



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

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

**Propuesta y Evaluación para una Losa
Micronervada mediante el Análisis de Sección
Compuesta de Hormigón Armado y una Plancha de
Fibrocemento en lugar de la Chapa de Compresión**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES**

Autores:

KEVIN ISMAEL ASMAL PEÑA

HENRY MARCELO SINCHI JIMBO

Director:

ING. VLADIMIR CARRASCO CASTRO M.SC

CUENCA - ECUADOR

2022

DEDICATORIA

Luego de haber puesto toda mi dedicación y esfuerzo en mi carrera profesional, dedico este trabajo de titulación, en primer lugar, a Dios; por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado la fuerza suficiente para lograr cumplir con todos los objetivos que me he propuesto.

A mis padres, quienes son mi motor, mi mayor inspiración y mis pilares fundamentales en mi vida. Gracias por todo el amor, el apoyo, la paciencia y la confianza que me han brindado siempre. Les dedico todo mi esfuerzo y mis logros en reconocimientos a todo el sacrificio que han hecho desde el día uno para que pudiera estudiar y alcanzar mis metas, sin escatimar ningún tipo de esfuerzo.

Sin ustedes no estaría hoy en el lugar en el que estoy.

A mi hermano por depositar su confianza en mí y por siempre estar presente en todo momento, siendo un ejemplo a seguir y brindándome su apoyo, su ayuda y su experiencia.

Y finalmente a todos mis amigos cercanos, pues ellos han estado en las buenas y en las malas y han sido parte de todo este proceso, ya que juntos, hemos compartido alegrías, tristezas, experiencias y éxitos, dejándome anécdotas inolvidables e irrepetibles.

Ismael

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de titulación, principalmente a Dios y la Virgen del Cisne por darme esta oportunidad de vivir, iluminar mi camino, darme fuerza y bendecirme todo lo bueno en mi vida, para alcanzar todas mis metas y objetivos que me he propuesto.

A mis padres, por darme una carrera para mi futuro y que, con su amor, trabajo y sacrificio, me han permitido cumplir mi gran sueño, apoyándome con consejos e inculcándome valores y principios en mi vida durante todo este tiempo. Todo lo que he logrado y lograre será por ellos.

A mis hermanos, por estar siempre presentes conmigo, acompañándome, dándome su apoyo incondicional en todo momento y por sus palabras de aliento en los momentos difíciles.

Finalmente, a mis amigos, por compartir buenos momentos dentro y fuera de las aulas y por convivir juntos en gran parte de la carrera, apoyándonos unos a otros.

Marcelo

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestra gratitud y agradecimiento principalmente a Dios, quien nos ha permitido lograr nuestros sueños y objetivos a lo largo de nuestras vidas.

A nuestras familias, por haber estado siempre presente día a día en cada uno de nuestros pasos durante toda nuestra etapa universitaria.

A la Universidad del Azuay, especialmente a todos los docentes de la Facultad de Ciencia y Tecnología, ya que nos han acompañado durante toda nuestra formación profesional, trasmitiéndonos sus conocimientos e inculcándonos a ser mejores personas y profesionales.

Al Ingeniero Vladimir Carrasco, nuestro tutor de tesis, por darnos la confianza y la oportunidad de realizar este trabajo, brindándonos sus conocimientos, su experiencia, su tiempo y su ayuda a lo largo de este proceso.

Y a todos nuestros compañeros y amigos, con quienes compartimos muchas cosas dentro y fuera de las aulas, pues hicieron de esta etapa una de las mejores de nuestras vidas.

Ismael y Marcelo

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
INDICE DE CONTENIDO	V
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	XIV
RESUMEN	XVII
ABSTRACT	XVIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	2
GENERALIDADES	2
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Justificación	3
1.3. Antecedentes	3
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo General	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
1.5. Metodología	5
1.6. Alcance	6
1.7. Supuestos Riesgos	6
CAPITULO 2	7
MARCO TEORICO	7
2.1. Losas	7
2.1.1. Clasificación de las Losas	7

2.1.1.1.	Según la dirección de trabajo	7
2.1.1.2.	Según el tipo de apoyo	8
2.1.1.3.	Según la distribución interior del Hormigón	9
2.1.1.4.	Según su construcción	10
2.2.	Elementos Prefabricados	12
2.2.1.	Fases de construcción.....	12
2.3.	Sección Compuesta	13
2.3.1.	Vigas Compuestas	14
2.4.	Conectores de Cortante.....	14
2.4.1.	Ventajas de los Conectores de Cortante	15
2.5.	Planchas de Fibrocemento.....	15
2.5.1.	Características del Fibrocemento	16
2.5.2.	Propiedades Mecánicas	17
CAPITULO 3		18
PRUEBRAS Y ENSAYOS APLICADOS		18
3.1.	Ensayos aplicados.....	18
3.2.	Ensayos destructivos	19
3.2.1.	Resistencia a compresión.....	19
3.2.2.	Resistencia a flexión en elementos de hormigón	22
CAPÍTULO 4		25
DISEÑO Y MODELADO		25
4.1.	Introducción.....	25
4.1.1.	Norma Ecuatoriana de la Construcción.....	25
4.1.2.	American Concrete Institute (ACI).....	26
4.2.	Propuestas.....	26

4.2.1.	Dimensiones de los elementos estructurales.....	26
4.2.1.1.	Losa micronervada con tres nervios	27
4.2.1.2.	Losa micronervada con cuatro nervios	27
4.3.	Método de Diseño.....	28
4.4.	Diseño: Losa micronervada con tres nervios.....	28
4.4.1.	Diseño a flexión	28
4.4.1.1.	Datos generales	29
4.4.1.2.	Equivalencia entre módulos de elasticidad.....	30
4.4.1.3.	Determinación de las cargas vivas y muertas	32
4.4.1.4.	Cantidad de acero establecido para la propuesta y acero mínimo	36
4.4.1.5.	Fuerza última	38
4.4.1.6.	Momento de agrietamiento	41
4.4.1.7.	Cálculo de la Inercia	42
4.4.2.	Diseño a Cortante.....	44
4.4.2.1.	Verificación a cortante.....	45
4.4.2.2.	Cálculo del primer momento de área.....	46
4.4.2.3.	Cálculo de los esfuerzos horizontales.....	54
4.4.2.4.	Selección del conector a cortante.....	57
4.5.	Diseño: Losa micronervada con cuatro nervios	60
4.5.1.	Diseño a flexión	61
4.5.1.1.	Datos generales	61
4.5.1.2.	Equivalencia entre los módulos de elasticidad	62
4.5.1.3.	Determinación de las cargas vivas y muertas	63
4.5.1.4.	Cantidad de acero establecido para la propuesta y acero mínimo	65
4.5.1.5.	Fuerza última	67

4.5.1.6.	Momento de agrietamiento	68
4.5.1.7.	Cálculo de la Inercia	69
4.5.2.	Diseño a Cortante.....	70
4.5.2.1.	Verificación a cortante.....	71
4.5.2.2.	Cálculo del primer momento de área	72
4.5.2.3.	Cálculo de los esfuerzos horizontales.....	78
4.5.2.4.	Selección del conector a cortante.....	80
CAPITULO 5		83
PROCESO CONSTRUCTIVO		83
5.1.	Diseño de la dosificación para el hormigón	83
5.1.1.	Información de los materiales	83
5.1.2.	Asentamiento del hormigón.....	84
5.1.3.	Tamaño máximo del agregado	85
5.1.4.	Estimación del contenido de agua y aire	85
5.1.5.	Relación agua/cemento	86
5.1.6.	Contenido de cemento.....	87
5.1.7.	Contenido de agregado grueso	87
5.1.8.	Estimación del contenido de agregado fino	88
5.1.9.	Ajuste por humedad de los agregados	88
5.2.	Encofrado	89
5.3.	Acero de Refuerzo.....	91
5.4.	Preparación de las Planchas de Fibrocemento.....	91
5.5.	Vaciado del Hormigón	93
5.6.	Vibrado del Hormigón.....	95
5.7.	Colocación de la plancha de fibrocemento en las micronervaduras.....	96

5.8.	Toma de pruebas a compresión	97
5.9.	Curado del Hormigón	99
5.10.	Desencofrado	99
5.11.	Transporte	100
CAPITULO 6.....		101
PRUEBAS DE LABORATORIO Y RESULTADOS		101
6.1.	Características de los elementos propuestos.....	101
6.1.1.	Losa micronervada de tres nervios	101
6.1.2.	Losa micronervada de cuatro nervios	103
6.2.	Comparación de las losas propuestas	104
6.3.	Resultados del ensayo a compresión del hormigón.....	107
6.4.	Resultados del ensayo a flexión	111
6.4.1.	Ensayo a flexión de la losa micronervada de tres nervios.....	111
6.4.1.1.	Resistencia última	111
6.4.1.2.	Deformación	112
6.4.2.	Ensayo a flexión de la losa micronervada de cuatro nervios	116
6.4.2.1.	Resistencia ultima	116
6.4.2.2.	Deformación	117
6.4.3.	Comparaciones con resultados finales.....	121
CAPITULO 7.....		123
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		123
7.1.	CONCLUSIONES.....	123
7.2.	RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFÍA.....		126

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Losa en una dirección	7
Figura 2.2. Losa en dos direcciones	8
Figura 2.3. Losa sustentada por vigas	8
Figura 2.4. Losa plana con capitel	9
Figura 2.5. Losa Maciza.....	9
Figura 2.6. Losa Nervada	10
Figura 2.7. Losa vaciada In Situ.....	11
Figura 2.8. Losas prefabricadas	11
Figura 2.9. Losas compuesta Acero - Concreto	13
Figura 2.10. Vigas Compuestas	14
Figura 3.1. Maquinaria para el ensayo a compresión del hormigón	20
Figura 3.2. Diagrama de un equipo adecuado para el ensayo de flexión pura del concreto usando una viga cargada en el centro de la luz.	23
Figura 4.1. Propuesta de losa micronervada de tres nervios	27
Figura 4.2. Propuesta de losa micronervada de tres nervios.....	27
Figura 4.3. Sección transversal de un nervio	30
Figura 4.4. Sección transversal compuesta con el ancho equivalente de la losa	32
Figura 4.5. Sección transversal compuesta con el acero de refuerzo (varilla).....	37
Figura 4.6. Diagrama de Whitney de la sección	38
Figura 4.7. Sección transversal dividida en dos figuras conocidas.....	42
Figura 4.8. Sección transversal compuesta dividida en dos figuras conocidas.....	47
Figura 4.9. Sección transversal con cotas de los centroides de cada figura.....	48
Figura 4.10. Sección transversal compuesta con cotas del centro de gravedad.....	49
Figura 4.11. Cortante máximo en el punto A de la sección transversal compuesta...	50

Figura 4.12. Cortante máximo en el punto B y C de la sección transversal	51
Figura 4.13. Cortante máximo en el punto D de la sección transversal compuesta...	51
Figura 4.14. Cortante máximo en el punto E de la sección transversal compuesta ...	52
Figura 4.15. Cortante máximo en el punto F de la sección transversal compuesta ...	52
Figura 4.16. Cortante máximo en el punto G de la sección transversal compuesta...	53
Figura 4.17. Cortante máximo en el punto H de la sección transversal compuesta...	53
Figura 4.18. Cortante máximo en el punto I de la sección transversal compuesta	54
Figura 4.19. Diagrama de esfuerzos cortantes en los puntos analizados	57
Figura 4.20. Anclaje Atornillable KWIK-CON II+ para concreto y mampostería....	58
Figura 4.21. Diseño definitivo de la losa con tres nervios	60
Figura 4.22. Sección transversal de un nervio	62
Figura 4.23. Sección transversal compuesta con el ancho equivalente de la losa	63
Figura 4.24. Sección transversal compuesta con varilla de la losa micronervada	66
Figura 4.25. Diagrama de Whitney de la sección	67
Figura 4.26. Sección transversal dividida en 2 figuras conocidas	69
Figura 4.27. Sección transversal compuesta dividida en 2 figuras conocidas	72
Figura 4.28. Sección transversal con cotas de los centroides de cada figura.....	73
Figura 4.29. Sección transversal compuesta con cotas del centro de gravedad.....	73
Figura 4.30. Cortante máximo en el punto A de la sección transversal compuesta...	74
Figura 4.31. Cortante máximo en el punto B y C de la sección transversal	74
Figura 4.32. Cortante máximo en el punto D de la sección transversal compuesta...	75
Figura 4.33. Cortante máximo en el punto E de la sección transversal compuesta ...	75
Figura 4.34. Cortante máximo en el punto F de la sección transversal compuesta ...	76
Figura 4.35. Cortante máximo en el punto G de la sección transversal compuesta...	76
Figura 4.36. Cortante máximo en el punto H de la sección transversal compuesta...	77

Figura 4.37. Cortante máximo en el punto I de la sección transversal compuesta	77
Figura 4.38. Diagrama de esfuerzos cortantes en los puntos analizados en la sección transversal compuesta de la losa micronervada con cuatro nervios.....	80
Figura 4.39. Anclaje Atornillable KWIK-CON II+ para concreto y mampostería....	80
Figura 4.40. Diseño definitivo de losa con cuatro nervios.....	82
Figura 5.1. Marcos para el encofrado de las losas	89
Figura 5.2. Encofrado de losa con tres nervios	90
Figura 5.3. Encofrado de losa con cuatro nervios	90
Figura 5.4. Modelo del acero de refuerzo	91
Figura 5.5. Proceso constructivo para la chapa de compresión	92
Figura 5.6. Plancha de fibrocemento con conectores para la losa de tres nervios	92
Figura 5.7. Plancha de fibrocemento con conectores para la losa de cuatro nervios .	93
Figura 5.8. Preparación de la mezcla de hormigón	94
Figura 5.9. Vertido de la mezcla de hormigón a una carretilla	94
Figura 5.10. Proceso de vaciado del hormigón	95
Figura 5.11. Vibrado del hormigón.....	96
Figura 5.12. Colocación de la plancha de fibrocemento.....	96
Figura 5.13. Vertido del hormigón en tres capas	97
Figura 5.14. Compactación de los cilindros.....	98
Figura 5.15. Resultado de la toma de muestras de los cilindros de hormigón.....	98
Figura 5.16. Curado de los cilindros de hormigón.....	99
Figura 5.17. Desencofrado de las losas micronervadas	100
Figura 5.18. Transporte de las losas.....	100
Figura 6.1. Vista frontal de la losa micronervada de tres nervios.....	102
Figura 6.2. Vista inferior de la losa micronervada de tres nervios	102
Figura 6.3. Vista frontal de la losa micronervada de cuatro nervios.....	103

Figura 6.4. Vista inferior de la losa micronervada de cuatro nervios	103
Figura 6.5. Propuesta definitiva de la losa micronervada de 3 nervios.....	105
Figura 6.6. Propuesta definitiva de la losa micronervada de 3 nervios.....	107
Figura 6.7. Probetas cilíndricas	107
Figura 6.8. Colocación de las probetas cilíndricas en la prensa hidráulica.....	108
Figura 6.9. Aplicación de la carga en los cilindros de concreto	109
Figura 6.10. Cálculo de la resistencia de un cilindro de concreto.....	110
Figura 6.11. Instalación de las losas de tres nervios en la prensa hidráulica	112
Figura 6.12. Losa # 1 (tres nervios). Carga aplicada y fisuras originadas	113
Figura 6.13. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 1 de tres nervios	113
Figura 6.14. Grietas originadas en la losa # 2 de tres nervios.....	114
Figura 6.15. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 2 de tres nervios.	114
Figura 6.16. Losa # 3 (tres nervios). Carga aplicada y fisuras originadas	115
Figura 6.17. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 3 de tres nervios	115
Figura 6.18. Grafica fuerza vs deformación de todas las losas de tres nervios.....	116
Figura 6.19. Instalación de las losas de tres nervios en la prensa hidráulica	117
Figura 6.20. Grietas formadas en la losa # 1 de cuatro nervios.	118
Figura 6.21. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 1 de cuatro nervios	118
Figura 6.22. Losa # 2 (cuatro nervios). Carga aplicada y fisuras originadas	119
Figura 6.23. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 2 de cuatro nervios.....	119
Figura 6.24. Grietas de la losa # 3 de cuatro nervios	120
Figura 6.25. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 3 de cuatro nervios	120
Figura 6.26. Gráfica fuerza vs deformación de todas las losas de cuatro nervios. ..	121
Figura 6.27. Grafica fuerza vs deformación de las dos propuestas de losas.....	122

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Descripción de las planchas de fibrocemento de la marca Eterboard.....	16
Tabla 2.2. Propiedades Físico-Mecánicas de las planchas de fibrocemento.....	17
Fuente: Elaboración propia a partir de la Ficha Técnica Fibrocemento, 2018	17
Tabla 3.1. Edades de ensayos y tolerancias admisibles	20
Tabla 4.1. Datos generales	29
Tabla 4.2. Pesos unitarios de materiales de construcción.	33
Tabla 4.3. Valores de las cargas muertas de la losa micronervada de tres nervios....	34
Tabla 4.4. Sobrecargas uniformemente distribuidas	40
Tabla 4.5. Ficha técnica de separaciones y longitud del tornillo para planchas de fibrocemento	59
Tabla 4.6. Capacidad máxima de los conectores anclados al hormigón, de acuerdo a su resistencia a la compresión	59
Tabla 4.7. Datos generales de la losa con 4 nervios.....	61
Tabla 4.8. Valores de las cargas muertas de la losa de cuatro nervios	64
Tabla 4.9. Ficha técnica de separaciones y longitud del tornillo para planchas de fibrocemento	81
Tabla 5.1. Propiedades de los Materiales.....	84
Tabla 5.2. Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción	84
Tabla 5.3. Contenido de agua sin aire	85
Tabla 5.4. Contenido de agua con aire.....	86
Tabla 5.5. Relación agua/cemento	86
Tabla 5.6. Contenido de agregado grueso	87
Tabla 5.7. Contenido de agregado fino	88
Tabla 5.8. Dosificación final del hormigón	88

Tabla 6.1. Dimensiones definitivas de la losa micronervada.....	101
Tabla 6.2. Dimensiones definitivas de la losa micronervada.....	103
Tabla 6.3. Volumen total del material de las losas con tres y cuatro nervios	104
Tabla 6.4. Peso y promedio de las losas micronervadas con tres nervios.....	106
Tabla 6.5. Peso y promedio de las losas micronervadas con cuatro nervios	106
Tabla 6.6. Dimensiones y pesos de las probetas cilíndricas	108
Tabla 6.7. Dimensiones y peso de las probetas cilíndricas	109
Tabla 6.8. Resistencias de cada cilindro	110
Tabla 6.9. Resistencias de las losas micronervadas de tres nervios.....	112
Tabla 6.10. Resistencias de las losas micronervadas de cuatro nervios.....	117
Tabla 6.11. Comparación entre las 2 propuestas en base a las fuerzas que resisten.	122

Propuesta y Evaluación para una Losa Micronervada mediante el análisis de Sección Compuesta de Hormigón Armado y una Plancha de Fibrocemento en lugar de la Chapa de Compresión

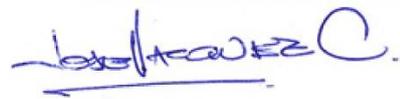
RESUMEN

La necesidad de innovar cada día en el ámbito de la Ingeniería Civil, nos lleva a ofrecer nuevas alternativas de diseño y construcción. Para el presente trabajo de titulación, se presentó dos propuestas de losas micronervadas de hormigón armado, de tres y cuatro nervios, cada una de ellas con dimensiones y separaciones previamente establecidas, y en lugar de hormigón como chapa de compresión, se colocó una plancha de fibrocemento mediante conectores. Para el diseño de estas propuestas, se realizaron los respectivos cálculos mediante el análisis de sección compuesta, posteriormente, se construyeron las propuestas en físico y se aplicaron las diferentes pruebas en laboratorio. Se estudiaron y analizaron los resultados obtenidos, con el objetivo de ver la eficiencia en cuanto a resistencia de estas nuevas alternativas de construcción.

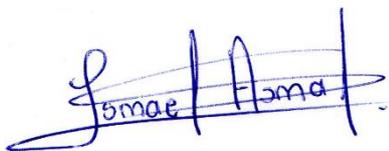
Palabras clave: conectores, elementos prefabricados, ensayo a flexión, hormigón, losa micronervada, plancha de fibrocemento.



Ing. Vladimir Eugenio Carrasco M.Sc
Director del Trabajo de Titulación



Ing. José Fernando Vázquez M.Sc
Director de la Escuela



Kevin Ismael Asmal Peña



Henry Marcelo Sinchi Jimbo

Autores

Proposal and Evaluation for a Microribbed Slab through the analysis of the Composite Section of Reinforced Concrete and a Fibercement Sheet instead of the Compression Layer

ABSTRACT

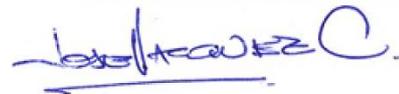
The need to innovate every day in the field of Civil Engineering leads us to offer new design and construction alternatives. In this research, two proposals for micro-ribbed reinforced concrete slabs were presented, with three and four ribs, each with dimensions and separations previously established, and instead of concrete as a compression layer, a sheet of fibercement using connectors. For the design of these proposals, were made the respective calculations through the analysis of the composite sections, later, the proposals were built in physics and the different tests taht were applied in the laboratory. The results obtained were studied and analyzed, with the objective of seeing the efficiency in terms of resistance of these new construction alternatives.

Keywords: connectors, prefabricated elements, flexural test, concrete, microribbed slab, fibercement.



Ing. Vladimir Eugenio Carrasco M.Sc

Thesis Director



Ing. José Fernando Vázquez M.Sc

School Director



Kevin Ismael Asmal Peña



Henry Marcelo Sinchi Jimbo

Authors

Translated by: Authors

Approved by:



Kevin Ismael Asmal Peña

Henry Marcelo Sinchi Jimbo

Trabajo de Titulación

Ing. Vladimir Carrasco M.Sc.

Octubre, 2022

INTRODUCCIÓN

Actualmente se encuentra dentro del sector de la construcción, una gran multitud de innovaciones y avances tecnológicos que hacen que se obtengan resultados más eficientes. Se puede apreciar innovaciones en materiales, maquinaria que cada día es más rápida e inteligente y en métodos de diseño y construcción.

El uso de elementos prefabricados es una forma de construir todavía joven pero muy innovadora. Las últimas décadas del Siglo XX sentaron gran parte de las bases sobre las que el hormigón prefabricado es hoy una tecnología constructiva consolidada. La mejora de las técnicas de dosificación y curado, el pretensado, el control de calidad, los acabados, el mayor grado de automatización en las fábricas o la introducción de los hormigones autocompactantes, han resultado en una forma de construcción que ya no sólo destaca por sus características mecánicas, sino por su mayor fiabilidad o durabilidad, eficiencia en el empleo de los materiales, obligando a la industria a alcanzar el alto nivel tecnológico que tiene actualmente (López & Fernandez, 2015).

Hoy en día, la construcción con elementos prefabricados de hormigón armado sigue evolucionando, por lo que es necesario ofrecer al mercado nuevas alternativas de diseño y construcción mediante este método.

Para este estudio de titulación, se pretende analizar el comportamiento en cuanto a resistencia que tiene una losa nervada unidireccional, pero con ciertas características que la diferencian de los modelos tradicionales existentes, ya que, en lugar de la chapa de compresión de 5 cm, se colocará una plancha de fibrocemento; y las dimensiones de sus nervios van a ser muy reducidas, obteniendo una losa con micronervaduras que será diseñada, construida y estudiada.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del Problema

A partir de los distintos tipos de losas existentes en la construcción, las losas nervadas son las más utilizadas en obra, ya que son constituidas por vigas longitudinales y transversales a manera de nervios, dejando huecos entre ellos que pueden ser rellenados por varios elementos, en su mayoría cajones de madera, casetones o EPS (espuma de poliestireno), etc.

A pesar de que la función principal de este tipo de losas es la de aliviar el peso de la estructura, mediante la colocación de elementos aligerantes, que, a más de reducir peso, disminuye la cantidad de acero que se usará en la obra; la chapa de compresión no deja de ser una sección constante de espesor considerable, lo que ocasiona que las vibraciones y el ruido se transmitan fácilmente.

De acuerdo a la alta demanda de construcción y a los cambios que se han dado, puesto que nos encontramos en la era de la tecnología e innovación, es necesario implementar nuevas formas de construcción; mejorando la calidad de los materiales, abaratando costos, optimizando el tiempo de construcción y de adquisición de estos elementos, reduciendo personal en una construcción y evitando el desperdicio de hormigón crudo.

En la actualidad, los elementos prefabricados son una opción muy atractiva, rápida, de buenos resultados, sustentable y en algunos casos económica para la construcción, por ello, surge la necesidad de proporcionar a los constructores una nueva manera de realizar losas micronervadas, analizando todas las diferentes características de resistencia y durabilidad, a más, de tratar de reducir el peso mediante el reemplazo de la chapa de compresión por otro tipo de material, en este caso planchas de fibrocemento, las cuales serán unidas mediante conectores, de tal manera que ambos materiales trabajen como un solo elemento.

1.2. Justificación

Hoy en día, gracias a los avances que ha tenido la tecnología en todas las áreas, especialmente en el ámbito de la construcción, ha traído consigo numerosos cambios, puesto que la competencia cada vez es más fuerte, dado que todos buscan los mismos objetivos: ofrecer diseños innovadores, abaratar los costos, y facilitar y acelerar los procesos constructivos. Se ha visto, que la prioridad es el empleo de estructuras compuestas, en su mayoría acero – hormigón, teniendo en cuenta la demanda que existe en construir estructuras más ligeras, económicas y eficientes.

El uso de elementos prefabricados son una gran alternativa constructiva, debido a que su rapidez y eficiencia son las ventajas principales que poseen este tipo de productos en la construcción.

Con el fin de promover esta investigación a nivel local, este estudio tiene como finalidad brindar una nueva propuesta de losas que cumpla con todos los objetivos que en la actualidad buscan todas las empresas constructoras.

1.3. Antecedentes

Las losas nervadas de tipo aligeradas se popularizaron conforme se buscaba más simplicidad al momento de construir una losa, debido a la reducción del peso propio lo que resultaba menos refuerzo de acero en las bases principales de la construcción, siendo más ligeras y económicas.

El comienzo de los procesos de industrialización a la construcción se produjo después de la segunda mitad del siglo XX, cuando empezó la fabricación de la materia prima para la prefabricación de concreto, se quiso crear una nueva innovación en la construcción de tal forma de producir una piedra artificial capaz de usarse para elementos estructurales. A partir de entonces, la fabricación de elementos prefabricados de hormigón armado y pretensado evolucionaron mediante los nuevos avances tecnológicos de la materia prima y la maquinaria para moldear el concreto. Los elementos de hormigón armado prefabricados son cada día más utilizados y de alta demanda en el sector de la construcción, aporta excelentes características en comparación con otros sistemas tradicionales constructivos que existen hoy en día.

La principal ventaja que tiene es que no se realiza trabajos de acabado en obra y facilita velocidad de ejecución y montaje in situ con un proceso optimizado de materiales y recursos (Lopez Vidal, 2015).

La prefabricación de losas nervadas se empleó para que las columnas tengan un mayor distanciamiento entre ellas y para que el peralte de la losa tenga menor altura, con la finalidad de brindar una mayor libertad arquitectónica. Desde los finales del siglo XX en algunos países estas losas resultaban más económicas puesto que su costo estaba compuesto por un 60% de materiales y un 40% de mano de obra, mientras que en países desarrollados como Estados Unidos el costo se componía en un 40% de materiales y 60% de mano de obra (Arellano Mendez, 2013).

En obras civiles como viviendas y edificaciones, se ha usado materiales como las planchas de fibrocemento para la construcción de entrepisos, siendo una alternativa para la construcción rápida, limpia y liviana. En el mercado hay fábricas de estas planchas tales como Colombit, Superboard y Eternit.

Eternit es un componente de larga duración que apareció en el siglo 19, siendo una combinación de elementos básicos como minerales, agua y aire; en un proceso de filtración. Actualmente es un material sostenible para la construcción y utilizado en el diseño estructural de elementos de losa, como un recurso innovador.

Avila León (2020). Tesis. Propuesta y Evaluación para la Capa de Compresión de una Losa Unidireccional de Hormigón Armado con Micro Nervaduras, y colocación de poliestireno en sus vacíos. El autor realizó la comparación de distintos tipos de losetas con micro nervadas de hormigón armado en una sola dirección con la aplicación de poliestireno en los vacíos entre nervios. Se modeló las diferentes propuestas mediante un software comercial para el análisis estructural, con sus correspondientes ensayos destructivos y no destructivos para determinar su comportamiento y propiedades mecánicas como térmicas y acústicas, y, por ende, el ensayo a flexión para determinar la resistencia de los elementos tipo losa propuestos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Elaborar una propuesta óptima de losas micronervadas de hormigón armado, con separaciones previamente establecidas, y con una plancha de fibrocemento en lugar de hormigón como chapa de compresión, a partir de dos modelos diferentes.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Indagar toda la información necesaria sobre los elementos tipo losa existentes, elementos prefabricados, micronervaduras y sección compuesta.
- Establecer dos modelos diferentes de losas micronervadas con separaciones y dimensiones previamente establecidas.
- Realizar los respectivos cálculos para ambas propuestas, mediante el diseño de sección compuesta.
- Elaborar los modelos de losas micronervadas en físico para cada uno de los diseños presentados y realizar las respectivas pruebas de laboratorio.
- Analizar y estudiar los resultados obtenidos en los ensayos de los elementos construidos.

1.5. Metodología

Se propone el diseño de losas micronervadas, con separaciones establecidas y con una plancha de fibrocemento en la parte superior, con el objetivo de omitir la chapa de compresión. Para ello es necesario seguir un proceso que consta de varias etapas, cada una de ellas de suma importancia para lograr con todos los objetivos específicos que fueron descritos con anterioridad. Para este proyecto se realizará un estudio descriptivo, puesto que se describirá paso a paso el análisis y diseño de losas, sin embargo, también contará con un trabajo de laboratorio, pues todo lo que se propondrá será comprobado mediante ensayos y pruebas en el laboratorio.

Como primer punto se investigará toda la información posible y definiciones acorde con prefabricados y con losas micronervadas, para partir con bases claras, identificando las características principales de las propuestas a estudiar.

Luego se establecerá el método de diseño y posteriormente los modelos diferentes de losas que serán estudiados a lo largo del proyecto, aquí se especificarán las cargas que actúan sobre ellas, y se realizará todos los cálculos correspondientes para su correcto diseño.

Una vez diseñado, se llevará a cabo la construcción de los elementos, tres muestras para cada modelo propuesto. También se harán las pruebas y ensayos necesarios en laboratorio de todos los elementos tipo losa.

Finalmente se revisarán los resultados, así como también se realizará un análisis comparativo de los parámetros obtenidos experimentalmente con los parámetros teóricos, para emitir conclusiones sobre el comportamiento observado en cada modelo.

1.6. Alcance

El alcance que tiene esta investigación es proponer modelos de losas con características diferentes a las losas tradicionales. Cada uno de estas propuestas serán diseñadas y de igual manera construidas para realizar las respectivas pruebas en el laboratorio. En base a los resultados, se podrá concluir si las propuestas son o no óptimas para ser una nueva alternativa de construcción, y así poder brindar a terceros, estos innovadores modelos de losas micronervadas.

1.7. Supuestos Riesgos

Para esta investigación, puesto que se necesita de recursos que serán adquiridos de manera externa, un riesgo que se puede llegar a tener es que los materiales como el hierro, tengan especificaciones distintas a lo que los proveedores indican, y por ende a lo que se necesita para realizar el diseño. Para evitar estos problemas, se averiguarán muy bien las especificaciones de cada uno de los materiales que se requieran y escoger la mejor opción para su construcción.

Otro riesgo considerable que se puede presentar es que en los laboratorios no existan prensas que se adapten a las dimensiones que tendrán los modelos, sin embargo, se verá la manera de hacer arreglos para que las pruebas se realicen de manera correcta.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1. Losas

Las losas son elementos estructurales que se usan para proporcionar superficies planas y útiles. Las cargas que actúan sobre ellas son perpendiculares al plano, por lo que el comportamiento que predomina es a flexión (Pungaña, 2015). Son elementos estructurales indispensables en la construcción debido a que sirven para separar entrepisos y soportar las cargas.

2.1.1. Clasificación de las Losas

2.1.1.1. Según la dirección de trabajo

a. Losas en una dirección

Son losas que pueden apoyarse solo en dos lados opuestos, y carecen de apoyos en los otros dos bordes restantes, es decir, que la acción estructural de la losa es principalmente en una dirección, por ende, las cargas son transmitidas en dirección perpendicular a los apoyos. Estas se comportan generalmente como unas vigas anchas, ya que para su diseño se toma como referencia una franja de ancho unitario (1m de ancho). Aquí la relación entre el lado más grande y el más pequeño es mayor o igual a 2 (Romo Proaño, 2008).

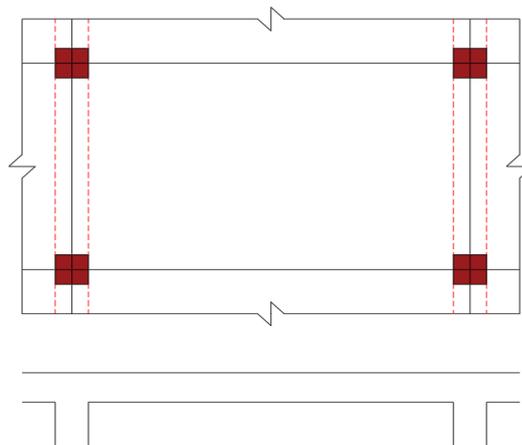


Figura 2.1. Losa en una dirección

Fuente: Autores

b. Losas en dos direcciones

Cuando las losas se sustentan en los cuatro lados, es decir, en dos direcciones ortogonales, por lo que los esfuerzos se transmiten en ambas direcciones, y la relación entre el lado más grande y el más pequeño es inferior a 2.

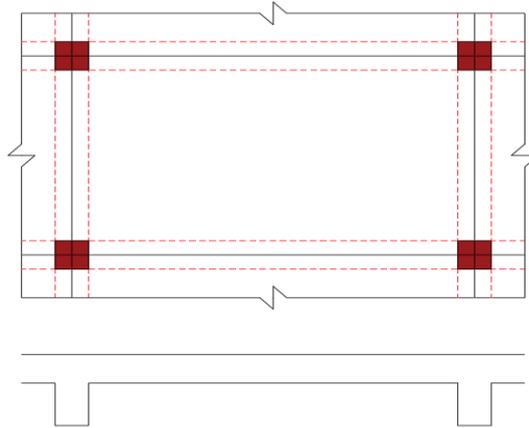


Figura 2.2. Losa en dos direcciones

Fuente: Autores

2.1.1.2. Según el tipo de apoyo

a. Losas sustentadas por vigas o por muros

Son losas que pueden estar soportadas por vigas monolíticas de un peralte mayor, por vigas de distintos materiales que son integrados a la losa o también losas que son soportada por muros de hormigón armado.



Figura 2.3. Losa sustentada por vigas

Fuente: Romo Proaño, 2008

b. Losas planas

Son aquellas losas que están sustentadas directamente sobre las columnas. Estas no son recomendadas ya que su capacidad resistente no es suficiente para zonas donde existan un alto riesgo sísmico, sin embargo, puede usarse capiteles o ábacos para mejorar la resistencia.



Figura 2.4. Losa plana con capitel

Fuente: Romo Proaño, 2008

2.1.1.3. Según la distribución interior del Hormigón

a. Losa Maciza

Se llaman así cuando el hormigón ocupa todo el espesor de la losa, se dice que este tipo de losa es muy usada debido a su fácil construcción, sin embargo, posee algunas desventajas, pues su peso es considerable a diferencia de los otros tipos de losa.

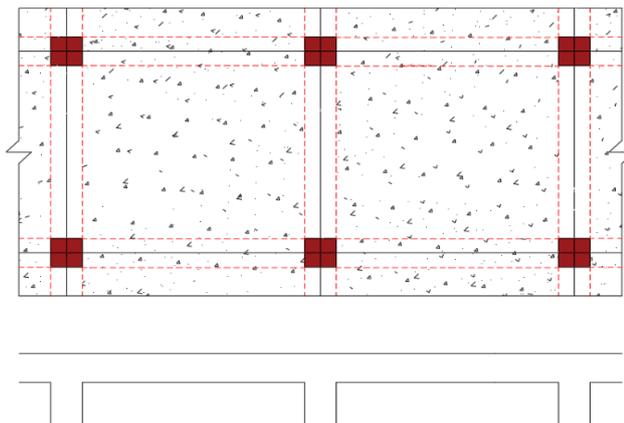


Figura 2.5. Losa Maciza

Fuente: Autores

b. Losas Nervadas

Consiste en una combinación monolítica de viguetas regularmente espaciadas, y una losa colocada en la parte superior que actúa en una dirección o en dos direcciones ortogonales (Pungaña, 2015). Son aquellas losas que están compuestas de vigas, pero a modo de nervios, cada uno de ellos separados y que rellenos por casetones o bloques.

Dichos bloques aligerados, pueden ser mampuestos de hormigón, cerámica aligerada, formaletas plásticas, sin embargo, en la actualidad el material que más se usa para este tipo de losas es el Poliestireno, debido a que la mayor parte de volumen está construido por aire, lo que le vuelve sumamente liviana. (Romo Proaño, 2008)

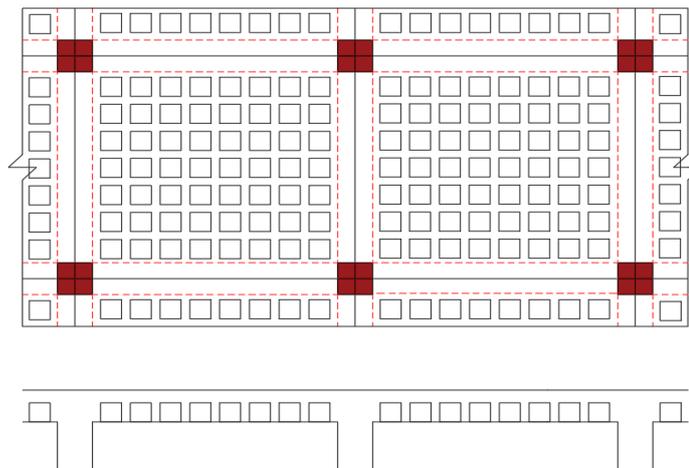


Figura 2.6. Losa Nervada

Fuente: Autores

2.1.1.4. Según su construcción

a. Losas Vaciadas In Situ

Son aquellas losas que son fabricadas de inicio a fin en obra, estas requieren de encofrados especiales lo que involucra un retraso a la construcción por el tiempo de curado que el hormigón necesita.



Figura 2.7. Losa vaciada In Situ

Fuente: A.R Diseño y Construcción, 2018

b. Losas Prefabricadas de Hormigón

Estas losas son confeccionadas en una fábrica, para posteriormente ser transportadas y colocadas en obra, directamente sobre los apoyos finales.

Este tipo de losas, sin duda vino a revolucionar los sistemas de losas tradicionales, ya que el ahorro considerable de madera, concreto, tiempo y mano de obra son una de las principales ventajas que tienen.



Figura 2.8. Losas prefabricadas

Fuente: Comunidad todo comercio exterior, 2022

2.2. Elementos Prefabricados

En la rama de la ingeniería civil, es necesario buscar nuevas alternativas de construcción que sustituyan a los procesos tradicionales existentes, con el fin de acelerar el proceso constructivo y minorar el tiempo de construcción.

Los elementos prefabricados son una tecnología actual, inteligente e innovadora que se pueden usar para la construcción de cualquier tipo de obra o edificación. Estos, son aquellos elementos estructurales elaborados previamente a su utilización y en un lugar diferente (planta) al de su posición final, en otras palabras, son piezas o elementos modelados y construidos fuera de obra, para luego ser trasladadas al lugar de su emplazamiento definitivo.

Por ello, (Novas , 2010) dice que:

Si un proceso o elementos, presentan la característica de poderse producir en fábrica o en obra y se opta por su producción en fábrica, se transforman en productos prefabricados, por lo que la opción de prefabricar debe aprovechar al máximo las condiciones del momento que disminuyan al máximo el trabajo a realizarse en obra. (p.26)

2.2.1. Fases de construcción

La construcción mediante elementos prefabricados de hormigón, se realiza en cuatro etapas que son:

1. Fabricación: fase en la que todos aquellos elementos necesarios tales como: vigas, losas, columnas, pilas, pilotes, escaleras, etc. son diseñados y construidos en fábrica o en planta.
2. Almacenamiento: se guardan todos los elementos construidos mediante una clasificación establecida.
3. Transporte: depende de las características y el tamaño que tenga cada elemento, puede ser mediante grúas, camiones, camionetas, etc.
4. Montaje: también depende de las características que posean los elementos prefabricados. Es la etapa final, donde se debe escoger una maquinaria acorde al tipo de trabajo que se está realizando, ya sea auto grúas, torres grúa, grúas pórtico, etc.

2.3. Sección Compuesta

Las secciones compuestas son aquellas que están conformadas por dos o más materiales que trabajan de manera monolítica para formar una sección única con el fin de mejorar las características y la resistencia de ambos materiales (Coronel, 2016).

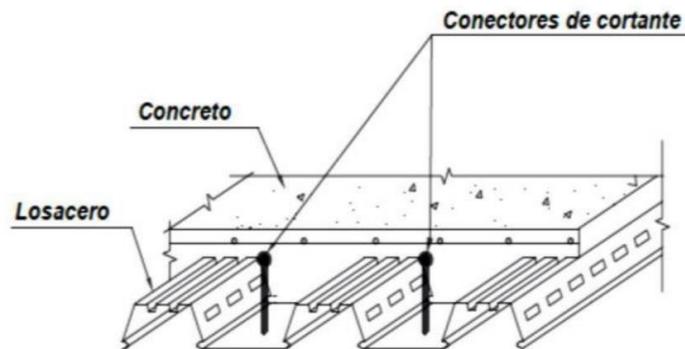


Figura 2.9. Losas compuesta Acero - Concreto

Fuente: Comunidad todo comercio exterior, 2022

Este tipo de elementos se usa principalmente para la construcción de puentes y también para estructuras tales como: edificios, naves industriales, estadios, etc.

Una de las secciones compuestas más utilizadas según (Castellanos, 2013) son el sistema de piso, que se forma mediante una losa maciza conectada con vigas embebidas en concreto, o una losacero soportada por vigas de acero, las cuales se unen mediante conectores de cortante, lo que garantizan que ambos materiales trabajen en conjunto.

Es necesario que se tengan presente estos dos factores al momento de diseñar este tipo de elementos monolíticos. El primero es la diferencia entre las propiedades mecánicas que tienen cada uno de los materiales a ser combinados y la otra es la conexión entre los mismos.

2.3.1. Vigas Compuestas

En varias ocasiones las vigas que son prefabricadas o también las de acero, poseen una losa en la parte superior y se diseñan con la finalidad de que ambas actúen como una sola unidad monolítica, para que soporten las cargas de diseño, a esa combinación de viga y losa se la define como viga compuesta (Wight, et al, 2016).

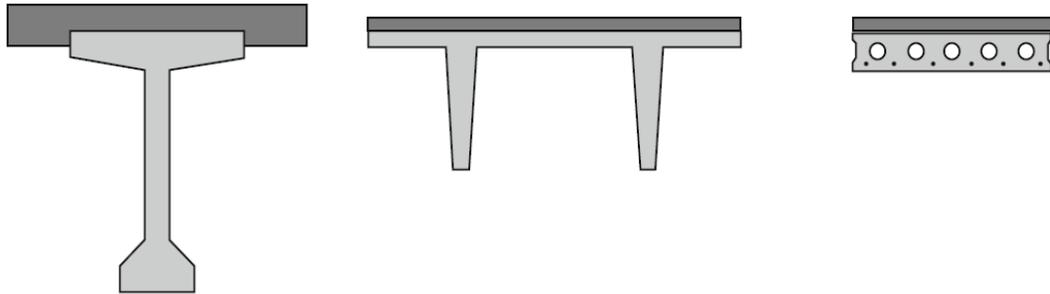


Figura 2.10. Vigas Compuestas

Fuente: Charles W. Dolan & H.R Hamilton, 2019, p. 284

2.4. Conectores de Cortante

Los conectores de cortante son elementos de acero que, al conformar secciones compuestas, dan como resultado una mayor área resistente a la compresión. Existen diferentes tipos de conectores de cortante, cada uno de ellos, debe cumplir con las especificaciones que están en las normas, sin embargo, todos tienen como funciones principales:

- Contrarrestar todos aquellos esfuerzos de corte que se generen en la sección compuesta.
- Controlar y reducir las deformaciones.
- Impedir las separaciones verticales entre la losa y la viga (Barroso, 2016).

2.4.1. Ventajas de los Conectores de Cortante

Según Barroso (2016), en su tesis habla sobre las ventajas principales que los conectores a cortante tienen y son:

- Realiza un mejor trabajo al momento que la losa y la viga trabajan conjuntamente.
- Contrarresta los esfuerzos del cortante horizontal.
- Puede ser más económico, puesto que al usar secciones compuestas; se obtiene una mayor área resistente a la compresión y, por tanto, el peralte de la viga se puede disminuir.

2.5. Planchas de Fibrocemento

Son planchas planas de fibrocemento elaboradas de cemento portland con fibras de celulosa y sílice, fraguada en autoclave que permite a la plancha lograr gran resistencia a la flexión y mantener muy alto su módulo de elasticidad. Por lo general las planchas son de tamaño 122 x 244 cm y se usan principalmente en obras civiles para la construcción de paredes, entrepisos y tumbados. Éstas son elaboradas con la más avanzada tecnología siendo un material inerte y duradero, sin embargo, puede generar riesgos para la salud al momento de cortarlos o pulirlos, ya que, sin una adecuada protección, se inhalaría polvos de este material. Pero al ser un producto a prueba de humedad con excelente durabilidad y resistencia mecánica, son cada vez más aceptadas por los constructores (Mariscal Jiménez , 2001).

De acuerdo a Eternit Construcción en Evolución (2020) las planchas de fibrocemento cumplen con los requisitos exigidos en la Norma Técnica Colombiana NTC 4373 tipo B categoría 3 siendo una solución ideal para la construcción en seco de muros, fachadas, entrepisos y techos; y es el resultado estructural integral para departamentos, escuelas, oficinas, comercios, fabricas, etc. Se caracteriza por ser un material fácil de manipular como la madera, e igual de resistente que el cemento, además de ser fácil de instalar y proporciona mejores condiciones térmicas y acústicas.

2.5.1. Características del Fibrocemento

- Resistente a la humedad. Amplia gama de espesores y aplicaciones.
- Resistente a los cambios de temperatura.
- No propaga la llama ni genera humo.
- Estable dimensionalmente. No se deforma.
- Resistente a la flexión.
- Fácil de trabajar. Sencillas de atornillar, clavar, perforar y cortar.
- Aislante térmico
- Resistente al impacto.
- Soporta fácilmente cualquier acabado.
- Bajo peso, puede requerir de menor estructura para su instalación.
- Amigable con el medio ambiente y muy económica.

Tabla 2.1. Descripción de las planchas de fibrocemento de la marca Eterboard

Espesor (mm)	Formato (mm)	Peso (kg/un)	Usos recomendados
4	1214 x 695	4.38	Cielos rasos suspendidos.
6	2440 x 1220	26.61	Cielos rasos a junta perdida, revestimientos interiores.
8	2440 x 1220	35.48	Muros interiores, aleros, cielos rasos a junta perdida, ductos, formaletas.
10	2440 x 1220	44.35	Fachadas, bases para techos, mesones, estanterías, muros alto tráfico.
14	2440 x 1220	62.10	Fachadas, entrepisos, bases para techos, mesones, estanterías.
17	2440 x 1220	75.40	Entrepisos, estanterías, mesones.
20	2440 x 1220	88.71	Entrepisos, estanterías, mesones.

Fuente: Elaboración propia a partir de la Ficha Técnica Fibrocemento, 2018

Las placas Eterboard que se recomiendan para entrepisos son las de 17 y 20 mm de espesor. Se escogerá el espesor de la plancha dependiendo de las cargas que actúan, que resultan del uso que se le va dar y de la separación entre las viguetas de apoyo.

2.5.2. Propiedades Mecánicas

A continuación, se detalla algunas de las propiedades físico – mecánicas de las planchas de fibrocemento:

Tabla 2.2. Propiedades Físico-Mecánicas de las planchas de fibrocemento

Descripción	Ensayo	Valor	Unidad
Propiedades			
Densidad Ambiente	NTC 4373 ASTM C-1185 ISO – 8336	1.250	kg/cm ³
Contenido de Humedad		12	%
Absorción de Agua		35	%
Resistencia a la Flexión Longitudinal		8	Mpa
Resistencia a la Flexión Transversal		15	Mpa
Coeficiente de conductividad térmica K	ASTM C - 120	0,23	W/ m°C
Coeficiente de dilatación térmica		0,01	mm/m°C
Módulo de Elasticidad Longitudinal	ASTM C – 1185	41.162,55	kg/cm ²
Módulo de Elasticidad Transversal		35.553,17	kg/cm ²
Resistencia a la tracción			
Resistencia a tracción, paralela	ASTM D - 209	4,8	Mpa
Resistencia a tracción, perpendicular		3,5	Mpa
Resistencia a compresión (20% de deflexión)			
Paralela a la superficie	ASTM D - 209	4,8	Mpa
Perpendicular a la superficie		3,5	Mpa
Resistencia Impacto			
Resistencia Impacto IZOD	ASTM D - 256	3,33	kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia a partir de la Ficha Técnica Fibrocemento, 2018

CAPITULO 3

PRUEBRAS Y ENSAYOS APLICADOS

3.1. Ensayos aplicados

Las pruebas y ensayos del hormigón son métodos que sirven para evaluar sus propiedades, sin afectar ni alterar las características de servicio del mismo; son utilizados para determinar las resistencias del hormigón a compresión, a flexotracción y a tracción indirecta, a través de rotura de probetas fabricadas y posteriormente conservadas en condiciones normalizadas; se clasifican en destructivos y no destructivos (Jimenez Montoya, et al, 2008).

Las pruebas destructivas requieren una intervención directa en la estructura para obtener, con base en ella, la muestra sobre la que se realizara el ensayo. Sirven para determinar las características físicas y mecánicas del concreto que se usará mediante la rotura de muestras, con los cuales, se establece la resistencia y los parámetros elásticos del hormigón, el tipo de agregados que se usó, entre otras características. Las muestras pueden fabricarse en moldes apropiados o también extraerse de una obra o elemento ya construido.

Las pruebas no destructivas son aquellas que no afectan la estética y la funcionalidad de las muestras de hormigón, sirven para obtener estimaciones de las características físicas y calidad del hormigón de manera indirecta sin destruir la muestra ensayada.

Los resultados que se obtienen de los ensayos destructivos y no destructivos se emplean para verificar la calidad de la dosificación del hormigón, determinación de la resistencia, el cumplimiento de las especificaciones iniciales, operaciones de mezclado y colocación, comprobar la efectividad de aditivos y usos similares (INEN, Servicio Ecuatoriano de Normalización, 2010).

Para esta propuesta, únicamente se realizará su análisis mediante ensayos destructivos. Los ensayos destructivos que se realizarán son ASTM C-39 (Ensayo de resistencia a la compresión) y ASTM C-78 (Ensayo a la flexión en vigas).

3.2. Ensayos destructivos

3.2.1. Resistencia a compresión

Este ensayo es de tipo no destructivo, y se lo debe realizar para determinar la calidad del hormigón, ya que es la característica mecánica principal del concreto. Los resultados de estas pruebas de resistencia tienen el objetivo de determinar que la mezcla de hormigón suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, pues es necesario garantizar que la estructura va a soportar todas aquellas cargas para las cuales fue diseñado.

Para la realización de los respectivos ensayos y para la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón que será utilizado, se seguirán las especificaciones dadas en la normativa ASTM C39 e INEN 1573.

El proceso consiste en introducir una probeta cilíndrica en unas prensas especiales propiamente para este tipo de ensayos. Una vez dentro, el cilindro recibe presión siguiendo un régimen especial preestablecido hasta el punto de romperse, registrando los datos necesarios en los indicadores de la prensa.

Según (Servosis, 2020) en su artículo dice que mediante esta prueba se puede obtener la curva de tensión a partir de los siguientes datos:

- El límite de fluencia, punto a partir del cual el material entra en estado de fluencia, deformación irre recuperable de la probeta.
- El límite de resistencia única o límite de rotura, que representa la máxima tensión alcanzada por un material antes de romperse.
- El punto de rotura, que indica la tensión exacta con la que el material llega a romperse.



Figura 3.1. Maquinaria para el ensayo a compresión del hormigón

Fuente: Catálogo MATEST, 2022

Las probetas cilíndricas de hormigón armado, son sometidas mediante la aplicación de una carga axial en kilogramos por centímetros cuadrados (Kg/cm^2) o en mega pascales (MPa). Dichas probetas, por lo general tienen 30 cm de alto por 15 cm de ancho.

Estas pruebas se realizarán dentro de ciertas tolerancias de tiempo, las mismas que están detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 3.1. Edades de ensayos y tolerancias admisibles

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

Fuente: “Instituto Ecuatoriano de Normalización” (NTE INEN 1573)

En su tesis (Abril, 2016) describe el proceso de la elaboración de las probetas de la siguiente manera:

- Pesar todos los materiales que fueron establecidos en la dosificación tales como: arena, cemento, ripio, etc.
- Primero mezclar el cemento con la arena para luego añadir el agregado grueso y por consiguiente el agua requerida.
- Después de conseguir una mezcla uniforme, se realiza el ensayo con el Cono de Abrams y medir el asentamiento.
- Pesar y engrasar los moldes o probetas que se usarán para los ensayos.
- Colocar el hormigón en las probetas de la siguiente manera:
 - En tres capas.
 - En cada capa se debe compactar, dando 25 golpes con una varilla lisa y de punta redonda.
 - Y 15 golpes más, con el martillo de goma.
- Una vez que el hormigón esté colocado en las probetas, se debe enrazar para poder pesar en la balanza.
- Colocar las probetas en el lugar que se va a curar, pero no dentro del agua.
- Luego de 24 horas, se desencofra los cilindros y de ser posible se procede a curarlos en agua.
- A los 14 y 28 días retirar los cilindros de la cámara de curado.
- Una vez secos se procede a realizar el ensayo a compresión de estos cilindros en la máquina de compresión.
- Analizar, tabular y realizar los respectivos análisis.

Es importante que se cumpla con todas las especificaciones técnicas presentes en las normas antes mencionadas, debido a que los objetivos de estas pruebas están orientados principalmente a determinar los límites de trabajo de los elementos en ensayo como fuerza máxima, deformación de rotura, grietas, etc. La resistencia del hormigón puede ser influenciada por muchas variables que se deben tomar en cuenta al momento de la realización, dichas variables pueden ser:

- Contenido de cemento
- Relación agua – cemento (a/c)
- Tamaño de los agregados
- Edad del concreto
- Fraguado
- Temperatura, etc

La resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta cilíndrica para producir la fractura para el área de la sección. Para mejores resultados es recomendable someter a prueba por lo menos dos cilindros que sean de la misma edad y provengan con las mismas dosificación y se reporta la resistencia promedio como el resultado de la prueba.

3.2.2. Resistencia a flexión en elementos de hormigón

El método de ensayo a flexión de muestras de hormigón curados conforme lo establece las normas ASTM C 31, ASTM C 42 o ASTM C 192, se emplea para establecer su esfuerzo a flexión y sus resultados se calculan para obtener su módulo de rotura. Es el ensayo que se usa en las pruebas del hormigón para la construcción de losas. La resistencia a flexión puede cambiar si se modifica el tamaño de la muestra, la dosificación del hormigón, el respectivo curado y las condiciones del lugar en el que fue elaborado (INEN, 2011).

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (2011) en la normativa INEN 2554, resume que el método de ensayo a flexión para una viga de hormigón simplemente apoyada, consiste en aplicar una carga continua a una velocidad constante, sin impacto para determinar su módulo de rotura con las siguientes indicaciones:

- a) El equipo que se usa deberá obedecer con las estipulaciones de la norma ASTM E 4, que permite bombas a motor o bombas operadas manualmente de gran posibilidad de carga durante un movimiento continuo y debe ser apto para aplicar la carga a una velocidad uniforme, sin discontinuidad o impactos. Las caras de la muestra deben estar totalmente pulido sin marcas impresas o agujeros.

- b) La carga aplicada al espécimen de hormigón para el ensayo de flexión, son un bloque de carga colocado perpendicularmente a la cara de la muestra sin excentricidad de las fuerzas, en el centro del espécimen.

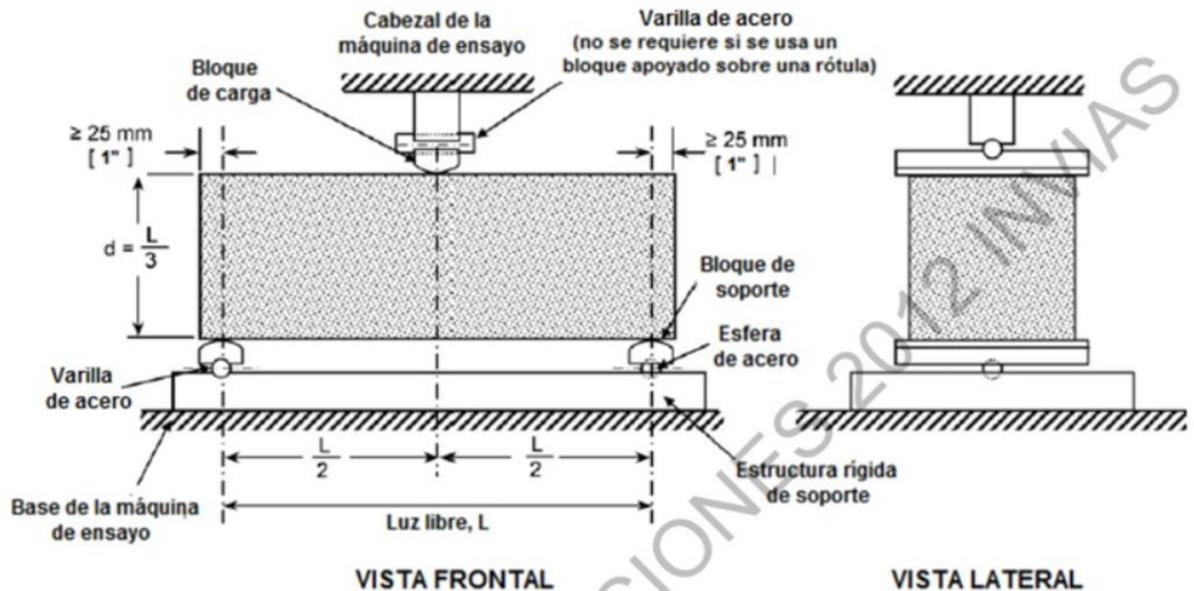


Figura 3.2. Diagrama de un equipo adecuado para el ensayo de flexión pura del concreto usando una viga cargada en el centro de la luz.

Fuente: Normas y especificaciones INVIAS 2012, p.193

- c) Se gira la muestra sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra sobre los bloques de soporte. Se centra el sistema de carga con relación a la fuerza aplicada. Se pone el bloque de aplicación de carga en contacto con la superficie del espécimen en el punto medio entre los bloques de soporte y se aplica una carga entre el 3 % y el 6 % de la carga última estimada. Utilizando calibradores normalizados de lámina, de 0.1 mm (0.004") y de 0.40 mm (0.015"), se determina si se presenta algún vacío entre el espécimen y los bloques de carga o de soporte, mayor o menor al espesor de los calibradores, en una longitud de 25 mm (1") o mayor.

- d) Mediante esmerilado, refrentado o la colocación de láminas de cuero sobre la superficie del espécimen, se elimina cualquier vacío mayor de 0.1 mm (0.004"). Las láminas de cuero deben tener un espesor uniforme de 6 mm (¼") y un ancho de 25 a 50 mm (1 a 2"), y se deben extender a través del ancho total del espécimen. Los vacíos mayores de 0.40 mm (0.015") se deben eliminar solo por refrentado o esmerilado de la superficie. El esmerilado de las superficies laterales del espécimen se debe minimizar, ya que puede variar sus características físicas y afectar los resultados del ensayo.
- e) La carga se debe aplicar de manera continua sin cambios bruscos de velocidad, a una velocidad que incremente constantemente el esfuerzo sobre la cara en tensión entre 0.9 y 1.2 MPa/min (125 y 175 lbf/pg2/min), hasta que ocurra la rotura. La velocidad de carga se calcula con la siguiente ecuación:

$$MR = \frac{2 * S * b * d^2}{3 * L}$$

Donde:

MR = módulo de rotura [Mpa].

S = incremento en el esfuerzo máximo sobre la cara en tensión [N].

L = luz libre [mm].

b = promedio del ancho de la muestra (en la fractura) [mm].

d = promedio de la altura de la muestra (en la fractura) [mm].

CAPÍTULO 4

DISEÑO Y MODELADO

4.1. Introducción

Debido a que se pretende realizar un diseño innovador de losas micronervadas, alternado el proceso de diseño de los sistemas tradicionales, es necesario tomar en cuenta el conjunto de normas por las cuales se regulan y se rigen las construcciones en el país. Para la investigación en estudio, las guías que se usarán serán las siguientes:

4.1.1. Norma Ecuatoriana de la Construcción

La norma actual de construcción que está activa en nuestro país es la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), misma que es atendida por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) y la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICOM). Dicha norma tiene como objeto regular los procesos que permitan cumplir con todas las exigencias y requerimientos de seguridad y calidad que deben ser aplicados en todo tipo de edificaciones y obras civiles.

Según (MIDUVI & CAMICOM, 2015) los principales criterios de diseño que cumple esta normativa son:

- Define principios básicos para el diseño sismo resistente de las estructuras.
- Establece parámetros mínimos de seguridad y calidad en las edificaciones.
- Mejora los mecanismos de control y mantenimiento en los procesos constructivos.
- Reduce el consumo energético y mejora la eficiencia energética de las edificaciones.
- Aboga por el cumplimiento de los principios básicos de habitabilidad
- Fija responsabilidades, obligaciones y derechos de los actores involucrados

Esta norma fue idónea para el cálculo de las cargas de diseño y una base importante para poder realizar el diseño de los elementos estructurales, en la sección de elementos de hormigón armado, podemos encontrar varios fundamentos para continuar con el estudio.

4.1.2. American Concrete Institute (ACI)

También se ha tomado en cuenta la ACI 318-19 “Requisitos del código de construcción para concreto estructural”. Esta normativa al igual que la NEC, enlista todos los requisitos para el diseño y la construcción de hormigón estructural que son necesarios para garantizar la salud y la seguridad públicas. Además “Proporciona unos requisitos mínimos para el diseño y construcción de estructuras de partes de hormigón de cualquier estructura levantada bajo los requisitos de un código de edificación general que lo incorpore” (ACI 318S-14, 2014).

La normativa del ACI fue la más importante para el desarrollo del diseño, en el transcurso del estudio se puede observar cada una de las fórmulas empleadas para la elaboración del diseño de las losas micro nervadas.

4.2. Propuestas

Se proponen realizar dos diferentes tipos de losas micronervadas, que serán diseñadas con las normas anteriormente mencionadas, y probadas en laboratorio con la finalidad de obtener los resultados esperados y culminar con el estudio.

4.2.1. Dimensiones de los elementos estructurales

Para este estudio, se considerará dos tipos de losas nervadas unidireccionales con tres y cuatro nervios. Cabe recalcar que se usará una plancha de fibrocemento en la parte superior en reemplazo a la chapa de compresión de hormigón, que por lo general es de 5 cm.

La sección transversal de los nervios tiene forma de trapecio invertido, siendo el lado superior el mayor; y el menor, el lado inferior.

4.2.1.1. Losa micronervada con tres nervios

Las dimensiones para esta losa son de 67,5 cm de ancho por 100 cm de longitud. Está conformada por tres nervios, la separación entre estos es de 22,5 cm tomado de centro a centro y la plancha de fibrocemento es de 10 mm. Las dimensiones de los nervios son las especificadas en la Figura 4.1.

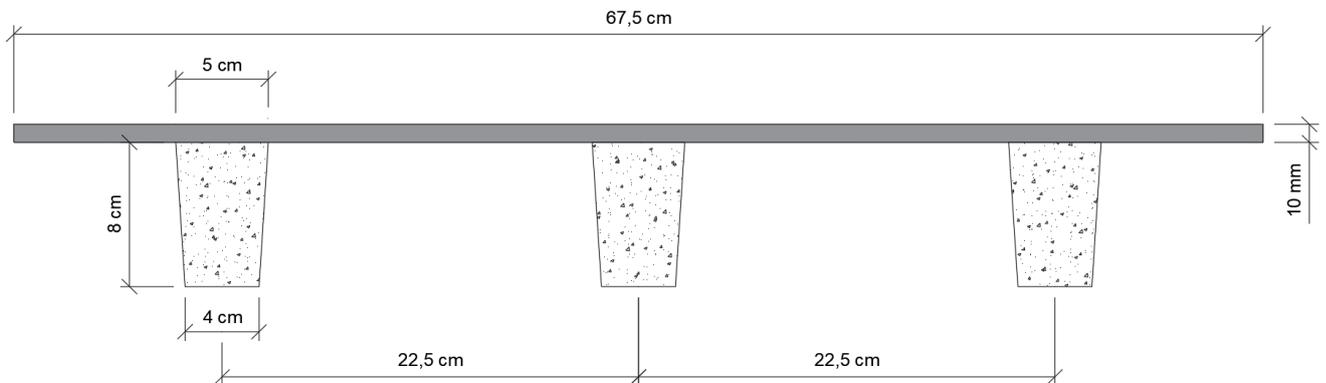


Figura 4.1. Propuesta de losa micronervada de tres nervios

Fuente: Autores

4.2.1.2. Losa micronervada con cuatro nervios

Las dimensiones para esta propuesta son de 60 cm de ancho por 100 cm de longitud. Esta losa está formada por cuatro nervios, la separación entre estos es de 15 cm tomado de centro a centro y la plancha de fibrocemento es de 10 mm. Las dimensiones se muestran a continuación.

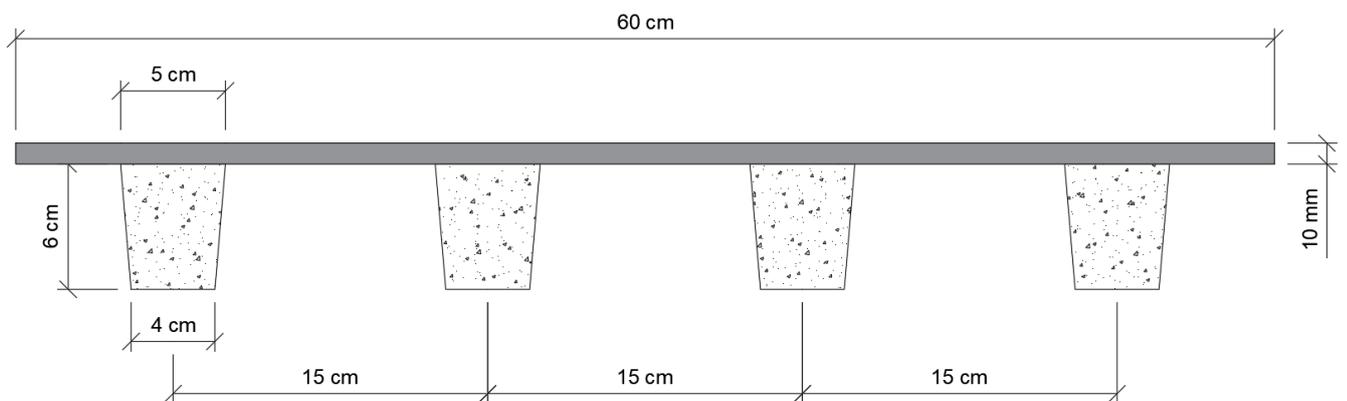


Figura 4.2. Propuesta de losa micronervada de tres nervios

Fuente: Autores

4.3. Método de Diseño

Las losas en una dirección tienen dos bordes libres opuestos sin apoyo vertical y tienen apoyos, muros o vigas que la apoyan en el sentido perpendicular. Sus cargas son perpendiculares al plano principal, ocasionando que su comportamiento sea dominado por la flexión.

Puesto que los prototipos de losas, son diferentes a los modelos ya existentes, ya que, no contará con chapa de compresión; es necesario que se diseñe como una sola sección con la finalidad de que las micronervaduras y la plancha trabajen de manera monolítica y en conjunto. Por tanto, el método de diseño a utilizar será el de: sección compuesta de dos materiales, siendo:

- Hormigón en la parte inferior (primer material).
- La plancha de fibrocemento en la parte superior (segundo material).

Para el diseño se siguieron las especificaciones técnicas que están establecidas tanto en el ACI 318S-14 como en la NEC. Sin embargo, (Wight & MacGregor, 2016) en su libro detalla los pasos a seguir para el diseño, mismos que se basan en las dos normas antes mencionadas.

Es necesario aclarar que primero se analizó y se realizaron los cálculos correspondientes al primer modelo de la propuesta de la losa micronervada con tres nervios. Por tanto, los cálculos serán similares para el modelo de la losa micronervada con cuatro nervios, pues solamente cambian datos geométricos, pero el procedimiento y la metodología es igual para ambos casos.

4.4. Diseño: Losa micronervada con tres nervios

4.4.1. Diseño a flexión

Como se explicó se diseñó mediante las normas ACI.7.1.1. (c) y ACI.8.2.1, que nos permite diseñar mediante cualquier procedimiento que cumpla con las condiciones de equilibrio y compatibilidad geométrica, garantizando que la resistencia de diseño sea al menos igual a la resistencia requerida.

El procedimiento se realiza como una sección compuesta para las dos propuestas, transformando los dos diferentes materiales que componen la losa micronervada en una sección monolítica y mediante una iteración para obtener la carga viva que proporciona la resistencia última de la losa, en base al hormigón usado, el acero de refuerzo y la plancha de fibrocemento que ya fueron definidos para el análisis.

4.4.1.1. Datos generales

Tabla 4.1. Datos generales

DATOS		
Sección Transversal Tipo Trapezoidal		
Base menor:	4	cm
Base mayor:	5	cm
Altura:	8	cm
Recubrimiento:	2	cm
Dimensiones de la Losa		
Largo:	100	cm
Ancho:	67,5	cm
Ancho efectivo b_e :	22,5	cm
Características del hormigón		
Resistencia a la compresión f'_c :	500	kg/ cm ²
Densidad:	2467	kg/ cm ³
Características del acero		
Diámetro \varnothing :	4	mm
Límite de fluencia f_y :	5000	kg/ cm ²
Características de la placa de fibrocemento de 10mm		
Espesor e :	10	mm
Módulo de elasticidad E_c :	41162,55	kg/ cm ²
Resistencia a la compresión f'_c :	48,946	kg/ cm ²

Fuente: Autores

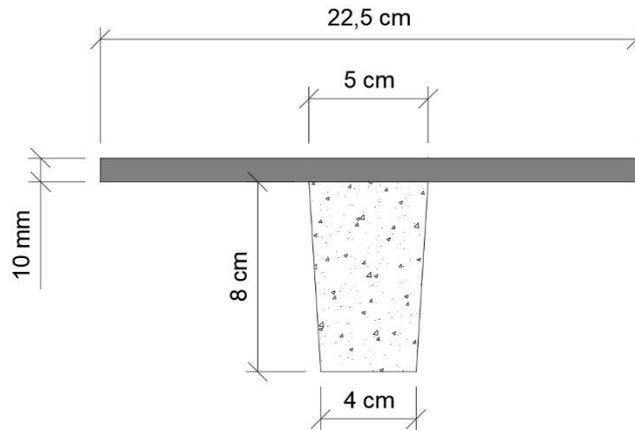


Figura 4.3. Sección transversal de un nervio

Fuente: Autores

4.4.1.2. Equivalencia entre módulos de elasticidad

Se empieza calculando el módulo de elasticidad del hormigón, utilizando la ecuación del ACI 19.2.2.1. (b) en base a la resistencia a la compresión del hormigón a usarse, que es de 500 kg/cm^2 :

$$E_c = 15100 * \sqrt{f'_c}$$

En donde,

E_c = módulo de elasticidad del concreto, (kg/cm^2)

f'_c = resistencia a la compresión del concreto, (kg/cm^2)

$$E_c = 15100 * \sqrt{500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$E_c = 337.646,265 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Luego se realiza el diseño como una sección compuesta unida con un conector, para que se comporte como un solo elemento. Las diferencias en resistencia y rigidez requieren que se use un ancho de ala equivalente para la losa micronervada.

Se calcula la equivalencia entre los módulos de elasticidad del material del nervio que es de hormigón y de la plancha de fibrocemento para obtener un factor de equivalencia como lo establece la ecuación 10.4 de (Dolan & Hamilton, 2019), en donde se divide el módulo de elasticidad del hormigón sobre el módulo de elasticidad del fibrocemento.

$$n = \frac{E_{hormigon}}{E_{fibrocemento}}$$

En donde,

n = factor de equivalencia

$E_{hormigón}$ = módulo de elasticidad del hormigón, (kg/cm²)

$F_{fibrocemento}$ = módulo de elasticidad del fibrocemento, (kg/cm²)

$$n = \frac{337646,265 \frac{kg}{cm^2}}{41162,55 \frac{kg}{cm^2}}$$

$$n = 8,203$$

Posteriormente, se hace el cálculo del ancho de la chapa de compresión equivalente al nervio de acuerdo con la ecuación 10.6 de (Dolan & Hamilton, 2019):

$$b_{eq} = \frac{be}{n}$$

En donde,

b_{eq} = ancho equivalente, (cm)

be = ancho efectivo, (cm)

n = factor de equivalencia

$$b_{eq} = \frac{22,5 \text{ cm}}{8,203}$$

$$b_{eq} = 2,743 \text{ cm}$$

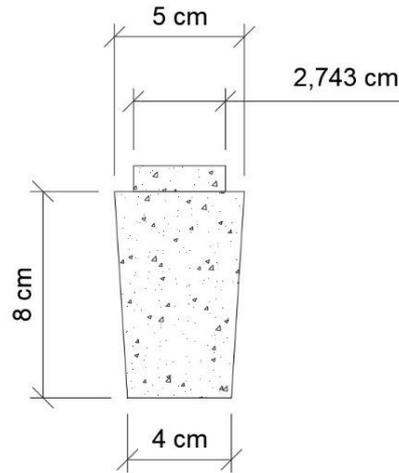


Figura 4.4. Sección transversal compuesta con el ancho equivalente de la losa

Fuente: Autores

Luego de haber calculado su ancho equivalente, se convierte en una sección transversal monolítica de un solo material que será el más resistente, en este caso el hormigón.

4.4.1.3. Determinación de las cargas vivas y muertas

La carga viva se calcula realizando una iteración de acuerdo a la resistencia última de la propuesta, en base al hormigón, el acero de refuerzo y la plancha de fibrocemento que ya fueron establecidas. Se deja en función de q (carga viva) y se realiza el proceso iterativo, con la finalidad de asemejar el momento nominal con el momento último de la losa micronervada. Se obtiene así un valor de carga viva y se emplea en todo el análisis para comprobar al final.

$$q = 692,961 \frac{kg}{m^2}$$

A continuación, se multiplica el valor de la carga viva por el ancho efectivo de la losa:

$$L = 692,961 \frac{kg}{m^2} * \frac{22,5 cm}{100}$$

Dando como resultado una carga viva de:

$$L = 155,916 \frac{kg}{m}$$

Se determina el valor de la carga muerta que actuará sobre la losa micronervada acorde a las generalidades del ACI 5.2.1.

Las cargas muertas están compuestas por la plancha de fibrocemento, la carga de piso y el peso propio de la micronervadura.

La carga de la plancha de fibrocemento se obtiene dividiendo el peso de la plancha de espesor 10mm acorde a la ficha técnica de ETERNIT igual a 44,35 kg, sobre el área de una plancha de 1,22x2,44 m.

$$P_{fibrocemento} = \frac{44,35 \text{ kg}}{1,22 \text{ m} * 2,44 \text{ m}}$$

$$P_{fibrocemento} = 14,90 \frac{kg}{m^2}$$

Luego se multiplica por el ancho efectivo.

$$P_{fibrocemento} = 14,90 \frac{kg}{m^2} * \frac{22,5 \text{ cm}}{100}$$

$$P_{fibrocemento} = 3,353 \frac{kg}{m}$$

Se usa la carga de recubrimiento de piso con cerámica de acuerdo a la NEC (MIDUVI & CAMICOM, 2015) en la tabla 8, igual a 20 kg/cm².

Tabla 4.2. Pesos unitarios de materiales de construcción.

Material	Peso Unitario (kN/m ²)
G. Contrapisos y recubrimientos	
Baldosa de cerámica, con mortero de cemento: por cada cm, de espesor	0,2

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de (MIDUVI & CAMICOM, 2015)

Y de igual manera se multiplica por el ancho efectivo.

$$P_{recubrimiento} = 20 \frac{kg}{cm^2} * \frac{22,5 cm}{100}$$

$$P_{recubrimiento} = 4,5 \frac{kg}{cm}$$

La carga del nervio se calcula con el volumen de éste, multiplicado por la densidad del hormigón de 500 kg/cm², que es igual a 2467kg/m³.

$$P_{nervio} = 3 * \left(\frac{0,04 m + 0,05 m}{2} * 0,08 m \right) * 2467 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{nervio} = 26,644 \frac{kg}{m}$$

En la siguiente tabla se detallan todos los valores de la carga muerta que se aplicó en la propuesta:

Tabla 4.3. Valores de las cargas muertas de la losa micronervada de tres nervios

Descripción	Carga (kg/m)
Fibrocemento	3,353
Carga de piso, cerámica	4,5
Peso nervio	26,644
Total	34,496

Fuente: Autores

$$D = 34,496 \frac{kg}{m}$$

Se factoriza las cargas usando la tercera combinación de cargas según lo establece la Tabla 5.3.1 del ACI.5.3.1.c tomando únicamente la carga viva y muerta:

$$U = 1,2D + 1,6L$$

En donde,

U = carga ultima, (kg/m)

D = carga muerta, (kg/m)

L = carga viva, (kg/m)

$$U = 1,2 * 34,496 \frac{kg}{m} + 1,6 * 169,238 \frac{kg}{m}$$

$$U = 290,862 \frac{kg}{m}$$

$$Wu = U$$

$$Wu = 290,862 \frac{kg}{m}$$

Luego, se calcula el momento último para la carga factorizada y para la longitud de la losa:

$$Mu = \frac{Wu * l^2}{8}$$

En donde,

Mu = momento último, (kg*m)

Wu = combinación de carga, (kg/m)

l = longitud, (m)

$$Mu = \frac{290,862 \frac{kg}{m} * (1m)^2}{8}$$

$$Mu = 32,722 kg * m$$

4.4.1.4. Cantidad de acero establecido para la propuesta y acero mínimo

Luego se obtiene la cantidad de acero mínimo para flexión como lo establece el ACI.9.6.1.2, para garantizar que la cantidad de acero que ya se definió para la propuesta, cumpla con los requerimientos mínimos:

$$A_{s_{min}} = \frac{0,25 * \sqrt{f'c}}{f'y} * b * d$$

En donde,

$A_{s_{min}}$ = área de acero mínima, (cm²)

$f'c$ = resistencia a la compresión del hormigón, (kg/cm²)

$f'y$ = esfuerzo de fluencia del acero, (kg/cm²)

b = ancho, (cm)

d = peralte, (cm)

$$A_{s_{min}} = \frac{0,25 * \sqrt{500 \frac{kg}{cm^2}}}{5000 \frac{kg}{cm^2}} * 4cm * 6,683cm$$

$$A_{s_{min}} = 0,034 cm^2$$

El acero que se usó es de la marca Adelca de diámetro 4 mm corrugado y tiene un límite de fluencia de 5000 kg/cm², es el mínimo corrugado que existe en el mercado y se usa una sola varilla de refuerzo longitudinal, ya que esta cumple con los requisitos de los prefabricados de menor sección.

$$A_s = 0,126 cm^2$$

$$A_{s_{min}} \leq A_s$$

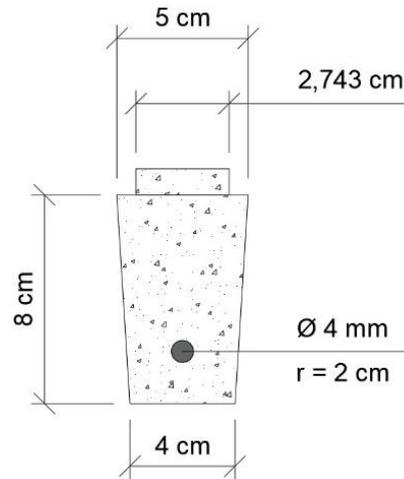


Figura 4.5. Sección transversal compuesta con el acero de refuerzo (varilla)

Fuente: Autores

Se calcula la profundidad del bloque de esfuerzos y la distancia de las fibras extremas del hormigón en compresión al eje neutro con la ecuación 7.3 de (Romo Proaño, 2008):

$$a = \frac{A_s * f'_y}{0,85 * f'_c * b}$$

En donde,

a = altura del bloque de compresión, (cm)

A_s = área del acero, (cm^2)

f'_c = resistencia a la compresión del hormigón, (kg/cm^2)

f'_y = esfuerzo de fluencia del acero, (kg/cm^2)

b = ancho, (cm)

$$a = \frac{0,126 \text{ cm}^2 * 5000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{0,85 * 500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 4 \text{ cm}}$$

$$a = 0,54 \text{ cm}$$

Luego, se calcula la relación entre la posición del eje neutro y la altura del bloque de compresión.

$$c = \frac{a}{0,85}$$

$$c = \frac{0,54}{0,85}$$

$$c = 0,636 \text{ cm}$$

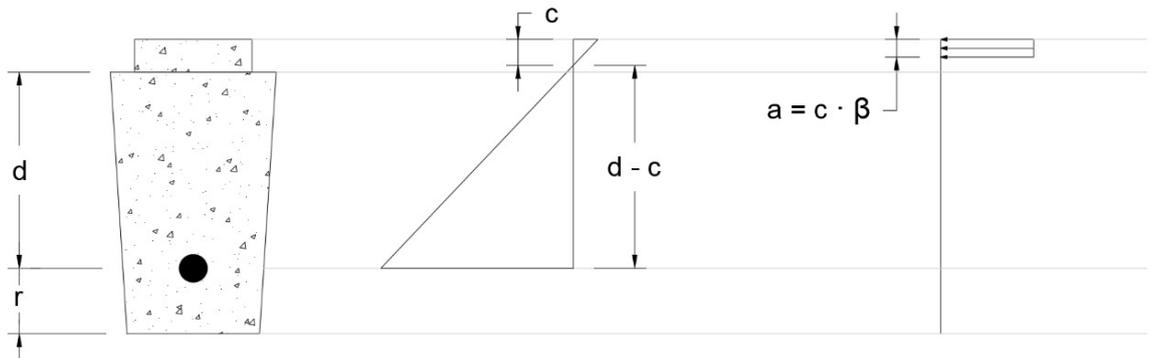


Figura 4.6. Diagrama de Whitney de la sección

Fuente: Autores

4.4.1.5. Fuerza última

Se despeja de la ecuación 7.2 de (Romo Proaño, 2008) la cantidad de acero y se deja en función de la variable q , la cual es la carga viva que la losa resistirá a flexión pura y es el valor que se obtendrá con la iteración.

$$A_s = \frac{M_u}{\phi * f'_y * d}$$

En donde,

A_s = área del acero, (cm^2)

M_u = momento último, ($\text{kg}\cdot\text{m}$)

f'_y = esfuerzo de fluencia del acero, (kg/cm^2)

d = peralte, (cm)

$$A_s = \frac{Wu * l^2}{\phi * f'y * d}$$

$$A_s = \frac{(1,2 * D + 1,6 * q) * l^2}{\phi * f'y * d}$$

$$0,126 \text{ cm}^2 = \frac{\left(\frac{(1,2 * 34,496 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}) + (1,6 * q)}{8} \right) * \left(\frac{100 \text{ cm}}{100} \right)^2}{0,9 * 5000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \left(6,683 \text{ cm} - \frac{0,54 \text{ cm}}{2} \right)}$$

$$q = 692,961 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Se obtiene el momento nominal a partir de la cantidad de acero que se usa de acuerdo a las generalidades del ACI.22.3.3:

$$Mn = \phi * As * f'y * \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

En donde,

Mn = momento nominal, (kg*cm)

As = área del acero, (cm²)

F'y = esfuerzo de fluencia del acero, (kg/cm²)

d = peralte, (cm)

a = altura del bloque de compresión, (cm)

$$\phi Mn = 0,9 * 0,126 \text{ cm}^2 * 5000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{\left(6,683 \text{ cm} - \frac{0,54 \text{ cm}}{2} \right)}{100}$$

$$\phi Mn = 36,358 \text{ kg} * \text{m}$$

Se debe satisfacer según el ACI.7.5.1.1(a) que:

$$\phi Mn > Mu$$

Cumple

Posteriormente, se realiza una relación de la carga viva “q” que se obtuvo, con la carga que (MIDUVI & CAMICOM, 2015) en la tabla 9 establece para cargas de viviendas unifamiliares y bifamiliares.

Tabla 4.4. Sobrecargas uniformemente distribuidas

Ocupación o Uso	Carga Uniforme (kN/m ²)
Residencias	
Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	0,2

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de (MIDUVI & CAMICOM, 2015)

$$\frac{q}{200 \frac{kg}{m^2}} = 3.461$$

La carga viva última que se obtiene es de $q = 692,961 \frac{kg}{m^2}$, lo que representa ser tres veces mayor a una carga normal viva de una vivienda como lo define la norma NEC.

Y para probar la carga en la prensa hidráulica es necesario multiplicar para el área de la losa.

$$P = 692,962 \frac{kg}{m^2} * 1 m * 0,675 m$$

$$P = 467,749 kg$$

La fuerza ultima es igual a 467,49 kg.

4.4.1.6. Momento de agrietamiento

Se calcula el momento de agrietamiento para determinar el rango elástico del concreto, en donde aparecen las primeras grietas en el hormigón, aquí el acero es el encargado de cumplir con la función de resistir los esfuerzos de tracción. Por lo tanto, el cálculo se realiza conforme lo establece el libro (McCORMAC, 2017) en su Capítulo 2 y se obtiene el momento de agrietamiento con la ecuación del ACI.24.2.3.5:

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

En donde,

M_{agr} = momento de agrietamiento, (kg*cm)

f_r = módulo de ruptura del concreto, (kg/cm²)

I = inercia de la sección, (cm⁴)

y = distancia del eje centroidal de la sección a su fibra extrema en tensión, (cm)

El módulo de ruptura del concreto se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_r = 2 * \lambda * \sqrt{f'c}$$

En donde,

λ = factor de modificación del concreto ($\lambda=1$ para hormigón de peso normal).

$$f_r = 2 * 1 * \sqrt{500 \frac{kg}{m^2}}$$

$$f_r = 44,721 \frac{kg}{m^2}$$

4.4.1.7. Cálculo de la Inercia

Luego se calcula la inercia de la sección compuesta monolítica, dividiéndola en dos figuras conocidas y analizándola con la siguiente ecuación:

$$I_x = I_{ox} + A * dy^2$$

En donde,

I_x = momento de inercia de la figura individual con respecto a su propio eje, (cm^4)

A = área de la figura individual, (cm^2)

dy = distancia vertical desde el centroide del segmento al eje neutro, (cm)

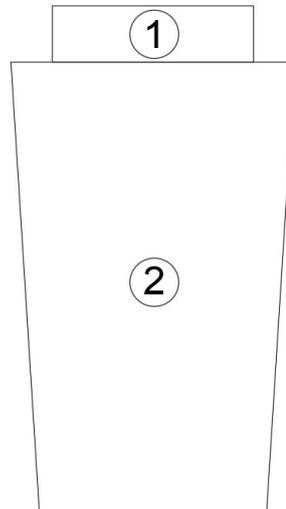


Figura 4.7. Sección transversal dividida en dos figuras conocidas

Fuente: Autores

Primero se analiza la primera figura conocida y se obtiene su inercia:

$$I_{x1} = \frac{b * h^3}{12} + A * yi^2$$

$$I_{x1} = \frac{2,743 \text{ cm} * \left(\frac{10 \text{ mm}}{10}\right)^3}{12} + (2,743 \text{ cm}^2 * (4,044 \text{ cm})^2)$$

$$I_{x1} = 45,081 \text{ cm}^4$$

Posteriormente la segunda figura conocida:

$$Ix2 = \frac{h^3 * (B^2 + 4bB + b^2)}{36 * (b + B)} + A * yi^2$$

$$Ix2 = \frac{(8 \text{ cm})^3 * ((5 \text{ cm})^2 + 4 * (4 \text{ cm}) * (5 \text{ cm}) + (4 \text{ cm})^2)}{36 * ((4 \text{ cm}) + (5 \text{ cm}))} + (36 \text{ cm}^2 * (0,308 \text{ cm})^2)$$

$$Ix2 = 194,627 \text{ cm}^4$$

Finalmente, la inercia total es la suma de las inercias de las 2 figuras conocidas:

$$I = Ix1 + Ix2$$

$$I = 45,081 \text{ cm}^4 + 194,627 \text{ cm}^4$$

$$I = 239,709 \text{ cm}^4$$

Por lo tanto, el momento de agrietamiento de la losa micronervada es:

$$M_{agr} = \frac{44,721 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 239,709 \text{ cm}^4}{4,456 \text{ cm}}$$

$$M_{agr} = 2405,63 \text{ kg} * \text{cm}$$

Y para obtener la fuerza de agrietamiento, despejamos la carga puntual de la siguiente ecuación de momento:

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

En donde,

M = momento flector, (kg*cm)

q = carga distribuida, (kg/cm)

l = longitud, (m)

$$2405,63 \text{ kg} * \text{cm} = \frac{q * (100)^2}{8}$$

$$q = 1,925 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} * 100 \text{ cm}$$

$$q = 192,5 \text{ kg}$$

La carga puntual de las primeras grietas es de 192,5 kg.

4.4.2. Diseño a Cortante

Se realiza el diseño de la losa micronervada, analizando como una sección compuesta monolítica para soportar cargas de acuerdo al ACI 17.2 que nos permite cualquier proceso de construcción con conectores, con el requerimiento de que cada elemento sea suficientemente fuerte para soportar todas las cargas por sí mismo y considerando solo el elemento compuesto final.

Tomando en cuenta la resistencia de los materiales usados, los esfuerzos cortantes horizontales, que actúan en la zona de contacto de la plancha de fibrocemento y la micronervadura, se calcula a partir de la ecuación como lo establece el ACI 14.5.5.1:

$$V_h = \frac{V_u * Q}{I * b_w}$$

En donde,

V_h = esfuerzo cortante horizontal, (kg/cm²)

V_u = la fuerza cortante vertical mayorada, (kg)

Q = primer momento estático del área sobre la sección, (cm³)

I = momento de inercia de la sección compuesta, (cm⁴)

b_w = ancho de la sección en el punto considerado, (cm)

La fuerza cortante vertical se obtiene a partir de la ecuación:

$$V_u = \frac{W_u * L}{2}$$

En donde,

W_u = es la combinación de carga viva y muerta, (kg/m).

L = luz de la sección, (m).

$$V_u = \frac{290,862 \frac{kg}{m} * 1 m}{2}$$

$$V_u = 145,431 kg$$

4.4.2.1. Verificación a cortante

La capacidad a cortante de los nervios debe calcularse de acuerdo a la ecuación del ACI 11.5.4.4:

$$V_n = V_c + V_s$$

En donde,

V_n = Capacidad al cortante nominal de la viga de hormigón armado, (kg)

V_c = Resistencia nominal a cortante proporcionada por el hormigón, (kg)

V_s = Resistencia nominal a cortante proporcionada por el acero de refuerzo a cortante, (kg)

En este caso, la propuesta no cuenta con acero de refuerzo de estribos, ya que son capas de compresión delgadas, por lo tanto, $V_s = 0$.

$$V_c = 0.53 * \lambda * \sqrt{f'_c} * b * d$$

En donde,

λ = factor de modificación del concreto

F'_c = resistencia a la compresión del hormigón, (kg/cm^2)

b = ancho de la superficie de contacto, (cm)

d = peralte de la sección, (cm)

$$V_c = 0,53 * 1 * \sqrt{500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} * 4 \text{ cm} * 6,683 \text{ cm}$$

El factor de modificación es igual a 1 porque se usa un hormigón de peso normal.

$$V_{nh} = V_c = 316,782 \text{ kg}$$

Se cumple como lo establece el ACI 16.4.3.1, que la resistencia de diseño a cortante de los nervios debe ser:

$$\phi V_{nh} \geq V_u$$

Cumple, no falla a corte.

4.4.2.2. Cálculo del primer momento de área

Ahora, se calcula el primer momento de área de la sección, para lo cual partimos calculando el centroide de la figura compuesta monolítica, dividiéndola de igual manera en dos figuras y analizándola de manera ascendente desde la parte inferior:

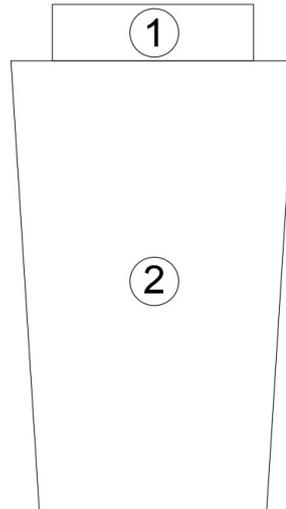


Figura 4.8. Sección transversal compuesta dividida en dos figuras conocidas

Fuente: Autores

Fibroceso (1)

$$A = b_{eq} * e$$

En donde,

A = área de la sección, (cm²)

b_{eq} = ancho equivalente de la sección compuesta, (cm)

e = espesor de la plancha de fibroceso, (cm)

$$A = 2,743 \text{ cm} * 1 \text{ cm}$$

$$A = 2,743 \text{ cm}^2$$

$$y_i = h + \frac{e}{2}$$

En donde,

y_i = distancia al centro de la figura, (cm)

h = altura de la sección, (cm)

$$y_i = 8 \text{ cm} + \frac{1 \text{ cm}}{2}$$

$$y_i = 8,5 \text{ cm}$$

Micronervadura (2)

$$A = \frac{b + B}{2} * h$$

En donde,

b = base menor, (cm)

B = base mayor, (cm)

$$A = \frac{4 \text{ cm} + 5 \text{ cm}}{2} * 8 \text{ cm}$$

$$A = 36 \text{ cm}^2$$

$$y_i = \frac{h}{3} * \frac{2B + b}{B + b}$$

$$y_i = \frac{8 \text{ cm}}{3} * \frac{2 * 5 \text{ cm} + 4 \text{ cm}}{5 \text{ cm} + 4 \text{ cm}}$$

$$y_i = 4,148 \text{ cm}$$

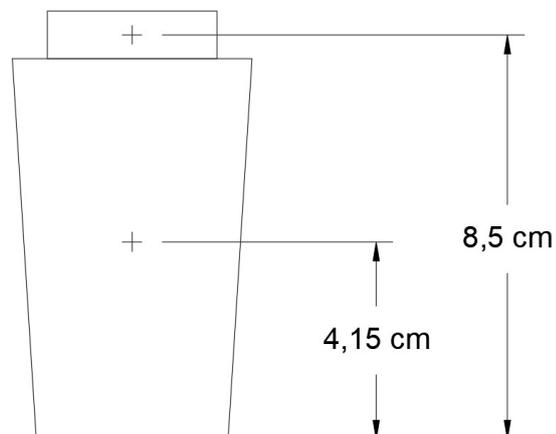


Figura 4.9. Sección transversal con cotas de los centroides de cada figura conocida

Fuente: Autores

Se obtiene el centroide con la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{\Sigma A * y_i}{\Sigma A}$$

$$Y = \frac{(2,743 \text{ cm}^2 * 8,5 \text{ cm}) + (36 \text{ cm}^2 * 4,148 \text{ cm})}{(2,743 \text{ cm}^2 + 36 \text{ cm}^2)}$$

$$Y = 4,456 \text{ cm}$$

Desde la parte inferior, el punto de gravedad se encuentra a 4,456 cm.

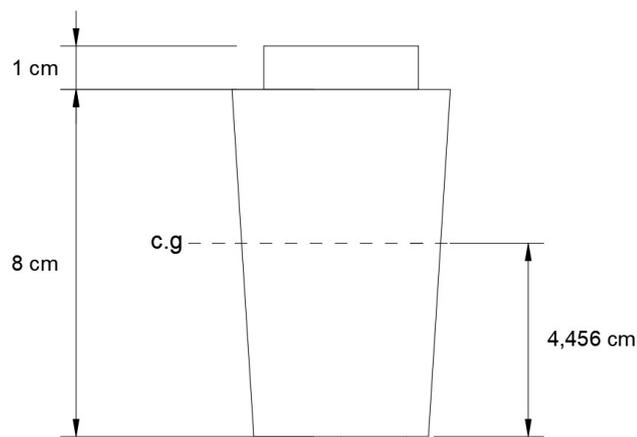


Figura 4.10. Sección transversal compuesta con cotas del centro de gravedad

Fuente: Autores

Luego se calcula el primer momento de área en cada punto de las subsecciones en donde se estimará una resistencia máxima a cortante del elemento bajo flexión, multiplicando el área hasta el punto analizado por la distancia desde el centro de la figura considerada de cada punto al centro de gravedad de la sección compuesta:

$$Q = y_i * A$$

En donde,

Q = primer momento de área, (cm³)

y_i = distancia entre el centroide y el centro de la figura, (cm)

A = área de la figura, (cm²)

Se analiza en diferentes puntos de la sección compuesta monolítica para obtener el valor del cortante máximo.

Punto A:

$$Q_A = 0 \text{ cm} * 0 \text{ cm}^2$$

$$Q_A = 0 \text{ cm}^3$$

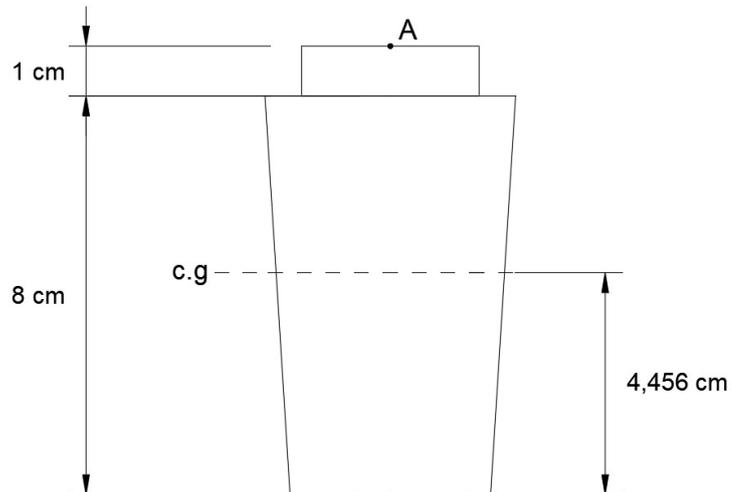


Figura 4.11. Cortante máximo en el punto A de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto B y C:

$$Q_B = 4,044 \text{ cm} * 2,743 \text{ cm}^2$$

$$Q_B = 11,092 \text{ cm}^3$$

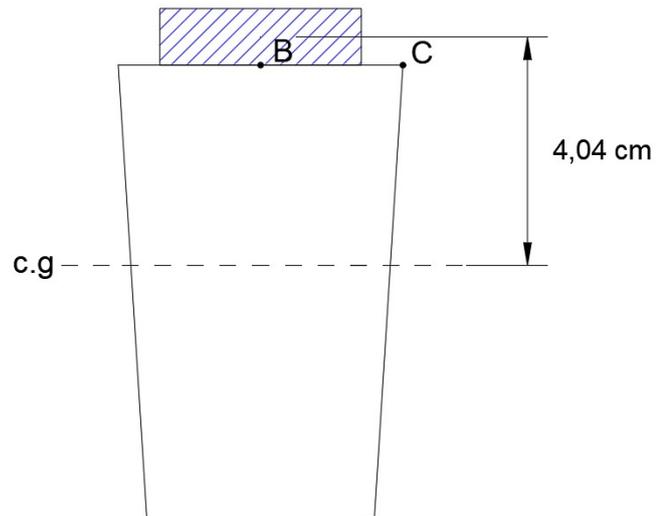


Figura 4.12. Cortante máximo en el punto B y C de la sección transversal compuesta
Fuente: Autores

Punto D:

$$Q_D = (4,044 \text{ cm} * 2,743 \text{ cm}^2) + (3,046 \text{ cm} * 4,938 \text{ cm}^2)$$

$$Q_D = 26,131 \text{ cm}^3$$

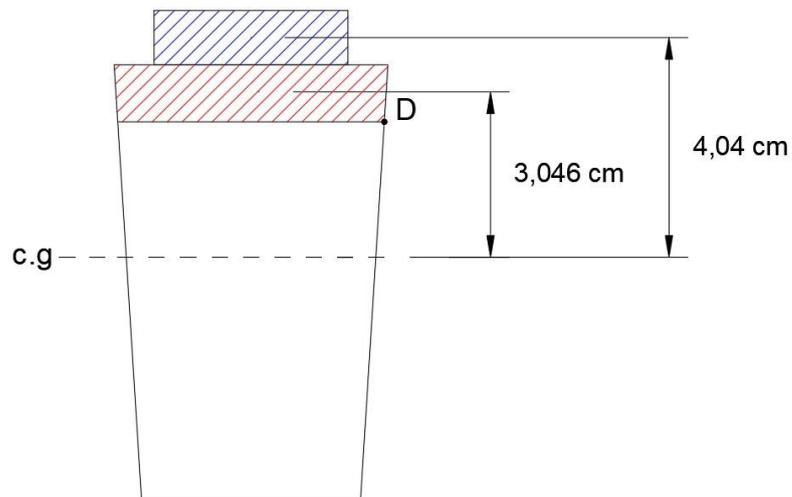


Figura 4.13. Cortante máximo en el punto D de la sección transversal compuesta
Fuente: Autores

Punto E:

$$Q_E = (4,044 \text{ cm} * 2,743 \text{ cm}^2) + (2,552 \text{ cm} * 9,75 \text{ cm}^2)$$

$$Q_E = 35,977 \text{ cm}^3$$

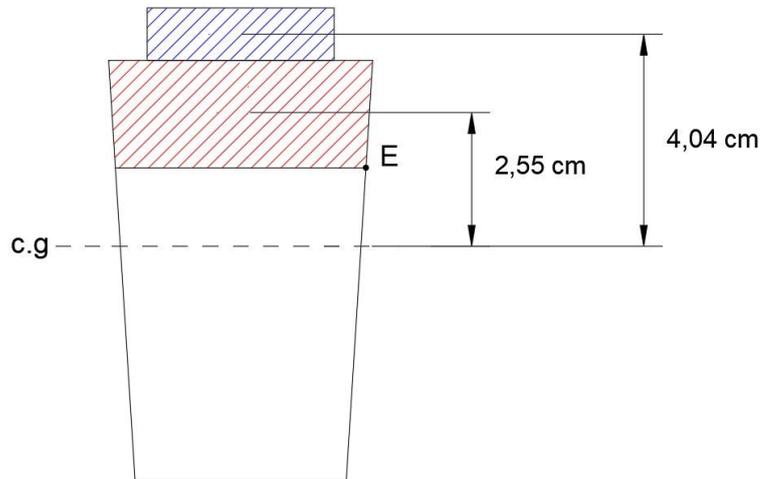


Figura 4.14. Cortante máximo en el punto E de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto F:

$$Q_F = (2,18 \text{ cm} * 19,066 \text{ cm}^2)$$

$$Q_F = 41,56 \text{ cm}^3$$

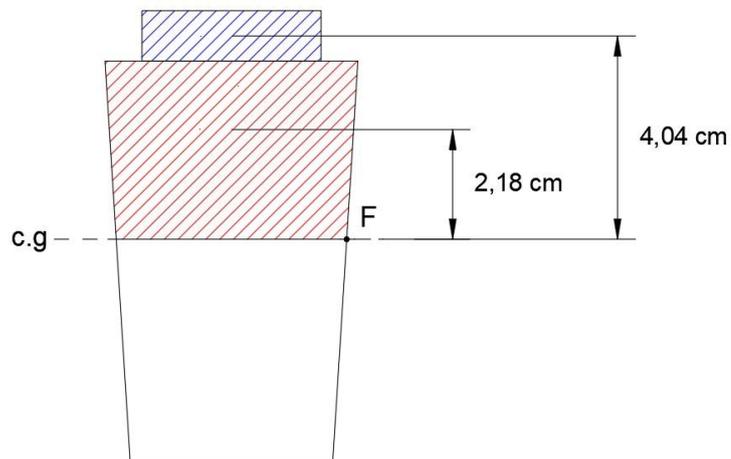


Figura 4.15. Cortante máximo en el punto F de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto G:

$$Q_G = (2,934 \text{ cm} * 12,563 \text{ cm}^2)$$

$$Q_G = 36,857 \text{ cm}^3$$

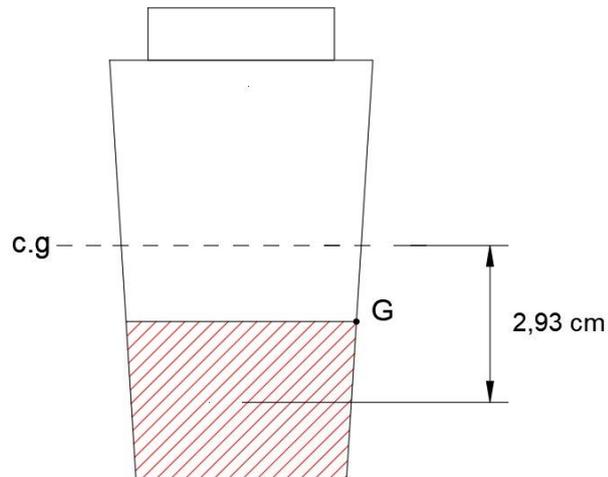


Figura 4.16. Cortante máximo en el punto G de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto H:

$$Q_H = (3,701 \text{ cm} * 6,141 \text{ cm}^2)$$

$$Q_H = 22,724 \text{ cm}^3$$

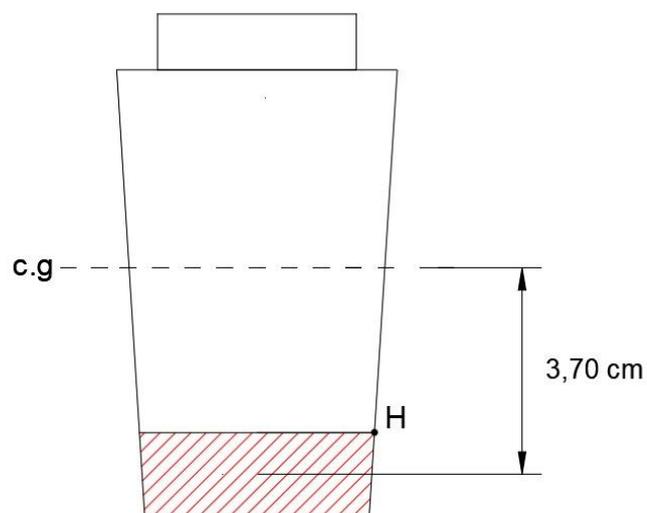


Figura 4.17. Cortante máximo en el punto H de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto I:

$$Q_I = (4,456 \text{ cm} * 0 \text{ cm}^2)$$

$$Q_I = 0 \text{ cm}^3$$

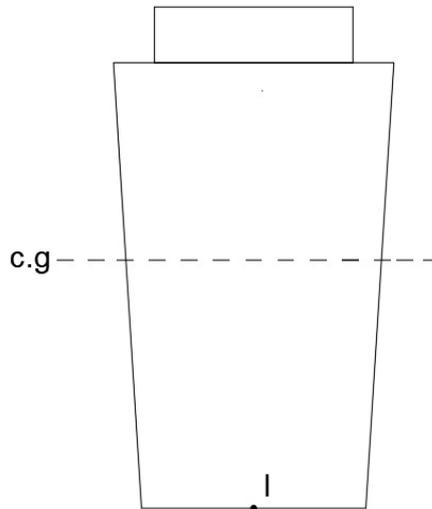


Figura 4.18. Cortante máximo en el punto I de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

4.4.2.3. Cálculo de los esfuerzos horizontales

Se obtienen los esfuerzos cortantes horizontales a partir de la ecuación 10-14 del (Dolan & Hamilton, 2019) en cada punto que se analizó anteriormente con la ecuación:

$$V_h = \frac{V_u * Q}{I * b_w}$$

Punto A:

$$V_{hA} = \frac{V_u * Q_A}{I * b_w}$$

$$V_{hA} = \frac{145,431 \text{ kg} * 0 \text{ cm}^3}{239,709 \text{ cm}^4 * 2,743 \text{ cm}}$$

$$V_{hA} = 0 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto B:

$$V_h B = \frac{V_u * Q_B}{I * b_w}$$

$$V_h B = \frac{145,431 \text{ kg} * 11,092 \text{ cm}^3}{239,709 \text{ cm}^4 * 2,743 \text{ cm}}$$

$$V_h B = 2,453 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto C:

$$V_h C = \frac{V_u * Q_C}{I * b_w}$$

$$V_h C = \frac{145,431 \text{ kg} * 11,092 \text{ cm}^3}{239,709 \text{ cm}^4 * 5 \text{ cm}}$$

$$V_h C = 1,346 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto D:

$$V_h D = \frac{V_u * Q_D}{I * b_w}$$

$$V_h D = \frac{145,431 \text{ kg} * 26,131 \text{ cm}^3}{239,709 \text{ cm}^4 * 4,875 \text{ cm}}$$

$$V_h D = 3,252 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto E:

$$V_h E = \frac{V_u * Q_E}{I * b_w}$$

$$V_h E = \frac{145,431 \text{ kg} * 35,977 \text{ cm}^3}{239,709 \text{ cm}^4 * 4,75 \text{ cm}}$$

$$V_h E = 4,595 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto F:

$$V_h F = \frac{V_u * Q_F}{I * b_w}$$

$$V_h F = \frac{145,431 \text{ kg} * 41,56 \text{ cm}^3}{239,709 \text{ cm}^4 * 4,557 \text{ cm}}$$

$$V_h F = 5,533 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto G:

$$V_h G = \frac{V_u * Q_G}{I * b_w}$$

$$V_h G = \frac{145,431 \text{ kg} * 36,857 \text{ cm}^3}{239,709 \text{ cm}^4 * 4,375 \text{ cm}}$$

$$V_h G = 5,111 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto H:

$$V_h H = \frac{V_u * Q_H}{I * b_w}$$

$$V_h H = \frac{145,431 \text{ kg} * 22,724 \text{ cm}^3}{239,709 \text{ cm}^4 * 4,188 \text{ cm}}$$

$$V_h H = 3,292 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto I:

$$V_h I = \frac{V_u * Q_I}{I * b_w}$$

$$V_h I = \frac{145,431 \text{ kg} * 0 \text{ cm}^3}{239,709 \text{ cm}^4 * 4 \text{ cm}}$$

$$V_h I = 0 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

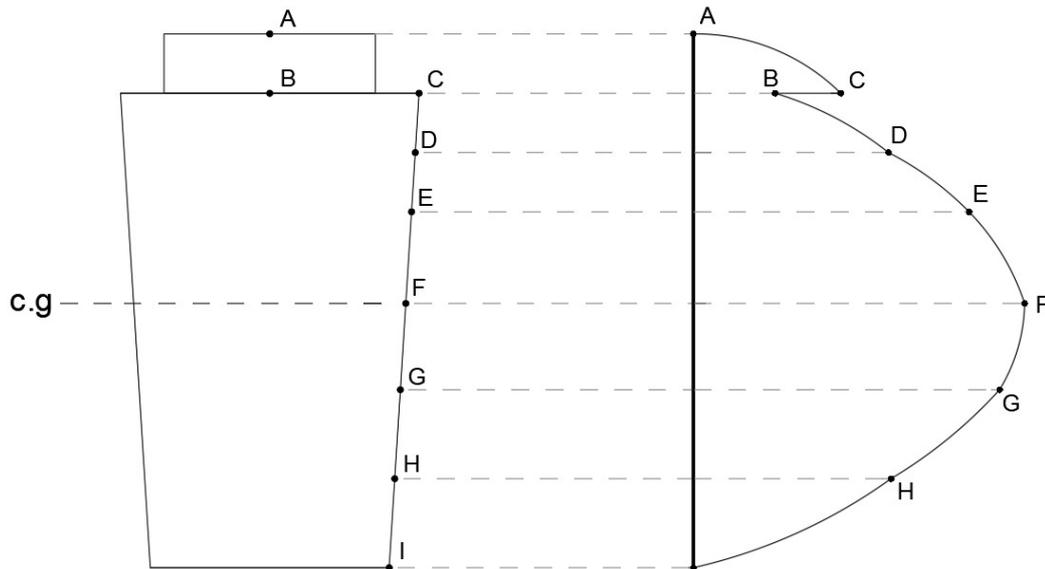


Figura 4.19. Diagrama de esfuerzos cortantes en los puntos analizados en la sección

Fuente: Autores

4.4.2.4. Selección del conector a cortante

Se utiliza el esfuerzo cortante en el punto B, dado que es la zona de la unión de los dos materiales y en donde se aplica la carga cortante.

Cumpliendo con los requisitos de diseño para las cargas de tracción, la resistencia nominal del conector, debe ser analizada mediante cálculos basados en las propiedades del material y las dimensiones del conector.

Se analiza el diseño de los conectores, los cuales fueron ya definidos por sus sollicitaciones y la disponibilidad, para ser preinstalados antes de la colocación del hormigón. Estos anclajes calificados según el ACI 355.2 son de la marca HILTI. En su manual técnico de anclajes nos complementa con información técnica de los servicios y productos, los cuales fueron ensayados basados en pruebas y cálculos analíticos, utilizando procedimientos de prueba y materiales de construcción representativos en la práctica actual.

Las propiedades del material de la chapa de compresión y de las micronervaduras, como es el fibrocemento y el hormigón, juegan un rol importante al seleccionar un conector apropiado para que soporte la carga dada. Es por eso, que se seleccionó el tipo de conector KWIK-CON II+, de diámetro ¼ de pulgada y 2 pulgadas de longitud como se muestra en la siguiente figura:



Figura 4.20. Anclaje Atornillable KWIK-CON II+ para concreto y mampostería

Fuente: Manual Técnico de Anclaje

Es un tornillo fabricado de acero 1018 a 1022 laminado en frío, con una resistencia mínima a la tracción de 184 ksi y resistencia elástica 157 ksi.

La resistencia nominal del anclaje no debe exceder a las características que la ficha técnica de la marca HILTI provee y de acuerdo al ACI 17.4.1.2 se plantea la siguiente ecuación:

$$N_a = A_{se,N} * V_u$$

En donde,

N_a = esfuerzo nominal del acero de anclaje, (kg)

$A_{se,N}$ = área perpendicular efectiva de la zona de anclaje, (cm²)

V_u = esfuerzo cortante horizontal, (kg/cm²)

$$N_a = (s * be) * V_u$$

Se deja en función de la separación s y se prueba con una separación establecida por el catálogo de Eterboard, que se usa para losas de entrepisos, lo que establece una separación de 20cm.

Tabla 4.5. Ficha técnica de separaciones y longitud del tornillo para planchas de fibrocemento

Instalación panel simple sobre Metal	Longitud Tornillo (mm)	Distancia de separación (cm)
Panel de 10 mm	50,8	20

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Ficha Técnica Eterboard Fibrocemento, 2018

Con el ancho de la sección y la fuerza de corte en el punto de unión de los materiales, se obtiene el esfuerzo nominal que se requiere para el conector:

$$N_a = (20 \text{ cm} * 22,5 \text{ cm}) * 2,453 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$N_a = 1003,99 \text{ kg} = 10,268 \text{ KN}$$

Según el ACI 17.2.2 nos dice que la resistencia de diseño de los conectores debe ser igual o mayor la resistencia requerida calculada. La capacidad máxima última a corte del conector es de 10,7 KN y analíticamente se obtuvo una resistencia que necesita el conector de 10,268 KN. Por lo tanto, cumple el conector establecido y se aplicaran con una separación de 20cm entre conectores.

Tabla 4.6. Capacidad máxima de los conectores anclados al hormigón, de acuerdo a su resistencia a la compresión

Diámetro nominal del conector	Empotramiento (mm)	f'c = 7000 psi Corte (kN)
1/4	44	10,7

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del manual técnico de anclaje de HILTI, 2019.

A continuación, se muestra el diseño final de la propuesta para la losa micronervada de tres nervios:

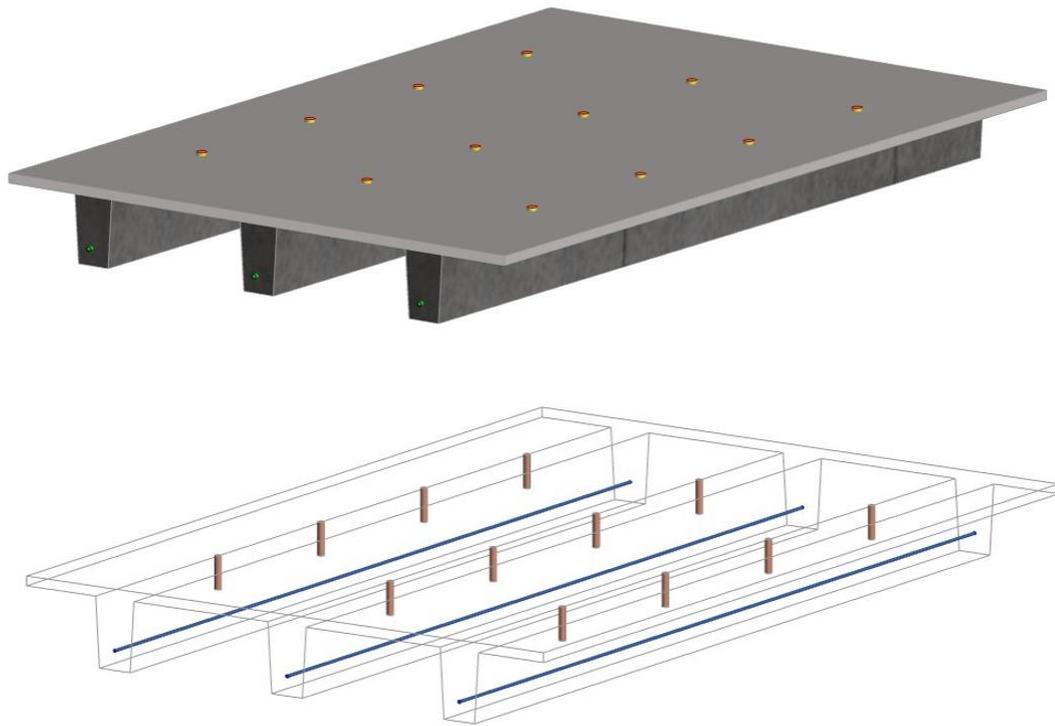


Figura 4.21. Diseño definitivo de la losa con tres nervios

Fuente: Autores

4.5. Diseño: Losa micronervada con cuatro nervios

Como se mencionó anteriormente, el diseño y cálculos para el modelo de la losa micronervada de cuatro nervios, es el mismo que el modelo de tres nervios, debido a que solamente cambian datos geométricos, pero el procedimiento y metodología es el mismo, con resultados que no varían mucho.

Para este modelo únicamente se mostrarán los resultados de los cálculos y se detallarán los cambios en comparación al modelo de la losa micronervada de tres nervios.

4.5.1. Diseño a flexión

4.5.1.1. Datos generales

Las dimensiones para la losa micronervada de cuatro nervios siguen siendo similares a la de tres nervios, a diferencia de la altura de la nervadura y del ancho de la losa, tal como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 4.7. Datos generales de la losa con 4 nervios

DATOS		
Sección Transversal Tipo Trapezoidal		
Base menor:	4	cm
Base mayor:	5	cm
Altura:	6	cm
Recubrimiento:	2	cm
Dimensiones de la Losa		
Largo:	100	cm
Ancho:	60	cm
Ancho efectivo b_e :	15	cm
Características del hormigón		
Resistencia a la compresión f'_c :	500	kg/ cm ²
Densidad:	2467	kg/ cm ³
Características del acero		
Diámetro Ø:	4	mm
Límite de fluencia f'_y :	5000	kg/ cm ²
Características de la placa de fibrocemento de 10mm		
Espesor e :	10	mm
Módulo de elasticidad E_c :	41162,55	kg/ cm ²
Resistencia a la compresión f'_c :	48,946	kg/ cm ²

Fuente: Autores

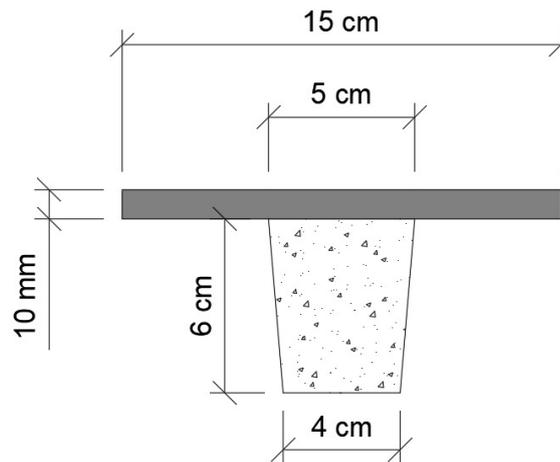


Figura 4.22. Sección transversal de un nervio

Fuente: Autores

4.5.1.2. Equivalencia entre los módulos de elasticidad

Se usa el mismo factor de equivalencia, ya que el módulo de elasticidad del hormigón y de la plancha de fibrocemento es el mismo en los dos modelos de las losas micronervadas.

$$n = 8,203$$

Posteriormente, se hace el cálculo del ancho de la chapa de compresión equivalente al nervio:

$$b_{eq} = \frac{15 \text{ cm}}{8,203}$$

$$b_{eq} = 1,829 \text{ cm}$$

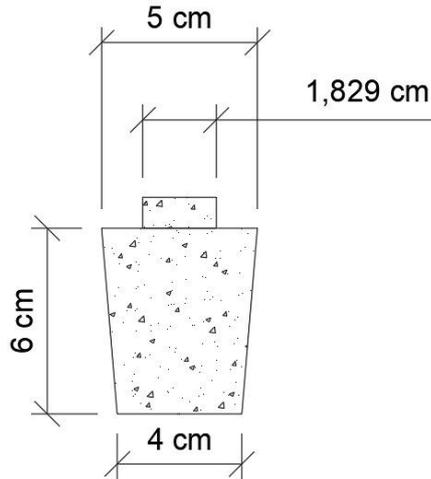


Figura 4.23. Sección transversal compuesta con el ancho equivalente de la losa

Fuente: Autores

4.5.1.3. Determinación de las cargas vivas y muertas

De igual manera la carga viva se calcula realizando una iteración con el mismo procedimiento anterior. Se establece para este modelo el mismo hormigón, el acero de refuerzo y la plancha de fibrocemento. También se deja en función de la carga viva para asemejar el momento nominal con el momento último de la losa micronevada.

$$q = 671,203 \frac{kg}{m^2}$$

Se multiplica el valor de la carga viva por el ancho efectivo de la losa de cuatro nervios:

$$L = 671,203 \frac{kg}{m^2} * \frac{15 cm}{100}$$

Así se obtiene una carga viva de:

$$L = 100,68 \frac{kg}{m}$$

El valor de la carga muerta es el mismo de la plancha de fibrocemento y la carga de piso como estableció para el modelo de losa micronervada de tres nervios, únicamente varía el peso propio de las micronervaduras, ya que para este modelo se tiene cuatro nervios.

$$P_{fibrocemento} = 14,90 \frac{kg}{m^2} * \frac{15 cm}{100}$$

$$P_{fibrocemento} = 2,235 \frac{kg}{m}$$

Se multiplica la carga de piso como establece la NEC por el ancho efectivo.

$$P_{recubrimiento} = 20 \frac{kg}{cm^2} * \frac{15 cm}{100}$$

$$P_{recubrimiento} = 3 \frac{kg}{cm}$$

La carga del nervio se calcula de la misma manera, pero con cuatro nervios.

$$P_{nervio} = 4 * \left(\frac{0,04 m + 0,05 m}{2} * 0,06 m \right) * 2467 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{nervio} = 26,644 \frac{kg}{m}$$

En la siguiente tabla se detalla todos los valores de la carga muerta que se aplicó en el modelo de la losa micronervada de cuatro nervios.

Tabla 4.8. Valores de las cargas muertas de la losa micronervada de cuatro nervios

Descripción	Carga (kg/m)
Fibrocemento	2,235
Carga de piso, cerámica	3
Peso nervio	26,644
Total	31,879

Fuente: Autores

$$D = 31,879 \frac{kg}{m}$$

Se factoriza las cargas usando la tercera combinación de cargas tomando únicamente la carga viva y muerta:

$$U = 1,2 * 31,879 \frac{kg}{m} + 1,6 * 100,68 \frac{kg}{m}$$

$$U = 199,343 \frac{kg}{m}$$

$$W_u = U$$

$$W_u = 199,343 \frac{kg}{m}$$

Luego, se obtiene el momento ultimo para la carga factorizada y la longitud de la losa:

$$M_u = \frac{199,343 \frac{kg}{m} * (1m)^2}{8}$$

$$M_u = 24,918 kg * m$$

4.5.1.4. Cantidad de acero establecido para la propuesta y acero mínimo

Se calcula la cantidad de acero mínima para flexión, siendo el mismo valor que el modelo de la losa micronervada de tres nervios.

$$A_{s_{min}} = \frac{0,25 * \sqrt{500 \frac{kg}{cm^2}}}{5000 \frac{kg}{cm^2}} * 4cm * 6,683cm$$

$$A_{s_{min}} = 0,034 cm^2$$

El acero que se usa para este modelo es el mismo que se usó para el modelo de losa micronervada de tres nervios, es decir, de diámetro 4 mm corrugado y con un límite de fluencia de 5000 kg/cm².

$$A_s = 0,126 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{min}} \leq A_s$$

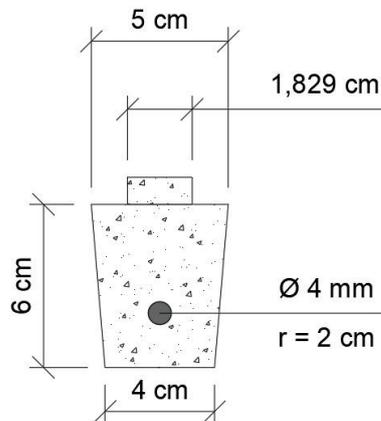


Figura 4.24. Sección transversal compuesta con varilla de la losa micronervada

Fuente: Autores

Se calcula la profundidad del bloque de esfuerzos, la distancia de las fibras extremas del hormigón en compresión al eje neutro y la relación entre la posición del eje neutro y la altura del bloque de compresión.

$$a = \frac{0,126 \text{ cm}^2 * 5000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{0,85 * 500 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 4 \text{ cm}}$$

$$a = 0,811 \text{ cm}$$

$$c = \frac{a}{0,85}$$

$$c = 0,954 \text{ cm}$$

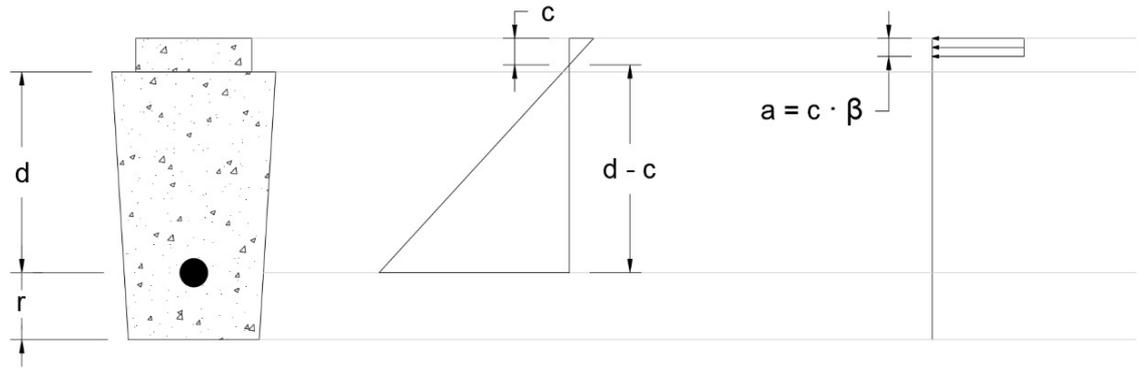


Figura 4.25. Diagrama de Whitney de la sección

Fuente: Autores

4.5.1.5. Fuerza última

De la ecuación de la cantidad de acero, se deja en función de la variable q , tal como se realizó el procedimiento para el modelo anterior de tres nervios, de la siguiente manera:

$$A_s = \frac{(1,2 * D + 1,6 * q) * l^2}{8 * \phi * f'c * d}$$

$$0,126 \text{ cm}^2 = \frac{\left(\frac{(1,2 * 31,879 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}) + (1,6 * q) * (\frac{100\text{cm}}{100})^2}{8} \right)}{0,9 * 5000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * (4,8 \text{ cm} - \frac{0,811 \text{ cm}}{2})}$$

$$q = 671,203 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Luego, se calcula el momento nominal a partir de la cantidad de acero que se definió:

$$\phi Mn = 0,9 * 0,126 \text{ cm}^2 * 5000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{(4,8 \text{ cm} - \frac{0,811 \text{ cm}}{2})}{100}$$

$$\phi Mn = 27,687 \text{ kg} * \text{m}$$

Se debe satisfacer según el ACI.7.5.1.1(a) que:

$$\phi Mn > Mu$$

Cumple

De igual manera que en el modelo anterior, se realiza la relación con la carga viva que se establece en la NEC.

$$\frac{q}{200 \frac{kg}{m^2}} = 3.356$$

La carga viva ultima que se obtiene es de $q = 671,203 \frac{kg}{m^2}$, lo que representa tres veces mayor a una carga normal viva de una vivienda como lo define la NEC.

Y para probar la carga en la prensa hidráulica del laboratorio se multiplica para el área de la losa.

$$P = 671,203 \frac{kg}{m^2} * 1 m * 0,60 m$$

$$P = 402,722 kg$$

La fuerza ultima es igual a 402,722 kg.

4.5.1.6. Momento de agrietamiento

Se calcula el módulo de ruptura del hormigón, que viene a ser el mismo que el anterior modelo.

$$f_r = 44,721 \frac{kg}{m^2}$$

4.5.1.7. Cálculo de la Inercia

Luego se calcula la inercia de la sección compuesta monolítica, de la misma manera como se calculó la losa micronervada de tres nervios, dividiéndola en 2 figuras conocidas.

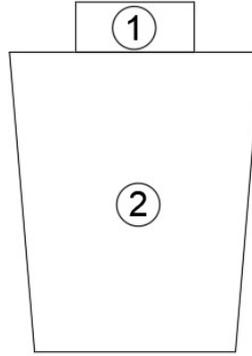


Figura 4.26. Sección transversal dividida en 2 figuras conocidas

Fuente: Autores

Primero se analiza la primera figura conocida y se obtiene su inercia:

$$Ix1 = \frac{b * h^3}{12} + A * yi^2$$

$$Ix1 = \frac{1,829 \text{ cm} * \left(\frac{10 \text{ mm}}{10}\right)^3}{12} + (1,829 \text{ cm}^2 * (3,174 \text{ cm})^2)$$

$$Ix1 = 18,574 \text{ cm}^4$$

Posteriormente la segunda figura conocida:

$$Ix2 = \frac{h^3 * (B^2 + 4bB + b^2)}{36 * (b + B)} + A * yi^2$$

$$Ix2 = \frac{(6 \text{ cm})^3 * ((5 \text{ cm})^2 + 4 * (4 \text{ cm}) * (5 \text{ cm}) + (4 \text{ cm})^2)}{36 * ((4 \text{ cm}) + (5 \text{ cm}))} + (27 \text{ cm}^2 * (0,215 \text{ cm})^2)$$

$$Ix2 = 81,914 \text{ cm}^4$$

Finalmente, la inercia total es la suma de las inercias de las 2 figuras conocidas:

$$I = Ix1 + Ix2$$

$$I = 18,574 \text{ cm}^4 + 81,914 \text{ cm}^4$$

$$I = 100,488 \text{ cm}^4$$

Por lo tanto, el momento de agrietamiento para la losa micronervada de cuatro nervios es:

$$M_{agr} = \frac{44,721 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 100,488 \text{ cm}^4}{3,326 \text{ cm}}$$

$$M_{agr} = 1351,133 \text{ kg} * \text{cm}$$

Y para obtener la fuerza de agrietamiento, despejamos la carga puntual de la misma manera que el modelo de la losa micronervada de tres nervios.

$$1351,133 \text{ kg} * \text{cm} = \frac{q * (100)^2}{8}$$

$$q = 1,081 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} * 100 \text{ cm}$$

$$q = 108,091 \text{ kg}$$

La carga puntual de las primeras grietas es de 108,091 kg.

4.5.2. Diseño a Cortante

La metodología del diseño a cortante y los cálculos de la losa micronervada de tres nervios, usa la misma metodología que en el diseño anterior, con las modificaciones geométricas de la sección transversal de los nervios y dimensiones de la losa. Así mismo se usan los mismos materiales especificados anteriormente y con un conector de menor dimensión.

4.5.2.1. Verificación a cortante

Se obtiene la fuerza cortante vertical:

$$V_u = \frac{199,343 \frac{kg}{m} * 1 m}{2}$$

$$V_u = 99,672 kg$$

Luego se define la capacidad a cortante de los nervios:

$$V_n = V_c + V_s$$

Igual, en este caso, la propuesta no cuenta con acero de refuerzo de estribos, ya que son capas de compresión delgadas, por lo tanto, $V_s = 0$. Se tiene únicamente la resistencia a cortante del hormigón.

$$V_c = 0,53 * 1 * \sqrt{500 \frac{kg}{cm^2} * 4 cm * 4,8 cm}$$

El factor de modificación es igual a 1 porque se usa un hormigón de peso normal.

$$V_{nh} = V_c = 316,782 kg$$

Se cumple como lo establece el ACI 16.4.3.1, que la resistencia de diseño a cortante de los nervios debe ser:

$$\phi V_{nh} \geq V_u$$

Cumple, no falla a corte.

4.5.2.2. Cálculo del primer momento de área

De manera semejante se calcula el primer momento de área de la sección, para lo cual partimos calculando el centroide de la figura compuesta monolítica, dividiéndola en dos figuras y analizándola desde la parte inferior:

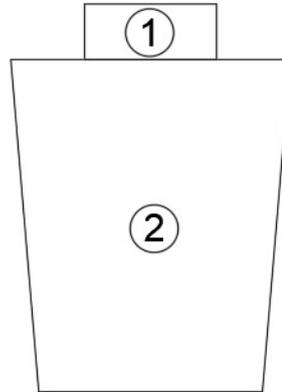


Figura 4.27. Sección transversal compuesta dividida en 2 figuras conocidas

Fuente: Autores

Fibroceso 1.

$$A = 1,829 \text{ cm} * 1 \text{ cm}$$

$$A = 1,829 \text{ cm}^2$$

$$y_i = 6,5 \text{ cm}$$

Micronervadura 2.

$$A = \frac{4 \text{ cm} + 5 \text{ cm}}{2} * 6 \text{ cm}$$

$$A = 27 \text{ cm}^2$$

$$y_i = \frac{6 \text{ cm}}{3} * \frac{2 * 5 \text{ cm} + 4 \text{ cm}}{5 \text{ cm} + 4 \text{ cm}}$$

$$y_i = 3,11 \text{ cm}$$

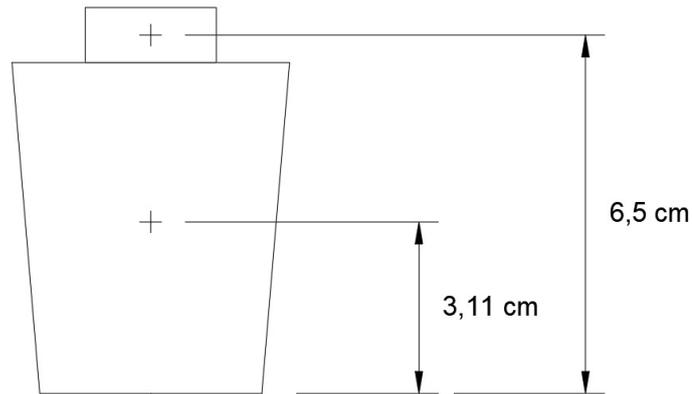


Figura 4.28. Sección transversal con cotas de los centroides de cada figura conocida

Fuente: Autores

Se obtiene el centroide.

$$Y = \frac{(1,829 \text{ cm}^2 * 6,5 \text{ cm}) + (27 \text{ cm}^2 * 3,11 \text{ cm})}{(1,829 \text{ cm}^2 + 27 \text{ cm}^2)}$$

$$Y = 3,326 \text{ cm}$$

Desde la parte inferior, el punto de gravedad se encuentra a 3,326 cm.

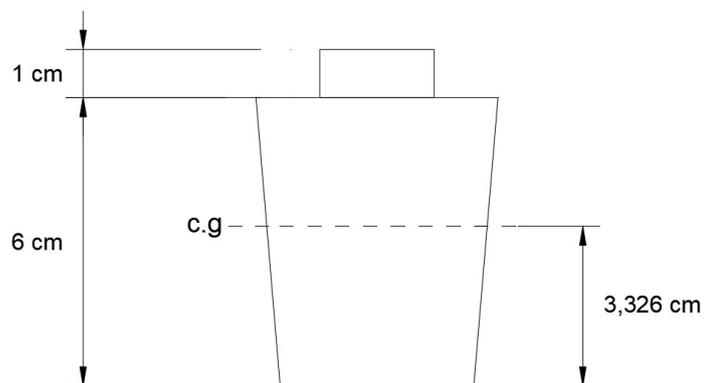


Figura 4.29. Sección transversal compuesta con cotas del centro de gravedad

Fuente: Autores

Se calcula el primer momento de área en cada punto de las subsecciones de igual manera como se realizó el proceso en el modelo de la losa micronervada con tres nervios.

Punto A:

$$Q_A = 0 \text{ cm} * 0 \text{ cm}^2$$

$$Q_A = 0 \text{ cm}^3$$

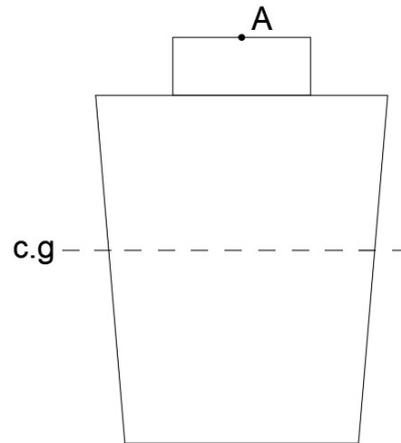


Figura 4.30. Cortante máximo en el punto A de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto B y C:

$$Q_B = 1,829 \text{ cm}^2 * 3,174 \text{ cm}$$

$$Q_B = 5,804 \text{ cm}^3$$

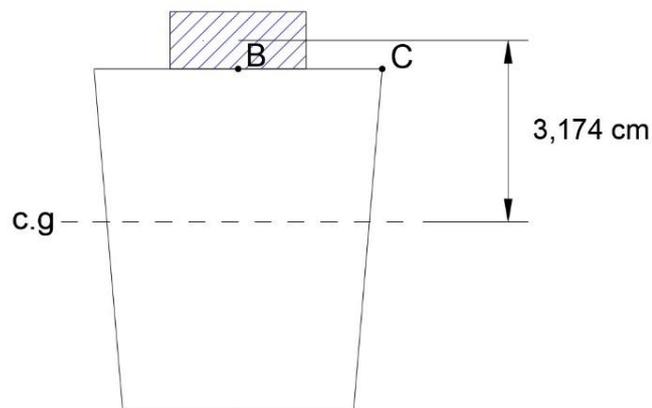


Figura 4.31. Cortante máximo en el punto B y C de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto D:

$$Q_D = (1,829 \text{ cm}^2 * 3,174 \text{ cm}) + (4,917 \text{ cm}^2 * 2,177 \text{ cm})$$

$$Q_D = 16,506 \text{ cm}^3$$

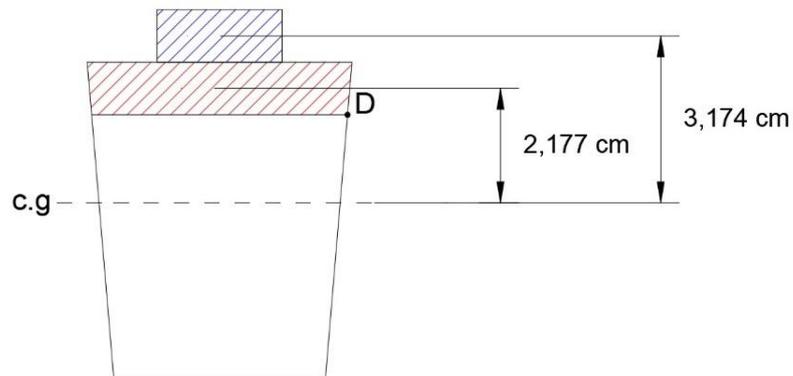


Figura 4.32. Cortante máximo en el punto D de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto E:

$$Q_E = (1,829 \text{ cm}^2 * 3,174 \text{ cm}) + (9,667 \text{ cm}^2 * 1,685 \text{ cm})$$

$$Q_E = 22,096 \text{ cm}^3$$

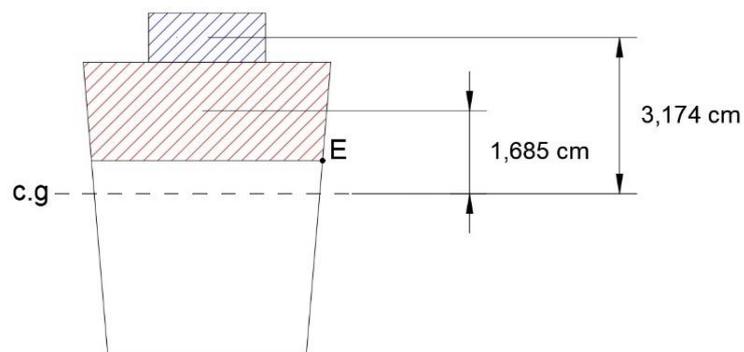


Figura 4.33. Cortante máximo en el punto E de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto F:

$$Q_F = (1,627 \text{ cm} * 14,226 \text{ cm}^2)$$

$$Q_F = 23,148 \text{ cm}^3$$

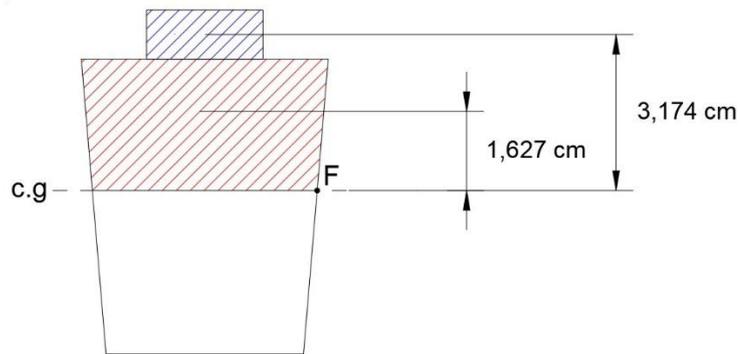


Figura 4.34. Cortante máximo en el punto F de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto G:

$$Q_G = (2,313 \text{ cm} * 8,333 \text{ cm}^2)$$

$$Q_G = 19,273 \text{ cm}^3$$

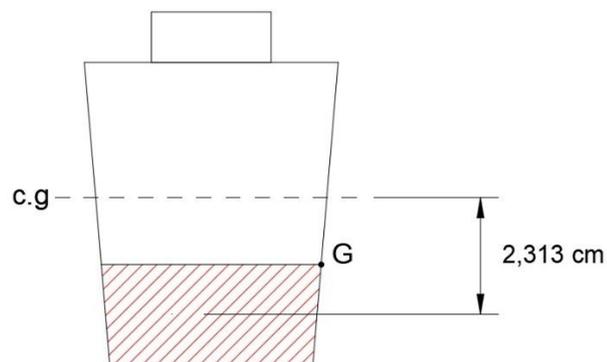


Figura 4.35. Cortante máximo en el punto G de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto H:

$$Q_H = (2,823 \text{ cm} * 4,083 \text{ cm}^2)$$

$$Q_H = 11,526 \text{ cm}^3$$

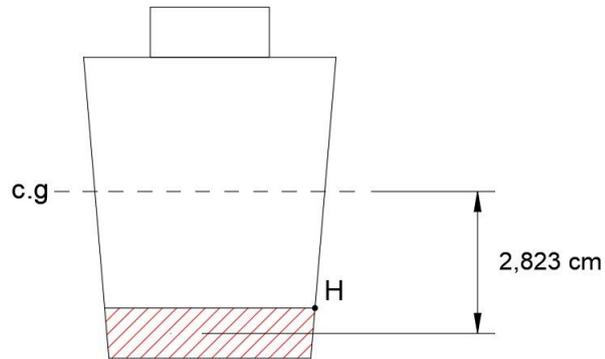


Figura 4.36. Cortante máximo en el punto H de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

Punto I:

$$Q_I = (3,326 \text{ cm} * 0 \text{ cm}^2)$$

$$Q_I = 0 \text{ cm}^3$$

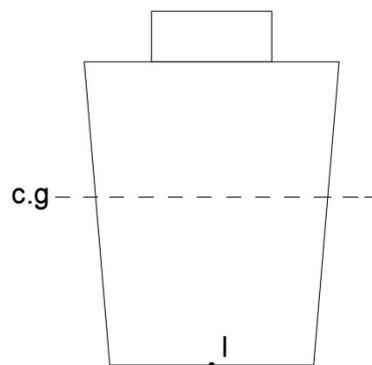


Figura 4.37. Cortante máximo en el punto I de la sección transversal compuesta

Fuente: Autores

4.5.2.3. Cálculo de los esfuerzos horizontales

Se obtienen los esfuerzos cortantes horizontales en cada punto que se analizó anteriormente:

Punto A:

$$V_{hA} = \frac{99,672 \text{ kg} * 0 \text{ cm}^3}{100,488 \text{ cm}^4 * 1,829 \text{ cm}}$$

$$V_{hA} = 0 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto B:

$$V_{hB} = \frac{99,672 \text{ kg} * 5,804 \text{ cm}^3}{100,488 \text{ cm}^4 * 1,829 \text{ cm}}$$

$$V_{hB} = 3,148 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto C:

$$V_{hC} = \frac{99,672 \text{ kg} * 5,804 \text{ cm}^3}{100,488 \text{ cm}^4 * 5 \text{ cm}}$$

$$V_{hC} = 1,151 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto D:

$$V_{hD} = \frac{99,672 \text{ kg} * 16,506 \text{ cm}^3}{100,488 \text{ cm}^4 * 4,833 \text{ cm}}$$

$$V_{hD} = 3,387 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto E:

$$V_{hE} = \frac{99,672 \text{ kg} * 22,096 \text{ cm}^3}{100,488 \text{ cm}^4 * 4,667 \text{ cm}}$$

$$V_{hE} = 4,696 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto F:

$$V_{hF} = \frac{99,672 \text{ kg} * 23,148 \text{ cm}^3}{100,488 \text{ cm}^4 * 4,554 \text{ cm}}$$

$$V_{hF} = 5,041 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto G:

$$V_{hG} = \frac{99,672 \text{ kg} * 19,273 \text{ cm}^3}{100,488 \text{ cm}^4 * 4,333 \text{ cm}}$$

$$V_{hG} = 4,411 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto H:

$$V_{hH} = \frac{99,672 \text{ kg} * 11,526 \text{ cm}^3}{100,488 \text{ cm}^4 * 4,167 \text{ cm}}$$

$$V_{hH} = 2,744 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Punto I:

$$V_{hI} = \frac{99,672 \text{ kg} * 0 \text{ cm}^3}{100,488 \text{ cm}^4 * 4 \text{ cm}}$$

$$V_{hI} = 0 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

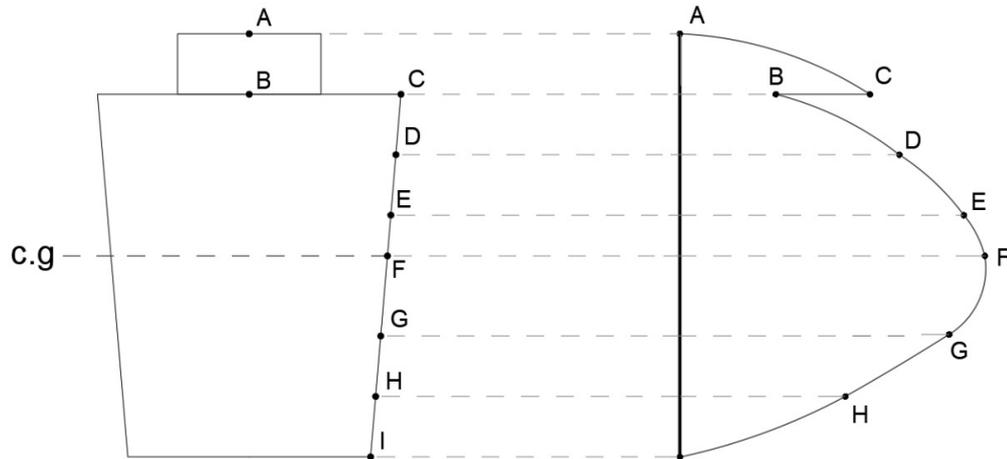


Figura 4.38. Diagrama de esfuerzos cortantes en los puntos analizados en la sección transversal compuesta de la losa micronervada con cuatro nervios

Fuente: Autores

4.5.2.4. Selección del conector a cortante

Se utiliza el esfuerzo cortante en el punto B, ya que es la zona de la unión de los dos materiales y en donde se aplica la carga cortante.

El conector ya fue definido por sus solicitaciones y la disponibilidad anteriormente en el modelo de losa micronervada con tres nervios, para ser preinstalados antes de la colocación del hormigón. Estos conectores calificados son los mismos que se usaron en dicho modelo, pero de menor longitud y de la misma marca HILTI. El conector es de tipo KWIK-CON II+, de diámetro $\frac{1}{4}$ de pulgada y 1.5 pulgadas de longitud como se muestra en la siguiente figura:



Figura 4.39. Anclaje Atornillable KWIK-CON II+ para concreto y mampostería

Fuente: Manual Técnico de Anclaje.

La resistencia nominal del anclaje no debe exceder a las características que la ficha técnica de la marca HILTI provee.

$$N_a = (s * be) * V_u$$

Se deja en función de la separación s , de la misma manera como se realizó en el modelo de la losa micronervada con tres nervios y se prueba con una separación establecida por el catálogo de Eterboard, que se usa para losas de entrepisos, lo que establece una separación de 30 cm.

Tabla 4.9. Ficha técnica de separaciones y longitud del tornillo para planchas de fibrocemento

Instalación panel simple sobre Metal	Longitud Tornillo (mm)	Distancia de separación (cm)
Panel de 10 mm	44,45	30

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Ficha Técnica Eterboard Fibrocemento, 2018

Con el ancho de la sección y la fuerza de corte en el punto de unión de los materiales, se obtiene el esfuerzo nominal que se requiere para el conector:

$$N_a = (30 \text{ cm} * 15 \text{ cm}) * 3,148 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$N_a = 1046,105 \text{ kg} = 9,653 \text{ KN}$$

Se cumple que la resistencia de diseño de los conectores debe ser igual o mayor a la resistencia requerida calculada. La capacidad máxima última a corte del conector es de 9,68 KN y analíticamente se obtuvo una resistencia que necesita el conector de 9,653 KN. Por lo tanto, cumple el conector establecido y se aplicaran con una separación de 30 cm entre conectores.

Tabla 4.10. Capacidad máxima de los conectores anclados al hormigón, de acuerdo a su resistencia a la compresión.

Diámetro nominal del conector	Empotramiento (mm)	$f'_c = 7000$ psi Corte (kN)
1/4	38	9,68

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del manual técnico de anclaje de HILTI, 2019.

A continuación, se muestra el diseño final:

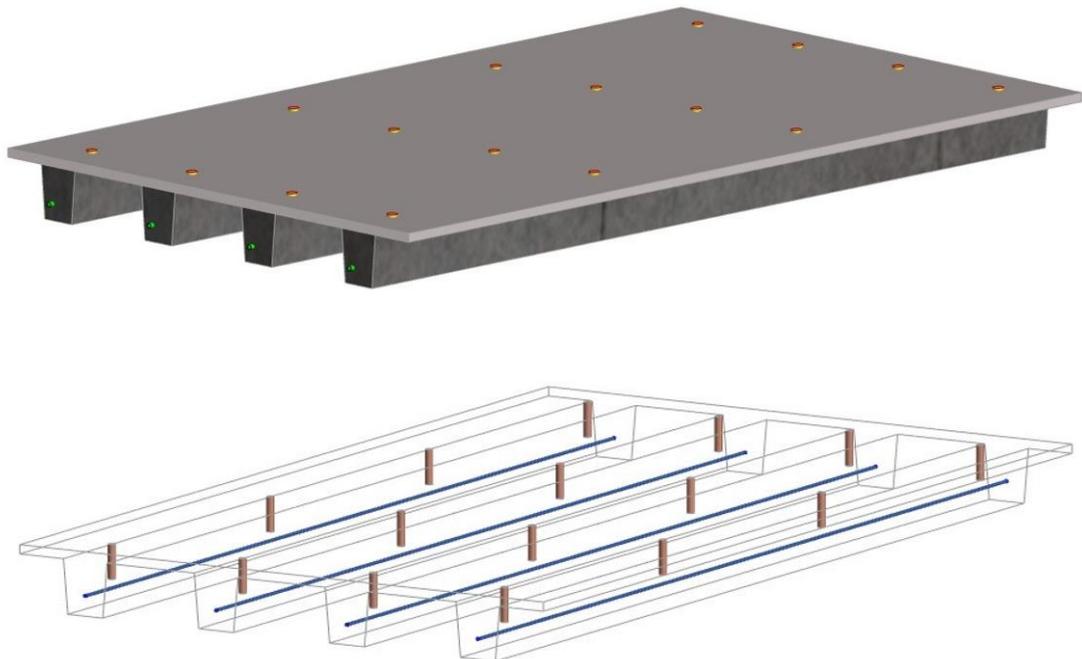


Figura 4.40. Diseño definitivo de losa con cuatro nervios

Fuente: Autores

CAPITULO 5

PROCESO CONSTRUCTIVO

Debido a que las losas son elementos estructurales muy delicados, estas deben seguir un adecuado proceso constructivo, siguiendo todas aquellas especificaciones técnicas contempladas dentro de las normas, con el fin de tener buenos resultados, y poder garantizar el adecuado comportamiento que debe tener para lo que fue construida. Se fabricarán los moldes y se vaciará el hormigón en la constructora “Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA”, ya que cuenta con materia prima, equipos para la dosificación, vaciado del hormigón y de transporte, y de un laboratorio para el control de la calidad del hormigón.

5.1. Diseño de la dosificación para el hormigón

La dosificación del hormigón que se usó para la elaboración de las dos propuestas, está basada en la metodología que establece el código American Concrete Institute, ya que es el método de dosificación más utilizado en las constructoras para cualquier obra que se realice con hormigón. Se empleó un método semi-empírico, en donde las propiedades y características de los materiales se obtuvieron de datos existentes de su origen, analizados por la constructora “Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA”. Se espera obtener un hormigón de resistencia a la compresión de 500 kg/cm², por lo tanto, se llevará a cabo cada paso del ACI 211.1 para obtener el peso exacto de los agregados finos y gruesos, el cemento y agua.

5.1.1. Información de los materiales

Para llegar a obtener la resistencia a la compresión deseada del hormigón, se usará los siguientes materiales:

- Cemento: Holcim Tipo HE
- Agregado fino y grueso: de la planta “Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA”
- Agua: agua potable del municipio de Cuenca

A continuación, se detalla las propiedades de los materiales:

Tabla 5.1. Propiedades de los Materiales

Cemento		Agregado Fino		Agregado Grueso		Agua	
Peso Específico:	3000 kg/m ³	Peso Específico saturado:	2640 kg/m ³	Peso Específico seco:	1600 kg/m ³	Peso Específico:	1000 kg/m ³
		Modulo finura:	2,21	Peso Específico saturado:	2680 kg/m ³		
		% Humedad:	4,68	% Humedad:	2		
		% Absorción:	0,7	% Absorción:	0,5		

Fuente: Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA

5.1.2. Asentamiento del hormigón

Este ensayo se realiza para definir la resistencia del hormigón a deformaciones, también conocida como consistencia y se realiza con el cono de Abrams como lo establece la norma ASTM C143. A continuación, se presenta los revenimientos recomendados en la tabla 6.3.1 del ACI 211.1:

Tabla 5.2. Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción del ACI

Asentamiento (mm)		
Tipo de construcción	Máximo	Mínimo
Cimentación reforzada, muros y zapatas	75	25
Zapatas planas, caissons y subestructura de muro	75	25
Vigas y muros reforzados	100	25
Columnas	100	25
Pavimento y losas	75	25
Masa de Hormigón	75	25

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la tabla 6.3.1 del ACI 211.1

El ensayo fue realizado por la constructora “Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA” para el tipo de hormigón que se usó en las propuestas, obteniendo un valor de 12cm de asentamiento.

5.1.3. Tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado fue seleccionado a partir de su geometría, teniendo en cuenta que se requiere elementos pequeños para garantizar las condiciones de recubrimiento y que no afecte a la distribución del acero de refuerzo, es por eso que se consideró un agregado máximo de tamaño de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

5.1.4. Estimación del contenido de agua y aire

El contenido de agua y aire se estimó acorde al asentamiento y el tipo de agregado que se usó, calculando mediante una relación, una cantidad de 205,1 Kg/m³ de agua y un 2% de contenido de aire.

Tabla 5.3. Contenido de agua sin aire

Contenido de agua (Kg/m ³)										
Asentamiento (cm)			Tamaño máximo del agregado (pulg)							
			3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6
2,5	5,1	6,9	208,1	199,2	187,3	178,4	163,5	154,6	130,8	113
7,6	10,2	1,8	228,9	217	202,1	193,2	178,4	169,4	145,7	124,8
15,2	17,8	3,2	243,8	228,9	214	202,1	187,3	178,4	160,5	
Contenido aire (%)		x	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Fuente: Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA

Tabla 5.4. Contenido de agua con aire

Contenido de agua (Kg/m ³)										
Asentamiento (cm)			Tamaño máximo del agregado (pulg.)							
			3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6
2,5	5,1	6,9	181,3	175,4	166,5	160,5	148,6	142,7	133,8	107
7,6	10,2	1,8	202,1	193,2	181,3	175,4	163,5	157,5	148,6	118,9
15,2	17,8	3,2	217	205,1	193,2	184,3	172,4	166,5	160,5	
Contenido aire (%)										
Leve			4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Moderado			6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5	3,0
Extremo		x	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Fuente: Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA

5.1.5. Relación agua/cemento

La relación agua/cemento que se usó, para la resistencia a la compresión de 500 kg/cm², es de 0,5, que se definió con la siguiente tabla:

Tabla 5.5. Relación agua/cemento

Relación agua / cemento			
Resistencia Compresión (28 días)		Concreto sin aire	Concreto con aire
140,9	359,1	0,82	0,74
211,4	288,6	0,68	0,59
281,8	218,2	0,57	0,48
352,3	147,7	0,48	0,4
422,7	77,3	0,41	0,32
493,2	6,8	0,33	

Fuente: Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA

5.1.6. Contenido de cemento

La cantidad de cemento que se usó en la mezcla, se calculó a partir de la relación agua cemento, obteniendo una cantidad de 410 kg/m³.

$$\frac{a}{c} = 0,5$$

$$\frac{205 \frac{kg}{m^3}}{c} = 0,5$$

$$c = 410 \frac{kg}{m^3}$$

5.1.7. Contenido de agregado grueso

Teniendo en cuenta que se utilizó un agregado grueso de tamaño $\frac{3}{4}$ de pulg, que tiene un módulo de finura de 3, se obtiene a partir del peso específico del agregado grueso, una cantidad de 960 kg/m³ equivalente al 60% de la mezcla.

$$AG = 0,6 * 1600 \frac{kg}{m^3}$$

$$AG = 960 \frac{kg}{m^3}$$

Tabla 5.6. Contenido de agregado grueso

Contenido de Agregado Grueso (%)							
Tamaño máximo del agregado (pulg)	Módulo de finura						
	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
3/8	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,45	0,44
1/2	0,59	0,58	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53
3/4	0,66	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60
1	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66	0,65
1 1/2	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69
2	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72
3	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76
6	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81

Fuente: Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA

5.1.8. Estimación del contenido de agregado fino

El agregado fino se calcula como el material restante del porcentaje total de la mezcla y a partir del peso específico del agregado fino, se obtiene una cantidad de 778,76 kg.

Tabla 5.7. Contenido de agregado fino

AGUA	0,19	m ³
CEMENTO	0,14	m ³
A. GRUESO	0,36	m ³
AIRE	0,02	m ³
A. FINO	0,29	m ³
A. FINO	778,76	Kg

Fuente: Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA

5.1.9. Ajuste por humedad de los agregados

Se realizó la corrección por humedad, tomando en cuenta la humedad de los áridos y se establecieron las cantidades definitivas de los materiales usados para este tipo de hormigón.

Tabla 5.8. Dosificación final del hormigón

Dosificación en Peso		
AGUA	144,7	Kg/m ³
CEMENTO	410	Kg/m ³
A. GRUESO	979,2	Kg/m ³
A. FINO	815,2	Kg/m ³

Fuente: Carrasco RFV Construcciones CIA LTDA

5.2. Encofrado

El encofrado es la construcción de moldes armados, que tienen la finalidad de dar la forma a los diferentes elementos estructurales y soportar el hormigón fresco que será vertido hasta su endurecimiento. Estos moldes deben ser elaborados de manera correcta, puesto que deben ser indeformables y lo suficientemente herméticos para evitar el desperdicio del hormigón. Además, al momento del vertido del hormigón debe limpiarse los cofres cuidadosamente y se requiere que éstos estén húmedos para que la madera no absorba el agua del hormigón.

Para el encofrado de las propuestas en estudio se realizaron usando los de los siguientes materiales y de la manera que se presentará a continuación:

- Se requirió de planchas de madera triplex de 12 mm de espesor para formar los marcos de las losas. Estas fueron fijadas y unidas a través de clavos de 1". Dichos marcos se asentaron y con la ayuda de ángulos metálicos se soldaron sobre en una plancha metálica para evitar el movimiento de las mismas al momento del hormigonado, como se puede ver en la siguiente Figura.



Figura 5.1. Marcos para el encofrado de las losas

Fuente: Autores

- Se usó poliestireno en las zonas que forman los nervios, para que al momento de vaciar el hormigón; las micronervaduras queden sin irregularidades y lo más lisas posibles. Estos bloques se realizaron con planchas de poliestireno, que fueron cortadas y moldeadas con una máquina de alambre de níquel.
 - Losa micronervada con tres nervios



Figura 5.2. Encofrado de losa con tres nervios

Fuente: Autores

- Losa micronervada con cuatro nervios



Figura 5.3. Encofrado de losa con cuatro nervios

Fuente: Autores

5.3. Acero de Refuerzo

Las varillas de refuerzo que se usarán para estructuras de hormigón armado, deben ser corrugadas y tener un límite de fluencia mínimo de $F_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Las varillas que se usaron para la construcción de las losas son de 4 mm de diámetro y tiene un límite de fluencia de $F_y = 5000 \text{ Kg/cm}^2$.

Debido al recubrimiento que se estableció en el cálculo, fueron sujetadas por pequeños pedazos de varillas que se soldaron para evitar el desplazamiento de las mismas, tal como se muestra en la siguiente Figura.



Figura 5.4. Modelo del acero de refuerzo

Fuente: Autores

5.4. Preparación de las Planchas de Fibrocemento

En virtud de que las dimensiones de las planchas vienen de fábrica y son de: 122 cm de ancho por 244 cm de largo, fue necesario cortarlas a la medida que fueron diseñadas para cada propuesta mediante una amoladora.

Posteriormente, se hicieron perforaciones en las planchas con la ayuda de un taladro y una broca de $\frac{1}{4}$ " de diámetro para introducir los conectores de cortante. El resultado de todo este proceso se puede apreciar en las siguientes figuras:



Figura 5.5. Proceso constructivo para la chapa de compresión

Fuente: Autores

Para la plancha de la losa con tres nervios se colocaron cuatro conectores a 20 cm cada uno a lo largo del 1 metro.

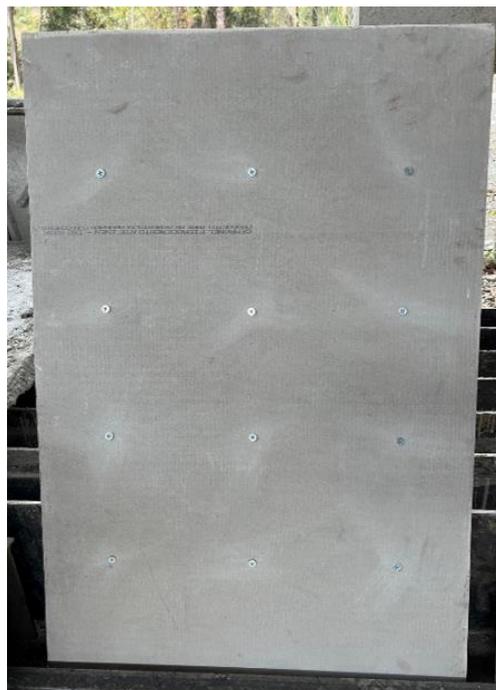


Figura 5.6. Plancha de fibrocemento con conectores para la losa de tres nervios

Fuente: Autores

Mientras que para la plancha de la losa con cuatro nervios se colocaron de igual manera cuatro conectores a una distancia de 30 cm entre cada uno de ellos, dejando un sobrante de 5 cm a cada extremo, tal como se puede apreciar en la siguiente figura:



Figura 5.7. Plancha de fibrocemento con conectores para la losa de cuatro nervios
Fuente: Autores

5.5. Vaciado del Hormigón

Es necesario que para llevar a cabo el vaciado del hormigón se empleen métodos apropiados según sea el caso, para que la mezcla no deje de ser uniforme y evitar el desplazamiento tanto del encofrado como del acero de refuerzo.

La mezcla de hormigón fue realizada en la concretara industrial que dispone la constructora “Carrasco RFV Construcciones”. Luego fue trasportada al lugar mediante rieles que facilitan el trabajo.



Figura 5.8. Preparación de la mezcla de hormigón

Fuente: Autores

Debido a que las dimensiones de las losas son pequeñas y, por ende, la cantidad del hormigón es poca, se vertió la mezcla en una carretilla para facilitar el trabajo del hormigonado.

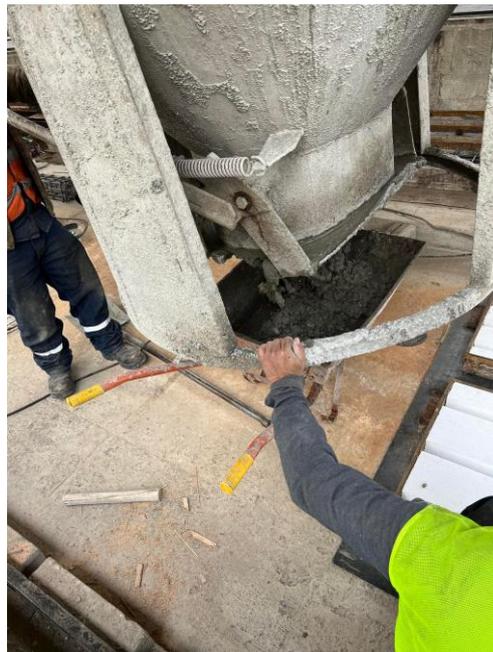


Figura 5.9. Vertido de la mezcla de hormigón a una carretilla

Fuente: Autores

Luego de haber colocado el acero de refuerzo, se procede al vaciado del hormigón, siguiendo todas aquellas recomendaciones que especifican las normas, evitando que se produzca la disgregación de la mezcla.

Durante este proceso, la mezcla fue colocada y expandida por capas con la ayuda de un bailejo, con el objetivo de que el acero de refuerzo no se mueva, tal como se muestra en la Figura 5,10.



Figura 5.10. Proceso de vaciado del hormigón

Fuente: Autores

5.6. Vibrado del Hormigón

Para este paso, es necesario compactar el hormigón mediante un vibrador a inmersión, sin embargo; como se explicó anteriormente, debido a las dimensiones que tienen las micronervaduras se compactó con la ayuda de una varilla lisa de acero, con la finalidad de eliminar los huecos y aire que se produce durante el vaciado y poder obtener una masa homogénea. Esta varilla se introduce repetidas veces, penetrando el hormigón alrededor del acero de refuerzo para que tengan las aristas tengan un buen acabado.



Figura 5.11. Vibrado del hormigón

Fuente: Autores

5.7. Colocación de la plancha de fibrocemento en las micronervaduras

La colocación de las planchas conjuntamente con los conectores de cortante, se llevó a cabo en el hormigón fresco. Como se puede observar en la Figura 5.12. se colocó la plancha y con la ayuda de una varilla de diámetro considerable se revisó que cada tronillo esté bien incrustado y conectado con la mezcla de hormigón.



Figura 5.12. Colocación de la plancha de fibrocemento

Fuente: Autores

5.8. Toma de pruebas a compresión

Las características mecánicas del hormigón endurecido se comprobarán mediante pruebas de resistencia a compresión en cilindros de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto, elaborados, curados y ensayados de acuerdo a la norma ASTM C39 e INEN 1573 en el laboratorio, tal como se explicó en el Capítulo 3.

Para ello, se elaboraron y ensayaron 6 cilindros, uno por cada losa, utilizando el mismo hormigón que se vertió en los moldes. Dichos cilindros tienen dimensiones de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.

Es necesario que el vaciado del hormigón en las probetas se realice en tres capas de igual espesor.



Figura 5.13. Vertido del hormigón en tres capas

Fuente: Autores

Luego de cada capa es necesario compactar con 25 golpes uniformemente con una varilla de acero lisa de 16 mm y 15 golpes con un martillo de goma, con el objetivo de evitar espacios de aire. Finalmente se enraza para que la muestra quede lo más uniforme y lisa posible.



Figura 5.14. Compactación de los cilindros

Fuente: Autores



Figura 5.15. Resultado de la toma de muestras de los cilindros de hormigón

Fuente: Autores

Estas muestras sirven para determinar la resistencia mediante la ruptura de los cilindros en el laboratorio y se obtendrá un promedio de las resistencias de los cilindros que se elaboren.

5.9. Curado del Hormigón

Es uno de los procesos más importantes, porque un buen curado de los elementos brindará la resistencia esperada del elemento final, durante el proceso de vertido y primeros días de endurecimiento. Se debe evitar la pérdida de líquido para que no se formen huecos o poros, hidratando con abundante agua los elementos.

Por esta razón, los cilindros necesitan del agua de curado para que la mezcla pueda completar su hidratación y el concreto pueda desarrollar la resistencia para la que fue diseñada. Para las probetas, el curado se realizó introduciendo los cilindros en un tanque de agua de la siguiente manera:



Figura 5.16. Curado de los cilindros de hormigón

Fuente: Autores

5.10. Desencofrado

La losa debe estar encofrada el tiempo necesario para que pueda alcanzar la resistencia esperada para sostener la carga de su peso propio y de la plancha de fibrocemento durante la construcción. El tiempo estimado que transcurrió hasta el desencofrado fue de 28 días, edad en la que los cilindros y las muestras han alcanzado su resistencia máxima.

Para el desencofrado se utilizó una amoladora para desoldar los ángulos metálicos que presionaban a los marcos de madera, los mismos que fueron desarmados con la ayuda de un martillo.



Figura 5.17. Desencofrado de las losas micronervadas

Fuente: Autores

5.11. Transporte

Como todo elemento prefabricado, se transportaron mediante una camioneta, tanto las losas como las pobretas de hormigón al lugar donde se hicieron las diferentes pruebas de laboratorio.



Figura 5.18. Transporte de las losas

Fuente: Autores

CAPITULO 6

PRUEBAS DE LABORATORIO Y RESULTADOS

En el presente capítulo se presentará el proceso que se siguió para realizar las pruebas de laboratorio, así como también se interpretarán los resultados obtenidos y se compararán con los que se obtuvieron en los cálculos anteriormente presentados.

Se ha considerado conveniente iniciar con la descripción de las características de cada uno de los elementos estructurales que fueron construidos. Luego se expondrán el proceso y los resultados tanto de los ensayos a flexión como los resultados de las pruebas de los cilindros de hormigón armado sometidos a compresión.

6.1. Características de los elementos propuestos.

Luego del proceso constructivo de los elementos en estudio, se obtuvieron en total seis losas micronervadas, tres de cada modelo, es decir, de tres y cuatro nervios respectivamente. Las características generales definitivas de cada una de ellas se adjuntan en tablas a continuación.

6.1.1. Losa micronervada de tres nervios

Tabla 6.1. Dimensiones definitivas de la losa micronervada

Plancha de Fibrocemento	Largo	Ancho	Espesor	Peso Total	
	100 cm	67,5 cm	1 cm		34,244 kg
Micronervaduras	Largo	Base Mayor	Base Menor	Altura	
	100 cm	5 cm	4 cm	8 cm	

Fuente: Autores

El resultado del proceso constructivo para la losa de tres nervios, antes de someterlas a las pruebas destructivas se presenta a continuación:

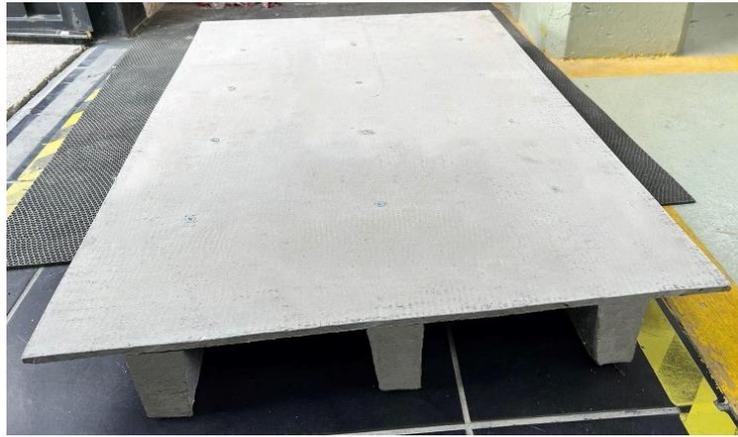


Figura 6.1. Vista frontal de la losa micronervada de tres nervios

Fuente: Autores



Figura 6.2. Vista inferior de la losa micronervada de tres nervios

Fuente: Autores

6.1.2. Losa micronervada de cuatro nervios

Tabla 6.2. Dimensiones definitivas de la losa micronervada

Plancha de Fibrocemento	Largo	Ancho		Espesor	Peso Total
	100 cm	60 cm		1 cm	
Micronervaduras	Largo	Base Mayor	Base Menor	Altura	31,908 kg
	100 cm	5 cm	4 cm	6 cm	

Fuente: Autores



Figura 6.3. Vista frontal de la losa micronervada de cuatro nervios

Fuente: Autores



Figura 6.4. Vista inferior de la losa micronervada de cuatro nervios

Fuente: Autores

En cada una de las tablas anteriores, se puede observar las dimensiones definitivas que se presentó para las propuestas y con estos datos se realizará una comparación y la relación que existe entre ambos modelos, según la geometría y el peso de cada uno.

6.2. Comparación de las losas propuestas

Tabla 6.3. Volumen total del material de las losas con tres y cuatro nervios

Volumen	Losa micronervada de 3 de nervios	Losa micronervada de 4 nervios
Fibrocemento (kg/m)	3,353	2,235
Hormigón en el nervio (kg/m)	26,644	26,644

Fuente: Autores

La tabla 6.3. muestra la comparación de la cantidad de fibrocemento y de hormigón usado para las dos propuestas, obteniendo como resultado que la cantidad de hormigón para ambas propuestas es la misma, debido a que la losa micronervada de tres nervios tiene una altura de 8 cm, mientras que la de cuatro nervios tiene 6 cm de altura.

Mientras que la cantidad de fibrocemento para la losa micronervada de tres nervios fue mayor, ya que la longitud de su ancho es mayor que la longitud del ancho de la losa micronervada de cuatro nervios. Estos datos se pueden apreciar en los siguientes cálculos y su interpretación en la Figura 6.5.

Hormigón:

$$P_{3 \text{ nervios}} = 3 * \left(\frac{0,04 \text{ m} + 0,05 \text{ m}}{2} * 0,08 \text{ m} \right) * 2467 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{3 \text{ nervios}} = 26,644 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$P_{4 \text{ nervios}} = 4 * \left(\frac{0,04 \text{ m} + 0,05 \text{ m}}{2} * 0,06 \text{ m} \right) * 2467 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P_{4 \text{ nervios}} = 26,644 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Fibroceso:

$$P_{3 \text{ nervios}} = 14,90 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{22,5 \text{ cm}}{100}$$

$$P_{3 \text{ nervios}} = 3,353 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$P_{4 \text{ nervios}} = 14,90 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \frac{15 \text{ cm}}{100}$$

$$P_{4 \text{ nervios}} = 2,235 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

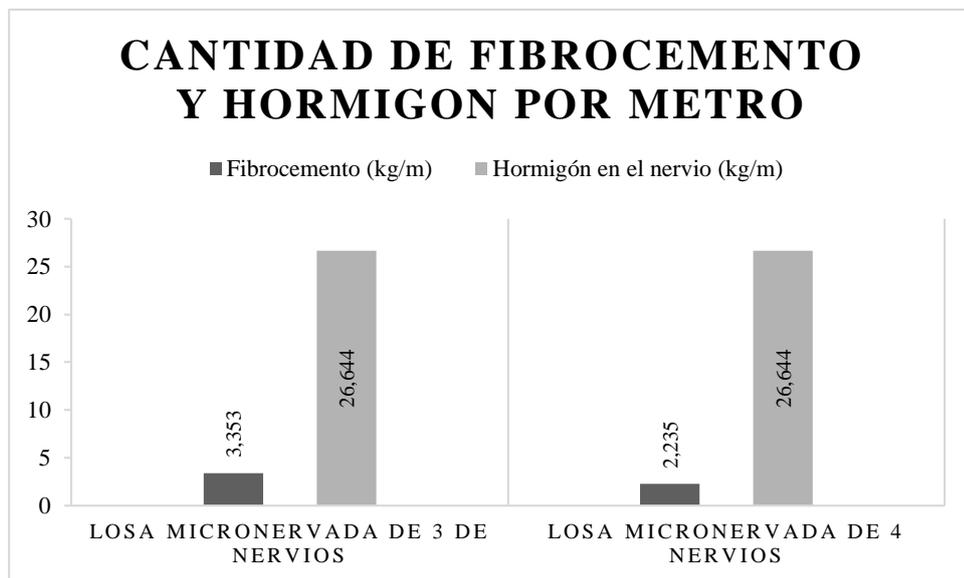


Figura 6.5. Propuesta definitiva de la losa micronervada de 3 nervios.

Fuente: Autores

Hablando en términos de porcentaje, la losa micronervada de tres nervios tiene un 50% más de fibrocemento que la losa micronervada de cuatro nervios.

$$\frac{3,353 \text{ kg}}{2,235 \text{ kg}} \% - 100\% = 50\%$$

A continuación, se muestran los pesos para cada losa, tanto de la de tres nervios como la de cuatro nervios, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6.4. Peso y promedio de las losas micronervadas con tres nervios

Losa micronervada con 3 nervios	Peso total (kg)
Losa 1	34,497
Losa 2	34,215
Losa 3	34,019
Promedio de Peso:	34,244

Fuente: Autores

Tabla 6.5. Peso y promedio de las losas micronervadas con cuatro nervios

Losa micronervada con 4 nervios	Peso total (kg)
Losa 1	31,879
Losa 2	32,052
Losa 3	31,792
Promedio de Peso:	31,908

Fuente: Autores

$$\frac{34,244 \text{ kg}}{31,908 \text{ kg}} \% - 100\% = 7,32\%$$

$$\Delta\text{Peso} = 34,244 \text{ kg} - 31,908 \text{ kg}$$

$$\Delta\text{Peso} = 2,336 \text{ kg}$$



Figura 6.6. Propuesta definitiva de la losa micronervada de 3 nervios.

Fuente: Autores

Después de obtener los pesos tal como se puede observar en las Tablas 6.4 y 6.5. de cada losa de los diferentes modelos, se compara el peso total promedio de cada modelo, obteniendo una diferencia de peso de la losa micronervada de tres nervios, con relación a la de cuatro nervios de 2,336 kg, que equivalente al 7,32%. Es decir, que la losa micronervada de tres nervios es más pesada debido a su tamaño y volumen.

6.3. Resultados del ensayo a compresión del hormigón

Se realizó el ensayo a compresión del hormigón con la finalidad de garantizar que la resistencia que se estableció en el diseño, sea la óptima para la construcción de los modelos de losas micronervadas.



Figura 6.7. Probetas cilíndricas

Fuente: Autores

Para este ensayo, en primer lugar, se realizaron las probetas cilíndricas como se definió anteriormente y a los 28 días, se realizó el ensayo destructivo de los 6 cilindros que se tomaron como muestras acordes a la normativa que ya se explicó. Se pesaron y se midieron cada uno de los cilindros obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 6.6. Dimensiones y pesos de las probetas cilíndricas

	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4	Cilindro 5	Cilindro 6
Peso (kg)	13,238	12,754	12,727	13,238	12,871	12,948
Diámetro (cm)	15,3	15,1	15,2	15,2	15	15,1
Altura (cm)	30,2	30,1	30	30,1	30,1	30,3

Fuente: Autores

Posterior a la toma de datos, se ensayaron los cilindros en la prensa hidráulica de compresión en el laboratorio. El procedimiento a seguir es sencillo:

Se debe limpiar las superficies de las placas superior e inferior y se coloca los especímenes sobre la placa inferior de tal manera que este alineada su eje con el centro de la otra placa.



Figura 6.8. Colocación de las probetas cilíndricas en la prensa hidráulica.

Fuente: Autores

Luego de la colocación de los especímenes, es necesario aplicar la carga a una velocidad uniforme y continua sin producir ningún tipo de impacto, ni pérdida de carga.



Figura 6.9. Aplicación de la carga en los cilindros de concreto

Fuente: Autores

Los resultados de la carga aplicada para cada uno de los cilindros se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 6.7. Dimensiones y peso de las probetas cilíndricas

Edad de los Cilindros	Número de Cilindro	Carga Aplicada kg	Área cm²
28 días	Cilindro 1	90175	183,854
28 días	Cilindro 2	91741	179,079
28 días	Cilindro 3	91113	181,458
28 días	Cilindro 4	90952	181,458
28 días	Cilindro 5	90382	176,715
28 días	Cilindro 6	90818	179,079

Fuente: Autores

Para sacar la resistencia del cilindro, es necesario dividir el valor de la carga máxima aplicada de cada probeta para su respectiva área. Como son 6 cilindros es necesario realizar un promedio de todas las resistencias como se puede observar en la tabla 6.8. para así obtener la resistencia con la que se va a trabajar.

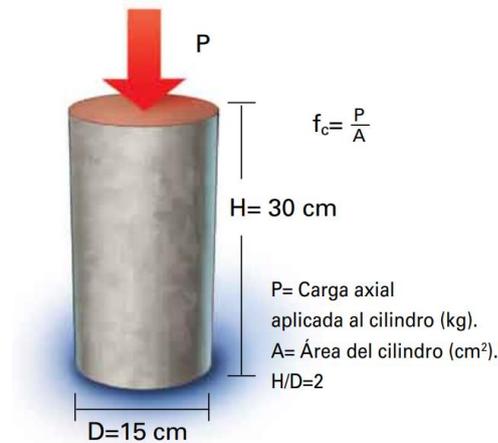


Figura 6.10. Cálculo de la resistencia de un cilindro de concreto

Fuente: IMCYC, 2008

Tabla 6.8. Resistencias de cada cilindro

Edad de los Cilindros	Número de Cilindro	f'c Kg/cm ²
28 días	Cilindro 1	506,01
28 días	Cilindro 2	512,29
28 días	Cilindro 3	504,32
28 días	Cilindro 4	504,75
28 días	Cilindro 5	511,46
28 días	Cilindro 6	507,14
Promedio:		507,66

Fuente: Autores

Se obtiene una resistencia a la compresión final de 507,66 kg/cm², cumpliendo con la resistencia estipulada para el análisis y cálculos de las propuestas. Además, se logró resultados positivos en cuanto al diseño de la dosificación utilizada.

6.4. Resultados del ensayo a flexión

El ensayo a flexión que se realizó, es el más importante en el análisis de las propuestas, ya que, de esta manera se verificara si cumple o no ante las cargas ultimas que se estableció en el diseño. A partir de este ensayo se conseguirá como resultado un gráfico de la fuerza aplicada y de la deformación que genera la misma, siguiendo el procedimiento del ensayo a flexión como se definió en el Capítulo 3.

Esta prueba destructiva se realizó en la prensa hidráulica, en donde se asentaron cada una de las propuestas sobre sus respectivos apoyos y se aplicó la carga puntual gradualmente al centro de cada losa micronervada. En el transcurso del proceso de la aplicación de la carga, se pudo observar que se formaban las primeras fisuras y posteriormente la falla ultima, lo que nos permitió tener una idea del comportamiento de las propuestas. A continuación, en las siguientes tablas y gráficos se detalla los puntos en donde aparecieron dichas fisuras por flexión con las cargas y sus respectivas deformaciones en cada punto utilizando un deformímetro.

6.4.1. Ensayo a flexión de la losa micronervada de tres nervios

6.4.1.1. Resistencia última

A continuación, se detalla todos los valores que se obtuvieron del ensayo a flexión de cada una de las losas micronervadas de tres nervios; se evidencia que no hay mucha diferencia entre los resultados y se puede observar que la fuerza de agrietamiento sobrepasa a la fuerza de diseño, es decir cumple con su funcionalidad por lo que su fuerza de ruptura es más alta. En la siguiente tabla se transforma los valores de la fuerza de diseño a Kilonewtons (KN), debido a que es la unidad a la que la prensa hidráulica funciona.

$$467 \text{ kg} = 4,58 \text{ KN}$$

Tabla 6.9. Resistencias de las losas micronervadas de tres nervios

Losas micronervadas de tres nervios				
Propuestas	Losa 1	Losa 2	Losa 3	Promedio
Fuerza de Diseño (KN)	4,58	4,58	4,58	4,58
Fuerza de agrietamiento (KN)	5,17	5,39	4,89	5,15
Fuerza de Ruptura (KN)	7,24	7,01	6,57	6,94

Fuente: Autores

6.4.1.2. Deformación

Con la ayuda de un deformímetro en el ensayo a flexión se pudo apreciar las deformaciones que se produjeron en cada una de las losas. La carga puntual se aplicó de la siguiente manera:



Figura 6.11. Instalación de las losas de tres nervios en la prensa hidráulica

Fuente: Autores

Durante el proceso del ensayo se pudo observar que las fisuras que se originaron en todas las losas fueron por flexión, las cuales se marcaron de color negro. Estas grietas se producen en la zona central, alrededor del punto de aplicación de la carga. Dichas fisuras se forman de manera perpendicular al refuerzo, es decir, inician desde la fibra inferior y continúan de manera casi vertical, tal como se apreciar en la Figura 6.12.

Tal como se esperaba, no se originaron grietas por cortante, puesto que se diseñó a flexión pura. En las siguientes figuras se muestra el comportamiento, la fuerza y la deformación que se aplicó de las grietas en cada una de las losas con sus respectivas gráficas.



Figura 6.12. Losa # 1 (tres nervios). Carga aplicada y fisuras originadas
Fuente: Autores

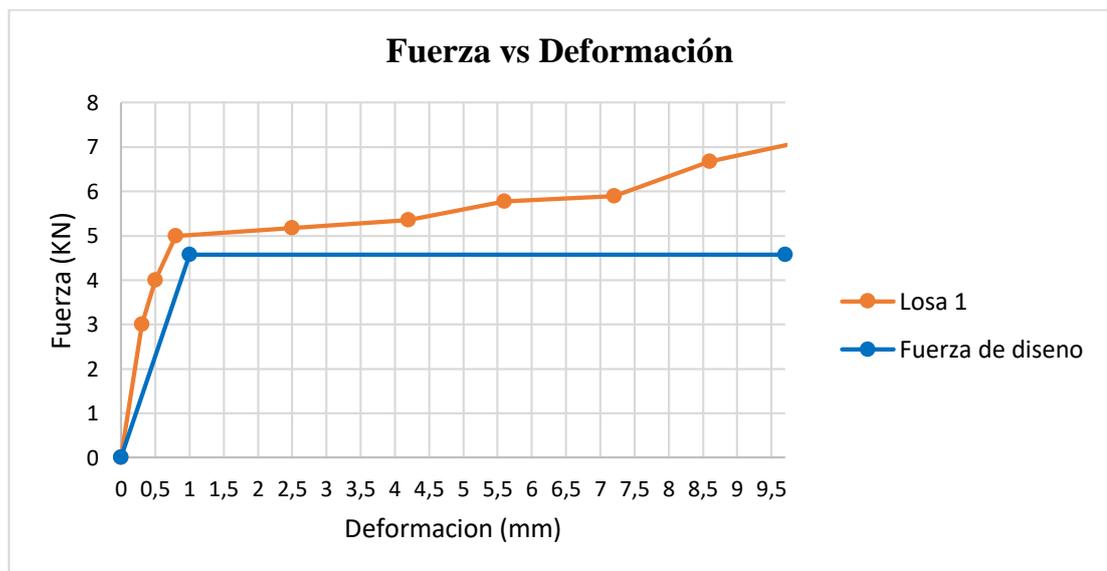


Figura 6.13. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 1 de tres nervios
Fuente: Autores



Figura 6.14. Grietas originadas en la losa # 2 de tres nervios

Fuente: Autores

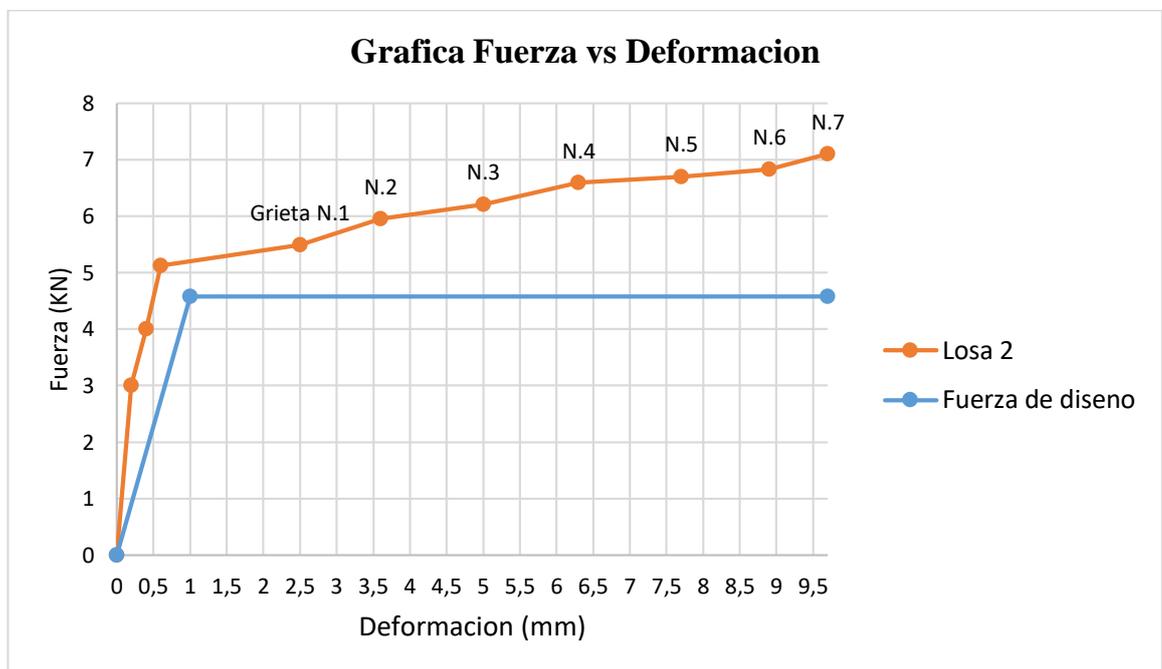


Figura 6.15. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 2 de tres nervios.

Fuente: Autores



Figura 6.16. Losa # 3 (tres nervios). Carga aplicada y fisuras originadas

Fuente: Autores

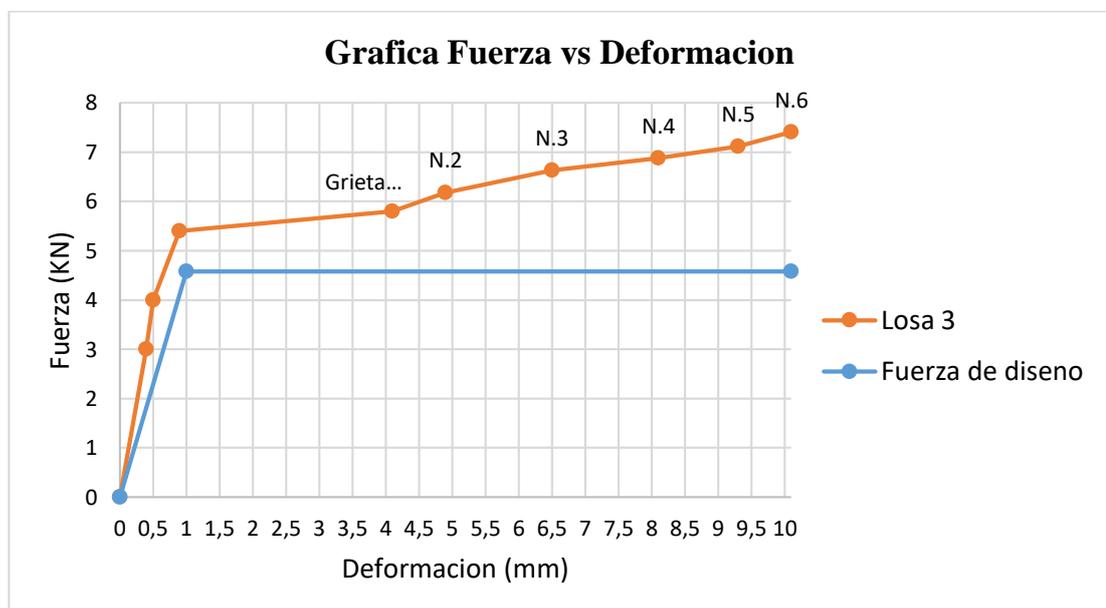


Figura 6.17. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 3 de tres nervios

Fuente: Autores

A continuación, se presenta la gráfica fuerza vs deformación de las 3 losas micronervadas de tres nervios, con la comparación de la fuerza ultima de diseño que se obtuvo en los cálculos.

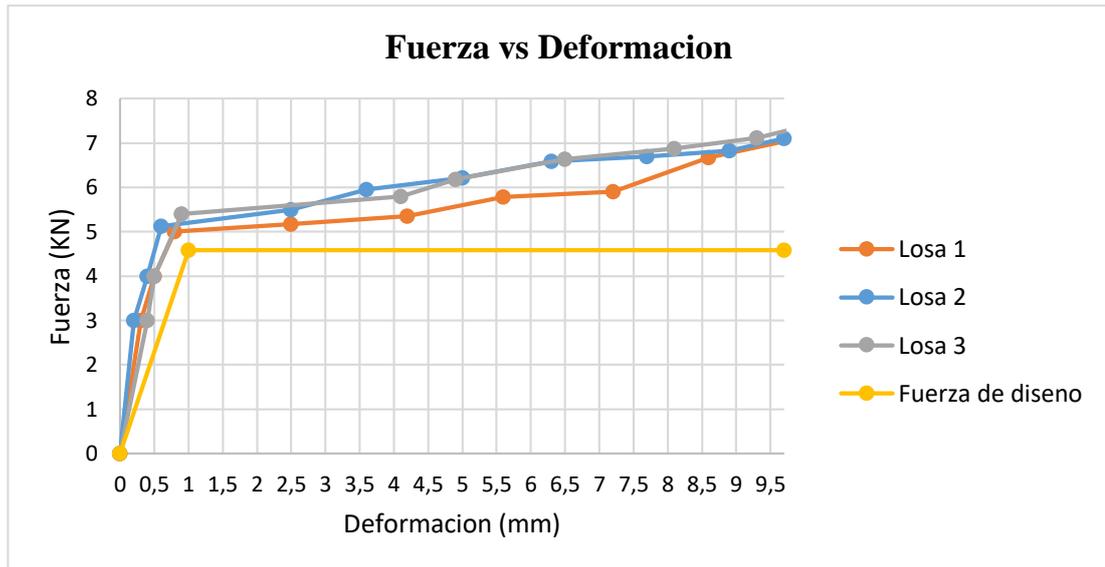


Figura 6.18. Gráfica fuerza vs deformación de todas las losas de tres nervios

Fuente: Autores

En esta figura se puede observar que la fuerza aplicada, en donde aparecieron las grietas, superó a la fuerza última de diseño, por tanto, la propuesta de la losa micronervada de tres nervios, es recomendable para su uso.

6.4.2. Ensayo a flexión de la losa micronervada de cuatro nervios

6.4.2.1. Resistencia última

Se detalla de la misma manera todos los valores que se obtuvieron en el ensayo a flexión de cada una de las losas micronervadas de cuatro nervios. Se evidencia que no hay mucha diferencia entre los resultados y se observa de igual manera que la fuerza de agrietamiento es mayor a la fuerza de diseño, es decir esta propuesta también cumple con su funcionalidad y su fuerza de ruptura es más alta que la calculada. En la siguiente tabla se transforma los valores de la fuerza de diseño a kilonewtons (KN), ya que es la unidad a la que la prensa hidráulica funciona.

$$402 \text{ kg} = 3,94 \text{ KN}$$

Tabla 6.10. Resistencias de las losas micronervadas de cuatro nervios.

Losa micronervada de cuatro nervios				
Propuestas	Losa 1	Losa 2	Losa 3	Promedio
Fuerza de Diseño (KN)	3,94	3,94	3,94	3,94
Fuerza de agrietamiento (KN)	4,98	4,6	4,74	4,77
Fuerza de Ruptura (KN)	6,57	6,25	6,83	6,55

Fuente: Autores

6.4.2.2. Deformación

El proceso que se siguió para realizar la prueba a flexión de estas losas es igual al anterior, debido a que también se centraron cada una de las osas en sus apoyos y se colocó un deformímetro para facilitar la lectura de sus deformaciones.



Figura 6.19. Instalación de las losas de tres nervios en la prensa hidráulica

Fuente: Autores

En esta segunda parte del ensayo a flexión correspondiente a las losas micronervadas de cuatros nervios, se puedo observar que su comportamiento estructural es muy similar a las losas de tres nervios, puesto que las fisuras que se generaron también fueron solo por flexión y de igual manera se originaron en la parte central, desde la parte inferior hacia arriba.

En ninguna de las tres losas, tampoco se originaron fisuras a cortante, por lo que se puede decir que todas las losas en estudio fueron diseñadas a flexión pura, y por consiguiente fallaron a flexión. En las siguientes figuras se muestra el comportamiento, la fuerza y la deformación que se aplicó de las grietas en cada una de las losas con sus respectivas gráficas.



Figura 6.20. Grietas formadas en la losa # 1 de cuatro nervios.

Fuente: Autores

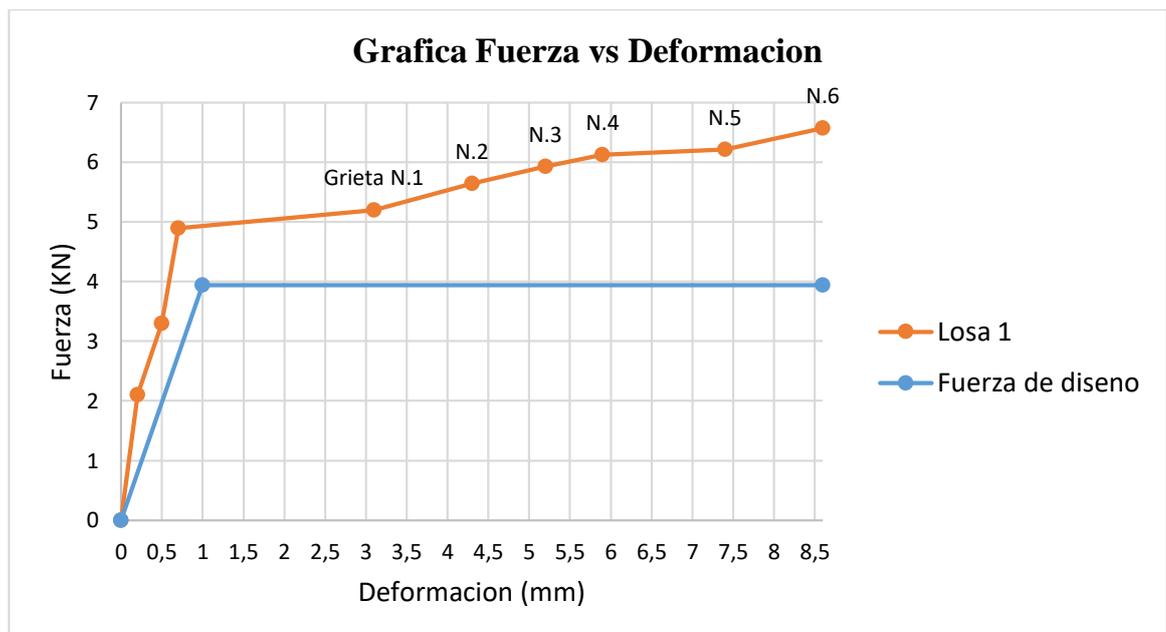


Figura 6.21. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 1 de cuatro nervios

Fuente: Autores



Figura 6.22. Losa # 2 (cuatro nervios). Carga aplicada y fisuras originadas
Fuente: Autores

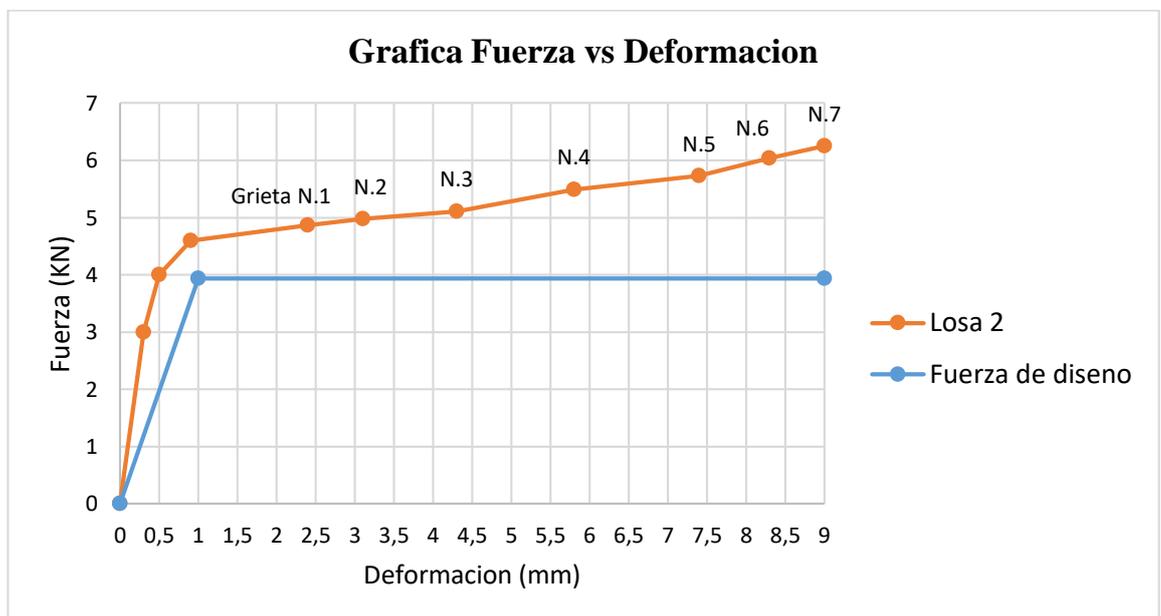


Figura 6.23. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 2 de cuatro nervios
Fuente: Autores



Figura 6.24. Grietas de la losa # 3 de cuatro nervios

Fuente: Autores

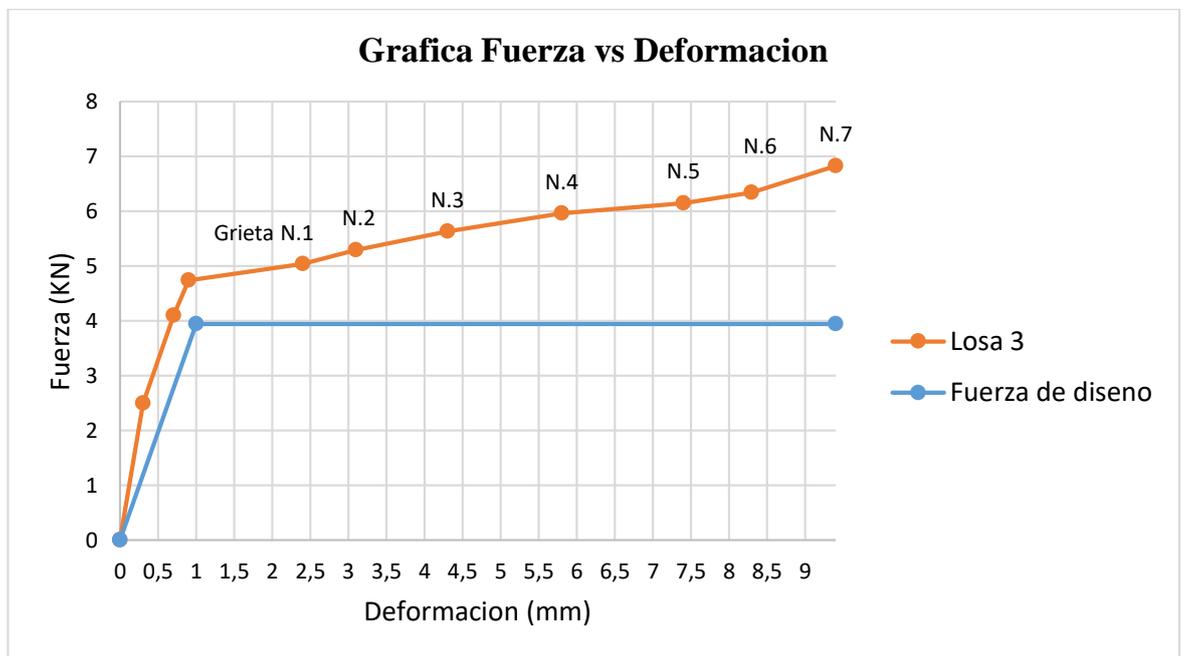


Figura 6.25. Gráfica fuerza vs deformación de la losa # 3 de cuatro nervios

Fuente: Autores

De igual manera se desarrolló la gráfica fuerza vs deformación de cada una de las losas micronervadas de cuatro nervios, con la comparación de la fuerza ultima de diseño que se obtuvo en los cálculos.

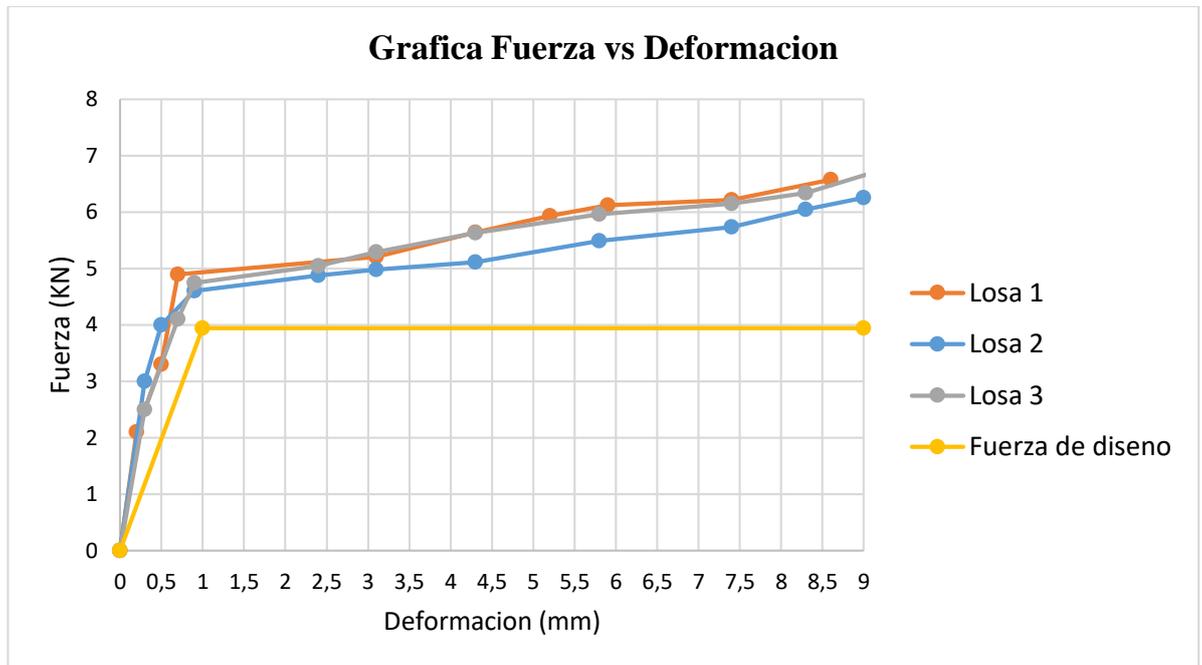


Figura 6.26. Gráfica fuerza vs deformación de todas las losas de cuatro nervios.

Fuente: Autores

Tal como en las otras losas, se puede ver que superó a la fuerza ultima de diseño y, por ende, se puede decir que la propuesta de la losa micronervada de cuatro nervios también es factible y puede ser recomendable para su uso.

6.4.3. Comparaciones con resultados finales

Es necesario también realizar una comparación entre ambas propuestas, con el objetivo de ver cual tipo de losas resulta ser más eficiente. Por esta razón se puede observar en el siguiente gráfico el comportamiento de las dos propuestas mediante la gráfica de fuerza vs deformación.

Tabla 6.11. Comparación entre las 2 propuestas en base a las fuerzas que resisten.

Comparación de las fuerzas		
Propuestas / Promedio	Losa con 3 nervios	Losa con 4 nervios
Fuerza de Diseño (KN)	4,58	3,94
Fuerza de agrietamiento (KN)	5,15	4,77
Fuerza de Ruptura (KN)	6,94	6,55

Fuente: Autores

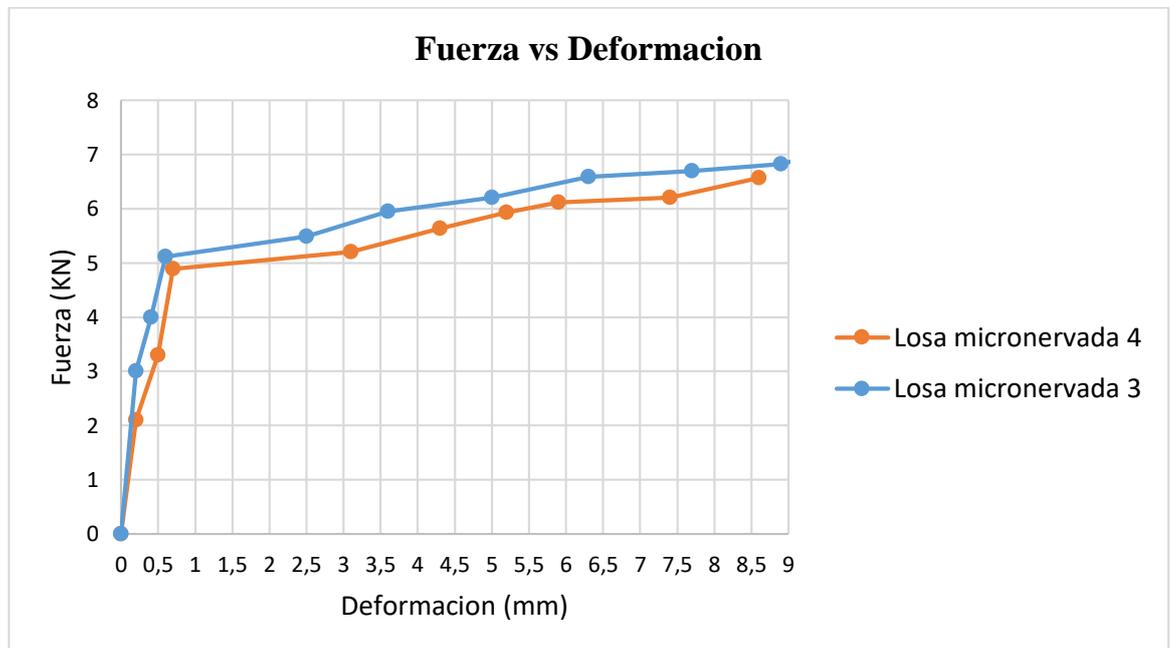


Figura 6.27. Grafica fuerza vs deformación de las dos propuestas de losas

Fuente: Autores

Se observa que la losa micronervada de tres nervios soportó más fuerza que la losa micronervada de cuatro nervios, lo que nos permite concluir que, entre las dos propuestas, la losa con tres nervios es más factible porque su resistencia fue mayor. Sin embargo, ambas propuestas cumplieron con todas las solicitudes que se establecieron al inicio del estudio.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

Cuando se desea realizar un diseño donde actúen dos o más materiales, es necesario analizar y diseñar mediante el método de sección compuesta, que busca transformar la sección transversal de los materiales en una sola sección equivalente de un solo material con el objetivo de que trabajen todos los materiales de manera monolítica y en conjunto.

Por lo general las losas nervadas tienen una chapa de compresión de 5 cm, ocasionando que el volumen de hormigón usado en la parte superior sea de gran cantidad. Las características de las losas propuestas presentan ciertas diferencias frente a los modelos tradicionales, dado que poseen micronervaduras y una plancha de fibrocemento de 10 mm en lugar de hormigón como chapa de compresión, por ende, el peso total del elemento se reduce de manera considerable.

Comparando la cantidad necesaria de materiales tanto de la plancha de fibrocemento como de hormigón, se establece que la cantidad de fibrocemento usado para la losa micronervada con tres nervios es mayor en un 50% que la cantidad usada para la losa micronervada con cuatro nervios. Mientras que, en hormigón, ambas losas usan la misma cantidad, debido a la diferencia en la cantidad de nervios y sus respectivas dimensiones.

Desde el punto de vista constructivo, la losa micronervada de tres nervios resulto ser más tratable en todo aspecto, a pesar de que las dimensiones de las micronervaduras son reducidas. Al momento de su construcción el proceso fue más sencillo, ya que el vibrado se pudo realizar de manera correcta y tal como lo establece las normas, sin embargo, para la losa micronervada de cuatro nervios el proceso fue un poco más complicado, pero no imposible.

Al hablar de resistencia última se puede decir que los resultados que se obtuvieron luego de realizar las pruebas de laboratorio fueron los esperados, ya que, el desempeño de los elementos estructurales propuestos cumplió con todos los parámetros para los que fueron diseñados de manera eficaz, puesto que la resistencia de las losas en el laboratorio superó a la resistencia para la que fue diseñada.

Mediante las pruebas de laboratorio y con la realización de las gráficas de “Fuerza vs Deformación” se puede concluir que la propuesta de losa micronervada con tres nervios tuvo un mejor comportamiento ante la carga que fue aplicada en la prensa. Esto se debe a que la sección transversal del nervio para dicha losa, tiene una altura mayor a la losa micronervada de cuatro nervios, con una diferencia de 2 cm, por tanto, el peralte al igual que su inercia sería mayor, dando como resultado que el elemento estructural gane resistencia y rigidez. Sin embargo, ambos prototipos cumplieron con todas las especificaciones esperadas.

Para cada una de las propuestas de losas micronervadas fue necesario diseñar conectores a cortante, por tanto, se puede concluir que su uso es de suma importancia al momento de analizar secciones compuestas como estas. Dichos conectores aportan una mayor área resistente a la compresión y gracias a ello, se pudo disminuir el peralte de las micronervaduras a las dimensiones que fueron establecidas, además de impedir la separación vertical entre los nervios y la plancha de fibrocemento, y obtener una excelente adherencia entre estos materiales.

Al momento de realizar las pruebas de laboratorio, se pudo apreciar que todas las losas micronervadas, tanto en la de tres como en la de cuatro nervios fallaron a flexión, debido a que no se generaron fisuras a cortante. Dichas fisuras aparecieron en el centro de la losa y se originaron desde la parte inferior y de manera perpendicular al acero de refuerzo.

Con los resultados obtenidos de la carga del laboratorio, se concluye que analizando y comparando con los valores de las tablas de la carga viva de la NEC, a más de ser útil para losas de entrepisos, también se puede dar una ocupación a las losas por su geometría y características físicas, para corredores en pisos superiores a planta baja, para cubiertas planas e inclinadas destinadas en jardinería o propósitos especiales y para plataformas elevadas que sirvan de circulación liviana.

7.2. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones, se recomienda realizar un mayor número de muestras para cada propuesta, con el objetivo de obtener más resultados y extender la precisión de los diferentes ensayos y resultados.

Es recomendable también realizar un análisis de las características mecánicas que tiene cada uno de los materiales a utilizar en los elementos estructurales como son: acero, hormigón, plancha de fibrocemento y los conectores a cortante.

En el proceso constructivo, para futuras investigaciones, se puede utilizar fibras de acero recicladas en el hormigón, ya que su refuerzo, reduce significativamente el riesgo de agrietamiento y desarrollan resistencia posterior a la figuración en el hormigón.

Se estudió la eficiencia de este tipo de propuestas en cuanto a resistencia, materiales, métodos de diseño, etc. Por esta razón, para próximas investigaciones, es recomendable que se incluya un análisis exhaustivo de costos para cada una de las losas propuestas.

Debido a las dimensiones muy reducidas de las micronervaduras, es recomendable poner mayor cuidado en los extremos y vértices del encofrado al momento del vertido del hormigón, para que el acabado no tenga irregularidades y sea lo más uniforme y liso posible.

Es recomendable que la colocación de los conectores a cortante se realice de manera obligatoria en el hormigón fresco, para asegurar la adherencia que se busca para que tanto la plancha de fibrocemento como los nervios queden totalmente fijos y unidos.

BIBLIOGRAFÍA

Abril, B. E. (2016). “*Determinación de la resistencia a compresión del hormigón preparado con policarbonato, vidrio templado y hormigón reciclado*”.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, Ecuador .

ACI 318S-14. (2014). *American Concrete Institute*.

Arellano Mendez, E. (14 de Septiembre de 2013). *Repositorio de la Universidad*

Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco. Obtenido de

<https://core.ac.uk/download/pdf/128733519.pdf>

Avila León , S. (Octubre de 2020). *Repositorio Institucional de la Universidad del*

Azuay. Obtenido de Repositorio Institucional de la Universidad del Azuay:

<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10344>

Barroso, M. S. (Noviembre de 2016). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS*

CONECTORES DE CORTANTE EN LA UNIÓN VIGA DE HORMIGÓN Y

LOSA COMPUESTA. Obtenido de

[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24603/1/Tesis%201084%](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24603/1/Tesis%201084%20-%20Barroso%20Barroso%20Mercy%20Soraida.pdf)

[20-%20Barroso%20Barroso%20Mercy%20Soraida.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/24603/1/Tesis%201084%20-%20Barroso%20Barroso%20Mercy%20Soraida.pdf)

Castellanos, S. E. (Octubre de 2013). *ANÁLISIS DE SECCIONES COMPUESTAS*

MEDIANTE ELEMENTO FINITO. Obtenido de

[http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3170/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[3170/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3170/TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Castillo, V., & Bascuñan, R. (2006). *INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN LA*

CONSTRUCCIÓN AHORA ES CUANDO. *Ingeniería de Construcción* .

Obtenido de <https://ricuc.cl/index.php/ric/article/viewFile/360/302>

- Coronel, C. G. (Mayo de 2016). *DISEÑO DE UNA EDIFICACIÓN USANDO SECCIONES MIXTAS*. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/24727/1/Tesis.pdf>
- Dolan, C., & Hamilton, H. (2019). *Prestressed Concrete: Building, Desing and Construction*. USA: Springer Nature Switzerland.
- INEN. (14 de Junio de 2010). *Servicio Ecuatoriano de Normalización*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1573.pdf>
- INEN. (26 de Mayo de 2011). *Servicio Ecuatoriano de Normalizacion*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2554.pdf>
- Lopez Vidal, A. (2015). La construcción con prefabricados de concreto: Una historia por escribir. *Noticreto 133*, 43.
- López, A., & Fernandez, D. (2015). La construcción con prefabricados de concreto: una historia por escribir. *Noticiero*, 42-48. Obtenido de http://www.andece.org/images/BIBLIOTECA/historia_prefabricados_noticreto.pdf
- Mariscal Jiménez , J. G. (Noviembre de 2001). *Análisis de placas planas de fibrocemento en sección mixta con perfiles de acero*. Bogotá, Colombia: Tesis de Grado, Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2598>
- McCORMAC, J. (2017). *DISEÑO DE CONCRETO REFORZADO*. Mexico : Alfaomega.
- MIDUVI, & CAMICOM. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción* . Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

- Novas , J. A. (2010). *Sistemas constructivos prefabricados aplicables a la construcción de edificaciones en países en desarrollo*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros De Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- Pungaña, J. L. (2015). APLICACIÓN DEL CÓDIGO ACI-318-2008 PARA EL DISEÑO DE LOSAS ALIVIANADAS Y LOSAS MACIZAS BIDIRECCIONALES Y LA IMPLEMENTACIÓN DE UN PROGRAMA DE CÁLCULO. Ambato, Ecuador.
- Romo Proaño, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado*. Quito: Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.
- Servosis. (16 de Marzo de 2020). *Como se realiza un ensayo a compresión*. Obtenido de <https://www.servosis.com/noticias/como-se-realiza-un-ensayo-de-compresion-33>
- Wight , J., & MacGregor, J. (2016). *Reinforced Concrete: Mechanics & Design* (Vol. Sexta Edición). PEARSON.