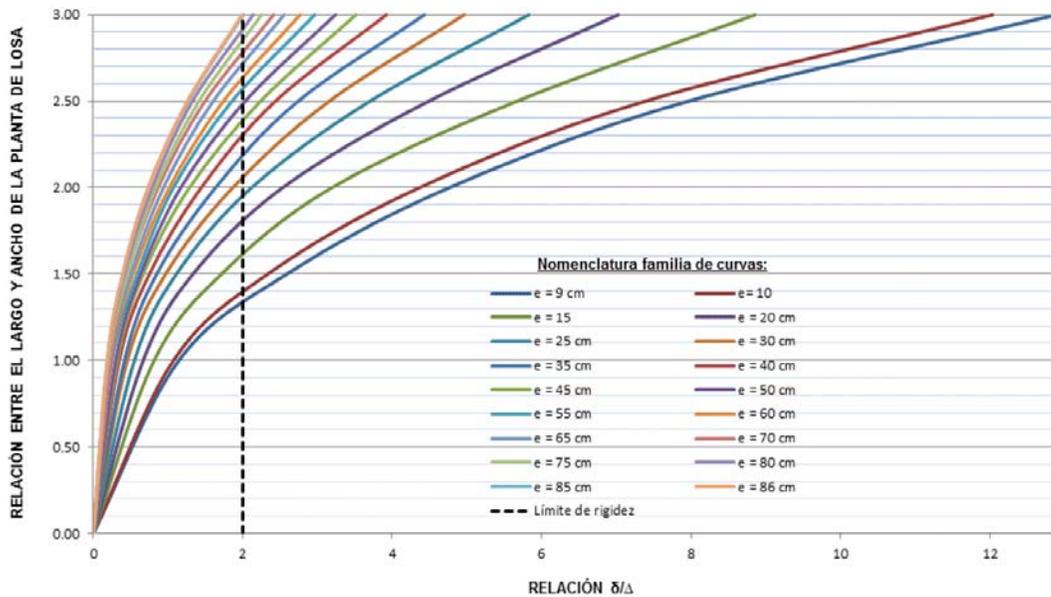


Figura 60. Correlación entre espesores de losa y relación de aspecto en su comportamiento diafragmático.

Fuente. Girón (2013)

Predimensionamiento de los elementos verticales del sistema lateral resistente.

La tipología de los elementos verticales para el sistema resistente a cargas laterales tiene un papel importante para el comportamiento del diafragma, debemos recordar que el diafragma se encuentra compuesto no solo por los elementos del entrepiso, también lo conforman las vigas y columnas o muros (si los hubiera), los cuales aportan rigidez y es la diferencia de rigidez entre esos elementos de soporte y el entrepiso los que rigen el comportamiento diafragmático del entrepiso.

En marcos rígidos, para columnas de secciones de poca inercia, las vigas pueden tender a solicitar mayores secciones para cubrir deficiencias de rigidez del diafragma, lo cual se traduce en un aumento de los costos al tener mayor volumen de hormigón, no obstante, el marco rígido absorbe la deficiencia de rigidez del sistema de entrepiso en una dirección, por ejemplo, los joist, asegurando un comportamiento estructural adecuado. En caso contrario, si las columnas tienen un

mayor aporte de rigidez, el sistema de joist descrito anteriormente se convierte en un sistema más competitivo que un sistema reticular en dos direcciones para claros de 8 metros, aunque para luces mayores el sistema reticular puede presentar ventajas de peralte de la sección compuesta y serviciabilidad en cuanto a las vibraciones inducidas por la actividad humana.

Las pre dimensiones sugeridas por lo códigos resultan eficientes para el control de desplazamientos bajo cargas normales y representan un buen punto de partida para pre dimensionar los elementos. En el caso de las columnas resulta más conveniente pre dimensionar en función de la relación de esbeltez límite $kl/r = 22$ para prescindir de un análisis de segundo orden P-delta (donde k es el factor de longitud efectiva del miembro de longitud l para un radio de giro r de su sección transversal).

Atención a las irregularidades estructurales y discontinuidades en el diafragma.

Es prioritario antes de atender e invertir recursos en un análisis comparativo, identificar y atender las irregularidades estructurales que provengan de la arquitectura inicial, ya que estas afectan de manera directa tanto el comportamiento estructural como el comportamiento diafragmático. Las tablas 1.3.4-4 y 1.3.4-5 del CHOC definen las irregularidades verticales y horizontales respectivamente.

4.4.3.3 Determinación de la flexibilidad del diafragma.

La modelación se debe realizar sin recurrir a una designación de diafragma rígido o flexible, es necesario designar un diafragma semirrígido en caso de contar con la herramienta adecuada como softwares de análisis comerciales como ETABS, STAAD, etc. La Figura 61 nos muestra cómo debe calcularse la flexibilidad del diafragma.

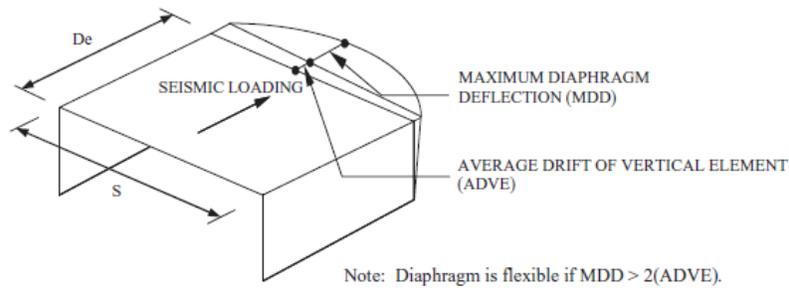


Figura 61. Flexibilidad del diafragma

Fuente ASCE 7-10

La asunción de diafragmas rígidos para un sistema de entrepiso flexible puede inducir errores de entre 20 y 45% en los esfuerzos y desplazamientos, por lo cual es importante determinar la flexibilidad del entrepiso, que, en el caso de designar un diafragma semirrígido, el error se elimina. La flexibilidad del diafragma se determina mediante la medición de la distorsión entre el promedio de los puntos extremos y en el centro o donde ocurra el desplazamiento máximo del entrepiso, el cual puede variar entre bordes paralelos, dependiendo de las irregularidades que encuentren en el mismo (δ). La Figura 62, muestra las posibles distorsiones del entrepiso, representadas por colores, notamos que las distorsiones para cada borne no necesariamente tendrán igual magnitud, esto dependerá de que tan rígido se comporte el entrepiso, siendo similares a mayor rigidez.

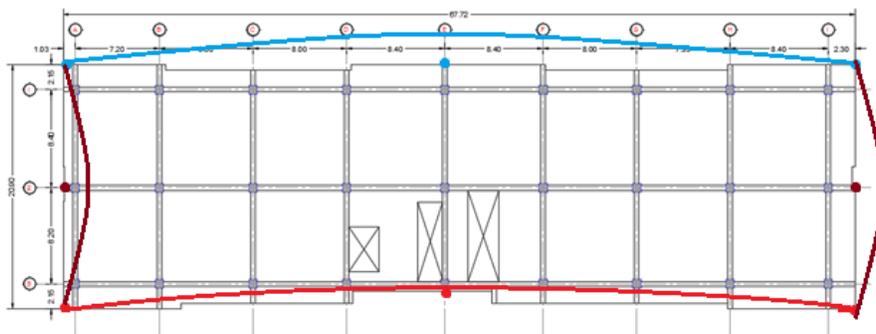


Figura 62. Vista en planta de las posibles distorsiones del entrepiso.

Esta distorsión debe relacionarse con el desplazamiento relativo de las columnas o elementos de soporte (Δ) para determinar cuánto fue el desplazamiento del entrepiso en función al desplazamiento de sus apoyos en la relación δ/Δ . Si la relación δ/Δ supera el valor de 2, estamos en presencia de un diafragma flexible, inferiores a este valor son diafragmas semi rígidos y para el valor de la unidad es un diafragma rígido.

El parámetro de Ju y Lin (1999) es un diferente criterio para determinar el comportamiento diafragmático de un entrepiso el cual relaciona el margen de error ocasionado a partir de la presunción de un diafragma infinitamente rígido comparado con el comportamiento semi rígido del mismo. Para esto, se deben calcular las distorsiones del entrepiso para ambos modelos uno con diafragma rígido declarado (Δ_r) y otro con semirrígido (Δ_f) para determinar el porcentaje de diferencia entre ambos resultados, luego estos se catalogan de acuerdo a la escala donde para valores de $R = 1 - \Delta_r/\Delta_f$ menores del 20% se pueden considerar como rígidos, obteniendo hasta un 20% de error en nuestro análisis si consideramos el diafragma rígido; para relaciones de $0.10 \leq R \leq 0.45$, el comportamiento pudiera considerarse semirrígido y para $R > 0.45$ un diafragma flexible.

4.4.3.4 Evaluación de la respuesta estructural.

Un análisis comparativo de un tablero no resulta suficiente para evaluar el sistema de entrepiso y su acción diafragmática, por lo cual resulta de utilidad hacer la evaluación de múltiples niveles soportado por la tipología que se ha seleccionado. Algunos sistemas resultan más eficientes para ciertas tipologías que otros, por ejemplo, los sistemas de joist requieren el uso de tipologías estructurales de marcos rígidos o duales para poder transferir sus cargas, no obstante, los sistemas de losas solidas de hormigón presforzadas y sistemas reticulares mixtos, pueden prescindir de los

elementos de vigas y aprovechar una tipología de muros de cortante como sistema resistente a cargas laterales.

Los factores que se deben analizar para este punto son el cumplimiento de los desplazamientos relativos horizontales, que están íntimamente relacionados con la rigidez del sistema.

La irregularidad torsional del sistema (Figura 63), que evalúa la distorsión de los puntos extremos de los entrepisos y en cuyo caso se traduce en mayores requerimientos de rigidez y resistencia por parte de los elementos verticales del sistema resistente a cargas laterales. Esta irregularidad se encuentra asociada con la relación existente entre la distribución de esfuerzos entre elementos en los extremos de la estructura y los requerimientos de resistencia de los miembros que la conforman.

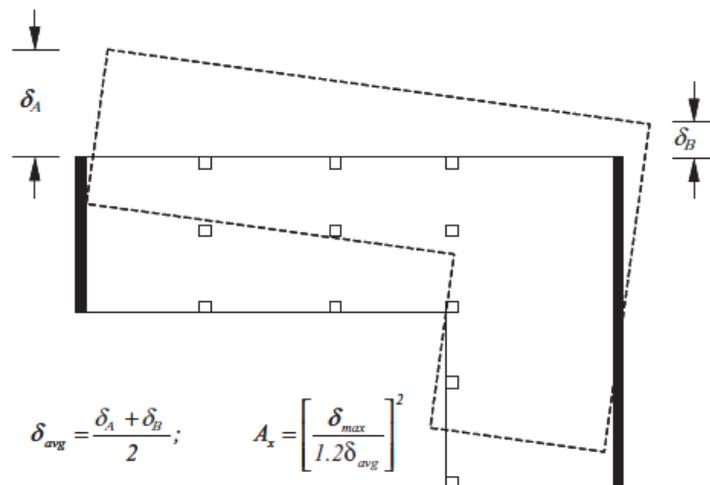


Figura 63. Irregularidad torsional

Fuente ASCE 7-10

El recurso primordial que se gestiona con este instrumento es el tiempo, llevados a cabo los pasos anteriormente expuestos, permiten una selección racional del sistema de entrepiso que

mejor se ajusta en términos de la respuesta estructural, esto permitirá al proyectista racionalizar el tiempo de análisis de resultados, pudiendo reinvertir el tiempo en procesos de reconfiguraciones de las tipologías o detallado de los mismos. La siguiente tabla brindará un auxilio en términos de indicadores de economía, para determinar si los elementos estructurales se encuentran dentro del rango aceptable de costos, sin la necesidad de elaborar una ficha de costos (Tabla 73, Figura 64).

Tabla 74. Parámetros de relación peso de acero / volumen de hormigón
Fuente. Suarez (2002)

Concepto (Peso de Acero / Volumen de Hormigón)	Parámetros (kgf/m ³)	
	Mínimo	Máximo
Zapatas	40	70
Vigas	100	400
Losas de Cimentación	90	175
Columnas	100	600
Losas Planas	50	250
Losas Aligeradas	80	200

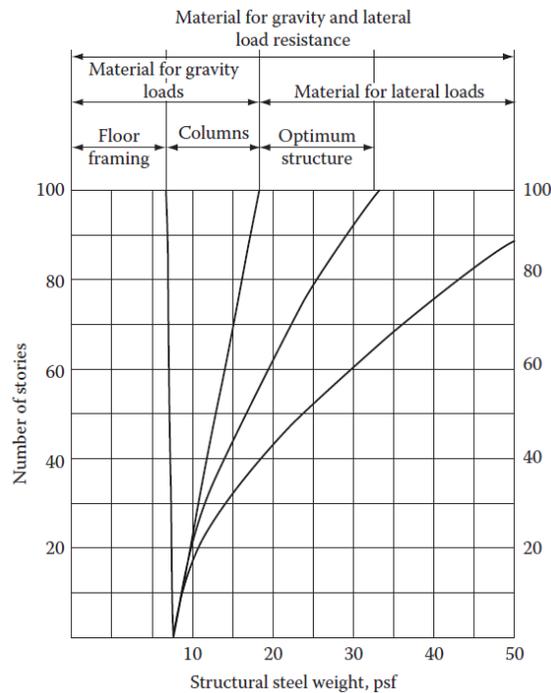


Figura 64. Cantidades de acero para sistemas resistentes gravitacionales y laterales
Fuente Tanarath (2016)

Es recomendable realizar un análisis de vibraciones al entrepiso, si bien se pueden cubrir todos los requisitos de rigidez y resistencia, la susceptibilidad a las vibraciones es un elemento importante en cuanto a la evaluación de la serviciabilidad de la estructura. Para ello podemos utilizar los criterios recomendados para el diseño estructural de la guía de diseño en acero del AISC Floor Vibrations Due to Human Activity (2003), tomando en consideración la aceleración pico en porcentaje de la gravedad $a_o/g \times 100\%$ producto de la fuerza producida por el paso de una persona de 75.34kgf a una frecuencia de 2Hz, una relación de amortiguamiento dependiendo de la estructura analizada. La tabla 74 muestra los valores de estos parámetros recomendados, así como los límites de confort de acuerdo al criterio expuesto por dicha guía y el criterio recomendado por Allen y Murray (Figura 65).

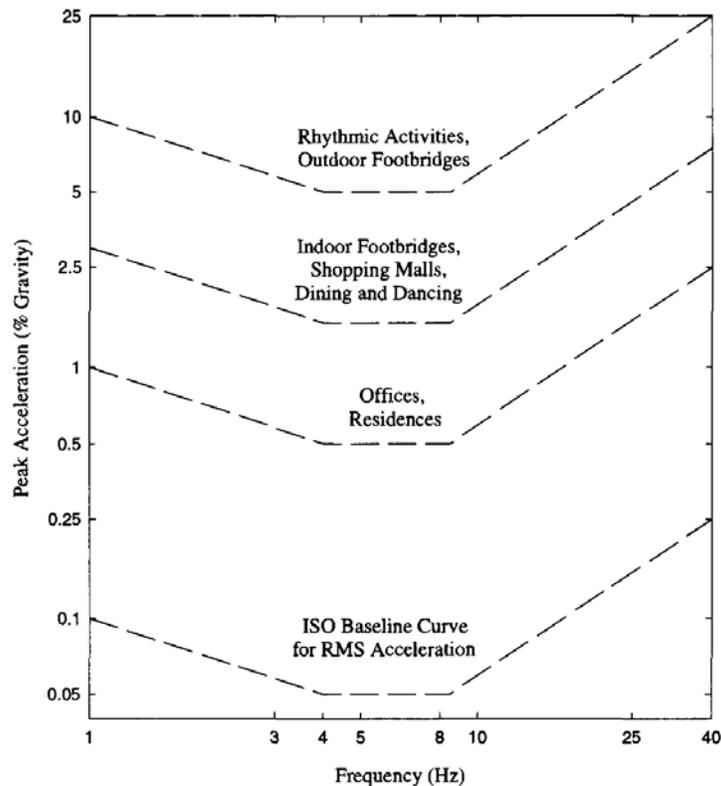


Figura 65. Aceleraciones Pico recomendadas para la comodidad debido a vibraciones por actividad humana (Allen y Murray, 1993)

Fuente AISC DG11 Floor Vibrations Due to Human Activities

Tabla 75. Valores recomendados para los parámetros de amortiguamiento y límites de a_o/g
Fuente AISC DG11 Floor Vibrations Due to Human Activities

Recommended Values of Parameters in Equation (4.1) and a_o/g Limits			
	Constant Force P_o	Damping Ratio β	Acceleration Limit $a_o/g \times 100\%$
Offices, Residences, Churches	0.29 kN (65 lb)	0.02–0.05*	0.5%
Shopping Malls	0.29 kN (65 lb)	0.02	1.5%
Footbridges—Indoor	0.41 kN (92 lb)	0.01	1.5%
Footbridges—Outdoor	0.41 kN (92 lb)	0.01	5.0%

* 0.02 for floors with few non-structural components (ceilings, ducts, partitions, etc.) as can occur in open work areas and churches,
0.03 for floors with non-structural components and furnishings, but with only small demountable partitions, typical of many modular office areas,
0.05 for full height partitions between floors.

4.4.4 Presupuesto

En la elaboración del presente estudio se incurrieron costos expresados en la Tabla 75.

Tabla 76. Presupuesto para la propuesta de análisis comparativo.

Artículo	Unidad	Cantidad	Costo unitario (Lps.)	Subtotal (Lps.)
Movilización	Global	1	5,000.00	5,000.00
Papelería	Global	1	500.00	500.00
Impresiones	Global	1	1,500.00	1,500.00
Gastos administrativos	Porcentual	25%	1,750.00	1,750.00
			Total	8,750.00

Sumado a este costo debe considerarse el recurso de espacio en almacenamiento de memoria para los modelos matemáticos en un total de 28.1GB.

4.4.5 Cronograma

Las fases del análisis comparativo tomaron un total de 106 horas distribuidas en las actividades a continuación descritas en la Tabla 76 y su respectivo diagrama (Figura 66).

Tabla 77. Cronograma para la propuesta de análisis comparativo.

Actividad	Tarea	Supuesto	Resultado	Duración	Inicio	Fin
Fase Inicial 1 nivel	1. Unidad Básica 8x8	Determinación de la rigidez del sistema	Rigideces de los sistemas evaluadas	16 hrs	Viernes 6/2/17	Lunes 6/5/17
	2. Unidades multi Tableros	Efecto del área y relación de aspecto	Comportamiento comparativo entre los sistemas evaluados	20 hrs	Martes 6/6/17	Jueves 6/8/17
Fase Final Multinivel	3. Unidades 3, 5 y 10 Niveles	Comparativa de rigidez de los sistemas	Diferencias de Rigidez entre los sistemas evaluadas	45 hrs	Viernes 6/9/17	Viernes 6/16/17
	4. Vibración en tableros	Serviciabilidad de los sistemas	Eficiencia en la serviciabilidad del sistema evaluada	15 hrs	Sábado 6/17/17	Lunes 6/19/17
Análisis de Resultados	5. Análisis de Resultados	Diferencias entre los sistemas	Comprobación de Hipótesis y conclusiones	10 hrs	Martes 6/20/17	Miércoles 6/21/17

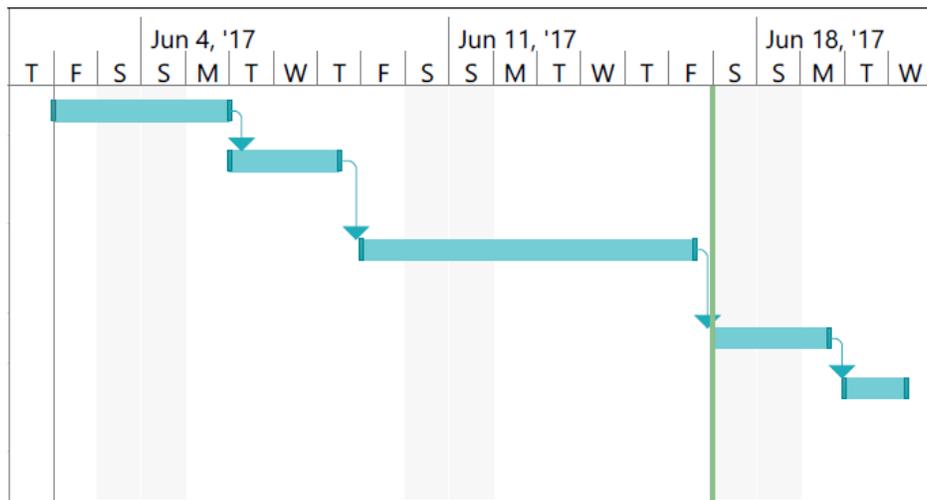


Figura 66. Diagrama de Gantt para la propuesta de análisis comparativo.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Uno de los principales factores que potencian la rigidez diafragmática pasa por asegurar la adecuada transferencia a cortante de la sección de hormigón en los entrepisos mixtos, mediante la cual se logra el efecto de la sección compuesta. La transferencia cortante resulta crítica al momento de configurar nuestro entrepiso para que cumpla su función en la acción diafragmática ante cargas laterales, caso contrario el entrepiso funciona como un simple transmisor de cargas gravitacionales delegando su función de diafragma al marco rígido que le confina. Esto puede acarrear posibles problemas de fisuración, vibraciones y la consecuente sobredemanda de inercia en las viguetas metálicas que le brindan soporte.

Los espesores comúnmente utilizados para las losas compuestas de un firme de hormigón de 5cm sumado a una lámina colaborante sobre joist en una o dos direcciones, siempre que se proporcione la adecuada transferencia cortante, se comportan como diafragmas rígidos. Esto es coincidente para el caso cuando los elementos verticales que componen el sistema lateral resistente son lo suficientemente flexibles como para no acentuar la distorsión de deformaciones en el plano de los entrepisos con respecto a estos. En el caso de elementos verticales de gran aporte de rigidez como los muros de cortantes, la ubicación en planta y la relación de aspecto son factores que influyen de manera directa para el comportamiento diafragmático de estos entrepisos y su rigidez, limitando el comportamiento rígido del diafragma.

2. El desconocimiento del sistema reticular mixto por parte del gremio de ingenieros civiles consultados en un 63%, sumado al desuso de estas tecnologías en un 33% y el 23% que desconocen el riesgo sísmico existente en el suelo nacional confirman la necesidad real de información respecto

al comportamiento diafragmático de los sistemas de entrepisos sometidos a cargas laterales, por lo que la presente investigación funcionará como un instrumento de información para los ingenieros proyectistas y para futuras investigaciones en el área de los entrepisos mixtos aligerados.

3. Del análisis comparativo de la respuesta de sistemas de diafragma de losas mixtas con vigas joist y losas mixtas reticulares, el mayor beneficio observado fue contar con una mayor rigidez del diafragma para el sistema reticular, obteniendo una disminución y mejor control de los desplazamientos relativos horizontales, de igual forma, la distribución interna de los esfuerzos tendió a ser más uniforme para todos los miembros respecto al sistema de referencia, reduciendo así las concentraciones que dan como resultado mayores secciones de vigas y columnas. También, debido a la acción en dos direcciones del sistema reticular respecto al comportamiento de losa en una dirección del sistema de referencia (Joist), se logró un mejor control de las deflexiones verticales fuera de plano.

A nivel de serviciabilidad, los sistemas reticulares mixtos demuestran un mejor desempeño respecto al sistema de referencia de joist en una dirección, si bien el sistema de referencia presentó un requerimiento de volumen de materiales (en especial el que conforma la retícula que sostiene el entrepiso), carece de la rigidez necesaria para cubrir los criterios de serviciabilidad ante las vibraciones inducidas por la actividad humana, lo cual deberá corregirse con un aumento o en el espesor de la losa mixta o en un mejor arriostramiento entre viguetas, conduciéndolo a un sistema similar al EEMG. Por otro lado, los sistemas reticulares cumplen sin problemas este apartado inclusive para claros de entrepiso de 16.60m x 23.20m para la topología piramidal respecto al sistema de referencia (cuyo claro máximo fue de 8.40x8.40m).

4. La alternativa más factible como resultado del análisis comparativo propuesto, en función lograr la respuesta más eficiente de la estructura es el concepto de losas reticulares mixtas, tanto para su topología generalizada de joist en dos direcciones como la clásica piramidal, presentaron una rigidez similar para ambas direcciones e inclusive superior al 30.1% para el caso del sistema de estructura espacial mixta generalizada (EEMG) respecto al sistema de referencia menos rígido de viguetas de alma abierta en una dirección. Este comportamiento representa una mejora respecto a los desplazamientos relativos laterales, distribución de esfuerzos más uniforme para todos los elementos estructurales y desplazamientos verticales absolutos. Estas mejoras confirman la hipótesis: a mayor rigidez lateral del diafragma del sistema mixto de entrepiso, mayor eficiencia de la respuesta estructural del edificio. A su vez, en la fase inicial del estudio comparativo se observó que, para el sistema de entrepiso de joist en una dirección, la rigidez diafragmática en el plano para la dirección perpendicular a la orientación de las viguetas de alma abierta o joist se compensó con una mayor rigidez de las vigas de apoyo. Esta compensación confirma la hipótesis que: al implementar sistemas de entrepisos aligerados soportados sobre marcos rígidos, el sistema de pórticos toma un papel mayoritario en el aporte de la rigidez del diafragma.

5.2 Recomendaciones

1. Cuando se pretende la utilización de un sistema de entrepiso mixto, es primordial que se asegure la correcta transferencia cortante entre este y su sistema de apoyo (joist, retícula o viga), mediante la cual se logre la colaboración de la sección compuesta, la cual muestra una mejora en el control de deflexiones verticales, comportamiento diafragmático y respuesta de la estructura.

2. Del estudio realizado en la etapa 1, en necesario por parte del gremio de ingenieros civiles en Honduras, una actualización del código de construcción. Esta actualización requiriere ajustes respecto a las provisiones con las que no se cuenta hoy en día, sobre todo en el diseño de secciones de viguetas de alma abierta similares a las recomendadas por el Steel Joist Institute, así como provisiones para el análisis de vibraciones inducidas por la actividad humana, cuya carencia promueve el uso de normativas actualizadas por comités especializados, los cuales ahora presentan filosofías de diseño completamente diferentes a la actualmente establecida en el CHOC. Algunas de estas normativas actuales resultan incompatibles con el actual código hondureño. Un ejemplo representativo de esto es la revisión de los desplazamientos relativos que en el CHOC (ó UBC 94) se revisan considerando las secciones no agrietadas de los elementos y que a partir de 1997 se modificó por el uso de secciones agrietadas y una consecuente reducción en la exigencia de los parámetros límites.

3. El sistema reticular mixto demostró tener una mejora en la respuesta de la estructura, cubriendo las necesidades de comodidad ante vibraciones para grandes claros, pero queda plasmado que no es económicamente competitivo respecto al sistema de referencia. Resulta necesario ampliar la presente investigación para lograr el punto de equilibrio en cuanto a costos determinando a partir de que longitudes de claro, el sistema reticular se vuelve más competitivo en función de costos y otros factores como la tipología de soporte (Marcos de acero, Marcos arriostrados, sistemas duales, etc.).

4. De la teoría de diafragma, es muy común en la práctica que las asunciones de un diafragma rígido o flexibles corresponden a una aproximación de la realidad. Esta aproximación se basa en la intención de facilitar el análisis matemático. La filosofía del diseño en la que se

inspiran los códigos como el UBC 94 al igual que el CHOC 2008, instan a rigidizar el diafragma pudiendo incurrir en errores de análisis de desplazamientos y esfuerzos con porcentaje de hasta un 20% tal y como lo expresa el índice de Ju y Lin. Para los entresijos mixtos es necesario entonces evaluar la estructura mediante un diafragma semirrígido, lo cual nos asegurará no incurrir en errores de este tipo. En caso de no contar con la herramienta que permita dicha evaluación, el índice de Ju y Lin puede permitir evaluar cuál de las aproximaciones de comportamiento (rígido, semirrígido o flexible) es el adecuado para analizar la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

American National Standards Institute / Steel Deck Institute (2012). C-2011 Standard for Composite Steel Floor Deck - Slabs. USA. Recuperado de http://www.sdi.org/wp-content/uploads/2013/04/SDI_ANSI_C_2011.pdf

American Society of Civil Engineers (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. ASCE STANDARD ASCE/SEI 7-10. Reston, Virginia, USA.

American Institute of Steel Construction AISC. (2003). Steel Design Guide Series 11, Floor Vibrations Due to Human Activity. USA.

Bernal, C. A. (2010). *Metodología de la investigación* (3 ed.). Colombia: PEARSON EDUCACIÓN.

Bhuiyan, Leon (2013). *Effect of diaphragm flexibility on tall building responses*. Structures Congress 2013, ASCE. Obtenido de ascelibrary.org

Bozzo M., Bozzo L. (2003). *Losas reticulares mixtas. Proyecto, análisis y dimensionamiento*. Barcelona España: Editorial Reverté, S.A.

Castillo Juárez, Antonio H. (2013). *Estructura tridilosa para grandes claros*. México: Editorial Trillas.

Castillo Martínez, H. (1960). *Invariantes estructurales (Fundamentos para una Nueva Teoría de las Estructuras)* (1 ed.). México: Ediciones Bajío.

Castillo Martínez, H. (1967). *Un método para el cálculo de estructuras reticulares* (1 ed.). México.

Colegio24hs. (2004). *Métodos Científicos*. Buenos Aires, AR: Colegio24hs. Obtenido de <http://www.ebrary.com>

Comité Técnico (2008) Código Hondureño de la Construcción. Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras. Tegucigalpa, Honduras, C.A.

Decreto 173-2010. (2010, de Diciembre de). La Gaceta, Diario oficial de la República de Honduras. Obtenido el 1 de junio de 2017 desde <http://www.tsc.gob.hn/leyes/C%C3%B3digo%20Hondure%C3%B1o%20de%20Construcci%C3%B3n.pdf>

Diario La Tribuna Honduras (2005). *Construirán cinco puentes peatonales*. Obtenido de <http://www.latribuna.hn/2015/06/17/construiran-cinco-puentes-peatonales/>

Dirección Ejecutiva de Gestión de Tecnología UNAH (2015). Obtenido de <https://utv.unah.edu.hn/deportes/complejo-deportivo-de-la-unah-recibira-reconocimiento-internacional/>

Ebe (2005-2007). Eboptica. (Blog). Obtenido de <http://eboptica.blogspot.com/2006/07/>

Figueroa, A., Ramírez, H., & Gutiérrez, J. (2014). *Introducción a la metodología experimental* (1 ed.). Biblioteca Virtual Pearson. Obtenido de <https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookDetail.aspx?b=1439>

Formularios Google (2017). Herramienta para generación de encuestas electrónicas. USA.

- Gere, J., & Goodno, B. (2015). *Mecánica de Materiales* (8 ed.). Cengage Learning Editores.
Retrieved from <https://bibliotecavirtual.cengage.com/books/2927-mecanica-de-materiales>
- Girón, René (2013). *Comportamiento de losa como diafragma rígido* (tesis de posgrado).
Universidad Tecnológica Centroamericana. Tegucigalpa, Honduras, C.A.
- Hadianfard, Sedaghat (2012). *Investigation of joist floor diaphragm flexibility on inelastic behavior of steel braced structures*. Scientia Iranica, abril 2013, 20(3): 445-453.
- Hurtado Gómez, J. E. (2002). *Introducción al análisis estructural por elementos finitos* (1 ed.).
Universidad Nacional de Colombia: Centro de Publicaciones. Obtenido de
<http://www.bdigital.unal.edu.co/10002/6/958932276X.2002.pdf>
- International Code Council (2006). *International Building Code*. USA.
- Ju, S. H. & M. C. Lin (1999), Comparison of building analyses assuming rigid or flexible floors,
ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 1, pp. 25–31
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1998). *Juran's Quality Handbook* (5 ed.). USA: McGraw-Hill.
- Lindeburg, M. R., & McMullin, K. M. (2008). *Seismic Design of Building Structures* (9 ed.).
Belmont, California, USA: Professional Publications, Inc.
- Martínez J., Ramírez H. (Julio-octubre 2000). Espacio del Divulgador: La Ingeniería Estructural.
CIENCIA ergo-sum. Vol. 7 (2), 171-172.
- Naeim F. (2001). *The seismic Design Handbook*. Chapter 8 Seismic Design of Floor
Diaphragms. Springer Science+Business Media, New York, USA.

Nielson B. (2013). *Lecture #11 Diaphragm Definition*. Structural Loads and Systems course.

Clemson University. SC, USA. Obtenido de

https://ensemble.clemson.edu/app/plugin/embed.aspx?playlistEmbed=true&destinationID=52v8BmtWMEq7CCEQT6iwBA&contentID=jmqoIU_T90GS3aV_r89JCg&pageIndex=1&pageSize=10

Rafael Sabelli, Thomas A., Sabol W. Samuel Easterling (2011). *Seismic design of composite steel deck and concrete-filled diaphragms a guide for practicing engineers*. NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 5. Agosto, 2011. USA.

Sistema de Difusión de Radio y Televisión (2015). *Complejo Deportivo de la UNAH recibirá distinción internacional en Alemania*. Obtenido de

<https://utv.unah.edu.hn/deportes/complejo-deportivo-de-la-unah-recibira-reconocimiento-internacional/>

Suarez, C. (2002). *Costo y tiempo de edificación* (1 ed.). México: Editorial Limusa, S.A. de C.V.

Tanarath B. (2016). *Tall Building Design. Steel, concrete, and Composite Systems*. Taylor & Francis Group. Florida, USA.

Tena-Colunga (2000). *Comparison of building analyses assuming rigid or flexible floors*. Journal of Structural Engineering, 126(2): 272-274.

Tena-Colunga, A. (2007). *Análisis de estructuras con métodos matriciales* (1 ed.). México: LIMUSA.

Torre M. (2017). *Curso de Proyecto de Diseño*. Notas de clase. UNITEC, Tegucigalpa, Honduras.

Torre M. (2015). *Mecánica de las estructuras*. Notas de clase. UNITEC, Tegucigalpa, Honduras.

Uniform Building Code (1994). *Structural Engineering Design Provisions*. Volumen 2.

California USA. Obtenido de http://digitalassets.lib.berkeley.edu/ubc/UBC_1994_v2.pdf

Virginia Polytechnic Institute and State University (2011). *Structure and Form Analysis System*.

Obtenido de http://www.setareh.arch.vt.edu/safas/003_history_01.html

ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario de la encuesta aplicada en la etapa 1.

Encuesta

La presente encuesta tiene como propósito justificar la necesidad de proporcionar información sobre alternativas de sistemas estructurales de entrepiso que mejoren la respuesta sísmoresistente de las edificaciones.

*Obligatorio

1.- ¿Tiene conocimiento del riesgo sísmico en Honduras? *

Si

No

2.- ¿Qué normativa de construcción observa en el desarrollo de sus proyectos y obras? *

(Selección múltiple)

Código Hondureño de la Construcción CHOC-08

ACI-318 en versiones posteriores a 1999

AISC 360

Eurocódigo

Ninguno

Otro: _____

3.- Cuando selecciona un sistema de entrepiso a implementar ¿Qué elementos toma en consideración? (Valore la importancia en orden de 5-1, donde 5 es más importante que 1).

(a)_Cumplimiento de la normativa *

1 2 3 4 5

(b)_Facilidades constructivas *

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

(c)_Calidad de los materiales *

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

(d)_Tiempo de construcción *

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

(e)_Costos *

1	2	3	4	5
<input type="radio"/>				

4.- ¿Utiliza algún tipo de entrepisos aligerados en sus obras? *

- Sí
- No

4.1- ¿Por qué si utiliza sistemas de entrepiso aligerados?

(Selección múltiple)

- Rapidez constructiva
- Reducción de obra falsa (apuntalamientos)
- Menor impacto ambiental (menos uso de madera u otro material de encofrados)
- Bajo costo del sistema mismo
- Menor peso de la estructura
- Otro: _____

4.2- ¿Por qué no utiliza sistemas de entrepiso aligerados? *

(Selección múltiple)

- Problema con vibraciones
- Requiere de mano de obra calificada
- Alto costo del sistema mismo
- Su comportamiento contra incendios
- Mayor peralte del entrepiso
- Otro: _____

5.- Independientemente del sistema de entrepiso que utiliza, si se le proporcionara un sistema aligerado que cubre con los requerimientos de la normativa vigente, pero ligeramente superior en costo ¿Cambiaría de sistema? *

- Sí
- No

6.- ¿Conoce el sistema de entrepiso aligerado conformado por estructuras tipo joist en ambas direcciones conocido como tridilosa? *

- Si
- No

ATRÁS

ENVIAR

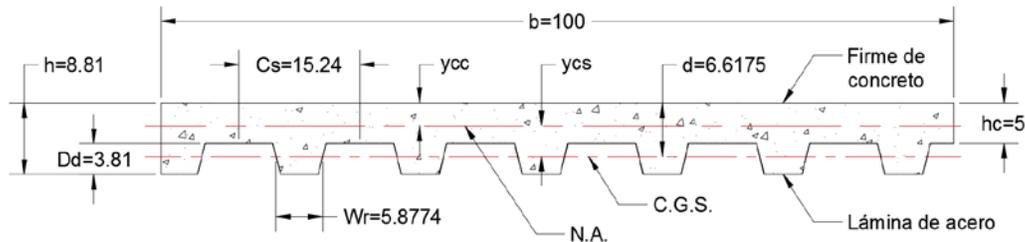
Anexo 2. Cálculo del espesor equivalente del entrepiso compuesto:

Fase inicial:

Cálculo del espesor equivalente a través de la Inercia del entrepiso compuesto

Elaborado por: Daniel Mendoza

Procedimiento del anexo 4 de la normativa C-2011 Para losas de entrepisos compuestos. (ANSI/SDI, 2012)



d=	6.6175 cm	fc=	280 kg/cm ²
Cs=	15.24 cm	Ec=	252671 kg/cm ²
Wr=	5.8774 cm	Es=	2030000 kg/cm ²
Dd=	3.81 cm	Wc=	0.0024 kg/cm ³
h=	8.81 cm	Ws=	5.7 kg/m ²
hc=	5 cm	Isf=	7.6018

Momento de Inercia de la sección agrietada

As=	2.8943 cm ² /m	Ac=	649.232 cm ² /m
ρ=	0.00437	n=	8.03415
b=	100 cm		
Ycc=	1.53711 cm	Ic=	97.3727 cm ⁴ /Acero
Ycs=	5.08039 cm		

Momento de Inercia de la sección no agrietada

Ycc=	3.60863 cm	Iu=	460.8 cm ⁴ /Acero
Ycs=	3.00887 cm		

Momento de Inercia de la sección compuesta

Id=	279.086 cm ⁴ /Acero
Id=	2242.22 cm ⁴ /hormigón

Espesor equivalente para una placa rectangular

t=	6.45585 cm
----	------------

Ajuste del peso del entrepiso equivalente

Peso Real		Peso equivalente	
Acero=	5.7 kg		
Hormigón=	155.816 kg	Hormigón=	154.94 kg/m ²
Σ=	161.516 kg/m ²	Σ=	154.94 kg/m ²

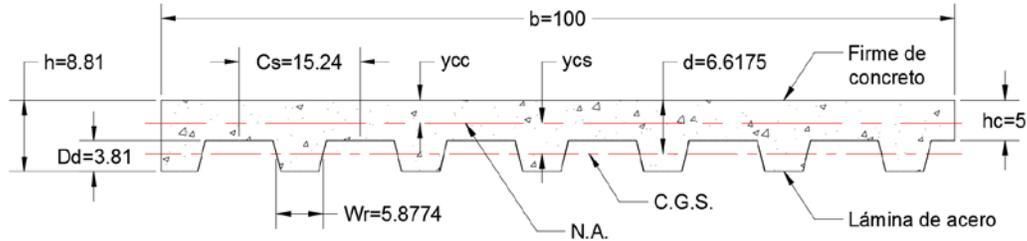
Diferencia=	6.57529 kg/m ²
-------------	---------------------------

Fase final para JOIST y EEMG:

Cálculo del espesor equivalente a través de la Inercia del entrepiso compuesto

Elaborado por: Daniel Mendoza

Procedimiento del anexo 4 de la normativa C-2011 Para losas de entrepisos compuestos. (ANSI/SDI, 2012)



d=	6.6175 cm	fc=	210 kg/cm ²
Cs=	15.24 cm	Ec=	218820 kg/cm ²
Wr=	5.8774 cm	Es=	2030000 kg/cm ²
Dd=	3.81 cm	Wc=	0.0024 kg/cm ³
h=	8.81 cm	Ws=	5.7 kg/m ²
hc=	5 cm	Isf=	7.6018

Momento de Inercia de la seccion agrietada

As=	2.8943 cm ² /m	Ac=	649.232 cm ² /m
ρ=	0.00437	n=	9.27704
b=	100 cm		
Ycc=	1.63564 cm	Ic=	95.1581 cm ⁴ /Acero
Ycs=	4.98186 cm		

Momento de Inercia de la seccion no agrietada

Ycc=	3.6247 cm	Iu=	403.575 cm ⁴ /Acero
Ycs=	2.9928 cm		

Momento de Inercia de la seccion compuesta

Id=	249.366 cm ⁴ /Acero
Id=	2313.38 cm ⁴ /hormigón

Espesor equivalente para una placa rectangular

t=	6.52343 cm
----	------------

Ajuste del peso del entrepiso equivalente

Peso Real		Peso equivalente	
Acero=	5.7 kg		
Hormigón=	155.816 kg	Hormigón=	156.562 kg/m ²
Σ=	161.516 kg/m ²	Σ=	156.562 kg/m ²

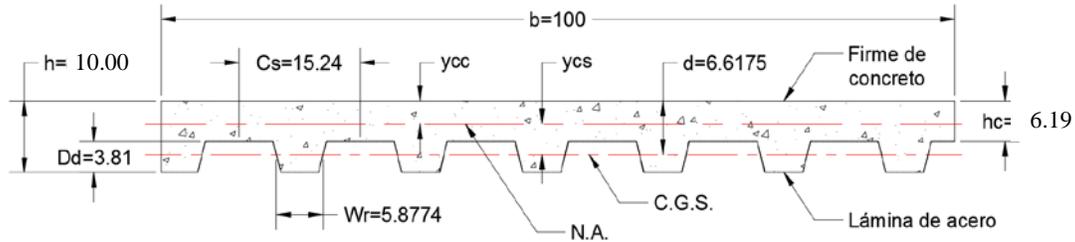
Diferencia=	4.95324 kg/m ²
-------------	---------------------------

Fase final para EEMP:

Cálculo del espesor equivalente a través de la Inercia del entrepiso compuesto

Elaborado por: Daniel Mendoza

Procedimiento del anexo 4 de la normativa C-2011 Para losas de entrepisos compuestos. (ANSI/SDI, 2012)



d= 6.6175 cm	fc= 280 kg/cm ²
Cs= 15.24 cm	Ec= 252671 kg/cm ²
Wr= 5.8774 cm	Es= 2030000 kg/cm ²
Dd= 3.81 cm	Wc= 0.0024 kg/cm ³
h= 10 cm	Ws= 5.7 kg/m ²
hc= 6.19 cm	Isf= 7.6018

Momento de Inercia de la seccion agrietada

As= 2.8943 cm ² /m	Ac= 768.232 cm ² /m
ρ= 0.00437	n= 8.03415
b= 100 cm	
Ycc= 1.53711 cm	Ic= 97.3727 cm ⁴ /Acero
Ycs= 5.08039 cm	

Momento de Inercia de la seccion no agrietada

Ycc= 4.12971 cm	Iu= 663.699 cm ⁴ /Acero
Ycs= 2.48779 cm	

Momento de Inercia de la seccion compuesta

Id= 380.536 cm ⁴ /Acero
Id= 3057.28 cm ⁴ /hormigón

Espesor equivalente para una placa rectangular

t= 7.15878 cm

Ajuste del peso del entrepiso equivalente

Peso Real		Peso equivalente	
Acero=	5.7 kg		
Hormigón=	184.376 kg	Hormigón=	171.811 kg/m ²
Σ=	190.076 kg/m ²	Σ=	171.811 kg/m ²

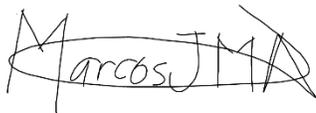
Diferencia=	18.2649 kg/m ²
-------------	---------------------------

Anexo 3: Constancia de lectura y revisión de redacción y ortografía.

Constancia de Lectura

Por este medio yo Marcos Javier Martínez Andino, ingeniero civil de profesión, con maestría en Ingeniería de Estructuras y candidato a Doctor en Clemson University (USA), donde me desempeño como investigador asistente. Hago constar que he realizado la lectura de la tesis Análisis del comportamiento diafragmático de las losas reticulares mixtas, sustentada por Daniel Enrique Mendoza Corrales, previo a la investidura al título de Máster en ingeniería de estructuras, realizando las correspondientes revisiones de redacción y ortografía.

Y para los fines que el interesado convenga firmo la presente constancia a los 21 días del mes de junio de 2017, en la ciudad de Clemson, Carolina del Sur, Estados Unidos de Norteamérica.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Marcos JMA', with a horizontal line drawn through the middle of the letters.

Marcos Javier Martínez Andino

Teléfono: +1 (864) 735-4616

Correo electrónico: marcosm@clemson.edu

ANEXO 4 Visto bueno Asesor Temático Joaquín Edgardo Torre Moncada

6/22/2017

Correo - dan85_01@hotmail.com

VoBo. Tesis Daniel

JTORRE <jetorrem@gmail.com>

jue 22/06/2017 09:54 a.m.

Para: 'Daniel Enrique Mendoza Corrales' <dan85_01@hotmail.com>;

Estimado Daniel Mendoza

Por este medio hago constar que su trabajo de tesis titulado “Análisis Del Comportamiento Diafragmático de las Losas Reticulares Mixtas”, previo a la obtención del grado de Máster en Ingeniería de Estructuras, ha sido realizado bajo mi dirección, control y supervisión en todos los aspectos que mi asesoría temática respecta. Por lo cual le doy mi visto bueno para que proceda con los trámites que corresponden.

Saludos,

Joaquín E. Torre M.

D.Sc., M.A.E., M.Sc., Ingeniero civil
Consultor en mecánica estructural

Anexo 5 Visto Bueno Asesor temático Oscar Reniery Sánchez Rosales

6/21/2017 Mail - daniel_mendoza@unitec.edu

Re: Version Final de Tesis Daniel Mendoza

Oscar Sanchez <osanchezr1966@gmail.com>

Wed 6/21/2017 10:50 PM

To: DANIEL ENRIQUE MENDOZA CORRALES <daniel_mendoza@unitec.edu>;

Estimados ingeniero Mendoza:

Por este medio les informo que leído y revisado su tesis, por lo tanto le estoy dando visto bueno para su respectivo tramite .

Sin otro particular

--

Oscar Sanchez
MIE, Ingeniero Civil
CICH 1882
Cel. 99980497