COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE LOSAS DE ENTREPISO, USADOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO PARA EDIFICIOS DE CINCO PISOS DE ALTURA

JONATHAN ESTEBAN VARGAS
DILAN DAYAN CUELLAR MELGAREJO

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2021

COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL Y ECONÓMICO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE LOSAS DE ENTREPISO, USADOS EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO PARA EDIFICIOS DE CINCO PISOS DE ALTURA

JONATHAN ESTEBAN VARGAS
DILAN DAYAN CUELLAR MELGAREJO

Monografía presentada como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Tutor
PAULO MARCELO LÓPEZ PALOMINO
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ D.C.
2021

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 8
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 10
2. JUSTIFICACIÓN 11
3. OBJETIVOS 12
3.1. OBJETIVO PRINCIPAL 12
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12
4. MARCO DE REFERENCIA 13
4.1. MARCO DE ANTECEDENTES 13
4.1.1. Antecedentes de la construcción con losa reforzada 13
4.1.2. Construcción de edificaciones en la actualidad y su uso 13
4.1.3. Evolución de las losas aéreas o placas de entrepiso en concreto. .. 14
4.1.4. Evolución de las losas en metaldeck 15
4.1.5. Losas de entrepiso más usadas en Colombia 16
4.1.6. Estudios previos 18
4.2. MARCO NORMATIVO 23
4.3. MARCO CONCEPTUAL 26
4.3.1. Losas aéreas o placas de entrepiso 26
4.3.2. Tipos de losas 26
4.3.3. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de losas de entrepiso 37
5. DISEÑO METODOLÓGICO 39
5.1. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL 40
5.2. COMPARACIÓN ESTRUCTURAL Y ECONÓMICA 41
6. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL 43
6.1. PARAMETROS DE DISEÑO 43
6.1.1. Localización 43
6.1.2. Uso 44
6.1.3. Configuración arquitectónica y distribución de espacios 44
6.1.4. Parámetros sísmicos 47
6.1.5. Configuración estructural 48
6.1.6. Materiales 49

6.1.7. Normas de referencia para el analisis y diseño 49
6.1.8. Obtención de los centros de gravedad e inercias 50
6.2. EVALUACIÓN DE CARGAS 52
6.2.1. Fuerza de vientos 52
6.2.2. Otras cargas 55
6.2.3. Cargas vivas (L) 55
6.2.4. Elementos no estructurales – cargas muertas (D) (B.3.4 NSR-10) .. 55
6.2.5. Análisis comparativo cargas muertas 58
6.3. DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL DEL MODELO 59
6.3.1. Secciones vigas y columnas 59
6.4. PERIODOS Y FRECUENCIAS MODALES 60
6.4.1. Radios de participación carga modal 60
6.5. FUERZAS CORTANTES DE PISO (No Ajustadas) 61
6.6. AJUSTE DE RESULTADOS 63
6.7. FUERZAS CORTANTES DE PISO AJUSTADAS 63
6.8. COMPROBACIÓN DE LOS LÍMITES DE LA DERIVA 66
6.9. COMBINACIONES BÁSICAS DE DISEÑO (NSR-10 B.2) 67
6.10. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL 68
6.10.1. Análisis y diseño vigas nivel 2 (A_s requerido) 68
6.10.2. Análisis y diseño vigas nivel 3 (A_s requerido) 68
6.10.3. Análisis y diseño vigas nivel 4 (A_s requerido) 68
6.10.4. Análisis y diseño vigas nivel 4 (A_s requerido) 69
6.10.5. Análisis y diseño vigas nivel 5 (A_s requerido) 69
6.11. REFUERZO EN COLUMNAS 70
6.11.1. Diagrama de interacción sección columnas 40x45 y 40x40 respectivamente 70
6.12. CALCULO DE DEFLEXIONES 72
6.12.1. Deflexión máxima por carga viva (cm) 73
6.12.2. Deflexión máxima por carga muerta (cm) 75
6.12.3. Cálculo de Deflexiones 77
6.13. ANÁLISIS Y DISEÑO CIMENTACIÓN 77
6.13.1. Reacción por carga de servicio y carga ultima 77
6.13.2. Diseño zapatas 78

9. CONCLUSIONES 89
BIBLIOGRAFÍA 91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área causada por destinos residencial y no residencial (miles de metros cuadrados). I trimestre 2017 – III trimestre 2020 13
Figura 2. Distribución del área iniciada para VIS, por sistema constructivo I trimestre del 2006 17
Figura 3. Distribución de las unidades iniciadas para No VIS, por sistema constructivo I trimestre del 2006 17
Figura 4. Clasificación de las losas de entrepiso 26
Figura 5. Placa con acción estructural en una dirección 27
Figura 6. Placa con acción estructural en dos direcciones 27
Figura 7. Deformación de una placa con acción estructural en una dirección 28
Figura 8. Deformación de una placa con acción estructural en dos direcciones 28
Figura 9. Placa apoyada sobre columnas (Losa de placa plana) 29
Figura 10. Placa apoyada sobre columnas (Losa plana) 29
Figura 11. Losa reticular 29
Figura 12. Losa maciza apoyada sobre viga 30
Figura 13. Placa aligerada 31
Figura 14. Placa fácil 32
Figura 15. Bloquelón 33
Figura 16. Perfil de entrepiso 33
Figura 17. Lámina colaborante 35
Figura 18. Diagrama de flujo para el análisis estructural y económico de las losas de entrepiso 39
Figura 19. Diagrama de flujo para el análisis y diseño estructural de una edificación 40
Figura 20. Localización específica de la edificación 44
Figura 21. Planta arquitectónica del primer y segundo piso de la edificación a analizar 45
Figura 22. Corte transversal de la edificación a analizar 46
Figura 23. Parámetros sísmicos para la edificación en estudio 47
Figura 24. Espectro de diseño para el proyecto en estudio 47
Figura 25. Configuración estructural 48
Figura 26. Centro de gravedad e inercia placa nivel 2 50
Figura 27. Centro de gravedad e inercia placas niveles 3, 4, 5 y cubierta 51
Figura 28. Mapa de amenaza eólica en Colombia 52
Figura 29. Análisis de las cargas de viento consideradas en el proyecto 53
Figura 30. Modelo de la estructura en concreto 59
Figura 31. Refuerzo columnas 70

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estructura general del área censada por estado de obra, según áreas de cobertura (m²)..... 13
Tabla 2. Especificaciones de láminas de Metaldeck 36
Tabla 3. Otras cargas consideradas en el proyecto de estudio..... 55
Tabla 4. Cargas vivas consideradas en el proyecto 55
Tabla 5. Cargas muertas consideradas en el proyecto 56

INTRODUCCIÓN

En la concepción de un proyecto arquitectónico se debe considerar cuales son los elementos estructurales que mejor se adaptan a la configuración espacial del proyecto, es por ello que parámetros geométricos como: la altura de los pisos, espesores de placas, dimensiones de los ductos y vacíos, configuran tanto el borde de la estructura como el sistema de placas de entrepisos. Ahora bien, en el mercado existen diferentes sistemas de placas de entrepisos que se diferencian en función del material, costo y comportamiento estructural. Entre los más usados en Colombia para estructura en concreto se encuentran:

- Sistema con losa maciza en concreto reforzado.
- Sistema de losa aligerada (concreto reforzado).
- Sistema de losa con moldaje colaborante (lámina colaborante).
- Sistema de losas prefabricadas (en concreto).

Para las estructuras en acero suele usarse sistemas similares con losas en concreto reforzado, pero que difiere en el sistema de uniones entre la placa y la estructura, que por lo general se realiza con la ayuda de anclajes y pernos. Dentro de los más usados se encuentran:

- Sistema con losa tradicional en concreto reforzado.
- Sistema de vigas y viguetas en acero, con tableros de concreto.
- Sistema de losa con moldaje colaborante (lámina colaborante).

Por otro lado, la NSR-10 define que es función del arquitecto o ingeniero definir el sistema de placa de entrepiso que se diseñará para la edificación, además, establece consideraciones para su elección, dentro de las principales se tienen:

- Uso de la edificación.
- Cargas a las cuales va a estar expuesta la edificación.
- Disposición de las redes (sanitaria, hidráulica, contra incendios y eléctrica).
- Altura de pisos.
- Proceso constructivo.
- Materiales.
- Costos.

En ese sentido, en el presente trabajo se pretende encontrar los criterios necesarios que se deriven del análisis y diseño de los diferentes sistemas constructivos de entrepiso que existen en la actualidad, incluyendo losa maciza, losa aligerada en una dirección, lámina colaborante y placa fácil, con el fin de establecer parámetros que permitan definir cuál de ellos es el más adecuado en la construcción de una

edificación, teniendo en cuenta también el costo de cada sistema por metro cuadrado.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad existen diferentes sistemas de losas de entrepiso y aunque se han divulgado las ventajas y características de la mayoría de estos, al consultar el estado del arte referente al tema, es evidente la escasez de investigación académica y bibliográfica disponible a nivel nacional. Adicional a esto, los estudios encontrados ofrecen una descripción cualitativa donde se destacan las características y ventajas de cada sistema, pero no se realizan comparaciones que analicen a profundidad las diferencias entre ellos, no se contrastan índices de resistencia y costo. Como resultado de estas incertidumbres los diseñadores y constructores prefieren emplear métodos tradicionales o convencionales según la experiencia, sin saber que pueden existir alternativas que aseguren mayor eficiencia.

En otras palabras, en Colombia se trabajan con diferentes sistemas de losas de entrepiso sin contar con un criterio técnico que compare las características, el comportamiento estructural y económico que defina cuál es el sistema más eficiente para una edificación de cinco pisos de altura en concreto reforzado.

2. JUSTIFICACIÓN

Gracias al aumento poblacional, en el sector de la construcción se hace cada vez más importante que se propongan proyectos que sean competitivos estructural y económicamente, lo que se traduce en la constante búsqueda de alternativas que permitan construir de manera rápida y eficaz, pero que al mismo tiempo garanticen un buen comportamiento estructural.

Ahora bien, es así como en los últimos años se han desarrollado nuevos tipos de sistemas constructivos, especialmente de entrepisos, y es gracias a ello que hoy en día existen numerosas posibilidades de construir un edificio y de definir su sistema portante, teniendo en cuenta que cada uno de estos sistemas tiene ventajas y desventajas con relación a los demás.

Pues bien, será necesario aclarar que en la actualidad no existe una investigación que evalúe la idoneidad de cada sistema de entrepiso según las características del edificio que se vaya a construir, en relación con los gastos, tiempos y solicitaciones estructurales. Por tal motivo, y con el propósito de emitir un concepto técnico y económico que permita definir cuál es el sistema de entrepiso óptimo a implementar en una edificación de cinco pisos, se procederá a realizar el diseño estructural de la edificación para cada tipo de entrepiso que se seleccione, con el objetivo de comparar los costos directos que se generarían, en función del sistema empleado.

Cabe mencionar que, si bien es cierto que el objeto primordial será el de comparar costos, existen muchas otras características importantes para tener en cuenta, como las dimensiones de los elementos estructurales, las cuantías de aceros, el índice de estabilidad y las deflexiones, por mencionar algunas. De tal manera, este documento será un claro referente que de razón de peso para seleccionar cuál sistema de entrepiso se usará, y por qué escogerlo de entre todos los demás.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

Realizar un análisis comparativo del comportamiento estructural y económico de una edificación de cinco pisos de altura en función del sistema de entrepiso que se utiliza, empleando losa maciza, losa aligerada en una dirección, lámina colaborante y placa fácil. En cada sistema se conservará la misma configuración de las secciones de las vigas y las columnas.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación bibliográfica sobre los diferentes procesos de diseño y construcción de losas de entrepiso, teniendo en cuenta las normas y especificaciones técnicas.

- Comparar los parámetros de esfuerzos o fuerzas máximas, incluyendo momentos flectores, y requisitos de funcionamiento como derivas y deflexiones que se obtienen según el tipo de entrepiso que se emplee en la estructura.

- Realizar una matriz comparativa de ventajas y desventajas de cada sistema según los resultados obtenidos.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. MARCO DE ANTECEDENTES

4.1.1. Antecedentes de la construcción con losa reforzada

4.1.2. Construcción de edificaciones en la actualidad y su uso

En el tercer trimestre de 2020 el DANE censó un área de 37.527.872m² de los cuales 2.545.769m² corresponden a áreas de construcciones culminadas, 24.154.608m² a áreas en proceso y 10.827.495 a áreas paralizadas. Del área en proceso 3.052.930m² son obras nuevas, 14.683.634m² obras que continúan en proceso y 6.418.044m² a obras que reiniciaron su proceso constructivo. (DANE, 2020)

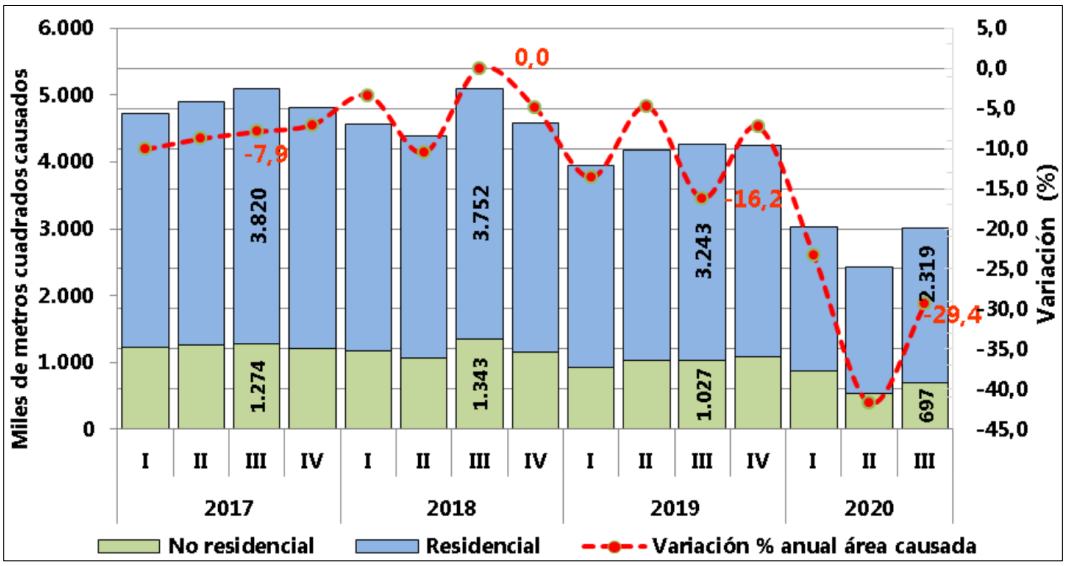
Del área censada por estado de obra los usos más representativos son residencial y oficinas, como se muestra a continuación:

Tabla 1. Estructura general del área censada por estado de obra, según áreas de cobertura (m²)

Destinos	Área culminada (j)	Área en proceso				Área paralizada		
		Nueva (a)	Continúa en proceso (b)	Reinicia proceso (c)	Total área en proceso (d) d=a+b+c	Nueva (e)	Continúa paralizada (f)	Total área paralizada (g) g=e + f
Total	**2.545.769**	**3.052.930**	**14.683.634**	**6.418.044**	**24.154.608**	**756.902**	**10.070.593**	**10.827.495**
Apartamentos	1.621.578	2.040.481	9.790.121	4.201.147	**16.031.749**	363.770	4.050.897	**4.414.667**
Casas	344.990	406.756	841.013	267.872	**1.515.641**	129.557	2.598.209	**2.727.766**
Oficinas	92.851	38.113	602.113	147.942	**788.168**	58.914	453.537	**512.451**
Comercio	98.567	100.035	1.205.483	640.013	**1.945.531**	69.735	777.167	**846.902**
Bodegas	142.892	116.262	384.580	169.949	**670.791**	23.577	466.254	**489.831**
Educación	54.424	70.841	388.393	243.569	**702.803**	29.636	356.545	**386.181**
Hoteles	10.716	21.552	131.634	56.084	**209.270**	17.554	336.782	**354.336**
Hospitales	22.370	26.434	430.768	183.334	**640.536**	16.634	256.406	**273.040**
Admón. pública	7.499	30.666	97.079	96.139	**223.884**	9.786	51.281	**61.067**
Otros*	149.882	201.790	812.450	411.995	**1.426.235**	37.739	723.515	**761.254**

Fuente: DANE. Estructura general del área censada por estado de obra, según destinos (metros cuadrados) [cuadro]. Boletín Técnico Censo de Edificaciones (CEED) III trimestre de 2020. Bogotá: 2020. p. 5. [Consultado: 22 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ceed/bol_ceed_IIItrim20.pdf

Figura 1. Área causada por destinos residencial y no residencial (miles de metros cuadrados). I trimestre 2017 – III trimestre 2020



Fuente: DANE. Área causada por destinos residencial y no residencial (miles de metros cuadrados [Gráfica]. Boletín Técnico Censo de Edificaciones (CEED) III trimestre de 2020. Bogotá: 2020. p. 10. [Consultado: 22 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/ceed/bol_ceed_IIItrim20.pdf

La mayor concentración de obras en proceso y paralizadas se encuentran en Medellín con 5.432.887m² en proceso y 1.434.863m² paralizadas, seguido por Bogotá con 5.128.568m² en proceso y 1.434.863m² paralizadas.

4.1.3. Evolución de las losas aéreas o placas de entrepiso en concreto.

La evolución de las placas de entrepiso está relacionada con el sistema constructivo de la vivienda. El uso de la mampostería no reforzada se presenta desde 1920, la mampostería confinada en la década de 1930, la mampostería simple (ladrillo macizo de arcilla y bloque de arcilla de perforación horizontal) se encuentra en viviendas construidas entre 1950 -1983. A mediados de la década de 1970 se implementó el diseño de mampostería estructural formalmente. (Bello, 2018).

La mampostería confinada es empleada desde casas de un piso hasta edificaciones de cinco pisos, la NSR-10 presenta un título completo donde brinda parámetros mínimos en la implementación de este sistema, además indica las especificaciones para placas macizas y placas aligeradas, estas últimas (placas nervadas en una dirección) llegaron al país hacia 1930 adquiriendo aceptación y popularidad.

Los sistemas reticulados fueron muy utilizados en 1950 a nivel mundial. En el país fue impulsado por Doménico Parma y la firma Cuellar Serrano Gómez y Cia Ltda, este sistema se usó hasta 1980 dado que presenta un buen comportamiento ante cargas gravitacionales, pero la ausencia de vigas produce desplazamientos y bajo desempeño ante cargas sísmicas, por esto, en zonas de amenaza sísmica

importante su comportamiento es inadecuado, debido a que no es posible conformar un sistema de resistencia horizontal que asuma las acciones sísmicas con eficiencia, lo cual, se evidenció en el sismo de 1985 en ciudad de México donde era común el uso de este sistema.

En Colombia, debido a su mal comportamiento ante cargas cíclicas horizontales este tipo de estructuras fue recomendada en sitios de amenaza sísmica media-baja, pero fue restringido su uso en el año de 1984 con el código colombiano de construcciones sismo resistentes expedido a consecuencia del terremoto del 31 de marzo de 1983 en Popayán, donde se limitó a zonas de riesgo sísmico intermedio-bajo con una altura de 15m máximo. (Melendez y Santisteban, 2014).

En el año 2000 Ladrillera Santafé desarrolló un sistema para entrepisos, contrapisos y cubiertas; económico, rápido y seguro, llamado “Placa Fácil”. Es un sistema de placas aligeradas el cual consta de una serie de perfiles metálicos que conforman el soporte estructural para los demás componentes de la solución, y piezas de arcilla llamadas bloquelón que sirven como aligerante y formaleta. Su construcción es económica, rápida y no demanda formaletas, ni equipo especializado. (Ladrillera Santafé), mencionando, además, que este sistema es el más usado en la actualidad en Colombia.

4.1.4. Evolución de las losas en metaldeck

A través de tiempo se ha buscado darle mejoras a cualquier sistema estructural que se presenta, es el caso de las losas de entrepiso, quienes por ejemplo han evolucionado de losas macizas a aligeradas con ladrillos de arcilla, y las mismas, en la búsqueda de reducir el peso mismo de la losa, han presentado muchas variaciones que parten del mismo concepto, es el caso de los casetones en guadua, o poliestireno.

Así pues, las losas colaborantes aparecen como una solución al problema del sistema constructivo de la losa en concreto, naciendo en 1950 en Estados Unidos la primera patente de este tipo. En ese momento las conexiones entre el acero y el concreto se realizaban con platinas de acero que se acomodaban de manera transversal y se soldaban a la cresta de la lámina colaborante.

Con este sistema ya propuesto, fue necesario crear parámetros que aseguraran la buena calidad de la losa, razón por la que la AISI en 1967 inicia la investigación en la Lowa State University, y tras tres años de investigación, se proponen los primeros métodos de diseño de láminas colaborantes, basados en el estudio de la resistencia última de diseño.

Cabe resaltar que el principal problema al que se enfrentaba la losa colaborante era lograr una buena conexión entre ambos materiales, pues se observó que la losa fallaba justo en el momento en que el acero y el concreto se separaban, resultando

que la mayoría de las muestras no fallaban a flexión, como se creía inicialmente. Ahora bien, se logró determinar que las corrugaciones, la luz, los conectores, y la sección de acero son factores determinantes para la capacidad de carga de la placa.

Un año después, en 1971 Porter y Ekberg continúan con los estudios que realizó Lowa State University, estudio que se enfocó en analizar el comportamiento de la losa comparando si eran cargadas en una o dos direcciones.

Al mismo tiempo que se presentaban estos estudios, en Europa se empieza a utilizar la losa colaborante, cuyas investigaciones se enfocaban en solucionar el esfuerzo cortante por unidad de longitud, razón por la que en la década de los 80 la ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) publica "Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs" (Especificaciones para el diseño y construcción de losas compuestas), mientras que para Inglaterra se propone la norma BS-5950-82.

4.1.5. Losas de entrepiso más usadas en Colombia

Se enuncian los sistemas de losas de entrepiso más usadas en el país de orden ascendente a descendente.

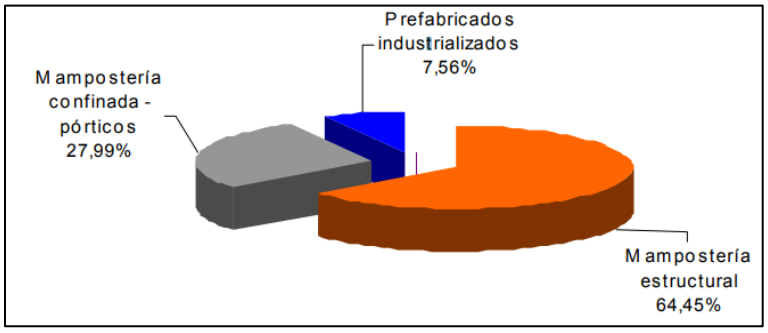
a. Placas macizas de concreto: Se emplean más en edificaciones de comportamiento estructural y sistemas industrializados. Los sistemas industrializados son los más usados en el país por las ventajas que tienen en la disminución de plazos de producción, la reducción de incidencia en la mano de obra, el mayor control de la producción y su mayor economía.
b. Placas en concreto aligeradas en una dirección: Son las más usadas en los edificios aporticados principalmente con aligeramiento en casetón de guadua, se usan en luces de 4 a 8 metros. Estas placas por lo general presentan mucho desperdicio de concreto durante el vaciado, aumentando la carga muerta de la edificación y los costos. En los últimos años se ha venido utilizando como material aligerante lonas e icopor. (Universidad de la Salle, 2015)

   Existe otro tipo de losa aligerada llamada placa fácil, muy empleada en el país por ofrecer mayor rapidez, un fácil desarrollo de la instalación y toma menos tiempo de construir que una losa de entrepiso tradicional, además de ser un sistema económico que se adapta de forma perfecta a las necesidades de las personas que construyen su propia vivienda, logrando obtener entrepisos o losas de forma más práctica y rápida. (Bejarano & Zambrano, 2014)
c. Placas aligeradas en dos direcciones: Se emplea este sistema de entrepiso para luces mayores a 8 metros. En la actualidad para el aligeramiento se siguen utilizando cajones prefabricados en concreto, pero también se utilizan

en fibra de vidrio reutilizables, en icopor, en casetón de guadua o lonas. (Universidad de la Salle, 2015)

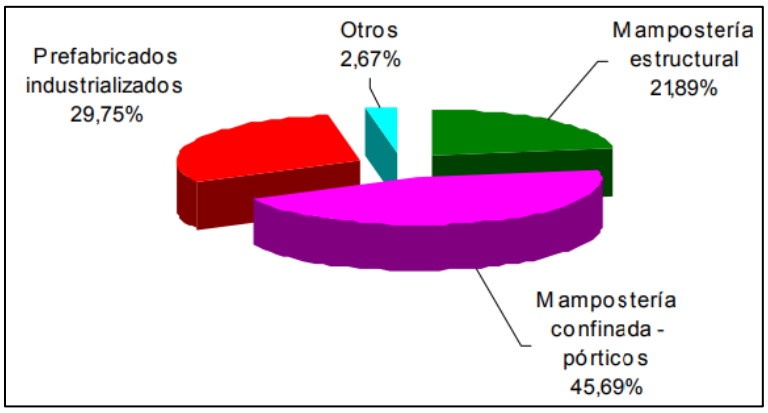
d. Reticular celulado: El reticular celulado se empleó bastante en Colombia, pero hoy en día de acuerdo con las normas debe contemplar vigas estructurales en las dos direcciones de la edificación, amarrando las columnas, convirtiéndose de esta manera en una placa aligerada en dos direcciones. (Universidad de la Salle, 2015)
e. Prelosas: Su utilización no es muy masiva. Se emplean placas o prelosas prefabricadas de 3 a 4 centímetros de espesor de luces no mayores a 6 metros en concreto reforzado normal o pretensadas. También las hay aligeradas con icopor y vacíos en su interior con un espesor un poco mayor (sistema Fibrit). Se emplea más en edificaciones de mampostería que en pórticos de concreto. (Universidad de la Salle, 2015)
f. Steeldeck: Se empezó a emplear en Colombia desde hace unos diez años con la reaparición de la construcción de edificios con estructura en acero, hoy en día se utiliza en cualquier sistema estructura (pórticos de acero, pórticos de concreto y mampostería estructural). En algunos proyectos importante se ha descartado su utilización por su baja resistencia al fuego. (Universidad de la Salle, 2015)

Figura 2. Distribución del área iniciada para VIS, por sistema constructivo I trimestre del 2006



Fuente: DANE. Distribución del área iniciada para VIS, por sistema constructivo I trimestre del 2006 [Gráfica]. Comunicado de prensa. Bogotá: 2006. p. 14. [Consultado: 22 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/comunicados/cp_VIS_Y_NO_VIS_ITRI06.pdf

Figura 3. Distribución de las unidades iniciadas para No VIS, por sistema constructivo I trimestre del 2006



Fuente: DANE. Distribución de las unidades iniciadas para No VIS, por sistema constructivo I trimestre del 2006 [Gráfica]. Comunicado de prensa. Bogotá: 2006. p. 14. [Consultado: 22 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/comunicados/cp_VIS_Y_NO_VIS_ITRI06.pdf

4.1.6. Estudios previos

Antecedentes internacionales de investigación

Uno de los primeros estudios en Chile acerca de las láminas colaborantes, fue el realizado por Juan Claudia Ascencio Arangua, quien en su investigación para la Universidad Austral de Chile, recopila la información conocida acerca del diseño de losas colaborantes en una dirección, concluyendo lo siguiente, (Ascencio, 2006, pág. 101):

- Las aplicaciones en las cuales puede ser usadas apuntan a un diseño de baja sobrecarga, donde una losa aligerada convencional o una losa maciza son sobre dimensionadas.
- El análisis lineal elástico entrega una idea clara del comportamiento estructural de estos sistemas de losas compuestas.
- Las deformaciones presentadas son producto de la variación del momento de inercia que no solo depende del comportamiento en el agrietamiento de la sección de hormigón, sino que también del porcentaje de colaboración que se proporcione mediante los conectores de cortante.
- La clave de la resistencia del sistema está en procurar la conexión adecuada
- Entre el concreto y el acero, ya que los esfuerzos de corte que se producen en la interfase son de considerable magnitud y deben ser resistidos para conferir a la losa su capacidad a flexión.

Patricia Garino, de Uruguay, menciona en su investigación el tema de las losas colaborantes, a propósito de soluciones estructurales no convencionales (Garino, 2010, pág. 8), sus principales conclusiones se presentan a continuación:

- La mayor cualidad estructural del sistema reside en la utilización de los materiales, acero y hormigón, aprovechando al máximo sus propiedades mecánicas.
- Los perfiles de acero utilizados en láminas colaborantes permiten reducir los espesores de las losas debido a los esfuerzos que pueden soportar.
- La utilización de láminas colaborantes como encofrado y estructura propia durante el llenado permite reducir los plazos de ejecución y ahorrar costos de encofrado.
- Se tiene que realizar la incorporación de una adecuada protección contra el fuego, previsión de barreras acústicas, elaboración de controles de calidad de la estructura tanto a nivel de fabricación como en obra, como por ejemplo durante el llenado y curado del hormigón.

Ahora bien, en Venezuela cabe mencionar el estudio de Estebeni Bilbao Torres, quien estudia el comportamiento de losas de concreto reforzado y acero, concluyendo (Bilbao, 2004, pág. 29):

- Se ha apreciado que a pesar de la versatilidad y economía que representan las losas mixtas de acero y concreto, en su diseño es indispensable considerar la etapa constructiva.
- Al utilizar láminas acanaladas con mayor peralte, el momento de inercia aumenta, y las facilidades en la construcción también lo hacen, ya que las separaciones entre apoyos son mayores. Asimismo, las láminas de mayor altura representan una menor cantidad de concreto utilizado.
- En la etapa de montaje de las láminas, la condición de esfuerzos admisibles son los más críticos.
- Es necesario el uso adecuado de conectores de corte en la superficie de la lámina.
- Los edificios de acero por lo general son construidos más rápidamente que los de concreto, especialmente cuando se utiliza este tipo de sistema de piso.
- Las láminas de acero pueden ser instaladas una vez que se instalen los miembros estructurales principales.

Otro estudio para mencionar sería el realizado por Maritza Ramos Rugel, de la universidad de Piura, quien delimita su objeto de estudio a crear un texto guía que sirva para identificar los sistemas de losas de entrepiso apoyadas sobre vigas. En el trabajo se analizan y comparan las losas colaborantes, las vigas pretensadas, y las losas en concreto (vaciado in situ) en una y dos direcciones. Se enlistan entonces las conclusiones que presenta Maritza Ramos al final de su tesis.

- El sistema de lámina colaborante permite un mayor rendimiento en la construcción de las losas de entrepiso. Este sistema es ideal cuando se manejan grandes áreas a cubrir, permite tener luces libres de hasta cuatro

metros para una lámina de 2” con la ventaja de trabajar con cargas sobreimpuestas de 400Kg/m².

- El sistema de las losas reforzadas con láminas colaborantes evita el uso de los recursos en la tarea de encofrado y desencofrado, y en los trabajos posteriores del cielorraso. La losa aligerada con poliestireno en dos direcciones y la losa maciza manejan la mayor cantidad de concreto, pero no requieren trabajos posteriores de cielorraso. Por ello, en las losas vaciadas in situ es conveniente dejar una losa inferior 2 o 3 cms que permita obviar los trabajos de enlucido o emplear tiempo y dinero en ejecutar los trabajos para el cielorraso.
- La losa maciza genera un incremento de 120% en el manejo de las cantidades de acero con respecto a las losas en una dirección. La cantidad de acero a usar es semejante para losas coladas in situ en una y dos direcciones. Las losas compuestas con viguetas pretensadas y láminas colaborantes permiten minimizar el manejo del refuerzo en construcción.
- Para las losas in situ y las conformadas con viguetas pretensadas en una dirección aligeradas con poliestireno, es recomendable desde el punto de vista económico, utilizar el máximo espaciado entre viguetas (70 cms), aunque esto signifique incrementar la altura de la losa para cumplir con las solicitaciones frente al corte. (Rugel, 2002)

Adicional, se han encontrado estudios mayormente enfocados en la optimización de los recursos, en este caso se menciona la investigación de Andrés Sebastián Salazar Mármol y Galo Fernando Serrano Chica, para optar por el título de ingenieros civiles de la escuela politécnica nacional en Quito, cuyo objeto dicta “Realizar análisis económico comparativo de losas entre dos sistemas estructurales, losas nervadas de hormigón armado y losas tipo deck, para luces de 5.7 y 9 m. Con el fin de fomentar un uso eficiente de los recursos.” (Salazar Mármol & Serrano Chica, 2014) Y cuyas conclusiones afirman nuevamente que la losa colaborante representa un sistema en el que se ahorra dinero.

Otro estudio enfocado en este mismo tema fue el titulado “Aplicación del código ACI-318-2008 para el diseño de losas alivianadas y losas macizas bidireccionales y la implementación de un programa de cálculo”, desarrollado por José Luis Pungaña Manzano, quien dirige su enfoque hacia el análisis de las losas una vez se implementan los cambios en el código ACI, además se hace el comparativo en temas financieros, otra vez reiterando que la losa colaborante resulta ser un sistema más económico que otros sistemas de losas de entrepiso.

Antecedentes nacionales de investigación

A nivel nacional e internacional se han llevado a cabo diversas investigaciones acerca de las losas de entrepiso con el objeto de establecer el comportamiento y eficiencia para cada una de ellas.

Según (Rodríguez, 2015) realiza una investigación cuyo objeto es “Analizar y comparar el comportamiento estructural y económico de una losa aligerada y una losa colaborante utilizando placas AD-600, evaluar el efecto de la lámina de acero y establecer un procedimiento válido para diseño y modelamiento.” (Chávarry, 2015), y al final de su texto llega a conclusiones claras, como que el sistema estructural con lámina colaborante AD-600 tiene mayor resistencia a esfuerzos de corte a comparación del sistema de losa aligerada, también se encuentra con que el sistema de losa colaborante presenta menores deflexiones en comparación, y que además, se constituye como un sistema más barato debido a los costos en tiempo y recursos para el desencofrado.

Finalmente, cabe mencionar el “Análisis costo-beneficio entre losa con lámina colaborante Metaldeck y losa tradicional aligerada”, un estudio presentado por Acesco, que evidencia el rendimiento del Metaldeck como sistema óptimo para losas de entrepiso en el proyecto Torres de Málaga, donde se compara el costo y el tiempo de una construcción en Metaldeck con una construcción en losa aligerada tradicional. Además, los ingenieros calculistas evalúan la capacidad estructural en función de lo establecido por la NSR-10.

En su documento, Acesco evalúa el costo de la estructura bajo ciertas condiciones:

- Zonas de amenaza sísmica.
- Perfiles de suelos (A, C, E).
- Sistema de entrepiso Metaldeck y losa aligerada.

“En este proyecto y con el cambio de la modificación de diseño, se logró obtener una optimización presupuestal de alrededor del 10%” ... “Se alcanzó una reducción de tiempos de aproximadamente 30% - 35%” (Acesco, 2018).

Se presentan varias conclusiones desde el análisis estructural, obteniendo lo siguiente:

- En comparación, el sistema Metaldeck puede pesar hasta 40% menos que el sistema tradicional con losa aligerada.
- En todos los casos existió una disminución en el peso total de la edificación, independientemente del tipo de suelo (A, C y E), como en los diferentes niveles de amenaza sísmica (DES, DMO, DMI).
- Al construir losas de entrepisos con Metaldeck las fuerzas horizontales y verticales disminuyen hasta en un 9%.

- Con la disminución de las cargas se reduce el costo de la estructura, pues al final se obtienen menores requerimientos de elementos estructurales, tales como: vigas, columnas y zapatas.
- Al implementar Metaldeck los costos en la edificación se verán disminuidos por otras variables como: el menor uso de formaletas, menor armado de acero de refuerzo y menor porcentaje de concreto.
- Los estudios evidencian que existen ventajas de usar Metaldeck en comparación con las losas tradicionales, tanto en factores estructurales como en factores de construcción, que se traducen en menor tiempo de ejecución y por ende menores costos, permitiendo así un mayor flujo de caja en obra.

4.2. MARCO NORMATIVO

La NSR-10 actualmente establece la normativa relacionada con el diseño y construcción de losas de entrepiso, en el título C claramente menciona que la losa se diseñará en función de las cargas verticales, además, para que se considere como un elemento estructural siempre deberá trabajar como diafragma.

La norma en mención establece que la losa deberá ser un elemento monolítico e indica los espesores mínimos, que se calculan en función de la luz y de la configuración del sistema de apoyos (a menos que se calcule la deflexión). Por otro lado, la NSR-10 reconoce que existen diferentes tipos de losas de entrepiso, y dentro de las principales menciona la losa maciza y la losa aligerada (C.13.55.1), comentado que siempre que sean monolíticas, se podrán analizar como losas continúas con apoyos simples. En el titulo C se establecen los métodos de diseño y los refuerzos mínimos para cada una, así como los diferentes elementos que las componen.

Además, la NSR-10 establece los parámetros para tener en cuenta para estructuras metálicas, que se deben diseñar conforme al título F. La norma menciona la posibilidad de uniones entre losas de concreto y elementos metálicos, bien sean llamados vigas, viguetas o tableros de acero, y también menciona los tipos de uniones o pernos entre ellos. Así mismo, en el apartado F.4.7. se establecen los parámetros para los sistemas en Metaldeck, teniendo en cuenta la calidad de los materiales, así como el diseño geométrico de los mismos.

Ahora bien, también será importante mencionar las normas ACI, y la ASTM:

American Concrete Institute ACI 318: Acá se enuncian los requisitos mínimos que debe cumplir cualquier construcción en concreto, además de establecer el procedimiento de diseño de mezcla, y la forma en que se harán los respectivos ensayos para la evaluación de resistencia de dicho material.

ASTM C1782 / C1782M – 18: La normativa incluye losas de pavimento y de hormigón, además de establecer los requisitos para la construcción de estas, incluyendo cubiertas en proyectos de construcción.

4.2.1. Marco normativo para metaldeck

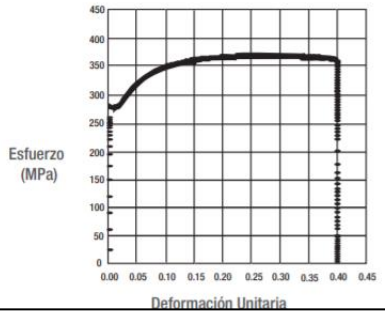
Inicialmente, será clave mencionar el documento "Specifications for the Design and Construction of Composite Slabs" (Especificaciones para el diseño y construcción de losas compuestas), así como la norma británica BS-5950-82, estudios pioneros para la década de los sesenta, donde se establece la normativa que rige el diseño de la sección compuesta, según el método descrito en el anexo 1.

Ahora bien, la lámina del metaldeck debe fabricarse siguiendo los lineamientos de las secciones propuestos en los títulos F.4.1 a F.4.5 de la NSR-10, sabiendo que además debe cumplir los parámetros de la ASTM A653 SS. Además, se le deben aplicar ensayos de esfuerzo – deformación según la norma ASTM A370.

La siguiente figura representa la curva esfuerzo / deformación de una lámina probada:

Propiedades de lámina METALDECK	
Punto de fluencia mínimo	40ksi (272MPa)
Resistencia última	55ksi (380MPa)
Elongación en 50mm	16%
Recubrimiento en Zinc	G60

TABLA 2.1 PROPIEDADES DE LA LÁMINA GALVANIZADA PARA FABRICACIÓN DE METALDECK



Fuente: ACESCO. Manual técnico. Bogotá: 2013. p. 14. [Consultado: 22 de marzo de 2021]. Disponible en: https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/25662/Manual_Te%CC%81cnico_-_Metaldeck.pdf

Se menciona además que, en cuanto al proceso de galvanizado, se hace a partir de lo establecido en la ICONTEC NTC 4011 y ASTM A653, incluyendo un proceso de inmersión en caliente, en un baño de zinc fundido, según los siguientes pasos, según el manual técnico de Acesco:

1. Cepillado
2. Decapado
3. Enjuague
4. Secado
5. Galvanizado en caliente
6. Enfriamiento
7. Pasivado.

Por otro lado, el espesor mínimo es de un acero base calibre 22, según la F.4.7.2.1 y la tabla F.4.7.2.2 del NSR-10. Sabiendo que la norma permite una tolerancia del 5% en el espesor del acero base. Además, se debe considerar que como la lámina

va a ser el refuerzo positivo de la losa, se debe diseñar que dure la vida útil de la estructura, razón por la que el acabado se define en la norma ASTM A653.

4.2.2 Marco normativo para placa fácil

En cuanto al sistema placa fácil, será necesario mencionar que sus elementos también deben cumplir una normativa, en el caso del bloquelón, por ejemplo, debe cumplir con la NTC 4205, que establece los estándares de calidad para unidades de mampostería de arcilla cocida.

El otro elemento importante para considerar dentro del sistema de placa fácil será el perfil de unión entre las unidades de mampostería, cuyo acero se propone conforme a la ASTM A570, además de que se establecen los lineamientos para la estructura metálica en el título F de la NSR-10.

Finalmente, y como se mencionó al inicio de este capítulo, las losas de metaldeck y placa fácil deben cumplir los mismos requisitos que cumple cualquier otro tipo de losa de concreto, mencionados en el título C, donde además se establecen los parámetros mínimos que tiene que cumplir la sección en concreto, junto con las deflexiones máximas que puede alcanzar la losa, así como su espesor mínimo.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

4.3.1. Losas aéreas o placas de entrepiso

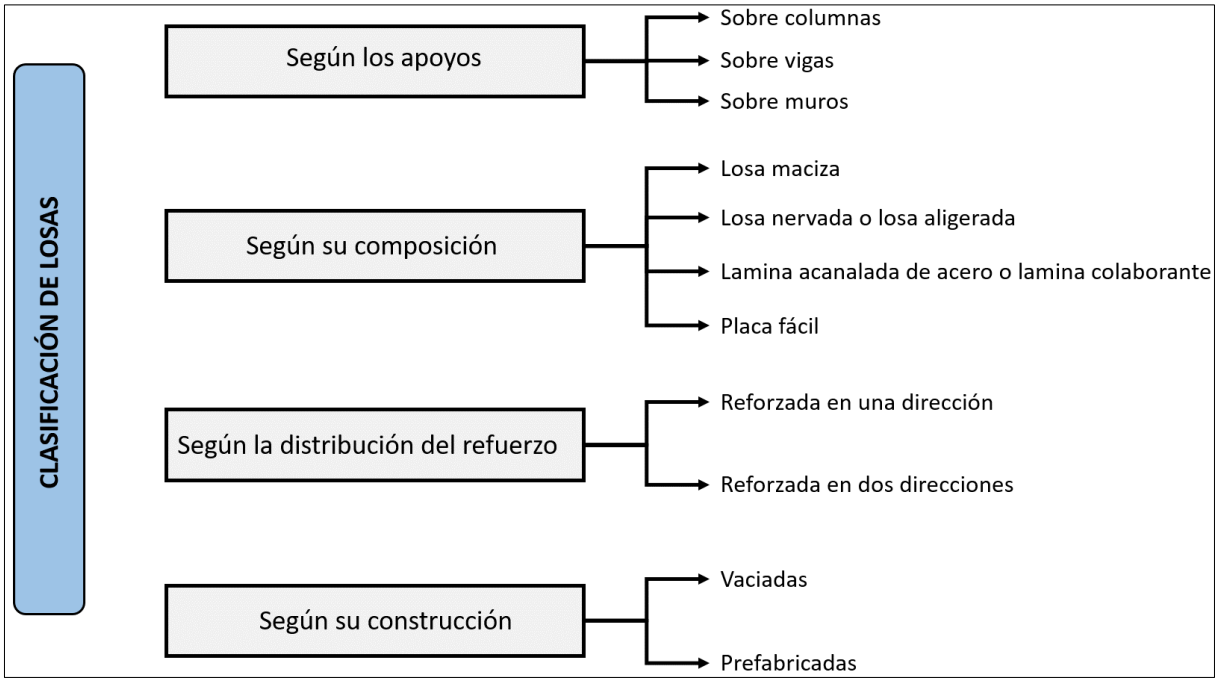
Las losas son elementos estructurales de tipo superficial que se presentan en: los sistemas de pisos de edificaciones, en tanques, en fundaciones y en los tableros de los puentes, entre otros. Las cargas actúan perpendicularmente a la superficie.

En edificaciones, además de su función estructural (rigidez y distribución de cargas) las losas separan horizontalmente el espacio vertical conformando diferentes niveles. La losa o placa de entrepiso es un elemento estructural de condición horizontal, tiene dos dimensiones en un mismo plano y una tercera denominada espesor o altura, la cual, debe ser suficiente para que el elemento trabaje fundamentalmente a flexión, y las deflexiones deben ser pequeñas comparadas con este espesor o altura. (Jiménez, 2010).

4.3.2. Tipos de losas

Las losas se pueden clasificar basados en diferentes criterios, como: tipo de apoyo, según su composición, distribución del refuerzo y proceso de construcción.

Figura 4. Clasificación de las losas de entrepiso

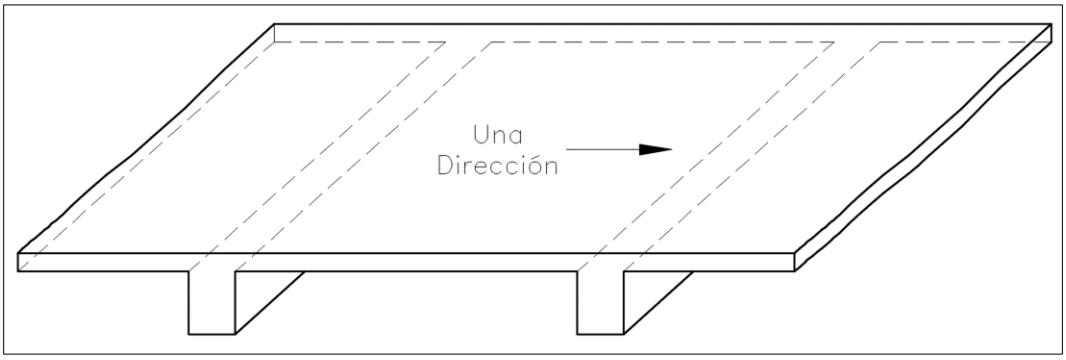


Fuente: Propia

4.3.2.1. Tipos de losas según los apoyos

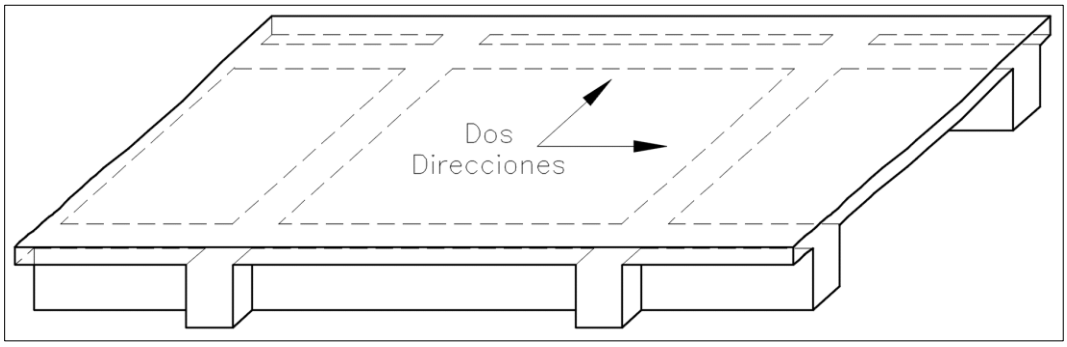
Las losas pueden estar apoyadas sobre columnas, vigas o sobre muros. Según la disposición de los apoyos las losas pueden trabajar en una y dos direcciones. Si se tiene una losa apoyada sobre vigas paralelas, la acción estructural de la losa es en una dirección, pero si se tiene vigas perpendiculares, la acción de la losa es en dos direcciones.

Figura 5. Placa con acción estructural en una dirección



Fuente: Propia

Figura 6. Placa con acción estructural en dos direcciones



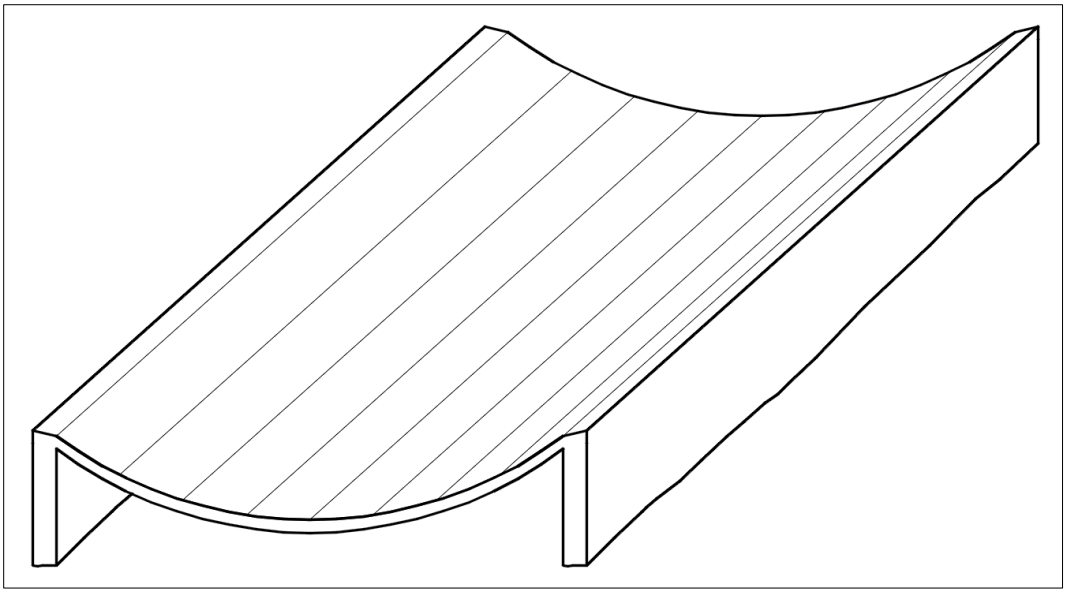
Fuente: Propia

Si la relación entre la longitud y el ancho de un panel de losa es mayor a 2, la mayor parte de la carga se transmite en la dirección corta hacia las vigas de apoyo y se obtiene, en efecto, una acción en una dirección, aunque se proporcione apoyos en todos los lados. (Nilson & Winter, 1994).

Dependiendo del funcionamiento de las losas en una o dos direcciones bajo la acción de cargas, las losas se deforman de manera diferente; si está trabajando en una dirección se deforma la superficie tipo cilindro con deformaciones máximas en el centro de la luz corta, la curvatura y los momentos se generan en dirección perpendicular a los apoyos o dirección corta. Si la losa trabaja en dos direcciones, su deformación en la superficie es tipo tasa con curvatura en dos direcciones,

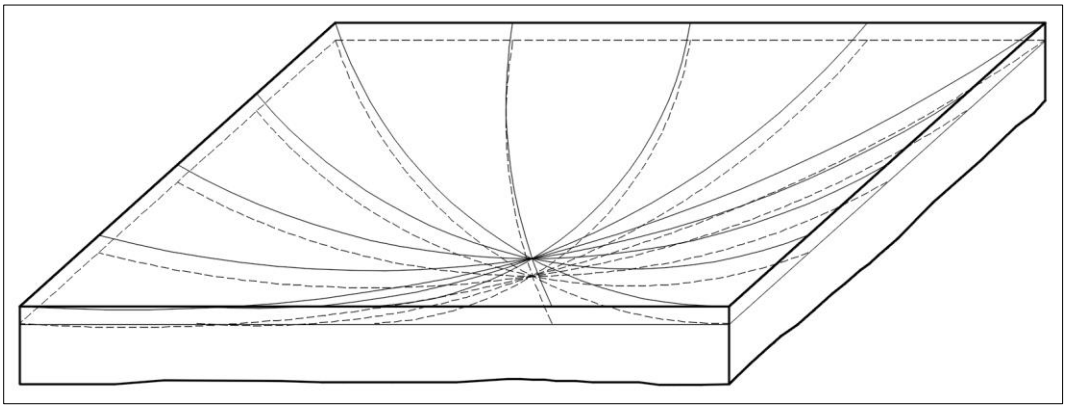
generando además de momentos flectores en ambas direcciones momentos de torsión.

Figura 7. Deformación de una placa con acción estructural en una dirección



Fuente: Propia

Figura 8. Deformación de una placa con acción estructural en dos direcciones

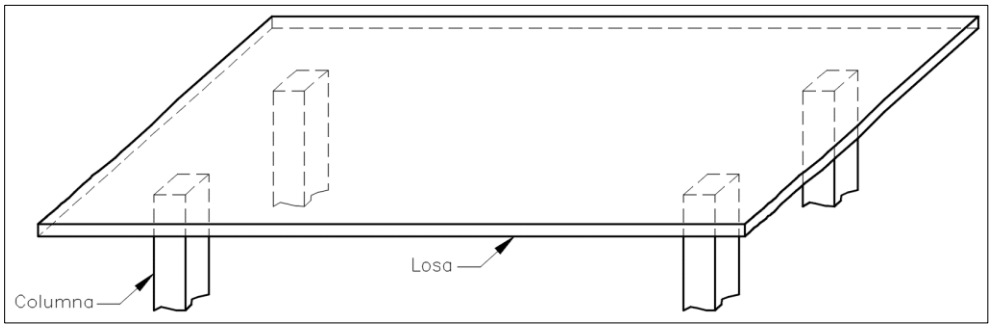


Fuente: Propia

Las losas llamadas placas planas se apoyan directamente sobre columnas sin llegar a utilizar vigas secundarias o primarias, esta es usada para luces cortas y cargas livianas. Otro tipo de losa apoyada directamente sobre columnas es la losa plana, la cual, incorpora una región con un sobre espesor de losa en el área de apoyo seguida de un prisma en forma de campana o ábaco en la parte superior de las columnas, reduciendo de esta manera los esfuerzos generados por cortante y flexión alrededor de esta zona.

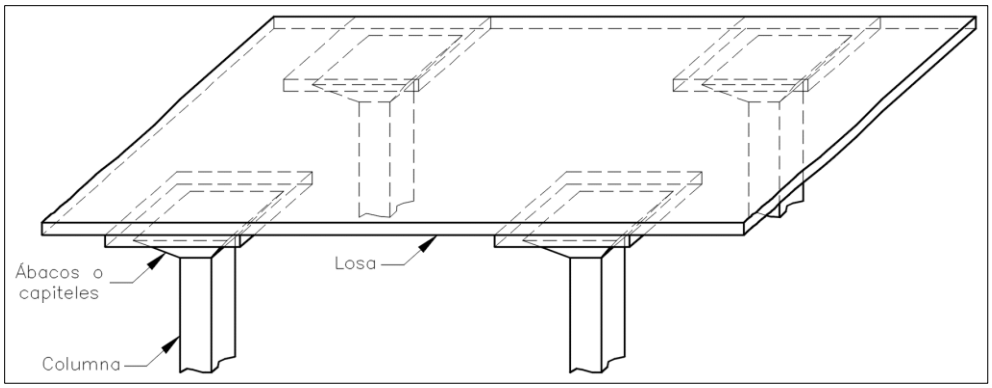
Con la misma metodología trabajan las losas nervadas en dos direcciones o reticular celular, en las cuales, se omite el aligeramiento en el perímetro de las columnas produciendo una reducción del esfuerzo de corte por punzonamiento y mejorando la capacidad de la placa para resistir momentos negativos en esta zona.

Figura 9. Placa apoyada sobre columnas (Losa de placa plana)



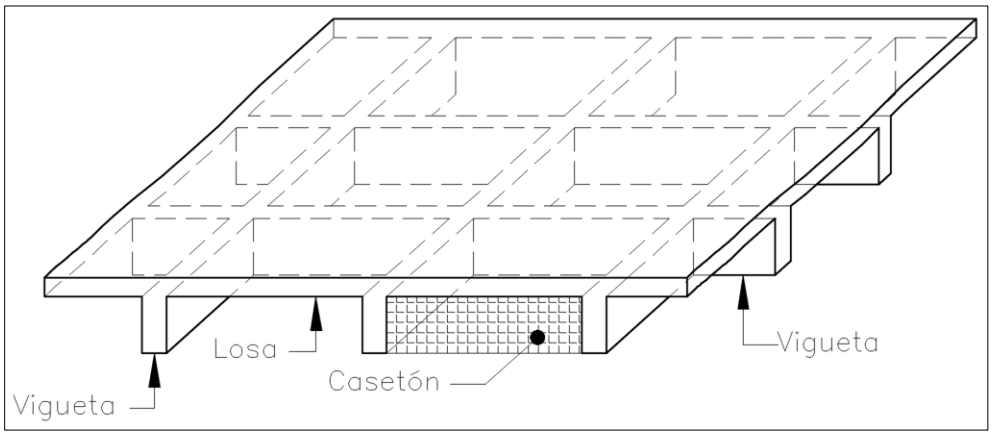
Fuente: Propia

Figura 10. Placa apoyada sobre columnas (Losa plana)



Fuente: Propia

Figura 11. Losa reticular



Fuente: Propia

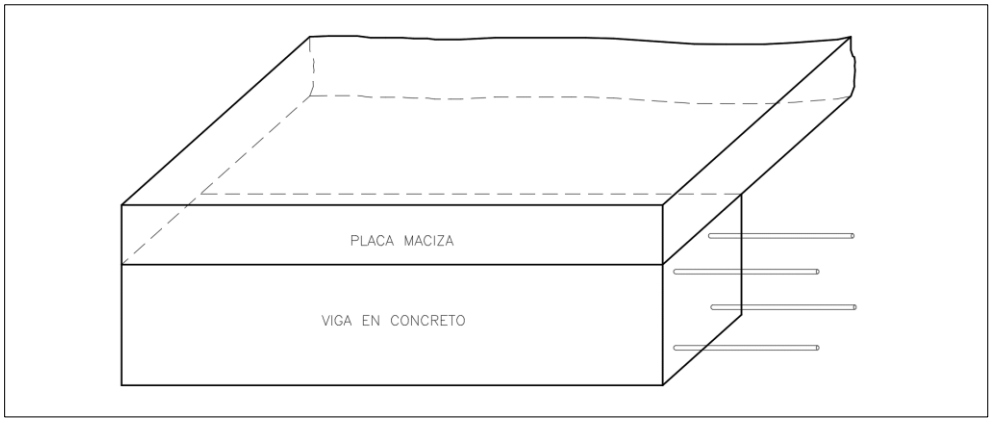
4.3.2.2. Tipos de losas según su composición

Losa maciza: Conforme con lo establecido en E.5.1.4 de la NSR-10, las losas macizas están conformadas por una sola sección de concreto reforzada en ambas direcciones. Según el tipo de apoyo se puede clasificar de la siguiente manera:

- Losas apoyadas sobre vigas (Placa con vigas descolgadas).
- Losas planas: Estas se apoyan directamente sobre las columnas.
- Losas planas con vigas embebidas.

El refuerzo para estas losas se coloca en dos direcciones ortogonales para soportar los momentos desarrollados en cada dirección.

Figura 12. Losa maciza apoyada sobre viga



Fuente: Propia

Las losas macizas se pueden clasificar conforme el sentido en el que trabajan, en dos grupos:

- Apoyadas en dos extremos: Las cargas se transmiten hacia los apoyos (trabaja en una dirección). Estas placas presentan una deformación de tipo cilíndrico y la flexión se presenta en la dirección perpendicular a los apoyos. La placa se diseña como si fuese una serie de vigas virtuales de ancho unitario (un metro). La placa tendrá una capacidad de carga superior al calculado dado que se desprecia la acción del momento de torsión sobre la placa. El refuerzo de distribución o perpendicular se coloca para atender los cambios de temperatura y retracción de fraguado.

- Las placas macizas con apoyos en sus bordes perimetrales: En estas placas la relación largo ancho es mayor a dos y la transmisión de carga y flexión se presenta en el sentido corto de la placa.

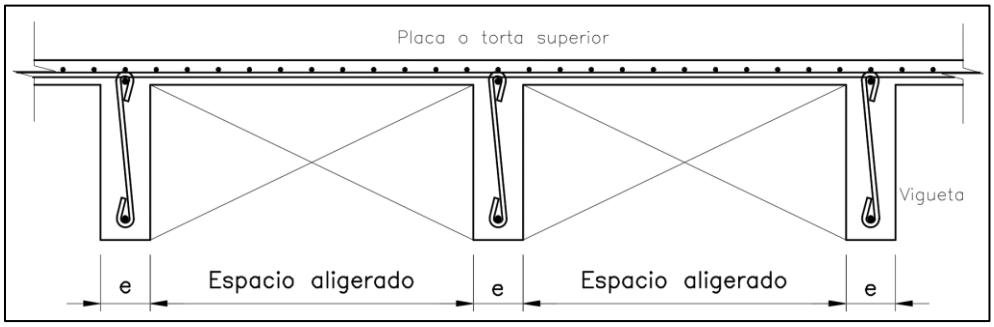
El armado y ejecución de una placa maciza posee varias etapas generales, como son:

- Instalación de formaleta (parales y camillas).
- Armado de refuerzo.
- Disposición de las instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias.
- Vaciado del concreto.
- Curado del concreto.

Losa nervada o losa aligerada: Conforme con lo establecido en (Eltiempo, 2018), las losas aligeradas son utilizadas para salvar luces más grandes que las losas macizas. Este sistema reemplaza parte de la sección de concreto por material aligerante, el cual puede ser: cajones de madera, casetones de esterilla de guadua, ladrillos o bloques.

Las losas aligeradas están conformadas por una placa superior de concreto, viguetas, elementos aligerantes y una torta inferior (en algunos casos). La placa o torta superior distribuye las cargas a las viguetas y estas, a las vigas de carga.

Figura 13. Placa aligerada



Fuente: Propia

Las viguetas son espaciadas en una o dos direcciones y la losa ubicada en la parte superior actúa también en una o dos direcciones ortogonales. Existen otros elementos llamados riostras los cuales no pueden tenerse en cuenta para efectos de rigidez ante fuerzas horizontales del sistema de resistencia sísmica.

Las losas aligeradas se diseñan como elementos en flexión, por ello, la zona fraccionada es estáticamente inactiva para el concreto, por lo que esa zona puede dejarse vacía o bien ser reemplazada por materiales más livianos, incluso con mejor aislamiento térmico o acústico, dejando únicamente a las viguetas con la función estructural.

En el capítulo C.8.13 de la NSR-10 se encuentra los parámetros para el diseño de este tipo de sistema.

El armado y ejecución de este tipo de placa posee varias etapas generales, como son:

- Instalación de formaleta (parales y camillas).
- Armado de refuerzo vigas y viguetas.
- Disposición de las instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias.
- Disposición de materiales aligerantes.
- Vaciado del concreto.
- Curado del concreto.

Placa fácil: Es un sistema de entrepiso autoportante, el cual consta de una serie de perfiles metálicos que conforman el soporte estructural para los demás componentes de la solución, piezas de arcilla llamadas bloquelones que sirven como aligerante y formaleta; el sistema es complementado por la malla de refuerzo y una capa de concreto de recubrimiento de 4 a 6 cm de espesor. Su construcción es económica, rápida y no demanda formaletas, ni equipo especializado. (Bejarano & Zambrano, 2014)

Figura 14. Placa fácil



Fuente: Habitissimo. Proceso de instalación placa fácil [Fotografía]. Diseño y construcción en dos pisos locales comerciales y apartamentos lote de 6.50x21 metros de fondo. 2015 [Consultado: 22 de marzo de 2021]. Disponible en: https://proyectos.habitissimo.com.co/proyecto/diseno-y-construccion-en-dos-pisos-locales-comerciales-y-apartamentos-lote-de-6-50-x-21-00-metros-de-fondo

Bloquelón: Es una pieza de arcilla de gran tamaño cuyas dimensiones 80cm de largo, 23 cm de ancho y 8 cm de altura, le permiten ofrecer grandes rendimientos en su aplicación. Los productos en arcilla cocida perduran en el tiempo, teniendo una larga vida. Son productos económicos. Su uso, que es bastante amplio, ha permitido que los diseñadores y la mano de obra que participa en su colocación, por su familiaridad con ellos, logre resultados bastante atractivos. (Construyendo.co)

Figura 15. Bloquelón



Fuente: Ladrillera Santafé. Bloquelón Santafé [Imagen]. Placa fácil Santafé. p. 4. [Consultado: 22 de marzo de 2021]. Disponible en: https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/67629/Cat%C3%A1logo_-_PlacaF%C3%A1cil.pdf

Perfil Entrepiso de lámina abierta (PLA): El perfil metálico formado en frío se apoya sobre las vigas perimetrales construidas en concreto que hacen parte de un sistema aporticado, o sobre las vigas de concreto apoyadas sobre muros estructurales que conforman el diafragma rígido (reforzados en una dirección). También se puede apoyar sobre estructuras conformadas por vigas metálicas. (Construyendo.co)

Figura 16. Perfil de entrepiso

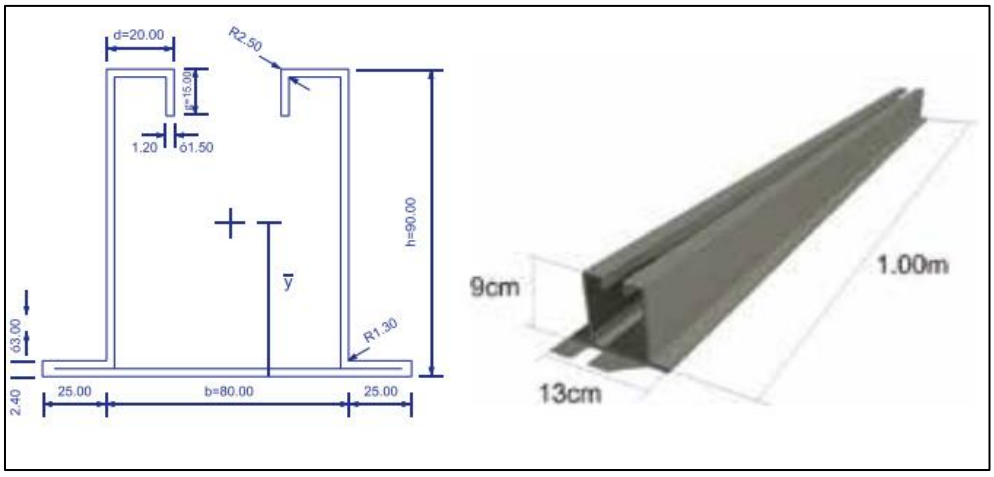


Figura 16. Perfil de entrepiso (continuación)

Características Perfil Entrepiso	
Dimensiones	h= 9 cm
	b= 130
Peso	4.77 kg/ml
Espesor	1.5 mm
Rendimiento	1 ml/m2
Acabado	Negro Galvanizado
Calidad del acero	Hot-Rolled/Rockwell B
Fy	min 36.000 psi
Luz máxima	3.80 m
Luz máxima sin apuntalamiento	2.30 m

Fuente: Ladrillera Santafé. Perfil Entrepiso de lámina abierta (PLA) [Imagen]. Placa fácil Santafé. p. 4. [Consultado: 22 de marzo de 2021]. Disponible en: https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/67629/Cat%C3%A1logo_-_PlacaF%C3%A1cil.pdf

Malla electrosoldada: Grafíl de 4 mm con retícula de 15 cm x 15 cm, con placa de concreto de 4 cm de espesor.

Concreto: 3.000 p.s.i. (210 kg/cm^2) y agregado de tamaño máximo de ½". (Ladrillera Santafé)

La construcción de este tipo de placa consta de las siguientes etapas:

- Verificar que la luz o distancia entre apoyos estructurales no supere los 4.20 m.
- Colocación de los perfiles: Disponer los perfiles de entrepiso cada 89 cm entre ejes, apoyándolos en el elemento estructural mínimo 1.5 cm y máximo 2.5 cm. Si la distancia entre apoyos es mayor a 2.5 m se requiere necesariamente apuntalamientos temporales durante la etapa constructiva, los cuales serán retirados 5 días después de quedar fundida la placa.
- Colocación de los perfiles y los refuerzos: Los perfiles se pueden rellenar con papel o algún otro material para que a la hora de fundir estos queden vacíos (aunque es recomendado que estos queden en su totalidad rellenos de concreto). Colocar los bloquelones apoyados en las aletas del perfil entrepiso, en los muros o en las formaletas de las vigas.
- Colocación de la malla electro-soldada de refuerzo: A través de los huecos del perfil y del bloquelón puede colocarse las instalaciones de servicios. Se coloca la malla electro–soldada y el hierro de refuerzo de las vigas perimetrales y los dinteles, preferiblemente el perfil entrepiso metálico debe quedar relleno en su totalidad de concreto. (ConstruyaFacil.org)

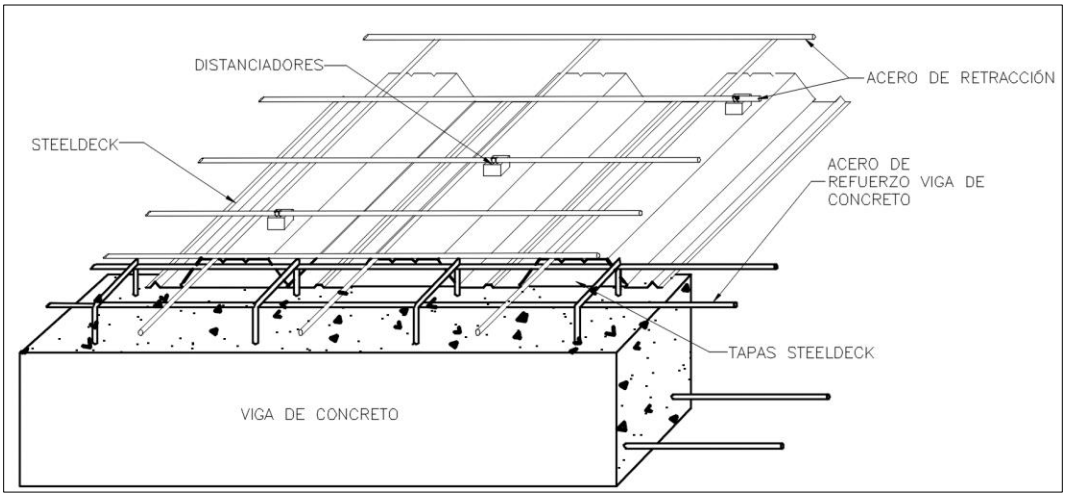
- Mezclar el Concreto (1 parte de cemento, 2 partes de arena y 3 partes de grava de máximo 1/2”) y verter uniformemente sobre la placa una torta de 4cm. (Ladrillera los Almendros S.A.)

Losa con lámina colaborante: El sistema Metaldeck es comúnmente llamado losa compuesta, pues se utilizan láminas de acero galvanizado que funcionan como encofrado colaborante y como refuerzo que posteriormente aportará a la capacidad estructural de la placa. Las láminas de acero se combinan con el concreto y dan como resultado un elemento estructural híbrido. Como en otros elementos, es el concreto quien trabaja a compresión y el acero quien trabaja a tracción principalmente.

Este sistema se ha destacado gracias a su resistencia y duración, además de su capacidad de ser implementado en casi cualquier tipo de edificación. A fin de demostrar estas cualidades se han hecho diferentes estudios, y no solo eso, se ha evaluado el desempeño de este sistema en campo, durante y después de obra.

Además, será clave mencionar que el éxito de este sistema estructural necesariamente depende de que exista una correcta relación entre los diferentes componentes que conforman la placa, esto se da gracias a una buena adherencia entre el concreto y el acero. De igual forma, la placa debe tener un buen anclaje con los elementos estructurales que la soportan, para ello se instalan conectores de cortante (pernos de alta resistencia) entre las vigas y el concreto, que deben ser diseñados por el ingeniero estructural.

Figura 17. Lámina colaborante



Fuente: Propia

El proceso de construcción se puede resumir muy fácilmente, y va a variar dependiendo del tipo de materiales usados en la estructura (por ejemplo, una estructura metálica o de madera), no obstante, el proceso general sigue siendo el

mismo, además se debe tener en cuenta en todo momento las consideraciones y especificaciones de diseño, así como, las recomendaciones de instalaciones.

Para comenzar, deberá existir la estructura portante sobre la que se apoye la losa de entrepiso, sabiendo que desde un inicio esta estructura debe considerar que se va a hacer uso del Metaldeck para proveer los apoyos necesarios, así como los distanciamientos recomendados una vez se consideren las combinaciones de carga oportunas. Ahora bien, una vez verificado lo anterior se procederán a ubicar las chapas por medio de apoyos requeridos (normalmente de 40mm) y apoyos temporales (si se requieren).

Con el objeto de que se asegure una correcta conexión entre la losa de hormigón y la estructura de vigas deberán instalarse pernos de corte, su sección y distanciamiento será calculado en el diseño estructural. El uso de estos pernos permite una correcta conexión entre la losa de hormigón y las vigas de la estructura, evitan el desplazamiento de la losa y permiten que la estructura responda a las cargas como una estructura mixta entre acero y hormigón.

Tipos de láminas colaborantes: En el mercado existen varios tipos de Steeldeck, que se diferencian en el diseño y el grosor de las láminas principalmente. Uno de los principales productores es Acesco, con Metaldeck grado 40 y 50 como los más usados. Se presenta la ficha técnica teniendo en cuenta que existen diferentes normas a las que se tiene que acoplar los diseños:

Tabla 2. Especificaciones de láminas de Metaldeck

PROPIEDADES MECÁNICAS						
NORMATIVA		Resistencia a la Fluencia, mín.		Resistencia a la Tracción, mín.		Elongación en 50mm mín.
		MPa	psi	MPa	psi	%
METALDECK	ASTM A653 Grado 40	275	40000	380	55000	16
	ASTM A653 Grado 50 Clase 1	340	50000	450	65000	12

Fuente: ACESCO. Propiedades mecánicas láminas de Metaldeck [cuadro]. Ficha técnica entrepisos. p. 3. [Consultado: 22 de marzo de 2021]. Disponible en: https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/25663/Ficha_Te%CC%81cnica_-_Metaldeck_Grado_40_y_50.pdf

Cada tipo de lámina debe ser diseñado teniendo en cuenta la normativa que rige en el país, por ejemplo, se menciona en la NSR-10 en conjunto con el SDI (Steel Deck Institute) que el espesor mínimo para Metaldeck es de 0.75mm. Entonces, será clave saber que la normativa que se aplica es la norma NTC 4011 y ASTM A653 (Estructural Grado 40 y Grado 50), y por supuesto el reglamento NSR-10.

4.3.2.3. Tipo de losas según la distribución del refuerzo

Los sistemas de entrepisos pueden clasificarse como sistemas armados en una dirección, en los cuales, el refuerzo principal de cada uno de los elementos estructurales se extiende en una sola dirección, y sistemas armados en dos direcciones, donde el refuerzo principal se extiende en direcciones perpendiculares, al menos para uno de los elementos estructurales. (Nilson & Winter, pág. 594)

4.3.2.4. Tipo de losas según su construcción

Las losas según el proceso constructivo se pueden clasificar en vaciadas in situ y prefabricadas.

4.3.3. Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de losas de entrepiso

Tipo de sistema de entrepiso	Peso (Kg/m2)	Rendimiento constructivo (hora/m2)	Capacidad aislante	Costo (m2)	Otras ventajas	Otras Desventajas
Losa Maciza	360	2,256 **Medio - Bajo:** Debido a sus superficies planas.	Ln 54 dB **Aceptado**	$ 108.812 **Medio**	• Aporte de rigidez al sistema estructural	• Volumen de concreto relativamente alto.
Losa Aligerada en una dirección	130,94	2,412 **Bajo:** Debido a la complejidad que supone la instalación de casetones para formar los nervios.	Ln 41,7 dB **Deficiente**	$ 167.909 **Alto**	• En comparación con las losas macizas, en este tipo de placas se pueden trabajar luces de mayor longitud. • Bajo volumen de concreto comparada con la losa maciza.	• Poca capacidad para absorber esfuerzos de corte en apoyos. • Poca capacidad de soportar cargas concentradas.
Lámina colaborante (metaldeck)	165,93	0,79296 **Alto:** Debido a que la lámina constituye el encofrado del concreto, además de permitir que los trabajadores de obra trabajen sobre ella.	Ln 66 dB **Aceptado**	$ 120.668 **Medio**	• Optimización estructural debido a la geometría de la placa. • La lámina galvanizada garantiza una larga vida útil al sistema, aún en ambientes corrosivos. • Alta capacidad portante.	• El uso de lámina galvanizada puede aumentar la temperatura en interiores, razón por la que se recomienda una buena ventilación.

Tipo de sistema de entrepiso	Peso	Rendimiento constructivo	Capacidad aislante	Costo	Otras ventajas	Otras Desventajas
	(Kg/m2)	(hora/m2)		(m2)		
Placa fácil	53,589	1,747368		**$ 94.206,00**	•Permite una obra limpia. •Montaje rápido y sencillo. •Adaptable a cualquier área. •Acabados mínimos. •No requiere formaleta general.	• La falta de control y la construcción del sistema por parte de personal que no esté capacitado, podría generar edificaciones inestables e inseguras. (Bejarano & Zambrano, 2014) • Su soporte de carga es menor que las losas macizas y nervadas, por lo cual se debe estructurar bien la base en la cual se apoya y no dejar grandes distancias de luz entre los soportes. • Por su espesor, la instalación de tuberías de diámetros grandes es más complicada.
		Medio: Debido a que, aunque el montaje de los perfiles es rápido, es necesario hacer cortes a los bloquelones para que encajen en el perímetro del área a construir.		**Bajo**		

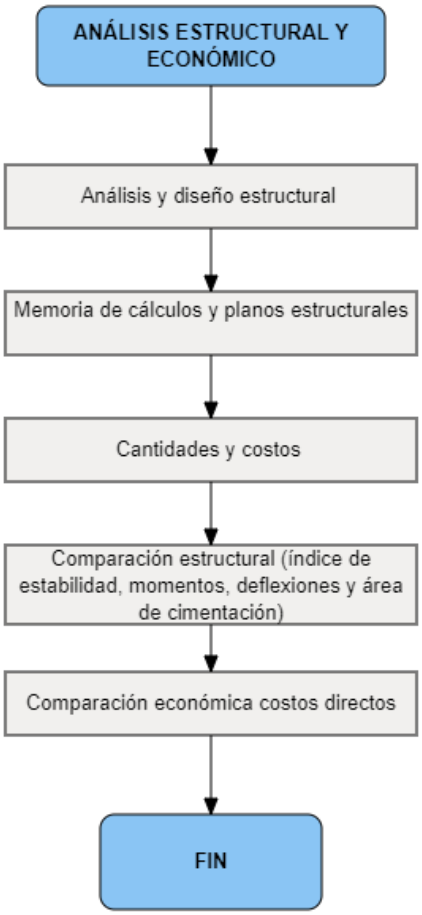
Fuente: Propia

5. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo del proyecto se establece como variables independientes los sistemas de losa: maciza, aligerada en una dirección, lámina colaborante y placa fácil, como variables dependientes: el comportamiento estructural y económico.

El procedimiento para el desarrollo del presente trabajo es el siguiente: tomar un diseño arquitectónico el cual será la base para establecer la geometría estructural, adoptar un estudio de suelos de la ciudad de Bogotá en el sitio donde se implantará el proyecto, establecer las características geométricas de la estructura para proceder a realizar los respectivos modelos de cada sistema en un programa de elementos finitos, en el cual, se evaluará los índices de flexibilidad y resistencia. Posteriormente, obtener las cuantías de acero y las cantidades de material de cada estructura y con esta información hallar los costos para finalmente, realizar la comparación entre los sistemas constructivos.

Figura 18. Diagrama de flujo para el análisis estructural y económico de las losas de entrepiso



Fuente: Propia

5.1. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

En esta etapa se desarrollan varios modelos (uno por cada tipo de placa de entrepiso). Para cada modelo se realiza el siguiente procedimiento:

Figura 19. Diagrama de flujo para el análisis y diseño estructural de una edificación



Fuente: Propia

Con el propósito de desarrollar el procedimiento descrito mediante el diagrama de flujo, se elabora un modelo estructural tridimensional de la arquitectura seleccionada en un programa de elementos finitos, donde se crean elementos tipo “Frame” para definir columnas, vigas y viguetas, y elementos tipo “Shell” para definir las placas, estos tendrán propiedades que no afectan la rigidez de las vigas. La característica mecánica de los materiales corresponde con las determinadas en la etapa de consulta, y la geometría de los elementos se define conforme al predimensionamiento.

Para la obtención de las fuerzas sísmicas se procede a hacer un análisis espectral multimodal. Se analizan 12 primeros modos de vibración mediante el manejo de valores propios (eigenvalues), teniendo en cuenta los efectos de interacción modal mediante una combinación cuadrática completa (C.Q.C); dado que se realiza un análisis modal, no se tiene en cuenta la torsión accidental según lo estipulado en la NSR-10.

Para los efectos direccionales de los movimientos sísmicos, lo que se hará es analizar los efectos ortogonales calculando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los efectos producidos por el 100% de las fuerzas sísmicas actuando independientemente en las dos direcciones ortogonales, produciendo fuerzas de diseño que no son función del sistema de coordenadas de referencia y como resultado se obtiene un diseño estructural que tendrá igual resistencia a los movimientos sísmicos en todas las direcciones. La alternativa de (SRSS) produce resultados más desfavorables que la regla del 100/30, dado que esta última es dependiente del sistema de referencia seleccionado en el modelo de análisis.

El programa empleado para el análisis y diseño estructural en el desarrollo de este proyecto es Sap 2000 (versión estudiantil), que a su vez se apoya en la metodología de diseño descrita en el anexo 1 de este documento. En este programa se han modificado los factores de reducción de resistencia de acuerdo con lo estipulado en la NSR-10.

5.2. COMPARACIÓN ESTRUCTURAL Y ECONÓMICA

5.2.1. Comparación económica

En esta etapa se realiza el contraste tanto de los análisis estructurales como económicos desarrollados para cada tipo de placa de entrepiso. Es necesario hacer claridad en que para poder empezar con la comparación estructural se deben tener bien definidos los refuerzos de los elementos estructurales, pues es en base a esto que las cantidades empezarán a variar.

Ahora bien, el método para hacer la comparación económica de cada tipo de entrepiso consistió en generar un APU para cada actividad estructural de cada

sistema, teniendo en cuenta que la cuantía de aceros variará de un sistema a otro, razón por la que se consideró como una actividad independiente.

Continuando, una vez se tienen diseñados los elementos del sistema portante, se procede a cuantificar los aceros, el volumen de concreto de las zapatas, columnas, vigas y viguetas, y se multiplican las cantidades con el valor unitario obtenido del APU, acto seguido se procede a comparar qué sistema es más económico dependiendo de la actividad, y finalmente se compara el precio global entre los diferentes tipos de entrepisos.

6. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

6.1. PARAMETROS DE DISEÑO

ASPECTOS GENERALES	
Proyecto	Vivienda Multifamiliar
Grupo de uso	I
Número de niveles	6
Área construida	385.32m²
Área piso tipo	61.21m²
Altura de diseño	14.7m
Tipo de cimentación	Zapatas aisladas
Norma de diseño	NSR-10
Materiales	Concreto f'c=21Mpa
	Acero de refuerzo fy=420Mpa
	Acero estructural fy=351.5Mpa
Método de diseño	Resistencia Ultima
Método de análisis sísmico	Análisis Dinámico Elástico Espectral
Método de cálculo sísmico	Modal espectral dinámico
Sistema de resistencia sísmica	Pórticos en concreto reforzado (DMO)
Sistema de entrepisos	Losa maciza
	Losa aligerada
	Losa sobre lamina colaborante
	Losa placa fácil
Procesamiento electrónico	Sap2000
Capacidad Portante	249.4kN/m²

6.1.1. Localización

Para el análisis se selecciona una edificación con las siguientes características:

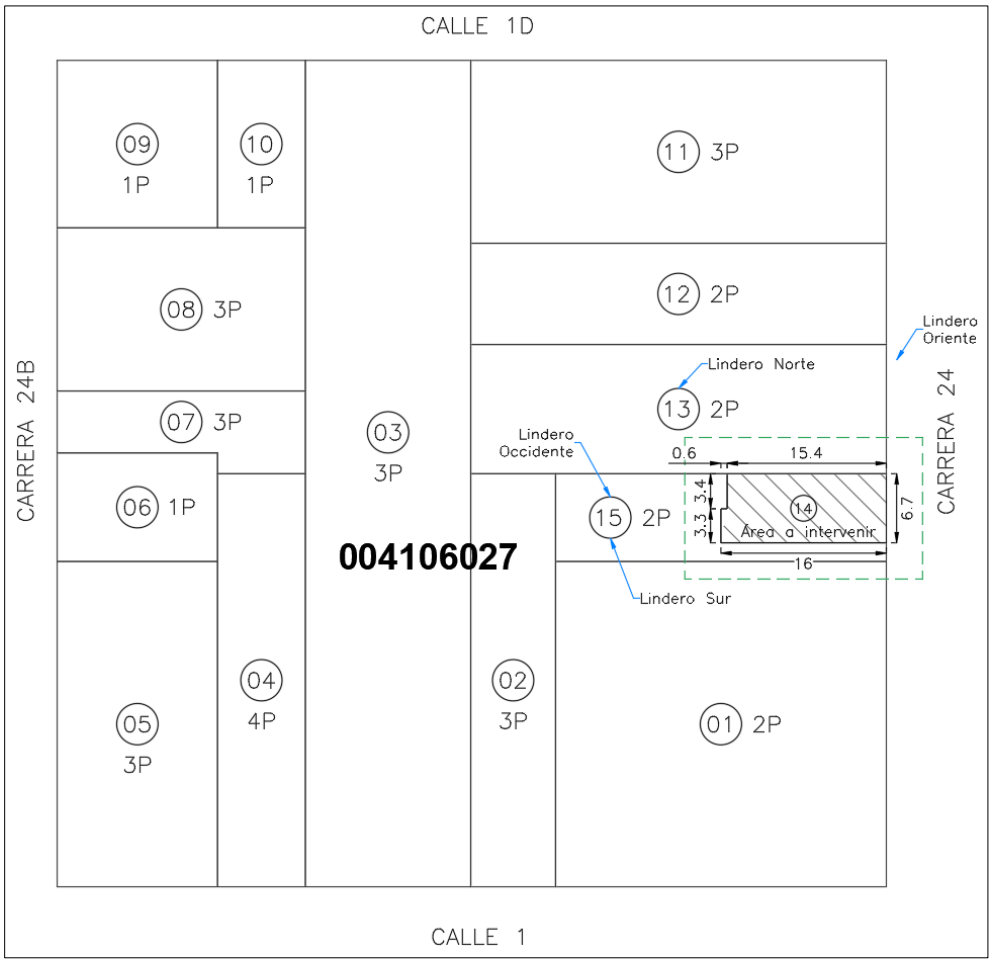
Tipo de vivienda: Multifamiliar.

Número de niveles: Cinco pisos.

Localización: En el centro de la ciudad de Bogotá, lote 14, manzana 004106027.

Dirección: Carrera 24 Nº 1 -37.

Figura 20. Localización específica de la edificación



Fuente: Planos arquitectónicos del proyecto

6.1.2. Uso

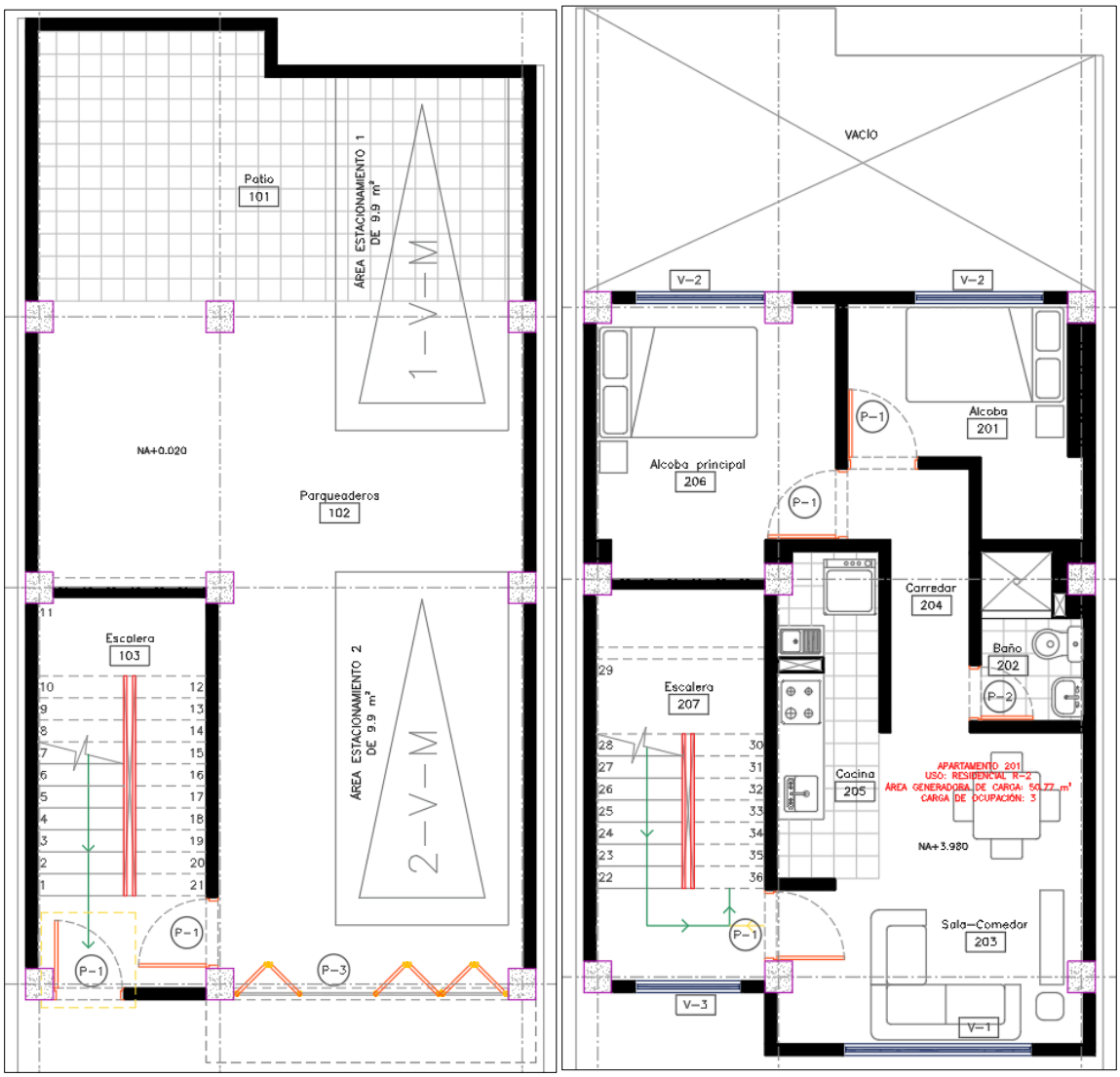
De acuerdo con la configuración arquitectónica el uso de la vivienda es residencial con un coeficiente de importancia de 1.00 según A.2.5.2 de la NSR-10 (Grupo I – Estructuras de ocupación normal).

6.1.3. Configuración arquitectónica y distribución de espacios

El lote planteado para el estudio cuenta con un área total de 105.16m²; conforme a la normativa urbanística (UPZ 37 Santa Isabel) tendrá un área construida para el

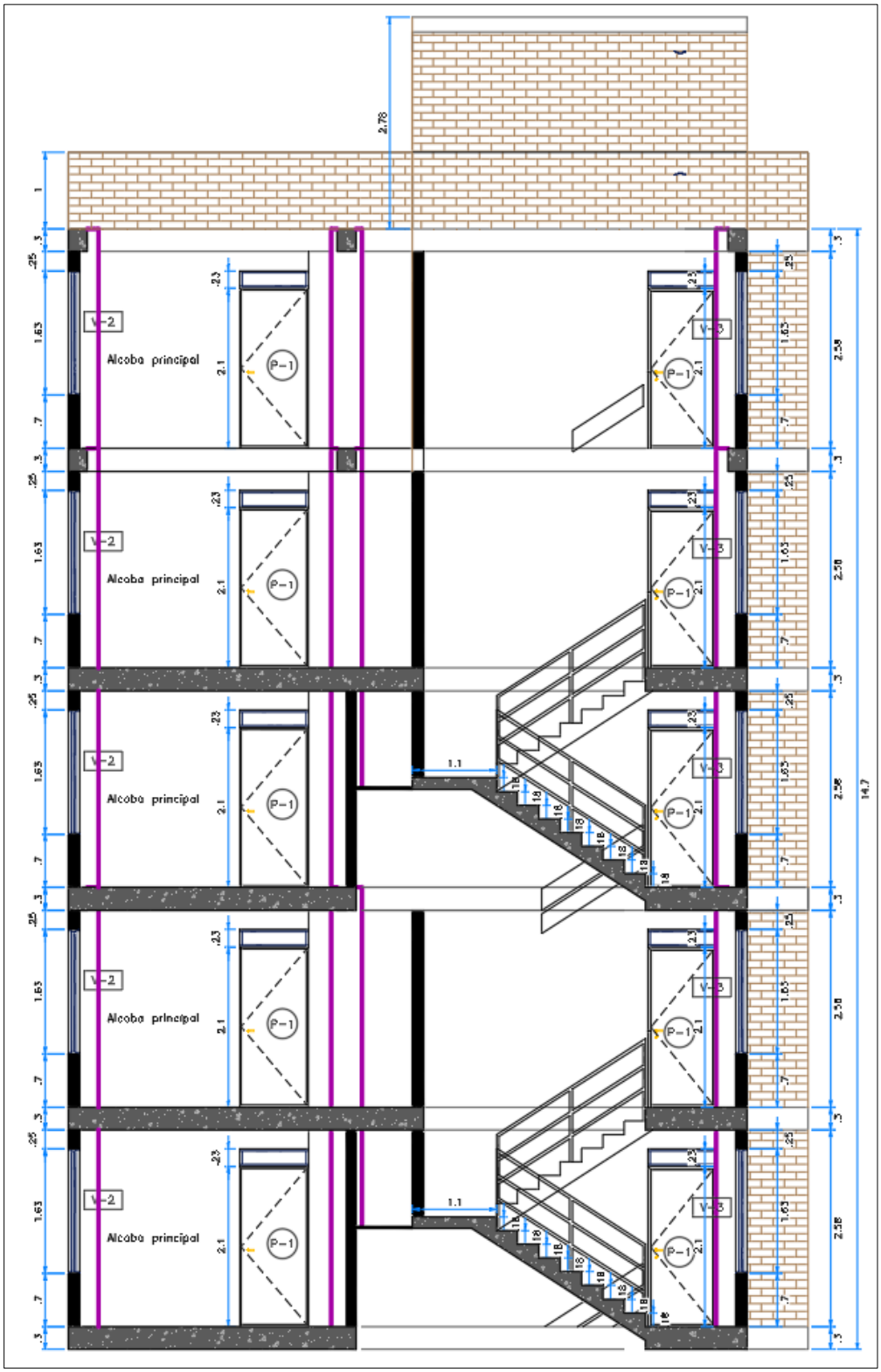
primer piso de 59.63m² y un área ocupada en los siguientes pisos de 63.07m². En el primer piso se encuentran los siguientes espacios: estacionamientos, patio y escalera. En cada planta de los siguientes niveles se encuentra un apartamento conformado por los siguientes espacios privados: dos alcobas, una sala comedor, una cocina y un baño, y una escalera como espacio comunal.

Figura 21. Planta arquitectónica del primer y segundo piso de la edificación a analizar



Fuente: Planos arquitectónicos del proyecto

Figura 22. Corte transversal de la edificación a analizar



Fuente: Planos arquitectónicos del proyecto

6.1.4. Parámetros sísmicos

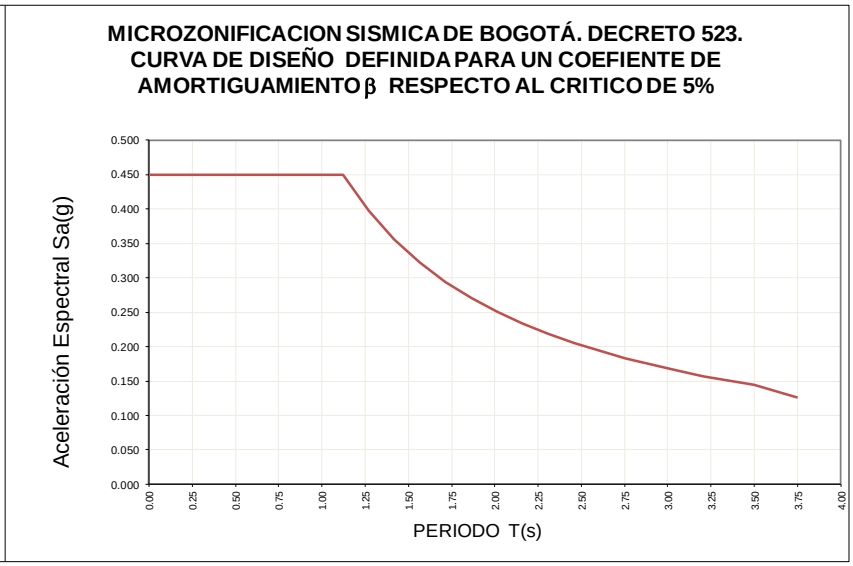
Figura 23. Parámetros sísmicos para la edificación en estudio

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LA CIUDAD DE BOGOTA - DECRETO 523 -			
ZONA	**ALUVIAL-100**		
COEFICIENTES ESPECTRALES			
Aceleración Horizontal pico efectiva de Diseño (NSR-10)		Aa=	0.15 g
Aceleración que representa la velocidad horizontal Pico Efectiva de Diseño (NSR-10)		Av=	0.20 g
Aceleración Horizontal Pico Efectiva del Terreno en superficie		Ao=	0.18 g
Coeficiente de Aceleración que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos		Fa=	1.20
Coeficiente de Aceleración que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios		Fv=	2.10
Perido Corto		Tc=	1.12 s
Periodo Largo		TL=	3.50 s
COEFICIENTE DE IMPORTANCIA:	**I**	I=	1.00
COEFICIENTE DE SOBRERRESISTENCIA		Ω_O =	3.00
SISTEMA ESTRUCTURAL DE PÓRTICO:	**DMO**	Ro=	5.00
ALTURA DEL EDIFICIO (m):		h_n=	14.70 m

Fuente: NSR-10. Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente [texto]. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Título A. 2010. p. 26-31, 34-38. [Consultado: 24 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/titulo-a-nsr-100.pdf

Figura 24. Espectro de diseño para el proyecto en estudio

	PERIODO (segundos)	Sa (g)
	0.000	0.450
	0.140	0.450
	0.280	0.450
	0.420	0.450
	0.560	0.450
	0.700	0.450
	0.840	0.450
	0.980	0.450
Tc	1.120	0.450
	1.269	0.397
	1.418	0.356
	1.566	0.322
	1.715	0.294
	1.864	0.270
	2.013	0.250
	2.161	0.233
	2.310	0.218
	2.459	0.205
	2.608	0.193
	2.756	0.183
	2.905	0.173
	3.054	0.165
	3.203	0.157
	3.351	0.150
TL	3.500	0.144
	3.75	0.125



Fuente: Propia

6.1.5. Configuración estructural

Figura 25. Configuración estructural

IRREGULARIDADES EN PLANTA Y EN ALTURA			
TIPO	**Φp**	**TIPO**	**Φa**
1aP	1.0	1aA	1.0
1bP	1.0	1bA	1.0
2P	1.0	2A	1.0
3P	1.0	3A	1.0
4P	1.0	4A	1.0
5P	1.0	5aA	1.0
		5aA	1.0

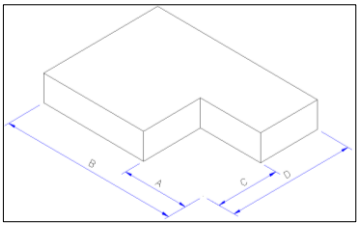
Coeficiente de reduccion de capacidad de disipacion de energia

R= Φa Φp Φr Ro

R= (1.00) (1.00) (1.00) (5.00) = 5.00

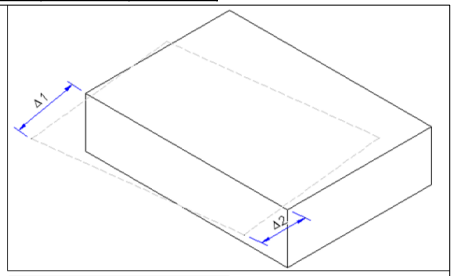
Tipo 2P — Retrocesos en las esquinas — $\phi_p = 0.9$

$A > 0.15B$ y $C > 0.15D$

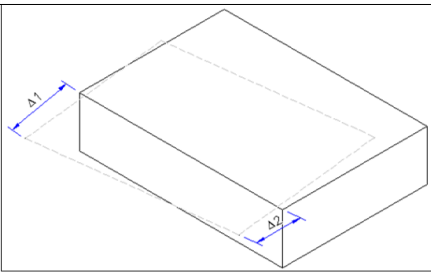


A=	0.80	0,15B	No	
B=	9.70	1.455		ϕp= 1
C=	2.30	0,15D	Si	
D=	6.50	0.975		

IRREGULARIDAD TORSIONAL EN X



	Tipo 1aP — Irregularidad torsional $\phi_p = 0.9$ $1.4\left(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right) \geq \Delta_1 > 1.2\left(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right)$			Tipo 1bP — Irregularidad torsional extrema $\phi_p = 0.8$ $\Delta_1 > 1.4\left(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right)$		
MACIZA	Δ1=	5.3937	cm	Δ1=	5.3937	
	Δ2=	6.6736	cm	Δ2=	6.6736	
	8.44711	5.3937	7.24038		5.3937	8.44711
	ϕp=	1		ϕp=	1	
ALIGERADA	Δ1=	6.8757	cm	Δ1=	6.8757	
	Δ2=	9.2947	cm	Δ2=	9.2947	
	11.31928	6.8757	9.70224		6.8757	11.31928
	ϕp=	1		ϕp=	1	
LAMINA COLABORANTE	Δ1=	5.9878	cm	Δ1=	5.9878	
	Δ2=	7.5656	cm	Δ2=	7.5656	
	9.48738	5.9878	8.13204		5.9878	9.48738
	ϕp=	1		ϕp=	1	
PLACA FACIL	Δ1=	6.3667	cm	Δ1=	6.3667	
	Δ2=	8.4983	cm	Δ2=	8.4983	
	10.4055	6.3667	8.919		6.3667	10.4055
	ϕp=	1		ϕp=	1	

IRREGULARIDAD TORSIONAL EN Y		
	Tipo 1aP — Irregularidad torsional $\phi_P = 0.9$ $1.4\left(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right) \geq \Delta_1 > 1.2\left(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right)$	Tipo 1bP — Irregularidad torsional extrema $\phi_P = 0.8$ $\Delta_1 > 1.4\left(\frac{\Delta_1+\Delta_2}{2}\right)$
MACIZA	Δ1= 6.7579 cm Δ2= 6.9215 cm 9.57558 6.7579 8.20764 ϕp= 1	Δ1= 6.7579 Δ2= 6.9215 6.7579 9.57558 ϕp= 1
ALIGERADA	Δ1= 9.6742 cm Δ2= 9.9102 cm 13.70908 9.6742 11.75064 ϕp= 1	Δ1= 9.6742 Δ2= 9.9102 9.6742 13.70908 ϕp= 1
LAMINA COLABORANTE	Δ1= 7.8038 cm Δ2= 8.2566 cm 11.24228 7.8038 9.63624 ϕp= 1	Δ1= 7.8038 Δ2= 8.2566 7.8038 11.24228 ϕp= 1
PLACA FACIL	Δ1= 8.8055 cm Δ2= 9.0846 cm 12.52307 8.8055 10.73406 ϕp= 1	Δ1= 8.8055 Δ2= 9.0846 8.8055 12.52307 ϕp= 1

Fuente: Propia

Se realiza los chequeos respectivos y se conjetura que la estructura no contempla irregularidades en planta ni en alzado.

6.1.6. Materiales

Para los materiales se adoptarán:

Concreto Estructural $f'c = 210\ kg/cm^2$ (21 MPa)

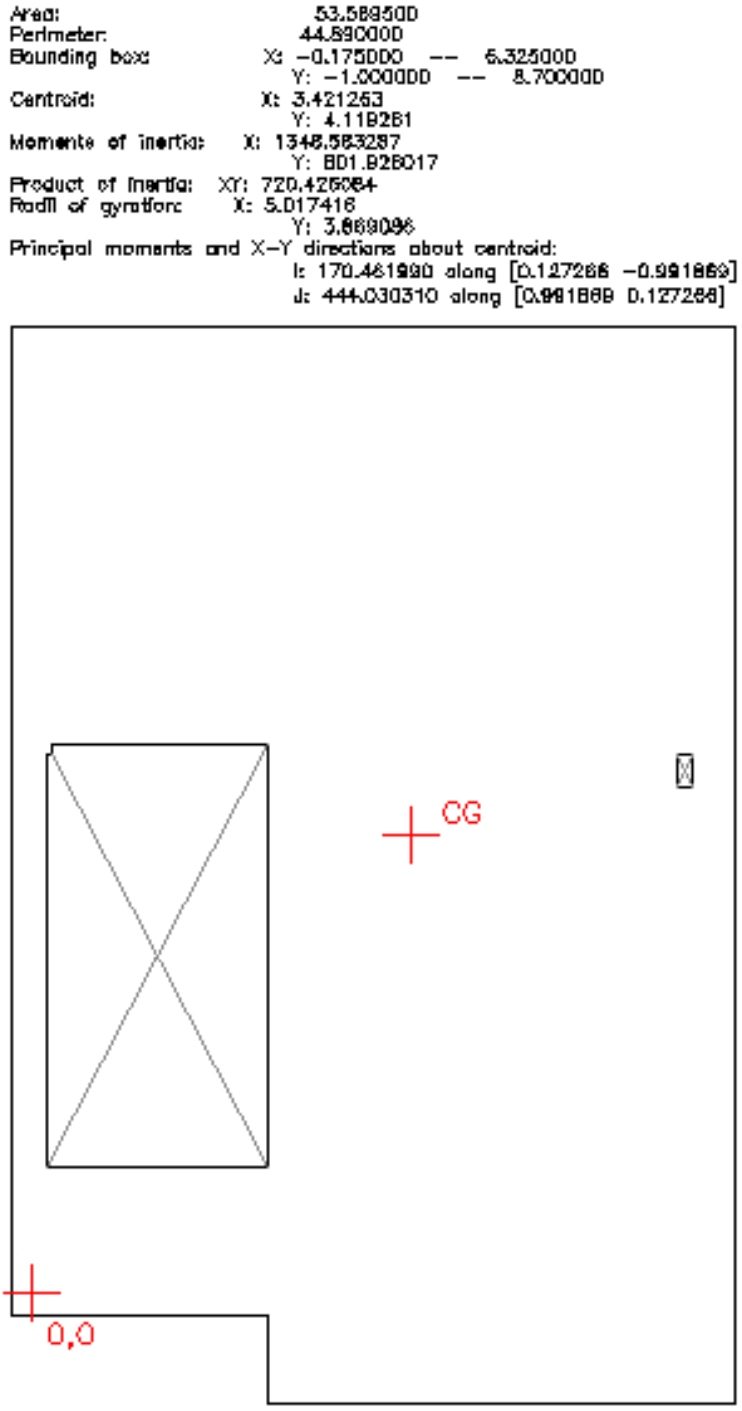
Acero de refuerzo $f_y = 4200\ kg/cm^2$ (420 MPa)

6.1.7. Normas de referencia para el analisis y diseño

- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10
- ACI 318 – 08
- American Institute of Steel Construction
- American Concrete Institute (ACI)

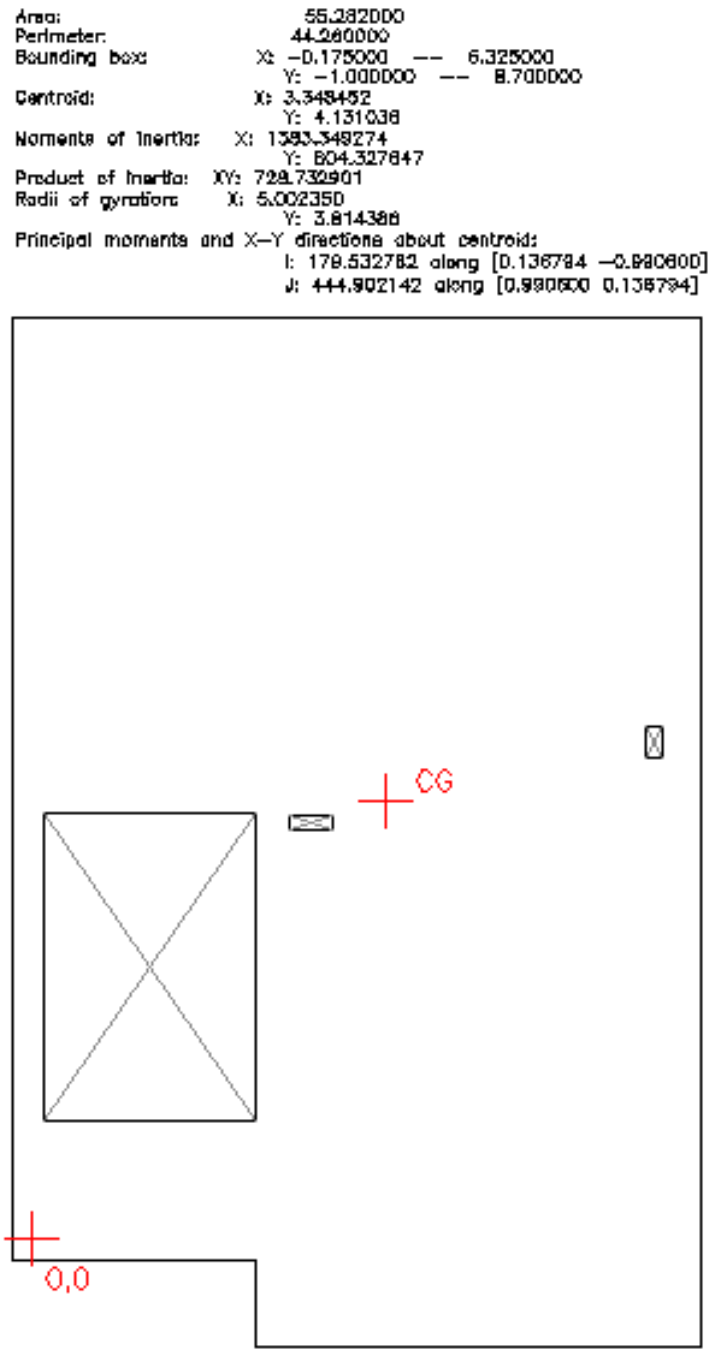
6.1.8. Obtención de los centros de gravedad e inercias

Figura 26. Centro de gravedad e inercia placa nivel 2



Fuente: Propia

Figura 27. Centro de gravedad e inercia placas niveles 3, 4, 5 y cubierta



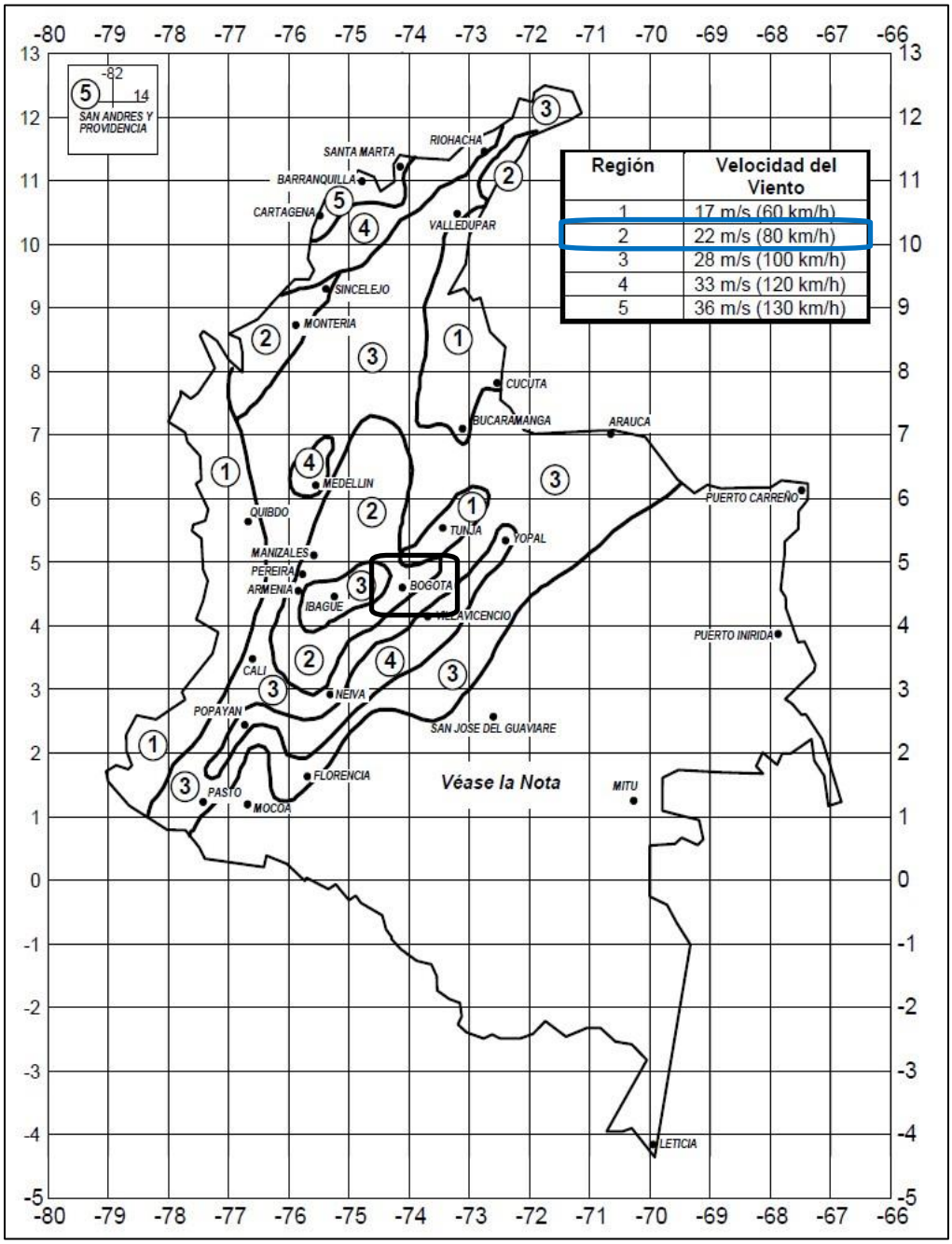
Fuente: Propia

6.2. EVALUACIÓN DE CARGAS

6.2.1. Fuerza de vientos

De acuerdo, al mapa de amenaza eólica la NSR-10, se recomienda para la zona de estudio utilizar una velocidad de viento de diseño de 80Km/h.

Figura 28. Mapa de amenaza eólica en Colombia

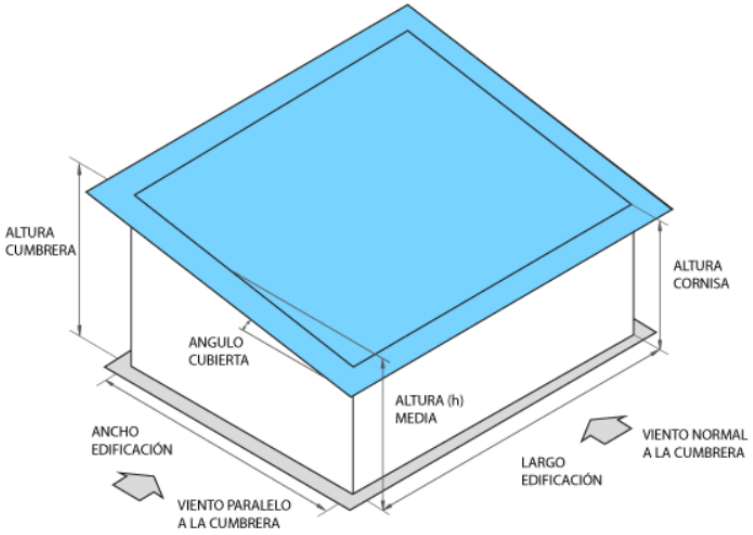


Fuente: NSR-10. Zonas de amenaza eólica [figura]. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Título B. 2010. p. 45. [Consultado: 24 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/2titulo-b-nsr-100.pdf

Figura 29. Análisis de las cargas de viento consideradas en el proyecto

DATOS DE ENTRADA

ESQUEMA DE LA ESTRUCTURA



PROPIEDADES DE LA ESTRUCTURA

Altura de la cornisa (m)	10.20
Altura de la cumbrera (m)	10.20
Ancho de la edificación (m)	6.60
Largo de la edificación (m)	9.70
Tipo de cubierta	Un agua
Relación de amortiguamiento	0.0500
Coeficiente de periodo	0.0720
Exponente de periodo	0.8000

PARAMETROS DE DISEÑO

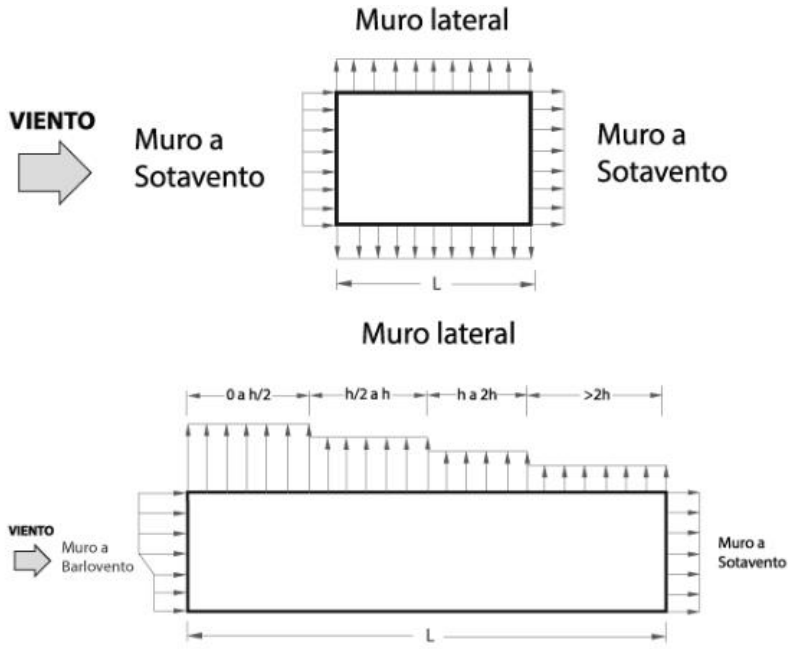
Velocidad (m/s)	80.00
Dirección del viento	Normal a la cumbrera
Tipo de edificación	Parcialmente cerrada
Exposición	C
Ocupación	I
Región propensa a huracanes?	NO
Factor topográfico	1.0000

PARAMETROS DE DISEÑO

Inclinación de la cubierta (°)	0.00
Altura media de la cubierta (m)	10.20
Factor de Importancia	0.87
Factor de dirección	0.85
Frecuencia natural del edificio (Hz)	2.17
Presión por velocidad a la altura media de la cubierta (kgf/m2)	297.02

Figura 29. Análisis de las cargas de viento consideradas en el proyecto (continuación)

SPRFV -Transversal. Presiones Netas, ps (kN/m²)				
Localización	Dirección	Zona	Caso de Carga 1	Caso de Carga 2
A = Zona final del muro	Horizontal	A	0.34	---
B = Zona final de la cubierta	Horizontal	B	0.00	---
C = Zona Interior del Muro	Horizontal	C	0.23	---
D = Zona interior de la cubierta	Horizontal	D	0.00	---
E = Zona final de cubierta a Barlovento	Vertical	E	-0.35	---
F = Zona final de cubierta a sotavento	Vertical	F	-0.22	---
G =Zona interior de cubierta a barlovento	Vertical	G	-0.24	---
H = Zona interior de cubierta a sotavento	Vertical	H	-0.17	---



Fuente: *Informe generado por Arquimet;* NSR-10. Sistema principal de resistencia de fuerza de viento (SPRFV) - Método 1 [figura]. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Título B. 2010. p. 46-49. [Consultado: 24 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/2titulo-b-nsr-100.pdf

Conforme con B.6.1.3.1 la carga de viento no será menor a una presión de 0.40 kN/m².

6.2.2. Otras cargas

Tabla 3. Otras cargas consideradas en el proyecto de estudio

Carga de granizo (G)	100 Kgf/m²	1.00 kN/m²
Carga de empozamientode agua (Le)	90 Kgf/m²	0.90 kN/m²

Fuente: NSR-10. Carga por empozamiento de agua y Carga de granizo [texto]. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Título B. 2010. p. 24. [Consultado: 24 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/2titulo-b-nsr-100.pdf

6.2.3. Cargas vivas (L)

Se consideran las cargas descritas en la tabla B.4.2.1-1 de la NSR-10 para ocupación residencial.

Tabla 4. Cargas vivas consideradas en el proyecto

Carga viva (L)		
Placas	180 Kgf/m²	1.80 kN/m²
Escaleras	300 Kgf/m²	3.00 kN/m²
Carga viva en cubierta (Lr)		
Placa	180 Kgf/m²	1.80 kN/m²

Fuente: NSR-10. Tabla B.4.2.1-1 – Cargas mínimas uniformemente distribuidas [tabla]. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Título B. 2010. p. 21. [Consultado: 24 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/2titulo-b-nsr-100.pdf

6.2.4. Elementos no estructurales – cargas muertas (D) (B.3.4 NSR-10)

En el modelo de análisis se introducirán las cargas de muros divisorios como cargas distribuidas sobre la placa. Las cargas de los muros de fachada se colocarán como cargas distribuidas lineales sobre los elementos estructurales de borde.

Se toman como base las cargas muertas mostradas en tabla B.3.4.2-4 de la NSR-10 para mampostería de bloque de arcilla pañetado en ambas caras logrando un espesor de muro final de 15cm.

Tabla 5. Cargas muertas consideradas en el proyecto

NIVEL	Altura Muro	Longitud	Espesor Muro	Carga por m^2 de superficie	Carga Distribuida por m	Peso Total		Area de Placa	Carga Distribuida sobre placa	
	(m)	(m)	(m)	(kgf/m^2)	(kgf/m)	(kgf)	(kN)	(m^2)	(kgf/m^2)	(kN/m^2)
Nivel 2,3,4 y 5	2.58	25.05	0.15	250	645	16157.25	158.50	54.95	294.04	2.88
Cubierta	2.58	12.40	0.15	250	645	7998.00	78.46	54.95	145.55	1.43

NIVEL	Altura Muro	Longitud	Espesor Muro	Carga por m^2 de superficie	Carga Distribuida por m	Peso Total		Area de Placa	Carga Distribuida sobre placa	
	(m)	(m)	(m)	(kgf/m^2)	(kgf/m)	(kgf)	(kN)	(m^2)	(kgf/m^2)	(kN/m^2)
Nivel 2,3,4 y 5	2.58	31.80	0.15	250	645	20511.00	201.21	54.95	373.27	3.66
Cubierta	1.00	31.80	0.15	250	250	7950.00	77.99	54.95	144.68	1.42

Fuente: NSR-10. Tabla B.3.4.2-4 – Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales - muros [tabla]. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Título B. 2010. p. 19. [Consultado: 24 de marzo de 2021]. Disponible en: https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/2titulo-b-nsr-100.pdf

Se considera el peso propio de los elementos incluidos en el modelo, usando el programa de análisis, para los demás elementos se evalúa la carga muerta.

- Placa maciza e=0.15m

Niveles 2, 3,4 y 5

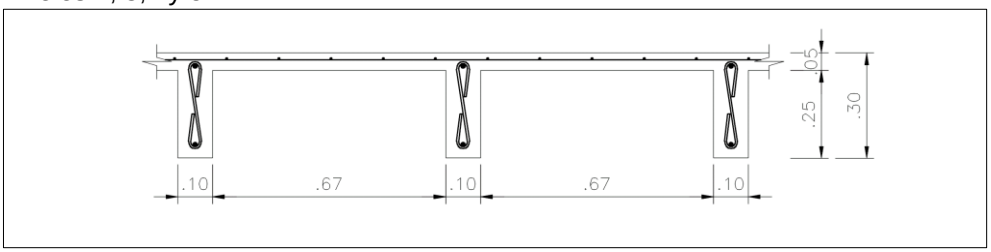
Afinado de Piso Mortero de 16mm de espesor	33.6	Kg/m^2	0.33	kN/m^2
Baldosa cerámica 20mm	54.4	Kg/m^2	0.53	kN/m^2
Acadado cara inferior losa entre piso	15	Kg/m^2	0.15	kN/m^2
Muros divisorios	294.04	Kg/m^2	2.88	kN/m^2
TOTAL CARGA MUERTA :	**397.04**	**Kgf/m^2**	**3.89**	**kN/m^2**

Nivel cubierta

Afinado de Piso Mortero de 19mm de espesor	40	Kg/m^2	0.39	kN/m^2
Acabado piso capa impermeabilizante	24	Kg/m^2	0.24	kN/m^2
Acadado cara inferior losa entre piso	15	Kg/m^2	0.15	kN/m^2
Muros divisorios	0.00	Kg/m^2	0.00	kN/m^2
TOTAL CARGA MUERTA :	**79.00**	**Kgf/m^2**	**0.77**	**kN/m^2**

- Placa aligerada en una dirección.

Niveles 2, 3,4 y 5



Separación Maxima centro a centro entre nervios <= 1.20m	0.75	m	OK	(NSR-10 C.8.13.3)
Espesor mínimo de la losa superior >= 0.05m	0.054	m	OK	(NSR-10 C.8.13.6.1)
Separación Máxima entre riostras <= 4.00m	2.00	m	OK	(NSR-10 C.8.13.3.1)

Nervio o Vigueta	10.94	Kgf/m^2	0.11	kN/m^2
Afinado de Piso Mortero de 16mm de espesor	40	Kg/m^2	0.39	kN/m^2
Baldosa cerámica 20mm	48	Kg/m^2	0.47	kN/m^2
Acabado cara inferior losa entre piso	15	Kg/m^2	0.15	kN/m^2
Muros divisorios	294.04	Kg/m^2	2.88	kN/m^2
TOTAL CARGA MUERTA :	**407.98**	**Kgf/m^2**	**4.00**	**kN/m^2**

Nivel cubierta

Nervio o Vigueta	10.94	Kgf/m^2	0.11	kN/m^2
Afinado de Piso Mortero de 19mm de espesor	40	Kg/m^2	0.39	kN/m^2
Acabado piso capa impermeabilizante	24	Kg/m^2	0.24	kN/m^2
Acabado cara inferior losa entre piso	15	Kg/m^2	0.15	kN/m^2
Muros divisorios	0.00	Kg/m^2	0.00	kN/m^2
TOTAL CARGA MUERTA :	**89.94**	**Kgf/m^2**	**0.88**	**kN/m^2**

- Placa lamina colaborante

Niveles 2, 3,4 y 5

Afinado de Piso Mortero de 16mm de espesor	33.6	Kg/m^2	0.33	kN/m^2
Baldosa cerámica 20mm	54.4	Kg/m^2	0.53	kN/m^2
Acadado cara inferior losa entre piso	15	Kg/m^2	0.15	kN/m^2
Muros divisorios	294.04	Kg/m^2	2.88	kN/m^2
TOTAL CARGA MUERTA :	**397.04**	**Kgf/m^2**	**3.89**	**kN/m^2**

Nivel cubierta

Afinado de Piso Mortero de 19mm de espesor	40	Kg/m^2	0.39	kN/m^2
Acabado piso capa impermeabilizante	24	Kg/m^2	0.24	kN/m^2
Acadado cara inferior losa entre piso	15	Kg/m^2	0.15	kN/m^2
Muros divisorios	0.00	Kg/m^2	0.00	kN/m^2
TOTAL CARGA MUERTA :	**79.00**	**Kgf/m^2**	**0.77**	**kN/m^2**

- Placa fácil

Niveles 2, 3,4 y 5

Bloquelón	48.31	Kg/m^2	0.47	kN/m^2
Afinado de Piso Mortero de 16mm de espesor	33.6	Kg/m^2	0.33	kN/m^2
Baldosa cerámica 20mm	54.4	Kg/m^2	0.53	kN/m^2
Acadado cara inferior losa entre piso	15	Kg/m^2	0.15	kN/m^2
Muros divisorios	294.04	Kg/m^2	2.88	kN/m^2
TOTAL CARGA MUERTA :	**445.35**	**Kgf/m^2**	**4.37**	**kN/m^2**

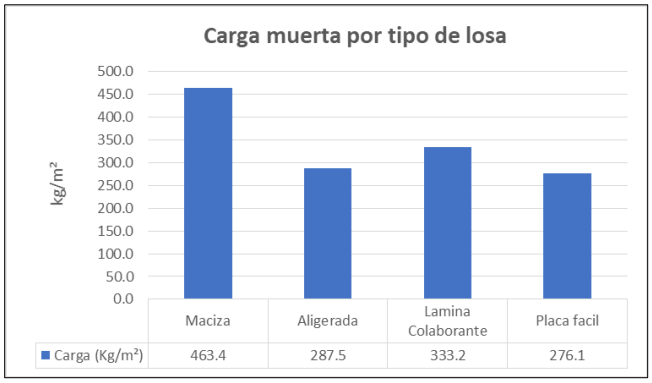
Nivel cubierta

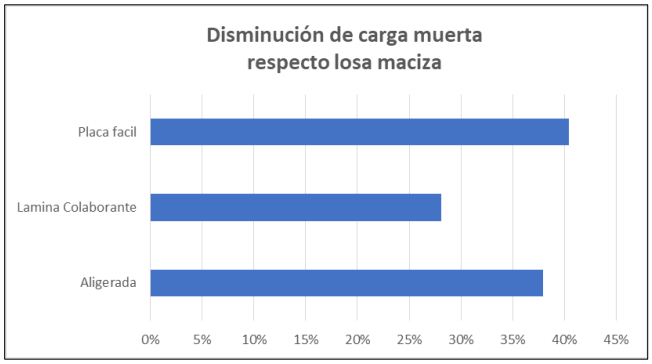
Bloquelón	48.31	Kg/m^2	0.47	kN/m^2
Afinado de Piso Mortero de 19mm de espesor	40	Kg/m^2	0.39	kN/m^2
Acabado piso capa impermeabilizante	24	Kg/m^2	0.24	kN/m^2
Acadado cara inferior losa entre piso	15	Kg/m^2	0.15	kN/m^2
Muros divisorios	0.00	Kg/m^2	0.00	kN/m^2
TOTAL CARGA MUERTA :	**127.31**	**Kgf/m^2**	1.25	kN/m^2

6.2.5. Análisis comparativo cargas muertas

Elemento	Evaluación de carga muerta	Referente
Afinado de Piso Mortero de 16mm de espesor	0.016m x 2100kg/m³	Tabla B.3.2-1
Baldosa cerámica 20mm	54.80kg/m²	Tabla B.3.4.1-3
Acadado cara inferior losa entre piso	15.00kg/m²	Tabla B.3.4.1-3
Placa e=0.15m	0.15m x 2400kg/m³	Tabla B.3.2-1
Nervio o Riostra	((0.10mx0.25mx7.8m)x2400kg/m³) / 55.23m²	Tabla B.3.2-1
Vigueta (0.10x0.30)m	((0.10mx0.25mx51.20m)x2400kg/m³) / 55.23m²	Tabla B.3.2-1
Placa lamina colaborante Metaldeck 2" - C 20 e=110mm	0.09m x 2400kg/m³	Tabla B.3.2-1
Perfil PTR (150x100x4)	(51.20mx14.87kg/m) / 55.23m²	Catálogo
Placa e=0.05m	0.05m x 2400kg/m³	Tabla B.3.2-1
Bloquelón	48.31kg/m²	Catálogo
Perfil de lámina abierta (PLA)	(51.20mx4.77kg/m) / 55.23m²	Catálogo

CARGA MUERTA	LOSA															
	Maciza				Aligerada				Lamina Colaborante				Placa facil			
Afinado de Piso Mortero de 16mm de espesor	33.6	Kg/m²	0.3	kN/m²	33.6	Kg/m²	0.3	kN/m²	33.6	Kg/m²	0.3	kN/m²	33.6	Kg/m²	0.3	kN/m²
Baldosa cerámica 20mm	54.8	Kg/m²	0.5	kN/m²	54.8	Kg/m²	0.5	kN/m²	54.8	Kg/m²	0.5	kN/m²	54.8	Kg/m²	0.5	kN/m²
Acadado cara inferior losa entre piso	15.0	Kg/m²	0.1	kN/m²	15.0	Kg/m²	0.1	kN/m²	15.0	Kg/m²	0.1	kN/m²	15.0	Kg/m²	0.1	kN/m²
Placa e=0.15m	360.0	Kg/m²	3.5	kN/m²												
Nervio o Riostra					8.5	Kg/m²	0.1	kN/m²								
Vigueta (0.10x0.30)m					55.6	Kg/m²	0.5	kN/m²								
Placa lamina colaborante Metaldeck 2" - C 20 e=110mm									216.0	Kg/m²	2.1	kN/m²				
Perfil PTR (150x100x4)									13.8	Kg/m²	0.1	kN/m²				
Placa e=0.05m					120.0	Kg/m²	1.2	kN/m²					120.0	Kg/m²	1.2	kN/m²
Bloquelón													48.3	Kg/m²	0.5	kN/m²
Perfil de lámina abierta (PLA)													4.4	Kg/m²	0.0	kN/m²
	463.40	**Kg/m²**	**4.55**	**kN/m²**	**287.50**	**Kg/m²**	**2.82**	**kN/m²**	**333.18**	**Kg/m²**	**3.27**	**kN/m²**	**276.13**	**Kg/m²**	**2.71**	**kN/m²**



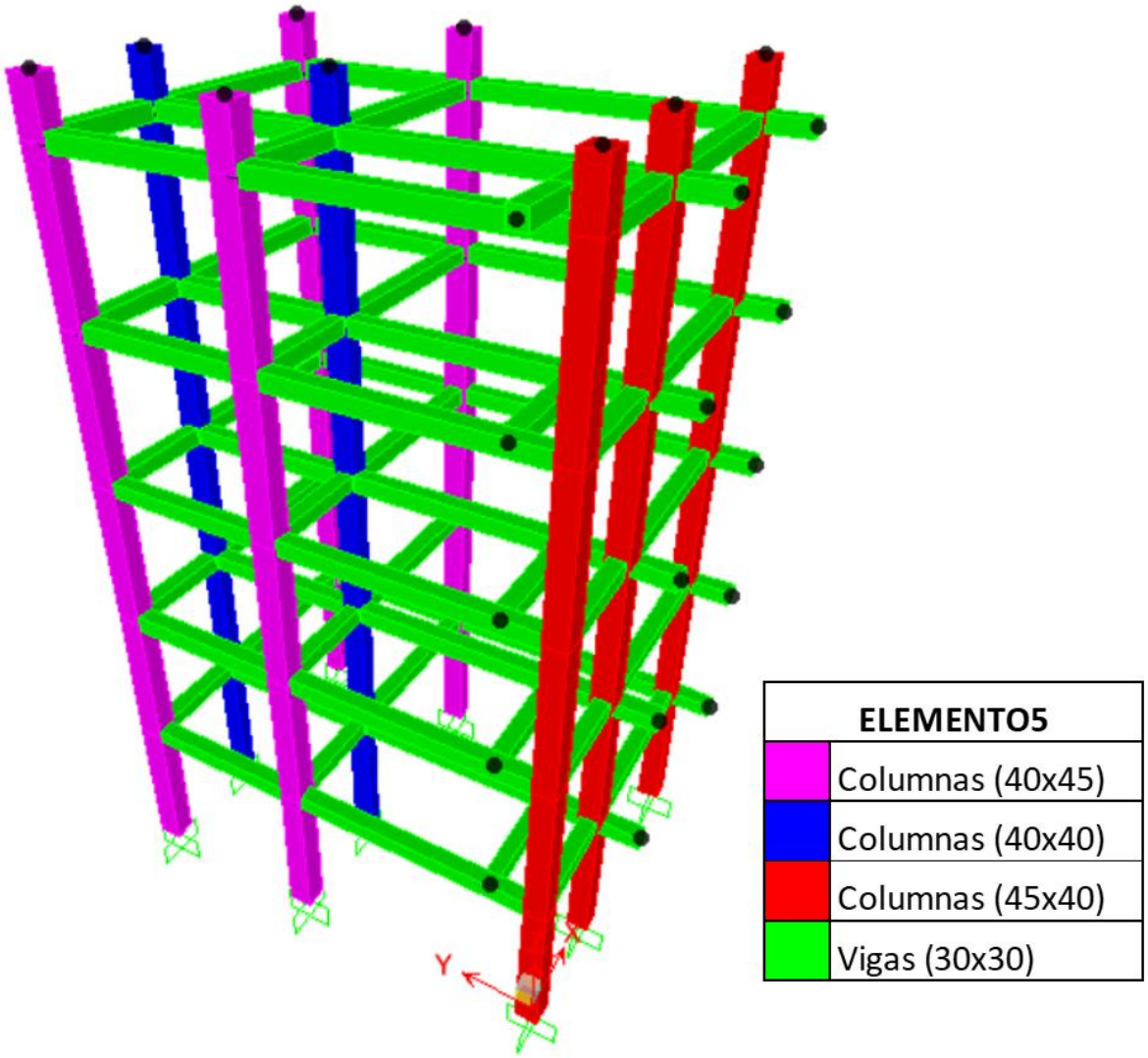


6.3. DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL DEL MODELO

6.3.1. Secciones vigas y columnas

Se realiza el modelamiento con la asignacion de secciones en columnas y vigas

Figura 30. Modelo de la estructura en concreto



Fuente: Propia

6.4. PERIODOS Y FRECUENCIAS MODALES

Losa	Periodos y frecuencias modales							
	Modo 1 (s)		Modo 2 (s)		Modo 3 (s)		Modo 4 (s)	
Maciza	Ty=0.7556	f=1.32346	Tx=0.6983	f=1.43204	Tx=0.5862	f=1.70411	Ty=0.23581	f=4.24075
Aligerada	Ty=0.7906	f=1.26487	Tx=0.7569	fy=1.32113	Tx=0.6244	fy=1.60163	Ty=0.2438	f=4.10129
Lamina Colaborante	Ty=0.7260	f=1.37746	Tx=0.7004	fy=1.4277	Tx=0.5812	fy=1.72058	Ty=0.2272	f=4.40216
Placa facil	Ty=0.7796	f=1.2827	Tx=0.7457	f=1.341	Tx=0.6185	f=1.6168	Ty=0.2402	f=4.16316

6.4.1. Radios de participación carga modal

Modal Load Participation Ratios					
Losa	OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
	Text	Text	Text	Percent	Percent
Maciza	MODAL	Acceleration	UX	99.9998	99.9884
	MODAL	Acceleration	UY	99.9997	99.9333
	MODAL	Acceleration	UZ	92.9525	77.3997
Aligerada	MODAL	Acceleration	UX	99.9996	99.9777
	MODAL	Acceleration	UY	99.998	99.9108
	MODAL	Acceleration	UZ	91.2066	72.8988
Lamina Colaborante	MODAL	Acceleration	UX	99.9995	99.9792
	MODAL	Acceleration	UY	99.9989	99.9438
	MODAL	Acceleration	UZ	94.1365	79.3419
Placa facil	MODAL	Acceleration	UX	99.9992	99.9727
	MODAL	Acceleration	UY	99.9975	99.9161
	MODAL	Acceleration	UZ	90.5937	71.6845

6.5. FUERZAS CORTANTES DE PISO (No Ajustadas)

- Placa maciza

TABLE: Section Cut Forces - Analysis									
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
SCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	142.65	1.71	1.59	17.73	1425.55	127.02
SCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.71	143.29	0.71	1431.20	16.75	28.88
SCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	132.40	1.59	1.46	12.92	1021.71	72.37
SCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.59	133.37	0.89	1026.43	12.02	58.31
SCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	110.37	1.35	1.17	8.45	646.59	60.88
SCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.33	111.32	0.49	649.24	7.70	49.98
SCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	78.15	0.99	0.78	4.67	332.17	43.95
SCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.95	78.73	0.63	332.94	4.14	37.49
SCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	36.70	0.55	0.37	1.84	107.83	22.48
SCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.46	36.91	0.64	107.79	1.48	21.26
SCUT6	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SCUT6	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	132.40	1.59	1.46	8.66	647.26	72.37
wSCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.59	133.37	0.89	648.94	7.62	58.31
WSCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	110.37	1.35	1.17	4.90	333.25	60.88
WSCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.33	111.32	0.49	333.00	4.06	49.98
WSCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	78.15	0.99	0.78	2.29	109.31	43.95
WSCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.95	78.73	0.63	108.16	1.79	37.49
WSCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	36.70	0.55	0.37	0.83	2.27	22.38
WSCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.46	36.91	0.64	2.15	0.63	21.17
WSCUT6	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	1.14	0.02	0.01	0.02	0.07	0.84
WSCUT6	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.01	1.17	0.00	0.06	0.01	0.17

- Placa aligerada en una dirección

TABLE: Section Cut Forces - Analysis									
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
SCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	130.77	0.89	1.34	9.54	1303.95	63.72
SCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.90	129.90	0.86	1296.06	8.85	15.45
SCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	121.56	0.83	1.22	6.92	933.72	25.59
SCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.83	121.08	1.04	929.26	6.48	58.28
SCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	101.28	0.69	0.98	4.61	589.45	20.12
SCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.69	101.12	0.53	587.01	4.31	49.94
SCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	71.40	0.49	0.63	2.62	301.19	12.54
SCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.49	71.34	0.75	299.96	2.55	37.42
SCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	32.92	0.24	0.28	0.99	96.61	4.70
SCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.24	33.00	0.76	96.25	0.93	21.18
SCUT6	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SCUT6	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	121.56	0.83	1.22	4.86	589.96	25.59
wSCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.83	121.08	1.04	586.65	4.40	58.28
WSCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	101.28	0.69	0.98	3.07	302.00	20.12
WSCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.69	101.12	0.53	299.89	2.73	49.94
WSCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	71.40	0.49	0.63	1.78	97.72	12.54
WSCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.49	71.34	0.75	96.40	1.70	37.42
WSCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	32.92	0.24	0.28	0.65	1.89	4.81
WSCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.24	33.00	0.76	1.91	0.72	20.98
WSCUT6	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	32.92	0.24	0.28	0.65	1.89	4.81
WSCUT6	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.24	33.00	0.76	1.91	0.72	20.98

- Placa lamina colaborante

TABLE: Section Cut Forces - Analysis									
SectionCut	**OutputCase**	**CaseType**	**StepType**	**Fx**	**Fy**	**Fz**	**Mx**	**My**	**Mz**
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
SCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	131.20	1.64	0.94	16.43	1303.53	50.61
SCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.65	130.58	0.68	1298.80	16.35	23.15
SCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	121.64	1.52	0.90	11.76	932.03	51.95
SCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.52	121.40	0.91	929.96	11.76	70.11
SCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	101.06	1.26	0.74	7.50	587.31	42.06
SCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.27	101.09	0.51	586.49	7.49	59.68
SCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	71.02	0.87	0.51	3.92	299.38	27.91
SCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.90	71.11	0.63	299.13	3.94	44.12
SCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	32.51	0.40	0.28	1.30	95.56	10.53
SCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.43	32.71	0.52	95.68	1.35	24.02
SCUT6	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SCUT6	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	121.64	1.52	0.90	7.67	587.88	51.95
wSCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.52	121.40	0.91	586.32	7.54	70.11
WSCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	101.06	1.26	0.74	4.29	300.30	42.06
WSCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.27	101.09	0.51	299.32	4.01	59.68
WSCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	71.02	0.87	0.51	1.86	96.83	27.91
WSCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.90	71.11	0.63	96.20	1.61	44.12
WSCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	32.51	0.40	0.28	1.30	95.56	10.53
WSCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.43	32.71	0.52	95.68	1.35	24.02
WSCUT6	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	1.11	0.01	0.00	0.02	0.07	0.42
WSCUT6	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.02	1.11	0.00	0.06	0.00	0.31

- Placa fácil

TABLE: Section Cut Forces - Analysis									
SectionCut	**OutputCase**	**CaseType**	**StepType**	**Fx**	**Fy**	**Fz**	**Mx**	**My**	**Mz**
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
SCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	126.27	0.83	1.29	8.92	1257.07	55.02
SCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.83	125.42	1.01	1249.49	8.20	15.82
SCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	117.35	0.76	1.17	6.53	899.66	32.26
SCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.76	116.89	1.14	895.45	6.04	63.12
SCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	97.71	0.64	0.94	4.43	567.33	25.70
SCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.64	97.55	0.65	565.08	4.04	53.97
SCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	68.74	0.45	0.61	2.59	289.26	16.50
SCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.46	68.70	0.83	288.18	2.45	40.26
SCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	31.44	0.22	0.28	1.01	92.30	6.04
SCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.23	31.55	0.78	92.03	0.94	22.51
SCUT6	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SCUT6	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
wSCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
WSCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	117.35	0.76	1.17	4.75	567.79	32.26
WSCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.76	116.89	1.14	564.71	4.17	63.12
WSCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	97.71	0.64	0.94	3.12	290.02	25.70
WSCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.64	97.55	0.65	288.09	2.62	53.97
WSCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	68.74	0.45	0.61	1.88	93.35	16.50
WSCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.46	68.70	0.83	92.14	1.68	40.26
WSCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	31.44	0.22	0.28	0.70	1.84	6.18
WSCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.23	31.55	0.78	1.91	0.73	22.32
WSCUT6	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	1.12	0.01	0.00	0.02	0.06	0.29
WSCUT6	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.01	1.13	0.00	0.05	0.01	0.22

6.6. AJUSTE DE RESULTADOS

Para edificios clasificados como regulares de acuerdo con los requisitos del capítulo A.5, el cortante dinámico no puede ser menor que el 80% del valor del cortante sísmico en la base Vs, calculado de acuerdo con los requisitos del Capitulo A. Utilizando el periodo de vibración aproximado Ta, dado en A..4.2.2

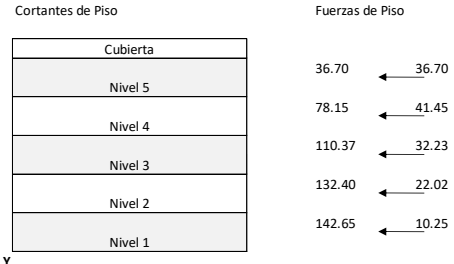
AJUSTE DE LOS RESULTADOS									
Losa	Peso de la edificación			Vs (Ton)	80%Vs (Ton)	Cortante dinamico		Fsx >80%Vs	Fsy > 80% Vs
	Peso propio modelado (Ton)	Carga muerta adicional (Ton)	W total (Ton)			SISMO-Fsx (Ton)	SISMO-Fsy (Ton)	Cumple (factor de ajuste)	Cumple (factor de ajuste)
Maciza	199.0389	189.5125	388.5514	174.85	139.88	142.6459	143.2931	1	1
Aligerada	162.4635	192.2116	354.6751	159.60	127.68	130.77	129.8976	1	1
Lamina Colaborante	164.6521	189.5125	354.1646	159.37	127.50	131.2004	130.5807	1	1
Placa facil	138.7007	204.1302	342.8309	154.27	123.42	126.2708	125.4156	1	1

6.7. FUERZAS CORTANTES DE PISO AJUSTADAS

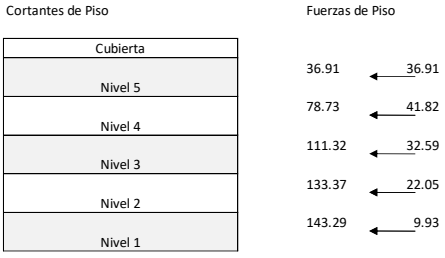
- Placa maciza

TABLE: Section Cut Forces - Analysis									
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
SCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	142.6459	1.7087	1.5881	17.72552	1425.5515	127.02324
SCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.7104	143.2931	0.7118	1431.1953	16.7489	28.88123
SCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	132.398	1.5927	1.4631	12.9174	1021.7054	72.36936
SCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.5868	133.3681	0.886	1026.426	12.02228	58.31219
SCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	110.3743	1.3496	1.171	8.4466	646.58535	60.88094
SCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.3292	111.3207	0.4897	649.24375	7.70333	49.98358
SCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	78.1471	0.9909	0.7778	4.66914	332.16839	43.95351
SCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.947	78.7295	0.6291	332.93616	4.1444	37.49174
SCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	36.7016	0.5545	0.3689	1.84227	107.83233	22.47665
SCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.4615	36.9118	0.6422	107.78809	1.47976	21.25924

DIRECCION X



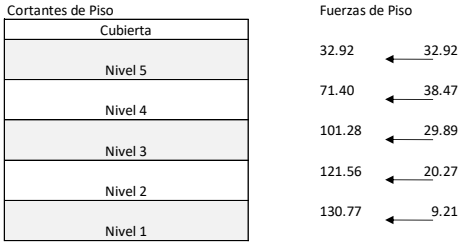
DIRECCION Y



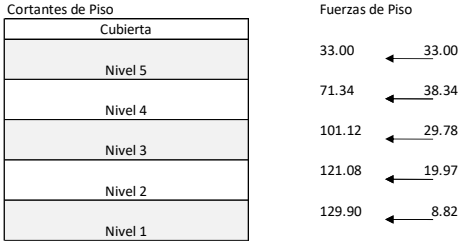
- Placa aligerada en una dirección

TABLE: Section Cut Forces - Analysis									
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
SCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	130.77	0.8945	1.3413	9.53595	1303.95	63.72031
SCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.8956	129.8976	0.8579	1296.0568	8.85371	15.44504
SCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	121.5569	0.8277	1.2158	6.9157	933.72184	25.59462
SCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.8278	121.0809	1.0432	929.25716	6.48206	58.27724
SCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	101.2831	0.6918	0.9788	4.61264	589.45408	20.12082
SCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.6906	101.1152	0.5336	587.00934	4.31179	49.94321
SCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	71.3952	0.4918	0.632	2.6248	301.19198	12.54363
SCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.4913	71.339	0.7467	299.96341	2.55068	37.4203
SCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	32.9217	0.2376	0.2824	0.99137	96.60538	4.7033
SCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.2377	32.9987	0.755	96.24826	0.92914	21.17576

DIRECCION X



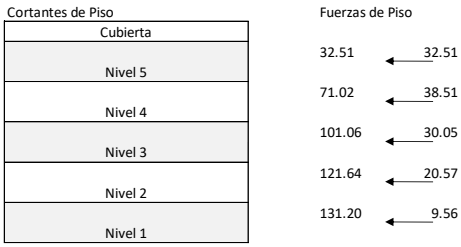
DIRECCION Y



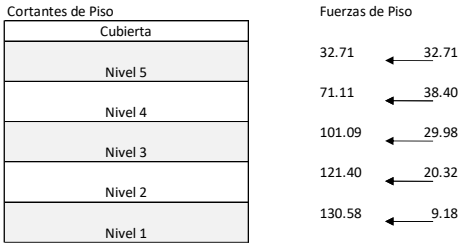
- Placa lamina colaborante

TABLE: Section Cut Forces - Analysis									
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
SCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	131.2004	1.6432	0.9446	16.42783	1303.5319	50.61165
SCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.6456	130.5807	0.6816	1298.7962	16.3486	23.15266
SCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	121.6357	1.518	0.9002	11.75522	932.0259	51.9487
SCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.5241	121.4038	0.9091	929.96054	11.75979	70.1095
SCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	101.0626	1.2555	0.7419	7.50246	587.31148	42.0567
SCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	1.2698	101.0882	0.5139	586.49097	7.48767	59.678
SCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	71.0176	0.8746	0.5064	3.92049	299.38128	27.91089
SCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.9001	71.1111	0.627	299.13116	3.94385	44.1163
SCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	32.5093	0.396	0.2774	1.29781	95.558	10.53261
SCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.4288	32.7116	0.5179	95.68281	1.35	24.01858

DIRECCION X



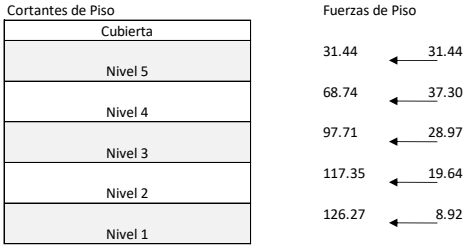
DIRECCION Y



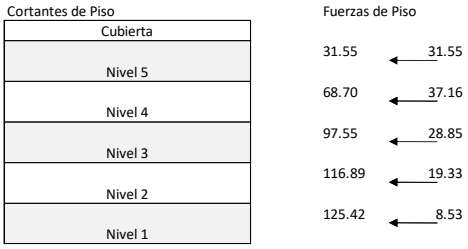
- Placa fácil

TABLE: Section Cut Forces - Analysis									
SectionCut	OutputCase	CaseType	StepType	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
Text	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m
SCUT1	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	126.2708	0.8286	1.288	8.91727	1257.0749	55.01544
SCUT1	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.8296	125.4156	1.0057	1249.4894	8.1982	15.8226
SCUT2	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	117.3519	0.7611	1.1689	6.53041	899.65501	32.25683
SCUT2	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.7622	116.8867	1.1445	895.44562	6.04499	63.12181
SCUT3	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	97.7092	0.6354	0.9392	4.42934	567.33012	25.69852
SCUT3	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.6371	97.5524	0.6451	565.08371	4.04182	53.9731
SCUT4	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	68.7416	0.4533	0.6054	2.58962	289.26414	16.5014
SCUT4	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.4574	68.7022	0.8342	288.18309	2.45444	40.26362
SCUT5	SISMO-Fsx	LinRespSpec	Max	31.442	0.2233	0.2807	1.00823	92.30003	6.04252
SCUT5	SISMO-Fsy	LinRespSpec	Max	0.2318	31.547	0.7789	92.0255	0.94355	22.50564

DIRECCION X



DIRECCION Y



6.8. COMPROBACIÓN DE LOS LÍMITES DE LA DERIVA

Sismo en X							
Límites de la deriva (Maximos desplazamiento encontrado) Nivel 3, Altura de piso = 2.88 m							
Losa	Nudo	Desplazamiento		Delta	1%H	Cumple	Índice de estabilidad
		eje	cm	(cm)	(cm)		
Maciza	2	X	1.49	2.14	2.88	SI	0.74
		Y	0.14				
	3	X	3.62				
		Y	0.34				
Aligerada	44	X	1.51	2.28	2.88	SI	0.79
		Y	0.03				
	45	X	3.79				
		Y	0.07				
Lamina Colaborante	44	X	1.30	1.86	2.88	SI	0.65
		Y	0.08				
	45	X	3.16				
		Y	0.18				
Placa facil	44	X	1.45	2.19	2.88	SI	0.76
		Y	0.04				
	45	X	3.64				
		Y	0.09				

Sismo en Y							
Límites de la deriva (Maximos desplazamiento encontrado) Nivel 3, Altura de piso = 2.88 m							
Losa	Nudo	Desplazamiento		Delta	1%H	Cumple	Índice de estabilidad
		eje	cm	(cm)	(cm)		
Maciza	2	X	0.04	2.34	2.88	SI	0.81
		Y	1.56				
	3	X	0.09				
		Y	3.90				
Aligerada	44	X	0.03	2.56	2.88	SI	0.89
		Y	1.63				
	45	X	0.07				
		Y	4.19				
Lamina Colaborante	44	X	0.06	2.20	2.88	SI	0.76
		Y	1.47				
	45	X	0.16				
		Y	3.67				
Placa facil	44	X	0.04	2.51	2.88	SI	0.87
		Y	1.59				
	45	X	0.11				
		Y	4.10				

6.9. COMBINACIONES BÁSICAS DE DISEÑO (NSR-10 B.2)

Se presentan las combinaciones básicas para ser utilizados en el diseño de elementos por el método de resistencia, junto con las combinaciones básicas con el método de esfuerzos de trabajo para ser utilizadas en el análisis y diseño de la cimentación.

A continuación, se muestran los tipos de carga y sus combinaciones según reglamento:

- Aceleraciones utilizadas para fuerzas sísmicas

TABLE: Case - Response Spectrum 2 - Load Assignments						
Case	**LoadType**	**LoadName**	**CoordSys**	**Function**	**Angle**	**TransAccSF**
Text	Text	Text	Text	Text	Degrees	m/sec²
SISMO (Fs)	Acceleration	U1	GLOBAL	ALUVIAL-100	0	9.81
SISMO (Fs)	Acceleration	U2	GLOBAL	ALUVIAL-100	0	9.81
SISMO-Fsx	Acceleration	U1	GLOBAL	ALUVIAL-100	0	9.81
SISMO-Fsy	Acceleration	U2	GLOBAL	ALUVIAL-100	0	9.81
SISMO REDUCIDO (E=Fs/R)	Acceleration	U1	GLOBAL	ALUVIAL-100	0	1.962
SISMO REDUCIDO (E=Fs/R)	Acceleration	U2	GLOBAL	ALUVIAL-100	0	1.962

- Casos de carga

TABLE: Case - Static 1 - Load Assignments			
Case	**LoadType**	**LoadName**	**LoadSF**
Text	Text	Text	Unitless
PESO PROPIO (D)	Load pattern	PP	1
MUERTA (D)	Load pattern	MUERTA (D)	1
VIVA (L)	Load pattern	VIVA (L)	1
VIVA (Le)	Load pattern	VIVA (Le)	1
VIVA (Lr)	Load pattern	VIVA (Lr)	1
VIVA (Lo)	Load pattern	VIVA (Lo)	1
GRANIZO (G)	Load pattern	GRANIZO (G)	1
VIENTO (W)	Load pattern	VIENTO (W)	1
TEMPERATURA (T)	Load pattern	TEMPERATURA (T)	1

- Fuerza de sismo reducidas “E”, para diseño de corte en columnas y vigas

TABLE: Combination Definitions					
ComboName	**ComboType**	**AutoDesign**	**CaseType**	**CaseName**	**ScaleFactor**
Text	Text	Yes/No	Text	Text	Unitless
E Corte Columnas	Linear Add	No	Linear Static	MUERTA (D)	0.09
E Corte Columnas			Linear Static	PESO PROPIO (D)	0.09
E Corte Columnas			Response Spectrum	SISMO (Fs)	0.6
2E Corte en la Vigas	Linear Add	No	Response Combo	E Corte Columnas	2

6.10. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

Se utiliza un modelo tridimensional considerando los entrepisos como diafragmas infinitamente rígidos en su plano. No se considera torsión accidental; dado que el análisis dinámico refleja los efectos de las torsiones que se tengan en la estructura. (NSR-10 A.3.6.7)

Se considera la masa de las cargas muertas de las placas concentradas en los diafragmas, para las cargas respectivas de muros y apoyos de cerchas o correas, se utilizarán las masas respectivas según su localización.

Dado que las vigas en la placa maciza no cumplieron por cortante se ampliaron las secciones. Como se muestra a continuación:

- Dimensiones vigas en sistema de placas aligeradas, lámina colaborante y placa fácil (30x30) cm y (30x40) cm en placa maciza.

6.10.1. Análisis y diseño vigas nivel 2 (A_s requerido)

ANÁLISIS Y DISEÑO VIGAS NIVEL 2 - ACERO SOLICITADO (As)												
LOSA	VIGA 20A		VIGA 20B		VIGA 20C		VIGA 201		VIGA 202		VIGA 203	
	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)
Maciza	5.32	4.21	5.58	4.21	5.67	4.21	5.46	4.93	5.29	4.10	4.29	4.22
Aligerada	6.42	3.77	7.07	3.96	6.74	3.80	5.83	5.54	4.51	4.45	4.14	3.94
Lamina Col	5.42	3.44	5.23	3.07	5.30	3.25	5.03	4.04	4.17	3.64	3.83	3.48
Placa facil	6.42	3.86	6.78	3.89	6.51	3.74	5.83	5.51	4.72	4.45	4.29	3.98

6.10.2. Análisis y diseño vigas nivel 3 (A_s requerido)

ANÁLISIS Y DISEÑO VIGAS NIVEL 3 - ACERO SOLICITADO (As)												
LOSA	VIGA 30A		VIGA 30B		VIGA 30C		VIGA 301		VIGA 302		VIGA 303	
	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)
Maciza	5.47	4.21	5.85	4.21	5.57	4.21	5.73	4.21	5.62	4.22	4.51	4.22
Aligerada	6.76	4.14	7.49	4.19	6.58	3.96	6.21	5.39	4.95	4.32	4.49	3.83
Lamina Col	5.62	3.38	5.51	3.15	5.44	3.25	5.19	4.24	4.48	3.36	4.09	3.22
Placa facil	6.71	4.21	7.16	4.10	6.75	3.86	6.13	5.62	5.13	4.41	4.62	3.80

6.10.3. Análisis y diseño vigas nivel 4 (A_s requerido)

ANÁLISIS Y DISEÑO VIGAS NIVEL 4 - ACERO SOLICITADO (As)												
LOSA	VIGA 40A		VIGA 40B		VIGA 40C		VIGA 401		VIGA 402		VIGA 403	
	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)
Maciza	4.97	4.15	5.30	4.10	4.87	3.86	5.15	4.21	5.12	3.97	3.51	3.25
Aligerada	6.25	3.55	6.84	3.86	6.25	3.55	5.19	4.63	4.43	3.76	4.08	3.01
Lamina Col	5.22	3.01	4.98	3.01	4.71	3.01	4.43	3.01	3.97	3.01	3.69	3.01
Placa facil	6.19	3.56	6.53	3.76	5.99	3.46	5.26	4.41	4.61	3.57	4.21	3.01

6.10.4. Análisis y diseño vigas nivel 4 (A_s requerido)

ANÁLISIS Y DISEÑO VIGAS NIVEL 5 - ACERO SOLICITADO (As)												
LOSA	VIGA 50A		VIGA 50B		VIGA 50C		VIGA 501		VIGA 502		VIGA 503	
	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)
Maciza	4.31	3.36	4.70	3.66	4.07	3.18	4.28	3.33	4.39	3.42	3.53	2.77
Aligerada	5.49	3.14	6.04	3.43	5.13	3.01	4.09	6.13	3.10	3.01	3.38	2.63
Lamina Col	4.62	3.01	4.33	3.01	3.68	2.89	3.50	2.72	3.23	2.52	3.04	2.37
Placa facil	5.41	3.14	5.77	3.34	4.91	3.01	4.20	3.01	3.81	3.01	3.51	2.75

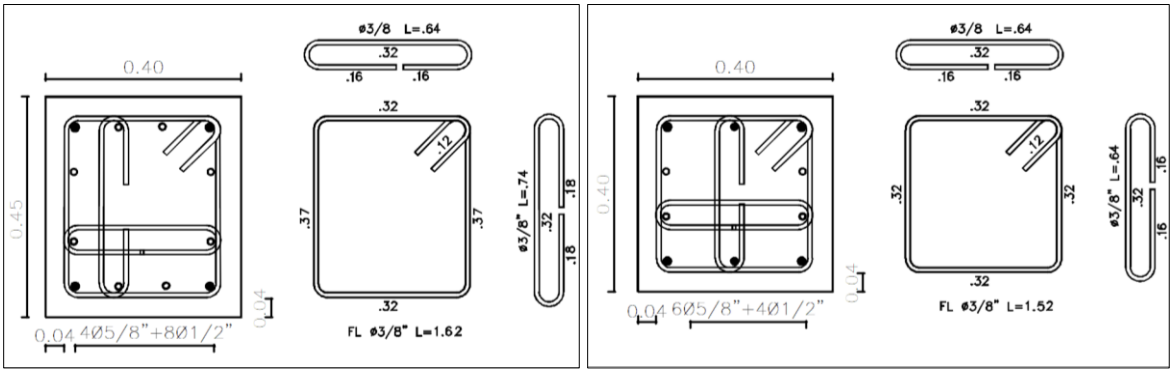
6.10.5. Análisis y diseño vigas nivel 5 (A_s requerido)

ANÁLISIS Y DISEÑO VIGAS NIVEL 6 - ACERO SOLICITADO (As)												
LOSA	VIGA 60A		VIGA 60B		VIGA 60C		VIGA 601		VIGA 602		VIGA 603	
	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)	A_s superior (cm^2)	A_s inferior (cm^2)
Maciza	2.87	2.26	3.07	2.40	2.51	1.76	2.51	1.79	1.85	1.87	2.51	1.60
Aligerada	3.17	2.47	3.96	3.01	2.79	2.18	2.51	1.87	2.51	1.62	2.51	1.50
Lamina	2.67	2.23	2.72	2.14	2.51	1.52	2.51	1.50	2.28	1.34	2.21	1.31
Placa facil	3.11	2.55	3.80	2.96	2.61	2.05	2.51	1.91	2.51	1.68	2.51	1.55

6.11. REFUERZO EN COLUMNAS

Conforme con C.21.3.5.2 de la NSR-10, se realiza el chequeo de columnas partiendo con la cuantía mínima, como se muestra continuación:

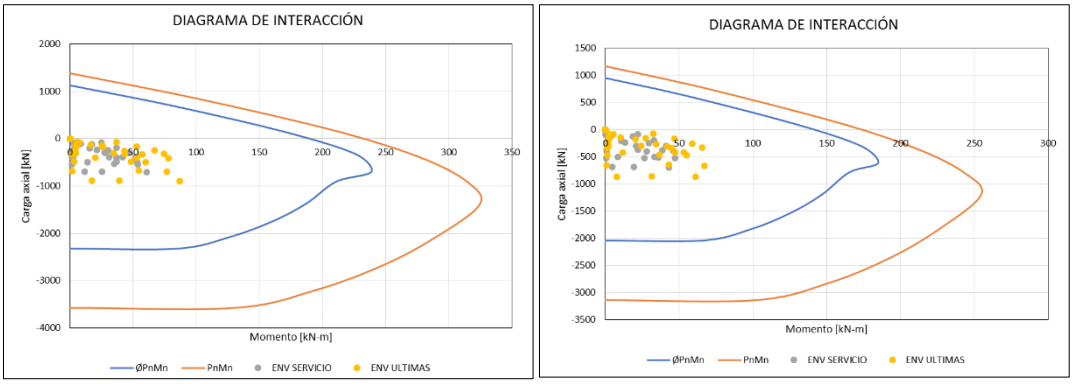
Figura 31. Refuerzo columnas



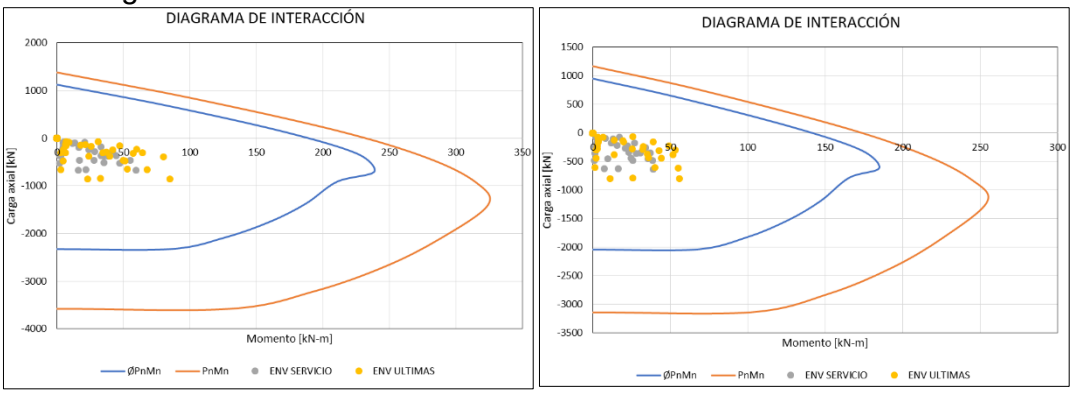
Fuente: Propia

6.11.1. Diagrama de interacción sección columnas 40x45 y 40x40 respectivamente

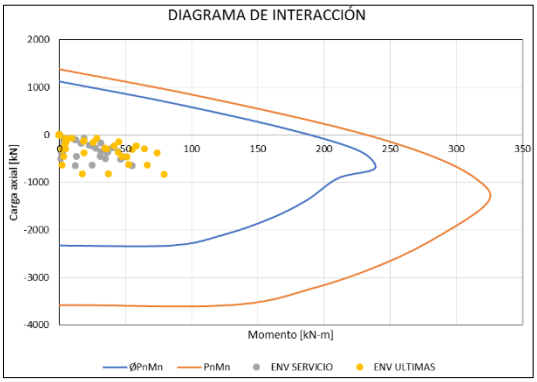
- Placa maciza

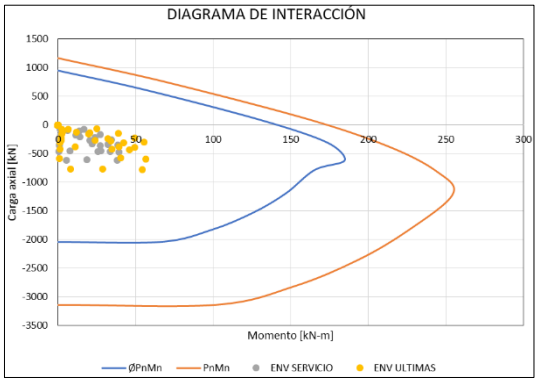


- Placa aligerada en una dirección

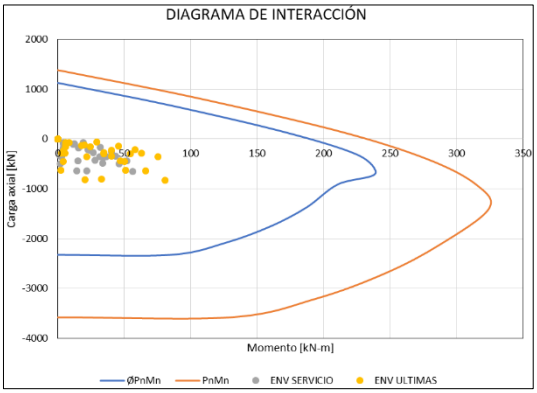


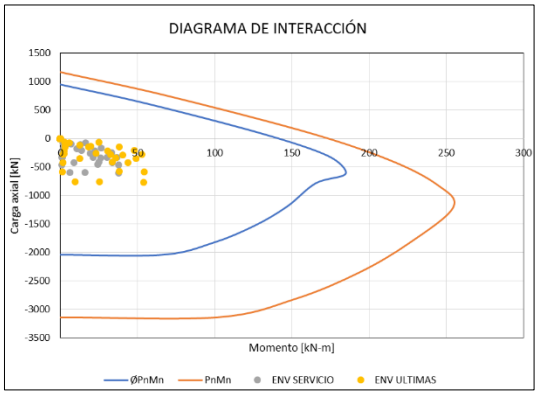
- Placa en lamina colaborante





- Placa fácil





SOLICITACIONES (Columna eje B-1)		
Losa	Carga Axial (kN)	Momento (kN-m)
Maciza	-898.90	86.70
Aligerada	-858.56	84.99
Lamina Colaborante	-828.14	79.06
Placa facil	-824.58	80.88

6.12. CALCULO DE DEFLEXIONES

De acuerdo con el ACI, las deflexiones adicionales bajo cargas sostenidas y por contracción a largo plazo, se pueden calcular aplicando un factor:

$$\lambda \frac{T}{1+50p}$$

en la que p´ es el porcentaje del refuerzo en compresión en el centro del claro de vigas simples y continuas y T, es un factor que se toma como 1.0 para una duración de carga de 3 meses, 1.2 para 6 meses, 1.4 para 12 meses y 2.0 para 5 años o más.

La deflexión total a largo plazo es

$$\Delta_{LT} = \Delta_L + \lambda_\infty \Delta_D + \lambda t \, \Delta_{LS}$$

En la que Δ_L = deflexión inmediata por la carga viva

Δ_D = deflexión inmediata por la carga muerta

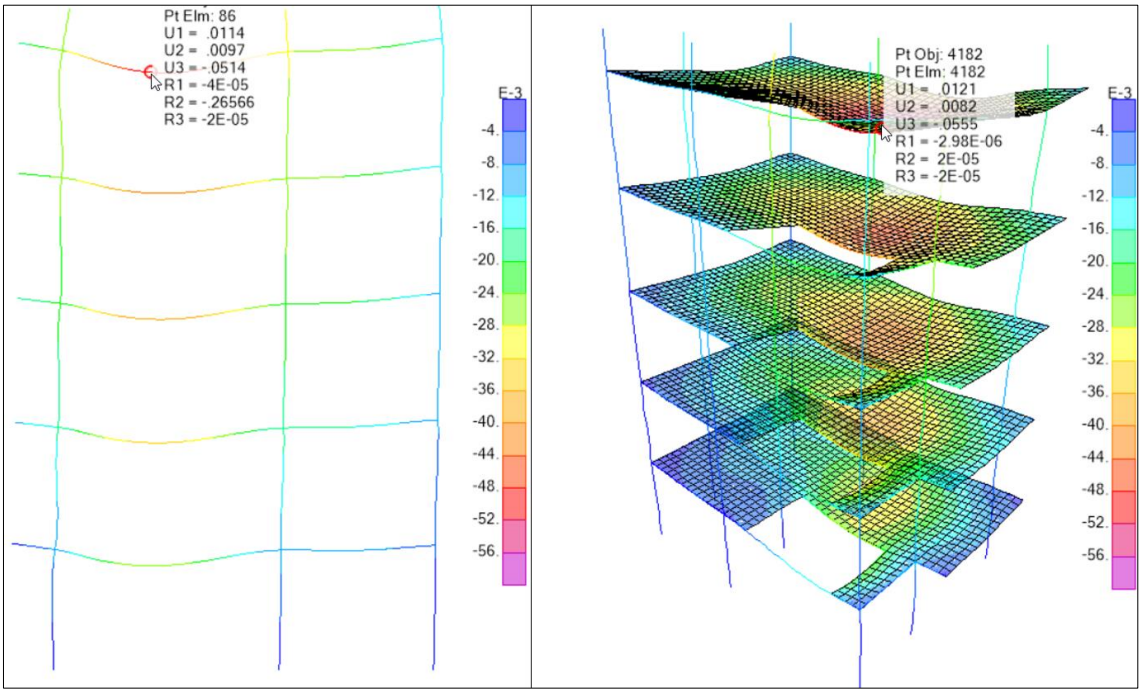
Δ_{LS} = deflexión por la carga viva sostenida (un porcentaje de la Δ_L, determinado por la duración esperada de la carga sostenida).

λ_∞ = factor dependiente del tiempo para una duración infinita de la carga sostenida.

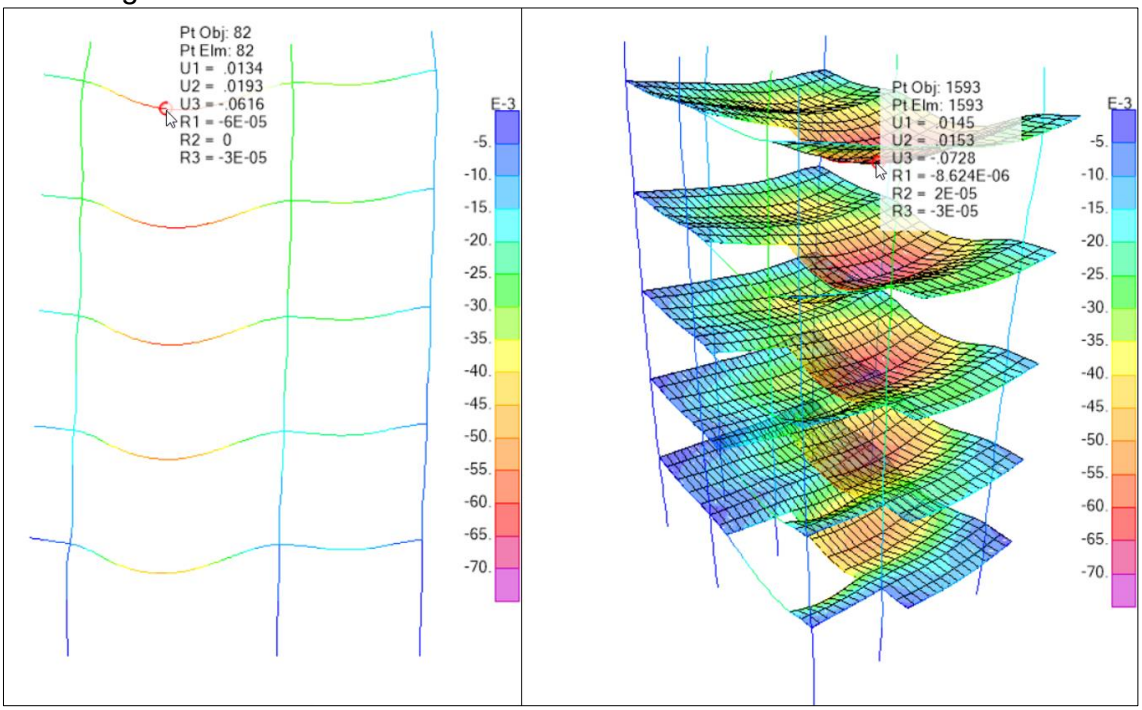
λt = factor dependiente del tiempo para una carga de duración limitada.

6.12.1. Deflexión máxima por carga viva (cm)

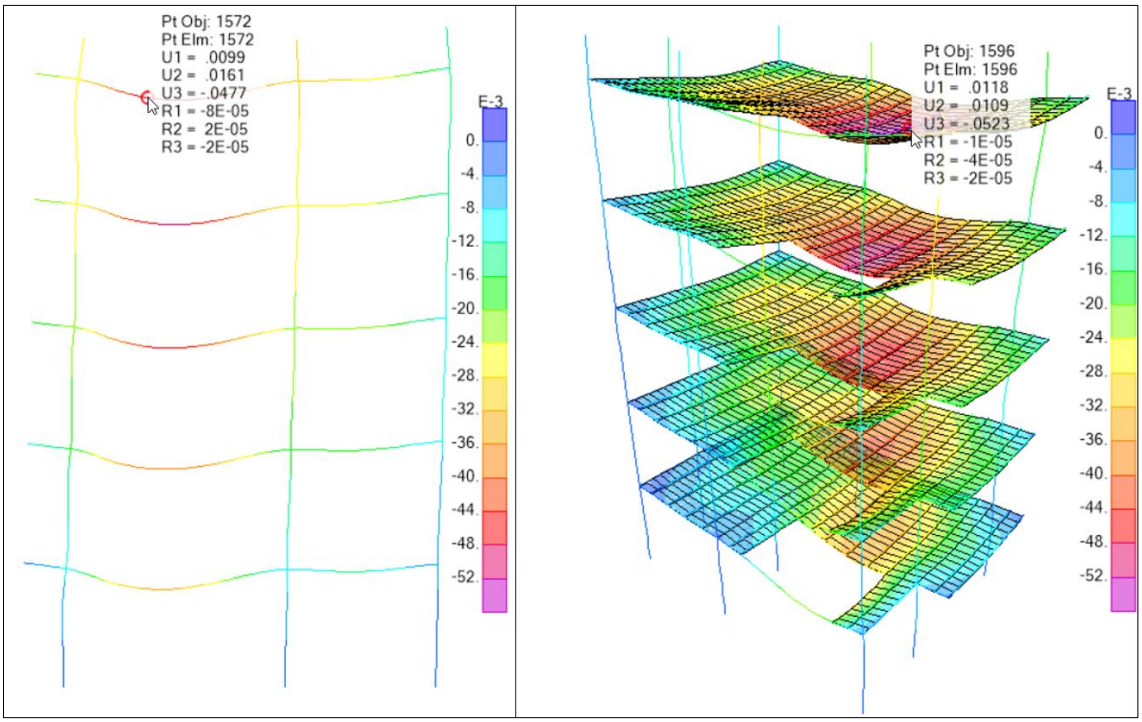
- Placa maciza



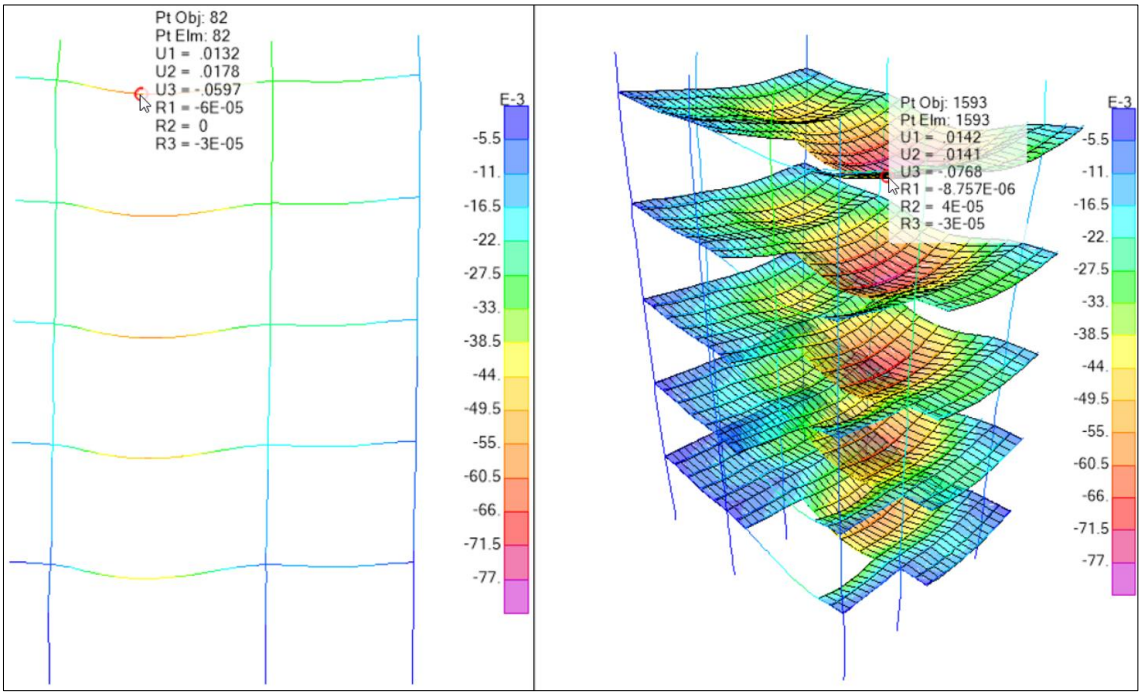
- Placa aligerada en una dirección



- Placa en lamina colaborante

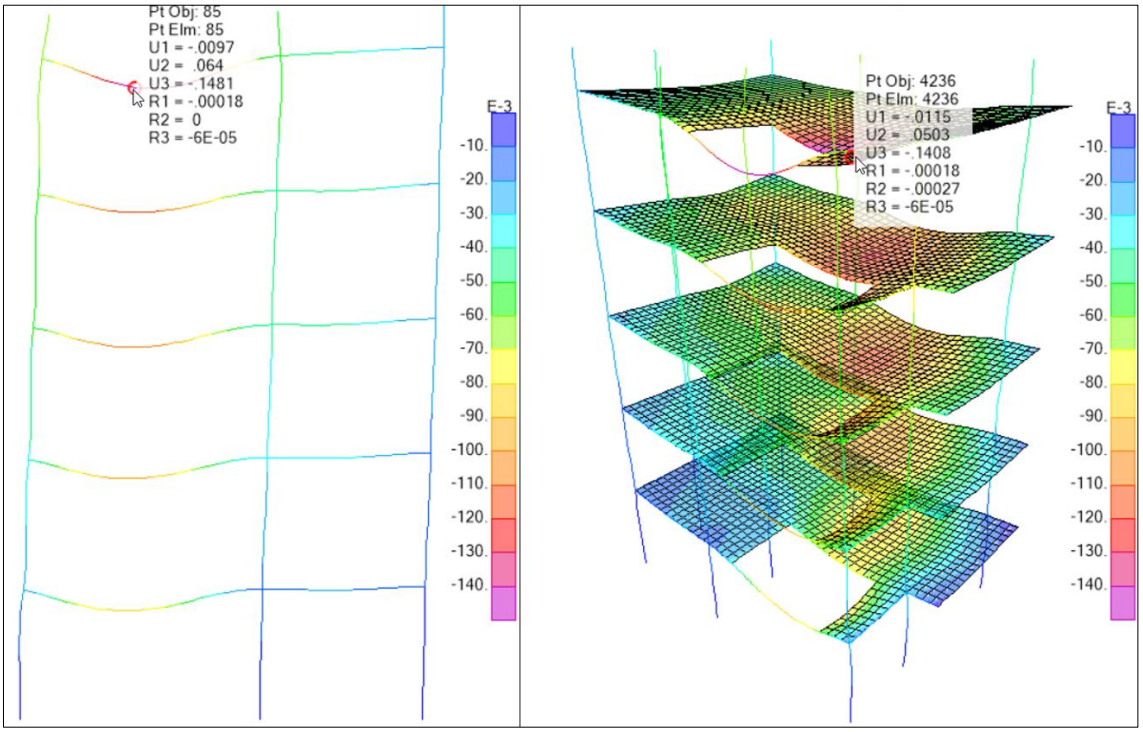


- Placa fácil

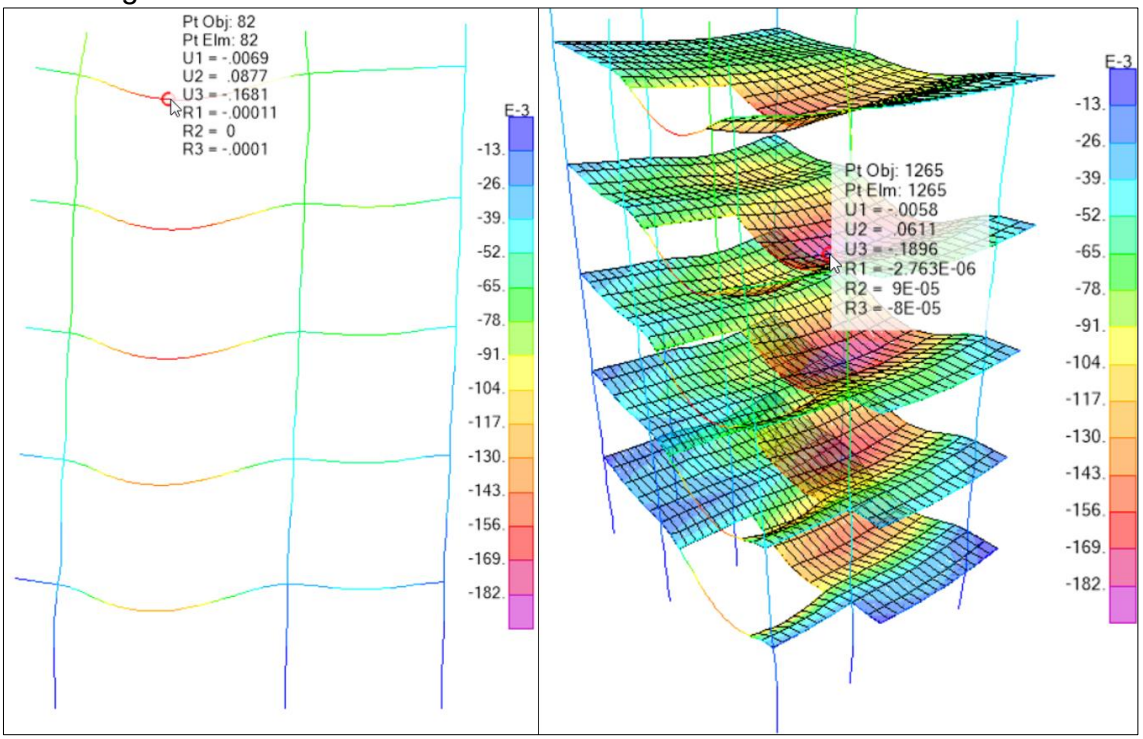


6.12.2. Deflexión máxima por carga muerta (cm)

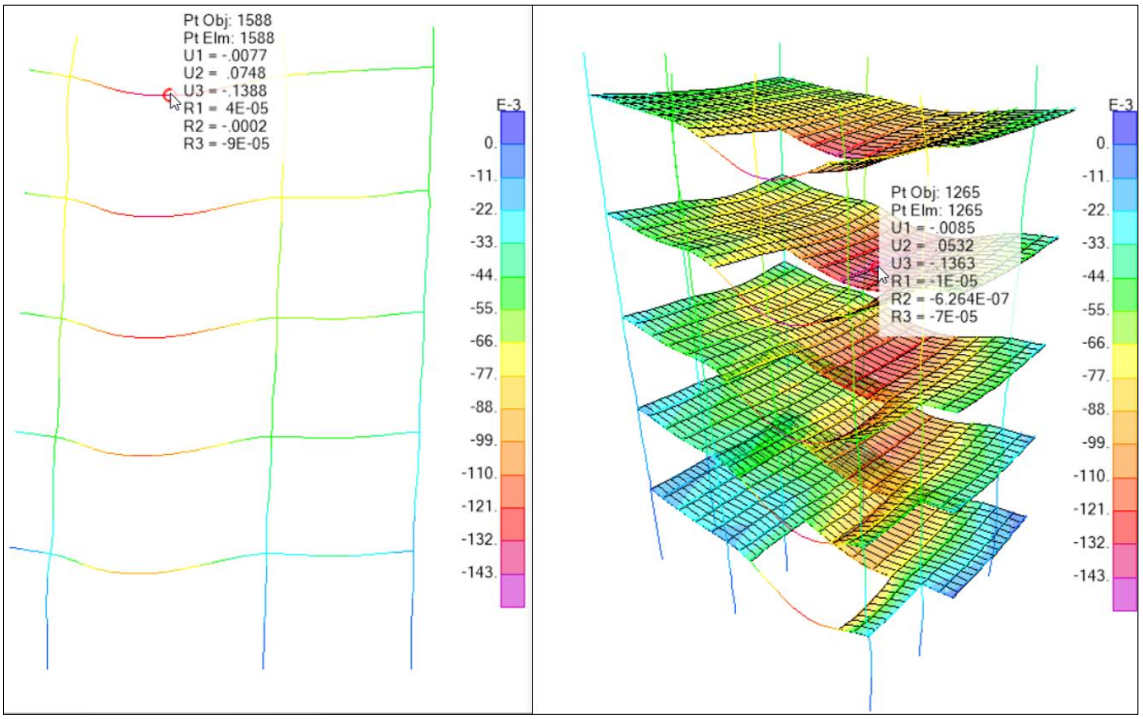
- Placa maciza



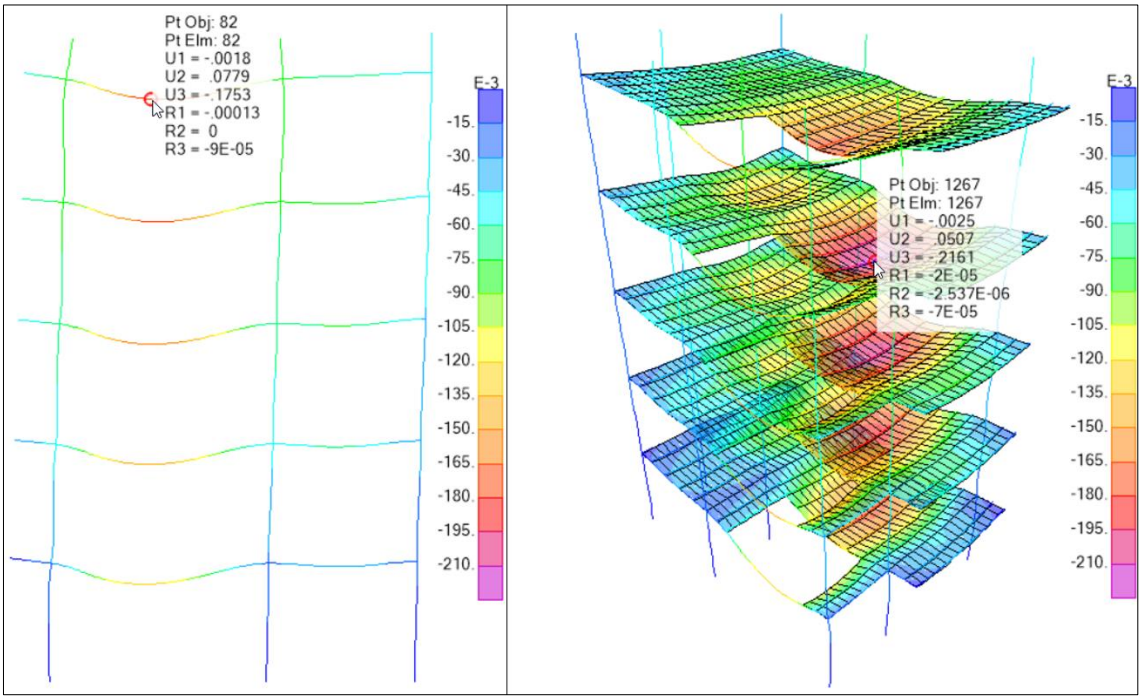
- Placa aligerada en una dirección



- Placa en lamina colaborante



- Placa fácil



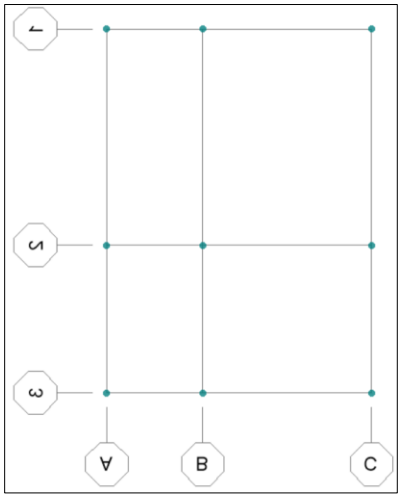
6.12.3. Cálculo de Deflexiones

DEFLEXIÓN INMEDIATA EN PLACA		
Losa	Δ_L cm	Δ_D cm
Maciza	0.056	0.141
Aligerada	0.073	0.190
Lamina Colaborante	0.052	0.136
Placa facil	0.077	0.216

VIGA CON MAYOR DEFLEXIÓN 60B										Contraflecha
Losa	Δ_L cm	Δ_D cm	Δ_{LS} cm	ρ=As/(b*d)	λ_∞ 5 años	λt 24 meses	Δ_{LT} cm	L cm	L/480 cm	Δ_{LT} − (L/480) cm
Maciza	0.051	0.148	0.031	0.0049	1.61	0.96	0.32	465	0.97	-0.65
Aligerada	0.062	0.168	0.037	0.0049	1.61	0.96	0.37	465	0.97	-0.60
Lamina Colaborante	0.048	0.139	0.029	0.0033	1.61	0.96	0.30	465	0.97	-0.67
Placa facil	0.060	0.175	0.036	0.0049	1.61	0.96	0.38	465	0.97	-0.59

T para 5 años o mas =	2.00
T para 6 meses =	1.20

6.13. ANÁLISIS Y DISEÑO CIMENTACIÓN



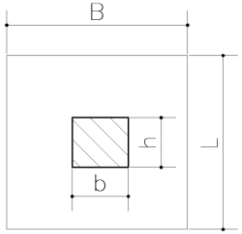
6.13.1. Reacción por carga de servicio y carga ultima

Reacciones de carga										
Losa	Combinación	Eje A-1	Eje B-1	Eje C-1	Eje A-2	Eje B-2	Eje C-2	Eje A-3	Eje B-3	Eje C-3
Maciza	Servicio (kN)	490.73	750.62	551.77	485.82	736.77	701.15	293.83	457.66	398.68
	Última (kN)	611.29	945.49	689.29	600.02	926.22	875.38	360.41	568.88	492.30
Aligerada	Servicio (kN)	459.05	707.97	486.47	424.44	671.32	609.42	254.20	426.18	355.72
	Última (kN)	572.34	896.27	610.16	524.54	850.04	764.23	311.76	532.86	440.36
Lamina Colaborante	Servicio (kN)	465.66	685.74	482.83	438.62	660.14	619.63	261.24	415.82	359.63
	Última (kN)	581.01	868.07	606.19	543.08	835.03	777.43	320.62	519.31	445.25
Placa facil	Servicio (kN)	459.38	676.82	464.45	417.94	638.09	589.04	255.47	414.86	352.09
	Última (kN)	572.97	858.45	583.93	516.90	809.97	739.85	313.41	519.10	436.04

Esfuerzo admisible	249.4 kN/m²

6.13.2. Diseño zapatas

AREA ZAPATA								
A-1	B-1	C-1	A-2	B-2	C-2	A-3	B-3	C-3
(m²)	(m²)	(m²)	(m²)	(m²)	(m²)	(m²)	(m²)	(m²)
1.97	3.01	2.22	1.95	2.96	2.81	1.18	1.84	1.60
1.84	2.84	1.95	1.70	2.69	2.45	1.02	1.70	1.43
1.86	2.75	1.93	1.76	2.64	2.48	1.05	1.66	1.44
1.84	2.72	1.86	1.68	2.56	2.48	1.02	1.66	1.42



DIMENSIONES COLUMNAS

Losa	Eje A-1		Eje B-1		Eje C-1		Eje A-2		Eje B-2		Eje C-2		Eje A-3		Eje B-3		Eje C-3	
	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)
Todas	0.45	0.40	0.45	0.40	0.45	0.40	0.40	0.45	0.40	0.40	0.40	0.45	0.40	0.45	0.40	0.40	0.40	0.45

DIMENSIONES ZAPATA

Losa	Eje A-1			Eje B-1			Eje C-1			Eje A-2			Eje B-2			Eje C-2			Eje A-3			Eje B-3			Eje C-3		
	B (m)	L (m)	H (m)	B (m)	L (m)	H (m)	B (m)	L (m)	H (m)	B (m)	L (m)	H (m)	B (m)	L (m)	H (m)	B (m)	L (m)	H (m)	B (m)	L (m)	H (m)	B (m)	L (m)	H (m)	B (m)	L (m)	H (m)
Maciza	1.43	1.38	0.25	1.76	1.71	0.30	1.52	1.46	0.25	1.37	1.42	0.25	1.72	1.72	0.30	1.65	1.70	0.30	1.11	1.06	0.20	1.36	1.35	0.25	1.24	1.29	0.20
Aligerada	1.38	1.33	0.25	1.71	1.66	0.30	1.42	1.37	0.25	1.28	1.33	0.25	1.64	1.64	0.30	1.54	1.59	0.30	1.04	0.98	0.20	1.30	1.31	0.25	1.17	1.22	0.20
Lamina Colaborante	1.39	1.34	0.25	1.69	1.63	0.30	1.41	1.37	0.25	1.30	1.35	0.25	1.62	1.63	0.30	1.55	1.60	0.30	1.05	1.00	0.20	1.29	1.29	0.25	1.17	1.23	0.20
Placa facil	1.38	1.33	0.25	1.68	1.62	0.30	1.39	1.34	0.25	1.27	1.32	0.25	1.60	1.60	0.30	1.55	1.60	0.30	1.03	0.99	0.20	1.29	1.29	0.25	1.17	1.21	0.20

DISEÑO A FLEXION

Losa	Eje A-1			Eje B-1			Eje C-1			Eje A-2			Eje B-2			Eje C-2			Eje A-3			Eje B-3			Eje C-3		
	Barra Nº	Cant B	Cant L	Barra Nº	Cant B	Cant L	Barra Nº	Cant B	Cant L	Barra Nº	Cant B	Cant L	Barra Nº	Cant B	Cant L	Barra Nº	Cant B	Cant L	Barra Nº	Cant B	Cant L	Barra Nº	Cant B	Cant L	Barra Nº	Cant B	Cant L
Maciza	4	7	7	4	11	12	4	8	8	4	7	6	4	11	11	4	10	10	4	3	3	4	6	6	4	6	6
Aligerada	4	6	6	4	10	11	4	7	7	4	5	5	4	10	10	4	8	8	4	2	3	4	5	5	4	5	5
Lamina Colaborante	4	6	6	4	10	10	4	6	7	4	5	5	4	9	9	4	8	8	4	3	3	4	5	5	4	5	5
Placa facil	4	6	6	4	10	10	4	6	6	4	5	5	4	9	9	4	8	8	4	2	3	4	5	5	4	5	5

7. RESULTADOS OBTENIDOS

7.1. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

RESUMEN DE RESULTADOS							
Losa	Índice de estabilidad en X	Índice de estabilidad en Y	Maxima Area Zapata (m^2)	Deflexión por carga viva (cm)	Deflexión por carga muerta (cm)	Contraflecha Viga 60B (cm)	Momento (kN-m)
Maciza	0.74	0.81	19.52	0.056	0.141	-0.65	86.70
Aligerada	0.79	0.89	17.61	0.073	0.190	-0.60	84.99
Lamina Colaborante	0.65	0.76	17.58	0.052	0.136	-0.67	79.06
Placa facil	0.76	0.87	17.24	0.077	0.216	-0.59	80.88

7.2. ANÁLISIS ECONÓMICO

Como primera medida, se menciona que anexo a este documento se presentan los planos estructurales y arquitectónicos de cada uno de los sistemas de entrepiso, además, se agrega el **ANEXO 3: COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE ENTREPISO**, en donde se cuantifica el peso del acero, el volumen de concreto, se adjuntan los APU de cada actividad, y las matrices comparativas de los resultados obtenidos, matrices que también se muestran a continuación:

CANTIDADES DE ACERO NECESARIAS CUMPLIR EL REFUERZO MÍNIMO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
MATERIAL	UNIDAD	LOSA MACIZA	LOSA ALIGERADA EN UNA DIRECCIÓN	LAMINA COLABORANTE	PLACA FACIL	SISTEMA MÁS EFICIENTE
ACERO	Kg	7858,86	8481,54	7762,59	7971,26	LAMINA COLABORANTE
CONCRETO 3000 PSI	m^3	59,38	56,11	56,09	56,01	LOSA ALIGERADA
CONCRETO LIMPIEZA	m^3	1,37	0,88	0,88	0,86	PLACA FACIL

MAYOR VALOR
MENOR VALOR

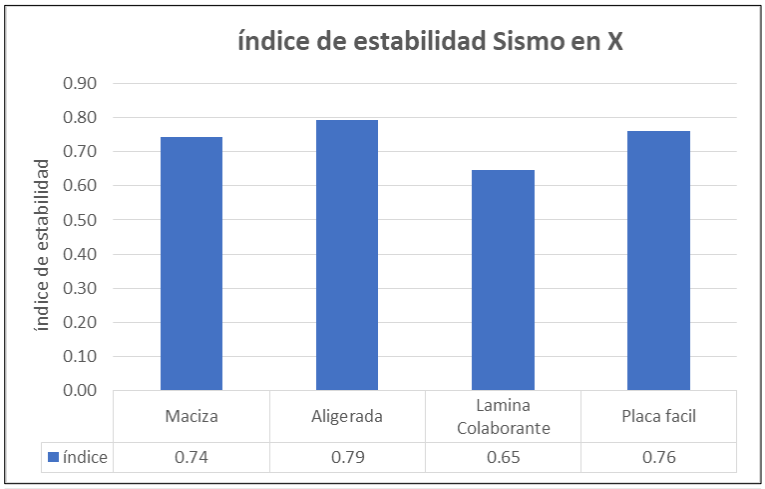
Ahora bien, en lo que sigue se presenta la comparación a nivel de costos, para cada tipo de entrepiso, mencionando nuevamente que fue necesario presentar el acero figurado de 3000psi como una actividad independiente, puesto que representa la mayor variación en cuando a cantidades entre los diferentes sistemas de entrepiso.

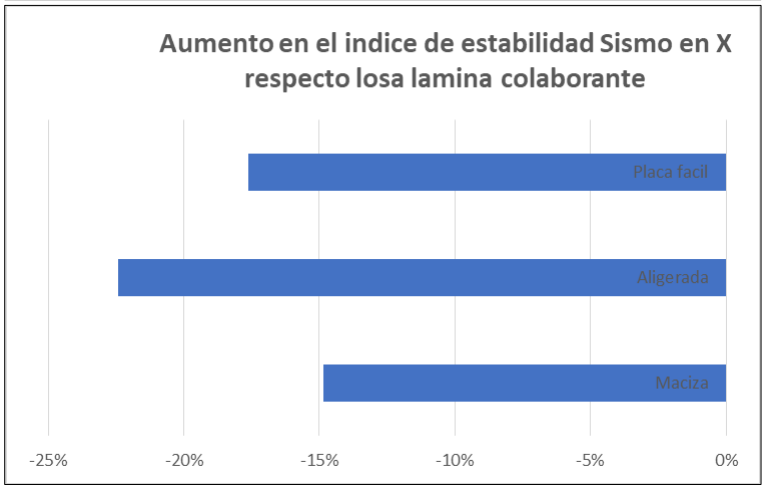
	COMPARATIVO DE PRESUPUESTO										
ITEM	MATERIAL	UN	PRECIO UNITARIO	LOSA MACIZA		LOSA ALIGERADA EN UNA DIRECCIÓN		LAMINA COLABORANTE		PLACA FACIL		SISTEMA MÁS EFICIENTE
				CANT	VALOR	CANT	VALOR	CANT	VALOR	CANT	VALOR	
1	COLUMNAS 3000 PSI (SIN REFUERZO)	M3	765.824	26,67	20.424.526	26,67	20.424.526	26,67	20.424.526	26,67	20.424.526	TODOS
2	CONCRETO CICLÓPEO 2000 PSI, 40% RAJÓN	M3	255.726	1,37	350.345	0,88	225.039	0,88	225.039	0,86	219.924	PLACA FACIL
3	ENTREPISO LAMINA COLABORANTE, CAL 22, H=11 CM, CONCRETO DE 3000 PSI	M2	109.960					271,05	29.804.658			
4	LOSA ALIGERADA, 3000 PSI H=0.30m (SIN REFUERZO)	M2	87.744			271,05	23.783.011					
5	PLACA FACIL PERFIL NEGRO 77 X 110	M2	94.206							271,05	25.534.536	
6	VIGUETA 3000 PSI H=0.30m (SIN REFUERZO)	M2	64.609			25,75	1.663.682					
7	VIGA DE CIMENTACIÓN DE 3000 PSI	M3	573.934	2,80	1.607.015	2,80	1.607.015	2,80	1.607.015	2,80	1.607.015	TODOS
8	ZAPATA EN CONCRETO DE 3000 PSI	M3	601.544	5,18	3.115.998	4,68	2.815.226	4,66	2.803.195	4,58	2.755.072	PLACA FACIL
9	VIGA AÉREA EN CONCRETO DE 3000 PSI	M3	782.508	24,73	19.351.423	21,96	17.183.876	21,96	17.183.876	21,96	17.183.876	LOSA ALIGERADA-LAMINA COLABORANTE - PLACA FACIL
10	ACERO FIGURADO 60000 PSI	KG	4.466	7858,8	35.097.669	8481,54	37.878.542	7762,59	34.667.731	7971,26	35.599.647	LAMINA COLABORANTE
11	REFUERZO MALLA	M2	8.687	325,26	2.825.534	325,26	2.825.534	325,26	2.825.534	325,26	2.825.534	TODOS

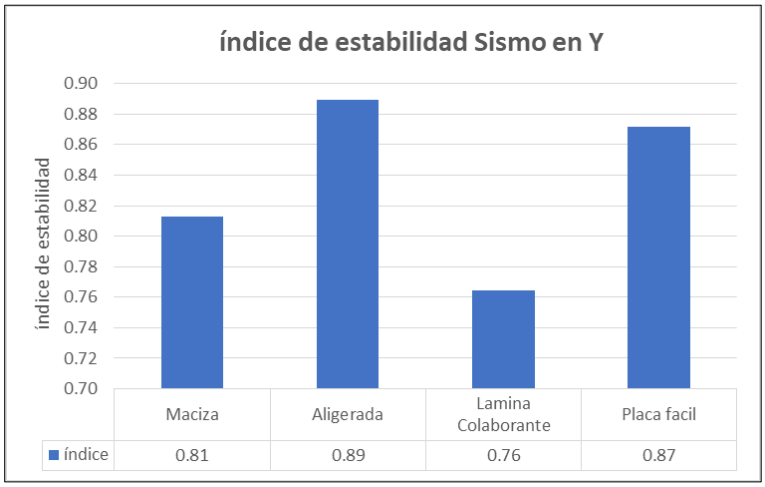
	COMPARATIVO DE PRESUPUESTO										
ITEM	MATERIAL	UN	PRECIO UNITARIO	LOSA MACIZA		LOSA ALIGERADA EN UNA DIRECCIÓN		LAMINA COLABORANTE		PLACA FACIL		SISTEMA MÁS EFICIENTE
				CANT	VALOR	CANT	VALOR	CANT	VALOR	CANT	VALOR	
	ELECTROSOLDADA 15*15, 5mm											
12	ENTREPISO PLACA MACIZA 3000 PSI E = 0.15 M (INCLUYE REFUERZO)	M2	134.255	271,05	36.389.818							
13	PLACA DE CONTRAPISO E=0,10 CONCRETO 3000 PSI (INCLUYE REFUERZO)	M2	61.759	54,21	3.347.955	54,21	3.347.955	54,21	3.347.955	54,21	3.347.955	TODOS
				TOTAL	**$122.510.282**	TOTAL	**$111.754.406**	TOTAL	**$112.889.529**	TOTAL	**109.498.085**	**PLACA FACIL**

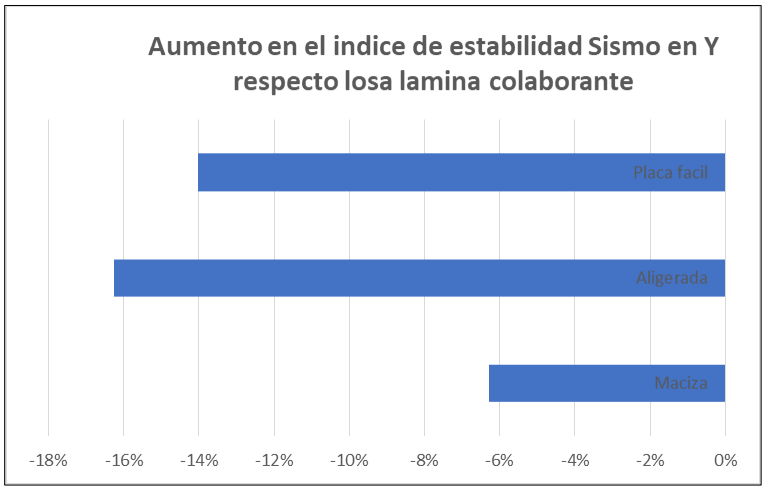
8. ANALISIS DE RESULTADOS

- Con el fin de analizar desplazamientos se calculan los índices de estabilidad en cada sistema estructural

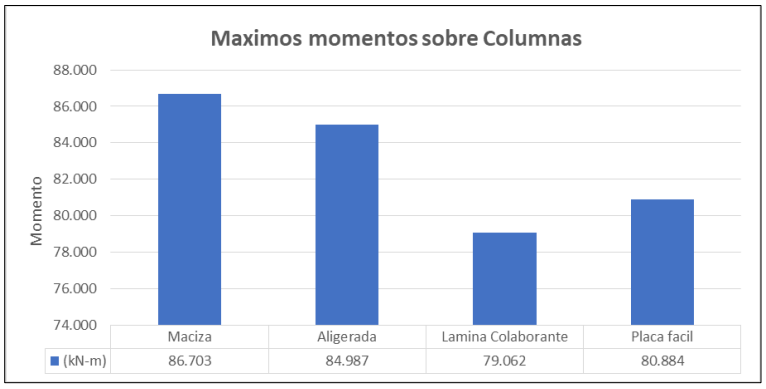


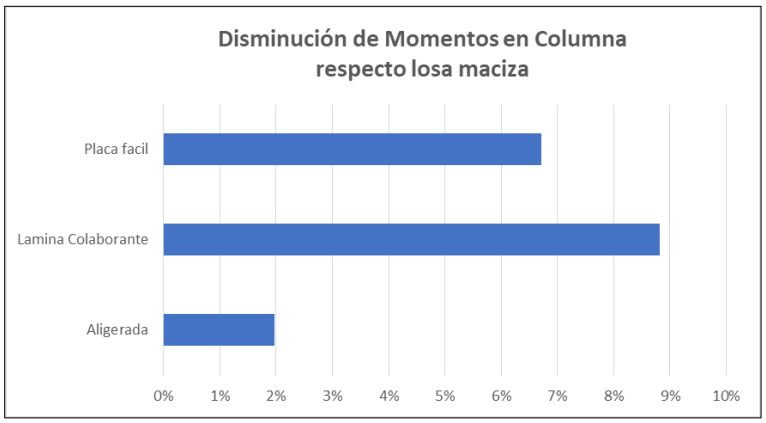




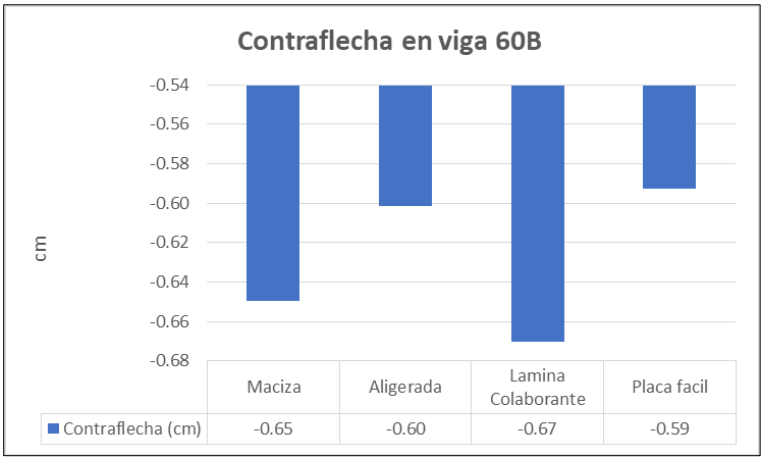


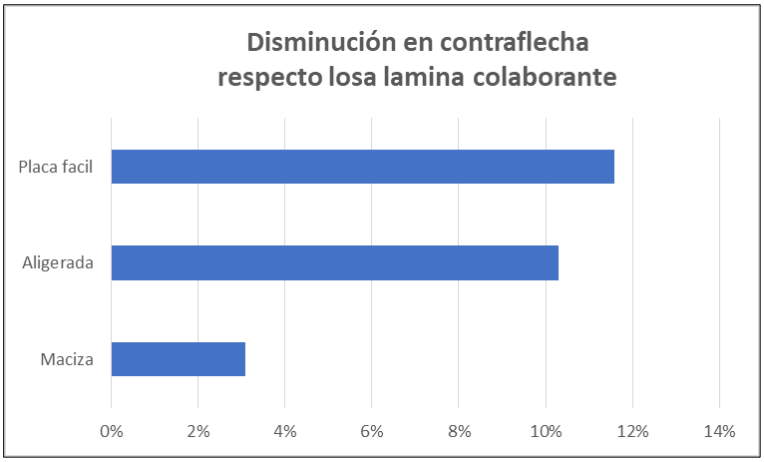
- Se toman los mayores momentos, generados sobre la columna B-1 para cada sistema de losas

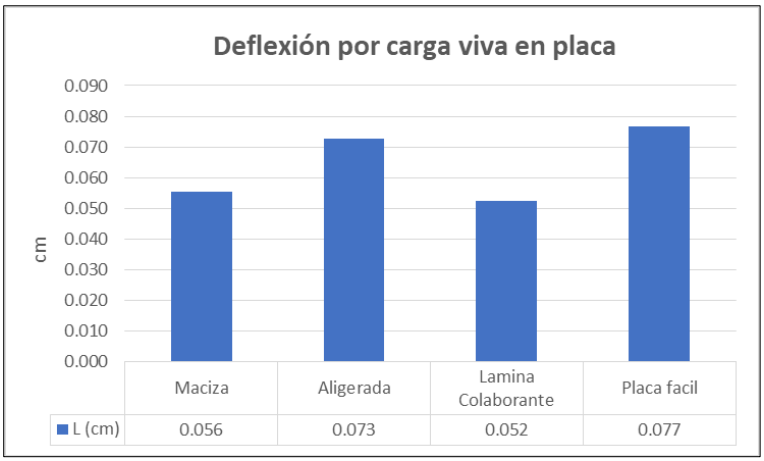


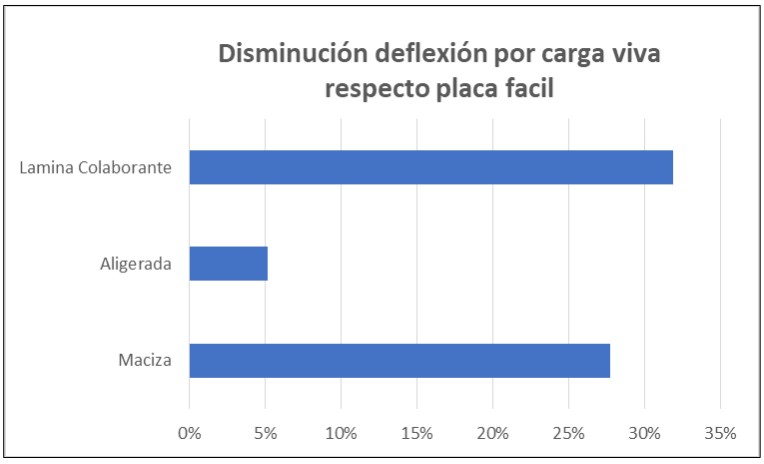


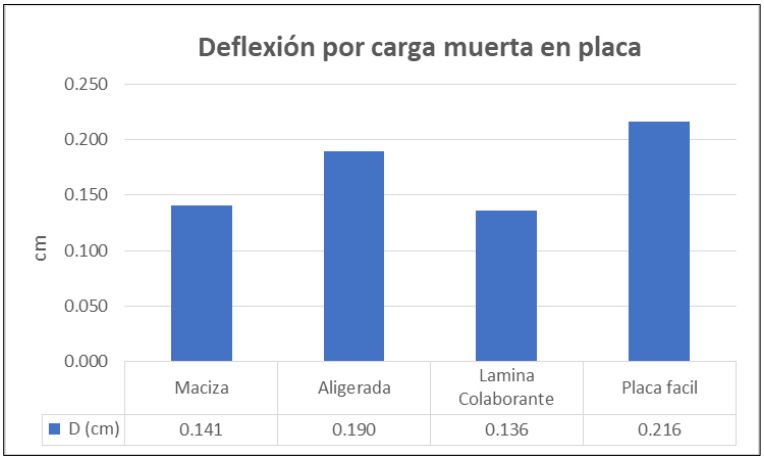
- Se toman los mayores deflexiones y contraflecha, generadas sobre las placas para cada sistema de losas

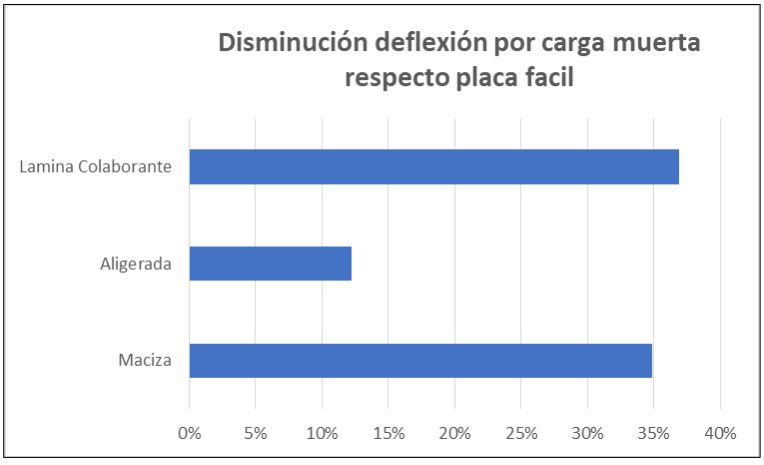




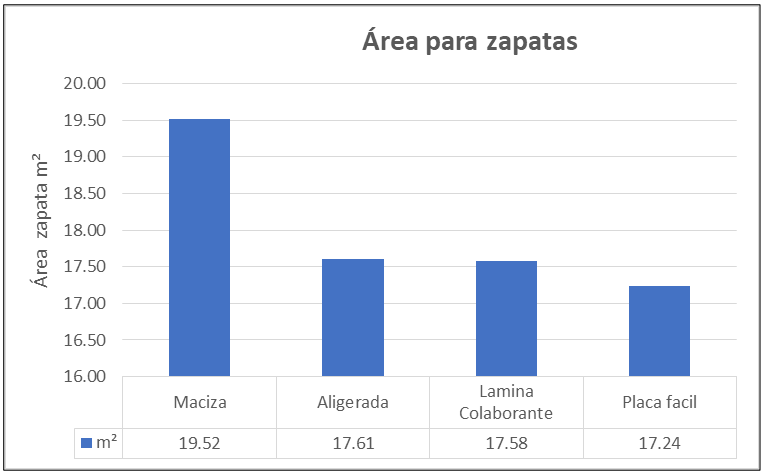


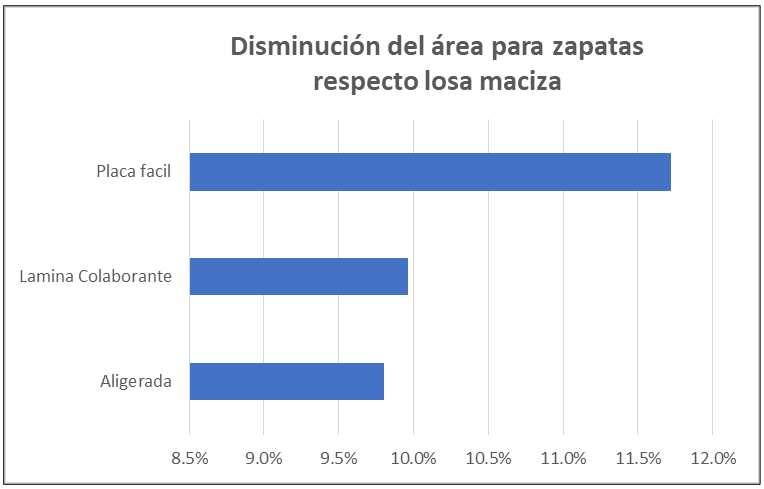

Disminución deflexión por carga viva respecto placa facil
Lamina Colaborante
Aligerada
Maciza
0%
5%
10%
15%
20%
25%
30%
35%


Deflexión por carga muerta en placa
0.250
0.200
0.150
0.100
0.050
0.000
cm
Maciza
Aligerada
Lamina Colaborante
Placa facil
D (cm)
0.141
0.190
0.136
0.216


Disminución deflexión por carga muerta respecto placa facil
Lamina Colaborante
Aligerada
Maciza
0%
5%
10%
15%
20%
25%
30%
35%
40%

- Para la cimentación se muestra la suma total de área requerida en todas las zapatas necesarias en la cimentación





A continuación, se presenta la matriz comparativa entre los principales resultados obtenidos, basándose en la losa maciza como el sistema de referencia, esto debido a que es el sistema tradicional, y en la mayoría de los parámetros es el sistema con la cantidad máxima.

COMPARACIÓN PORCENTUAL				
MATERIAL	LOSA MACIZA	LOSA ALIGERADA	LAMINA COLABORANTE	PLACA FACIL
Carga muerta	100%	71.99%	73.08%	60.30%
Desplazamientos en X	94%	100.00%	81.68%	96.06%
Desplazamientos en Y	91%	100.00%	86.02%	98.07%
Momentos en Columnas	100%	98.02%	91.19%	93.29%
Deflexión carga viva	72%	94.79%	68.10%	100.00%
Deflexión carga Muerta	65%	87.74%	63.07%	100.00%
Cuantía de acero	93%	100.00%	91.52%	93.98%
Volumen vigas-columnas	100%	94.49%	94.46%	94.31%
Área de las zapatas	100%	94.49%	94.46%	94.31%
Precios unitarios	100%	65.36%	81.90%	70.17%
Presupuesto global	100%	91.22%	92.15%	89.38%

	MAYOR VALOR
	VALOR MEDIO
	MENOR VALOR

A partir de los resultados obtenidos se deduce que:

- Las dimensiones y los refuerzos de las columnas no variaron entre los diferentes sistemas.

- Todos los sistemas presentan el mismo tipo de viga de cimentación.

- El sistema de losa aligerada presenta la mayor cuantía de acero, pero esto en parte se debe a que en los APU las demás losas incluyen el reforzamiento, mientras que la losa aligerada no, pues para este caso en particular el acero hace parte de las viguetas, y no de la losa.

- Hay elementos estructurales, como las vigas del nivel 2 y 3, que debieron tener mayor altura para cumplir con los parámetros de diseño para el sistema de losa maciza.

- En cuanto al análisis de precios unitarios, el valor del metro cuadrado de lámina colaborante representa el 81,90% del precio del metro cuadrado de la losa maciza, seguido por la placa fácil (70,17%), y la colaborante (65,36%). No obstante, la placa

fácil termina por ser el sistema más económico cuando se analiza el presupuesto global, lo que significa que se reducen costos debido a la disminución de cuantías de acero y volumen de vigas, columnas y zapatas.

- Analizando el precio total que tendría cada uno de los sistemas, se encuentra que el sistema más costoso es la losa maciza, costando $122’510.282. Al comparar este precio con los demás, se encuentra que la lámina colaborante representa el 92,15% de este valor, la losa aligerada el 91,22%, y finalmente la placa fácil el 89,38%.

9. CONCLUSIONES

- La placa fácil reduce las cargas muertas en un 40.4% con respecto a las cargas generadas por una placa maciza, la cual es el tipo de losa más con mayor carga muerta.

- El índice de estabilidad es mayor un 22% en sentido X y un 16% en sentido Y en la placa aligerada en una dirección, en comparación con la placa con lamina colaborante donde el índice de estabilidad se encuentra en 0.65 y 0.76 en sentido X y Y respectivamente.

- La placa fácil presenta una disminución del 11.7% del área de las zapatas con respecto a las solicitadas para la placa maciza, la cual requiere 19.52m².

- La placa con lámina colaborante desarrolla deflexiones 32% menores, con respecto a las deflexiones en la placa fácil, en la que se encuentran las mayores deflexiones por carga viva.

- La placa con lámina colaborante desarrolla deflexiones 37% menores, con respecto a las deflexiones en la placa fácil, en la que encuentran las mayores deflexiones por carga muerta.

- La placa con lámina colaborante desarrolla momentos en las columnas 9% menos con respecto a los desarrollados en losa maciza, la cual presenta las mayores solicitaciones.

- Para algunos sistemas con índices de estabilidad bajos como la lámina colaborante, se podría disminuir la sección de las columnas debido a que las solicitaciones para estos sistemas son menores.

- El metro cuadrado de losa maciza representa un precio considerable a comparación de los demás sistemas.

- El sistema metaldeck requiere menor cantidad de acero debido a que la lámina colaborante logra disminuir considerablemente la cantidad de acero que debe tener la sección transversal de la losa, además los refuerzos de las vigas, columnas y zapatas son menores debido a que hay menor peso en la estructura.

- La losa maciza requiere una cimentación con mayor área debido al peso por carga muerta, no obstante, los sistemas de placa fácil, placa aligerada y metaldeck no varían considerablemente en este aspecto.

- El sistema placa fácil es el más económico debido a que genera menor carga muerta en la edificación, lo que se traduce en menor refuerzo para vigas, columnas y zapatas.

- En un sistema estructural con losa maciza lo elementos estructurales (columnas, vigas, zapatas) van a tener mayor dimensión, factor a considerar dentro del diseño arquitectónico del proyecto.

- El sistema placa fácil resultó ser el más económico para construir, además se le asocian elementos estructurales de menor dimensión, incluyendo la cimentación.

- La eficiencia de un sistema estructural es inversamente proporcional a la carga muerta que genera, pues a menor peso menores costos de reforzamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Salazar Mármol, A. S., & Serrano Chica, G. F. (2014). *Análisis estructural y económico comparativo de losas con luces de 5,7 y 9 metros, construidas con sistema estructural tipo Deck y losas nervadas de hormigón armado con vigas descolgadas.* Quito.

Acesco. (Agosto de 2020). *acesco.com.co.* Obtenido de acesco.com.co: https://www.acesco.com.co/descargas/fichastecnicas/ficha-tecnica-entrepisos.pdf

ACESCO. (20 de 10 de 2020). *Análisis costo beneficio entre losa con lamina colaborante metaldeck y losa tradicional aligerada.* Obtenido de https://www.acesco.com.co/distribuidores/?gclid=Cj0KCQiAqdP9BRDVARIsAGSZ8AlYK9HQ49cQ4inOtdKZsghy4N5USy53bo6vR41zbgnzT0mTRpdsr_oaAvtWEALw_wcB

AIS. (2010). Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente. En TituloC, *Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente* (págs. C1-C2.2). Bogotá.

Arquitectura en acero. (s.f.). *Arquitectura en acero.* Obtenido de Arquitectura en acero: http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/materiales/entrepisos-y-cielos

Bejarano, S. J., & Zambrano, J. C. (Enero de 2014). *Biblioteca digital Univalle.* Obtenido de Biblioteca digital Univalle: https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/13675/CB-0494779.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bello, E. O. (2018). Etapas técnicas significativas en la producción de vivienda social de uno a tres pisos (1945 – 1975) en la ciudad de Bogotá. *Coloquio Colombiano de historia de la construcción*, 4.

Blogger. (2 de Marzo de 2013). Obtenido de Blogger: http://introem.blogspot.com/2013/03/historia-de-las-estructura-metalicas.html

Chávarry, N. N. (2015). *comparación del comportamiento estructural y económico de losas colaborantes unidireccionales con losas aligeradas .* Cajamarca.

ConstruyaFacil.org. (s.f.). *ConstruyaFacil.org.* Obtenido de ConstruyaFacil.org: https://www.construyafacil.org/2011/04/proceso-constructivo-de-la-placa-facil.html

Construyendo.co. (s.f.). *Construyendo.co.* Obtenido de Construyendo.co: https://construyendo.co/losas/tipos.php

DANE. (2020). *Boletín Técnico Censo de Edificaciones (CEED) III trimestre de 2020.* Bogota.

Eltiempo. (17 de 05 de 2018). Metaldeck de Acesco, un caso de éxito en el sistema de la construcción. *Metaldeck de Acesco, un caso de éxito en el sistema de la construcción*, págs. https://www.eltiempo.com/economia/metaldeck-de-acesco-un-caso-de-exito-en-el-sistema-de-la-construccion-216462.

Jiménez, J. O. (2010). Ingenieria Estructural. En J. O. Jiménez, *Ingenieria Estructural* (pág. 293). Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Ladrillera los Almendros S.A. (s.f.). *ladrilleralosalmendros.com.* Obtenido de ladrilleralosalmendros.com: http://www.ladrilleralosalmendros.com/placa-facil/

Ladrillera Santafé. (s.f.). Obtenido de https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/67629/Cat%C3%A1logo_-_PlacaF%C3%A1cil.pdf

Melendez y Santisteban, H. A.-E. (2014). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL HOSPITAL SAN IGNACIO Y SU REHABILITACIÓN BASADOS EN CURVAS DE FRAGILIDAD.* BOGOTA: Universidad Javeriana.

Nilson & Winter, A. &. (1994). Diseño de estructuras de concreto. En A. Nilson & Winter, *Diseño de estructuras de concreto* (pág. 355). Kansas: McGRAW-HILL.

NSR-10. (2012). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE.* BOGOTA.

Rugel, M. R. (2002). *Análisis técnico y económico de losas de entrepiso .* Piura.

Universidad de la Salle. (7 de Abril de 2015). *Slideshare.* Obtenido de Slideshare: https://es.slideshare.net/mayraalejandramp/sistemas-de-entrepisos-46752499#:~:text=ENTREPISOS%20PRETENSADOS%3A%20Consta%20de%20viguetas%20pretensadas%20y%20bloques%20de%20concreto.&text=Sistemas%20de%20entrepiso%20m%C3%A1s%20utilizados,comportamiento%20es

Winter, A. H.-G. (1994). Diseño de estructuras de concreto. En A. H.-G. Winter, *Diseño de estructuras de concreto* (pág. 355). Kansas: McGRAW-HILL.

Gobierno Nacional, *Accesibilidad Al Medio Físico y Al Transporte*, ed. by Arturo Calle, 1st edn (Bogotá: Katherine, 2009) <http://www.cnree.go.cr/documentacion/publicaciones/ACCESIBILIDAD AL MEDIO FISICO Y AL TRANSPORTE.pdf>