



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

**Propuesta y Evaluación de la Chapa de Compresión de
Hormigón Armado con Micro Nervaduras en una Dirección
y su Comparación con Sistemas Tradicionales.**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Autores:

**DANIEL RODRIGO TOSI MURILLO
MARCO ANDRÉS VINTIMILLA FIGUEROA**

Director:

VLADIMIR EUGENIO CARRASCO CASTRO

CUENCA, ECUADOR

2019

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi querido hijo Daniel, a mi padre Carlos, y mis hermanos Carlos, Alfredo, Sonia y David, que fueron un pilar fundamental en mi formación académica, alentándome en este largo camino.

Daniel Tosi Murillo

Nada sería posible sin mi familia, que me sirve de guía y motivación en cada paso que doy. Esta tesis la dedico especialmente a las tres personas más importantes de mi vida, a mi padre Marco Vintimilla, mi madre Lorena Figueroa y a mi hermano Mateo Vintimilla. A mis abuelitos, tíos y primos que han sido parte de todo el transcurso para este logro.

Marco Vintimilla Figueroa

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo no hubiese sido posible sin una gran cantidad de personas, las cuales nos han motivado y guiado en el día a día, formando parte primordial de nuestra vida y desarrollo académico, por lo tanto, extendemos un sincero agradecimiento a nuestra familia, amigos y de manera especial a los miembros de nuestro tribunal: Ing. Vladimir Carrasco, Ing. Esteban Cabrera y al Ing. José Vázquez, pilar fundamental para el desarrollo de este trabajo.

Daniel y Marco

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCION	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Justificación.....	3
1.2 Conceptos básicos	4
1.3 Sistemas tradicionales	10
1.4 Propuesta	11
1.5 Metodología.....	11
1.6 Alcances	12
1.7 Normativa.....	12
1.7.1 Norma Ecuatoriana de la Construcción	13
1.7.2 American Concrete Institute	14
1.7.2.1 ACI 211.1 - 91: Standard Practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete.....	14
1.7.2.2 ACI 318: Building Code Requirements for Structural Concrete	14
1.7.3 ASTM: American Society of Testing Materials	17
CAPÍTULO II: PRUEBAS Y ENSAYOS APLICADOS	18
2.1 Ensayos del hormigón	19
2.1.1 Ensayo a la compresión	19
2.2 Ensayos destructivos en los elementos de hormigón armado	22

2.2.1	Ensayo de resistencia a la flexión	22
2.3	Ensayos no destructivos en los elementos.....	25
2.3.1	Prueba de diferencias térmica	25
2.3.2	Prueba de diferencias acústica	26
3	CAPÍTULO III: MODELADO Y CONSTRUCCIÓN	28
3.1	Propuestas de los elementos de hormigón armado.....	28
3.1.1	Loseta convencional (maciza).....	28
3.1.2	Loseta con micro nervaduras en una sola dirección.....	28
3.1.3	Loseta con micro nervaduras en dos direcciones	29
3.2	Modelo en software comercial	30
3.2.1	Creación del modelo: definición de la geometría	30
3.2.2	Propiedades: secciones asignadas a los elementos.....	32
3.2.3	Materiales.....	36
3.2.4	Tipo de apoyos asignados	39
3.2.5	Cargas asignadas a los modelos	40
3.3	Análisis del modelo	42
3.3.1	Modelo de losa maciza de espesor 5 cm.	42
3.3.2	Modelo de losa unidireccional	45
3.3.3	Modelo de loseta micro nervada bidireccional	50
3.4	Proceso constructivo.....	59
3.4.1	Encofrado.....	60
3.4.2	Áridos.....	63
3.4.3	Acero de refuerzo.....	64
3.4.4	Colocación del hormigón	68
3.4.5	Vibrado del hormigón	69
3.4.6	Curado del hormigón.....	69
3.5	Etapas de comportamiento de los elementos propuestos	72

3.5.1	Momento de agrietamiento de los elementos.....	73
3.5.1.1	Momento de agrietamiento losa maciza.....	73
3.5.1.2	Momento de agrietamiento losa bidireccional	74
3.5.1.3	Momento de agrietamiento losa bidireccional	75
3.5.2	Capacidad resistente última de los elementos.....	76
3.5.2.1	Capacidad resistente última de la losa maciza	76
3.5.2.2	Capacidad resistente ultima de la losa unidireccional.....	78
3.5.2.3	Capacidad resistente ultima de la losa bidireccional.....	80
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES	81
4.1	Resultados y características de los elementos contruidos.....	81
4.1.1	Tablas comparativas de las características de las losas.....	84
4.2	Resultado del análisis de los modelos en el software comercial	85
4.3	Resultados de las pruebas acústicas	88
4.4	Resultados del ensayo de temperatura.....	93
4.5	Resultados del ensayo de resistencia a flexión.....	96
4.5.1	Resultados del ensayo a compresión del hormigón	96
4.6	Resultados del ensayo a flexión	98
4.6.1	Ensayo a flexión losa maciza	98
4.6.2	Ensayo a flexión losa unidireccional.....	100
4.6.3	Ensayo a flexión losa bidireccional.....	102
4.7	Conclusiones y recomendaciones.....	105
4.7.1	Conclusiones	105
4.7.2	Recomendaciones.....	107
	BIBLIOGRAFÍA.....	108
	ANEXOS.....	110
	Anexo I: Diseño de la dosificación para el hormigón	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Losa en una dirección.....	5
Figura 1-2 a). Losa en dos direcciones; b). Losa en una dirección.....	5
Figura 1-3 Losa plana con capiteles.....	6
Figura 1-4 Losa nervada en dos direcciones.....	6
Figura 1-5 Capiteles.....	7
Figura 1-6 Ábacos.....	7
Figura 1-7 Requisitos para ábacos.....	8
Figura 1-8 Volado de losas aligeradas.....	8
Figura 1-9 Micro nervaduras en la loseta de compresión.....	9
Figura 1-10 Losa nervada unidireccionalmente con loseta de compresión nervada “Sistema propuesto”.....	10
Figura 1-11 Losa nervada unidireccionalmente con loseta de compresión maciza “Sistema tradicional”.....	10
Figura 1-12 Logo American Concrete Institute.....	13
Figura 1-13: Logo American Society of Testing Materials.....	16
Figura 2-1 Patrones de rotura típica.....	19
Figura 2-2 Ensayo a flexión.....	22
Figura 2-3 Sonómetro usado en pruebas acústicas.....	26
Figura 3-1 Loseta maciza.....	28
Figura 3-2 Loseta con micro nervaduras en una dirección.....	29
Figura 3-3 Loseta con micro nervaduras en dos direcciones.....	29
Figura 3-4 Asignación de propiedades al modelo de loseta maciza.....	32
Figura 3-5 Corte trasversal de la sección del modelo de losa maciza.....	32
Figura 3-6 Asignación de propiedades para el elemento membrana al modelo de losa unidireccional.....	34
Figura 3-7 Asignación de propiedades para el elemento frame del modelo de losa unidireccional.....	35
Figura 3-8 Asignación de propiedades para el elemento membrana al modelo de losa bidireccional.....	35
Figura 3-9 Asignación de propiedades para el elemento frame del modelo de losa bidireccional.....	36
Figura 3-10 Ecuación para encontrar el módulo de elasticidad para el Hormigón....	37

Figura 3-11 Modulo de elasticidad del agregado según su procedencia.....	37
Figura 3-12 Asignación de propiedades del hormigón para el modelo	38
Figura 3-13 Asignación de propiedades del acero de refuerzo para el modelo	38
Figura 3-14 Apoyos utilizados para el modelo de losa maciza.....	39
Figura 3-15 Apoyos utilizados para el modelo de losa unidireccional	39
Figura 3-16 Apoyos utilizados para el modelo de losa bidireccional	40
Figura 3-17 Carga uniforme según ocupación o uso	40
Figura 3-18 Combos de carga permitidos	41
Figura 3-19 Combos de carga permitidos	41
Figura 3-20 Deformación de la losa maciza, desplazamiento en el eje z	42
Figura 3-21 Diagrama de momentos baja el efecto del combo “Envolvente” para el modelo de losa maciza	43
Figura 3-22 Diagrama de cortante de la losa para la losa maciza.....	44
Figura 3-23 Deformación de las vigas y losa del modelo unidireccional, desplazamiento en el eje z.....	45
Figura 3-24 Diagrama de momentos de las vigas de la losa unidireccional	46
Figura 3-25 Momento en la viga B1 en la losa unidireccional	46
Figura 3-26 Momentos en la viga B5 de la losa unidireccional.....	47
Figura 3-27 Momento en la viga B2 en la losa unidireccional	47
Figura 3-28 Diagrama de cortante para las vigas de la losa unidireccional.....	48
Figura 3-29 Cortante en la viga B1 en la losa unidireccional	48
Figura 3-30 Cortante en la viga B5 en la losa unidireccional	49
Figura 3-31 Cortante en la viga B2 en la losa unidireccional	49
Figura 3-32 Deformación de las vigas y losa del modelo bidireccional	50
Figura 3-33 Diagrama de momentos para las vigas de la losa bidireccional	51
Figura 3-34 Diagrama de momentos para las vigas transversales de la losa bidireccional.....	51
Figura 3-35 Momento en la viga B1 de la losa bidireccional	51
Figura 3-36 Momento en la viga B5 de la losa bidireccional	52
Figura 3-37 Momento en la viga B2 de la losa bidireccional	52
Figura 3-38 Momento en la viga B3 de la losa bidireccional	53
Figura 3-39 Momento en la viga B4 de la losa bidireccional	53
Figura 3-40 Momento en la viga B6 de la losa bidireccional	54

Figura 3-41 Diagrama de cortante para las vigas longitudinales bajo el efecto de la carga del combo 2 para el modelo de losa bidireccional	54
Figura 3-42 Diagrama de cortante para las vigas transversales bajo el efecto de la carga del combo 2 para el modelo de losa bidireccional	55
Figura 3-43 Cortante en la viga B1 de la losa bidireccional	55
Figura 3-44 Cortante en la viga B5 de la losa bidireccional	56
Figura 3-45 Cortante en la viga B2 de la losa bidireccional	56
Figura 3-46 Cortante en la viga B3 de la losa bidireccional	57
Figura 3-47 Cortante en la viga B4 de la losa bidireccional	57
Figura 3-48 Cortante en la viga B6 de la losa bidireccional	58
Figura 3-49 Madera Triplex	60
Figura 3-50 Modelo de encofrado de la losa maciza	61
Figura 3-51 Modelo de encofrado de la losa de dos direcciones.	61
Figura 3-52 Modelo de encofrado de la losa en dos direcciones.	62
Figura 3-53 Moldes de las losas unidireccional, bidireccional y maciza.....	62
Figura 3-54 Abertura mínima en la sección transversal.....	63
Figura 3-55 Armado de hierros losa maciza, espaciamiento longitudinal.	66
Figura 3-56 Armado de hierros losa maciza, espaciamiento vertical	66
Figura 3-57 Armado de hierros losa unidireccional, espaciamiento longitudinal	67
Figura 3-58 Armado de hierros losa unidireccional, espaciamiento vertical.....	67
Figura 3-59 Armado de hierros la bidireccional, espaciamiento longitudinal	67
Figura 3-60 Armado de hierros la bidireccional, espaciamiento vertical	67
Figura 3-61 Colocación del hormigón en los moldes	68
Figura 3-62 Vibrado del hormigón	69
Figura 3-63 Reducción de resistencia a 28 días según días iniciales de curado inadecuado.....	70
Figura 3-64 Curado del hormigón.....	70
Figura 3-65 Moldes finales con poliestireno de las losas unidireccional, bidireccional y maciza.	71
Figura 3-66 Losas finales después de la fundición	71
Figura 3-67 Etapas De comportamiento de una viga de concreto	72
Figura 3-68 Concreto agrietada etapa de esfuerzos elásticos.....	73
Figura 3-69 Diagrama de compresión de Whitney losa maciza	76

Figura 3-70 Diagrama de compresión de Whitney losa unidireccional y bidireccional	78
Figura 4-1 Elemento definitivo de la losa maciza.....	82
Figura 4-2 Elemento definitivo de la losa unidireccional	83
Figura 4-3 Elemento definitivo de la losa bidireccional	83
Figura 4-4 Desplazamientos máximos de las losas maciza, unidireccional y bidireccional.....	85
Figura 4-5 Momento de cada solicitación de la losa maciza	86
Figura 4-6 Momento de cada solicitación de la losa unidireccional y bidireccional ..	86
Figura 4-7 Cortante de cada solicitación de la losa maciza	87
Figura 4-8 Cortante de cada solicitación de la losa unidireccional y bidireccional ...	87
Figura 4-9 Prueba acústica, sonómetro exterior.....	88
Figura 4-10 Diferencia de intensidad sonora exterior-interior de la losa maciza	89
Figura 4-11 Diferencia de intensidad sonora exterior-interior de la losa unidireccional con poliestireno	89
Figura 4-12 Diferencia de intensidad sonora exterior-interior de la losa bidireccional con poliestireno	90
Figura 4-13 Diferencia de intensidad sonora de la losa maciza, unidireccional y bidireccional con poliestireno	90
Figura 4-14 Diferencias acústicas de las losas con poliestireno	91
Figura 4-15 Diferencia acústica entre las losas unidireccionales.....	92
Figura 4-16 Diferencia acústica entre las losas bidireccionales.....	92
Figura 4-17 Diferencia del gradiente térmico de la losa maciza, unidireccional y bidireccional.....	95
Figura 4-18 Ensayo a flexión de la losa maciza.....	99
Figura 4-19 Patrón de fisuras de la losa maciza, vista lateral	99
Figura 4-20 Patrón de fisuras de la losa maciza, vista en planta.....	99
Figura 4-21 Grafica fuerza-deformación de la losa maciza	100
Figura 4-22 Ensayo a flexión de la losa unidireccional	100
Figura 4-23 Patrón de fisuras de la losa unidireccional, vista lateral.....	101
Figura 4-24 Patrón de fisuras de la losa unidireccional, vista en planta	101
Figura 4-25 Grafica fuerza-deformación de la losa unidireccional	102
Figura 4-26 Ensayo a flexión de la losa bidireccional	102
Figura 4-27 Patrón de fisuras de la losa, vista lateral	103

Figura 4-28 Grafica fuerza-deformación de la losa bidireccional	103
Figura 4-29 Patrones de fisuras parte inferior losa bidireccional	103
Figura 4-30 Grafica fuerza-deformación de la losa maciza, unidireccional y bidireccional.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tolerancia permisible según la edad del ensayo.....	20
Tabla 2-2 Tolerancias permisibles en el ensayo a compresión	20
Tabla 3-1 Dimensiones del elemento losa del modelo de loseta maciza	30
Tabla 3-2 Dimensiones del elemento losa Micro nervada unidireccional	30
Tabla 3-3 Dimensiones del elemento viga de la losa unidireccional	31
Tabla 3-4 Dimensiones del elemento losa de la losa bidireccional	31
Tabla 3-5 Dimensiones del elemento viga longitudinal de la losa bidireccional.....	31
Tabla 3-6 Dimensiones del elemento viga transversal de la losa unidireccional.....	31
Tabla 3-7 Desplazamientos máximos en el eje z de la losa maciza	42
Tabla 3-8 Tabla de momentos máximos en la losa maciza.....	43
Tabla 3-9 Tabla de Cortante Máximo en la losa maciza.....	44
Tabla 3-10 Desplazamientos Máximos en la losa unidireccional	45
Tabla 3-11 Momentos máximos en la viga B1 en la losa unidireccional	46
Tabla 3-12 Momentos en la viga B5 en la losa unidireccional	47
Tabla 3-13 Momentos máximos en la viga B2	47
Tabla 3-14 Cortante máximo en la viga B1 en la losa unidireccional	48
Tabla 3-15 Cortante máximo viga B5 en la losa unidireccional	49
Tabla 3-16 Cortante máximo en la viga B2 en la losa unidireccional	49
Tabla 3-17 Valores máximos en la losa unidireccional	50
Tabla 3-18 Deformaciones máximas en la losa bidireccional	50
Tabla 3-19 Momento máximo en la viga B1 de la losa bidireccional	51
Tabla 3-20 Momento máximo en la viga B5 de la losa bidireccional	52
Tabla 3-21 Momento en la viga B2 de la losa bidireccional.....	52
Tabla 3-22 Momento en la viga B5 de la losa bidireccional.....	53
Tabla 3-23 Momento en la viga B4 de la losa bidireccional.....	53
Tabla 3-24 Momento en la viga B6 de la losa bidireccional.....	54
Tabla 3-25 Cortante en la viga B1 de la losa bidireccional	55
Tabla 3-26 Cortante en la viga B5 de la losa bidireccional	56
Tabla 3-27 Cortante en la viga B2 de la losa bidireccional	56
Tabla 3-28 Cortante en la viga B3 de la losa bidireccional	57
Tabla 3-29 Cortante en la viga B4 de la losa bidireccional	57
Tabla 3-30 Cortante en la viga B6 de la losa bidireccional	58

Tabla 3-31 Valores máximos en la losa bidireccional	58
Tabla 3-32 Irregularidades en superficies de hormigón.....	60
Tabla 3-33 Diámetros mínimos y máximos de las varillas de refuerzo	64
Tabla 3-34 Valores del coeficiente β_1 del ACI	77
Tabla 3-35 Valores del coeficiente β_1 del ACI	79
Tabla 4-1 Características del elemento definitivo de la losa maciza	82
Tabla 4-2 Inercias con respecto a los ejes losa maciza	82
Tabla 4-3 Características del elemento definitivo de la losa nervada unidireccional	82
Tabla 4-4 Inercias con respecto a los ejes losa unidireccional.....	82
Tabla 4-5 Características del elemento definitivo de la losa nervada bidireccional ..	83
Tabla 4-6 Inercias con respecto a los ejes losa bidireccional.....	83
Tabla 4-7 Peso de la losa maciza, unidireccional y bidireccional en Kg.....	84
Tabla 4-8 Diferencia de porcentajes de la losa maciza, unidireccional y bidireccional	84
Tabla 4-9 Comparación de inercias con respecto al eje z de cada losa ordenada de mayor a menor.....	84
Tabla 4-10 Diferencia acústica de la losa maciza, unidireccional y bidireccional	91
Tabla 4-11 Diferencia del gradiente térmico de la losa maciza	94
Tabla 4-12 Diferencia del gradiente térmico de la losa maciza	94
Tabla 4-13 Diferencia del gradiente térmico de la losa maciza	94
Tabla 4-14 Dimensiones de los especímenes para el ensayo a compresión del hormigón	96
Tabla 4-15 Tabla de carga aplicada en los cilindros del ensayo a compresión.....	97
Tabla 4-16 Resultados de los ensayos a compresión a los 7 y 14 días	97
Tabla 4-17 Resistencia del hormigón de cemento Portland en días de curado.....	98
Tabla 0-1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción del ACI 211.1 - 91	111
Tabla 0-2 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado del ACI 211.1 - 91.....	112
Tabla 0-3 Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del ACI 211.1 - 91	113
Tabla 0-4 Volumen de agregado grueso (m ³) por volumen unitario de concreto del ACI 211.1 - 91.....	114
Tabla 0-5 Dosificación final del hormigón utilizado	115

RESUMEN

"PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE LA CHAPA DE COMPRESIÓN DE HORMIGÓN ARMADO CON MICRO NERVADURAS EN UNA DIRECCIÓN Y SU COMPARACIÓN CON SISTEMAS TRADICIONALES"

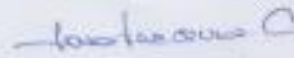
RESUMEN

La influencia de la geometría en los elementos estructurales tiene gran importancia, puesto que influye directamente en varios aspectos como su peso e inercia. En este proyecto se plantea la evaluación de dos propuestas de loseta de compresión, variando su geometría, micro nervando la sección; la una de manera unidireccional y la otra bidireccional, comparándolas con los sistemas tradicionales. Para analizar las propuestas se ha realizado su modelo en un software comercial y además varios ensayos, dos de ellos no destructivos, abarcando el comportamiento de los elementos acústica y térmicamente, finalmente una prueba destructiva ensayando la flexión de los elementos.

Palabras Clave: micro nervaduras, elementos estructurales, peso, inercia, loseta de compresión, ensayo a flexión.



Vladimir Eugenio Carrasco Castro
Director del Trabajo de Titulación



José Fernando Vázquez Calero
Director de escuela



Daniel Rodrigo Tosi Murillo



Marco Andrés Vintimilla Figueroa

Autores

ABSTRACT

"PROPOSAL AND EVALUATION OF THE COMPRESSION PLATE OF REINFORCED CONCRETE WITH MICRO RIBS IN ONE DIRECTION AND ITS COMPARISON WITH TRADITIONAL SYSTEMS"

ABSTRACT

The influence of geometry on structural elements has a great importance because it directly influences aspects such as weight and inertia. This project proposes the evaluation of two compression plate proposals, varying their geometry and micro-ribbing the section in a unidirectional and bidirectional way to compare them with traditional systems. To analyze the proposals, they have been modeled using commercial software and through several tests; two of them non-destructive. It was possible to analyze the behavior of the elements acoustically and thermally to finally perform a destructive test on the flexion of the elements.

Keywords: micro ribs, structural elements, weight, inertia, compression tile, flexural test.



Vladimir Eugenio Carrasco Castro

Thesis Director

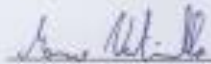


José Fernando Vázquez Calero

Faculty Director



Daniel Rodrigo Tosi Murillo



Marco Andrés Vintimilla Figueroa

Authors



UNIVERSIDAD
DE AZUAY
Opto. Idiomas



Translated by
Ing. Paul Arpi

INTRODUCCION

El acelerado desarrollo de la industria constructora exige cada vez un mayor progreso tecnológico y científico de esta área, dejando atrás, poco a poco, los sistemas comúnmente utilizados, cambiándolos por nuevas propuestas, aprovechando eficientemente los recursos, abaratando costos y sin generar grandes impactos en el medio ambiente.

Hoy en día, en nuestro país la competitividad es constante, se han realizado varios estudios en el medio con la finalidad de reducir costos en la construcción, analizando diferentes elementos estructurales, entre estos elementos tiene gran importancia la losa, puesto que es un elemento indispensable en toda edificación, ya que; además de cumplir con funciones arquitectónicas, separando los distintos pisos, aislando el sonido, calor y la visión directa de un piso a otro; la losa debe soportar las distintas acciones a las que esta vaya a estar sometida a lo largo de su vida útil.

Tratando de abaratar la estructura, se trata de disminuir la sección de la losa mediante nervaduras con casetones de distintos materiales como poliestireno, bloque, entre otros. Este sistema de losas alivianadas es aplicado de manera recurrente en nuestro medio, siendo muy común encontrarse con edificaciones las cuales han aplicado este sistema convirtiéndolo ya en un sistema tradicional junto con las losas macizas en una o dos direcciones.

En consecuencia, actualmente, el diseño de losas nervadas, considera la chapa de compresión como una sección constante contribuyendo al peso muerto de la estructura. Considerando como primer punto en la problemática que “la búsqueda de las estructuras de mínimo peso representa el primer y principal paso en cualquier teoría de diseño” (Antuña et al., 2014), para argumentar el segundo punto, es necesario conocer la fuerzas inducidas por un terremoto o sismo, estas son proporcionales a la masa de una estructura, por lo tanto, es importante reducir los pesos innecesarios, los cuales pueden significar un ahorro considerable al disminuir la fuerza sísmica de una estructura (Bozzo & Barbat, 1995); tomando en cuenta esto y la importancia de abaratar costos en el proceso de construcción, se ha visto necesario proponer nuevas alternativas para el diseño de chapas de compresión evaluando varias opciones de

elementos delgados de hormigón armado con micro nervaduras, logrando asemejar su comportamiento estructural y su aplicabilidad en nuestro medio.

La norma ecuatoriana de la construcción ((MIDUVI) & (CAMICOM), 2014) en su capítulo 7 “Diseño de losas” especifica que el diseño de losas se realiza conforme al capítulo 13 (Sistemas de losa en una y dos direcciones) y al capítulo 19 (Cáscaras y losas plegadas) del ACI 318, la versión en español de la ACI (American Concrete Institute, 2014) no especifica normas para el diseño de losas con micro nervaduras en la chapa de compresión.

1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Justificación

Como ya mencionamos anteriormente, la competencia desarrollada en la industria constructora nos obliga a las nuevas generaciones de profesionales a estar inmersos en el mundo de la investigación, manteniéndonos al tanto de nuevas soluciones que innoven la construcción, garantizando siempre la seguridad y comodidad de los usuarios, a su vez economizando su elaboración, pensando siempre el medio ambiente.

“El ritmo del desarrollo científico tecnológico actual impone cambios en los modelos formativos. Si en épocas anteriores un ingeniero civil podía transitar por sus aproximadamente 40 años de vida laboral utilizando los conocimientos que obtuvo en la universidad; en la etapa actual ese mismo profesional deberá renovar más de una vez su arsenal de conocimientos y habilidades, quedando atrás la hipótesis básica de los modelos formativos que tienden a preespecificar los conocimientos que requieren los educandos para sus funciones sociales futuras.” (Nápoles, Beatón Soler, Cruz Baranda, & Álvarez González, 2007)

Creemos que todavía queda mucho por probar e investigar para poder afinar los diseños de los elementos estructurales optimizando al máximo los recursos, evitando desperdicios y sobre todo perdida innecesaria de tiempo en la construcción, cumpliendo a la par con los requisitos estructurales necesarios. Queda un gran campo abierto, pero nos hemos planteado probar e investigar uno de los elementos de gran influencia estructural como la losa, centrándonos específicamente en el comportamiento de la llamada chapa o capa de compresión de las losas, la cual resiste los esfuerzos de compresión generados por las distintas acciones a la que está sometida la losa.

A pesar de que la losa es uno de los elementos con mayores propuestas nuevas, muy poco se ha investigado sobre la influencia que tiene la chapa de compresión en el

elemento, en consecuencia, hay un gran campo de investigación a tratar, quedando muchas otras propuestas de análisis que complementen lo elaborado en el presente trabajo de titulación.

1.2 Conceptos básicos

El diseño estructural tiene como objetivo implantar una estructura segura y económica que llegue a satisfacer una necesidad, se entiende por seguridad la capacidad de una estructura para servir sin fallos durante su vida útil.

En todo proyecto se puede distinguir las siguientes etapas:

- Identificar una necesidad
- Anteproyecto
- Proyecto
- Ejecución y cierre

Debido a la importancia del costo de la estructura en un proyecto, se procura realizar un análisis estructural óptimo, considerando varias opciones, en la cual se escogerá una solución económica y factible estructuralmente. El estudio de elementos estructurales más livianos, contempla diferentes alternativas de materiales, secciones y procesos de construcción, además de que el estudio se lo realiza en diferentes elementos estructurales como zapatas, columnas, vigas y losas, que pueden optimizarse en el cálculo estructural. En este caso nos concentramos en losas delgadas (chapas de compresión) y una nueva propuesta que contempla micro nervaduras, la cual requiere de un estudio experimental además de la modelación estructural. Una losa de hormigón armado es una amplia placa plana, con la cara superior con respecto a la inferior paralelas entre sí (Nilson, 1999).

- Existen diferentes tipos de losa: Las losas que se apoyan en dos lados con vigas; estas trabajan en una dirección, ya que, la carga se transmite perpendicular a las vigas de apoyo (Figura 1-1 Losa en una dirección)

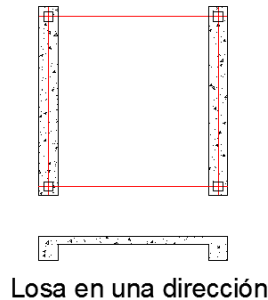


Figura 1-1 Losa en una dirección
Fuente: Autores.

- Las losas que se apoyan en los cuatro lados; estas trabajan en dos direcciones (Figura 1-2 a). Losa en dos direcciones; b). Losa en una dirección.), se pueden colocar vigas intermedias, si la relación entre la longitud y el ancho del paño es mayor que dos, la parte mayor de la carga se transmite en la dirección corta hacia las vigas de apoyo y se logra que la losa trabaje en una sola dirección, aunque esté apoyada en todos los lados (Ilustración 2: b). Losa en una dirección.).

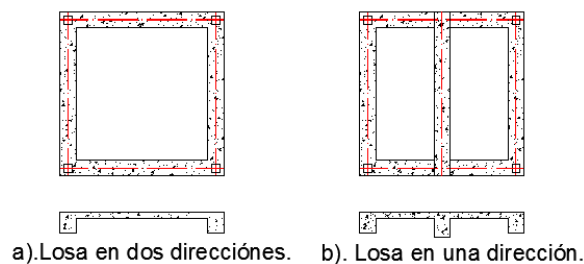


Figura 1-2 a). Losa en dos direcciones; b). Losa en una dirección.
Fuente: Autores

- Las losas pueden ser apoyadas sobre columnas, sin vigas secundarias o principales, a este tipo de losas se les denomina losas planas, se utilizan con luces pequeñas y las cargas no son altas. En estas losas se incorpora un sobre espesor con la columna, la misma que tiene una sección acampanada en la parte superior, estos mecanismos llamados capiteles, ábacos o sobre espesores, son utilizados para disminuir los esfuerzos de flexión negativa y el punzonamiento de la columna en la losa (Figura 1-3 Losa plana con capiteles).

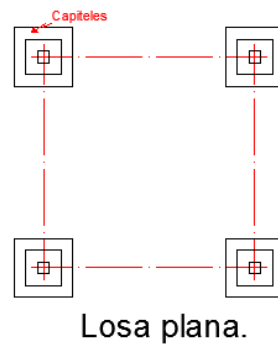
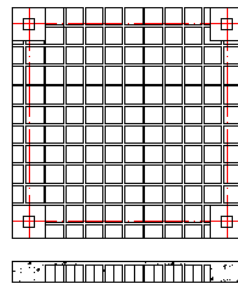


Figura 1-3 Losa plana con capiteles
Fuente: Autores

- Losa reticular o losa nervada, a diferencia de la losa plana maciza, esta losa tiene viguetas en dos direcciones, con el fin de reducir la carga muerta. Se crean vacíos mediante elementos de aligeramiento metálicos, bloques o espuma Flex. Se obtiene una losa nervada en dos direcciones, los aligeramientos se omiten cerca de las columnas y se forma una losa maciza, para poder resistir mejor los momentos y cortantes en esa sección.



Losa nervada en dos direcciones.

Figura 1-4 Losa nervada en dos direcciones.
Fuente: Autores

Las losas planas están soportadas directamente sobre columnas sin el apoyo de vigas, estas pueden tener ampliaciones en la columna o en la losa, o tener un peralte constante. También pueden ser macizas o aligeradas, el aligeramiento se alcanza incorporando bloques huecos o formando huecos con moldes recuperables metálicos o de plástico. Las losas aligeradas toman el nombre de losas reticulares o nervadas.

Las ampliaciones mencionadas anteriormente se denominan capiteles, las cuales tienen como función principal aumentar el perímetro de la sección crítica en cortante o por punzonamiento de la columna en la losa, los capiteles no deben formar un ángulo mayor a 45° con el eje de las columnas (Figura 1-5 Capiteles), si se llega a exceder el Angulo, la sección que se encuentra fuera no se considera útil. (González Cuevas & Fernández Villegas, 2005)

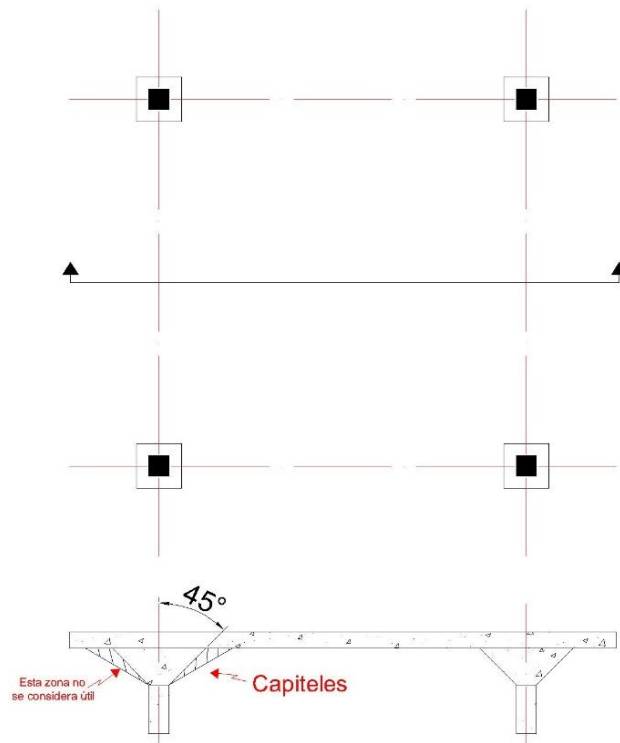


Figura 1-5 Capiteles
Fuente: Autores

El ábaco es una zona alrededor de la columna con un mayor peralte, generalmente es cuadrado o rectangular, se recomienda que sus dimensiones no sean menores de un sexto de la luz. (Figura 1-6 Ábacos).

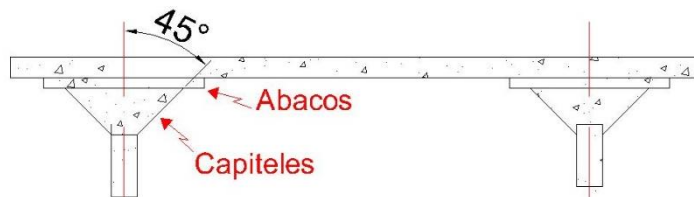


Figura 1-6 Ábacos
Fuente: Autores

La proyección del ábaco debe estar comprendida entre ciertos límites, el mínimo es tal peralte efectivo del ábaco por lo menos 1.3 veces al peralte efectivo de la losa y el máximo que sea a lo sumo 1.5 veces el peralte (Figura 1-7 Requisitos para ábacos.)

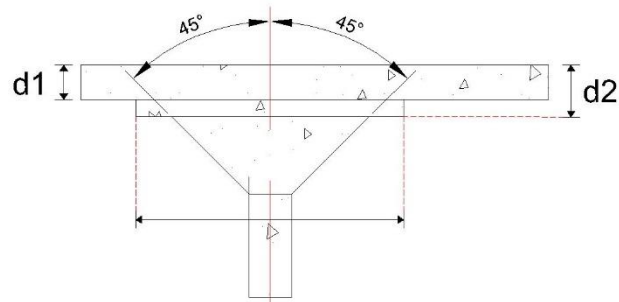


Figura 1-7 Requisitos para ábacos.
Fuente: Autores

El ábaco tiene como función aumentar el peralte de la losa en la zona que preexiste mayor momento flector y en donde es crítico el cortante por penetración. Se recomienda que estos ábacos tengan una dimensión mínima de un sexto de la luz medido desde los ejes de las columnas.

Además, se recomienda que las losas aligeradas que lleven volados finalicen en una viga maciza cuyo espesor sean por lo menos igual al espesor de la losa o 25 cm. (Figura 1-8 Volado de losas aligeradas).

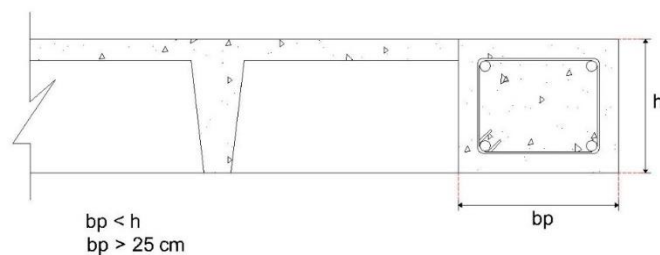
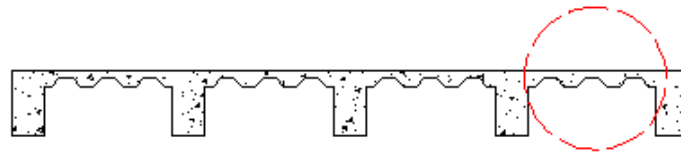


Figura 1-8 Volado de losas aligeradas
Fuente: Autores

Después de haber expuesto los diferentes tipos de losa que pueden emplearse, en este estudio nos limitaremos a losas nervadas, centrándonos en losas delgadas de hormigón, tratando de simular la chapa de compresión, que generalmente se usa de un espesor de 5 cm, lo cual está normado en nuestro medio. Teniendo en cuenta esto proponemos micro nervaduras en la loseta de compresión obteniendo menos volumen de hormigón (Figura 1-9 Micro nervaduras en la loseta de compresión).



Losa nervada en dos direcciones con micro nervadura en la chapa de compresión.

Figura 1-9 Micro nervaduras en la loseta de compresión
Fuente: Autores

1.3 Sistemas tradicionales

Se considerarán como sistemas tradicionales de losa a las losas macizas, como también a las losas reticulares. Las denominamos tradicionales puesto que son las más recurridas para la construcción en nuestro medio, además tienen algo en común y es que la chapa o loseta de compresión en ambas, es totalmente maciza a comparación de la propuesta presentada en este trabajo.

En el caso de nuestro trabajo nos hemos planteado trabajar con losas nervadas por lo tanto con sistema tradicional nos referiremos a la loseta de compresión maciza de las losas nervadas tomando en cuenta para su diseño los métodos actuales propuestos en la normativa correspondiente.



Figura 1-11 Losa nervada unidireccionalmente con loseta de compresión maciza “Sistema tradicional”

Fuente: Autores



Figura 1-10 Losa nervada unidireccionalmente con loseta de compresión nervada “Sistema propuesto”

Fuente: Autores

Estos sistemas con loseta de compresión tienen algunas características según la normativa como por ejemplo se usa esta chapa de compresión de al menos 4 cm cuando los encofrados son fijos y de al menos 5 cm cuando los encofrados son removibles.

1.4 Propuesta

Se propone realizar micro nervaduras en una dirección en la chapa de compresión de hormigón armado en losas nervadas tratando de abaratar su costo en comparación con las losas tradicionales y obteniendo un comportamiento adecuado estructuralmente, tomando en cuenta la influencia del espesor de esta chapa de compresión micro nervada.

1.5 Metodología

Se propone la evaluación de elementos delgados de hormigón armado con micro nervaduras equivalentes a una chapa de compresión de una losa nervada. Como primer punto se revisará la bibliografía base y se sacarán las distintas propuestas de dichos elementos, después de esto se materializará cada una de las propuestas empezando desde la construcción de los moldes para las micro nervaduras, se elaborará el hormigón y el armado necesario para cada uno de los elementos propuestos, con todo esto listo se proseguirá con el armado de los elementos.

Como segundo punto y más importante se someterá cada uno de los elementos a pruebas no destructivas y destructivas de laboratorio en las instalaciones de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay, la misma que cuenta con la prensa requerida para este tipo de pruebas; una vez sometidos los elementos a estas pruebas se llevará una minuciosa recopilación de los datos más relevantes obtenidos de dichas ensayos, como son deflexiones, esfuerzo, ruptura, entre otros, que irán surgiendo conforme se realice la investigación.

Como punto final se elaborará un análisis de los resultados obtenidos de las pruebas y se realizarán distintas conclusiones con las cuales podremos determinar si estos elementos delgados de hormigón armado con micro nervaduras presentan ventajas sobre sistemas tradicionales y cumplen con las mínimas condiciones de equilibrio y comportamiento estructural.

1.6 Alcances

Se espera determinar el comportamiento estructural, acústico y térmico de las propuestas de elementos delgados de hormigón armado, a través de pruebas de laboratorio. Se diseñará el modelo de tal forma de facilitar su construcción. Una vez obtenidas los planos y especificaciones de las secciones, se elaborarán los elementos para obtener el modelo físico a ensayar, que serían los elementos delgados de hormigón armado. Terminadas las pruebas de laboratorio se obtendrán los resultados y el análisis de los mismos para obtener las conclusiones de la investigación.

1.7 Normativa

El presente trabajo presenta una nueva propuesta para losas nervadas, modificando la loseta de compresión; cambiando los parámetros comúnmente utilizados en la construcción tradicional. Se busca nuevas alternativas que cumplan con los requisitos estructurales necesarios y además sean constructivamente viables, esta propuesta de losetas de compresión micro nervadas difiere con varios parámetros estipulados en la normativa vigente de nuestro país.

1.7.1 Norma Ecuatoriana de la Construcción

La norma actual de construcción que rige en el Ecuador es la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), abordada por el Ministerio de Desarrollo Urbano y de Vivienda (MIDUVI) y la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICOM), “son un conjunto de regulaciones obligatorias [...] apoyadas por una serie de organizaciones técnicas privadas, profesionales y académicos del sector, cuyo principal objetivo es establecer requisitos mínimos de seguridad y calidad que se deben cumplir en las construcciones del País” (“Normas Ecuatorianas de Construcción – Cevaconsult,” n.d.). La NEC es una actualización del código Ecuatoriano de Construcción escrito en el 2001.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción se divide en varios códigos, el código que nos compete para nuestra investigación es el siguiente NEC - SE – HM Estructuras de hormigón armado, el cual en su capítulo 7 “Diseño de losas” especifica que el diseño de losas se realiza conforme al capítulo 13 (Sistemas de losa en una y dos direcciones) y al capítulo 19 (Cáscaras y losas plegadas) del ACI 318.



Figura 1-12 Logo American Concrete Institute
Fuente: Página web del ACI

1.7.2 American Concrete Institute

Como se menciona en la página web del American Concrete Institute (“American Concrete Institute,” n.d.), es una organización encargada del desarrollo, difusión y adopción de estándares, normativas y recomendaciones técnicas que incluyen el diseño, la construcción y los materiales referentes al concreto armado.

1.7.2.1 ACI 211.1 - 91: Standard Practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete

El comité 211 del ACI en el estándar para la práctica de selección de proporciones para concreto normal, pesado y concreto de masa describe procedimientos y métodos para una correcta relación y proporción de materiales para la dosificación del concreto. El estándar toma en cuenta el asentamiento requerido, resistencia deseada, tamaño del agregado entre otros parámetros fundamentales para el diseño del hormigón, además, incluye varios ejemplos y tablas para una correcta dosificación.

Para la elaboración de los diferentes modelos propuestos en nuestro trabajo se realizó el diseño de la dosificación del hormigón siguiendo un procedimiento basado en las tablas presentadas en el estándar (ACI 211, 2002).

1.7.2.2 ACI 318: Building Code Requirements for Structural Concrete

El código de construcción 318 “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary” del ACI fue actualizado por última vez en el año 2014 y posteriormente se han publicado las versiones traducidas al español. En este trabajo nos hemos basado en la traducción realizada y comentada por el propio comité del ACI 318 denominada “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario (ACI 318SR-14) (Versión en español y en sistema métrico SI)”.

En esta última actualización del ACI 318 los capítulos relativos a losas son el capítulo 7 “Losas en una dirección” y capítulo 8 “Losas en dos direcciones”.

Después de haber revisado estos dos capítulos del ACI 318 s - 14 referentes al tema propuesto hemos encontrado los siguientes puntos y consideraciones que influyen en la nueva propuesta de losetas de compresión con micro nervaduras:

– Capítulo 7 – Losas en una Dirección

El capítulo 7, en su primer apartado 7.1 Alcance, no incluye sistemas de losas nervadas en una sola dirección, sin embargo, en la parte de los comentarios de la norma se especifica que los requisitos para sistemas de viguetas en una dirección se encuentran en el capítulo 9, este capítulo 9 lo mencionaremos más adelante.

Los demás apartados de este capítulo no tratan puntualmente sobre la loseta de compresión si no que abarcan la losa en su totalidad. Podemos encontrar; generalidades, límites de diseño, resistencia requerida, resistencia de diseño, límites del refuerzo, detalles del refuerzo.

– Capítulo 8 – Losas en dos direcciones

En el octavo capítulo, al igual que el anterior, el primer apartado trata el alcance del capítulo. En este capítulo como se menciona en los comentarios del ACI 318, anteriormente ya referenciado, los sistemas de losas que se pueden diseñar de acuerdo con este capítulo incluyen losas planas, placas planas, losas en dos direcciones y finalmente las que nos interesan a nosotros losas reticulares.

Los demás puntos de este capítulo se refieren exactamente a los mismos temas tratados en el capítulo 7, excepto la parte 8.8 “Sistema reticular de viguetas en dos direcciones no pre esforzadas”.

El apartado 8.8 del capítulo de Losas en dos Direcciones y el apartado 9.8 “Sistemas de viguetas en una dirección no pre esforzadas” del capítulo 9 de vigas son de suma importancia para el tema tratado en nuestro trabajo, además los dos puntos tienen la misma distribución de títulos y las especificaciones son las mismas por lo cual se describirá a continuación de forma conjunta los temas más relevantes, tomando en cuenta que el uno es para losas en una dirección y el otro para losas que trabajan en dos direcciones.

En el punto 8.8.1.7 y 9.8.1.7 se especifica que: la losa debe tener un refuerzo perpendicular a las viguetas que cumpla lo requerido por flexión, pero no menor al refuerzo para retracción y temperatura que se requiere en 24.4 y considerando las concentraciones de carga, en caso que las haya.

En el apartado 8.8.2.1 y 9.8.2.1 nos dice lo siguiente: El espesor de la losa de concreto sobre los aligeramientos permanentes no debe ser menor a $1/12$ de la distancia libre entre viguetas, ni menor que 40 mm.

Finalmente, en 8.8.3.1 y 9.8.3.1 se tiene: Cuando se utilicen aligeramientos que no cumplan con 9.8.2.1 o se utilicen encofrados removibles, el espesor de la losa debe ser por lo menos el mayor de $1/12$ de la distancia libre entre las nervaduras y 50 mm.



Figura 1-13: Logo American Society of Testing Materials
Fuente: Página web del ASTM

1.7.3 ASTM: American Society of Testing Materials

La Sociedad americana para pruebas y materiales “ASTM” por sus siglas en ingles es una organización sin fines de lucro con gran reconocimiento a nivel mundial, fundada en 1898 y dedicada a la creación de todo tipo de normativas técnicas. Actualmente como se menciona en su página web oficial tiene más de 12000 normas vigentes y muchas más en proceso.

En la presente tesis se ha visto plantear varios ensayos, algunos para garantizar la resistencia y fiabilidad de los materiales usados en las pruebas y otros netamente para probar los elementos propuestos los cuales, estos ensayos serán tratados a detalle en el segundo capítulo, mientras que en la presente parte de normativa se describirá brevemente las normas ASTM que serán usadas como base para llevar a cabo dichos ensayos.

- ASTM C39

Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de Concreto

- ASTM C78-02

Estándar histórico: Método de ensayo normalizado para la determinación de la Resistencia a la flexión del concreto (Utilizando viga sencilla con carga en los tercios del claro)

2 CAPÍTULO II: PRUEBAS Y ENSAYOS APLICADOS

En el presente trabajo de titulación además de proponer diferentes modelos de elementos delgados de hormigón armado con micro nervaduras equivalentes a una chapa de compresión de una losa nervada, también se los va a evaluar con el fin de comprobar su eficiencia estructural, tomando como referencia y punto de comparación un modelo tradicional de loseta de compresión totalmente maciza la cual será sometida a todos los ensayos, para obtener los diferentes resultados y compararlos.

Dentro de los objetivos específicos que queremos alcanzar se ha propuesto ensayar mediante pruebas no destructivas y destructivas las distintas propuestas de elementos delgados de hormigón armado, para posteriormente, según la metodología propuesta, poder interpretar y comparar los resultados obtenidos de los distintos ensayos.

Por lo tanto, este segundo capítulo abordara de manera puntual cada uno de los ensayos a realizarse y si es que es el caso se explicará la norma que rige el ensayo. Se debe tomar en cuenta que los dos ensayos no destructivos que serán realizados no están normados, puesto que para los resultados que buscamos no hemos encontrado la normativa necesaria.

En este capítulo se ha considerado tres tipos de ensayos; los que tienen el propósito de garantizar que los materiales a utilizarse en los elementos estructurales se encuentren en óptimas condiciones, los que son aplicados propiamente a los elementos estructurales, los cuales además pueden ser destructivos o no destructivos.

2.1 Ensayos del hormigón

2.1.1 Ensayo a la compresión

EL ensayo normado por la American Society of Testing Materials, se denomina: “Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes de concreto cilíndricos” ASTM C39.

En este ensayo se requiere aplicar una carga continua, no intermitente, sin choques o golpes. Se le aplica una carga axial de compresión a la probeta de hormigón ensayada, con una velocidad normada, hasta que el indicador de la carga muestra un descenso y la probeta exhiba un patrón de fractura bien definido, como se muestra en la Figura 2-1 Patrones de rotura típica Tipo 4.

Al ensayar la probeta con las almohadillas de neopreno, las fracturas de esquina, pueden ocurrir antes de que se haya alcanzado la capacidad última, como se muestra en la Figura 2-1 Patrones de rotura típica, tipo 5. Se debe continuar comprimiendo la muestra hasta que la capacidad ultima sea obtenida. (American Society of Testing Materials (ASTM C39 / C39M-05), 2008)

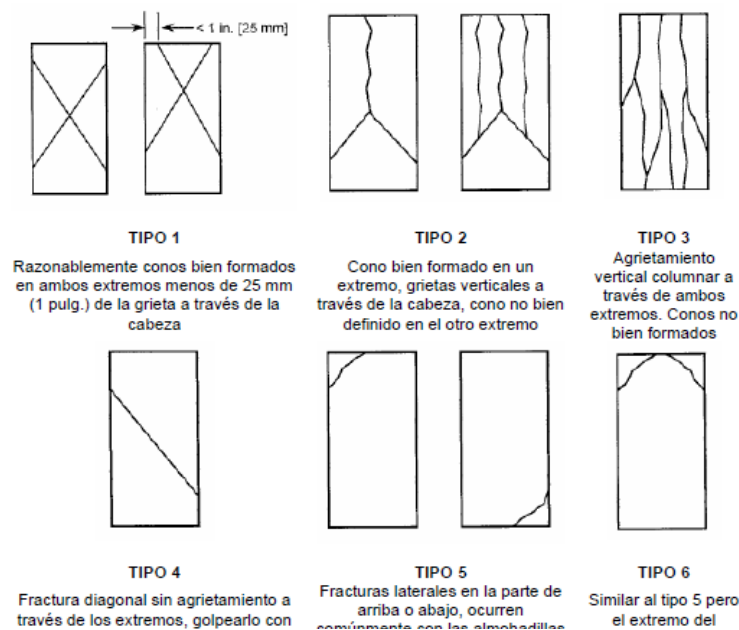


Figura 2-1 Patrones de rotura típica

Fuente: Organización de normas internacionales “American Society of Testing Materials”.

Procedimiento

- Las probetas deben ser curadas en húmedo, deben realizarse lo antes posible después de haber sacado de la cámara húmeda,
- Deberán ser ensayados en condiciones húmedas.
- Se deberá colocar neoprenos en la parte superior e inferior de la probeta para facilitar que la carga aplicada sea uniforme.

Todas las probetas en una edad estipulada, deben ser falladas dentro de una tolerancia permisible de tiempo.

Tabla 2-1 Tolerancia permisible según la edad del ensayo

Edad del ensayo	Tolerancia permisible
24 h	$\pm 0,5$ h o 2,1 %
3 días	± 2 h o 2,8 %
7 días	± 6 h o 3,6 %
28 días	± 20 h o 3,0 %
90 días	± 2 días o 2,2 %

Fuente: Organización de normas internacionales “American Society of Testing Materials”.

Se deberá calcular la resistencia a la compresión de la probeta, dividiendo la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo, entre el área promedio de contacto.

Si la longitud al diámetro de la probeta es de 1.75 o menor, se debe hacer una corrección del resultado multiplicando por un factor de corrección, como se muestra en la Tabla 2-2 Tolerancias permisibles en el ensayo a compresión.

Tabla 2-2 Tolerancias permisibles en el ensayo a compresión

L/D	1,75	1,5	1,25	1,00
Factor	0,98	0,98	0,93	0,87

Fuente: Organización de normas internacionales “American Society of Testing Materials”.

Para determinar los factores de corrección se puede utilizar la interpolación para obtener datos precisos.

2.2 Ensayos destructivos en los elementos de hormigón armado

2.2.1 Ensayo de resistencia a la flexión

Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón, usando una viga simple con carga en los tercios. (American Society of Testing Materials (ASTM C 78 /C78M-18), 2018).

Este ensayo determina la resistencia a la flexión del hormigón, usando una viga simple con carga en los tercios, para la cual no se permiten maquinas operadas manualmente que posean bombas las cuales no produzcan una carga continua en un solo recorrido.

La velocidad debe ser uniforme sin golpes o interrupciones, los aparatos de acero deben asegurar que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara de la probeta y exentas de excentricidad. (Figura 2-2 Ensayo a flexión)

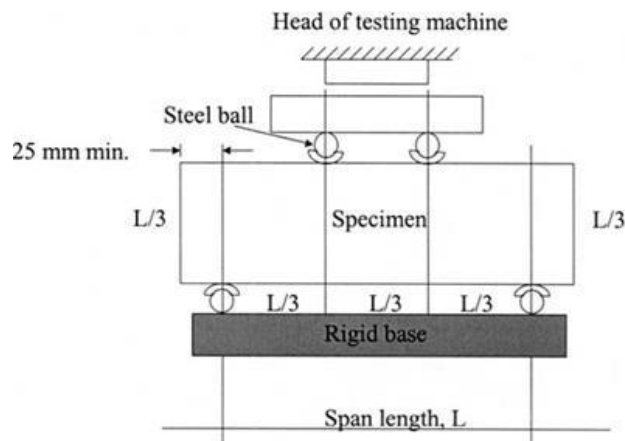


Figura 2-2 Ensayo a flexión

Fuente: Organización de normas internacionales “American Society of Testing Materials”.

Los ensayos a flexión deben realizarse inmediatamente después de que la muestra se retire del curado húmedo, ya que el secado de la superficie de la probeta reduce la resistencia a la flexión.

Procedimiento

- Tomar las medidas de la probeta a ensayarse.
- Señalar la superficie de la viga en los tercios, en el cual van a ir apoyados las placas de carga.
- Verificar que el desplazamiento del cilindro hidráulico sea de velocidad constante y sin interrupciones.
- Registrar la carga marcada.
- Si la fractura de la viga inicia en la superficie de tracción dentro del tercio medio del largo de la luz, se calcula el módulo de ruptura con la siguiente formula:

$$R = \frac{PL}{bd^2}$$

Ecuación 2-1 Modulo de ruptura en psi o MPa.

Fuente: (American Society of Testing Materials (ASTM C 78 /C78M-18)

Donde:

R=Modulo de ruptura en psi o MPa.

P= Carga, máxima aplicada indicada por la máquina de ensayos en lbf o N.

L= Largo de la luz en pulg o mm.

b= Ancho promedio de la probeta (pulg o mm) en la fractura.

d= Altura promedio de la probeta (pulg o mm) en la fractura.

Si la fractura de la viga inicia en la superficie de tracción, fuera del tercio medio del largo de la luz, en no más del 5%, se calcula el módulo de ruptura con la siguiente formula:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

Ecuación 2-2 Modulo de ruptura en psi o MPa, si la fractura de la viga inicia en la superficie de tracción

Fuente: (American Society of Testing Materials (ASTM C 78 /C78M-18)

Donde:

a= distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de tracción de la viga, pulg o mm.

P= Carga, máxima aplicada indicada por la máquina de ensayos lbf o N.

b= Ancho promedio de la probeta, pulg o mm, en la fractura, y.

d= Altura promedio de la probeta, pulg o mm en la fractura.

Si la fractura de la viga inicia en la superficie de tracción, fuera del tercio medio del largo de la luz, más del 5%, se desecha la muestra.

2.3 Ensayos no destructivos en los elementos

2.3.1 Prueba de diferencias térmica

En este ensayo se pretende medir el contraste de temperaturas en las diferentes propuestas de losas con micro nervaduras, se simulará una losa de cubierta, además, se verificará la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior de la losa.

El ensayo se propone de la siguiente manera: se pretende simular un cajón construyendo su contorno con bloques y tapándolo con la losa dejando que la misma divida dos ambientes, un ambiente externo y otro ambiente interno. En ambos ambientes se colocarán distintos termómetros y se dejará en la intemperie un tiempo prudente, después se procederá a medir el cambio de temperatura.

Procedimiento

- Construir el contorno del cajón con bloque y mortero tratado de que quede lo más aislado posible el interior del cajón.
- Instalar en la parte interior el termómetro número 1.
- Asentar la losa a ensayarse sobre el contorno de bloques.
- Instalar en la parte exterior el termómetro número 2.
- Esperar un tiempo prudente.
- Recopilación de datos.

Es de suma importancia que todas las muestras a ensayarse se realicen al mismo tiempo para comparar los resultados de temperatura bajo las mismas condiciones iniciales, con este ensayo se podrá comparar claramente la diferencia de temperatura que se tiene con la loseta de un sistema tradicional y la loseta del sistema propuesto.

2.3.2 Prueba de diferencias acústica

En este ensayo se pretende medir el contraste de sonido en las diferentes propuestas de losas con micro nervaduras, se simulará una losa de cubierta, además, se verificará la diferencia de sonido entre el exterior y el interior de la losa.

Este ensayo consiste en construir el contorno de un cajón de la misma forma en la que se realiza en el ensayo de temperatura para simular dos recintos separados por la losa a ensayarse. La diferencia con el ensayo de temperatura es que el recinto exterior (recinto que quede a la intemperie) es un recinto emisor y el recinto interno es un receptor.

Con recinto emisor nos referimos a que en este lado de la losa se programara varios sonidos para ser reproducidos en un parlante, y mediante dos sonómetros se procede a la recopilación de datos sonoros en ambos lados de la losa, de esta forma se obtiene la diferencia de sonido entre ambos recintos.



Figura 2-3 Sonómetro usado en pruebas acústicas

Fuente: Autores

Procedimiento

- Construir el contorno del cajón con bloque y mortero, tratado de que quede lo más aislado posible el interior del cajón.
- Instalar en el recinto receptor el sonómetro número 1.
- Asentar la losa a ensayarse sobre el contorno de bloques.
- Instalar en el recinto emisor el sonómetro número 2.
- Instalar los parlantes en la parte del recinto emisor.
- Reproducir los sonidos previamente programados.
- Recopilación de datos a través de la información captada por cada sonómetro.

Con la información captada por los sonómetros se puede calcular fácilmente la diferencia de sonido que hay a través de los dos recintos, y basándonos en estos resultados se realizara la comparación del sistema tradicional con los sistemas propuestos.

3 CAPÍTULO III: MODELADO Y CONSTRUCCIÓN

3.1 Propuestas de los elementos de hormigón armado

En el presente proyecto se plantean, dos propuestas de losas con micro nervaduras y además una losa maciza, la cual nos servirá como punto de comparación, puesto que la misma es ocupada tradicionalmente en el medio.

3.1.1 Loseta convencional (maciza)

La losa maciza se tomará como punto de comparación, para las propuestas anteriores de losas. Este modelo tiene un espesor de 5 cm como tradicionalmente es usado en nuestro medio, debido a la normativa a la que se rige nuestro país, el (American Concrete Institute, 2014). El modelo ha sido reforzado tanto longitudinalmente como transversalmente. El modelo se muestra en la Figura 3-1 Loseta maciza.

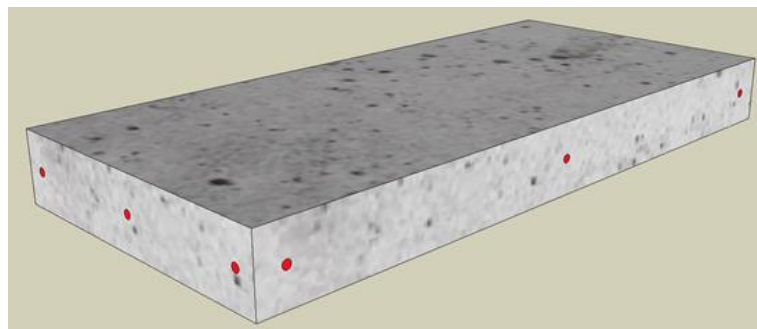


Figura 3-1 Loseta maciza
Fuente: Autores

3.1.2 Loseta con micro nervaduras en una sola dirección.

Esta losa tiene nervaduras en una sola dirección en el lado más largo, puesto que, las cargas se transmitirían en dicha dirección. La separación medida de centro a centro entre los nervios es de 10 cm. Se ha reforzado de la misma forma unidireccionalmente, como se muestra en la Figura 3-2 Loseta con micro nervaduras en una dirección.

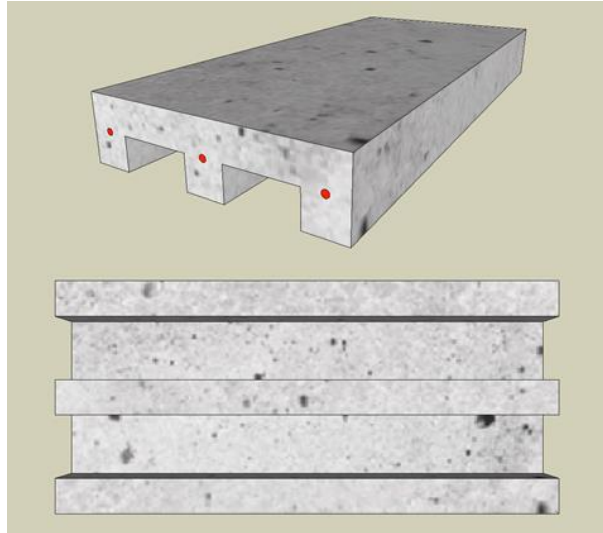


Figura 3-2 Loseta con micro nervaduras en una dirección
Fuente: Autores

3.1.3 Loseta con micro nervaduras en dos direcciones

En el modelo bidireccional, las fuerzas se sustentan en dos direcciones, por lo cual se ha visto necesario reforzar en ambas direcciones, se utilizó una separación en el lado más corto de 10 cm entre nervios y en el lado más largo de 22 cm.

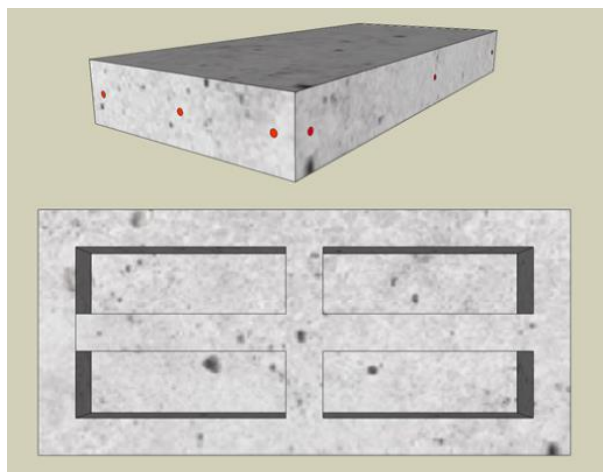


Figura 3-3 Loseta con micro nervaduras en dos direcciones
Fuente: Autores

3.2 Modelo en software comercial

Con la finalidad de obtener datos comparativos para la propuesta de losas micro nervadas se realizarán los tres modelos mediante el software de análisis y diseño estructural.

El proceso de modelación se desarrolló de la siguiente forma como se recomienda en la referencia de análisis del software (Computers & Structures Inc, 2004):

- Creación del modelo que defina la geometría del elemento, las propiedades de los materiales ocupados y las características de las cargas a aplicarse.
- Realizar el análisis del modelo.
- Revisar los resultados del modelo.

3.2.1 Creación del modelo: definición de la geometría

- Modelo de loseta maciza de espesor 5cm:

Tabla 3-1 Dimensiones del elemento losa del modelo de loseta maciza

Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)
23	50	5

Fuente: Autores

- Modelo de loseta micro nervada unidireccional:

El segundo modelo se construye uniendo un elemento de losa y tres elementos viga longitudinalmente para formar el reticulado unidireccional.

Dimensiones del elemento losa:

Tabla 3-2 Dimensiones del elemento losa Micro nervada unidireccional

Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)
23	50	3

Fuente: Autores

Dimensiones del elemento viga:

Tabla 3-3 Dimensiones del elemento viga de la losa unidireccional

Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)
3.5	50	3

Fuente: Autores

- Modelo de loseta micro nervada bidireccional:

El tercer modelo se construye con un elemento de losa, tres elementos viga longitudinalmente y tres elementos viga transversalmente para formar el reticulado bidireccional.

Dimensiones del elemento losa:

Tabla 3-4 Dimensiones del elemento losa de la losa bidireccional

Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)
23	50	3

Fuente: Autores

Dimensiones del elemento viga longitudinal:

Tabla 3-5 Dimensiones del elemento viga longitudinal de la losa bidireccional

Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)
3.5	50	3

Fuente: Autores

Dimensiones del elemento viga transversal:

Tabla 3-6 Dimensiones del elemento viga trasversal de la losa unidireccional

Ancho (cm)	Largo (cm)	Espesor (cm)
3.5	23	3

Fuente: Autores

3.2.2 Propiedades: secciones asignadas a los elementos.

- Modelo de loseta maciza de espesor 5cm:

Para la sección de la loseta tradicional se usó un objeto de área designándole como un elemento Shell. Este elemento según el análisis referencial del software es capaz de soportar fuerzas y momentos y consta de seis grados de libertad, tres de traslación y tres de rotación.

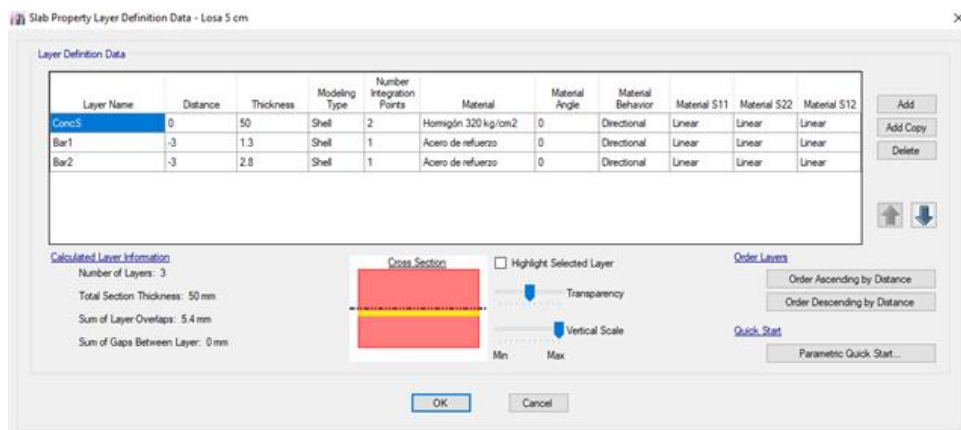


Figura 3-4 Asignación de propiedades al modelo de loseta maciza
 Fuente: Software comercial

Nuestro elemento ha sido definido como un elemento Shell – Layered, el cual se divide en varias capas, en las mismas se puede escoger para cada una de las capas un material, espesor, ubicación y comportamiento diferente. Se ha modelado de esta forma para tener la facilidad de incluir el refuerzo en el modelo. En la Figura 3-5 Corte trasversal de la sección del modelo de losa maciza, se aprecia el refuerzo de color amarillo.

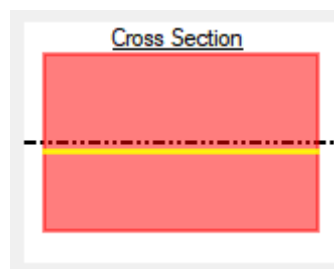


Figura 3-5 Corte trasversal de la sección del modelo de losa maciza
 Fuente: Software comercial

El layered trabaja con la formulación de placa gruesa “Thick plate”, por este motivo se ha analizado a continuación como funciona realmente nuestro elemento, debido a que este podría comportarse, por el contrario, como un elemento de placa delgada “Thin plate”.

- Thick plate: Esta fórmula aplicada a placas gruesas de Mindlin – Reissner, considera las deformaciones debido al cortante transversal.
- Thin plate: Formula aplicada a placas delgadas, formula de Kirchhoff, s diferencia de la anterior, esta no toma en cuenta la deformación por cortante transversal.

El análisis de referencia del programa recomienda el uso de la fórmula de placa gruesa “Thick plate”, a menos que se use un mallado bastante fino y que además se conozca que las deformaciones por cortante son insignificantes.

Además, se considera lo siguiente:

$$\frac{\text{espesor}}{\text{lado ás corto}} < \frac{1}{10} \quad \rightarrow \quad \text{Placa delgada}$$

$$\frac{\text{espesor}}{\text{lado ás corto}} \geq \frac{1}{10} \quad \rightarrow \quad \text{Placa gruesa}$$

Para nuestro caso:

$$\frac{5}{23} > \frac{1}{10} \quad \rightarrow \quad \text{Placa gruesa}$$

Tomando en cuenta las dos consideraciones mencionadas anteriormente, hemos considerado la formulación de placa gruesa.

– Modelo de loseta micro nervada unidireccional

Para la sección de la loseta micro nervada unidireccional se usó un objeto de área designándole como un elemento Membrana “Membrane”, para la zona constante y para la parte del mallado se asignaron elementos lineales viga “frame” simulando el comportamiento de una viga.

El elemento membrana designado, no admite momento en el plano, únicamente momento normal, además de las fuerzas en el plano, es decir no presenta momentos en el elemento. Nos permite asignar un material lineal y homogéneo. (Computers & Structures Inc, 2004)

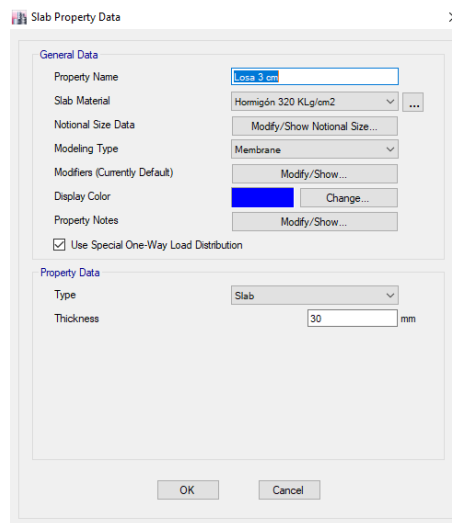


Figura 3-6 Asignación de propiedades para el elemento membrana al modelo de losa unidireccional
Fuente: Software comercial

Para todas las vigas que forman las micro nervaduras se asignaron elementos lineales frame, el cual es usado para modelar vigas, columnas, tirantes y cerchas. El elemento frame consta de los seis grados de libertad en cada una de sus articulaciones.

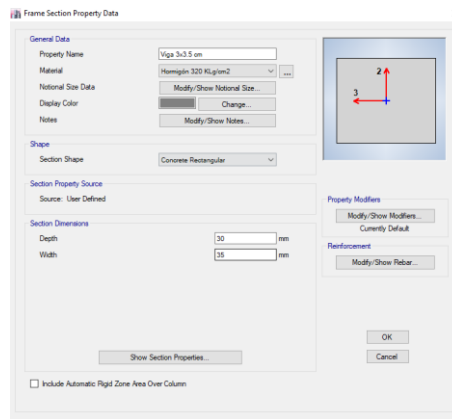


Figura 3-7 Asignación de propiedades para el elemento frame del modelo de losa unidireccional
Fuente: Software comercial

- Modelo de loseta micro nervada bidireccional:

Para la sección de la loseta micro nervada bidireccional se usó un objeto de área designándole como un elemento membrana “Membrane” para la zona constante y en la parte del mallado se asignaron elementos lineales frame simulando el comportamiento de vigas pequeñas. Para el elemento membrana explicado anteriormente.

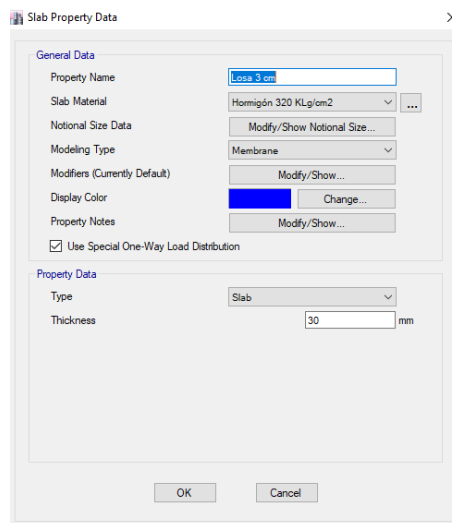


Figura 3-8 Asignación de propiedades para el elemento membrana al modelo de losa bidireccional
Fuente: Software comercial

Para todas las vigas que forman las micro nervaduras bidireccionales se asignaron elementos lineales frame, el cual es usado para modelar vigas, columnas, tirantes y cerchas. El elemento frame consta de los seis grados de libertad en cada una de sus articulaciones.

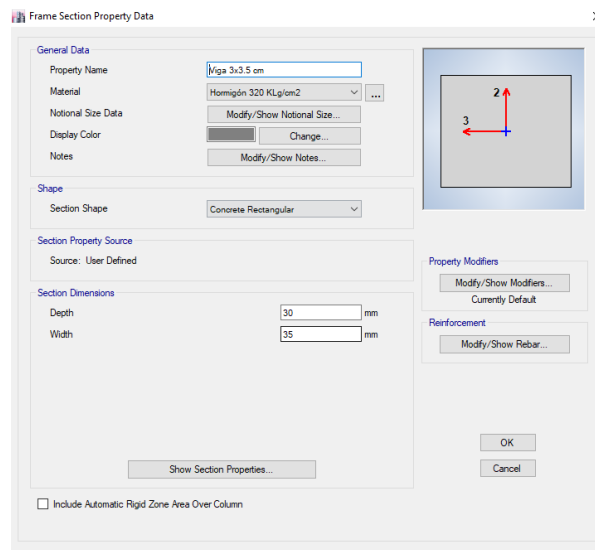


Figura 3-9 Asignación de propiedades para el elemento frame del modelo de losa bidireccional
Fuente: Software comercial

3.2.3 Materiales

Para los tres modelos se ha ocupado un hormigón con una resistencia a la compresión esperada a los 28 días $f'_c=320 \text{ kg/cm}^2$ y una densidad de 2400 kg/m^3 . A partir de estos datos se calculan los demás parámetros necesarios para dar las características al modelo.

Para el módulo de elasticidad se ha tomado la fórmula de la Norma Ecuatoriana de la construcción NEC – HM – Hormigón Armado capítulo 3 “Materiales”, apartado 3.3.3 “Calculo del módulo de elasticidad del hormigón (EC)”, pagina 33, en la cual se expone la siguiente formula ((MIDUVI) & (CAMICOM), 2014):

$$Ec = 1.15 * \sqrt[3]{Ea} * \sqrt{f'c}$$

Dónde:

E_c Módulo de elasticidad para el hormigón (GPa)

E_a Módulo de elasticidad del agregado (GPa)

f'_c Resistencia a la compresión del hormigón (MPa)

Figura 3-10 Ecuación para encontrar el módulo de elasticidad para el Hormigón

Fuente: Norma Ecuatoriana de la construcción NEC – HM – Hormigón Armado capítulo 3 “Materiales”

En cuanto al módulo de elasticidad del agregado se ha recurrido al mismo apartado de la NEC – HM – Hormigón Armado en la tabla 11 considerando un agregado tipo Ígneo (Andesitas, basaltos, Granodioritas), proveniente del río Jubones – El Oro.

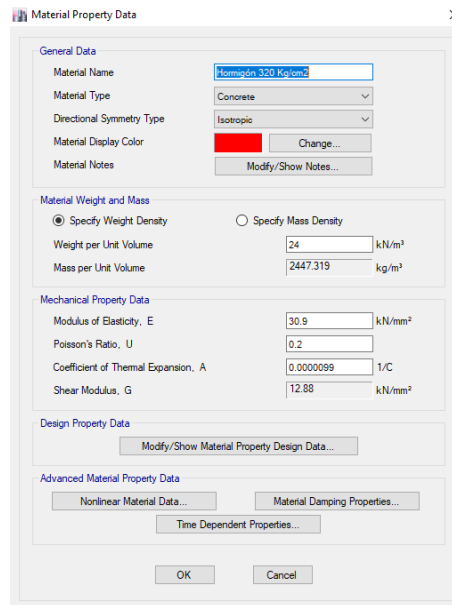
Tipo	Procedencia	E_a (GPa)
Tonalita	Pascuales – Guayas	74.9
Basalto (Formación. Piñón)	Picoazá – Manabí	52.5
Basalto	Pifo – Pichincha	27.2
Ígnea (Andesitas, basaltos, Granodioritas)	Río Jubones – El Oro	110.5
Volcánica	La Península – Tungurahua	17.5

Figura 3-11 Modulo de elasticidad del agregado según su procedencia

Fuente: Norma Ecuatoriana de la construcción NEC – HM – Hormigón Armado capítulo 3 “Materiales”

Aplicando la fórmula en las unidades correspondientes se obtiene lo siguiente:

$$Ec = 1.15 * \sqrt[3]{110.5} * \sqrt{31.36} = 30.90 \text{ GPa}$$



Material Property Data

General Data

Material Name:
 Material Type: Concrete
 Directional Symmetry Type: Isotropic
 Material Display Color: Change...
 Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: kN/m³
 Mass per Unit Volume: kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: kN/mm²
 Poisson's Ratio, U:
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 1/C
 Shear Modulus, G: kN/mm²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

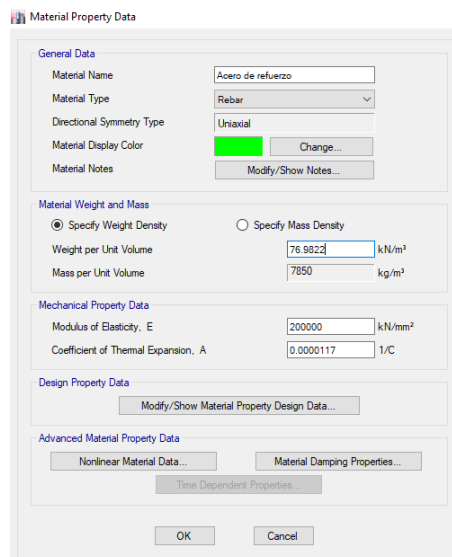
Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...
 Time Dependent Properties...

OK Cancel

Figura 3-12 Asignación de propiedades del hormigón para el modelo

Fuente: Software comercial



Material Property Data

General Data

Material Name:
 Material Type: Rebar
 Directional Symmetry Type: Uniaxial
 Material Display Color: Change...
 Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: kN/m³
 Mass per Unit Volume: kg/m³

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: kN/mm²
 Coefficient of Thermal Expansion, A: 1/C

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties...
 Time Dependent Properties...

OK Cancel

Figura 3-13 Asignación de propiedades del acero de refuerzo para el modelo

Fuente: Software comercial

3.2.4 Tipo de apoyos asignados

Para los tres modelos de losa se asignaron los mismos tipos de apoyo.

- Modelo de losa maciza de espesor 5cm:

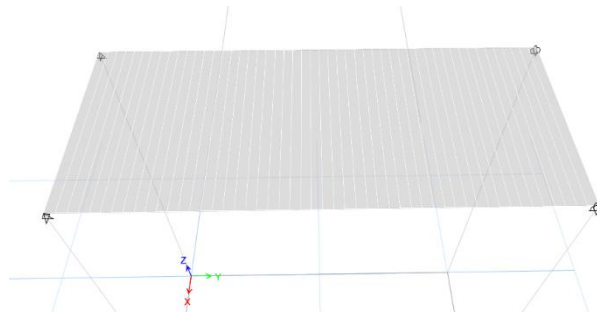


Figura 3-14 Apoyos utilizados para el modelo de losa maciza
Fuente: Software comercial

- Modelo de losa unidireccional:

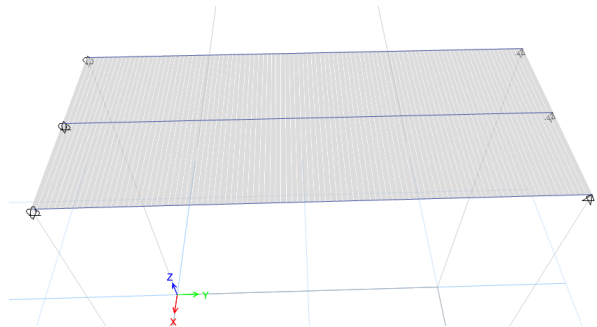


Figura 3-15 Apoyos utilizados para el modelo de losa unidireccional
Fuente: Software comercial

- Modelo de loseta micro nervada bidireccional:

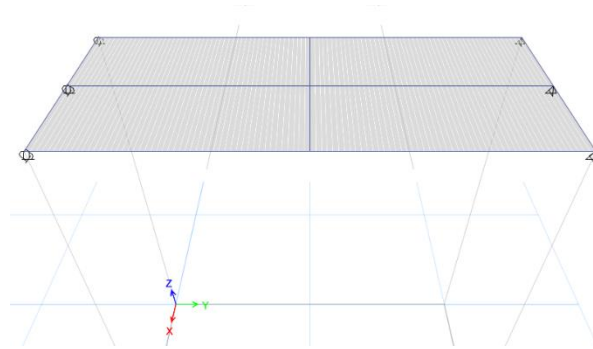


Figura 3-16 Apoyos utilizados para el modelo de losa bidireccional
Fuente: Software comercial

3.2.5 Cargas asignadas a los modelos

Después de haber realizado el modelado con las dimensiones ya mencionadas se crean dos tipos de cargas para ser aplicadas en los elementos, la carga muerta considerando el peso propio de los elementos y la carga viva basándonos en las especificaciones de la NEC – SE –CG – Cargas no Sísmicas ((MIDUVI) & (CAMICOM), 2014). Para la carga viva se ha tomado un uso para residencias al cual en la tabla 9 de la NEC – SE –CG – Cargas no Sísmicas, apéndice 4.2. Carga viva: sobrecargas mínimas, pagina 29, considera un valor de carga uniforme de 2 KN/m².

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Hospitales		
Sala de quirófanos, laboratorios	2.00	4.50
Sala de pacientes	2.00	4.50
Corredores en pisos superiores a la planta baja	4.00	4.50
Instituciones penales		
Celdas	2.00	
Corredores	4.80	
Pasamanos, guardavías y agarraderas de seguridad	Véase sección 4.5 ASCE/SEI 7-10	
Pasarelas y plataformas elevadas (excepto rutas de escape)	3.00	
Patios y terrazas peatonales	4.80	
Pisos para cuarto de máquinas de elevadores (áreas de 2600 mm²)		1.40
Residencias		
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2.00	
Hoteles y residencias multifamiliares	2.00	
Habitaciones	2.00	
Salones de uso público y sus corredores	4.80	

Figura 3-17 Carga uniforme según ocupación o uso
Fuente: tabla 9 de la NEC – SE –CG – Cargas no Sísmicas, apéndice 4.2

– Combos de cargas

Se han creado tres tipos de combos de cargas; dos basándonos en la NEC – SE –CG – Cargas no Sísmicas y uno más que por defecto nos da el programa de simulación, en el que se toman los máximos de cada uno de los combos aplicados “Envelope”.

– Combinaciones de cargas según la NEC

Se han tomado dos combinaciones de cargas especificadas en el apartado 3.4.3. Combinación para el diseño por última resistencia, pagina 19 ((MIDUVI) & (CAMICOM), 2014):

Combinación 1
1.4 D
Combinación 2
1.2 D + 1.6 L + 0.5 max[L _r ; S ; R]
Combinación 3*
1.2 D + 1.6 max[L _r ; S ; R] + max[L ; 0.5W]
Combinación 4*
1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L _r ; S ; R]

Figura 3-18 Combos de carga permitidos
Fuente: NEC – SE –CG – Cargas no Sísmicas

En donde:

D	Carga permanente
E	Carga de sismo
L	Sobrecarga (carga viva)
L _r	Sobrecarga cubierta (carga viva)
S	Carga de granizo
W	Carga de viento

Figura 3-19 Combos de carga permitidos
Fuente: NEC – SE –CG – Cargas no Sísmicas

3.3 Análisis del modelo

3.3.1 Modelo de losa maciza de espesor 5 cm.

Para el análisis de la losa maciza de 5 cm se va a utilizar el combo “Envolvente”.

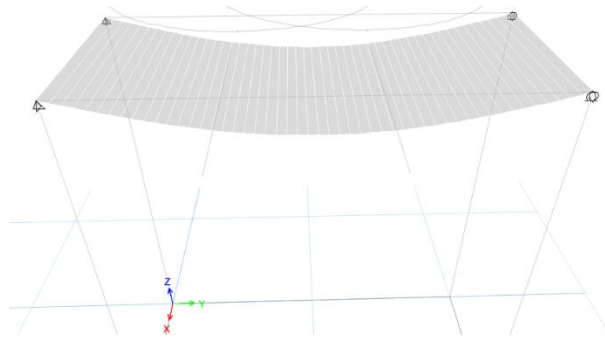


Figura 3-20 Deformación de la losa maciza, desplazamiento en el eje z
Fuente: Software comercial

Tabla 3-7 Desplazamientos máximos en el eje z de la losa maciza

Solicitud	Desplazamiento Z
	mm
Dead	-0.018
Live	-0.012
Combo 1	-0.009
Combo 2	-0.017
Envolvente	-0.018

Fuente: Software comercial

En la Tabla 3-7 Desplazamientos máximos en el eje z de la losa maciza, se especifican los desplazamientos máximos, debido a cada una de las solicitudes presentadas en el modelo. En la solicitud envolvente tenemos -0.018 mm de desplazamiento en dirección del eje z.

- Momento en el modelo de losa maciza de espesor de 5 cm.

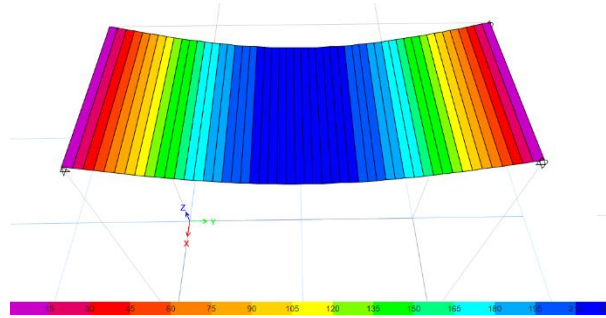


Figura 3-21 Diagrama de momentos bajo el efecto del combo “Envolvente” para el modelo de losa maciza

Fuente: Software comercial

En la Figura 3-21 Diagrama de momentos bajo el efecto del combo “Envolvente” para el modelo de losa maciza, se muestran los momentos actuando en la losa, los cuales son repartidos a lo largo de ella.

Tabla 3-8 Tabla de momentos máximos en la losa maciza

Solicitación	M Max KN m/m
Dead	0.047
Live	0.062
Combo 1	0.066
Combo 2	0.157
Envolvente	0.223

Fuente: Software comercial

En la Tabla 3-8 Tabla de momentos máximos en la losa maciza, se muestran los resultados de los momentos máximos en la losa, debido a las solicitaciones presentadas en el modelo. En la solicitación envolvente tenemos un momento de 0.223 KN m/m.

- Fuerza cortante en el modelo de losa maciza:

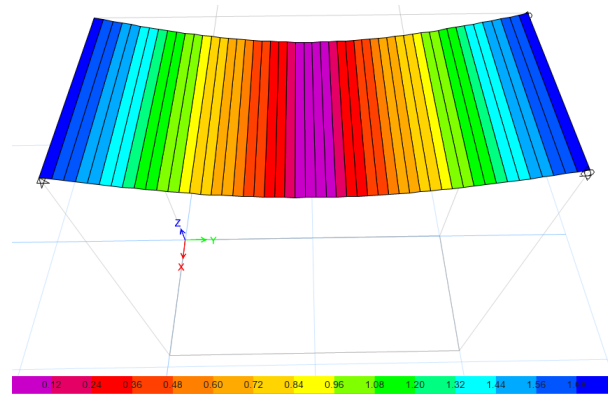


Figura 3-22 Diagrama de cortante de la losa para la losa maciza
Fuente: Software comercial

Tabla 3-9 Tabla de Cortante Máximo en la losa maciza

Solicitación	V max KN m
Dead	0.372
Live	0.49
Combo 1	0.52
Combo 2	1.23
Envolvente	1.75

Fuente: Software comercial

En la Tabla 3-9 Tabla de Cortante Máximo en la losa maciza, se muestran los resultados del cortante maximo, debido a las solicitaciones presentadas en el modelo. En la salicitacion envolvente tenemos una fuerza cortante de 1.75 KN m

3.3.2 Modelo de losa unidireccional

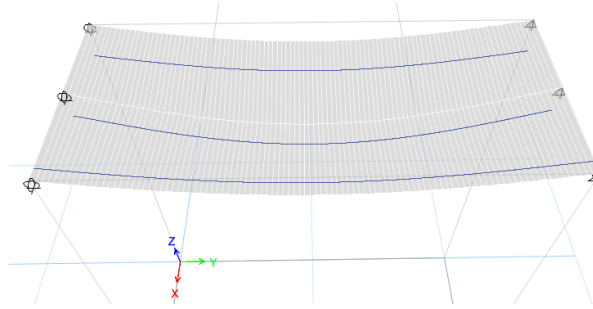


Figura 3-23 Deformación de las vigas y losa del modelo unidireccional, desplazamiento en el eje z
Fuente: Software comercial

Tabla 3-10 Desplazamientos Máximos en la losa unidireccional

Solicitaciones	Desplazamiento Z mm
Dead	0.061
Live	0.039
Combo 1	0.086
Combo 2	0.136
Envolvente	0.136

Fuente: Software comercial

En la Tabla 3-10 Desplazamientos Máximos en la losa unidireccional, se muestran los resultados de los desplazamientos máximos en la losa unidireccional, debido a las solicitaciones presentadas en el modelo. En la solicitación envolvente tenemos un desplazamiento de 0.136 mm.

- Momentos en las vigas de la losa unidireccional:

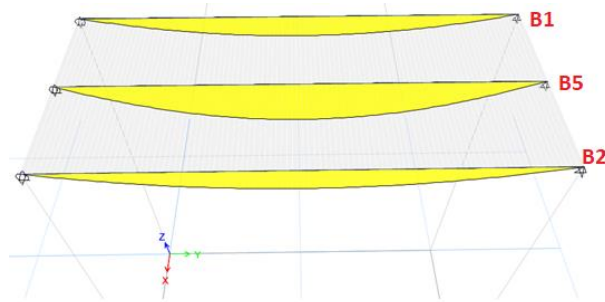


Figura 3-24 Diagrama de momentos de las vigas de la losa unidireccional
Fuente: Software comercial

En la Figura 3-24 Diagrama de momentos de las vigas de la losa unidireccional, se expone la distribución de momentos en las vigas.

- Viga B1

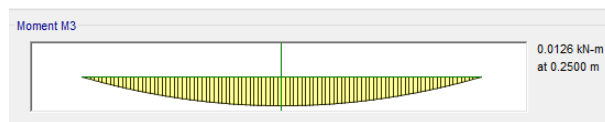


Figura 3-25 Momento en la viga B1 en la losa unidireccional
Fuente: Software comercial

Tabla 3-11 Momentos máximos en la viga B1 en la losa unidireccional

Viga B1	
Solicitaciones	M KN-m
Dead	0.0057
Live	0.0036
Combo 1	0.0079
Combo 2	0.0126
Envolvente Max	0.0126
Envolvente Min	0.0079

Fuente: Software comercial

– Viga B5

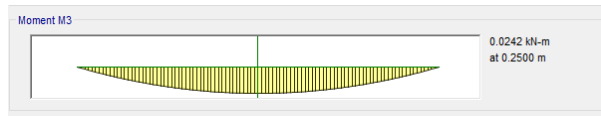


Figura 3-26 Momentos en la viga B5 de la losa unidireccional

Fuente: Software comercial

Tabla 3-12 Momentos en la viga B5 en la losa unidireccional

Viga B5	
Solicitaciones	M KN-m
Dead	0.0106
Live	0.0072
Combo 1	0.0148
Combo 2	0.0242
Envolvente Max	0.0242
Envolvente Min	0.0148

Fuente: Software comercial

Viga B2

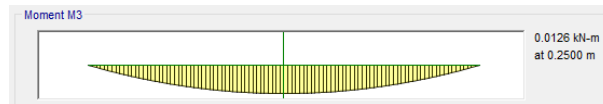


Figura 3-27 Momento en la viga B2 en la losa unidireccional

Fuente: Software comercial

Tabla 3-13 Momentos máximos en la viga B2

Viga B2	
Solicitaciones	M KN-m
Dead	0.0057
Live	0.0036
Combo 1	0.0079
Combo 2	0.0126
Envolvente Max	0.0126
Envolvente Min	0.0079

Fuente: Software comercial

- Cortante en las vigas de la losa unidireccional

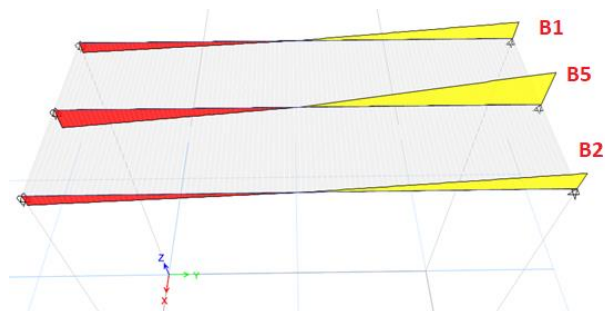


Figura 3-28 Diagrama de cortante para las vigas de la losa unidireccional
Fuente: Software comercial

Viga B1

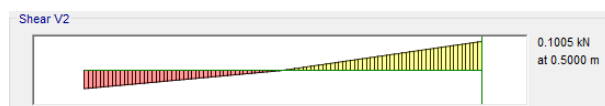


Figura 3-29 Cortante en la viga B1 en la losa unidireccional
Fuente: Software comercial

Tabla 3-14 Cortante máximo en la viga B1 en la losa unidireccional

Viga B1	
Solicitaciones	V KN
Dead	0.0454
Live	0.0287
Combo 1	0.0636
Combo 2	0.1005
Envolvente Max	0.1005
Envolvente Min	0.0636

Fuente: Software comercial

Viga B5

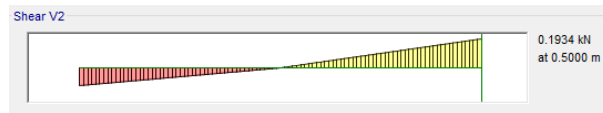


Figura 3-30 Cortante en la viga B5 en la losa unidireccional
Fuente: Software comercial

Tabla 3-15 Cortante máximo viga B5 en la losa unidireccional

Viga B5	
Solicitaciones	V KN
Dead	0.0845
Live	0.0575
Combo 1	0.1183
Combo 2	0.1934
Envolvente Max	0.1934
Envolvente Min	0.1183

Fuente: Software comercial

Viga B2

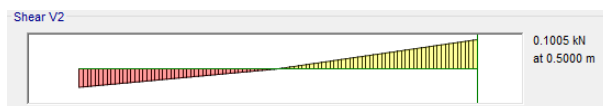


Figura 3-31 Cortante en la viga B2 en la losa unidireccional
Fuente: Software comercial

Tabla 3-16 Cortante máximo en la viga B2 en la losa unidireccional

Viga B2	
Solicitaciones	V KN
Dead	0.0454
Live	0.0287
Combo 1	0.0636
Combo 2	0.1005
Envolvente Max	0.0985
Envolvente Min	0.0636

Fuente: Software comercial

Analizando el modelo unidireccional, anteriormente planteado, deducimos los máximos valores que pueden comprometer el comportamiento del conjunto de elementos, puesto que está constituido por la losa y las vigas, por lo tanto, se deberá tener un mayor control de cada una de sus partes, para que los mismos no fracasen al momento de ser ensayados, obteniendo resultados confiables, en la Tabla 3-17 Valores máximos en la losa unidireccional, se muestran los resultados de los elementos.

Tabla 3-17 Valores máximos en la losa unidireccional

	Ubicación	Solicitación	Resultado
Desplazamiento máximo (mm)	-	Envolvente	0.322
Momento máximo (KN m/m)	Viga B2	Envolvente	0.0311
Cortante máximo (KN m)	Viga B5	Envolvente	0.299

Fuente: Software comercial

3.3.3 Modelo de loseta micro nervada bidireccional

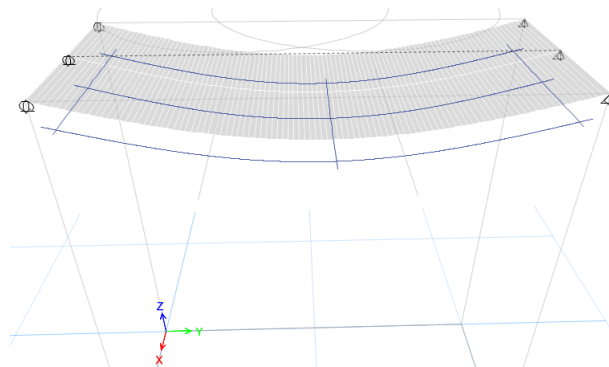


Figura 3-32 Deformación de las vigas y losa del modelo bidireccional

Fuente: Software comercial

Tabla 3-18 Deformaciones máximas en la losa bidireccional

Solicitaciones	Desplazamiento Z mm
Dead	0.131
Live	0.102
Combo 1	0.18400
Combo 2	0.322
Envolvente	0.322

Fuente: Software comercial

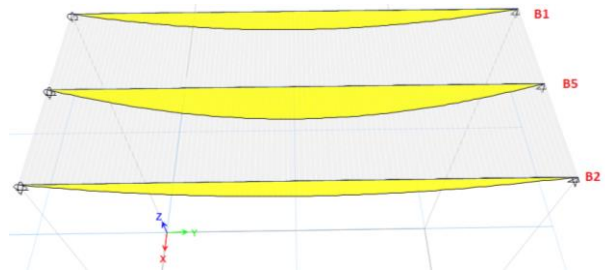


Figura 3-33 Diagrama de momentos para las vigas de la losa bidireccional
Fuente: Software comercial

– Momentos de las vigas en la losa bidireccional:

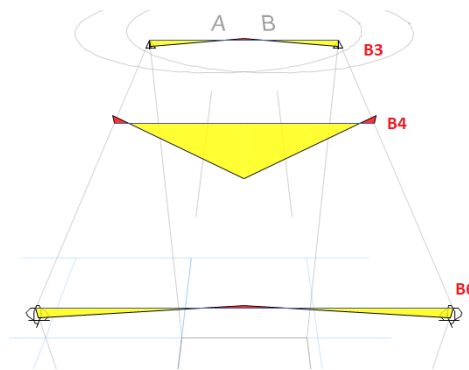


Figura 3-34 Diagrama de momentos para las vigas transversales de la losa bidireccional
Tomado de: Software comercial

Viga B1

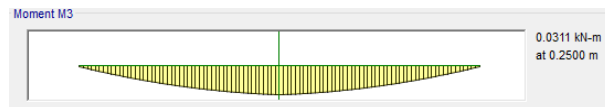


Figura 3-35 Momento en la viga B1 de la losa bidireccional
Fuente: Software comercial

Tabla 3-19 Momento máximo en la viga B1 de la losa bidireccional

Viga B1	
Solicitaciones	M KN-m
Dead	0.0127
Live	0.0099
Combo 1	0.0178
Combo 2	0.0311
Envolvente Max	0.0311
Envolvente Min	0.0178

Fuente: Software comercial

Viga B5

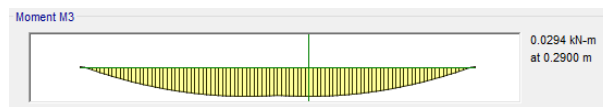


Figura 3-36 Momento en la viga B5 de la losa bidireccional

Fuente: Software comercial

Tabla 3-20 Momento máximo en la viga B5 de la losa bidireccional

Viga B5	
Solicitaciones	M KN-m
Dead	0.012
Live	0.0094
Combo 1	0.0168
Combo 2	0.0294
Envolvente Max	0.0294
Envolvente Min	0.0168

Fuente: Software comercial

Viga B2

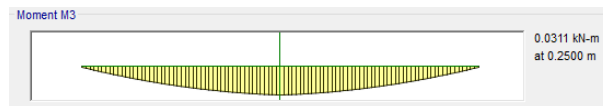


Figura 3-37 Momento en la viga B2 de la losa bidireccional

Fuente: Software comercial

Tabla 3-21 Momento en la viga B2 de la losa bidireccional

Viga B2	
Solicitaciones	M KN-m
Dead	0.0127
Live	0.0099
Combo 1	0.0178
Combo 2	0.0311
Envolvente Max	0.0311
Envolvente Min	0.0178

Fuente: Software comercial

Viga B3

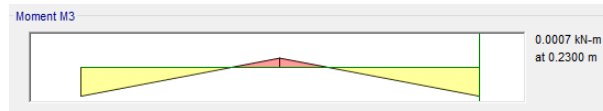


Figura 3-38 Momento en la viga B3 de la losa bidireccional
Fuente: Software comercial

Tabla 3-22 Momento en la viga B5 de la losa bidireccional

Viga B3	
Solicitaciones	M KN-m
Dead	0.0003
Live	0.0002
Combo 1	0.0004
Combo 2	0.0007
Envolvente Max	0.0007
Envolvente Min	0.0004

Fuente: Software comercial

Viga B4

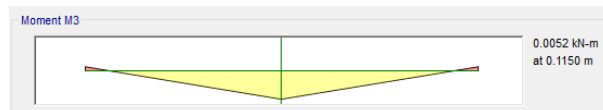


Figura 3-39 Momento en la viga B4 de la losa bidireccional
Fuente: Software comercial

Tabla 3-23 Momento en la viga B4 de la losa bidireccional

Viga B4	
Solicitaciones	M KN-m
Dead	0.0021
Live	0.0017
Combo 1	0.0029
Combo 2	0.0052
Envolvente Max	0.0052
Envolvente Min	0.0029

Fuente: Software comercial

Viga B 6

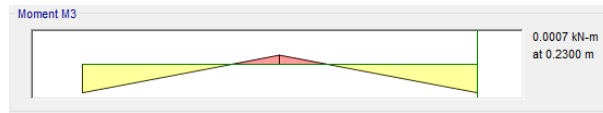


Figura 3-40 Momento en la viga B6 de la losa bidireccional

Fuente: Software comercial

Tabla 3-24 Momento en la viga B6 de la losa bidireccional

Viga B6	
Solicitaciones	M KN-m
Dead	0.0003
Live	0.0002
Combo 1	0.0004
Combo 2	0.0007
Envolvente Max	0.0007
Envolvente Min	0.0004

Fuente: Software comercial

– Cortante en las vigas de la losa bidireccional:

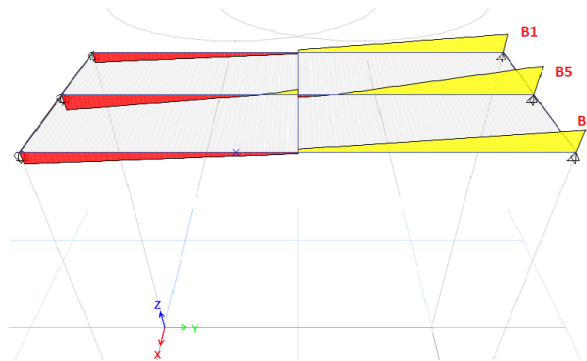


Figura 3-41 Diagrama de cortante para las vigas longitudinales bajo el efecto de la carga del combo 2 para el modelo de losa bidireccional

Fuente: Software comercial

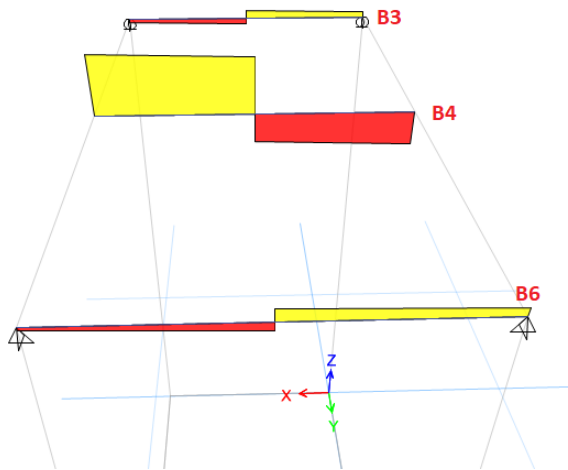


Figura 3-42 Diagrama de cortante para las vigas transversales bajo el efecto de la carga del combo 2 para el modelo de losa bidireccional
Fuente: Software comercial

Viga B1

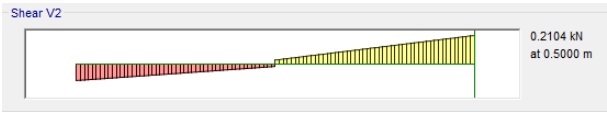


Figura 3-43 Cortante en la viga B1 de la losa bidireccional
Fuente: Software comercial

Tabla 3-25 Cortante en la viga B1 de la losa bidireccional

Viga B1	
Solicitaciones	V KN
Dead	0.0862
Live	0.0669
Combo 1	0.1206
Combo 2	0.2104
Envolvente Max	0.2104
Envolvente Min	0.2104

Fuente: Software comercial

Viga B5

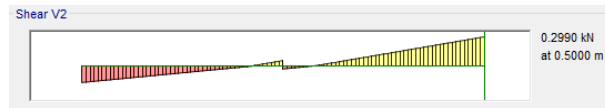


Figura 3-44 Cortante en la viga B5 de la losa bidireccional

Fuente: Software comercial

Tabla 3-26 Cortante en la viga B5 de la losa bidireccional

Viga B5	
Solicitaciones	V KN
Dead	0.1209
Live	0.0962
Combo 1	0.1693
Combo 2	0.299
Envolvente Max	0.299
Envolvente Min	0.299

Fuente: Software comercial

Viga B2

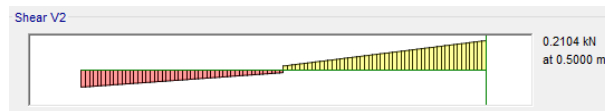


Figura 3-45 Cortante en la viga B2 de la losa bidireccional

Fuente: Software comercial

Tabla 3-27 Cortante en la viga B2 de la losa bidireccional

Viga B2	
Solicitaciones	V KN
Dead	0.0862
Live	0.0669
Combo 1	0.1206
Combo 2	0.2104
Envolvente Max	0.2068
Envolvente Min	0.2104

Fuente: Software comercial

Viga B3

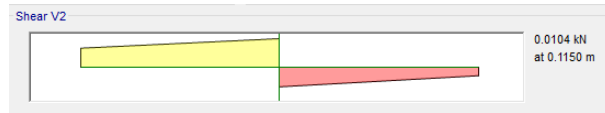


Figura 3-46 Cortante en la viga B3 de la losa bidireccional
Fuente: Software comercial

Tabla 3-28 Cortante en la viga B3 de la losa bidireccional

Viga B3	
Solicitaciones	V KN
Dead	0.0051
Live	0.0027
Combo 1	0.0071
Combo 2	0.0104
Envolvente Max	0.0104
Envolvente Min	0.0104

Fuente: Software comercial

Viga B4

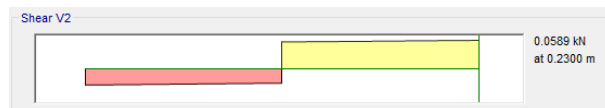


Figura 3-47 Cortante en la viga B4 de la losa bidireccional
Fuente: Software comercial

Tabla 3-29 Cortante en la viga B4 de la losa bidireccional

Viga B4	
Solicitaciones	V KN
Dead	0.024
Live	0.0188
Combo 1	0.0336
Combo 2	0.0589
Envolvente Max	0.0589
Envolvente Min	0.0589

Fuente: Software comercial

Viga B6

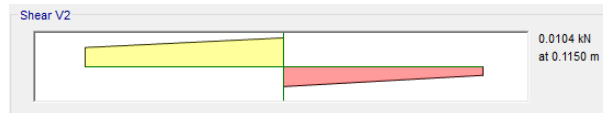


Figura 3-48 Cortante en la viga B6 de la losa bidireccional

Fuente: Software comercial

Tabla 3-30 Cortante en la viga B6 de la losa bidireccional

Viga B6	
Solicitaciones	V KN
Dead	0.0051
Live	0.0027
Combo 1	0.0071
Combo 2	0.0104
Envolvente Max	0.0104
Envolvente Min	0.0104

Fuente: Software comercial

Analizando el modelo unidireccional, anteriormente planteado, deducimos los máximos valores que pueden comprometer el comportamiento del conjunto de elementos, puesto que está constituido por la losa y las vigas, por lo tanto, se deberá tener un mayor control de cada una de sus partes, para que los mismos no fracasen al momento de ser ensayados, obteniendo resultados confiables, en la Tabla 3-31 Valores máximos en la losa bidireccional se muestran los resultados de los elementos.

Tabla 3-31 Valores máximos en la losa bidireccional

	Ubicación	Solicitud	Resultado
Desplazamiento máximo (mm)	-	Envolvente	0.136
Momento máximo (KN m/m)	Viga B5	Envolvente	0.0242
Cortante máximo (KN m)	Viga B5	Envolvente	0.1934

Fuente: Software comercial

3.4 Proceso constructivo

El proceso constructivo en elementos de hormigón, tiene una gran importancia, ya que, juega un papel importante en la resistencia final del elemento, asegurando una larga vida útil. Es necesario tener presente una serie de precauciones y cuidados para cumplir las exigencias a la cuales fueron diseñados los elementos de hormigón como:

- La resistencia mecánica.
- La resistencia a agentes químicos.
- Intemperie.

Comúnmente, la propiedad mecánica más fácil de cuantificar en el hormigón es la resistencia a la compresión, obtenida mediante ensayos de probetas o cilindros de prueba fabricados paralelamente con el elemento, este factor de compresión es una referencia de las propiedades mecánicas.

Otro aspecto importante es la relación agua cemento (a/c), el cual está vinculado directamente con la resistencia del material y la protección del elemento a agentes agresivos.

A continuación, llevaremos un proceso de construcción de los elementos de hormigón, y las consideraciones a llevarse a cabo para obtener un elemento de calidad esperada, los cuales son:

- Encofrado para los elementos de hormigón.
- Áridos.
- Acero de refuerzo.
- Colocación del hormigón.
- Vibrado.
- Curado del hormigón.
- Elaboración de probetas cilíndricas.

3.4.1 Encofrado

El encofrado para los elementos estructurales se va a realizar con planchas de tríplex, consiste en capas de maderas superpuestas en una sola dirección, formando un ángulo de 90°, unidas mediante un proceso de presión y temperatura. Mediante adhesivo se logra crear un ensamble de una sola pieza con resistencia igual. Figura 3-49 Madera Triplex. Las planchas de tríplex vienen en un formato de 1.22x2.44 m con un espesor de 12mm, se usa comúnmente en el medio para la construcción, estructuras de soporte y para encofrados.



Figura 3-49 Madera Triplex
Fuente: www.edimca.com.ec/

Los encofrados deben asegurar una superficie adecuada para las solicitaciones requeridas en la Tabla 3-32 Irregularidades en superficies de hormigón.

Tabla 3-32 Irregularidades en superficies de hormigón

Clase	Descripción	Irregularidades permitidas (mm)
A	Superficies expuestas al público.	3
B	Texturas rugosas que van a recibir estuco, yeso o paneles de madera.	6
C	Superficies expuestas permanentemente o cuando no se especifica otro tipo de acabados.	13
D	Superficies permanentemente ocultas o cuando no importa la rugosidad.	25

Fuente: ((MIDUVI) & (CAMICOM), 2014)

Debido a que las losas son elementos estructurales visibles al público, pues sabemos que se usan en gran medida en parqueaderos o patios y si las comparamos con el resto de la estructura, la cual queda mínimamente expuesta podemos guiarnos en la Tabla 3-32 Irregularidades en superficies de hormigón, y elegir la clase B, superficies expuestas al público con irregularidades permitidas hasta 3mm.

Previo a la construcción de los moldes, se realizó un esquema tentativo para el encofrado, modelando posibles dimensiones para su construcción, a partir de esto se desarrolló el proceso constructivo.



Figura 3-50 Modelo de encofrado de la losa maciza
Fuente: Autores

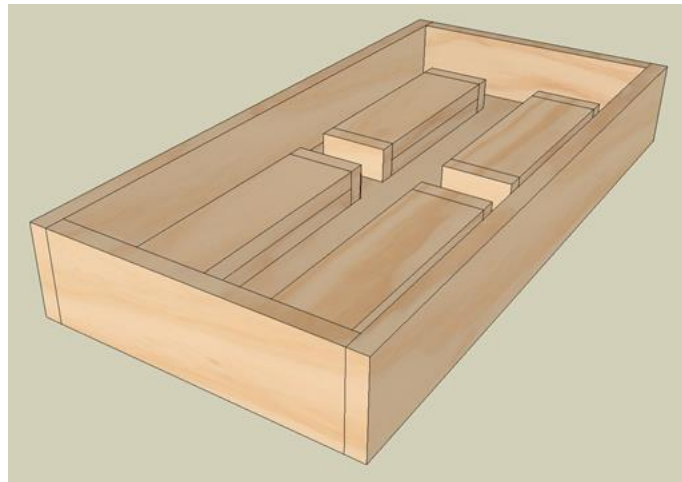


Figura 3-51 Modelo de encofrado de la losa de dos direcciones.
Fuente: Autores

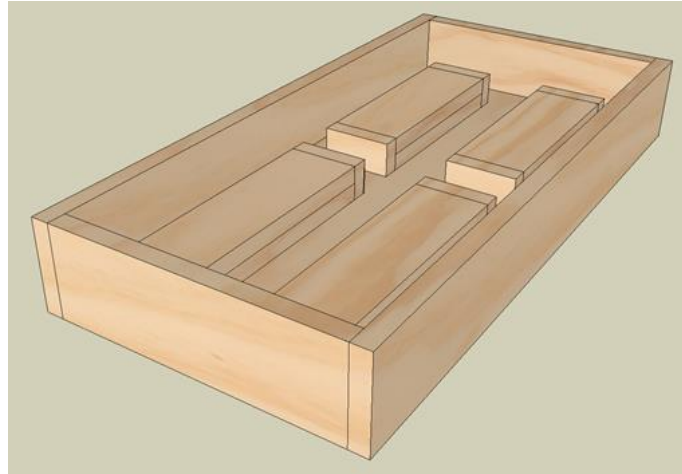


Figura 3-52 Modelo de encofrado de la losa en dos direcciones.
Fuente: Autores

Después de conseguir los esquemas para los moldes, de cada una de las losas, se llevó a cabo su construcción consiguiendo como resultado los moldes mostrados en la Moldes de las losas unidireccional, bidireccional y maciza.



Figura 3-53 Moldes de las losas unidireccional, bidireccional y maciza.
Fuente: Autores

3.4.2 Áridos

Los áridos constituyen la mayor parte del volumen de la mezcla del hormigón. Las propiedades físicas y mecánicas del hormigón tienen gran dependencia del tipo de agregado usado para la mezcla, estos, pueden provenir de la trituración de mantos de roca o de cantos rodados, los tamaños pueden estar compuestos como mínimo de dos porciones de tamaños diferentes. ((MIDUVI) & (CAMICOM), 2014)

El tamaño de las partículas más grandes del árido grueso no debe ser mayor que:

- 1/5 de la menor dimensión de la sección transversal del elemento a construir.
- 1/3 del espesor de la losa.
- 3/4 del espaciamiento libre entre varillas o paquetes de varillas de acero de refuerzo, cables de pretensado o ductos embebidos.
- El recubrimiento de las varillas de acero de refuerzo.

En los elementos estructurales a ensayarse en este trabajo de titulación, en la sección transversal la menor abertura es de 15 mm como se muestra en la Figura 3-54 Abertura mínima en la sección transversal.



Figura 3-54 Abertura mínima en la sección transversal
Fuente: Autores

Se utilizó un agregado con diámetro de 3/8, debido a la disposición del mismo el día de la fundición de los modelos de prueba. Se debe tener presente que debido a que los elementos a ensayarse son elementos de prueba no se cumplen varios parámetros especificados en la Norma Ecuatoriana de la construcción especificados a continuación:

- 1/5 de la menor dimensión de la sección transversal del elemento a construir.
- 1/3 del espesor de la losa.
- 3/4 del espaciamiento libre entre varillas o paquetes de varillas de acero de refuerzo, cables de pretensado o ductos embebidos.

3.4.3 Acero de refuerzo

Las varillas de refuerzo deberán ser corrugadas para estructuras de hormigón armado, y tener un límite de fluencia mínimo de $f_y = 420 \text{ MPa}$, será el esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria de $\epsilon_{t=0.0035}$. ((INEN), 2017)

Las varillas de acero corrugado deberán tener un diámetro nominal entre los valores de la Tabla 3-33 Diámetros mínimos y máximos de las varillas de refuerzo.

Tabla 3-33 Diámetros mínimos y máximos de las varillas de refuerzo

Tipo	Diámetro mínimo de barra, d_b	Diámetro máximo de barra, d_b
Barras corrugadas	8 mm	36 mm
Alambre para mallas	4 mm	10 mm
Estribos	10 mm	16 mm

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción, Estructuras de hormigón armado, 2014

Para la posterior instalación, las varillas deberán estar exentas de capas de corrosión, es aceptable una película fina de corrosión ya que ayuda a la unión acero- hormigón, también, deberá estas con espaciamiento apropiado, empalmado, amarrado, firme en su posición y ahogado para lograr el recubrimiento requerido.((MIDUVI) & (CAMICOM), 2014).

Los soportes para mantener a las varillas corrugadas no deberán ser de materiales como piedras, madera u otros materiales no aprobados; para su correcta separación del encofrado u otra superficie se pueden utilizar cubos de hormigón de igual o mayor resistencia de la estructura, soportes metálicos o de plástico, barras espaciadoras u otros accesorios, que eviten el desplazamiento de las varillas corrugadas durante su construcción y vertido de hormigón.

El recubrimiento mínimo de concreto no pre esforzado no debe ser menor a lo exigido por la American Concrete Institute, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14):

1. Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él.....75
mm

2. Concreto expuesto a suelo o a la intemperie:
 - Barras No. 19 a no 5750
mm

 - Barras No. 16, alambre MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro) y
menore.....40
mm

3. Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:
 - Losas, muros, vigas:
 - Barras No. 43 y No 57.....40
mm

 - Barras No. 36 y menores.....20
mm

 - Vigas, columnas:
 - Armadura principal, estribos, espirales.....40
mm

 - Carcasas y placas plegadas:
 - Barras No. 19 y mayores.....20
mm

 - Barras No. 16, alambres MW200 ó MD200 (16 mm de
diámetro) y menores.....15
mm

En nuestro trabajo de titulación tenemos elementos de concreto que no están expuestos a la intemperie, ni en contacto con el suelo; por lo tanto, elegimos el valor de 15 mm, como se muestra en la Figura 3-54 Abertura mínima en la sección trasversal.

El siguiente paso para la construcción de los elementos es el armado del hierro, el mismo que se llevó a cabo en la fábrica RFV prefabricados.

Para la losa maciza se colocó una varilla corrugada de 6 mm, espaciada en el lado más corto a 10 cm y en el lado más largo a 22 cm, como se muestra en la Figura 3-56 Armado de hierros losa maciza, espaciamiento , el espaciamiento vertical es de 2.50 cm.



Figura 3-55 Armado de hierros losa maciza, espaciamiento longitudinal.
Fuente: Autores



Figura 3-56 Armado de hierros losa maciza, espaciamiento vertical
Fuente: Autores

Para la losa unidireccional se colocó una varilla corrugada de 6 mm, espaciada en el lado más corto a 10 cm y en el lado más largo se colocaron varillas para obtener la separación adecuada estipulado en las normas antes mencionadas, como se muestra en la Figura 3-58 Armado de hierros losa unidireccional, espaciamiento vertical, es de 3 cm.



Figura 3-57 Armado de hierros losa unidireccional, espaciado longitudinal
Fuente: Autores



Figura 3-58 Armado de hierros losa unidireccional, espaciado vertical
Fuente: Autores

Final mente, Para la losa bidireccional se colocó una varilla corrugada de 6 mm, espaciada en el lado más corto a 10 cm y en el lado más largo a 22 cm, como se muestra en la Figura 3-60 Armado de hierros la bidireccional, espaciado vertical, el espaciado vertical es de 3 cm.



Figura 3-59 Armado de hierros la bidireccional, espaciado longitudinal
Fuente: Autores

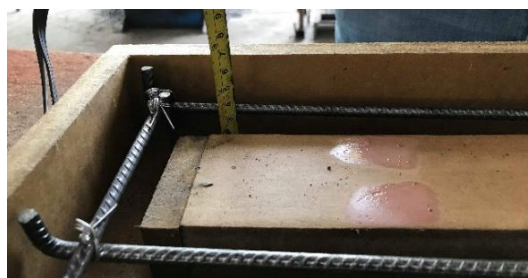


Figura 3-60 Armado de hierros la bidireccional, espaciado vertical
Fuente: Autores

3.4.4 Colocación del hormigón

Llevar métodos apropiados evita la segregación del hormigón, uniforme, libre de imperfecciones visibles y áreas porosas. El hormigón debe caer verticalmente o en canales, evitando que golpe en los aceros de refuerzo y encofrados para que el mismo no los desplace de su posición original, el hormigón debe ser colocado de forma continua y sin demoras.

Después de haber colocado los hierros de refuerzo, se realizó el vertido del hormigón en los moldes, como se muestra en Figura 3-61 Colocación del hormigón en los moldes.



Figura 3-61 Colocación del hormigón en los moldes
Fuente: Autores

3.4.5 Vibrado del hormigón

El hormigón debe compactarse conforme va siendo colocado en los moldes o encofrados. Se debe continuar vibrando hasta que el hormigón este completamente consolidado sin vacíos, posteriormente, se debe observar una película fina de pasta en la superficie del hormigón expuesta.

A continuación, se vibró el hormigón como se muestra en la Figura 3-62 Vibrado del hormigón.



Figura 3-62 Vibrado del hormigón
Fuente: Autores

3.4.6 Curado del hormigón

Luego de la colocación del hormigón, se debe comprobar que no esté expuesto a daños ambientales y físicos. La superficie expuesta del hormigón, debe mantenerse húmeda de 5 a 7 días, cuando mayor sea la humedad retenida por el hormigón es más eficiente el proceso de curado.

Un proceso deficiente de curado, en las primeras horas de vida del hormigón disminuye significativamente la resistencia de probetas de hormigón, como aplicabilidad a los elementos estructurales a realizarse en este trabajo de titulación, se debe efectuar correctamente el proceso de curado, en la Figura 3-63 Reducción de resistencia a 28 días según días iniciales de curado inadecuado.

Se puede evidenciar la reducción de las resistencias a compresión a 28 días, llegando a valores de 12 a 17% de reducción de resistencia a compresión por haber curado las probetas durante las primeras 24 horas. (Holmgren, Cavieres, & Cepeda, 2005)

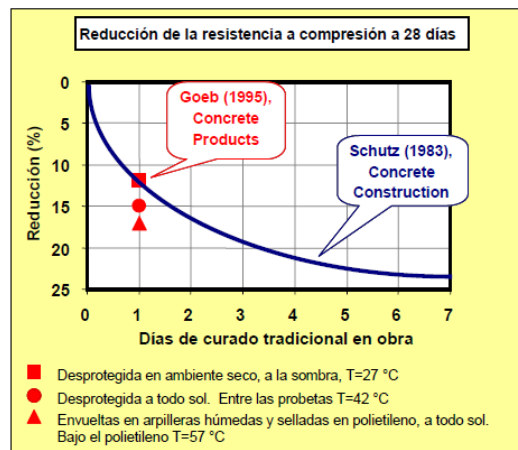


Figura 3-63 Reducción de resistencia a 28 días según días iniciales de curado inadecuado
Fuente: XV Jornadas Chilenas del Hormigón – 2005

Se utilizará un método convencional el cual es proporcionar sobre el hormigón una cubierta de agua, se pueden utilizar los métodos como: inmersión, aspersión, rociado de niebla.

Finalmente realizamos el curado del hormigón vertiéndolo en un recipiente con agua sin impurezas, como se muestra en la Curado del hormigón



Figura 3-64 Curado del hormigón
Fuente: Autores

Durante el proceso de construcción surgieron ciertos cambios en los moldes y el diseño del hormigón para los elementos, puesto que al momento de efectuar la fundición y el curado del hormigón aparecieron ciertos inconvenientes, que después de dos intentos en los que los elementos fracasaron constructivamente pudimos superarlos, obteniendo así recomendaciones y datos relevantes sobre la construcción de los elementos, los cuales serán expuestos en el capítulo 4 como recomendaciones de nuestro trabajo.

Finalmente, para poder construir los elementos se efectuaron los moldes con poliéstireno en las zonas que forman los nervios, facilitando así el desencofrado de los elementos, sin tener la necesidad de retirar dicho material. Además de esto se afino el diseño de la mezcla del hormigón debido al tamaño de los áridos, tratando de que estos no influyan al momento de realizar la fundición y posterior curado.

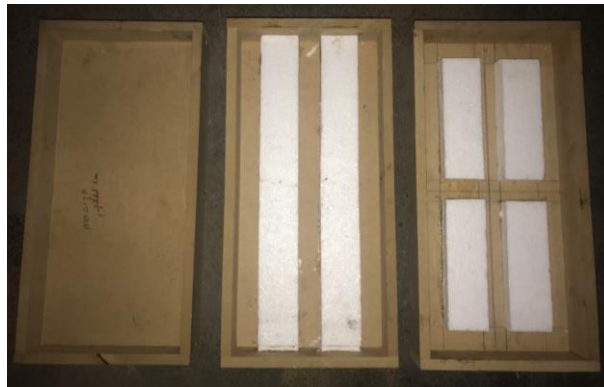


Figura 3-65 Moldes finales con poliestireno de las losas unidireccional, bidireccional y maciza.
Fuente: Autores

El proceso constructivo aplicado ha sido igual al descrito la primera vez, realizando los cambios ya expuestos, obteniendo como resultado los moldes mostrados en la maciza. Y por último las losas fundidas antes llevarse a cabo el proceso de curado como se expone en la Figura 3-66 Losas finales después de la fundición.



Figura 3-66 Losas finales después de la fundición
Fuente: Autores

3.5 Etapas de comportamiento de los elementos propuestos

Es sumamente importante para nuestro diseño identificar las distintas etapas por las que atraviesan los elementos sometidos a flexión, al aplicar una carga constante los elementos pasan 3 etapas antes de llegar a su punto de falla, la primera etapa inicia cuando la carga aplicada aun es pequeña, los esfuerzos se mantienen menores al módulo de ruptura, es decir aun el concreto no se ha agrietado, resistiendo aun la tensión y compresión. La segunda etapa se da cuando la carga aplicada se incrementa, excediendo el módulo de ruptura del concreto, por ende, empieza el desarrollo de grietas en la parte inferior de la viga, características de la flexión, el momento que aparece cuando comienzan a aparecer las grietas es el llamado momento de agrietamiento (M_{agr}). La tercera etapa la carga aplicada se incrementa aún más, los esfuerzos de compresión son mayores a la mitad de f'_c , las grietas de tensión crecen hacia arriba en conjunto con el eje neutro el concreto deja de tener su comportamiento lineal y final mente se puede suponer que las varillas de refuerzo han cedido. (Cormac, Jack, Brown, & Russell, 2011)

- Etapa del concreto no agrietado.
- Etapa del concreto agrietado, esfuerzos elásticos.
- Etapa de falla, resistencia última.

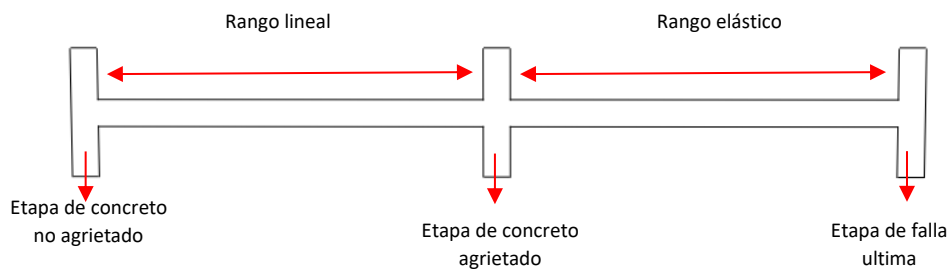


Figura 3-67 Etapas De comportamiento de una viga de concreto
Fuente: Autores

3.5.1 Momento de agrietamiento de los elementos

El momento de agrietamiento es el inicio de la segunda etapa, este determina el comienzo del rango elástico del concreto, apareciendo las primeras grietas en el hormigón como se muestra Figura 3-68 Concreto agrietada etapa de esfuerzos elásticos.

A continuación, se calculará el momento de agrietamiento según se describe en el libro Diseño de Concreto Reforzado, apartado 2.2 Momento de Agrietamiento de Jack C. McCormac y Russell H. Brown (Cormac et al., 2011) , para su futura interpretación con las gráficas de fuerza vs deformación del capítulo 4.

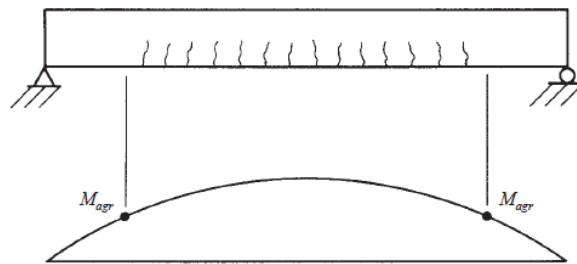


Figura 3-68 Concreto agrietada etapa de esfuerzos elásticos

Fuente: Diseño de concreto reforzado, capítulo 2, pág. 37 (Cormac et al., 2011)

3.5.1.1 Momento de agrietamiento losa maciza

- Datos iniciales:

$f'c = 28.4 \text{ N/mm}^2$ (Resistencia obtenida de las pruebas a compresión del hormigón)

- Módulo de ruptura del concreto “fr”:

$$fr = 0.7 * \lambda * \sqrt{f'c} \quad \lambda = 1 \text{ para concreto de peso normal}$$

$$fr = 0.7 * 1 * \sqrt{28.4} = 3.73 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

$$I = \frac{230 * 50^3}{12} = 2395833.33 \text{ mm}^4$$

- Momento de agrietamiento

$$M_{agr} = \frac{f_r * I}{y_t}$$

$$M_{agr} = \frac{3.73 * 23955833.33}{25} = 357498.15 \text{ N mm}$$

- Obtención de fuerza distribuida

$$M = \frac{w * l^2}{8}$$

$$357498.15 = \frac{w * 480^2}{8}$$

$$w = 12.41 \frac{N}{mm} = 12.41 \frac{Kg}{cm}$$

- Obtención de fuerza puntual

$$P = 12.41 * 48 = 595.68 \text{ Kg}$$

3.5.1.2 Momento de agrietamiento losa bidireccional

- Datos iniciales:

$f'_c = 28.4 \text{ N/mm}^2$ (Resistencia obtenida de las pruebas a compresión del hormigón)

- Módulo de ruptura del concreto “fr”:

$$f_r = 7.5 * \lambda * \sqrt{f'_c} \quad \lambda = 1 \text{ para concreto de peso normal}$$

$$f_r = 7.5 * 1 * \sqrt{28.4} = 3.73 \frac{N}{mm^2}$$

$$I = 2700000 \text{ mm}^4$$

- Momento de agrietamiento

$$M_{agr} = \frac{f_r * I}{y_t}$$

$$M_{agr} = \frac{3.73 * 2700000}{25} = 335700 \text{ N mm}$$

- Obtención de fuerza distribuida

$$M = \frac{w * l^2}{8}$$

$$335700 = \frac{w * 480^2}{8}$$

$$w = 11.65 \frac{N}{mm} = 11.65 \frac{Kg}{cm}$$

- Obtención de fuerza puntual
 $P = 11.65 * 48 = 559.5 Kg$

3.5.1.3 Momento de agrietamiento losa bidireccional

- Datos iniciales:

$f'c = 28.4 \frac{N}{mm^2}$ (Resistencia obtenida de las pruebas a compresión del hormigón)

- Módulo de ruptura del concreto “fr”:

$$fr = 7.5 * \lambda * \sqrt{f'c} \quad \lambda = 1 \text{ para concreto de peso normal}$$

$$fr = 7.5 * 1 * \sqrt{284} = 3.73 \frac{N}{mm^2}$$

$$I = 27000000 mm^4$$

- Momento de agrietamiento

$$Magr = \frac{fr * I}{yt}$$

$$Magr = \frac{3.73 * 27000000}{25} = 335700 N mm$$

- Obtención de fuerza distribuida

$$M = \frac{w * l^2}{8}$$

$$335700 = \frac{w * 480^2}{8}$$

$$w = 11.65 \frac{N}{mm} = 11.65 \frac{Kg}{cm}$$

- Obtención de fuerza puntual

$$P = 11.65 * 48 = 559.5 Kg$$

3.5.2 Capacidad resistente última de los elementos

Debido a que se han impuesto inicialmente las dimensiones de las dos propuestas de losetas de compresión micro nervadas, en este apartado se buscará la capacidad resistente última de las secciones, encontrado el momento flector nominal, para posteriormente obtener la carga a la que los elementos llegan a su punto de falla.

El procedimiento que se ha seguido para encontrar dicha capacidad resistente última de los elementos, primero para la loseta de compresión tradicional y después para las dos propuestas, ha sido el que se desarrolla en el libro Temas de Hormigón Armado de Marcelo Romo Proaño, capítulo 7: “Diseño a Flexión de Vigas de Hormigón Armado” (Romo Proaño, 2008). Es importante mencionar que se ha realizado dicho análisis como si los elementos fuesen vigas ya que se los probó de esta manera en el ensayo de flexión.

3.5.2.1 Capacidad resistente última de la losa maciza

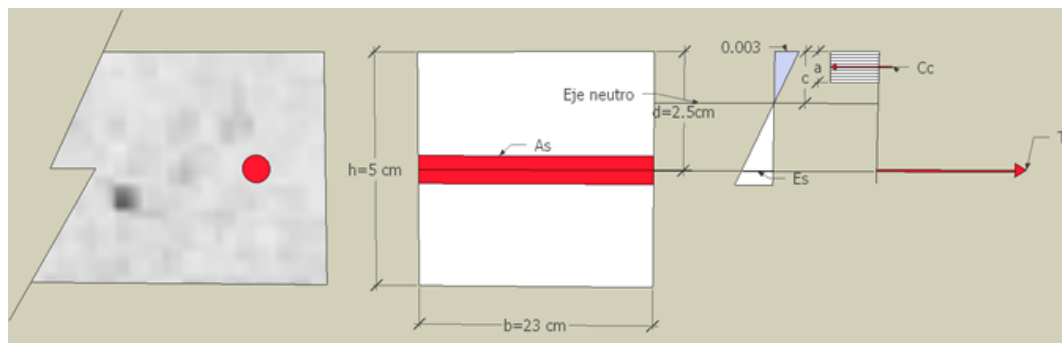


Figura 3-69 Diagrama de compresión de Whitney losa maciza

Fuente: Autores

– Datos iniciales:

$f'c = 284 \text{ kg/cm}^2$ (Resistencia obtenida de las pruebas a compresión del hormigón)

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ (Límite de fluencia del acero)

$A_s = 0.282743 \text{ cm}^2 * 3 = 0.84823 \text{ cm}^2$ (Área del acero de refuerzo)

- Se supone que el acero ha alcanzado el nivel de fluencia

$$\varepsilon_s > \varepsilon_y \quad \therefore \quad F_s = F_y$$

$$T = A_s * F_y = 0.84823 * 4200 = 3562.57 \text{ kg}$$

- Por equilibrio de fuerzas horizontales, la magnitud de la compresión en el hormigón C_c es igual en magnitud a la fuerza de tracción del acero

$$C_c = T$$

$$C_c = 3562.57 \text{ kg}$$

$$C_c = (0.85 * f'_c) * b * a$$

$$3562.57 = (0.85 * 284) * \frac{b}{23} * a \quad \longrightarrow \quad \text{Despejando a}$$

$$a = 0.64 \text{ cm}$$

$$a = \beta_1 * c$$

Tabla 3-34 Valores del coeficiente β_1 del ACI

f'_c (kg/cm ²)	β_1
210	0.85
280	0.85
350	0.80
420	0.75
490	0.70
≥ 560	0.65

Fuente: Temas de Hormigón Armado, Marcelo Romo Proaño

- El siguiente coeficiente se calculó interpolando los valores de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad \longrightarrow \quad \text{Valor de } \beta_1 \text{ para } f'_c = 284 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow 0.847143$$

$$c = \frac{0.64}{0.8471} = 0.7554 \approx 0.76 \text{ cm}$$

- Momento flector nominal

$$d = 2.5 \text{ cm} \quad a = 0.64 \text{ cm}$$

$$M_n = T * \left(d - \frac{a}{2} \right) = 3562.57 * \left(2.5 - \frac{0.64}{2} \right) = 5053.85 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

- Usando la fórmula para encontrar el momento máximo de una viga simplemente apoyada se despeja la carga distribuida aplicada

$$M = \frac{w * L^2}{8}$$

$$5053.85 = \frac{w * 48^2}{8}$$

$$w = 17.5481 \text{ kg/m}$$

- Para convertir la anterior carga en una carga puntual sobre el elemento

$$17.5655 * 48 = 843.142 \text{ kg}$$

Finalmente se ha obtenido la fuerza de capacidad ultima la loseta de compresión maciza de $P=843.14 \text{ kg}$.

3.5.2.2 Capacidad resistente ultima de la losa unidireccional

Al tener el acero de refuerzo a 3 cm del lado superior de la sección de la loseta, se ha considerado tratarlo como una viga para los cálculos a flexión, tomando su sección como una sección de 23x3 cm. En este caso debido a que el acero se encuentra en fluencia, ($C_c=T$) se lo diseña como una viga de sección rectangular, caso contrario si es que el acero de refuerzo se encuentre en la parte inferior se lo podría tratar como una viga T o doble T. En el actual caso deducimos que las fibras a compresión del elemento se sitúan en la parte superior de la losa.

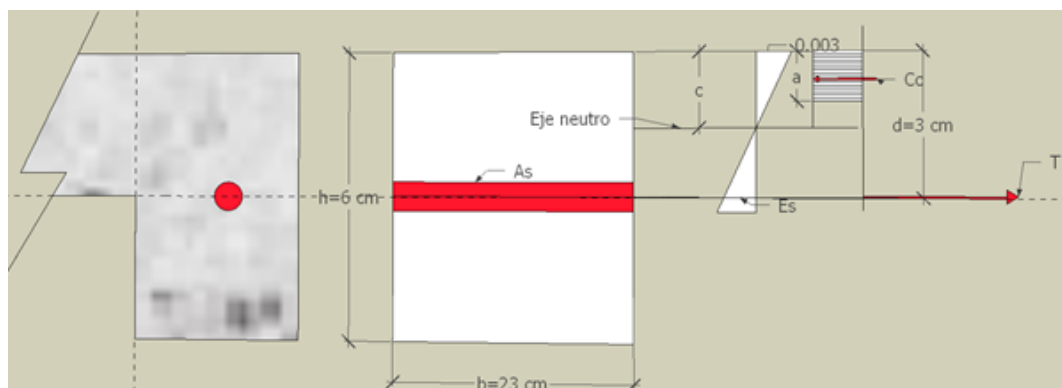


Figura 3-70 Diagrama de compresión de Whitney losa unidireccional y bidireccional
Fuente: Autores

– Datos iniciales:

$f'c = 284 \text{ kg/cm}^2$ (Resistencia obtenida de las pruebas a compresión del hormigón)

$fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$ (Límite de fluencia del acero)

$As = 0.282743 \text{ cm}^2 * 3 = 0.84823 \text{ cm}^2$ (Área del acero de refuerzo)

– Se supone que el acero ha alcanzado el nivel de fluencia

$$\varepsilon_s > \varepsilon_y \quad \therefore \quad F_s = F_y$$

$$T = As * F_y = 0.84823 * 4200 = 3562.57 \text{ kg}$$

– Por equilibrio de fuerzas horizontales, la magnitud de la compresión en el hormigón C_c es igual en magnitud a la fuerza de tracción del acero

$$C_c = T$$

$$C_c = 3562.57 \text{ kg}$$

$$C_c = (0.85 * f'c) * b * a$$

$$3562.57 = (0.85 * 284) * \frac{b}{23} * a \quad \longrightarrow \quad \text{Despejando a}$$

$$a = 0.64 \text{ cm}$$

$$a = \beta_1 * c$$

Tabla 3-35 Valores del coeficiente β_1 del ACI

$f'c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	β_1
210	0.85
280	0.85
350	0.80
420	0.75
490	0.70
≥ 560	0.65

Fuente: Temas de Hormigón Armado, Marcelo Romo Proaño

- El siguiente coeficiente se calculó interpolando los valores de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

$$c = \frac{a}{\beta_1} \longrightarrow \text{Valor de } \beta_1 \text{ para } f'c = 284 \frac{kg}{cm^2} \rightarrow 0.847143$$

$$c = \frac{0.64}{0.8471} = 0.7554 \approx 0.76 \text{ cm}$$

- Momento flector nominal

$$d = 3 \text{ cm} \quad a = 0.64 \text{ cm} \quad c = 0.76 \text{ cm}$$

$$Mn = T * \left(d - \frac{a}{2}\right) = 3562.57 * \left(3 - \frac{0.64}{2}\right) = 9547.69 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

- Usando la fórmula para encontrar el momento máximo de una viga simplemente apoyada se despeja la carga distribuida aplicada

$$9547.69 = \frac{w * L^2}{8}$$

$$9547.69 = \frac{w * 48^2}{8}$$

$$w = 33.152 \text{ kg/m}$$

- Para convertir la anterior carga en una carga puntual sobre el elemento

$$33.152 * 48 = 1591.2 \text{ kg}$$

Finalmente se ha obtenido la fuerza de capacidad ultima de la loseta de compresión unidireccional de P=1591.2 kg.

3.5.2.3 Capacidad resistente ultima de la losa bidireccional

El cálculo de la resistencia última de la losa bidireccional se plantea igual que el de la losa unidireccional, ya que, la sección analizada es semejante y la posición del acero es la misma. Por último, el procedimiento a seguir es el mismo, obteniendo como resultado igual momento nominal y una fuerza de capacidad ultima de la loseta de compresión bidireccional de P=1591.2 kg.

4 CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El capítulo final de todo nuestro trabajo engloba los resultados, tanto del modelo desarrollado en el software comercial, como los resultados obtenidos con la construcción de los elementos propuestos y la losa maciza; por último, los resultados de las pruebas físicas realizadas a cada uno de los elementos. Después de exponer los resultados de nuestro trabajo se da fin a al mismo, con las conclusiones y recomendaciones.

En esta parte se ha considerado iniciar con la descripción de las características de los elementos constructivos, seguido de los resultados del modelo en el software comercial, puesto que el mismo nos da varios parámetros comparativos con las pruebas físicas realizadas y así poder llegar a las conclusiones expuestas. En cuanto a las pruebas físicas realizadas, como ya se mencionó en los capítulos anteriores se realizaron dos pruebas no destructivas; sonido y temperatura y una prueba destructiva, ensayo de la resistencia a flexión, en la cual se incluyen también los resultados de las pruebas de los cilindros de hormigón sometidos a compresión.

4.1 Resultados y características de los elementos contruidos

Finalmente, después de haber realizado la fundición de los elementos por tercera vez, se obtuvieron los resultados esperados con la construcción de los modelos. Cabe recalcar que el tema del curado y el diseño del hormigón son dos puntos muy importantes para la construcción de dichos elementos de prueba.

En conclusión, se obtuvieron dos modelos de losetas de compresión micro nervados, el primero nervado unidireccionalmente y el segundo nervado bidireccionalmente, además de la loseta maciza. Las dimensiones y peso se adjuntan tabuladas a continuación con su respectiva imagen.

– Losa maciza tradicional:

Tabla 4-1 Características del elemento definitivo de la losa maciza

Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Peso (kg)
50	23	5	13.45

Fuente: Autores

Tabla 4-2 Inercias con respecto a los ejes losa maciza

Inercia con respecto a sus ejes (Kg*m2)		
Eje x	Eje y	Eje z
0.2830	0.3395	0.0621

Fuente: Autores

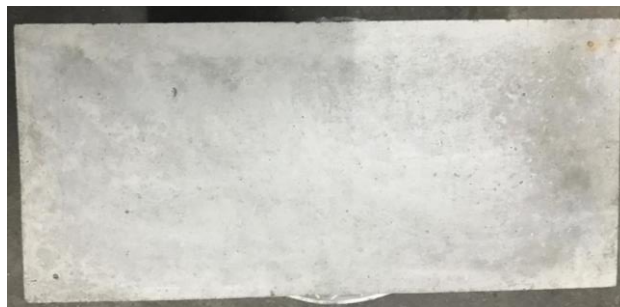


Figura 4-1 Elemento definitivo de la losa maciza

Fuente: Autores

– Losa nervada unidireccional:

Tabla 4-3 Características del elemento definitivo de la losa nervada unidireccional

Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Peso total (kg)
Parte maciza			12.99
50	23	3	
Micro nervaduras			
50	3.5	3	

Fuente: Autores

Tabla 4-4 Inercias con respecto a los ejes losa unidireccional

Inercia con respecto a sus ejes (Kg*m2)		
Eje x	Eje y	Eje z
0.2741	0.3362	0.0690

Fuente: Autores



Figura 4-2 Elemento definitivo de la losa unidireccional
Fuente: Autores

– Losa nervada bidireccional:

Tabla 4-5 Características del elemento definitivo de la losa nervada bidireccional

Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Peso total (kg)
Parte maciza			12.10
50	23	3	
Micro nervaduras longitudinales			
50	3.5	3	
Micro nervaduras transversales			
23	3.5	3	

Fuente: Autores

Tabla 4-6 Inercias con respecto a los ejes losa bidireccional

Inercia con respecto a sus ejes (Kg*m ²)		
Eje x	Eje y	Eje z
0.2690	0.3245	0.0624

Fuente: Autores



Figura 4-3 Elemento definitivo de la losa bidireccional
Fuentes: Autores

Con las características anteriormente mostradas se puede llegar a concluir que las dimensiones de las losas nervadas influyen directamente en el peso de los elementos, haciéndoles más livianas a las losetas micro nervadas, puesto que, aunque teniendo un mayor espesor total estas son más livianas que la loseta maciza. Además, la geometría de los elementos propuestos influye en la inercia, por lo tanto, en su rigidez.

4.1.1 Tablas comparativas de las características de las losas

Tabla 4-7 Peso de la losa maciza, unidireccional y bidireccional en Kg

Losa	Peso total (kg)
Maciza	13.45
Unidireccional	12.1
Bidireccional	13

Fuente: Autores

Tabla 4-8 Diferencia de porcentajes de la losa maciza, unidireccional y bidireccional

	Maciza	Unidireccional	Bidireccional
Maciza	X	10.0%	3.4%
Unidireccional	10.0%	X	6.9%
Bidireccional	3.4%	6.9%	X

Fuente: Autores

Tabla 4-9 Comparación de inercias con respecto al eje z de cada losa ordenada de mayor a menor

Tipo de losa	Inercia con respecto al eje z
Unidireccional	0.0690
Bidireccional	0.0624
Maciza	0.0621

Fuente: Autores

En conclusión, con las tablas resumen mostradas anteriormente se llega a deducir que la losa con mejores características en cuanto a peso e inercia es el modelo de losa micro nervada unidireccionalmente.

4.2 Resultado del análisis de los modelos en el software comercial

El modelo desarrollado en el software comercial se realizó con la intención de simular el comportamiento de los elementos propuestos, como un sistema de losa, acercándose al comportamiento real al que estos estarían sometidos; haciendo énfasis en que dichos elementos trabajarían como losetas de compresión de un sistema general de entrepiso nervado.

Con el modelo desarrollado se ha buscado ciertos criterios los cuales nos indican claramente el comportamiento estructural de cada una de las propuestas, destacando como punto principal, de gran importancia para nuestro trabajo, los desplazamientos, por dicho motivo se empezará mostrando la comparación de los resultados calculados por el programa según el tipo de solicitación al que han sido sometido. A continuación, se presenta la Figura 4-4 Desplazamientos máximos de las losas maciza, unidireccional y bidireccional, los desplazamientos.

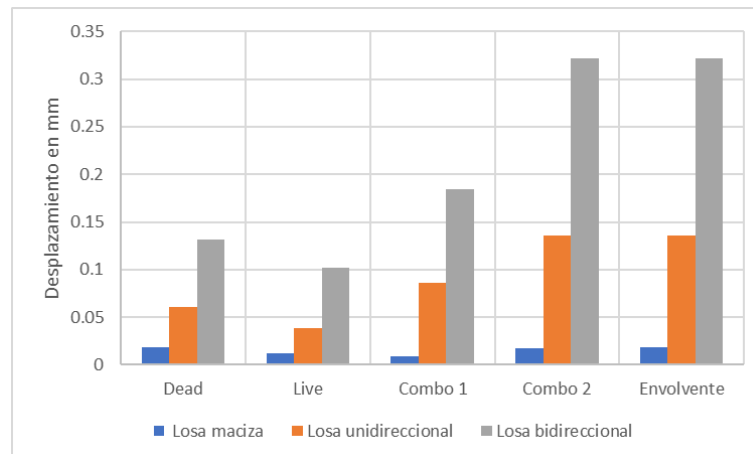


Figura 4-4 Desplazamientos máximos de las losas maciza, unidireccional y bidireccional
Fuente: Autores

En esta figura se evidencia claramente menores deformaciones para todas las solicitaciones para el caso de la losa maciza lo cual nos indica que el sistema tradicional de loseta de compresión de 5 cm de espesor lleva gran ventaja en cuanto a los máximos desplazamientos calculados en la losa.

Con la simulación del software se ha conseguido los momentos a los que los elementos estarán sometidos según cada solicitación. Debido a la manera en la que se ha modelado en el software comercial, se mostrara únicamente los resultados de la losa maciza sometida a momentos por metro lineal y a continuación se presenta la comparación entre cada uno de los elementos con los cuales se han armado las propuestas de losetas de compresión micro nervadas unidireccional y bidireccionalmente.

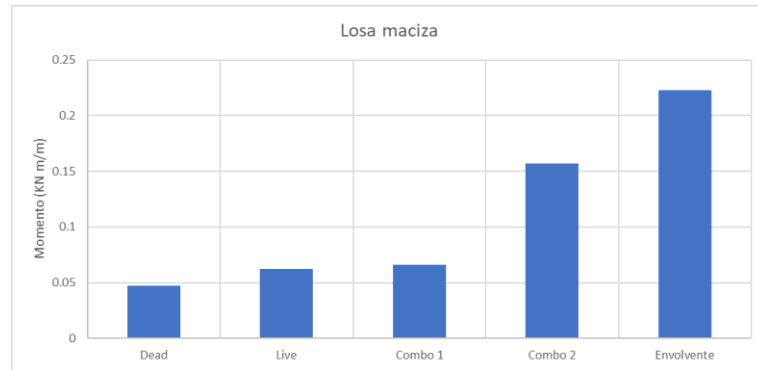


Figura 4-5 Momento de cada solicitación de la losa maciza
Fuente: Autores

En la Figura 4-6 Momento de cada solicitación de la losa unidireccional y bidireccional, se muestran el momento máximo al que está sometido cada uno de los elementos, destacando que la losa bidireccional tiene mayor momento que la unidireccional, esto se debe considerar al momento de su comparación.

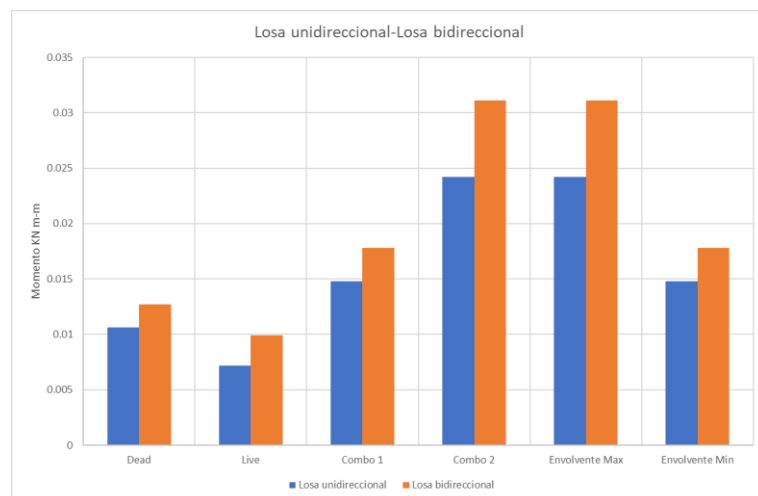


Figura 4-6 Momento de cada solicitación de la losa unidireccional y bidireccional
Fuente: Autores

El caso de análisis del cortante es el mismo que el de momentos, debido a la modelación de las propuestas en el software, inicialmente se muestra el cortante al que está sometido la losa maciza por metro lineal, y seguido de este la tabla de comparación de cortante máximo entre las dos propuestas.

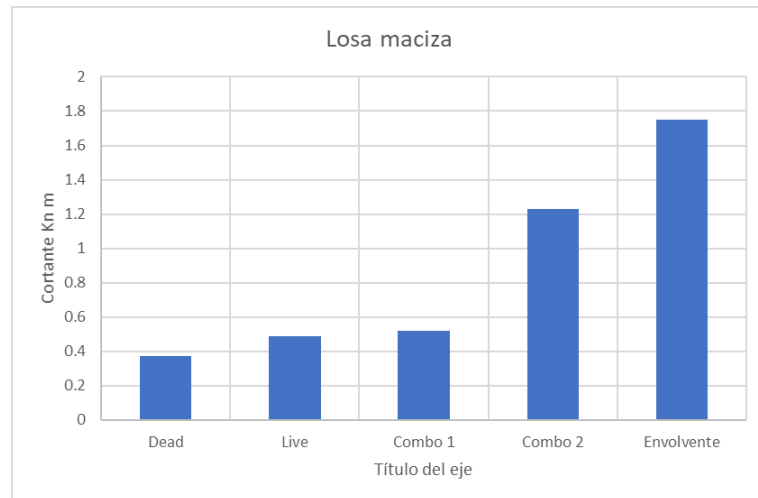


Figura 4-7 Cortante de cada solicitación de la losa maciza

Fuente: Autores

En la comparación entre la losa unidireccional y bidireccional de cortante, de igual forma que en el caso del análisis de momentos, resulta más afectada la losa bidireccional.

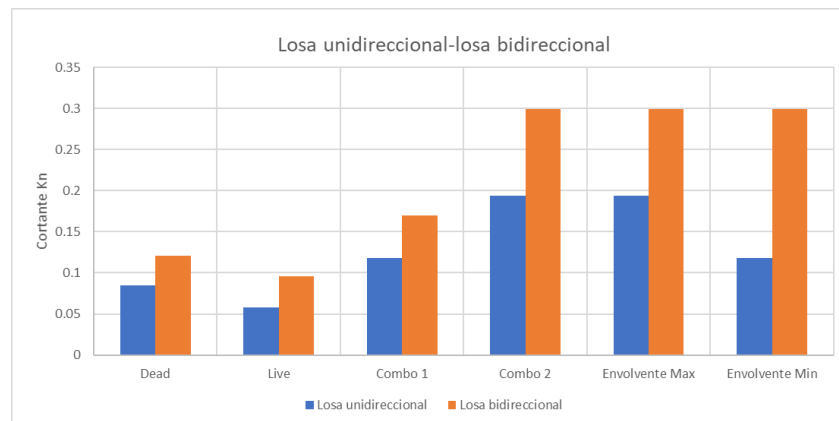


Figura 4-8 Cortante de cada solicitación de la losa unidireccional y bidireccional

Fuente: Autores

Con el análisis de todos los datos antes descritos se llega a la conclusión de que en cuanto a desplazamientos la loseta maciza se comporta mucho mejor, pero si comparamos entre cortante y momento las dos propuestas la que siempre está sometida a menores solicitaciones es la propuesta de loseta micro nervada unidireccional.

4.3 Resultados de las pruebas acústicas

En el capítulo 2, una de las dos pruebas no destructivas planteadas fue la de sonido, de la cual se ha obtenido varios resultados relevantes, indicando el comportamiento de la intensidad del sonido en el recinto exterior como en el recinto interior, para, de esta manera poder concluir cual, de nuestras propuestas, frente a la losa maciza tradicional, se comporta acústicamente mejor.

Todos los resultados han sido medidos en decibeles (db), los cuales nos indican la intensidad de las ondas de sonido, generados con el mismo patrón de ruido para los modelos, por esta razón se genera un patrón similar en todos los grafico decibeles vs tiempo, es importante resaltar que en el segundo 30" el patrón de ruido varia drásticamente generando un pico en todas las gráficas.



Figura 4-9 Prueba acústica, sonómetro exterior
Fuente: Autores

A continuación, se presentan los resultados de las losas maciza, unidireccional y bidireccional con poliestireno, presentando la diferencia entre el exterior y el interior de las mediciones.

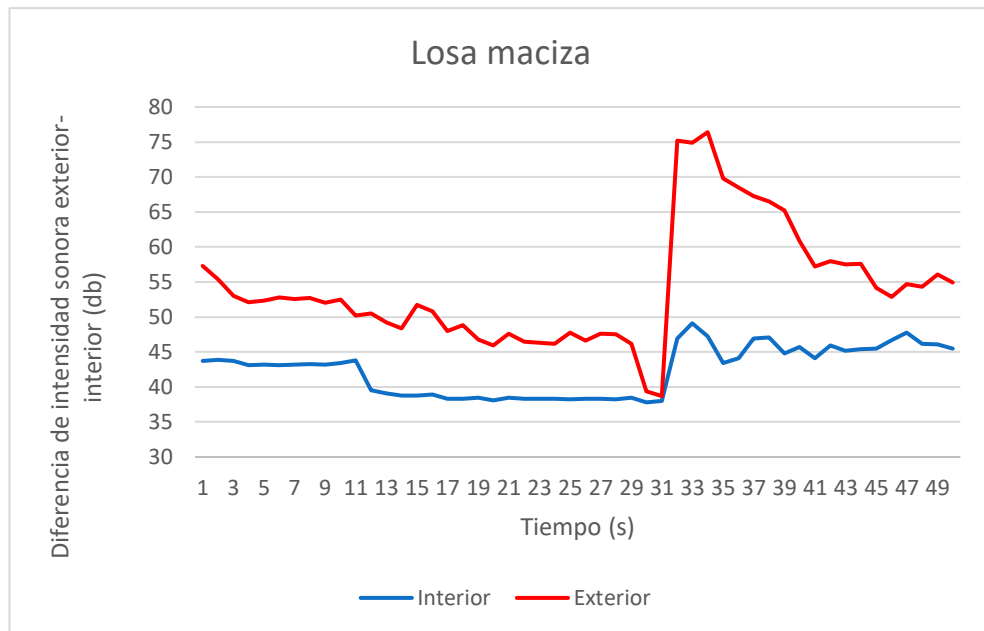


Figura 4-10 Diferencia de intensidad sonora exterior-interior de la losa maciza
Fuente: Autores

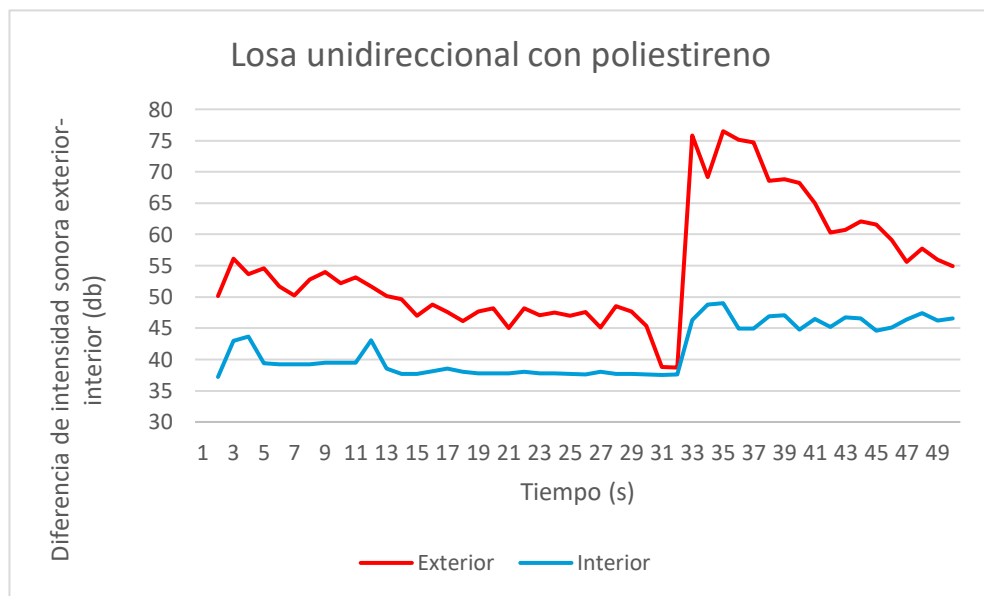


Figura 4-11 Diferencia de intensidad sonora exterior-interior de la losa unidireccional con poliestireno
Fuente: Autores

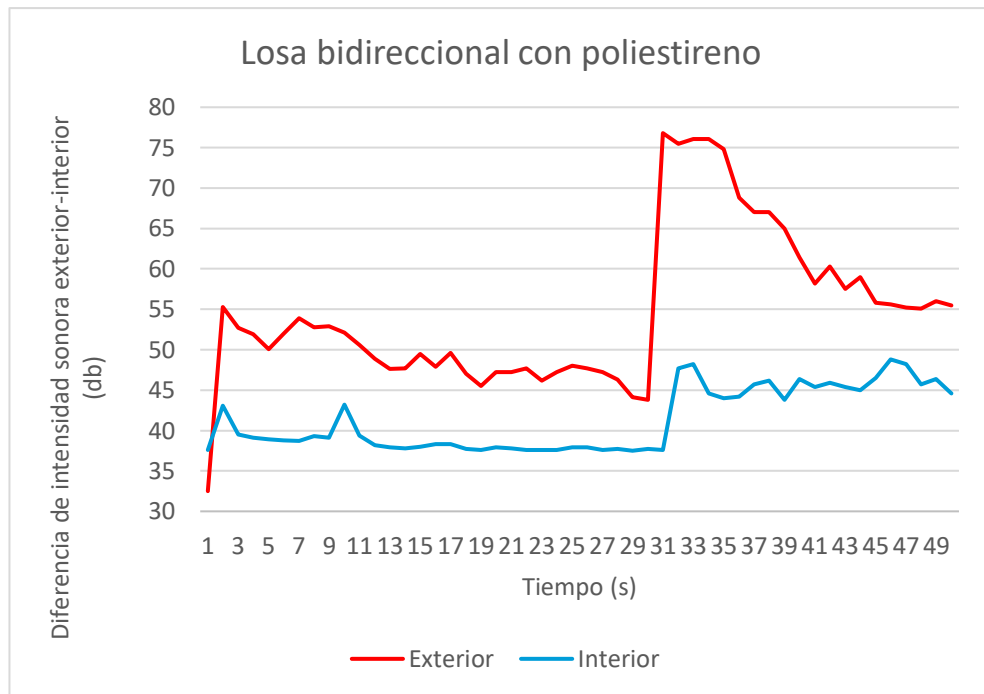


Figura 4-12 Diferencia de intensidad sonora exterior-interior de la losa bidireccional con poliestireno
Fuente: Autores

En la Figura 4-13 Diferencia de intensidad sonora de la losa maciza, unidireccional y bidireccional con poliestireno se muestran las diferencias de las tres losas probadas acústicamente.

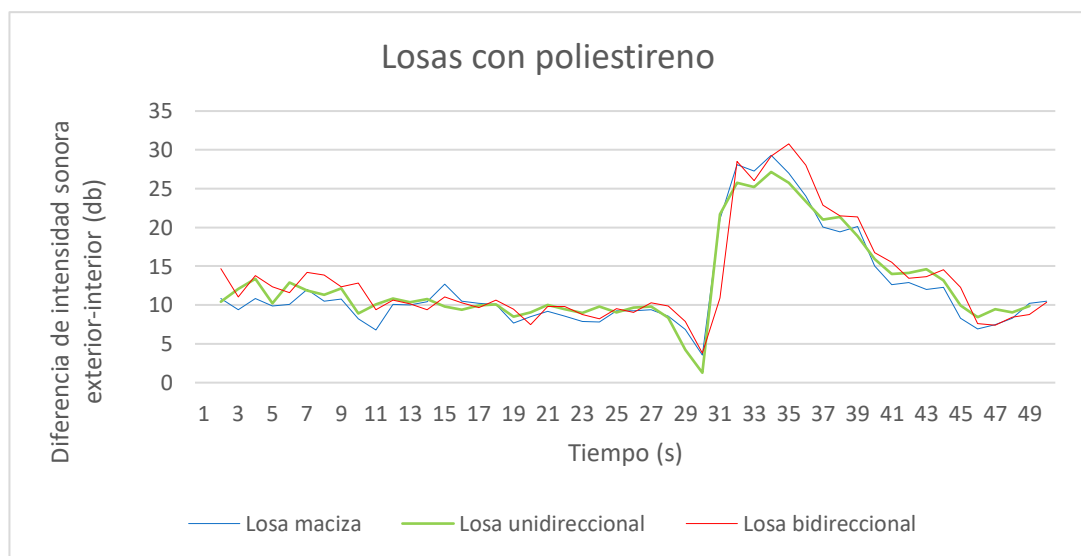


Figura 4-13 Diferencia de intensidad sonora de la losa maciza, unidireccional y bidireccional con poliestireno
Fuente: Autores

Tabla 4-10 Diferencia acústica de la losa maciza, unidireccional y bidireccional

Losa maciza		Losa unidireccional		Losa bidireccional	
Promedio		Promedio		Promedio	
(db)		(db)		(db)	
Exterior	54.11	Exterior	54.73	Exterior	54.60
Interior	42.40	Interior	41.50	Interior	41.31
Diferencia	11.71	Diferencia	13.23	Diferencia	13.28

Fuente: Autores

En la Tabla 4-10 Diferencia acústica de la losa maciza, unidireccional y bidireccional, se pueden evidenciar los resúmenes de los promedios de las lecturas obtenidas de los sonómetros exteriores e interiores.

En la Figura 4-14 Diferencias acústicas de las losas con poliestireno, se muestra la diferencia entre las tres losas, por lo que podemos llegar a deducir que la losa bidireccional tiene un mejor comportamiento con respecto a la losa maciza y unidireccional.

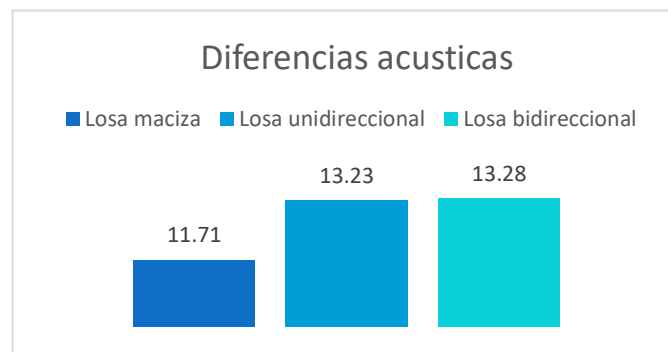


Figura 4-14 Diferencias acústicas de las losas con poliestireno

Fuente: Autores

Para terminar, con el análisis acústico se ha considerado la influencia del poliestireno en los modelos, por tal motivo, hemos realizado las mismas pruebas en los modelos sin poliestireno obteniendo los siguientes datos.

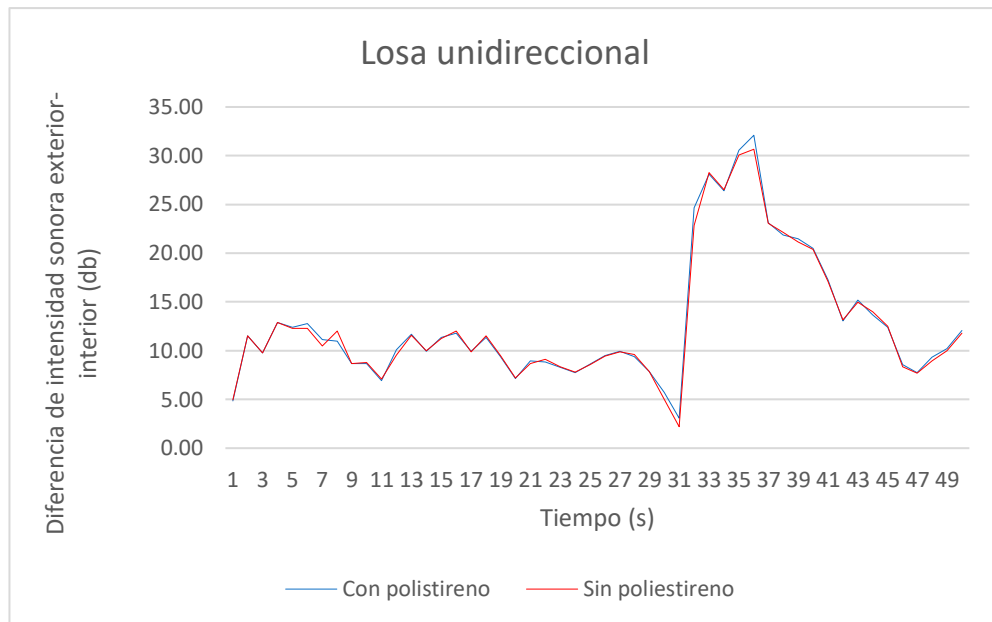


Figura 4-15 Diferencia acústica entre las losas unidireccionales
Fuente: Autores

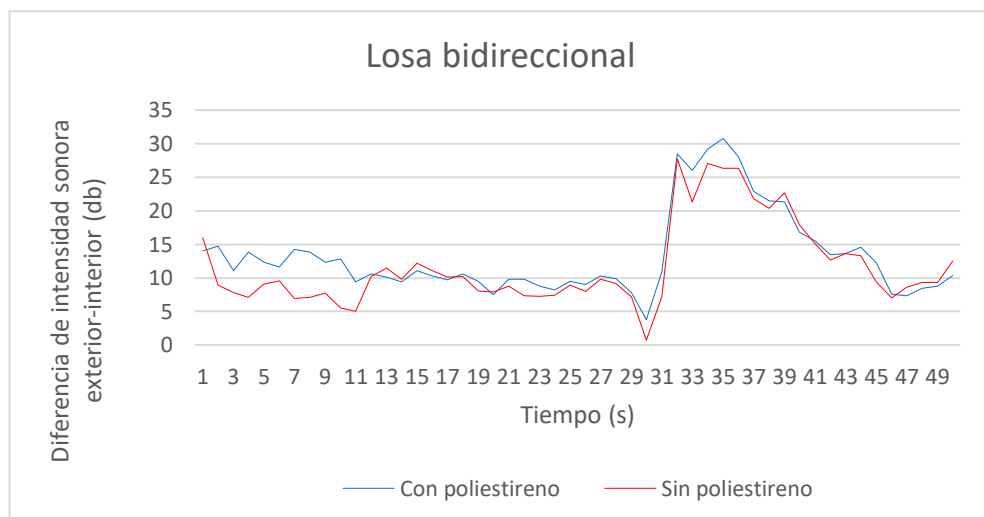


Figura 4-16 Diferencia acústica entre las losas bidireccionales
Fuente: Autores

Después de mostrar todos los resultados, podemos darnos cuenta que se ha analizado de la siguiente manera; primero, se empezó mostrando las gráficas de la medición exterior-interior, con la intención de mostrar la diferencia acústica de los dos receptores exterior e interior separados únicamente por la losa.

Como segundo punto se muestran en la Figura 4-13 Diferencia de intensidad sonora de la losa maciza, unidireccional y bidireccional con poliestireno, las diferencias de sonido (exterior – interior) de los dos modelos propuestos en incluyendo la losa maciza tradicional, en esta grafica es fácil darse cuenta que la losa que tienen una mayor diferencia acústica, por lo tanto un mayor aislamiento de sonido, es la propuesta de losa micro nervada bidireccional.

De la misma manera al sacar los promedios de todos los datos medidos con el sonómetro, el promedio de la losa bidireccional es mayor, seguido por la unidireccional y por último la losa maciza. Como tercer y último punto se analizó la influencia del poliestireno en las losas propuestas evidenciando en las dos tablas finales que las losas con poliestireno tienen tendencia a un mejor comportamiento acústica.

4.4 Resultados del ensayo de temperatura

El último de los ensayos no destructivos, es el de temperatura, se ha realizado una prueba midiendo la diferencia de cada una de las losas para saber cuál aísla de mejor manera la temperatura, todas las losas han sido probadas en condiciones semejantes.

La prueba se realizó de la siguiente manera; el día lunes 29 de julio del 2019 con una temperatura ambiente de 19° C, se usó el mismo cajón utilizado en las pruebas de sonido, exponiéndolo al sol y tomando las medidas de temperatura en la superficie interior y exterior de la losa, para dar inicio, se tomaron medidas de la temperatura inicial, interior y exterior, al paso de 30 minutos, exactamente cronometrados se tomó nuevamente una temperatura final, interior y exterior. Todas las medidas de temperatura fueron medidas con un termómetro laser el cual mide la temperatura de las superficies apuntadas.

Tabla 4-11 Diferencia del gradiente térmico de la losa maciza

Losa maciza			
	Condición	Grados °c	Diferencia
Inicio	Temperatura interior	20.1	-
	Temperatura exterior	21	
Fin	Temperatura interior	25.5	8.1
	Temperatura exterior	33.6	

Fuente: Autores

Tabla 4-12 Diferencia del gradiente térmico de la losa maciza

Losa unidireccional			
	Condición	Grados °c	Diferencia
Inicio	Temperatura interior	24.2	-
	Temperatura exterior	20	
Fin	Temperatura interior	23.1	6
	Temperatura exterior	29.1	

Fuente: Autores

Tabla 4-13 Diferencia del gradiente térmico de la losa maciza

Losa bidireccional			
	Condición	Grados °c	Diferencia
Inicio	Temperatura interior	23.1	-
	Temperatura exterior	21	
Fin	Temperatura interior	22.8	7.9
	Temperatura exterior	30.7	

Fuente: Autores

Para analizar los datos obtenidos hemos usado la gradiente de temperatura externa interna para así tener una idea de cuál de estas genera mayor diferencia de temperatura, comparando cual de todas genera mayor temperatura, es claro que la losa maciza es la que más aísla la temperatura, seguida de la losa bidireccional y en último lugar la losa unidireccional.

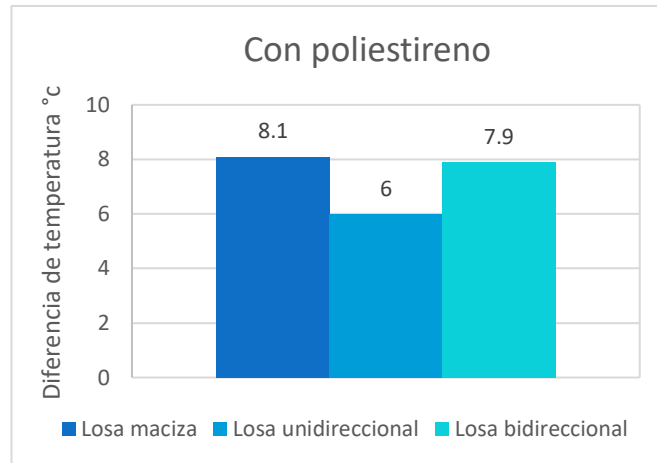


Figura 4-17 Diferencia del gradiente térmico de la losa maciza, unidireccional y bidireccional
Fuente: Autores

4.5 Resultados del ensayo de resistencia a flexión

El ensayo de flexión se realizó el día 5 de agosto del 2019, a los 14 días de haber fundido los elementos, previo a esto se efectuó un control de la resistencia a compresión del hormigón “fc”, mediante ensayos.

Los ensayos a compresión del hormigón se realizaron con la finalidad de asegurar una resistencia óptima a compresión del hormigón según su diseño, mostrado en el anexo 1. Es de suma importancia garantizar una resistencia esperada del hormigón a compresión “fc”, puesto que así garantizamos que los elementos no fallan debido a una mala dosificación, mala fundición o mal curado, temas tratados en el tercer capítulo.

Después de asegurarnos de que la resistencia del hormigón a compresión nos ha dado resultados positivos tanto a los 7 como a los 14 días, se ha procedido al desarrollo del ensayo a flexión a los dos elementos propuestos incluyendo la losa maciza.

4.5.1 Resultados del ensayo a compresión del hormigón

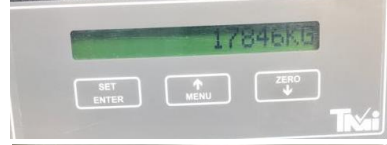
El ensayo se ha realizado con 4 especímenes estándar, cilindros de 10x20 cm, han sido rotos dos a los 7 días y dos más a los 14, el último ensayo a compresión se lo llevo a cabo el mismo día del ensayo a flexión. Todo este procedimiento ha sido descrito ya en el segundo capítulo con la correspondiente normativa. A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 4-14 Dimensiones de los especímenes para el ensayo a compresión del hormigón

Dimensiones del espécimen	
Diámetro (cm)	10
Altura (cm)	20
Área transversal (cm ²)	78.5

Fuente: Autores

Tabla 4-15 Tabla de carga aplicada en los cilindros del ensayo a compresión

Edad de cilindros	Número de Cilindro	Foto de la carga aplicada
7 días	Cilindro # 1	
	Cilindro # 2	
14 días	Cilindro # 3	
	Cilindro # 4	

Fuente: Autores

Con las dos medidas de la carga aplicada a los especímenes, se ha calculado su resistencia a compresión, tal como explica la norma, obteniendo una media con los dos resultados, mostrados a continuación en la Tabla 4-16 Resultados de los ensayos a compresión a los 7 y 14 días.

Tabla 4-16 Resultados de los ensayos a compresión a los 7 y 14 días

Edad de cilindros	f'c (kg/cm ²)
7 días	210.87
14 días	285.75

Fuente: Autores

Los datos obtenidos de los ensayos de compresión se han comparado con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, obteniendo resultados positivos, cumpliendo con la resistencia estipulada en dicha tabla a los 7 y 14 días, esto nos da la seguridad que el diseño de la dosificación del hormigón ha sido un éxito y los elementos no fallaran una mala dosificación del hormigón.

Tabla 4-17 Resistencia del hormigón de cemento Portland en días de curado

Resistencia del hormigón de cemento Portland en días de curado				
Días	% de resistencia	300 kg/cm ²	350 kg/cm ²	320 kg/cm ²
7	60%	180	210	192
14	77%	231	270	246.6

Fuente: Tabla de resistencia del hormigón usada en laboratorio de ingeniería civil Universidad del Azuay

4.6 Resultados del ensayo a flexión

El último ensayo realizado es el más relevante, probando los elementos propuestos a flexión, con la finalidad de conseguir su curva de fuerza aplicada vs deformación. El ensayo a flexión se llevó a cabo el día lunes 5 de agosto del 2019, a los catorce días de la fundición de los elementos, en el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad del Azuay, todo el procedimiento de dicho ensayo ha sido explicado ya en el segundo capítulo.

Al desarrollar el ensayo, se incrementa gradualmente la carga aplicada al tercio de los apoyos, en el transcurso de aplicación de carga aparecen ciertos patrones de fisuras, los cuales nos dan una idea muy clara del comportamiento de los elementos sometidos al ensayo, en las figuras de fuerza vs deformación de los elementos propuestos están señalados los puntos en los que las fisuras por flexión aparecen y más adelante las fisuras de cortante, para tener una idea del funcionamiento interno del elemento.

En los resultados que se muestran a continuación de cada uno de los elementos ensayados se hace un análisis del patrón de fisuras que aparecen a lo largo del ensayo y se muestra además su correspondiente gráfico fuerza vs deformación.

4.6.1 Ensayo a flexión losa maciza

El primer elemento sometido al ensayo de flexión fue la losa maciza, se ha colocado el elemento en la prensa como se muestra en Figura 4-18 Ensayo a flexión de la losa maciza dejando la carga aplicada al tercio de los apoyos como ya ha sido especificado.

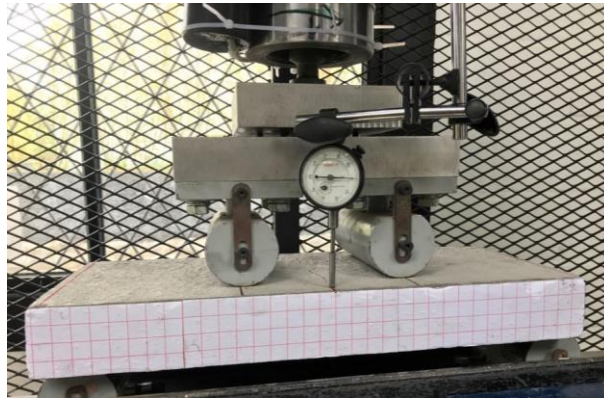


Figura 4-18 Ensayo a flexión de la losa maciza
Fuente: Autores

En la parte lateral de la losa maciza se puede apreciar fisuras por flexión y por corte, se las ha marcado de color rojo las fisuras de flexión y de color verde las fisuras por corte, finalmente el elemento falla por cortante, debido a su geometría. Esto se aprecia en la Figura 4-19 Patrón de fisuras de la losa maciza, vista lateral.



Figura 4-19 Patrón de fisuras de la losa maciza, vista lateral
Fuente: Autores

En la parte superior de la losa se aprecian únicamente fisuras producidas por flexión, marcadas de la misma manera con color rojo. Figura 4-20 Patrón de fisuras de la losa maciza, vista en planta.



Figura 4-20 Patrón de fisuras de la losa maciza, vista en planta
Fuente: Autores

En la Figura 4-21 Grafica fuerza-deformación de la losa maciza, se muestra la fuerza a la cual el elemento fallaría, teniendo como resultado una fuerza ultima de 841 kg, se especifica además la fuerza de diseño para la que fue modelada en el software comercial fuerza de diseño de 85.3 kg y la fuerza de agrietamiento del hormigón de 591 kg, en la gráfica de fuerza deformación apreciamos que el elemento sometido al ensayo de flexión falla mucho después que todas estas.

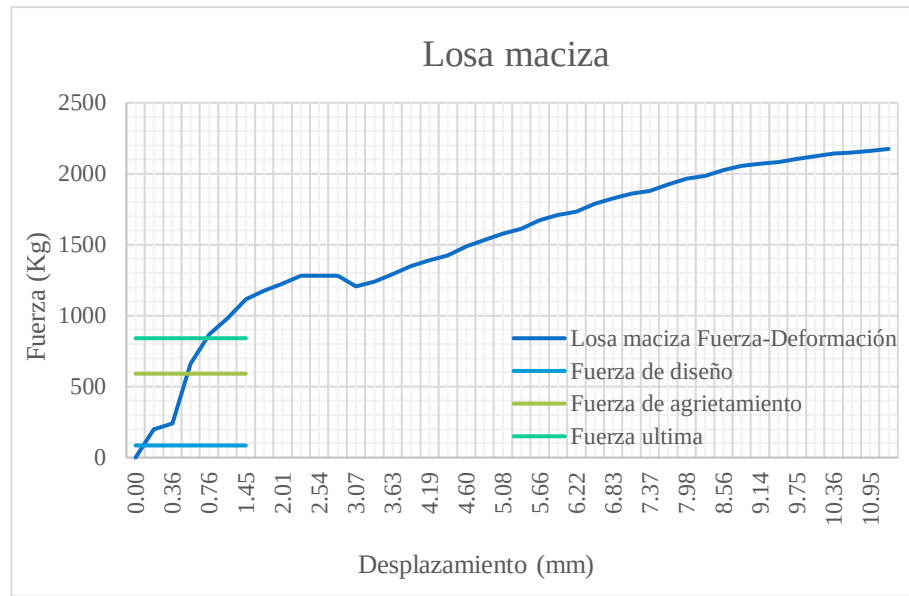


Figura 4-21 Grafica fuerza-deformación de la losa maciza
Fuente: Autores

4.6.2 Ensayo a flexión losa unidireccional

La losa unidireccional ha sido colocada de la misma forma que la anterior según lo especificado en el ensayo a flexión, como se muestra en la Figura 4-22 Ensayo a flexión de la losa unidireccional.

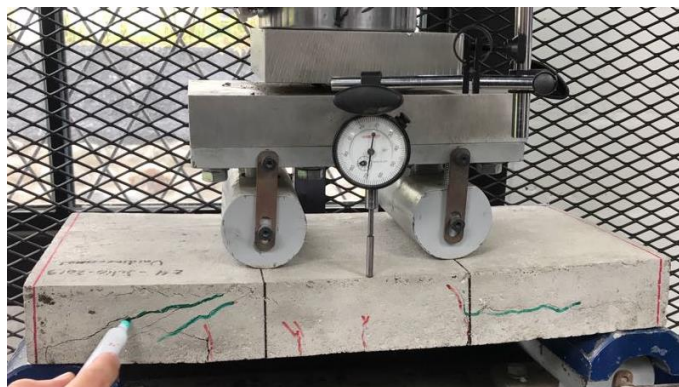


Figura 4-22 Ensayo a flexión de la losa unidireccional
Fuente: Autores

En el caso de la losa unidireccional se presentaron fallas similares a los de la losa maciza, se pudo constatar que los primeros patrones en aparecer fueron por flexión y seguidos por los patrones de cortante. Se puede destacar en los patrones de fallas una grieta perpendicular a la sección, la cual, según analizamos es provocada por la insuficiencia de recubrimiento del acero de refuerzo.



Figura 4-23 Patrón de fisuras de la losa unidireccional, vista lateral
Fuente: Autores

Las grietas encontradas en la parte inferior de la viga, se deben la mayor parte a flexión con color rojo y las demás a cortante con color verde, evidenciamos que las grietas a flexión se desarrollan en toda la sección pero no llegan a generarse hasta la cara superior de la misma, por otra parte, las grietas a cortante son las que aparecieron posteriormente desarrollándose en casi toda la sección de la viga, por lo tanto podemos concluir que el elemento falla por corte.



Figura 4-24 Patrón de fisuras de la losa unidireccional, vista en planta
Fuente: Autores

En la gráfica de fuerza vs deformación de la losa unidireccional han sido marcados de la misma forma que en la gráfica de la losa maciza la fuerza ultima, fuerza de agrietamiento y fuerza de diseño, podemos asegurar que la fuerza para la que fue modelado el elemento esta mucho antes de su falla en incluso de la aparición del agrietamiento del hormigón.

Se han marcado además dos puntos fundamentales para su análisis, el punto en el que durante el ensayo a flexión aparecen las grietas por flexión y corte, para poder compararlas con las fuerzas de diseño admitidas por el elemento.

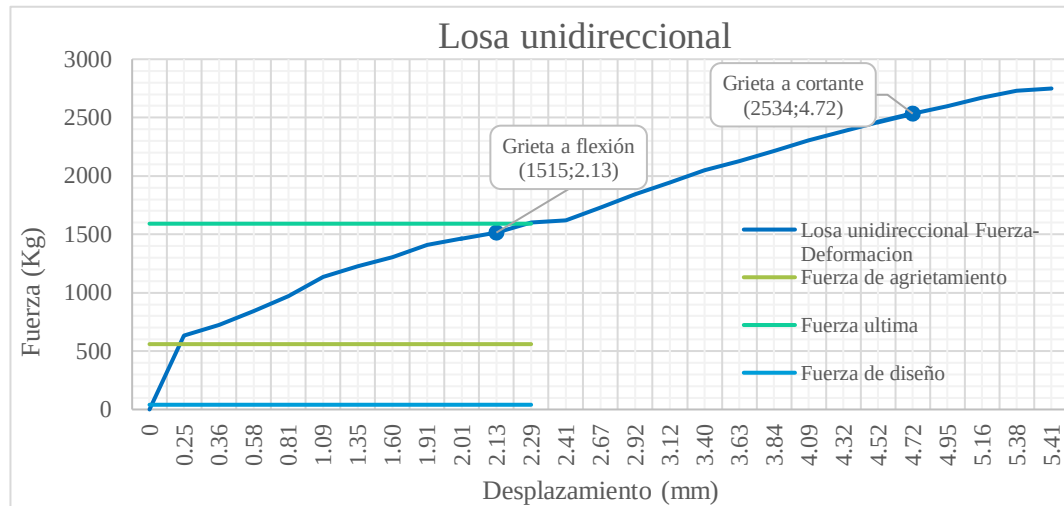


Figura 4-25 Gráfica fuerza-deformación de la losa unidireccional
Fuente: Autores

4.6.3 Ensayo a flexión losa bidireccional

Para la colocación del elemento ensayado a flexión se llevó el mismo procedimiento que los dos anteriores como se muestra en la Figura 4-26 Ensayo a flexión de la losa bidireccional.



Figura 4-26 Ensayo a flexión de la losa bidireccional
Fuente: Autores

Como se ha descrito en los dos ensayos anteriores en el de la losa bidireccional se aprecia los mismos patrones de carga, de rojo los que son producidos por flexión y verde los de cortante, como se puede ver las grietas de flexión no se presentaron completamente, mientras que las grietas por cortante se desarrollaron en su totalidad, fracturando el elemento.



Figura 4-27 Patrón de fisuras de la losa, vista lateral
Fuente: Autores

En la Figura 4-29 Patrones de fisuras parte inferior losa bidireccional, el patrón por flexión recorre toda la sección del elemento, pero sin llegar a desarrollarse completamente hacia la cara superior, por otro lado, el patrón de cortante llega a ser el que produce el elemento se fracture.



Figura 4-29 Patrones de fisuras parte inferior losa bidireccional
Fuente: Autores

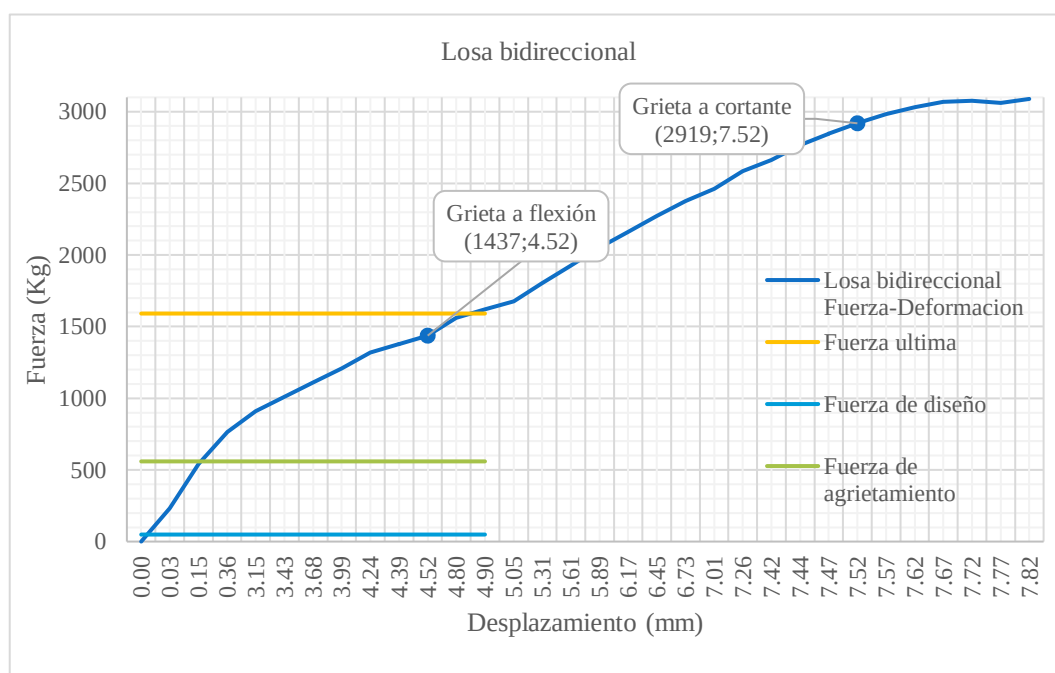


Figura 4-28 Grafica fuerza-deformación de la losa bidireccional
Fuente: Autores

En la gráfica correspondiente a la losa bidireccional se han marcado la fuerza de fallo, fuerza de agrietamiento del hormigón, fuerza de diseño y además los puntos en los que se dan las grietas a flexión y cortante.

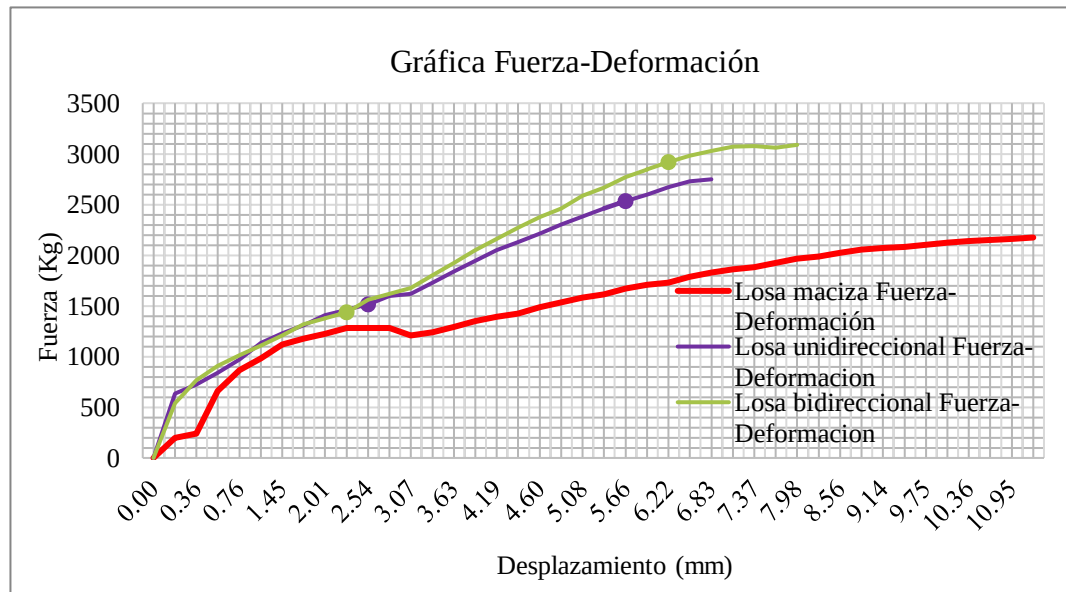


Figura 4-30 Grafica fuerza-deformación de la losa maciza, unidireccional y bidireccional
Fuente: Autores

4.7 Conclusiones y recomendaciones

4.7.1 Conclusiones

Analizando las características de los dos elementos propuestos, tomando en cuenta que la sección tradicional ha sido reducida mediante las micro nervaduras se llega a obtener algunas ventajas a favor de las nuevas propuestas. Principalmente se ha reducido el peso, mermándolo con relación a la loseta maciza un 10% en el caso de la propuesta unidireccional y un 3.4% para el caso de la propuesta bidireccional, además en ambos casos se ha ganado inercia lo cual es de suma importancia para la rigidez de dichos elementos aportando directamente a su comportamiento estructural.

En cuanto al tema acústico abarcado en nuestro análisis, la losa de mejor comportamiento es la bidireccional, esta genera una mayor diferencia de sonido entre el recinto exterior y el interior, confirmando así su buen comportamiento acústico, la losa que le sigue en comportamiento acústico es la unidireccional y por último la losa maciza, por ende, podemos asegurar un comportamiento acústico positivo para las nuevas propuestas de losetas de compresión micro nervadas. Entre las dos propuestas de loseta se puede evidenciar una diferencia acústica de un 0.38% lo cual es insignificante, sabiendo que ambas superaron el comportamiento de la losa maciza tradicional. Además, en la gráfica comparativa de las losas con poliestireno y sin poliestireno nos damos cuenta que no hay mayor diferencia entre estas, es decir el poliestireno no ha aportado significativamente.

Térmicamente la loseta con mejores resultados fue la maciza siendo superior a las dos propuestas, siendo la que mayor temperatura aísla.

Si tomamos en cuenta las diferentes cargas normadas en nuestro país, a las cuales estará expuesta una losa y probamos mediante una carga uniformemente distribuida de 2 kN/m² equivalente a una carga intermedia, puesto que es una carga residencial, como lo hemos hecho en esta investigación, observamos excelentes resultados, en la gráfica fuerza vs deformación de las dos propuestas analizando que dicha carga de diseño está muy por debajo de las cargas que comprometerían a la propuesta.

En la gráfica fuerza vs deformación de las tres losetas juntas se puede evidenciar que las tres losetas tienen un comportamiento similar en el rango lineal, para las solicitaciones expuestas en nuestro trabajo de titulación, por lo tanto, llegamos a la conclusión que la losa unidireccional en relación al peso, facilidad constructiva y su comportamiento estructural, es la idónea para las solicitaciones de trabajo a la que va a estar expuesta.

4.7.2 Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- Para la construcción de los encofrados, en caso de ser de madera, deberá tener un ángulo mínimo para su correcto desmoldado, caso contrario, se podrá utilizar poliestireno, evitando su extracción; en nuestro trabajo de titulación se probaron ambas alternativas, teniendo resultados positivo con el poliestireno ya que al utilizar madera su desencofrado causó daño al elemento fundido.
- Se debe aplicar un curado inmediato, después del fraguado inicial, debido a que los elementos propuestos son de dimensiones pequeñas, ya que podrían generarse fisuras.
- Para futuras pruebas de investigación, sería una buena opción, con el fin de afinar aún más las condiciones de los ensayos, disminuir la sección de los nervios de 3 cm y colocar el acero de refuerzo en la parte inferior del nervio, obteniendo un comportamiento óptimo a flexión.
- Se deberá tomar precaución en el diseño a cortante de la sección, colocando acero de refuerzo a cortante, para que así el ensayo a flexión sea óptimo, dado que, las losa maciza, unidireccional y bidireccional su falla primordial en sollicitaciones extremas fue la de cortante.

BIBLIOGRAFÍA

- (INEN), N. T. E. (2017). *NTE INEN 102)VARILLAS CORRUGADAS Y LISAS DE ACERO AL CARBONO LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGÓN ARMADO. REQUISITOS*. 10. Retrieved from www.normalizacion.gob.ec
- (MIDUVI), M. de desarrollo U. y V., & (CAMICOM), C. de la I. de la C. (2014). Estructuras de hormigón armado. In *Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)*.
- ACI 211, A. C. I. (2002). *211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009)* (Vol. 1).
- American Concrete Institute. (n.d.). Retrieved July 30, 2019, from <https://www.concrete.org/>
- American Concrete Institute. (2014). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.(ACI 318S-14). *Standard Building Code*.
- American Society of Testing Materials (ASTM C 78 /C78M-18). (2018). *ASTM C 78 /C78M-18 Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón (Usando una viga simple con carga en los tercios)*. 5. Retrieved from www.astm.org
- American Society of Testing Materials (ASTM C39 / C39M-05). (2008). *ASTM (C-39/C39M-03) Método de prueba estandar para la resistencia a la compresión de especímenes de concreto cilindricos*. 5. Retrieved from www.astm.org
- Antuña, J., Vázquez, M., Salcedo Jimenez, T. K., Orozco Arroyo, J., Juan Emilio, O. G., González Cuevas, O. M., ... Construcción, (MIDUVI) Ministerio de desarrollo Urbano y La Vivienda (CAMICOM) Camara de la Industria de. (2014). Escuela industrial superior. *Hormigón Armado, Fabricación de Hormigón y Control de Calidad En Estado Fresco.*, 64(PROYECTO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y FINANCIERA DEL CULTIVO DE OSTRA DEL PACÍFICO EN LA PARROQUIA MANGLARALTO, CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA), 230. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.90.4.644>
- Bozzo, L., & Barbat, A. (1995). *Diseño sísmico de edificios de hormigón armado* (1st ed.). Barcelona-España.
- Computers & Structures Inc. (2004). CSI Analysis Reference Manual. In *Computers & Structures Inc.*
- Cormac, M., Jack, Brown, & Russell. (2011). *Diseño de concreto reforzado* (M. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Ed.). Mexico.
- García Pérez, J. (2004). *Diseño de hormigones dirigido a la aplicación*.
- González Cuevas, O. M., & Fernández Villegas, F. R. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado* (4a ed.). Retrieved from [http://ciczac.org/Documentos pdf/Manuales y Aplicaciones/Manuales y aplicaciones de Interes/CONCRETO CUEVAS ULTIMO.pdf](http://ciczac.org/Documentos/pdf/Manuales%20y%20Aplicaciones/Manuales%20y%20aplicaciones%20de%20Interes/CONCRETO%20CUEVAS%20ULTIMO.pdf)
- Holmgren, A., Cavieres, G., & Cepeda, R. (2005). *LA IMPORTANCIA DE UN*

CORRECTO CURADO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN, XV Jornadas Chilenas del Hormigón. Retrieved from <http://andescura.cl/pdf/curado-de-hormigon.pdf>

- Nápoles, N., Beatón Soler, P., Cruz Baranda, S., & Álvarez González, I. (2007). La investigación científica y el aprendizaje social para la producción de conocimientos en la formación del ingeniero civil . Scientific research and social learning to the production of knowledge on the formation of civil engineer. *Ingeniería*, Vol. 11, Núm. 2 *Universidad Autónoma de Yucatán*, 11, 39–47.
- Nilson, A. H. (1999). Sistemas de construcción para edificios de concreto. In *Diseño de estructuras de concreto*. (14th ed.). <https://doi.org/10.1006/prep.2002.1627> \rS104659280291627X [pii]
- Normas Ecuatorianas de Construcción – Cevaconsult. (n.d.). Retrieved July 30, 2019, from <https://www.cevaconsult.com/2018/05/03/normas-ecuatorianas-de-la-construccion/>
- Romo Proaño, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado*. Quito.
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología Del Concreto y Del Mortero* (5th ed.; Bhandar Editores LTDA, Ed.). Santafé de Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Ingeniería.

ANEXOS

Anexo I: Diseño de la dosificación para el hormigón

Para el diseño de la mezcla del hormigón usado en los diferentes elementos propuestos, se utilizó el método del American Concrete Institute (ACI 211, 2002), el cual según (García Pérez, 2004) es “sin lugar a dudas, el método de dosificación más utilizado en todo el mundo, siendo adecuado para cualquier obra realizada con hormigón”, todo el procedimiento para la obtención del peso exacto de los agregados, tanto finos como gruesos, el cemento y agua se llevó a cabo siguiendo paso a paso el proceso del ACI 211.1.

Se ha usado un método semi empírico, ya que, las características de los áridos no se las ha estudiado, sino que, las propiedades de los mismos se han obtenido de los datos existentes de donde se los ha conseguido además de la experiencia del Ingeniero Vladimir Carrasco.

Se plantean las siguientes especificaciones para el hormigón deseado:

Una resistencia característica del hormigón de 320 kg/cm² con un agregado de 3/8, debido al recubrimiento y al espaciamiento planificado del refuerzo. Se usará un cemento marca Holcim Tipo GU y agua potable del municipio de Cuenca. El agregado fino y grueso será ocupado de la fábrica RFV prefabricados, por lo tanto, se conocen todas sus propiedades.

Para el proceso de cálculo se han seguido los pasos del procedimiento de diseño basado en el ACI 211.1-91 especificados en el libro Tecnología del concreto y del mortero (Sanchez, 2001) :

- Selección del asentamiento
- Selección del tamaño máximo de agregado
- Estimación del contenido de aire
- Estimación del contenido de agua de mezclado
- Determinación de la resistencia de diseño
- Selección de la relación agua – cemento
- Cálculo del contenido de cemento
- Estimación de las proporciones de agregados
- Ajuste por humedad de los agregados

Selección del asentamiento:

Tabla 0-1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción del ACI 211.1 - 91

Tipo de Construcción	Revenimiento	
	Máximo	Mínimo
Muros de subestructura sencillos, zapatas, muros y cajones de cimentación	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Fuente: ACI 211.1 - 91 - Tabla 6.3.1; Diseño de mezclas de concreto

Según la Tabla 0-1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción del ACI 211.1 - 91 para pavimentos y losas se debe tomar un asentamiento máximo de 7.5 cm pero ya que no se va a vibrar por ningún medio mecánico se le debe agregar 2.5 cm más, según lo especificado en la norma (ACI 211, 2002) y además según experiencia se ha optado por un asentamiento de 14 cm para lo cual será diseñado nuestro hormigón.

Selección del tamaño máximo de agregado:

El tamaño máximo del agregado fue elegido tomando en cuenta las características geométricas del elemento considerando que son elementos pequeños y además se ha considerado sus condiciones de recubrimiento y refuerzo. Concluyendo un tamaño máximo de agregado de 3/8 pulg, equivalente a 9.51 mm.

Estimación del contenido de aire y agua:

Tabla 0-2 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado del ACI 211.1 - 91

Revenimiento(cm)	Tamaño máximo de la grava (mm)							
	9.5	13	19	25	38	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2.5 – 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 – 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 – 17.5	243	228	216	202	190	178	160	---
Aire atrapado aprox. (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 – 5	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 – 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 – 17.5	216	205	197	174	174	166	154	---
Promedio recomendado de aire a incluir según el tipo de exposición (%)								
Exposición ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición severa	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4

Fuente: ACI 211.1 - 91 - Tabla 6.3.3; Diseño de mezclas de concreto

El contenido de aire y agua se ha conseguido de la Tabla 0-2 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos de agregado del ACI 211.1 - 91 según el asentamiento y el tipo de agregado, dándonos como resultado un contenido de aire del 3% y un contenido de agua de 231.8 kg/m³. Se debe saber que nos y considero ningún tipo de exposición para los elementos tomando en cuenta que son elementos de prueba por tanto no serán sometidos a ningún agente.

Determinación de la resistencia de diseño:

Para la elaboración del hormigón de los elementos se consideró la resistencia de diseño la misma que la resistencia característica para la que fue planteado el hormigón, es decir, de 320 kg/cm².

Determinación de la relación agua cemento:

Tabla 0-3 Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del ACI 211.1 - 91

Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento (a partir del peso)	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

Fuente: ACI 211.1 - 91 - Tabla 6.3.4(a); Diseño de mezclas de concreto

Para la encontrar la relación agua cemento hemos tomado como guía la Tabla 0-3 Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del ACI 211.1 - 91y se ha impuesto una relación básica de 0.5 a/c.

Cálculo del contenido de cemento:

A partir de los datos conseguidos en los numerales 3 y 5 se calcula la cantidad de cemento para la mezcla como se muestra a continuación, obteniendo 463.5 kg/m³ de hormigón.

$$\frac{a}{c} = 0.5$$

$$\frac{231.8}{c} = 0.5$$

$$c = 463.5 \text{ kg/m}^3$$

Estimación de las proporciones de agregados:

Tabla 0-4 Volumen de agregado grueso (m3) por volumen unitario de concreto del ACI 211.1 - 91

Tamaño máximo del agregado grueso (mm)	Módulo de finura de la arena			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5	0.5	0.5	0.5	0.4
12.5	0.6	0.6	0.6	0.5
19	0.7	0.6	0.6	0.6
25	0.7	0.7	0.7	0.7
37.5	0.8	0.7	0.7	0.7
50	0.8	0.8	0.7	0.7
75	0.8	0.8	0.8	0.8
150	0.9	0.9	0.8	0.8

Fuente: ACI 211.1 - 91 - Tabla 6.3.6; Diseño de mezclas de concreto

Para la estimación del agregado recurrimos a la Tabla 0-4 Volumen de agregado grueso (m3) por volumen unitario de concreto del ACI 211.1 - 91, teniendo en cuenta que se está trabajando con un agregado de 9.5 mm y con un módulo de finura de 2.21. Obteniendo un volumen de 0.5 m3 de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Para conseguir el agregado grueso en kg/ m3 se realizan las siguientes operaciones, sabiendo que el peso específico seco del agregado grueso es de 1600 kg/m3.

$$Ag = 0.5 \times 1600$$

$$Ag = 800 \text{ kg/m}^3$$

Obteniendo 800 kg/m3 de agregado grueso para la mezcla.

La proporción de agregado fino se calcula a partir de todos los datos anteriormente conseguidos estimando un total de agregado fino de 753.02 kg/m3.

Ajuste por humedad de los agregados:

Tomando en cuenta la humedad estimada en los áridos se realizó su debida corrección por humedad obteniendo finalmente las proporciones definitivas para los materiales utilizados en la dosificación del hormigón.

Tabla 0-5 Dosificación final del hormigón utilizado

Dosificación en peso		
Agua	189.8	Kg
Cemento	463.5	Kg
A. grueso	816.0	Kg
A. fino	788.3	Kg

/m3

Fuente: Autores