



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Losas prefabricadas de entepiso y cubierta para viviendas de interés social,
utilizando la técnica del ferrocemento y la prefabricación modular.**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Caraguay Gómez, Bolivar Eduardo

DIRECTOR: Maza, Bolivar Hernán

LOJA – ECUADOR

2018



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2018

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Magister.

Bolivar Hernán Maza

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **“Losas prefabricadas de entepiso y cubierta para viviendas de interés social, utilizando la técnica del ferrocemento y la prefabricación modular”**, realizado por **Bolivar Eduardo Caraguay Gómez**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, mayo 2018.

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Bolivar Eduardo Caraguay Gómez** declaro ser el autor del presente trabajo de titulación: “Losas prefabricadas de entepiso y cubierta para viviendas de interés social, utilizando la técnica del ferrocemento y la prefabricación modular”, de la titulación de Ingeniería Civil, siendo el Magister Bolivar Hernán Maza director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f)

Autor: Bolivar Eduardo Caraguay Gómez

Cédula: **1900740919**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y la Virgen Santísima del Cisne por ser parte fundamental de mí.

A mis padres y hermanos por el apoyo incondicional que supieron brindarme para seguir adelante con mis metas y no desistir ante los obstáculos que se presentaron a lo largo de mi carrera estudiantil.

A mi hermano Joel, por estar siempre conmigo, para construir desde carreteras y puentes de juguete hasta la culminación de mi tesis.

A Anabel C por ser mi estrella fugaz.

Dedico este trabajo a mis amigos y personas que han formado parte de mi vida.

El Autor.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica Particular de Loja y a todos los docentes de la Titulación de Ingeniería Civil que fueron partícipes de mi formación profesional.

A mí director de tesis por guiarme y apoyarme en la realización del presente proyecto y permitirse compartir conmigo su experiencia, consejos, y soluciones para hacer de este trabajo un importante aporte a la sociedad en el marco de la calidad y serviciabilidad.

Agradezco a mis compañeros en especial a Cristian, Alexander, José, Jeison, Geovana por haber hecho de mi estadía en la Universidad una experiencia única y agradable.

Por último agradezco a todo quien lee este apartado, por permitir que este proyecto le sea de alguna ayuda y se permita integrarlo dentro de su información y repertorio mental.

El Autor.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
1. CAPÍTULO I: GENERALIDADES	3
1.1 Introducción.....	4
1.2 Objetivos	6
1.2.1 Objetivo general	6
1.2.2 Objetivos específicos	6
1.3 Organización	7
2. CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE	8
2.1 El ferrocemento	9
2.1.1 Antecedentes.	9
2.1.2 Definición de ferrocemento.	10
2.1.3 Cualidades del ferrocemento.	10
2.1.4 Materiales que componen el ferrocemento.....	11
2.1.5 Propiedades mecánicas del ferrocemento.....	15
2.1.6 Consideraciones de diseño.....	16
2.1.7 Métodos de diseño y cálculo.....	17
2.2 Losas de entrepiso y cubierta	20
2.2.1 Generalidades.....	20
2.2.2 Recomendaciones para la construcción de losas prefabricadas de ferrocemento	20
2.3 Prefabricación abierta modular	21

2.3.1	Ventajas y desventajas de la prefabricación modular.....	21
2.3.2	Planta de producción de prefabricados.....	22
2.3.3	Procesos de prefabricación de elementos de ferrocemento.....	22
2.3.4	Juntas en la construcción a base de paneles prefabricados.	23
3.	CAPÍTULO III: Metodologías y materiales.....	25
3.1	Metodología.....	27
3.1.1	Revisión bibliográfica y elaboración del estado del arte.	27
3.1.2	Caracterización del agregado fino.	27
3.1.3	Diseño de la mezcla de mortero.	27
3.1.4	Bases para la modelación y diseño de losas de entrepiso y cubierta	28
3.1.5	Construcción de prototipos.	28
3.1.6	Ensayos de aceptación.	29
3.1.7	Divulgación de los resultados.	29
3.2	Materiales.....	29
3.2.1	Cemento.....	29
3.2.2	Árido fino.....	30
3.2.3	Acero de refuerzo.....	30
4.	CAPÍTULO IV: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PRELOSAS DE FERROCEMENTO.....	31
4.1	Diseño estructural de la Prelosa prefabricada de ferrocemento (LPF) para cubierta ...	32
4.1.1	Cargas de diseño.	33
4.1.2	Cálculo del Momento requerido (M_u).....	34
4.1.3	Cálculo del Momento de diseño (M_n).	35
4.1.4	Parámetros Mecánicos.	41
4.1.5	Modelación estática de la prelosa prefabricada de ferrocemento (LPF).....	43
4.1.6	Costo de producción de la LPF diseñada.	46
4.2	Diseño estructural del entrepiso.....	48
4.2.1	Cargas de Diseño.	48
4.2.2	Obtención del Momento requerido (M_u).	49

4.2.3	Modelación y análisis estático de la viga de entrepiso.	53
5.	CAPÍTULO V: FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS	55
5.1	Prelosa modular prefabricada de ferrocemento (LPF)	56
5.1.1	Elaboración del molde.....	56
5.1.2	Preparación de la armadura de refuerzo.	56
5.1.3	Preparación y colado del mortero.	56
5.2	Losa de Entrepiso	59
6.	CAPÍTULO VI: Ensayos de aceptación	60
6.1	Prelosa modular prefabricada de ferrocemento (LPF)	61
6.1.1	Ensayo de compresión simple.	61
6.1.2	Ensayo de flexión.....	62
6.1.3	Ensayo de permeabilidad.....	64
6.2	Prototipo de losa de entrepiso.....	65
6.2.1	Ensayo de compresión.....	65
6.2.2	Ensayo de flexión.....	65
7.	CAPÍTULO VII: DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE CUBIERTA Y ENTREPISO	68
7.1	Costo por m ² de cubierta diseñada	69
7.2	Costo por m ² de entrepiso.....	70
8.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	71
9.	CONCLUSIONES.....	76
10.	RECOMENDACIONES	77
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	78
12.	Anexos.....	83
12.1	Anexo A: Análisis paramétrico para el pre-dimensionamiento de la losa de cubierta...	84
12.1.1	Introducción.....	84
12.1.2	Sección transversal.....	84
12.1.3	Definición de la dimensión longitudinal del elemento	85
12.1.4	Definición de las dimensiones de la sección transversal.	86
12.2	ANEXO B: Caracterización de árido fino para fabricar la prelosa prefabricada.....	89
12.2.1	Granulometría.	89

12.2.2	Densidad y absorción.....	90
12.2.3	Contenido de Humedad (CH).....	90
12.2.4	Material más fino que pasa el tamiz No 200.	90
12.3	Anexo C: Diseño de mortero.	92
12.3.1	Resistencia requerida	92
12.3.2	Cuantía de cemento.....	92
12.3.3	Contenido de agua (a)	93
12.3.4	Contenido de arena.....	93
12.3.5	Dosificación para 1m ³ de mortero con materiales en SSS:	94
12.3.6	Corrección por humedad.....	94
12.4	ANEXO D: Análisis de precios unitarios de estructuras para entepiso y cubierta.	96
12.5	Losas de concreto armado usadas para la solución de entepiso	96
12.5.1	Losa en una dirección con vigas de banda y nervios en sitio	96
12.5.2	Losa Maciza.....	98
12.5.3	Losa con lámina metálica o placa colaborante	99
12.6	Cubierta de teja común	101
12.7	Cubierta compuesta por laminas perfiladas galvanizadas de 0.8mm de espesor.	102
12.8	ANEXO E: DEFORMACIÓN DE TRABAJO	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Granulometría recomendada para elaboración de ferrocemento	12
Tabla 2.2. Ensayos para caracterización del agregado fino.....	13
Tabla 2.3: Características mecánicas de la mallas	15
Tabla 2.4: Recomendaciones para elaboración de mortero.....	17
Tabla 3.1: Características de la malla hexagonal.....	30
Tabla 4.1: Análisis de precios unitarios para 1 m ² de prelosa prefabricada de ferrocemento.....	47
Tabla 6.1: Resistencia del mortero a los 28 días.....	61
Tabla 6.2: Carga y deformación de la LPF	63
Tabla 6.3: Ensayo de compresión simple del concreto con 15 días de edad.....	65
Tabla 6.4: Carga y deformación del prototipo de entrepiso	66
Tabla 7.1: Análisis de precios unitarios para 1 m ² de cubierta.....	69
Tabla 7.2: Análisis de precios unitarios para un metro cuadrado de entrepiso	70
Tabla 11.1: Evaluación de la sección más eficiente.....	85
Tabla 11.2: Porcentajes de variación respecto de la sección parabólica.....	85
Tabla 11.3: Área y peso de las secciones parabólicas en función de su altura y espesor.....	86
Tabla 11.4: Peso y longitud máxima de las secciones parabólicas	87
Tabla 11.5: Inercia y deformación de las secciones parabólicas.....	88
Tabla 11.6: Granulometría.....	89
Tabla 11.7: Densidad y absorción del árido fino.....	90
Tabla 11.8: Contenido de humedad del árido fino.....	90
Tabla 11.9: Volumen de agua, cemento y aire para 1m ³ de mortero	94
Tabla 11.10: APU cubierta de zinc	102
Tabla 11.11: Relación de momentos según la carga distribuida	103
Tabla 11.12: Deformaciones teóricas y experimentales.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Diagrama de esfuerzos.	19
Figura 3.1: Malla hexagonal ($\frac{3}{4}$)	30
Figura 4.1: Cubierta compuesta por prelosas de ferrocemento	33
Figura 4.2: Sección transversal de la prelosa prefabricada de ferrocemento.	33
Figura 4.3: Carga distribuida sobre la LPF	34
Figura 4.4: Representación de sección transversal de la LPF en un plano cartesiano.	35
Figura 4.5: Distancia del vértice al centro de gravedad.....	37
Figura 4.6: Distribución de esfuerzos según el Prof. Olvera	38
Figura 4.6: Longitud de acero distribuido a compresión.....	38
Figura 4.8: Posición del centro de gravedad de la parábola	39
Figura 4.9: Zona que trabaja a compresión.....	40
Figura 4.10: Ingreso de las propiedades físico-mecánicas del ferrocemento diseñado.....	44
Figura 4.11: Boceto de la sección transversal de la LPF	45
Figura 4.12: Simulación de tensión de la LPF	45
Figura 4.13: Simulación de la deformación de la LPF	46
Figura 4.14: Losa de entrepiso.	48
Figura 4.15: Sección compuesta del entrepiso.....	49
Figura 4.16: Armado del acero para el entrepiso	52
Figura 4.17: Análisis estático.....	53
Figura 4.18: Análisis de tensión del entrepiso	53
Figura 4.19: Deformación producida en el entrepiso.....	54
Figura 5.1: Conformación del molde parabólico de hormigón simple.....	56
Figura 5.2: Armado de las mallas y acero de refuerzo.	57
Figura 5.3: Proceso de colado del mortero.....	58
Figura 5.4: Curado de las Losas prefabricadas de ferrocemento (LPF).....	58
Figura 5.5: Armado del prototipo de entrepiso.	59
Figura 5.6: Colado del hormigón.	59
Figura 6.1: Muestras de mortero (cubos de 26.01cm ²)	61
Figura 6.2: Estimación de la resistencia a la compresión del mortero.	61
Figura 6.3: Cubos de mortero luego de ser probados.....	62
Figura 6.4: Preparación de la LPF previo a comenzar el ensayo de flexión	62

Figura 6.5: Carga distribuida sobre la LPF	63
Figura 6.6: Carga y descarga vs deformación	64
Figura 6.7: Ensayo de impermeabilidad.	64
Figura 6.8: Ensayo de compresión simple del concreto (15 días).	65
Figura 6.9: Curva carga-deformación del prototipo de entrepiso.	66
Figura 6.10: Prototipo de entrepiso.	67
Figura 6.11: Deformímetros.	67
Figura 6.12: Prototipo de entrepiso (ensayo de flexión).	67
Figura 8.1: Variación del área y deformación de las secciones	71
Figura 8.2: Análisis de curva carga-deformación de LPF	72
Figura 8.3: Análisis del ensayo a tensión del entrepiso.....	73
Figura 8.4: Deformaciones Teóricas, simuladas y experimentales	74
Figura 8.3: Costo por m ² de diferentes tipos de cubierta.....	75
Figura 8.4: Costo por m ² de losas para entrepiso	75
Figura 11.1: Curva granulométrica	89
Figura 11.2: Contenido de cemento en función del f'c requerido	92
Figura 11.3: Losa en una dirección con vigas de banda y nervios en sitio	96
Figura 11.4: Análisis de precios unitarios para la losa con vigas de banda y nervios en sitio	97
Figura 11.5: Losa maciza con canto de 15 cm	98
Figura 11.6: Análisis de precios unitarios para la losa con vigas de banda y nervios en sitio	98
Figura 11.7: Losa con lámina metálica o placa colaborante.....	99
Figura 11.8: Análisis de precios unitarios para la losa en una dirección	100

RESUMEN

El acceso a la vivienda digna es un derecho humano, cifras del MIDUVI señalan que el 45.9% de las viviendas ecuatorianas requieren de intervención parcial o total. El objetivo es reducir costos económicos y ambientales a través de la investigación de prelosas diseñadas mediante las técnicas de ferrocemento y la prefabricación modular para dar solución sostenible al entrepiso y cubierta de VIS. La investigación se realizó en los laboratorios de la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL). Los materiales se caracterizaron de acuerdo a las normativas (INEN). Para el diseño de las pre-losas de ferrocemento se aplicó el método desarrollado por el Prof. Olvera del Instituto Politécnico Nacional de México, previo al diseño se realizó análisis paramétrico para establecer una sección transversal eficiente. Las pre-losas fueron sometidas a ensayos de: flexión y permeabilidad en base a la normativa INEN y NSR-98. La sección transversal parabólica resultó ser más eficiente al requerir menos material para soportar una carga distribuida. En la conformación de la losa el prefabricado parabólico es auto-portante, elimina costos por equipos, mano de obra y tiempo de ejecución.

PALABRAS CLAVES: Vivienda de interés social, entrepiso, cubierta, ferrocemento, prefabricación modular.

ABSTRACT

Access to decent housing is a human right, figures from MIDUVI indicate that 45.9% of Ecuadorian homes require partial or total intervention. The objective is to reduce economic and environmental costs through the research of slabs designed using ferrocement techniques and modular prefabrication to provide a sustainable solution to the mezzanine and roofing of VIS. The research was carried out in the laboratories of the Universidad Técnica Particular de Loja. The materials were characterized according to the regulations (INEN). For the design of the ferrocement pre-slabs, the method developed by Prof. Olvera of the National Polytechnic Institute of Mexico was applied. Prior to the design, parametric analysis was carried out to establish an efficient cross section. The pre-slabs were subjected to tests of: bending and permeability based on the INEN and NSR-98 regulations. The parabolic cross section was found to be more efficient by requiring less material to support a distributed load. In the conformation of the slab, the prefabricated parabolic is self-supporting, eliminating costs for equipment, labor and time of execution.

KEYWORDS: Social interest housing, mezzanine, roof, ferrocement, modular prefabrication.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Introducción

Las construcciones convencionales constituidas generalmente de cemento portland y acero de refuerzo constituyen una de las principales ramas en el desarrollo de un país (Wainshtok, 2010).

La vivienda de interés social (VIS) está definida como el inmueble destinado a la solución de la marginalidad habitacional de una comunidad (Arrau Guzmán, 2007). Según la Declaración de los Derechos Humanos de 1980, todas las personas tienen derecho a una vivienda digna, esto es refrendado por la Constitución del Ecuador del 2008 en su artículo 30 y 31 (Julián, William, & Fabián, 2015). El acceso a una vivienda digna es factor clave para mejorar la calidad de vida de las personas, sin embargo los elevados costos ambientales y económicos para la adquisición de VIS, alejan las posibilidades para que una familia de bajos recursos económicos pueda adquirirla. En América Latina y el Caribe existe déficit de vivienda del 36% (Bouillon, 2012). En Ecuador para diciembre del 2016 la Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU) en el sector de la vivienda determinó un déficit cualitativo del 33.6% y déficit cuantitativo del 12.3%, lo que da como resultado 45.9% de viviendas que tienen que ser intervenidas (INEC, 2017). De aquí nace la necesidad de buscar soluciones que reduzcan costos ambientales y económicos, mediante la innovación de técnicas de construcción que optimicen el uso de los materiales convencionales (cemento portland y acero de refuerzo; Barrietos Opazo, 2004). La variante del ferrocemento ofrece ventajas en la magnitud de masa y propiedades mecánicas, para construir prelosa de vigas tipo bovedilla, livianas que permiten la manipulación manual, lo mismo la prefabricación. El ferrocemento, material de pequeño espesor generalmente menor a 5cm, compuesto por mortero y telas de malla de diferentes diámetros (Murlidar R., 1976) (Wainshtok, 2010). El ferrocemento se ha estudiado por más de 20 décadas y sus bondades como material estructural indican que es una alternativa eficaz comparada con el hormigón armado (Bedoya Ruiz y Betancur, 2009)(Rivas y Hernández, 2014). En 1960 el grupo San Carlos (Constructora Brasileña) elaboró y utilizó elementos prefabricados para cubiertas y depósitos que resultaron ser más eficientes que sus similares de concreto reforzado (Wainshtok, 2010). En Perú se ha usado esta técnica en la construcción de techos y tanques de almacenamiento de agua con óptimos resultados (Quiun, 2011).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), no contempla el diseño y construcción de elementos estructurales prefabricados de ferrocemento para viviendas, pero tampoco restringe su uso siempre que se demuestre sus características mecánicas y de serviciabilidad mediante ensayos de aceptación que rigen para el hormigón armado.

La presente investigación plantea el uso de la técnica del ferrocemento y la prefabricación modular, aplicada al diseño estructural de prelosas para entrepiso y cubierta de VIS, con el afán de reducir costos de construcción e impactos ambientales.

Se caracteriza los materiales según los requerimientos de las normativas ecuatorianas (INEN) y el código de la ACI 318, se realiza análisis paramétrico para establecer una sección transversal eficiente, se usa el método propuesto por el Prof. Olvera (citado en Wainshtok, 2010) para diseñar la prelosa prefabricada de ferrocemento (LPF), se construye dos prototipos, mismos que son sometidos a ensayos de: flexión y permeabilidad atreves de procesos descritos en la normativa correspondiente.

Para dar solución estructural a la prelosa y cubierta se diseña vigas tipo bovedilla de sección transversal parabólica, prefabricada en ferrocemento. Se aprovecha las propiedades mecánicas y físicas del elemento, las vigas bovedilla que constituyen la prelosa, poseen resistencia para la colación en situ de la carpeta colaborante para prescindir de encofrado. La sección transversal de losa es de resistencia progresiva, es decir su resistencia a la compresión aumenta en la línea del tiempo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Investigar, diseñar y proponer losas modulares prefabricadas de ferrocemento con carpeta colaborante para dar solución al entrepiso y cubierta de vivienda de interés social.

1.2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar y caracterizar el agregado fino acorde a la norma NTE INEN 872:2011
- Diseñar la dosificación del mortero para resistencia a compresión simple de 28 MPa y permeabilidad aceptable.
- Evaluar y determinar la sección transversal más eficiente de la losa prefabricada de ferrocemento mediante el empleo del análisis paramétrico.
- Construir un módulo de losa de ferrocemento según el diseño estructural obtenido, y someterlo a ensayos de aceptación.
- Conocer y evaluar el costo de producción del metro cuadrado de losa de cubierta y entrepiso investigada.
- Divulgar la investigación.

1.3 Organización

La organización del presente Trabajo de Fin de Titulación (TFT) se encuentra estructurado de la siguiente manera:

Capítulo 1 presenta las generalidades del tema investigado, para envolver una introducción global de la problemática y las soluciones planeadas para el proyecto, además se muestran los objetivos a cumplirse durante el proyecto.

Capítulo 2 aborda el estado del arte, conformado por 3 temáticas principales.

La primera temática presenta al ferrocemento esencialmente: sus antecedentes, definición, cualidades, características y materiales que lo conforman además de sus ventajas y desventajas como un material innovador y sostenible.

La segunda temática abarca información técnica sobre las losas tanto de cubierta como entrepiso, información necesaria para introducirse en el diseño de las mismas.

Finalmente se muestra las generalidades de los prefabricados así como sus ventajas y desventajas en la industrialización de la construcción.

Capítulo 3 establece la metodología a seguirse para cumplir con los objetivos propuestos y los materiales usados en el desarrollo del TFT.

Capítulo 4 contiene el diseño estructural de la losa prefabricada de ferrocemento (LPF) para dar solución a cubierta y entrepiso de una vivienda de interés social (VIS). Además se presenta la modelación estática en el software Autodesk Inventor.

Capítulo 5 y 6 muestra el proceso de fabricación de la LPF y los ensayos de aceptación.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1 El ferrocemento

2.1.1 Antecedentes.

Los primeros aportes conocidos sobre este material datan a mitad del siglo XIX y se la atribuye al francés Joseph Louis Lampot (1814-1885), quien construyó pequeños botes, y otros objetos con un innovador material al cual llamo Ferciment, patentándolo en 1852 como un material de construcción para ser usado como sustituto a la madera en navíos y construcciones domésticas (Wainshtok, 2010).

A noventa y un años de ser patentado el ferrocemento, el ingeniero y arquitecto italiano Pier Luigi Nervi (1881-1960), retoma las ideas de Lampot y las utiliza en sus proyectos enfocados a la construcción naval y posteriormente a la construcción civil en la cual se destacó notablemente. La cubierta del salón principal de exposiciones del Palacio de Turín, construida entre 1948 y 1950, es considerada una de las más importantes obras de Nervi con la técnica del ferrocemento (Bedoya, 2005).

De los cimientos proporcionados por Nervi, en el mundo se comenzó a realizar: investigaciones, estudios y construcciones con la técnica del ferrocemento, así pues, en 1958 se construyó en la ex Unión Soviética [URSS] particularmente en la ciudad de Leningrado, la primera estructura de ferrocemento con techo de bóveda. Para 1967 en la URSS ya existía una normativa con las primeras recomendaciones oficiales para el uso del ferrocemento en edificaciones (B. K. & R. P., 1978). A principios de 1977, el American Concrete Institute (ACI) se reúne y establece el comité 549, para valorar el estado actual de la tecnología y elaborar un reglamento de uso oficial del ferrocemento como material de construcción (CPISCA, 2000).

En América Latina varios estudios han sido realizados en países como Colombia y Cuba donde se ha estudiado sus bondades como material estructural, se proyecta como una alternativa eficaz al hormigón armado (Bedoya Ruiz y Betancur, 2009)(Rivas y Hernández, 2014). Lalaj y Yilmaz (citado en Aguilar, 2016), argumentan que el ferrocemento se ha utilizado en estructuras para viviendas o edificios públicos por 20 años en Chile y hace 15 años en México con buenos resultados.

2.1.2 Definición de ferrocemento.

El ferrocemento es material de pequeño espesor generalmente constituido por mortero de arena y cemento hidráulico, reforzado por un conjunto de barras de acero de diferente diámetro, así como mallas metálicas continuas de varios tipos, se trata de un material más económico que el concreto reforzado (Naaman & Hammoud, 1992) (Surendra, 1981).

2.1.3 Cualidades del ferrocemento.

2.1.3.1 Geometría y peso.

El ferrocemento es un material versátil y puede adoptar la forma que el proyecto requiera, este material tiene una densidad similar a la del hormigón armado pero con espesor muy reducido por tanto tiene una menor carga de peso propio (Sheng Yap, 1990) (Carvajal de la Cruz, 1987).

2.1.3.2 Rapidez de construcción.

Para la prefabricación de módulos de ferrocemento se requiere de una capacitación rápida y fácil de la mano de obra, los módulos se elaboran en una fábrica mediante procesos de producción en serie o al pie de la obra sin necesidad de maquinaria pesada. El tiempo de construcción de una estructura se reduce en 70% del tiempo necesario para estructuras de hormigón armado, por ejemplo una vivienda de ferrocemento de 50m² con 5 trabajadores puede ser montada en 15 o 20 días aproximadamente. (Materials, 2014) (Olvera L., 2002)

2.1.3.3 Sismicidad.

El ferrocemento es material homogéneo cuya principal característica es su alta ductilidad la cual le permite absorber energía con poca disminución de sus propiedades mecánicas y de su resistencia (Wainshtok H. , 1988). Bedoya y Alvares (2009), realizaron una amplia investigación para determinar el comportamiento de una vivienda de ferrocemento bajo cargas cíclicas, ellos concluyeron que el ferrocemento presenta adecuada capacidad para disipar energía. En sus ensayos lograron disipar hasta el 70% de la energía, las principales fallas aparecieron en las uniones entre prefabricados y conexiones como: estructura-cimentación y estructura-cubierta.

En Chile el 27 de febrero del 2010, alrededor de 200 casas construidas de ferrocemento soportaron un sismo de magnitud 8.8 en la escala de Richter (Aguilar, 2016). El Instituto de Cemento y Hormigón de Chile (ICHC) realizó observaciones que muestran que las estructuras no sufrieron daños considerables en sus elementos, y toleraron eficientemente las fuerzas

sísmicas (Lalaj, Yardim , & Yilmaz, 2015). Los elementos fabricados que han sufrido deterioro por factores externos (sismos) o por vida útil pueden ser fácilmente y económicamente reparables.

2.1.3.4 Economía.

El bajo costo del ferrocemento se debe a su fácil construcción y reparación. Es una técnica constructiva que demanda: reducida mano de obra con menos especialización, cantidad menor de materia prima y tiempo de construcción, en contraparte al sistema tradicional de construcción (hormigón armado), el coste final de cada estructura será de 20 a 40% más económico (Kantharaju, Vasudev, Kulkarni, & Malji, 2001). Otra ventaja es que los materiales que componen al ferrocemento se pueden obtener con gran facilidad en la mayoría de los países en vías de desarrollo. Para Walkus (1987), los beneficios económicos al usar la técnica del ferrocemento se obtienen sólo cuando se aplican procesos eficaces de fabricación y ensamblado.

2.1.3.5 Sostenibilidad.

La prefabricación modular con ferrocemento es amigable para el medio ambiente, por el uso razonado de los materiales que intervienen, esto permite atenuar la generación de escombros en la fase de construcción y reparación (Materials, 2014) (Mironkov, 1980).

2.1.4 Materiales que componen el ferrocemento.

2.1.4.1 Cemento.

El cemento hidráulico es polvo fino, compuesto de silicatos hidráulicos de calcio, que al entrar en contacto con el agua reaccionan químicamente convirtiéndose en aglutinate capaz de mantener unidos a los agregados y formar una masa homogénea y dura (Love, 2011). Se ofertan varios tipos de cemento en la actualidad para la construcción, el más utilizado es el cemento Portland. Las exigencias de las características físicas y químicas que debe cumplir el cemento Portland están dadas en la norma NTE INEN 152 y ASTM C150-98

Según Wainshtok (2010), la calidad del cemento puede afectar considerablemente la durabilidad del ferrocemento por los reducidos espesores y recubrimientos del acero, recomienda un consumo de cemento entre 500 y 800 $\frac{kg}{m^3}$ de mortero para garantizar los requisitos de calidad necesarios.

2.1.4.1 Agua de amasado.

El agua para la elaboración de mortero, no debe contener materias orgánicas ni contaminantes nocivos que puedan afectar las propiedades tanto del mortero como del acero de refuerzo y mallas. Si el agua es apta para consumo humano lo es también para la hidratación del cemento (Love, 2011).

2.1.4.2 Áridos.

La norma ASTM C33 considera árido fino al material pétreo que pasa el tamiz No 4. La procedencia de los áridos puede ser de arena natural, arena elaborada (triturada) o una mezcla de ambas que cumplan con los requisitos de la norma NTE INEN 872. La calidad de los áridos es importante, ya que conforma entre el 60 y 80% del volumen total del mortero, esto influye considerablemente en las proporciones de la mezcla, la resistencia final y el costo de la misma (Fernandez Canovas, 2013).

Según Love (2011), para cualquier mezcla, los agregados tendrán que ser partículas limpias, sólidas, durables, libre de químicos y recubrimientos de cualquier material fino (arcillas, limos) que afecte la unión de la pasta de cemento.

2.1.4.2.1 Análisis granulométrico

Olvera (2002), para prefabricados de ferrocemento recomienda usar la arena que pase el tamiz No. 8 (2.36mm), así mismo, Wainshtok (2010), argumenta que es necesario limitar el tamaño máximo nominal a 5mm o valores menores de 4mm por la dependencia del espesor del elemento y la densidad de la armadura.

La ACI 549R, presenta en la Tabla 2.1 2.1, adaptada de la ASTM C33, la clasificación del agregado fino para ferrocemento.

Tabla 2.1 Granulometría recomendada para elaboración de ferrocemento

Sieve size, U.S Standard square mesh (mm)		Percent passing by weight
No. 8	2.36	80 - 100
No. 16	1.18	50 - 85
No. 30	0.60	25 - 60
No. 50	0.30	10 - 30
No. 100	0.15	2 - 10

Fuente: ACI 549 R
Elaboración: El Autor

El tamaño máximo nominal de la partícula es controlado por las limitantes de construcción, tales como, el tamaño de la malla y distancia entre capas. La clasificación uniforme del agregado es deseable para conseguir una mezcla de mortero con trabajabilidad y alta densidad (Olvera L., 2002).

Para el diseño de hormigón, si la relación agua/cemento se mantiene constante, se puede utilizar un amplio rango de granulometrías sin cambios considerables en la resistencia (PCA, 2004), esto es ratificado para el ferrocemento por Shah y William Greenius (citado en Wainshtok, 2010), quienes demostraron que no hay efecto sensible en la resistencia del ferrocemento a partir de una variación granulométrica.

2.1.4.2.2 Caracterización del agregado fino.

Los ensayos propuestos por la norma NTE INEN 872 para la caracterización del árido fino se muestran en la Tabla 2.2

Tabla 2.2. Ensayos para caracterización del agregado fino.

Ensayo	Norma NTE INEN
Granulometría y módulo de finura	696
Cantidad de material más fino que 0.75 mm	697
Impurezas orgánicas en el árido fino	855
Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino	856
Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad	862

Fuente: NTE INEN 872

Elaboración: El Autor

2.1.4.3 Aditivos.

Los aditivos son sustancias químicas, cuya función es mejorar las características físicas y mecánicas del producto final. Los aditivos buscan que el conjunto se adapte de mejor forma a las necesidades de la obra, generalmente son dosificados por debajo del 5% del peso de cemento, y se adicionan a los demás materiales antes o durante el proceso de mezclado (Rivera, 2013). La elección del tipo y dosificación del aditivo son factores determinantes para obtener mortero con las características deseadas y además económico (Fernandez Canovas, 2013) (INECYC, 2007).

Los aditivos químicos que se usan en el ferrocemento deben cumplir con al menos uno de los cuatro propósitos siguientes: reducción de agua, aumento de la resistencia, incorporación de aire e incremento de la impermeabilidad (Comité 549 ACI).

2.1.4.4 Acero de Refuerzo.

El acero de refuerzo está formado por capas de mallas y en ocasiones por barras de acero de pequeño diámetro (esqueleto). Según Villegas (2005), la disgregación del mortero y el agrietamiento del elemento son producto del tipo, cantidad, resistencia y orientación de las armaduras difusa (mallas) y discreta (esqueleto). El acero de refuerzo debe estar libre de materiales externos como polvo, óxido suelto, aceites y recubrimientos de pintura (Comité 549 ACI).

Malla de refuerzo (armadura difusa). Está compuesta por mallas de acero de pequeño diámetro, las mallas son elaboradas de alambres soldados o entretejidos. Las mallas deberán ser flexibles para formar ángulos agudos de ser requeridos. Dar forma al elemento, actuar como apoyo del mortero en estado fresco y soportar los esfuerzos de tensión, golpes y torceduras en el estado endurecido son las principales funciones de la armadura difusa, por lo cual se debe introducir el suficiente acero para garantizar la calidad del prefabricado (CPISCA, 2000).

De la clasificación del Comité 549 del ACI para las mallas más comúnmente usadas se tiene: malla de alambre hexagonal, malla tejida y malla soldada (Comité 549 ACI).

Esqueleto (Armadura discreta). El armazón está conformado por barras de acero con diámetros de 3 a 10 mm, la separación de las barras es de 5 a 15 cm cuando actúan conjuntamente con las mallas para absorber los esfuerzos de tensión, mientras que se pueden separar hasta 30 cm cuando no cumplen función estructural (CPISCA, 200) (Wainshtok, 2010).

Según ensayos realizados por el ACI en el Comité 549, las características de las mallas más comunes usadas en el ferrocemento se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Características mecánicas de la mallas

			Malla Soldada	Malla Tejida	Malla Hexagonal	Varillas longitudinales
Límite de cedencia (σ_y)	MPa (ksi)		450 (65)	450 (65)	310 (45)	414 (60)
Módulo de Young (E_r)	Long.	GPa (10^3 ksi)	200 (29)	138 (20)	104 (15)	200 (29)
	Transv.	GPa (10^3 ksi)	200 (29)	165 (24)	69 (10)	

Fuente: ACI 549 R

Elaboración: El Autor

2.1.5 Propiedades mecánicas del ferrocemento.

El ferrocemento al considerarse material homogéneo y elástico, tiene alta resistencia a la tracción y módulo de elasticidad alto, sus propiedades mecánicas dependen de la orientación, diámetro, cuantía y resistencia de las mallas (Paramasivam 1988, citado en Aguilar 2016).

Volumen de refuerzo (V_{ref}).- Es la relación entre el volumen del acero (V_{acero}), incluida la armadura discreta, respecto del volumen de ferrocemento de la prelosa ($V_{ferrocemento}$).

$$V_{ref} = \frac{V_{acero}}{V_{ferrocemento}} \quad (2.1)$$

El rango del volumen de refuerzo para elementos de ferrocemento es $1\% < V_{ref} < 8\%$

Área o Superficie efectiva de refuerzo (S_{ref}).- Es el área superficial del acero ($A_{superficial\ de\ acero}$) por unidad de volumen del elemento ($V_{ferrocemento}$).

$$S_{ref} = \frac{A_{superficial\ de\ acero}}{V_{ferrocemento}} \quad (2.2)$$

El rango para ferrocemento del factor de área específica del refuerzo recomendado por varios autores es de $0.5\ cm^{-1} < S_{ref} < 2\ cm^{-1}$

2.1.6 Consideraciones de diseño.

2.1.6.1 Módulo de elasticidad.

El módulo elástico para elementos de ferrocemento se puede determinar teóricamente de la ley de las mezclas de los materiales compuestos, la cual toma en cuenta el área tributaria de cada material con su respectivo modulo elástico y mediante una media ponderada determina el módulo elástico del material compuesto (Naaman y Surendra citados en Olvera, 2002).

Aguilar (2016), plantea que el módulo elástico del ferrocemento, puede ser diferente al módulo elástico de los alambres que la componen, por ende es necesario determinar el módulo elástico mediante la experimentación.

2.1.6.2 Limitación del ancho de grietas.

Namaan y Walkus (citados en Wainshtok 2010), limitan el ancho de la primera grieta en la zona de tracción a 0.1mm para elementos en ambientes no corrosivos y de 0.05 mm para ambientes agresivos o en estructuras destinadas a depósitos de líquidos (Surendra, 1981). Wainshtok (2010) argumenta que mientras más corto es el recubrimiento más pequeño será el ancho de grieta. El ancho máximo de la grieta se determina mediante la ecuación (2.3), propuesta por Naaman (Surendra, 1981).

$$\omega_{max} = \frac{3500}{Ea} \quad (2.3)$$

Donde:

Ea = Modulo de elasticidad de la malla en MPa

ω_{max} = Ancho máximo de la grieta en mm

2.1.6.3 Proporciones de la mezcla de mortero.

Es factible tener cuidado con los porcentajes de agregados, cemento, agua y aditivos si los hubiera, porque una pequeña variación en cualquier material modificará las características físicas y mecánicas del mortero fresco y endurecido.

Para la fabricación de prelosas de ferrocemento varios autores como Alfonso Olvera (2002), Hugo Wainshtok (2010) y el Comité ACI 549R recomiendan valores semejantes para las relaciones de los materiales que componen la mezcla del mortero, mismos que se muestran en la Tabla 2.4 :

Tabla 2.4: Recomendaciones para elaboración de mortero.

Autor	Alfonso Olvera (2002)	Hugo Wainshtok (2010)	Comité ACI 549R
Relación agua/cemento a/c	0.35-0.50	0.35-0.45	0.35-0.5
Relación arena/cemento	---	1-2.5	1-2.5
Aditivos	Igual que el hormigón armado		

Fuente: ACI 549 R, Olvera 2002, Wainshtok 2010

Elaboración: El autor

Según el Comité ACI 549R, un alto contenido de arena requiere de un alto contenido de agua para tener la misma fluidez.

2.1.6.4 Recubrimiento mínimo.

Para el ferrocemento el recubrimiento mínimo está en función del ambiente al cual se expone: 3mm para ambiente protegido, 4mm para ambiente expuesto a exteriores, 5mm para ambiente agresivo y 6 mm para ambiente muy agresivo. Si se usa armadura discreta el recubrimiento mínimo es de 8mm. Se permite variación de ± 1 mm en el espesor del recubrimiento (CPISCA, 2000).

La IMCYC (1978), considera que los elementos de ferrocemento con adecuado recubrimiento no requieren de protección especial, a menos que se encuentren expuestas a condiciones severas; para ello se recurre al uso de pinturas que más allá de su labor estético sirvan de protección ante ataques químicos entre otros.

2.1.7 Métodos de diseño y cálculo.

2.1.7.1 Método según los conceptos de la resistencia de materiales.

El diseño de elementos de ferrocemento no tiene método normalizado de cálculo, por lo cual varios autores hacen uso de las formulaciones de la resistencia de materiales para su efecto, tales como:

- El material se diseña dentro del rango elástico de la curva esfuerzo-deformación, es decir, el material que se somete a una elongación y contracción es homogéneo y obedecerá a la ley de Hooke; las secciones planas del elemento, inicialmente planas, permanecen planas y su módulo elástico es igual a compresión que a tensión (Pytel & Singer, 2012).

- El ferrocemento se lo considera un material homogéneo y elástico hasta la aparición de la primera grieta, es decir, que sus módulos elásticos a compresión y tracción son diferentes luego del agrietamiento (Pytel & Singer, 2012).

2.1.7.2 Método de resistencia última o estados límites.

En el método de la resistencia última se considera al ferrocemento en el rango de comportamiento no elástico de la curva esfuerzo-deformación, se usa para conocer el momento resistente a la rotura del elemento (Comité 549 ACI).

El código ACI 318, basa el diseño en dos partes; por resistencia (seguridad) y por servicio. En el diseño por resistencia se adoptan factores de amplificación de las cargas para las condiciones últimas mediante las combinaciones de carga dadas por los respectivos códigos de cada país, y factores de reducción (Φ) de la capacidad de los materiales (resistencia). La segunda parte, la aptitud para el servicio, consiste en calcular y controlar la deflexión y anchos de grieta bajo las cargas de servicio. Los factores de amplificación de carga y reducción de resistencia no son para proteger errores graves o negligencia en el diseño y construcción, sino que, son para hacer una previsión de sobrecargas (Rice & Hoffman, 1984).

En resumen el método permite diseñar la sección transversal del elemento y busca evitar el desarrollo de grietas excesivas a nivel de cargas de servicio además de dotar de seguridad y resistencia de reserva adecuada para resistir esfuerzos aplicados sin que se presente la falla.

2.1.7.3 Método de cálculo y revisión propuesto por el profesor Alfonso Olvera del Instituto Politécnico Nacional de la Ciudad de México.

El método desarrollado por el Profesor Alfonso Olvera, aplica los conceptos de la resistencia de materiales y resistencia última, además de fundamentarlo en la experimentación. Este método permite diseñar y calcular la resistencia de las piezas de ferrocemento. El método ha sido simplificado para posibilitar el diseño de elementos estructurales cualquiera que sea la forma de su sección transversal (Wainshtok, 2010).

Hipótesis de cálculo.

- Asume que la flexión produce esfuerzos de compresión encima del eje neutro y de tracción debajo de este, tal como se muestra en la Figura 2.1. Los esfuerzos de compresión del motero se han asumido de $0.85 f_c$ (Olvera L., 2002).

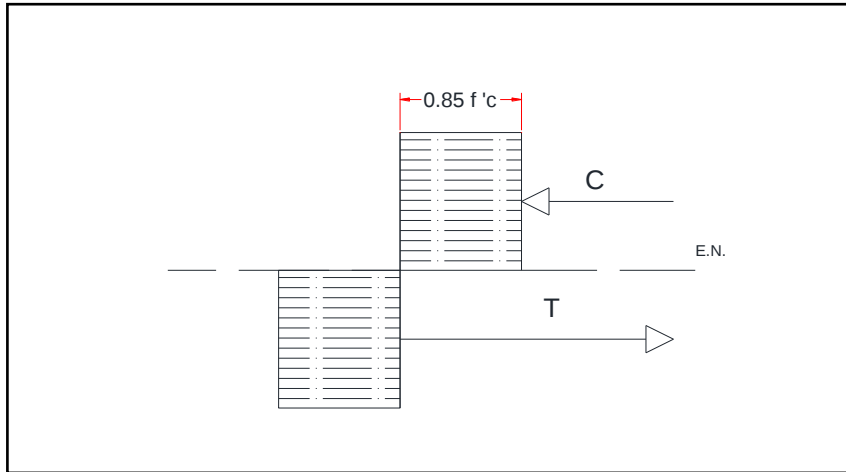


Figura 2.1: Diagrama de esfuerzos.

Fuente: Alfonso Olvera (citado en Wainshtok, 2010)

Elaboración: El autor

El método consiste en determinar el área de la sección transversal que trabaja a compresión de acuerdo con las dimensiones de la sección trasversal y del refuerzo, luego se calcula el punto de aplicación de la resultante de las compresiones (Olvera L., 2002).

Para el cálculo de la longitud de la sección que trabaja a compresión el Prof. Olvera propone la ecuación (2.4) en la que supone que la sección tiene refuerzo adicional tanto a compresión como a tracción incluido el acero distribuido (Wainshtok D. H., 2010).

$$L_c = \frac{fy(A_s \times L + A_{at}) - A_{ac}\sigma_{ac}}{A_s(fy + \sigma_s) + (85f'c)e} \quad (2.4)$$

Donde:

- L_c = Longitud de compresión (m)
- L = Longitud transversal del acero distribuido (m)
- fy = Límite de fluencia a tracción (MPa)
- A_s = Acero distribuido (cm²/m)
- A_{at} = Acero adicional a tracción (cm²)
- A_{ac} = Acero adicional a compresión (cm²)
- σ_{ac} = Límite de fluencia del acero adicional a compresión (MPa)
- σ_s = Esfuerzo del acero uniforme a compresión (MPa)
- $f'c$ = Resistencia a compresión del mortero (MPa)
- e = Espesor del elemento (m)

2.2 Losas de entrepiso y cubierta

2.2.1 Generalidades

Las losas son estructuras superficiales que reciben las cargas muertas y vivas de forma directa, para luego retransmitirlas a las vigas o estructura sobre la cual está apoyada, se diseñan para cumplir una función estructural o funcional específica, se puede tener losas planas o inclinadas que actúan como entrepiso, cubiertas entre otros elementos (Bernal, 2005). Si la losa se encuentra soportada en sus dos lados opuestos se denominan losas en una dirección ya que su flexión es unidireccional. Para el diseño y cálculo de una losa en una dirección se hace la suposición de que la losa es una viga (McCormac & Brown, 2011).

La particularidad de las losas de ferrocemento es su reducido espesor en comparación a las de hormigón armado, el espesor de las losas de ferrocemento es entre 1 y 5cm, la tolerancia admitida en el espesor es de 3mm o máximo un 10% del espesor (Olvera L., 2002).

2.2.2 Recomendaciones para la construcción de losas prefabricadas de ferrocemento (LPF).

Para la construcción de prelosas mediante la técnica del ferrocemento Wainshtok (2010), da las siguientes recomendaciones:

1. Las mallas de reducido diámetro se ubican en la parte externa del eje neutro, si son más de dos, se amarran para formar paquete de mallas.
2. El espesor de los elementos no debe variar en más de 3mm sobre el espesor proyectado, y cumplir con $0.9h \leq h \text{ (real)} \leq 1.15h$. Donde h es el espesor del elemento.
3. Si se tienen que realizar empalmes con las telas de mallas tejidas en la zona tracción en el sentido de las cargas, la longitud de solape tiene que ser mayor a los 10cm y 6 capas de malla, y no menor a 6cm y 4 capas de malla para las soldadas, mientras que para las telas de mallas que trabajan a compresión el solape será entre 5 y 3cm. Los empalmes se deben realizar en forma alterna para no constituir en más del 50% de la sección total de las mallas en tracción y evitar las zonas de momentos máximos.

Las prelosas de ferrocemento también se usan como formaletas para construir una losa compuesta por encofrado de ferrocemento y hormigón armado. Las prelosas de ferrocemento serán diseñadas para cumplir una función: constructiva, arquitectónica o estructural. En la función

estructural las prelosas de ferrocemento eliminarán el uso de encofrado y pasarán a formar parte integral de la estructura definitiva. (Cano Restrepo, 2002)

2.3 Prefabricación abierta modular

La prefabricación se refiere a la producción de componentes y elementos de construcción elaborados en serie fuera de su lugar de emplazamiento definitivo, su elaboración se basa en los procesos de tipo industrial para garantizar las ventajas en sus productos, lo cual permite una pronta optimización del capital invertido, la producción se realiza en plantas industriales creadas para el efecto (ARQHYS, 2012).

La modulación va de la mano con la estandarización, lo que se define como un proceso repetitivo de construcción de un prefabricado a lo largo de todo el proyecto; ello implica procedimientos tanto en la concepción, planificación y construcción, claramente diferente a los sistemas de construcción tradicionales (Pérez Estañol y Ochoa, 2006).

Por lo tanto se puede entender que la prefabricación modular es la industrialización de la construcción y su constante crecimiento y éxito está relacionado con la disminución del costo y laboriosidad de la fabricación.

2.3.1 Ventajas y desventajas de la prefabricación modular.

Algunas de las ventajas y desventajas de los prefabricados proporcionadas por el Instituto Mexicano del Cemento y Concreto (IMCYC, 1978) son:

Ventajas

- La mano de obra que realiza el montaje de los prefabricados no necesitaría una formación especializada.
- Se alcanza mayor control de las dimensiones y calidad del producto.
- Reducción de residuos de obra mismos que hacen de esta técnica una manera más ecológica de construir.
- Reducción de los tiempos de construcción al tener un rápido montaje y posible desmontaje.
- Facilidad para remodelación
- El peso de las prelosas modulares de ferrocemento pueden ser manipulables por tres personas para poder evitar la inversión inicial de costosos equipos de izaje.

Desventajas

- La inversión inicial requerida es relativamente alta.
- Los módulos prefabricados requieren de muchas juntas en la obra.
- Según los elementos a prefabricar se puede requerir transporte especializado para trasladar los elementos a la obra.

Para F Vilagut (1975), *“si la prefabricación se aplica a gran escala puede contribuir a la solución rápida del agobiante problema de la vivienda en las zonas deficitarias; con los métodos y materiales tradicionales no es posible levantar una vivienda unifamiliar en pocas horas como lo permite la prefabricación”*.

2.3.2 Planta de producción de prefabricados.

Una planta de prefabricados de ferrocemento al igual que de hormigón es una instalación que puede ser fija o provisional cuyo objetivo es fabricar piezas que al final del proceso serán montadas en obra (Yepes Piqueras, 2014).

La ubicación de la instalación se debe proyectar según las actividades que se efectúan durante el proceso de producción, tal como el flujo constante de materia prima, la facilidad de acceso al transporte pesado, impacto ambiental, servicios básicos y más necesidades. La planta deber tener obras exteriores de carácter funcional para almacenar y proteger los materiales e insumos de la intemperie (Ramos Naizzir, 2013).

2.3.3 Procesos de prefabricación de elementos de ferrocemento.

El ferrocemento por ser material versátil tiene varias posibilidades de uso. Con las técnicas poco desarrolladas, los diseñadores y constructores tienen la libertad de liberar su creatividad, al explotar las virtudes del ferrocemento en función de los materiales disponibles (Wainshtok H. , 1988)

En la actualidad se dispone de varios métodos para la prefabricación del ferrocemento, los cuales requieren de riguroso control de calidad; el método elegido siempre dependerá de la existencia de equipos para mezclado, transporte y colocación del mortero, así como, la posibilidad de usar o no moldes.

2.3.3.1 Fabricación mediante el uso de moldes.

Los moldes deben estar contruidos con las medidas, ángulos e inclinaciones exactas de las piezas prefabricadas, sin sobrepasar las tolerancias permitidas (Vilagut, 1975).

Wainshtok (2010), describe dos métodos: sistema de molde abierto y sistema de molde cerrado, para la fabricación de elementos de ferrocemento.

- Sistema de molde cerrado: Este sistema hace uso de un molde superior e inferior, sobre el cual se coloca el refuerzo y posteriormente se vierte el mortero. Con este sistema se elimina el uso de acero de esqueleto, es ventajoso cuando se aplica las telas de malla en el mortero, en lugar del mortero sobre las telas de malla. Es antieconómico para pocas aplicaciones por lo que se recomienda para la construcción industrial.
- Sistema de molde abierto: Este molde se encuentra formado por bandas separadas entre sí y conectadas a un encofrado estacionario convirtiéndose en un molde cerrado no rígido, este método requiere darle terminación por ambos lados a la pieza de ferrocemento.

2.3.4 Juntas en la construcción a base de paneles prefabricados.

La discontinuidad producto de la unión de dos elementos se denomina junta, y se produce por la necesidad de limitar las dimensiones de los prefabricados, ya sea por razones de elaboración, traslado y manipulación o colocación en la edificación (Barluenga, 2002).

Las juntas son elementos clave para asegurar el buen comportamiento funcional (impermeabilidad, aislamiento acústico y climático, arquitectura y durabilidad), y estructural (resistencia a las cargas horizontales y verticales, a las deformaciones admisibles y sobrecargas accidentales), en resumen las juntas han de asegurar la estabilidad y transmisión de esfuerzos así como conseguir la continuidad entre los paneles continuos (Fernandez, 1974).

La cantidad de juntas depende del tamaño de los elementos que conforman el sistema, por lo tanto definir las dimensiones de los prefabricados es una decisión clave y debe meditar en función de varios factores como el coste económico el cual disminuye con el aumento de dimensiones del elemento (Fernandez, 1974).

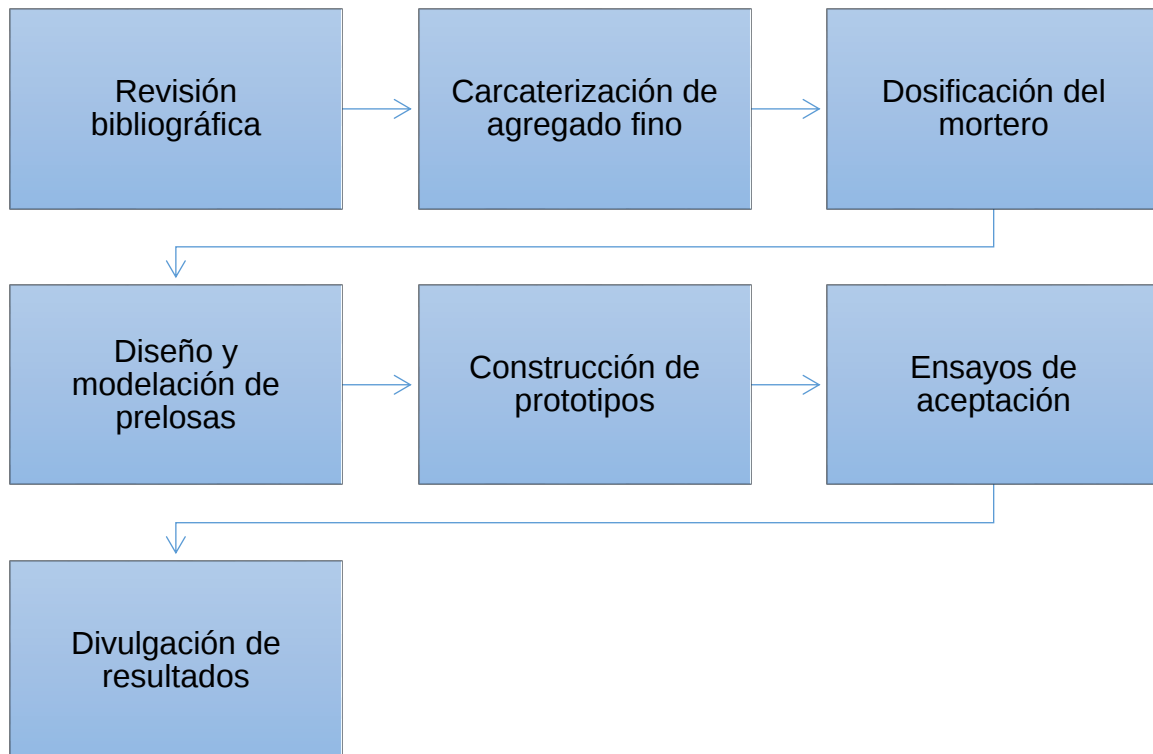
Las juntas longitudinales por lo general se pueden clasificar según tengan o no armadura.

- a. Juntas con armadura: Se aplica a elementos que se encontrarán sometidos a fuertes deformaciones entre paneles adyacentes en una dirección. Para su elaboración se han de prever algunas acanaladuras en los bordes longitudinales de la pieza, para que, al momento de unirlos en obra con los paneles continuos formen un canal que será rellenado posteriormente de mortero. La forma de la junta es muy diversa, y más importante que la forma es la calidad de ejecución del relleno. Las normas DIN recomiendan 3 cm el ancho mínimo del canal y la norma polaca recomienda, si la carga de servicio es superior a 225 kg/m^2 (2.2 kPa) se realizará un ensanchamiento del canal que asegure una unión más perfecta. Este tipo de juntas se suelen realizar para placas aligeradas para cubiertas, placas de casetones y placas nervadas (Fernandez, 1974).

- b. Juntas sin armadura: Su forma suele ser muy característica a las que se rellenan con hormigón u otro tipo de material de sellado y son de rápida ejecución, pero si cabe aclarar que no ofrece una resistencia adecuada ante deformaciones diferenciales entre paneles ni movimientos horizontales producto de sismos (Fernandez, 1974).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍAS Y MATERIALES

Diagrama de flujo de la metodología



3.1 Metodología

3.1.1 Revisión bibliográfica y elaboración del estado del arte.

La investigación se centró en la revisión bibliográfica de temas generales y específicos acordes al presente proyecto, se priorizaron investigaciones y publicaciones indexadas en revistas científicas.

Se recolectó y revisó la información disponible concerniente al tema de investigación en la base de datos de la biblioteca virtual de la UTPL. Se complementó con repositorios universitarios del país y la región.

Adicional a la información obtenida de la web fue necesario la revisión de bibliografía impresa presente en la biblioteca “Benjamín Carrión” de la UTPL.

3.1.2 Caracterización del agregado fino.

Se toma muestras de arena mediante la Norma NTE INEN 695:2010, de la cantera Catamayito y Chinguilamaca ubicadas en el Cantón Catamayo y Loja respectivamente, con el objeto de conseguir árido óptimo para elaborar ferrocemento.

Previo a la caracterización de las muestras de arena se procede a tamizarlas y retirar el material que no pasa del tamiz #4, esto para cumplir con las recomendaciones de la ACI 549R.

La caracterización del árido fino se ejecuta de acuerdo a la Norma INEN 872, la cual establece los ensayos descritos en la Tabla 2.2 cuyos resultados se presentan en el Anexo 12.2

3.1.3 Diseño de la mezcla de mortero.

Las prelosas de ferrocemento trabajarán en condiciones ambientales severas. El manual del PCA (2004), recomienda resistencia mínima de diseño 28 MPa. La resistencia promedio requerida se determina según lo establecido en la tabla 5 de la norma NTE INEN 1 855-2:2002 para hormigones preparados en obra bajo la condición B (Buenas). A partir de la resistencia promedio requerida y el módulo de finura de la arena, se obtuvo el contenido de cemento y la relación agua/cemento (a/c) por metro cúbico de mortero mediante la Figura 10.2 y la ecuación (12.2) ambas propuestas por el Ingeniero Rodrigo Salamanca (1985). De la relación (a/c) se calculó la cantidad de agua y a través del método de volumen absoluto para diseños de mezclas descrito en el manual del PCA (2004) se determina el contenido de arena en kilogramos para 1m³ de mortero.

Finalmente con los datos de absorción y humedad se procedió a realizar el respectivo reajuste de la dosificación inicial.

3.1.4 Bases para la modelación y diseño de losas de entrepiso y cubierta para VIS mediante la técnica de ferrocemento y prefabricación modular.

Para el diseño de la losa tanto para cubierta como entrepiso de VIS se acogió los lineamientos regulados por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) y las Normas de Construcción Ecuatoriana (NEC-15), en cuanto a requerimientos estructurales, económicos y arquitectónicos.

La propuesta se basa en el diseño de prelosas modulares con carpeta colaborante que ofrezcan calidad, seguridad y bajos costos, se realiza análisis paramétrico para definir la geometría y dimensiones óptimas de la prelosa modular, lo que permite reducir la masa del elemento ver Anexo 12.1. Se aprovecha las ventajas de la prefabricación y forma de la sección resistente evolutiva, consecuentemente se prescinde de costosos equipos de izaje.

Se procede a definir los esfuerzos a los que son sometidos los elementos de ferrocemento mediante la normativa NEC-15 *“Para viviendas con luces menores de 5 m”* donde se detallan principalmente los tipos de cargas que soportará el elemento y sus respectivas combinaciones. Para el cálculo de la cantidad y tipo de mallas a usarse como armadura difusa así como la cantidad y diámetro de barras de acero que conforman la armadura discreta, se lo realizó mediante el uso de la metodología propuesta por el Profesor Olvera del Instituto Politécnico Nacional de la Ciudad de México.

3.1.5 Construcción de prototipos.

La construcción de los prototipos de losa es manual, para prescindir del uso de equipo mecánico a excepción de la concretara la cual garantizó la correcta mezcla de materiales. Para garantizar la forma geométrica de la prelosa prefabricada de ferrocemento (LPF) obtenida del diseño, el molde se lo construyó de hormigón simple. Antes de verter el mortero se preparó el molde cubriéndolo con plástico para evitar adherencia. Según los requerimientos de diseño se prepara la armadura tanto difusa como la armadura discreta previo al colocado del mortero. Las capas de malla se amarran en paquetes, se usa alambre para asegurar distribución uniforme y evitar abultamiento. El proceso de fundición empieza por la colocación manual de una primera capa de mortero de 1cm de espesor sobre la cual se reposará la armadura de refuerzo, enseguida se la presionará con suaves golpes y se coloca la segunda capa de mortero y se da terminado a la superficie.

El curado inicia inmediatamente luego del paso anterior, se aplicó la metodología expuesta en la ACI 308R “*Prácticas para el curado del hormigón*” se eligió el curado con costales y mantas absorbentes para retener agua en la superficie del mortero y lograr desarrollar las propiedades deseadas.

3.1.6 Ensayos de aceptación.

Por cuestiones de equipo, para la aceptación de la LPF se aplicaron tres ensayos de aceptación: Resistencia a compresión simple del mortero mediante el método de la NTE INEN 488:2009, ensayo de flexión mediante las normas NEC-SE-HM: 2015 y NRS-98 y conforme el capítulo 20 del ACI 318, ensayo de impermeabilidad con la norma INEN 1317:1998. Para el prototipo de losa de entrepiso se realizan dos ensayos: Resistencia de compresión simple del concreto que conforma la carpeta colaborante de acuerdo a la norma NTE INEN 2124:2016. Y el ensayo de flexión explicado en el párrafo anterior.

3.1.7 Divulgación de los resultados.

Se tiene previsto divulgar los resultados obtenidos de la investigación como primera instancia en la Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL).

El proyecto será presentado en las XXXVIII Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, JSIE 2018, a realizarse el 24, 25, y 26 de octubre del 2018 en Lima, organizado por la Asociación Sudamericana de Ingeniería Estructural.

3.2 Materiales

El presente trabajo corresponde al diseño de prelosa modular de ferrocemento con vigas tipo bovedilla de sección parabólica con carpeta colaborante, para entrepiso y cubierta para VIS, mediante la prefabricación modular. Para lo cual se utilizan materiales disponibles en la ciudad de Loja, con el fin de reducir costos de construcción por metro cuadrado en relación al concreto reforzado convencional.

3.2.1 Cemento.

El material cementate contiene las siguientes características:

Marca:	Holcim
Tipo:	I
Clasificación:	GU (uso general)
Norma obedecida:	NTE INEN 2380:2011

3.2.2 Árido fino.

Arena gruesa proveniente de la Cantera Chinguilamaca ubicada en el cantón Loja.

3.2.3 Acero de refuerzo.

Esta investigación usa malla hexagonal y varillas corrugadas por economía y disponibilidad.

3.2.3.1 Malla hexagonal.

Malla fabricada por la industria Alambrec S.A. tradicionalmente conocida como malla de gallinero está fabricada con alambre galvanizado con tejido de triple torsión entre alambres para formar hexágonos que le otorguen rigidez y resistencia. Esta malla es conocida por ser económica y muy flexible (Alambrec, 2017).

Tabla 3.1: Características de la malla hexagonal

Características físico-mecánicas	
Apertura (a)	19mm
Diámetro (D)	0.71 mm
Área/m en dirección de la carga.	0.41 cm ² /m
Límite de fluencia (f_y)	216 MPa
Módulo de Young (E_a)	104000 MPa

Fuente: (Alambrec, 2017) (ACI-549R)

Elaboración: El autor



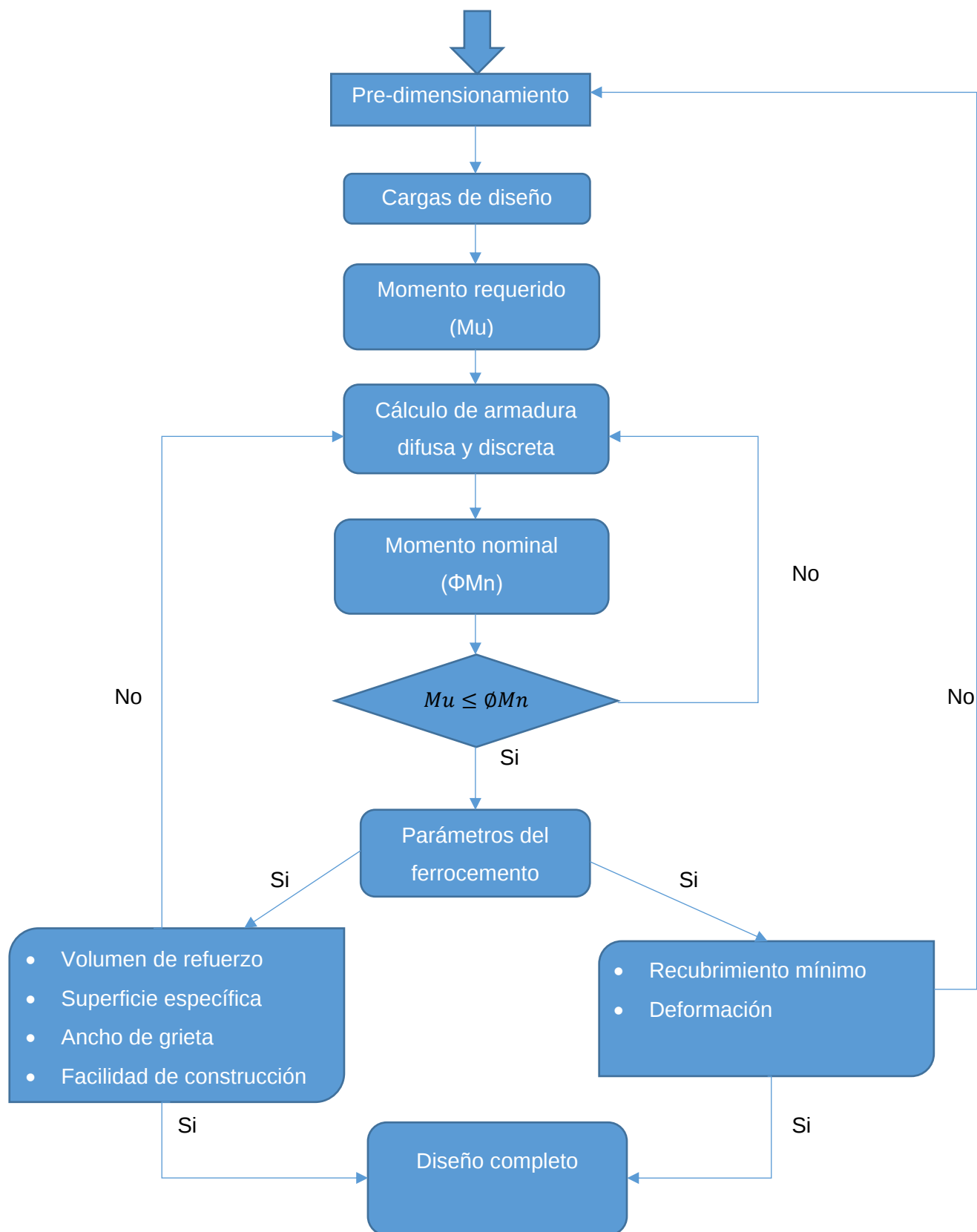
Figura 3.1: Malla hexagonal (¾)

Fuente: Alambrec, 2017

Elaboración: El autor

CAPÍTULO IV: DISEÑO ESTRUCTURAL DE PRELOSAS DE FERROCEMENTO PARA CUBIERTA Y ENTREPISO

4.1 Diseño estructural de la Prelosa prefabricada de ferrocemento (LPF) para cubierta



La propuesta para la cubierta se compone de la unión de una serie de módulos prefabricados de ferrocemento mediante una junta armada de mortero. Del análisis paramétrico presentado en el Anexo A, se ha determinado la sección 1 como la forma geométrica más eficiente y las dimensiones presentadas en el gráfico 4.1 y 4.2 son las requeridas para cumplir con las solicitaciones de la losa para cubierta.

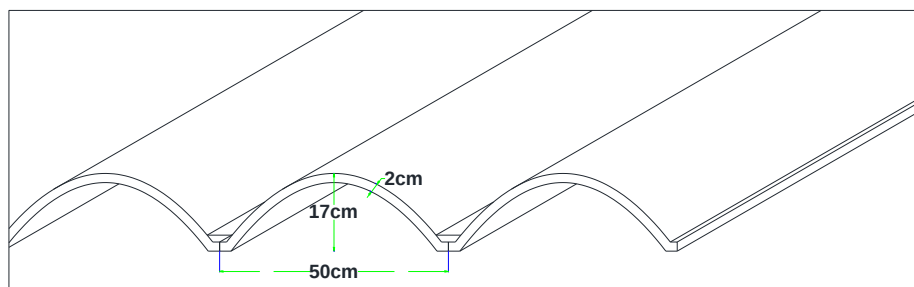


Figura 4.1: Cubierta compuesta por prelasas de ferrocemento

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

4.1.1 Cargas de diseño.

Para obtener la carga de diseño se utilizarán factores de amplificación de carga según el método por última resistencia en la sección 2.1.7.2, se usarán las combinaciones y cargas regularizadas en la norma NEC-SE-CG-2015.

4.1.1.1 Carga permanente.

Está constituida por el peso propio de la losa. El peso de la losa depende de la geometría de la misma y de la densidad del ferrocemento.

Como resultado del análisis paramétrico se toma la prelusa con las dimensiones h_2 - e_3 :

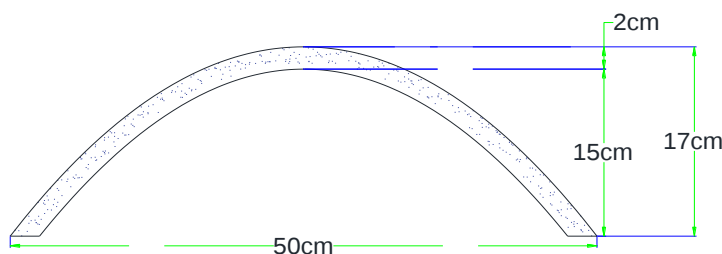


Figura 4.2: Sección transversal de la prelusa prefabricada de ferrocemento.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

El peso por metro (m) para la sección h₂-e₃, según la Tabla 12.4 es $P_p = 29.67 \frac{kg}{m}$

4.1.1.2 Carga viva o sobrecarga de uso (L).

Según la norma NEC-SE-CG-2015, la sobrecarga uniforme para cubiertas planas, inclinadas y curvas es $0.70 \frac{kN}{m^2}$ o $71.36 \frac{kg}{m^2}$

4.1.1.3 Combinación de carga.

Las combinaciones ($q_1 \wedge q_2$) que involucran carga viva (L) y muerta (P_p), según la NEC-SE-CG-2015 son:

Combinación 1:

$$q_1 = 1.4P_p$$

$$q_1 = 1.4 * 29.67 \frac{kg}{m}$$

$$q_1 = 41.538 \frac{kg}{m}$$

Combinación 2:

$$q_2 = 1.2P_p + 1.6L$$

$$q_2 = 1.2(29.67 \frac{kg}{m}) + 1.6(71.36 \frac{kg}{m^2} * 0.5m)$$

$$q_2 = 92.692 \frac{kg}{m}$$

Se continua el cálculo con la mayor carga de las combinaciones ($q_2 > q_1$)

4.1.2 Cálculo del Momento requerido (Mu).

La longitud del LPF para cubierta se la estableció en el Anexo A, la cual es: $L = 4m$

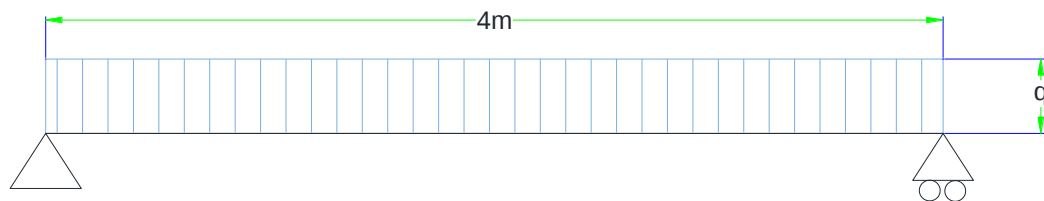


Figura 4.3: Carga distribuida sobre la LPF

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

$$Mu = \frac{qL^2}{8}$$

$$Mu = 370.768 \text{ kg m } \text{ ó } 3.372 \text{ kN} \times \text{m}$$

Para diseño de elementos a flexión el factor de amplificación de carga es ($\Phi=0.9$) [NEC_SE_HM 3.3.4] por lo tanto:

$$\frac{Mu}{\phi} = \frac{3.372}{0.9} = 4.041 \text{ kN} \times m$$

4.1.3 Cálculo del Momento de diseño (M_n).

El momento de diseño se lo determinara mediante la aplicación del método propuesto por el Prof. Olvera descrito en el Capítulo II en la sección de “método de diseño”.

El cálculo se basa en un proceso de tanteo iterativo que adopta una cantidad inicial de acero uniformemente distribuido y de ser necesario acero de refuerzo adicional hasta que cumpla con las solicitaciones de carga y parámetros mecánicos de los elementos de ferrocemento.

4.1.3.1 Características geométricas de la parábola.

Datos:

Base (b) = 48.12 cm

Altura (h) = 16.00 cm

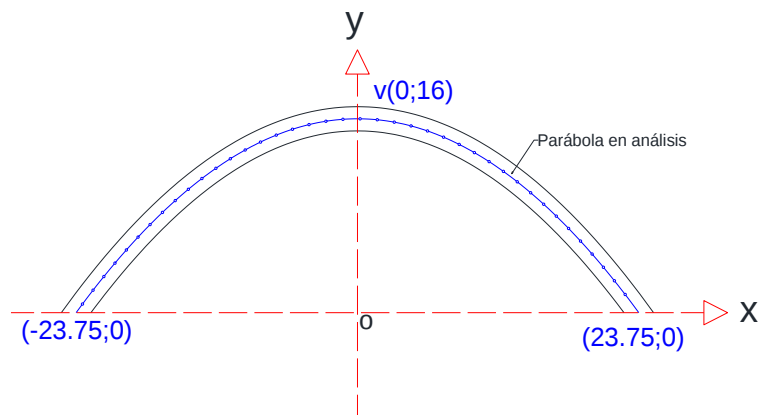


Figura 4.4: Representación de sección transversal de la LPF en un plano cartesiano.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

A partir de las coordenadas del vértice (h ; k) y de un punto en el extremo del cascarón (x ; y) se obtiene la ecuación de la parábola (4.1), de la cual se despeja la distancia focal (P)

$$(x - h)^2 = -4P(y - k) \quad (4.1)$$

$$(23.75 - 0)^2 = -4P \times (0 - 16)$$

$$P = 8.813$$

Al remplazar "P" en la ecuación (4.1), la ecuación de la parábola es:

$$y = -0.0284x^2 + 16$$

Al integrar la ecuación de la parábola se obtiene la longitud de la curva (L) en el intervalo (-23.75; 23.75)

$$L = \int_C^D \sqrt{1 + [f'(x)]^2} dx$$

$$L = \int_{-23.75}^{23.75} \sqrt{1 + [-0.0567x]^2} dx$$

$$L = 59.352cm$$

A continuación se determina la distancia (Z) al centro de gravedad del cascarón parabólico, mediante la ecuación (4.2):

$$Z = h - \frac{A_1 \bar{y}_1 - A_2 \bar{y}_2}{A_1 - A_2} \quad (4.2)$$

Dónde:

Z = Distancia del vértice al centro de gravedad

$A_{1;2}$ = Área bajo la parábola 1 y 2 respectivamente

$\bar{y}_{1;2}$ = Distancia desde el origen al centro de gravedad de cada parábola

h = Altura de la parábola en análisis.

$$Z = 16 - \frac{566.667 \times 6.8 - 447.996 \times 6}{566.667 - 447.996}$$

$$Z = 6.18 cm$$

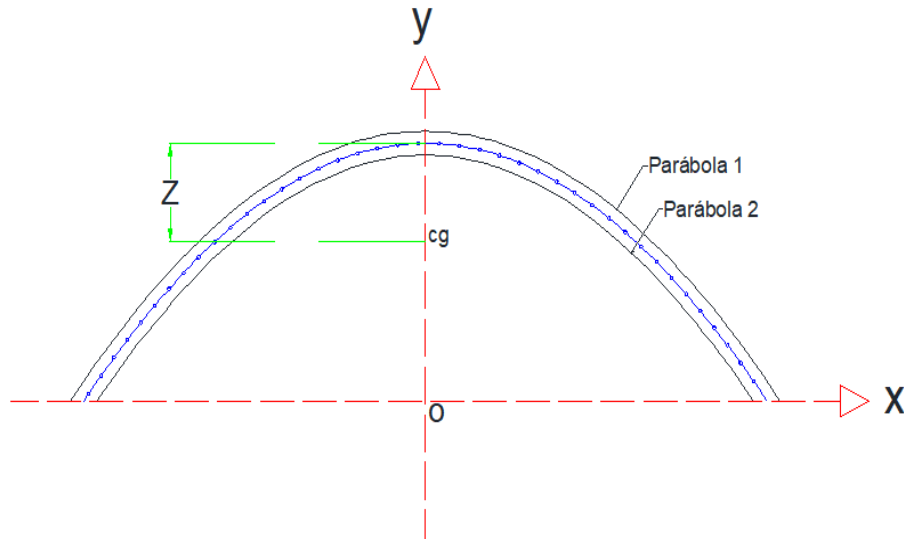


Figura 4.5: Distancia del vértice al centro de gravedad

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

4.1.3.2 Cantidad de acero:

Se adopta las recomendaciones para el diseño de losas de ferrocemento, en esta investigación se opta por una tipología de armado compuesta por 4 capas de malla hexagonal cuyas características mecánicas se presentan en la tabla 3.1:

$$\text{Área de malla hexagonal } (A_s) = 0.41 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \times 4 \text{ capas} = 1.64 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{Límite de fluencia } (f_y) = 216 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo del acero distribuido a compresión } (\sigma_s) = 200 \text{ MPa (Wainshtok D. H., 2010, pág. 184)}$$

4.1.3.3 Características de la zona a compresión.

Del diseño de mezcla propuesto en el Anexo 12.3.1 se tiene una resistencia del mortero $f'_c = 28 \text{ MPa}$.

Se obtiene la longitud de la sección transversal que trabaja a compresión (L_c), mediante la ecuación (2.4).

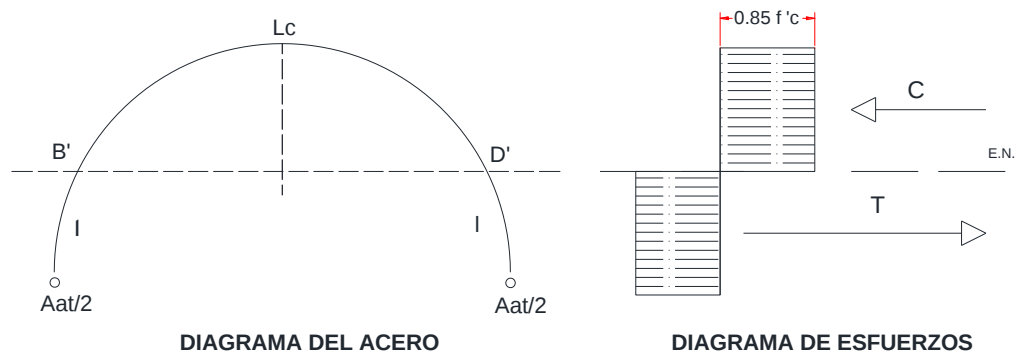


Figura 4.6: Distribución de esfuerzos según el Prof. Olvera

Fuente: Wainshtok, 2010

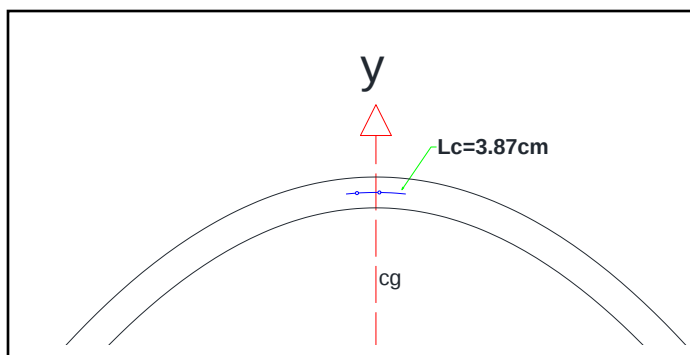
Elaboración: El autor

$$L_c = \frac{fy(AsL + A_{at}) - A_{ac}\sigma_{ac}}{As(fy + \sigma_s) + (85f'c)e}$$

$$L_c = \frac{(216 \times 1.64 \times 0.594)}{1.64(216 + 200) + (85 \times 28 \times 2)}$$

$$L_c = 0.0387m$$

A continuación se calcula la distancia al centro de gravedad de la parábola a compresión (Z_c) mediante el software AutoCAD-2015:



$$Z_c = 0.064cm$$

Figura 4.7: Longitud de acero distribuido a compresión.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Ahora solo faltaría determinar la distancia (Z_t) al centro de gravedad de la sección de arco a tracción:

$$Z_t = \frac{L_c(Z - Z_c)}{L - L_c} = \frac{3.87\text{cm}(6.180\text{cm} - 0.064\text{cm})}{59.350\text{cm} - 3.87\text{cm}} = 0.416\text{cm}$$

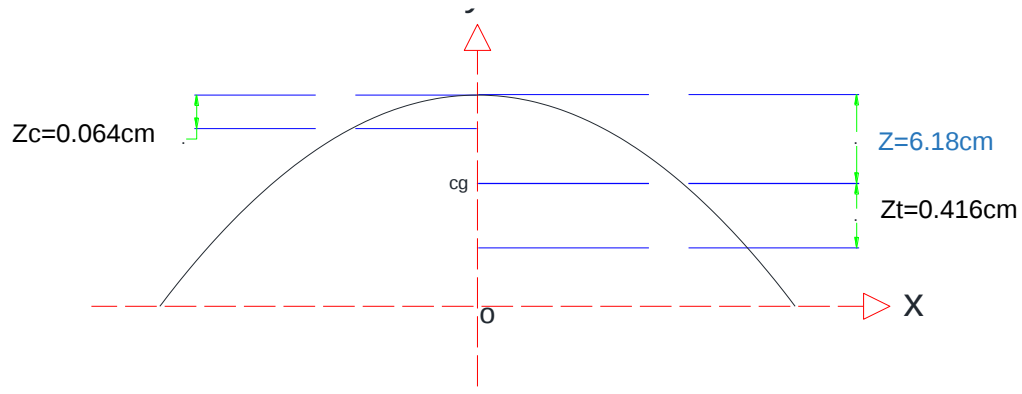


Figura 4.8: Posición del centro de gravedad de la parábola

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

4.1.3.4 Momento.

A partir de los cálculos anteriores el momento de diseño es:

$$M_n = (L - L_c)(A_s \times f_y)(Z - Z_c + Z_t)$$

$$M_n = (0.594 - 0.0387)(1.64 \times 216)(0.0618 - 0.00064 + 0.00416)/10$$

$$M_n = 1.285 \text{ kN} \times \text{m}$$

$$\frac{Mu}{\phi} > M_n \text{ --> No cumple}$$

Si el momento nominal es mayor al momento de diseño, la cantidad de acero es insuficiente por lo cual se debe adoptar acero adicional de refuerzo a tracción (A_{at}) o a compresión (A_{ac}).

En este diseño por cuestiones constructivas se optará por la inclusión de una armadura discreta (esqueleto) que trabajará como acero de refuerzo adicional a tracción.

$$\text{Momento faltante} = 4.041 \text{ kN m} - 1.285 \text{ kN m} = 2.756 \text{ kN} \times \text{m}$$

El acero de refuerzo adicional a tracción estará conformado por 2 barras con $f_y = 420MPa$ ubicadas una en cada arranque de la parábola respectivamente. El área de acero adicional sería:

$$A_{at} = \frac{\text{Momento faltante}}{(h - Z_c) \times f_y} = \frac{2.756kN \times m}{(0.16m - 0.00064m) \times 420000 \frac{kN}{m^2}} = 0.412cm^2$$

$$A_{at} \approx 0.45cm^2$$

Por lo tanto, el diámetro requerido para una barra (d) será:

$$d = \sqrt{\frac{4 \frac{A_{at}}{2}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \frac{0.45cm^2}{2}}{\pi}} = 0.535cm$$

$$d \approx 6mm$$

El área total de acero adicional a tracción: $A_{at} = 2 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) = 2 \times \frac{\pi (0.6cm)^2}{4} = 0.565cm^2$

Con estos datos se recalcula las características de la zona a compresión y tracción

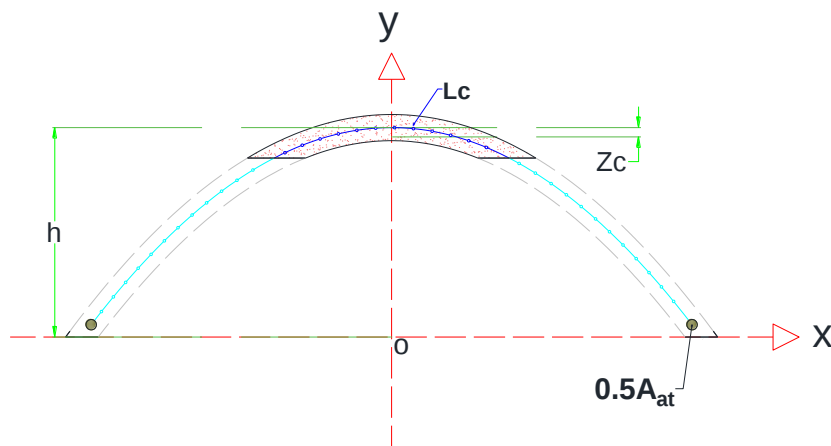


Figura 4.9: Zona que trabaja a compresión y tracción

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

$$L_c = \frac{216(1.64 \times 0.594 + 0.565)}{1.64(216 + 200) + (85 \times 28 \times 2)} = 0.0611m$$

$$Z_c = 0.159cm$$

$$Z_t = \frac{6.11cm(6.180cm - 0.159cm)}{59.40cm - 6.11cm} = 0.690cm$$

Se procede a recalcular el momento de diseño:

$$M_n = [(L - L_c)(A_s \times f_y)(Z - Z_c + Z_t)] + (A_{at} \times f_{y1})(h - Z_c - \text{recubrimiento})$$

$$M_n = (0.594 - 0.0611)(1.64 \times 216)(0.0618 - 0.00159 + 0.00690) + (0.565 \times 420)(0.16 - 0.00159 - 0.01)/10$$

$$M_n = 4.8 \text{ kN} \times m$$

$$\frac{Mu}{\phi} < M_n \rightarrow \text{Si cumple}$$

En la prelosa parabólica de ferrocemento se opta por barras de $\varnothing 8mm$ como acero adicional a tracción para cumplir con la función estructural y adicionalmente trabajar como armazón (esqueleto) de la estructura, lo que facilita la fase constructiva. Con las barras de $\varnothing 8mm$ el momento teórico que soportara la LPF es:

$$M_n = 7.4 \text{ kN} \times m$$

4.1.4 Parámetros Mecánicos.

4.1.4.1 Volumen de refuerzo y Superficie específica del LPF.

Lo siguiente es comprobar las características mecánicas de la LPF a través del volumen de refuerzo (V_{ref}) y la superficie específica (S_{esp}) mediante el uso de las ecuaciones (2.1) y (2.2).

Malla hexagonal

$$V_{ref} = \frac{25\pi D^2 n}{xye} (4L_1 + 2L_2) = \frac{25\pi 0.71^2 \times 4}{33 \times 19 \times 20} (4 \times 15 + 2 \times 10) = 1.01\% > 1\% \text{ Si cumple}$$

$$S_{esp} = \frac{\pi D n}{xye} (4L_1 + 2L_2) = \frac{\pi \times 0.71 \times 4}{33 \times 19 \times 20} (4 \times 15 + 2 \times 10) = 0.057mm^{-1} > 0.05mm^{-1} \text{ si cumple}$$

4.1.4.2 Ancho máximo de la grieta.

Para determinar el ancho de la grieta se aplica la ecuación (2.3).

Según la tabla 2.3 el módulo de Young para una malla hexagonal es: 104000 MPa.

$$\omega_{max} = \frac{3500}{104000MPa} = 0.034mm < 0.05mm \text{ Okey si cumple}$$

4.1.4.3 Módulo de elasticidad teórico del LPF.

Para el módulo de elasticidad Naaman y Shah (citados en Wainshtok, 2010) proponen la ecuación (4.3):

$$E_f = \frac{E_m \times A_m}{V_c} + \frac{E_{rl} \times A_{srl}}{V_c} + \frac{E_{al} \times A_{sal}}{V_c} \quad (4.3)$$

Donde:

E_m = Módulo de elasticidad del mortero diseñado.

E_{rl} = Módulo de elasticidad de la malla hexagonal.

E_{al} = Módulo de elasticidad de las barras de acero.

A_c = Área de la sección bruta.

A_{rl} = Área de las mallas.

A_{al} = Área de las barras de acero

V_c = Área total de la sección

Los datos de los materiales para obtener el módulo de elasticidad son:

Malla hexagonal:

$$A_{rl} = 1.64 \frac{cm^2}{m} \times 0.5935m = 0.973cm^2$$

$$E_{rl} = 104000MPa \quad [ACI 549R, \text{tabla 4.1}]$$

Barras de acero de 8mm a tracción:

$$A_{al} = 1cm^2$$

$$E_{rl} = 200000MPa$$

Mortero:

De la Tabla 12.3 del anexo 12.1.4 para la combinación h_2-e_3 se tiene que el área de la sección bruta es 118.37 cm^2

$$A_m = 118.37 - 0.973 - 1 = 116.397cm^2$$

$$E_m = 0.8 \times 4700\sqrt{f'_c} = 0.8 \times 4700\sqrt{28} = 19896MPa$$

Al remplazar en la ecuación (4.3):

$$E_f = \frac{19896 \times 116.397}{118.37} + \frac{104000 \times 0.973}{118.37} + \frac{200000 \times 1}{118.37}$$
$$E_f = 22108.86 MPa$$

4.1.4.4 Deformación máxima teórica.

La deformación producida por una carga uniformemente distribuida se determina mediante la ecuación (4.4) presentada por Wainshtok, 2010:

$$\Delta_{\max} = \frac{5qL^4}{384E_{red}I} \quad (4.4)$$

Donde:

q = Carga distribuida

L = Longitud del claro

I = Inercia de la sección

E_f = Módulo de elasticidad

Los respectivos datos para determinar la máxima flecha teórica están dados por los datos obtenidos previamente:

$$\Delta_{\max} = \frac{5 \times 9.09 \times 10^{-4} \frac{MN}{m} \times (3.85m)^4}{384 \times 22108.86 \frac{MN}{m^2} \times 3.127 \times 10^{-5} m^4} = 3.76 \times 10^{-3} m$$

$$\Delta_{\max} = 3.76 mm < 0.83 cm \text{ [ACI318, tabla 9.5b] si cumple}$$

4.1.5 Modelación estática de la prelosa prefabricada de ferrocemento (LPF).

La LPF fue modelada en el software especializado en simulación 3D, el Autodesk Inventor, se eligió este programa por las características que brinda, especialmente la creación de nuevos materiales además de la facilidad para modelar la sección transversal parabólica.

Creación del nuevo material.

Para comenzar con la modelación se tiene que crear un nuevo proyecto y se selecciona el sistema métrico, el nuevo proyecto será archivo tipo “ipt” para crear piezas en 2D y 3D.

Identidad

Aspecto

Físico

Nombre Ferrocemento f'c28Mpa

Información descriptiva

Descripción Hormigón prefabricado

Tipo Hormigón

Comentarios

Palabras clave Ferrocemento para LPF

Información del producto

Fabricante

Modelo

Coste

URL

Información de anotación de Revit

Nota clave

Marca

Identidad

Aspecto

Físico

▼ Información

Nombre Ferrocemento fc28Mpa

Descripción Compresion 28Mpa

Palabras clave estructural,ferrocemento

Tipo Hormigón

Subclase Estándar

Origen

URL de origen

▼ Térmico básico

Conductividad térmica 1.599E+00 Con (m · k)

Calor específico 0.800 J/ (G · ° C)

Coefficiente...ión térmica 10.000 µm/(m·°C)

▼ Mecánico

Comportamiento Isótropo

Módulo de Young 22.108 GPa

Coefficiente de Poisson 0.02

Módulo cortante 8843.544 MPa

Densidad 2.407 g/cm³

▼ Hormigón

Compresió... hormigón 28.000 MPa

Modificació...zo cortante 1.00

☐ Ligero

Límite de elasticidad 10.060 MPa

Resistencia ...a tracción 1.060 MPa

Figura 4.10: Ingreso de las propiedades físico-mecánicas del ferrocemento diseñado
Fuente: Autodesk Inventor 2018
Elaboración: El autor

Las características mecánicas del ferrocemento diseñado se las obtiene de los cálculos de la sección 4.1.4 y se las ingresa al programa, en la Figura 4.10 presenta las características del nuevo material.

Creación de elemento prefabricado de ferrocemento.

Una de las ventajas del programa es su facilidad para dibujar y crear elementos 3D. Para elaborar la prelosa de ferrocemento se comienza por establecer un nuevo boceto, se ingresa la ecuación de la parábola determinada en la sección 4.1.3.1 y se definen sus dimensiones, luego con el comando “extruir” se obtiene la forma 3D de elemento.

44

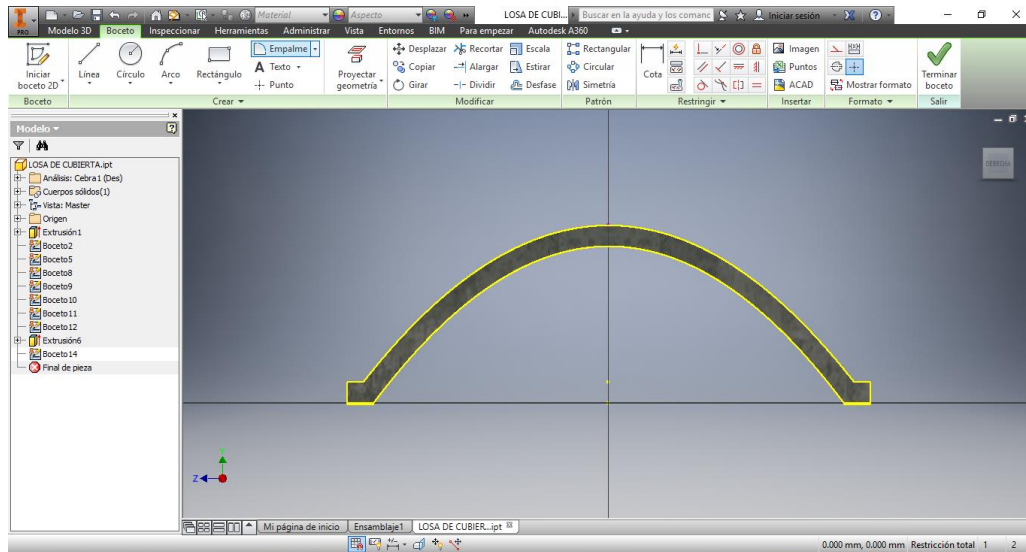


Figura 4.11: Boceto de la sección transversal de la LPF

Fuente: Autodesk Inventor 2018

Elaboración: El autor

Previo al análisis de tensión: se asigna el material creado anteriormente al nuevo elemento, se ingresa la carga obtenida en la sección 4.1.1.3, se coloca a $L/3$ y $2L/3$ respectivamente. Se definen los apoyos de longitud a 75mm de cada extremo [ACI-318, 16.6.2.2]. La fig. 4.12 muestra resultados de la simulación de tensión y en la figura 4.13 se muestra la deformación producida en la LPF.

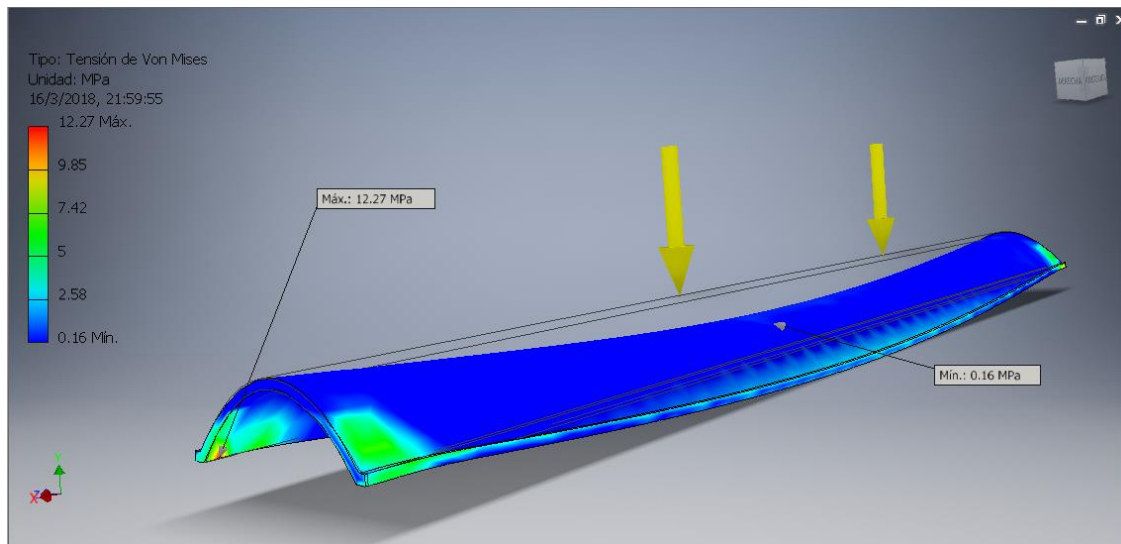


Figura 4.12: Simulación de tensión de la LPF

Fuente: Autodesk Inventor 2018

Elaboración: El autor

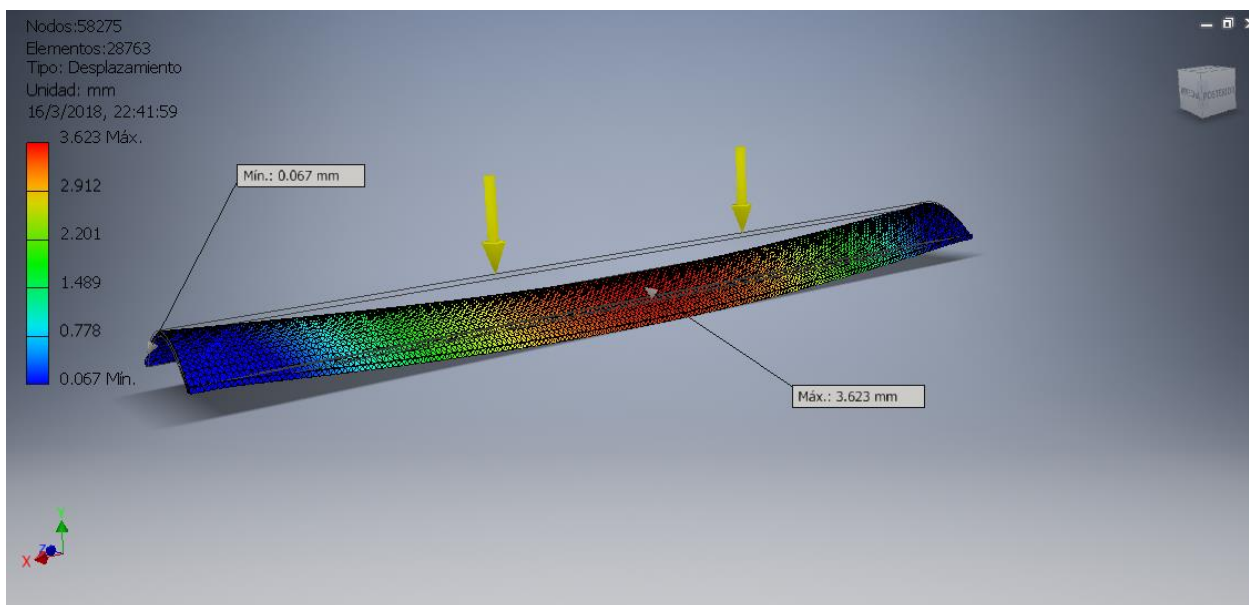


Figura 4.13: Simulación de la deformación de la LPF

Fuente: Autodesk Inventor 2018

Elaboración: El autor

De la modelación de la LPF en el software Inventor, estáticamente se obtuvo el esfuerzo máximo en la zona del apoyo con 12.27 MPa, y deformación máxima en el centro de la LPF de 3.6mm, valores que son satisfactorios al tener en cuenta que la resistencia por aplastamiento en los apoyos de concreto es de $0.85 f'_c$ [ACI 318, 10.4] es decir 23.8 MPa y la deformación máxima permitida es de 8.33mm en el punto L/2.

4.1.6 Costo de producción de la LPF diseñada.

Se realizó el respectivo análisis de precios unitarios de los elementos que intervienen en la fabricación de LPF diseñada en la sección 4.1. Según el Ingeniero Sergio Marrero (1996), la producción de elementos de ferrocemento en una micro planta de 400m² con un equipamiento mecánico compuesto por una máquina con vibrador de inmersión suspendido además de un juego de moldes y la fuerza laboral de 6 obreros, es de aproximadamente 60m² diarios de prefabricados. A partir de esta producción se puede estimar los rendimientos presentados en la Tabla 4.1. El costo hora de los trabajadores se obtuvo en base al salario básico y regalías de Ley vigentes para el 2018. Los precios unitarios de los materiales, son calculados en base costo comercial vigente en la provincia de Loja para el 2018, la Tabla 4.1 muestran rubros y precios unitarios para un metro cuadrado de prelosa modular. Cada módulo de prelosa consta de 2m², se sabe que el costo directo por metro cuadrado es 14.85 usd, el precio de cada módulo prefabricado sería de 29.70 usd.

Tabla 4.1: Análisis de precios unitarios para 1 m² de prelosa prefabricada de ferrocemento.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
	RUBRO (#):	1			UNIDAD	m ²
	Detalle de APU:		Prelosa modular prefabricada de ferrocemento			
				Rendimiento Unidad/Hora		7.5
1. EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN						
Cód.	Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
1	Herramienta menor(5% mano de obra)		5% M.O.			0.14
3	Concretara	1	3.10	3.10	7.50	0.41
4	Vibrador	1	2.45	2.45	7.5	0.33
					Subtotal 1	0.88
2. MANO DE OBRA REQUERIDA						
Cód.	Descripción	Cantidad	Jornal (hr)	Costo hora	Rendimiento	Costo
1	Peón	4	3.55	14.20	7.50	1.89
2	Albañil	2	3.51	7.02	7.50	0.94
					Subtotal 2	2.83
3. MATERIALES REQUERIDOS						
Cód.	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo	
5	Malla hexagonal(3/4)	m ²	4.80	1.56	7.47	
8	Varilla de 8mm	m	4.00	0.29	1.15	
2	Cemento	kg	15.19	0.14	2.13	
1	Arena	m ³	0.02	18.00	0.36	
0	Agua	m ³	0.01	0.48	0.00	
9	Encofrado (Molde de hormigón)	m ²	1	0.021	0.021	
					Subtotal 3	11.14
			Total costo directo		(1+2+3)	14.85
			Costo total del rubro(usd)			14.85
			VALOR FINAL (usd)			14.85

Fuente: El autor
Elaboración: El autor

4.2 Diseño estructural del entrepiso

Del análisis paramétrico del Anexo A, se ha determinado que la sección más eficiente en términos de economía y serviciabilidad es la losa de forma parabólica. Para la solución del entrepiso se vio conveniente el diseño de una losa unidireccional compuesta por los módulos parabólicos de ferrocemento mas una carpeta colaborante para soportar la carga y cumplir con los requerimientos de la normativa. En la Figura 4.14 se muestra la conformación del entrepiso.

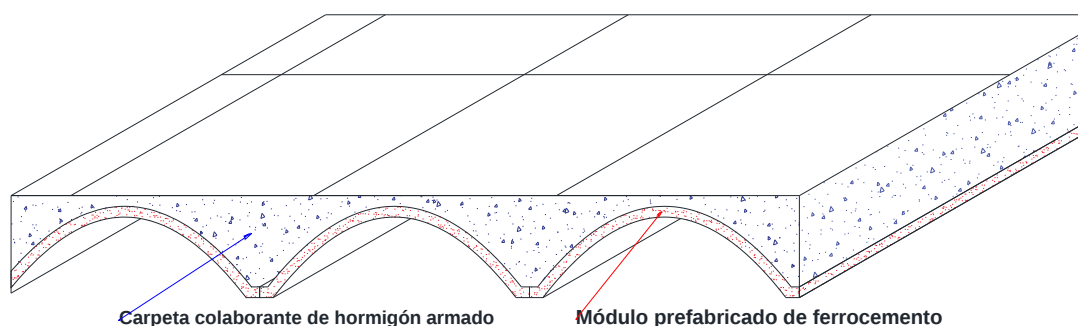


Figura 4.14: Losa de entrepiso.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

4.2.1 Cargas de Diseño.

Para la LPF de entrepiso se utilizarán las combinaciones y cargas regularizadas en la norma NEC-SE-CG-2015 “cargas no sísmicas” del Ecuador.

4.2.1.1 Carga Permanente (C_m).

Está constituida por el peso propio de la losa parabólica más el peso de la vigueta adicionalmente se considera el peso del contrapiso que para este caso se asume de hormigón. El peso lineal de la prelosa de sección parabólica es de $29.67 \frac{kg}{m}$, de la vigueta es $98 \frac{kg}{m}$ y según la NEC-SE-CG-2015 para “contrapiso con 1cm de mortero” es $0.22 \frac{kN}{m^2}$ o $11.21 \frac{kg}{m}$, por lo tanto la carga permanente por cada LPF será igual a:

$$C_m = 29.67 + 98 + 11.21 = 138.882 \frac{kg}{m}$$

4.2.1.2 Carga viva.

La carga viva para viviendas según la NEC-SE-CG-2015 es $2 \frac{kN}{m^2}$, o $101.94 \frac{kg}{m^2}$,

4.2.1.3 Combinación de carga.

Las combinaciones ($q_1 \wedge q_2$) que involucran carga viva (L) y muerta (Pp), según la NEC-SE-CG-2015 son:

Combinación 1:

$$q_1 = 1.4Cm$$

$$q_1 = 1.4 \times 138.882 \frac{kg}{m}$$

$$q_1 = 194.435 \frac{kg}{m}$$

Combinación 2:

$$q_2 = 1.2Cm + 1.6L$$

$$q_2 = 1.2(138.882 \frac{kg}{m}) + 1.6(101.940 \frac{kg}{m^2})$$

$$q_2 = 329.762 \frac{kg}{m}$$

Se continua el cálculo con la mayor de las combinaciones ($q_2 > q_1$)

4.2.2 Obtención del Momento requerido (M_u).

La longitud del entrepiso es la longitud de los módulos de ferrocemento (4m).

$$Mu = \frac{qL^2}{8} = \frac{329.762 \times 4^2}{8} = 659.524 \text{ kg m ó } 6.470 \text{ kN m}$$

Las losas parabólicas de ferrocemento trabajarán en conjunto con las viguetas para soportar las cargas tal y como se lo muestra en la Figura 4.15

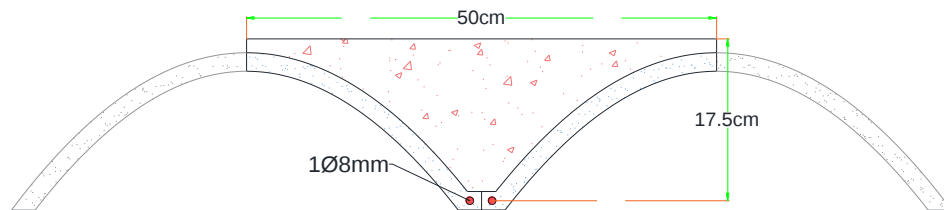


Figura 4.15: Sección compuesta del entrepiso

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Las losas modulares de ferrocemento diseñadas en la sección anterior soportan el momento útil de 7.4 kNm , momento que es mayor al solicitado para el entrepiso, por lo cual se colocará solo el acero correspondiente a la cuantía mínima requerida.

El requerimiento de acero mínimo ($A_{s_{min}}$) se lo determina mediante las ecuaciones (4.5) y (4.6) adaptadas de la norma (NEC-SE-HM, 4.2.5) a la forma geométrica de la presente viga, se escoge el mayor valor entre los dos:

$$A_{s_{min}} = \frac{1.4 \times A_c}{f_y} \quad (4.5)$$

$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times A_c \quad (4.6)$$

Donde:

A_c = Área transversal de la viga

f_y = Límite de fluencia

f'_c = Resistencia a compresión simple

Para este caso:

El área trasversal de la viga se la determino en AutoCAD: $A_c = 35151.25 \text{ mm}^2$

$$A_{s_{min}} = \frac{1.4 \times A_c}{f_y}$$

$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \times f_y} \times A_c$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1.4 \times 35151.25 \text{ mm}^2}{420 \text{ Mpa}}$$

$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{28 \text{ Mpa}}}{4 \times 420 \text{ Mpa}} \times 35151.25 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{min}} = 117.171 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{min}} = 110.716 \text{ mm}^2$$

Se escoge el primer resultado $A_{s_{min}} = 117.171 \text{ mm}^2$

Se escoge la varilla o el paquete de varillas que aporten con un área de acero igual o mayor que la calculada, para este caso se adopta una varilla de $\emptyset 14 \text{ mm}$, por lo tanto, la nueva área de acero es: $A_s = 153.938 \text{ mm}^2$

La cuantía de acero (ρ) sería:

$$\rho = \frac{A_s}{A_c} \quad (4.7)$$

$$\rho = \frac{153.938mm^2}{35151.25mm^2} = 0.00438$$

Lo siguiente es calcular la cuantía máxima permisible (ρ_{max}) para zonas sísmicas mediante la ecuación (4.8):

$$\rho_b = 0.85 \times \beta_1 \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{0.003}{\frac{f_y}{E_s} + 0.003} \quad (4.8)$$

$$\rho_b = 0.85 \times 0.85 \times \frac{28MPa}{420MPa} \times \frac{0.003}{\frac{420MPa}{200055.66MPa} + 0.003}$$

$$\beta_1 = 0.85 \text{ [NEC-SE-HM, 4.1]}$$

$$E_s = 200055.66 \text{ MPa}$$

$$\rho_b = 0.02834$$

$$\rho_{max} = 0.5 \times \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0.5 \times 0.02834 = 0.0142$$

$$\rho < \rho_{max} \quad \text{Si cumple}$$

La cuantía de refuerzo por retracción y temperatura es:

$$\rho_{temp} = 0.0018 \quad [\text{ACI 7.12.2.1}]$$

$$A_{s_{temp}} = 0.0018 \times 2(35151.25mm^2/m)$$

$$A_{s_{temp}} = 126.545mm^2/m$$

Para cumplir con la sollicitación de acero secundario ($A_{s_{temp}}$), se escoge la electro-malla de 4mm-10cmx10cm la cual contiene un $A_s = 125.67 \text{ mm}^2/m$

4.2.2.1 Deformación máxima teórica del prototipo a ensayar.

La inercia se la obtuvo del software AutoCAD para la sección compuesta por dos LPF y la carpeta colaborante (viga).

Para determinar el módulo de elasticidad (E_v) se usa la ecuación (4.3) :

$$E_v = \frac{19896 \text{MPa} \times 357.416 \text{cm}^2}{595.695 \text{cm}^2} + \frac{22108.86 \text{MPa} \times 2(118.37 \text{cm}^2)}{595.695 \text{cm}^2} + \frac{200000 \text{MPa} \times 1.539 \text{cm}^2}{595.695 \text{cm}^2}$$

$$E_v = 21292.138 \text{ MPa}$$

Y para la deformación se aplica la ecuación (4.4)

$$I = 13708 \text{cm}^4$$

$$L = 3.85 \text{ m}$$

$$q = 329.762 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$\Delta_{max} = \frac{5 \times 3.235 \times 10^{-3} \frac{\text{MN}}{\text{m}} \times (3.85 \text{m})^4}{384 \times 21292.138 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \times 1.371 \times 10^{-4} \text{m}^4} = 2.72 \times 10^{-3} \text{m}$$

$$\Delta_{max} = 3.17 \text{ mm} < 0.83 \text{cm} [\text{ACI318, tabla 9.5b}]$$

La fig. 4.16 muestra el armado de la sección de entrepiso diseñada:

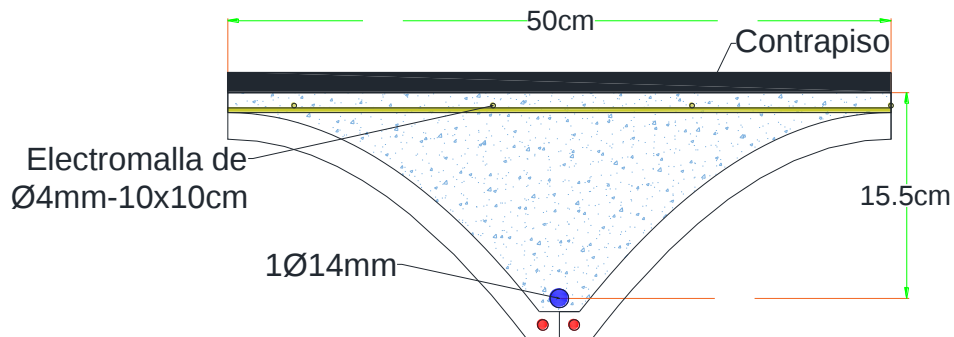


Figura 4.16: Armado del acero para el entrepiso

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

4.2.3 Modelación y análisis estático de la viga de entrepiso.

La ACI-318 en su sección 16.10.1 para la evaluación de la resistencia de estructuras compuestas por prefabricados, “permite que un elemento prefabricado que se transforma en uno compuesto mediante concreto colado en sitio, sea ensayado como un elemento prefabricado aislado a flexión”

Mediante el software Autodesk Inventor, se ha ensamblado las prelosas de ferrocemento junto con la carpeta colaborante de concreto reforzado, se asume que estructuralmente trabajarán como elemento homogéneo, sobre la carpeta colaborante se le agregó la carga distribuida en el tercio medio para simular el ensayo de flexión experimental.

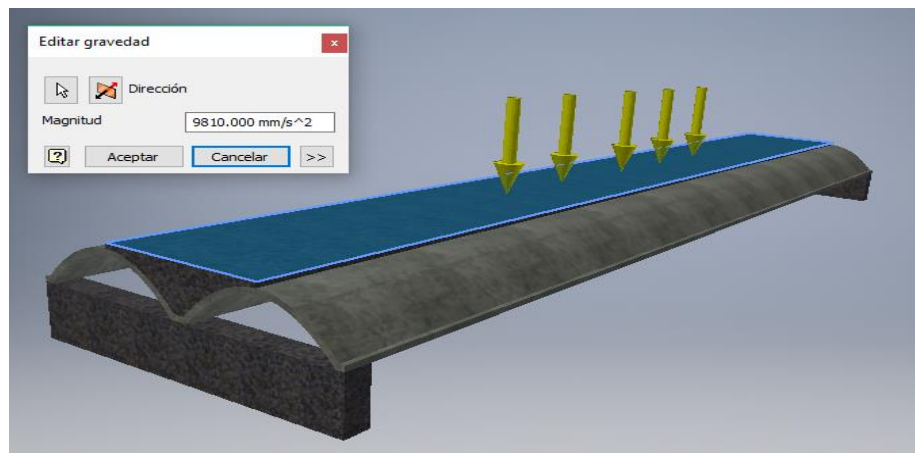


Figura 4.17: Análisis estático

Fuente: Autodesk Inventor 2018

Elaboración: El autor

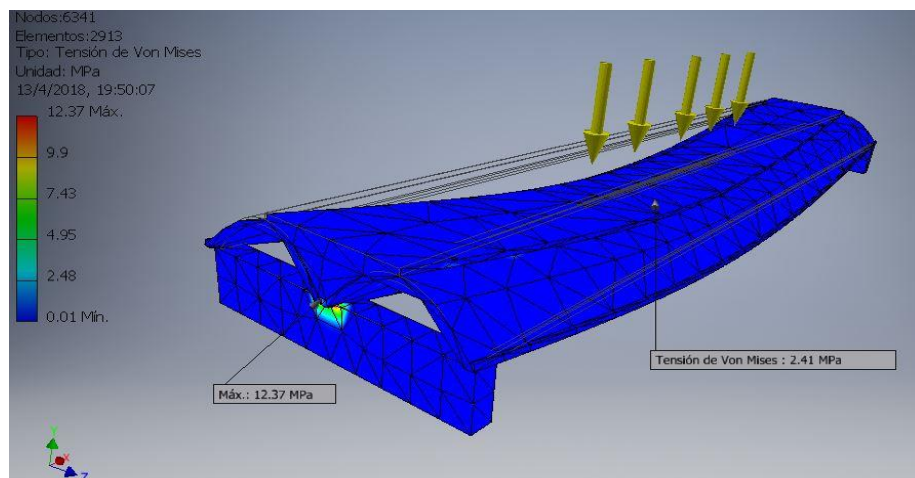


Figura 4.18: Análisis de tensión del entrepiso

Fuente: Autodesk Inventor 2018

Elaboración: El autor

Del análisis de tensión mostrado en la fig 4.18, se determina que la tensión máxima que soportará la viga de concreto es de 2.41MPa , se sabe que el momento (M) es igual a la tensión máxima multiplicada por el módulo de la sección transversal, el módulo de sección (Anexo F) para este caso es $5.3037 \times 10^{-8} \text{m}^3$, el momento que producirá la tensión mencionada es 0.127 N.m .

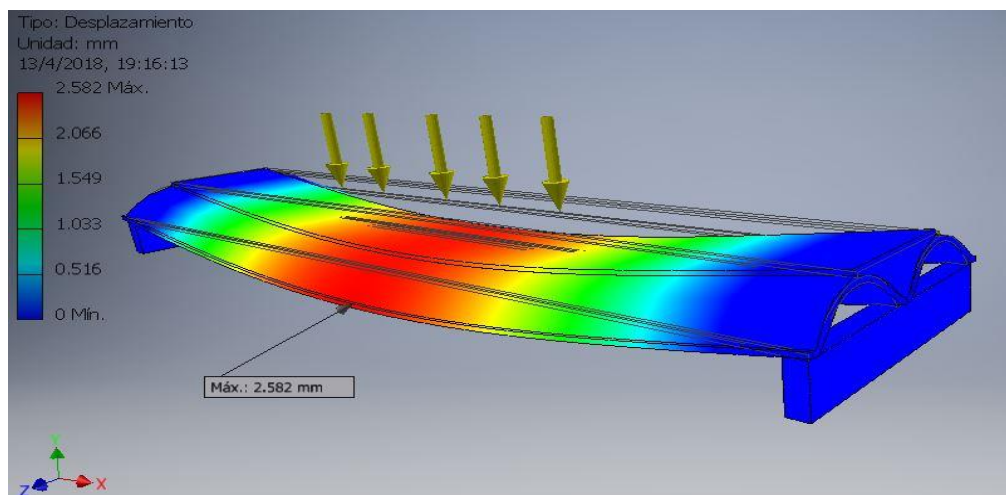


Figura 4.19: Deformación producida en el entrepiso.

Fuente: Autodesk Inventor 2018

Elaboración: El autor

La fig. 4.19 muestra la deformación máxima que se produce por acción de cargas cuyo valor es 2.582 mm , valor que es menor a 8.33 mm (deformación máxima permitida).

CAPÍTULO V: FABRICACIÓN DE PROTOTIPOS

Se describe el proceso de fabricación de los prototipos de losa diseñados en el capítulo anterior.

5.1 Prelosa modular prefabricada de ferrocemento (LPF)

5.1.1 Elaboración del molde.

Se elabora un sistema de molde abierto construido de hormigón simple para garantizar la forma geométrica transversal (parabólica) de la losa modular y poder facilitar el proceso de construcción y curado. La sección parabólica del molde es de madera previamente recortado con láser. En la Figura 5.1 se muestra el proceso de construcción y el acabado final del molde.



Figura 5.1: Conformación del molde parabólico de hormigón simple.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

5.1.2 Preparación de la armadura de refuerzo.

La armadura requiere de un paso necesario dado que afecta directamente en la exactitud de las dimensiones. Se verifica el buen estado del material y libre de cuerpos extraños. Se procede a formar la armadura de refuerzo compuesta por una serie de mallas y varillas ubicadas y distribuidas según el diseño del capítulo 4.1. El diseño requiere de varias capas de mallas, estas fueron agrupadas en forma de paquete y fijadas a las varillas mediante alambre de amarre, con la finalidad de evitar el abultamiento de las mismas.

5.1.3 Preparación y colado del mortero.

La preparación y colado del mortero se realiza en obra a las 6.30am con la finalidad de evitar la luz directa del sol y poder evitar la evaporación rápida del agua. Se utiliza una mezcladora mecánica de 1/3 de saco la cual fue examinada bajo los criterios de la (NEC-SE-HM, 9.3.4), tres

recipientes de volumen conocido además de equipo manual de albañilería. El proceso de mezclado comienza por saturar la superficie de la mezcladora para que no modifique la relación agua/cemento del diseño, luego se coloca agua en el tambor seguida de la arena y el material cementante, se mezcla durante 90 segundos, después se realizó una pausa para evaluar la apariencia física de la mezcla, se mezcla por otros 30 segundos más.



Figura 5.2: Armado de las mallas y acero de refuerzo.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

El molde se cubre con lámina plástica para separar el mortero de la superficie del mismo, luego se empieza a colocar una pequeña capa de 1cm de espesor, se coloca el paquete de mallas y se fija con pequeños golpes dados con martillo de goma, por último se coloca la última capa de mortero y se verifica en todo momento el espesor de la losa con un escantillón, este proceso se puede observar de manera secuencial en la Figura 5.3.

Como paso final se procedió con el proceso de curado descrito en el código ACI 308R “*Prácticas para el curado del hormigón*”. El proceso consiste en cubrir las losas con mantas húmedas a las cuales se las regó con agua por 28 días. En la Figura 5.4 y muestra una representación gráfica del proceso.



Figura 5.3: Proceso de colado del mortero.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 5.4: Curado de las Losas prefabricadas de ferrocemento (LPF)

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

5.2 Losa de Entrepiso

Se comienza por juntar dos LPF, luego se coloca el acero de refuerzo y acero por temperatura, después se delimita el perímetro con encofrado de madera tal como se muestra en la figura 5.5.



Figura 5.5: Armado del prototipo de entrepiso.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Se humedece la superficie con agua para evitar que se modifique la relación agua/cemento de la mezcla de hormigón, el proceso de colado del hormigón es el mismo de la sección 5.1.3 con la diferencia que se añade al agua un porcentaje de aditivo acelerante para someter al prototipo a ensayos en los siguientes 15 días. La figura 5.6 se muestra el colado de la mezcla y el acabado final de la superficie, el curado del prototipo se lo realiza conforme a la sección 5.1.3.



Figura 5.6: Colado del hormigón.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CAPÍTULO VI: ENSAYOS DE ACEPTACIÓN

6.1 Prelosa modular prefabricada de ferrocemento (LPF)

6.1.1 Ensayo de compresión simple.

Para determinar la resistencia a la compresión simple del mortero y verificar con el diseño del anexo 12.3 de acuerdo con NTE INEN 488:2009. Se elaboran cubos de micro-hormigón con una sección de 26.01cm^2 , elaborados el 14/02/2018 y ensayados el 15/03/2018 los resultados se muestran en la Tabla 6.1 y en la fig. 6.1, fig. 6.2 y fig. 6.3

Tabla 6.1: Resistencia del mortero a los 28 días

CUBO	Carga (kN)	Resistencia (MPa)
A1	78.70	30.26
A2	76.50	29.41
A3	64.60	24.84
B1	80.40	30.91
B2	82.81	31.84
B3	80.20	30.84

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 6.1: Muestras de mortero (cubos de 26.01cm^2)

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 6.2: Estimación de la resistencia a la compresión del mortero.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 6.3: Cubos de mortero luego de ser probados.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

6.1.2 Ensayo de flexión.

El ensayo evalúa el comportamiento de la LPF, y la deformación generada por acción de la carga aplicada, el proceso se realiza según el ACI 318 y la norma NSR-98. El objetivo fue verificar que la LPF cumpla con los requerimientos de diseño presentados en el capítulo 4. Se opta este método por razones obvias para la realización de la presente investigación. Los materiales utilizados son: una balanza de 100 kg con 0.02kg de precisión, 2 deformímetros con una precisión de 0.01", sacos rellenos de arena con peso de 50 kg y 25 kg. Se comienza por preparar la LPF; se mide la distancia de los apoyos: la cual es 7.5 cm [ACI 318, 16.6.2.2], luego se coloca dos deformímetros uno en centro y otro en el arranque o alma de la parábola, esto se puede apreciar en la Figura 6.4.



Figura 6.4: Preparación de la LPF previo a comenzar el ensayo de flexión

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

La carga de ensayo según la NRS-98, es de 350 kg, se coloca en 7 incrementos de 50 kg, cada incremento se realiza a intervalo de 2 minutos, la carga se ubica de manera distribuida en el tercio medio de la longitud.



Figura 6.5: Carga distribuida sobre la LPF

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Las verificaciones de posibles fallas y mediciones de la deformación se realizan luego de cada incremento, los resultados se muestran en la Tabla 6.2 y Figura 6.6.

Tabla 6.2: Carga y deformación de la LPF

Tiempo (min)	Carga(kg)	Deformación (mm)	
		Centro	Arranque
0	50	0.74	0.81
2	100	1.65	1.70
4	150	2.54	2.46
6	200	3.35	3.20
8	250	4.32	4.17
10	300	5.21	4.83
12	350	6.73	6.35
20	350	7.37	6.93
30	350	7.72	7.19
60	350	8.56	7.92
75	350	8.76	8.03
120	350	8.76	8.03

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

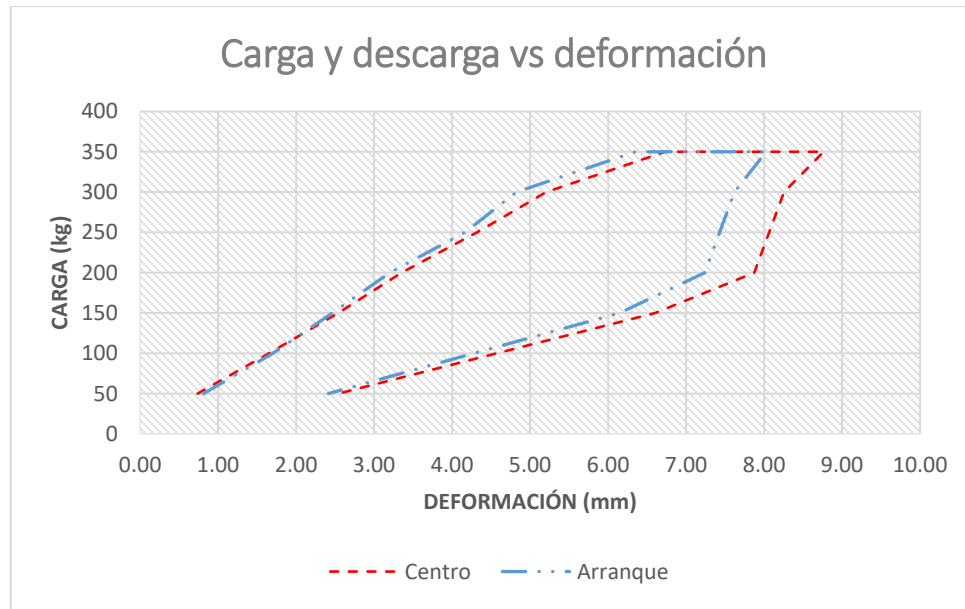


Figura 6.6: Carga y descarga vs deformación

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

6.1.3 Ensayo de permeabilidad.

Se coloca la LPF, de manera que una de sus caras se constituya como el fondo del recipiente, se llena de agua y transcurrido 24 horas se examina la cara opuesta para verificar presencia de humedad o goteo. Para simular las condiciones de trabajo de la LPF se usa la LPF utilizada en el ensayo de flexión. El ensayo fue realizado el día 14/03/2018 y el 15/03/2018 se verificó que no existe humedad ni goteo en la cara opuesta de la LPF.



Figura 6.7: Ensayo de impermeabilidad.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

6.2 Prototipo de losa de entrepiso

6.2.1 Ensayo de compresión.

Los cilindros se elaboran conforme la NET INEN 3124:2016, el ensayo de compresión simple se realiza a 15 días de edad del hormigón, mediante la norma ASTM C 36-86.

Tabla 6.3: Ensayo de compresión simple del concreto con 15 días de edad

Cilindro	Carga (kN)	Resistencia (MPa)	%
1	218.00	27.21	97.18
2	225.40	27.99	99.98
3	219.60	26.98	96.36

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 6.8: Ensayo de compresión simple del concreto (15 días).

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

6.2.2 Ensayo de flexión.

Con 15 días de curado de la carpeta colaborante (viga) se procede a realizar el ensayo de flexión: se coloca los deformímetros en cada LPF en el punto $L/2$, el ensamblaje de los deformímetros se aprecia en la fig. 6.11, luego se agregan incrementos de carga de 150 kg en un intervalo de 5 minutos, después de cada incremento se registra los cambios en la deformación e inspección visual de fisuras, la carga se la sitúa en el tercio medio de la viga hasta la aparición de fisuras. La Tabla 6.4 muestra los incrementos de carga y la deformación producida por la misma, al séptimo incremento de carga se visualizó fisuras en una prelosa de ferrocemento y al octavo incremento de carga se registraron fisuras en la segunda LPF, en la fig. 6.9 se observa la curva esfuerzo-deformación.

Tabla 6.4: Carga y deformación del prototipo de entrepiso

Orden	Tiempo (min)	Carga(kg)	Deformación en mm	
			(LPF) ₁	(LPF) ₂
1	0	150	0.36	0.38
2	5	300	0.89	0.91
3	10	450	1.40	1.42
4	15	600	1.91	1.93
5	20	750	2.54	2.57
6	25	900	3.15	3.18
7	30	1050	3.86	3.91
8	35	1200	4.70	4.75
9	40	1350	5.84	5.72
10	45	1500	6.99	7.06
11	50	1650	7.90	8.00
12	55	1800	9.02	9.07
12	85	1800	9.14	9.25
12	145	1800	9.40	9.53
12	1225	1800	10.41	10.54
12	4105	1800	13.89	14.07

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

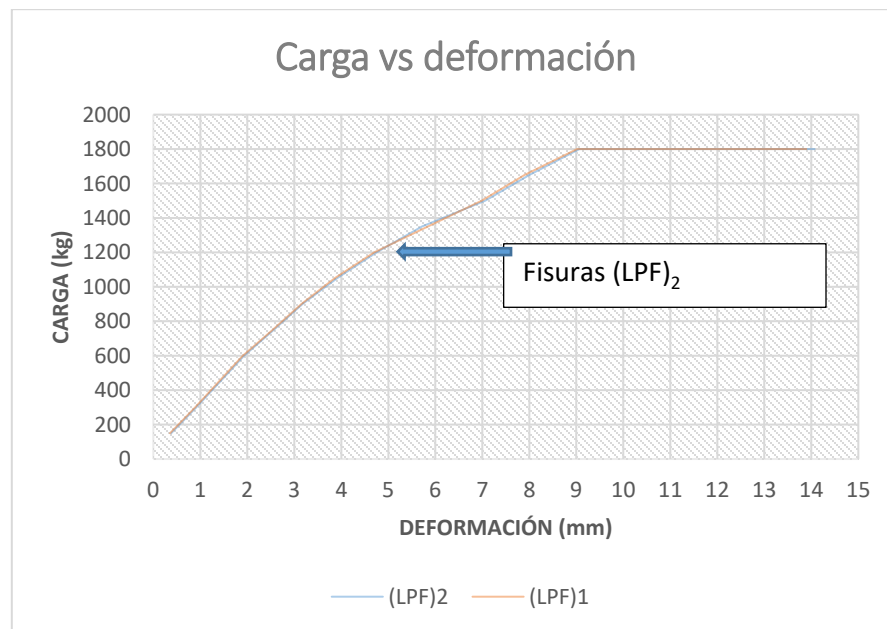


Figura 6.9: Curva carga-deformación del prototipo de entrepiso.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 6.10: Prototipo de entrepiso.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 6.11: Deformímetros.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor



Figura 6.12: Prototipo de entrepiso (ensayo de flexión).

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

CAPÍTULO VII: DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS DE CUBIERTA Y ENTREPISO DISEÑADOS

El análisis está basado en costos de materiales, equipos y mano de obra vigentes para el 2018 en Ecuador.

7.1 Costo por m² de cubierta diseñada mediante la técnica del ferrocemento y la prefabricación modular

En la sección 4.1.6 se determinó el costo directo de una prelosa de ferrocemento (29.70 usd.). La cubierta estará compuesta por la unión de las prelosas de ferrocemento, la unión se la efectuará mediante una junta armada de mortero de 28 MPa.

La LPF está diseñada para ser transportada y colocada en obra por 4 personas, ante ello para el análisis de precios unitarios presentado en la Tabla 7.1 se asume una mano de obra compuesta por 3 Peones y un Albañil. Para los rendimientos se toma en cuenta la experiencia obtenida al construir y ensayar la LPF. Se asume que tomará aprox. 15 minutos colocar una LPF en sitio, por ende colocar 8 LPF tomará 2 horas y sellar las juntas una hora más, lo que da como resultado un rendimiento de 0.18 H/m²

Tabla 7.1: Análisis de precios unitarios para 1 m² de cubierta mediante el uso de la técnica del ferrocemento y prefabricación modular.

1. MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Prelosa (Secc. Parab.) de ferrocemento	m ²	1	14.85	14.85
Mortero (28Mpa) Para sellar juntas entre losas de ferrocemento	m ³	0.00127	106	0.14
Total Materiales				14.99
2. MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Peón	Hora	0.54	3.51	1.90
Albañil	Hora	0.18	3.55	0.64
Total Mano de obra				2.53
3. Equipos				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total
Herramienta menor			5%	0.13
Total Equipos				0.13
TOTAL COSTO DIRECTO (usd.)				20.18

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

El costo por m² de la cubierta de LPF es 20.18 usd

7.2 Costo por m² de entrepiso

La losa de entrepiso está compuesta por prelosas de ferrocemento y carpeta colaborante (vigas coladas en situ), en la tabla 7.2 se muestra equipos, mano de obra, materiales, cantidad y precio unitario para de obtener el precio por metro cuadrado de entrepiso. Para el entrepiso se propone el uso de hormigón premezclado (28Mpa) cuyo precio para la ciudad de Loja está fijado en 106 usd. por metro cúbico, este valor se ha obtenido de la empresa “Hormi-Loja”. Para calcular el costo por metro cuadrado de entrepiso se adoptaron los rendimientos recomendados por la web de CYPE Ingenieros.

Tabla 7.2: Análisis de precios unitarios para un metro cuadrado de entrepiso

	RUBRO:	2		UNIDAD	m ²
	DETALLE		Entrepiso		
			RENDIMIENTO U/H		17.93
1.EQUIPOS Y MAQUINARIA					
Cód.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO COSTO
1	Herramienta menor(5% mano de obra)		5% M.O.		0.05
4	Vibrador	1	2.45	2.45	17.93 0.14
					SUBTOTAL M 0.19
2.MANO DE OBRA					
Cód.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL (H)	COSTO HORA	RENDIMIENTO COSTO
1	Peón	2	3.55	7.10	17.93 0.40
2	Albañil	1	3.51	3.51	17.93 0.20
3	Fierrero	1	3.55	3.55	17.93 0.20
4	Residente de obra	1	3.95	3.95	17.93 0.22
5					
6					SUBTOTAL N 1.02
3.MATERIALES					
Cód.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
12	Prelosa de ferrocemento	m ²	1.00	14.85	14.85
10	Varilla de 14mm	m	2.00	1.46	2.92
11	Malla electro-soldada de 4mm 10X10 cm	m ²	1.00	2.5	2.5
2	Hormigón f'c 28 MPa	m ³	0.07	106.00	7.49
				SUBTOTAL O	27.76
TOTAL COSTO DIRECTO (USD)				(1+2+3)	28.97

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Análisis paramétrico

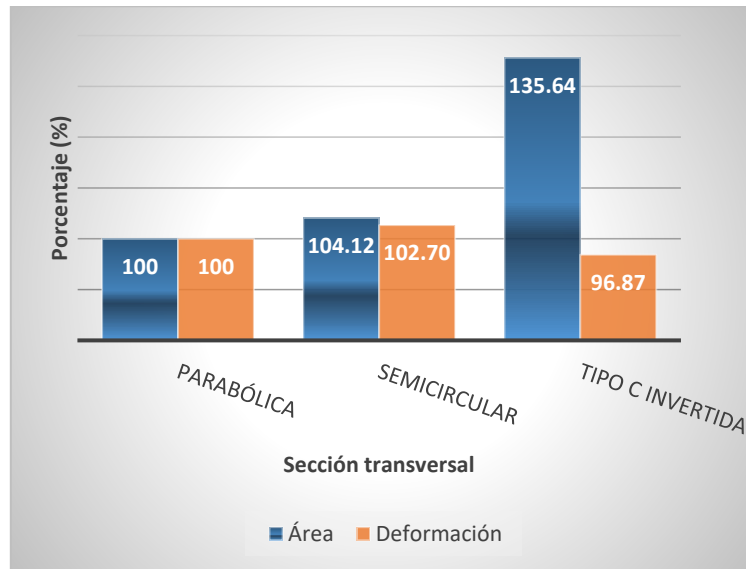


Figura 8.1: Variación del área y deformación de las secciones respecto de la sección parabólica

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

En la figura 8.1 se observa que la sección transversal semicircular y la sección “C invertida” presentan una deformación de $\pm 5\%$ respecto de la sección parabólica, mientras que si se habla de material requerido al usar como referencia la sección parabólica; la sección semicircular requiere de 4.12% de incremento de material y la sección “C invertida” requiere 35.64% incremento de material. Se verifica que la sección parabólica requiere menos material, consecuentemente disminuye el costo, disminución de masa (mejores condiciones sismo resistentes) se determina que la sección más eficiente es la sección trasversal parabólica; de la misma manera las dimensiones h_2e_3 presentadas en la Tabla 12.3 permiten que la LPF pueda ser fácilmente transportada y colocada en obra, además de asegurar una correcta distribución del paquete de mallas para garantizar el recubrimiento mínimo.

Diseño estructural

Se determinó el momento resistente teórico ($\phi Mn = 7.4kNm$) de la prelosa prefabricada de ferrocemento (LPF) mediante la teoría propuesta por el Prof. Alfonso Olvera, valor mayor al momento requerido ($Mn = 4.04kNm$), lo que garantiza la integridad del elemento frente a las cargas de servicio.

Para dar solución al entrepiso se propuso el diseño de losa unidireccional compuesta por la prelosa de ferrocemento (LPF) simplemente apoyada y carpeta colaborante de concreto reforzado colada en sitio, misma que se analizó como viga. Para el entrepiso: el momento generado por las cargas de diseño es soportado por la LPF, por ende la viga se armó con cuantía mínima y cuantía para esfuerzos por retracción y temperatura.

Ensayos de aceptación

Del ensayo de compresión simple practicado a probetas de micro-hormigón se obtuvo resistencia promedio de 30.65 MPa, se valida el diseño de mortero y las características de la arena.

Análisis de ensayos de flexión

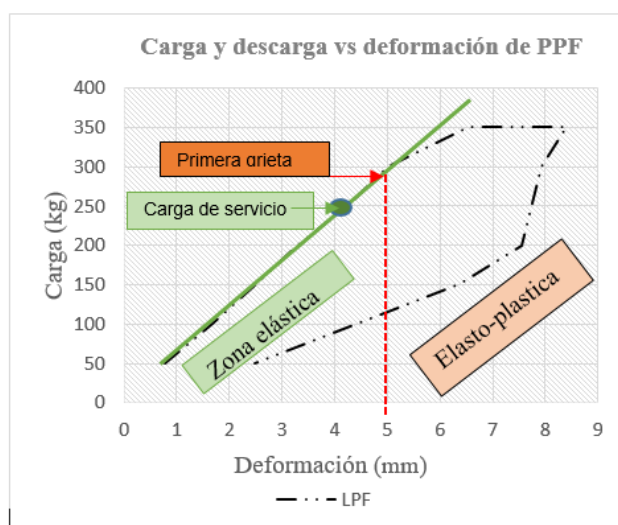


Figura 8.2: Análisis de curva carga-deformación de LPF
Fuente: El autor
Elaboración: El autor

El incremento de carga a 300kg produce la primera grieta, el cambio de pendiente es el límite elástico y teóricamente el punto donde se presenta la primera grieta que según Walkus (1973), tiene un ancho aproximado de 0.02mm (no perceptibles a la vista), en la zona elástica no se observaron grietas ya que el material obedece a la ley de Hooke.

Al incrementar la carga a 350 kg se entra a la zona elasto-plástica en esta zona según Wainstok (2010), comienza la etapa de agrietamiento múltiple donde aumenta el número y ancho de las grietas hasta 0.05mm, la carga de 350kg al estar en la zona elasto-plástica causó una deformación permanente en la LPF de 2.4mm. Las deformaciones producto de la carga aplicada se encuentran dentro de los criterios de aceptación de la prueba de carga de la norma NSR-98, C.19.5.2. Por lo expuesto se verifica que la carga de servicio que soportará la LPF se encuentra

dentro de la zona elástica con un ancho de grietas menores a 0.02mm, este resultado es validado también por el ensayo de permeabilidad que se realizó a la LPF luego de ser sometida al ensayo de flexión, el ensayo de permeabilidad mostró que la LPF es un elemento impermeable cuyo ancho máximo de grietas según el cálculo es 0.034mm cifra menor que la recomendada para elementos impermeables.

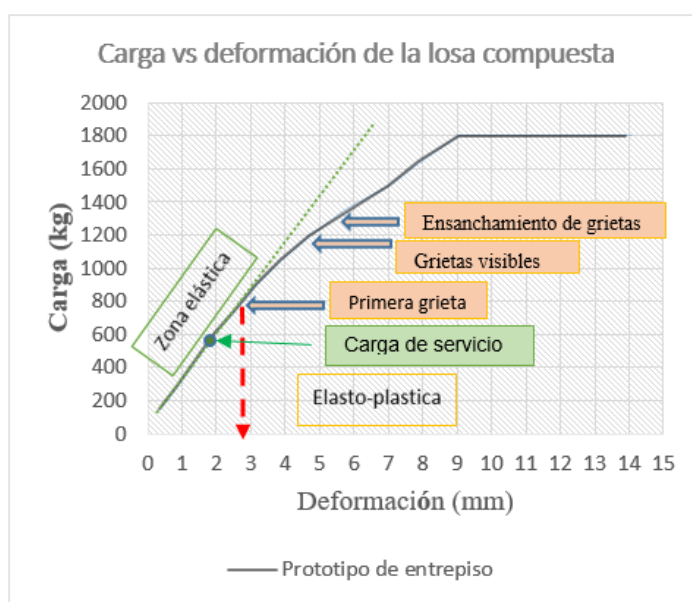


Figura 8.3: Análisis del ensayo a tensión del entrepiso.

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Del ensayo a flexión de la losa de entrepiso las cargas iguales o menores a 800kg no generan deformación permanente en el elemento. Con 1200kg de carga aparecieron fisuras visibles en la cara exterior de los prefabricados de ferrocemento, y a los 1350kg las fisuras se multiplican a lo largo del tercio medio de los LPF. Las fisuras aparecen principalmente en fallas constructivas. Los incrementos de carga de 1300 hasta 1800kg no presenta incremento en la cantidad de fisuras pero si alargamiento y ensanchamiento de las fisuras presentes. Es importante recalcar que las fisuras que aparecieron sólo se presentaron en la cara exterior del prefabricado lo cual concuerda con los resultados de la investigación de Surendra, 1981, en la cual concluye que el sitio más común para la aparición de grietas es la capa externa.

La diferencia entre la deformación teórica calculada y la deformación experimental obtenida de la LPF (cubierta) es 5.22% y para el prototipo de entrepiso es 7.8% Estas diferencias se deben principalmente al módulo de elasticidad determinado mediante la teoría de materiales compuestos. Ambas deformaciones son menores a la deformación máxima permitida según la [ACI

318, tabla 9.5b] lo cual da validez al metodo de cálculo. En las deformaciones para el entrepiso la deformación calculada mediante ecuaciones es mayor a la experimental mientras que la deformación obtenida del software Inventor es menor a la experimental, esto se debe a que el software analiza al prototipo como tres elementos diferentes con restricciones de contacto entre ellos, lo que lo acerca a la realidad, por otro lado en la deformacion teórica se asumió que el prototipo de entrepiso es un elemento homogéneo.

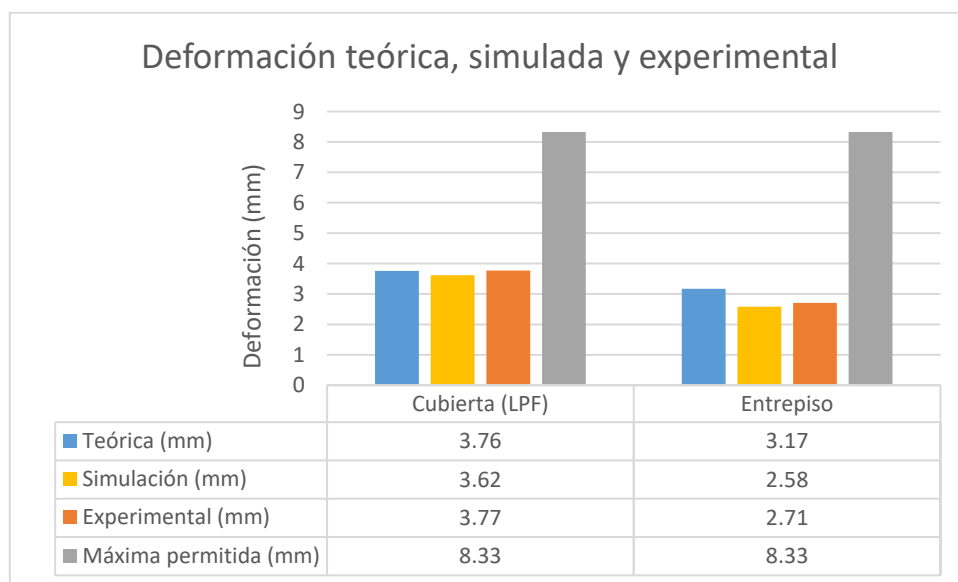


Figura 8.4: Deformaciones teóricas, simuladas y experimentales

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Análisis de costos de producción.

Cifras del INEC (2010), presentan que los materiales usuales para cubiertas de viviendas en Ecuador son: zinc (45%), hormigón (30%), teja (15%); cuyo costo directo por m² se representa en la figura 8.5. La cubierta de ferrocemento investigada es 65.7% más económica que su similar de hormigón armado y en promedio 31% más cara que las cubiertas de zinc y teja. La diferencia de costos se debe a la cantidad de materiales y tecnologías de construcción usadas para su ejecución. Para el caso de la cubierta de ferrocemento su costo está en función de los procesos de prefabricación y métodos de ensamblaje.

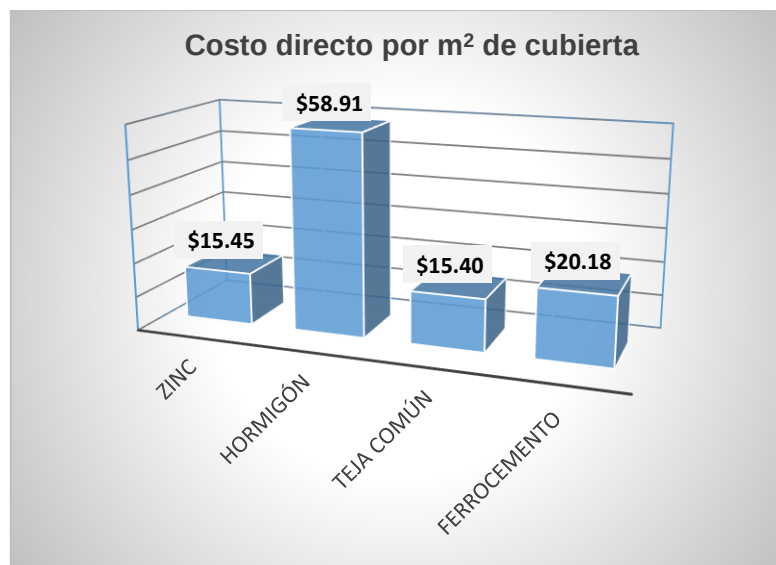


Figura 8.5: Costo por m² de diferentes tipos de cubierta.

Fuente: INEC, 2010 / El autor

Elaboración: El autor

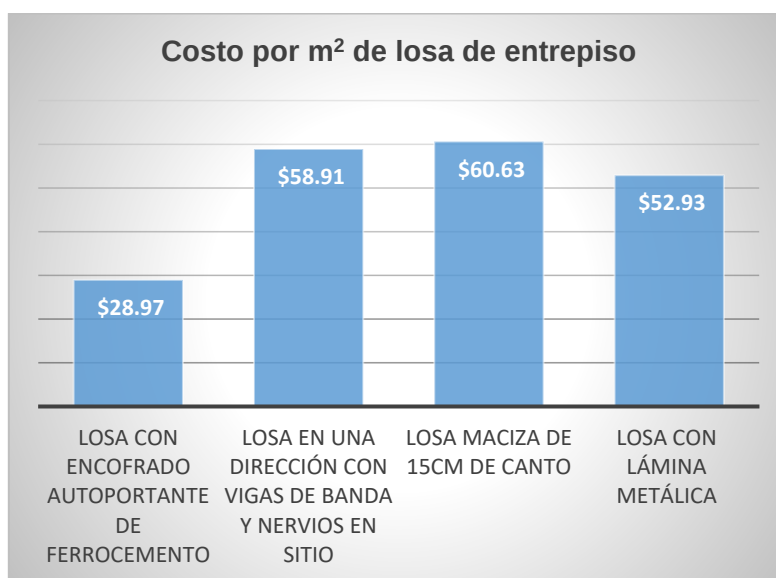


Figura 8.6: Costo por m² de losas para entrepiso

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

El costo por metro cuadrado para el entrepiso de acuerdo al análisis de precios unitarios realizado en la sección 7.2 es de USD 28.97. En el anexo 12.4 se presenta los APU de diferentes tipos de losas construidas en hormigón armado, estos precios se los ha representado en la Figura 8.6 y se puede apreciar una clara diferencia del costo de entrepiso al usar las prelosas de ferrocemento como parte estructural del entrepiso.

CONCLUSIONES

La tecnología del ferrocemento aplicada a prefabricados modulares comenzó hace pocas décadas por lo que esta técnica de construcción está aún en desarrollo. No obstante, existe suficiente información sobre diseño para dar solución al entrepiso y cubierta de VIS.

El análisis paramétrico de la geometría de las dovelas de ferrocemento permite obtener la forma adecuada de la sección transversal, masa y la longitud del elemento de manera óptima, se evita el ensayo acierto-error.

Tanto en la losa prefabricada de ferrocemento para cubierta como la losa de entrepiso, la correcta transmisión de la carga para aprovechar al máximo los modelos matemáticos de la sección parabólica y el material, depende de la buena práctica de construcción. Una mala construcción puede generar concentración de esfuerzos que ocasionen agrietamientos en zonas no consideradas durante el diseño, lo que reduce la vida útil del prefabricado.

Las cubiertas de ferrocemento, cuyo coste es levemente mayor a las cubiertas de zinc y teja, proveen condiciones de habitabilidad similares a las de una losa de hormigón pero a un costo 2.9 veces menor a la losa de hormigón.

Las losas de entrepiso que se construyen con tecnología diferente registran 22% más de hormigón, lo que significa la sostenibilidad ambiental de la presente investigación, ya que producir una tonelada de cemento significa la emisión de una tonelada de CO₂ a la atmósfera.

En promedio 98% es el incremento del costo económico de las losas de entrepiso construidas tradicionalmente analizadas con respecto a la técnica investigada, lo que repercute en la calidad y acceso a la propiedad de los sectores deprimidos económicamente.

El bajo costo por m² de losa de entrepiso investigada, se debe a que las prelosas de ferrocemento eliminan por completo el uso de encofrado, por utilizar menor masa, por prescindir de la inversión inicial en equipos de izaje, no requiere mayor cantidad de mano de obra, la metodología propuesta acelera el proceso constructivo.

Es posible incrementar la luz de las losas de entrepiso y cubierta sin sobrepasar los porcentajes de exceso de hormigón registrados (22%).

El sistema de losa investigado, en sus variantes de uso constituye solución viable y válida para dar solución al entrepiso y cubierta de la VIS (verificación de los objetivos)

RECOMENDACIONES

La investigación se limitó a ensayos de aceptación estáticos por lo que se recomienda realizar ensayos dinámicos para conocer el comportamiento de las prelosas frente a fuerzas horizontales o sismos.

Para obtener el costo por m² de losa de cubierta y entepiso más exacto, se recomienda tomar en cuenta la ubicación de la planta de prefabricación.

Promover el uso de las bondades del ferrocemento como material estructural para reemplazar en mayor porcentaje los métodos tradicionales de construcción de viviendas.

Promover el estudio de diferentes metodologías de construcción (diseño y ensamblaje de módulos) mediante elementos de ferrocemento para lograr estandarizar el proceso constructivo.

BIBLIOGRAFÍA

- ACI-318S-08 (2008). *Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentarios*.
- ACI-549.1R-93. (1999). *Guide for the Design, Construction, and Repair of Ferrocement*. ACI Structural Journal, 85
- Aguilar, C. (2016). *Sistema semi prefabricado con encofrado colaborante de ferrocemento para estructuras aporticadas de viviendas regulares ubicadas en zonas sísmicas II de Ecuador* (Tesis postgrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Alambrec, I. (21 de septiembre de 2017). Obtenido de www.idealalambrec.com
- Ambiente, C. P. (2000). *Fundamentos para la aplicación de ferrocemento*. Lima. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/miscela/iferrocemento.pdf>
- Arrau Guzmán, C. (2007). *Concepto de Vivienda Social*. Santiago: Cámara Chilena de la Construcción.
- Barrietos Opazo, C. A. (2004). *Diseño en Ferrocemento de un Edificio Destinado a Vivienda Social*. Universidad Austral de Chile.
- Bedoya, D. A., Hurtado, J. E., Pujades, L. G. (Luis G., Canas, J. A. (José A., Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria del Terreny, C. i G., & Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Camins, C. i P. de B. (2005). *Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocement*. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <http://upcommons.upc.edu/handle/2117/93560>
- Bedoya-Ruiz, D., Ortiz, G. A., Álvarez, D. A., & Hurtado, J. E. (2015). Modelo dinámico no lineal para evaluar el comportamiento sísmico de viviendas de ferrocemento. *Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo Y Diseño En Ingeniería*, 31(3), 139–145. <https://doi.org/10.1016/j.rimni.2014.04.001>
- B. K., P., & R. P., P. (1978). *Ferrocement*. (E. Molina, Trad.) International Ferrocement Information Center. doi:968-464-013-7

Bernal, J. (2005). *Losas*. Buenos Aires: Nobuko.

Bouillon, C. (2012). *Un espacio para el desarrollo: Los mercados de la vivienda en América Latina y el Caribe*. México: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Cano Restrepo, A. J. (18 de 1 de 2002). *Formaletas Prefabricadas En Ferrocemento: Una excelente alternativa*. Colombia: Instituto Colombiano de Productores de Cemento. Recuperado el 18 de 3 de 2018, de <http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Ferrocemento/4%20Formaletas%20prefabricadas%20en%20ferrocementos.pdf>

Carvajal de la Cruz, F. (1987). El fierrocreto en la vivienda. *IMCYC*, 42-44.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente [CPISCA]. (2000). *Fundamentos para la aplicación de ferrocemento*. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/miscela/iferrocemento.pdf>

De, G., Para, C., & De Ferrocemento, E. (n.d.). *UNIDAD DE APOYO TÉCNICO PARA EL SANEAMIENTO BÁSICO DEL ÁREA RURAL*. Retrieved from <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/miscela/etconstruccionferrocemento.pdf>

Despi, S. J. (1983). *Tecnica y Practica del Hormigon Armado*. Barcelona: CEAC, S.A.

Fernandez Canovas, M. (2013). *HORMIGON*. Madrid: IBERGARCETA OUBLICACIONES, S.L.

Fernández, J. (1974). *PREFABRICACIÓN teoría y práctica*. Barcelona: Editores técnicos asociados, s. a.

INEC. (2010a). *LAS CONDICIONES DE VIDA DE LOS ECUATORIANOS: VIVIENDA*. Recuperado de: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/ECV/Publicaciones/ECV_Folleto_de_vivienda.pdf

INEC. (2010b). *Resultados del Censo 2010 de población y vivienda del Ecuador*.

Instituto Ecuatoriano del Cemento y el Concreto [INECYC]. (2007) *Consejos prácticos sobre el Hormigón*.

- Julián, C., William, A., & Fabián, E. (2015). Evaluación de los costos de construcción de sistemas estructurales para viviendas de baja altura y de interés social. *Ingeniería, Investigación Y Tecnología*, 16(4), 479–490. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2015.09.001>
- Kantharaju, Vasudev, K., Kulkarni, S., & Malji, N. G. (2001). Ferrocement components for low cost housing in developing countries. *OUR WORLD IN CONCRETE Y STRUCTURES*. Singapore: CI-PREMIER PTE LTD.
- Lalaj, O., Yardim , Y., & Yilmaz, S. (2015). Research on Engineering Structures and Materials.
- Love, T. (2011). *El Concreto en la Construcción*. México: Trillas.
- Materials. "Ferrocemento, una opción modular al Hormigón Armado" 23 may 2014. Plataforma Arquitectura. Accedido el 19 Oct 2017. <<http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/624715/materiales-ferrocemento-una-opcion-modular-al-hormigon-armado>>
- Maza, B. (2013). *El rol de la prefabricación abierta y el pretensado y su potencial dentro del sector de la vivienda social* (Tesis postgrado). Universidad Nacional de Loja. Loja, Ecuador.
- McCorman, J. C., & Brown, R. H. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). *Guía practica de diseño de vivienda de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros*, Código NEC-15. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Cargas no sísmicas*, Código NEC-SE-CG. Quito, Ecuador.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Estructuras de Hormigón armado*, Código NEC-SE-HM. Quito, Ecuador.
- Mironkov, B. (Febrero de 1980). El ferrocemento en la Union Sovietica. *IMCYC*, 17(106), 25-31
- Murlidhar, R. (1976). *The behaviour of ferrocement slabs under different loads* (Tesis Doctoral). Indian Institute of Technology Kanpur. India

- Naaman, & Hammoud. (January de 1992). Ferrocement Prefabricated Housing: The next Generation. *Journal of Ferrocement*, 22(1), 35-47.
- NEC 15. (2016). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Ecuador
- Olvera L., A. (2002). *El ferrocemento y sus aplicaciones*. Mexico: Alfaomega. Doi: 970-15-0817-3
- Osorio, Marrero (1996). *Tecnología para la producción de elementos prefabricados ligeros de ferrocemento*. Cuba.
- Pérez Estañol, M., & Ochoa, R. (Abril de 2006). Prefabricación, base del cambio en la construcción. México.
- Pytel, A., & Singer, F. L. (2012). *Resistencia de Materiales*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Quiun, D. (2011). *Desarrollo del ferrocemento en la construcción de viviendas. Segunda etapa*. Lima.
- Ramos Naizzir, J. E. (2013). *Factibilidad para invertir en una planta de elementos prefabricados en concreto en el distrito de Cartagena de Indias*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Revista ARQHYS. 2012, 12. Los Prefabricados. Equipo de colaboradores y profesionales de la revista ARQHYS.com. Obtenido 09, 2017, de <http://www.arqhys.com/construccion/los-prefabricados.html>.
- Rice, P. F., & Hoffman, E. S. (1984). *Diseño Estructural con Normas de ACI*. México: LIMUSA, S.A.
- Rivera, G. (2013). *Concreto simple*. Cúcuta.
- Rodríguez, V., & Fernando, L. (2016). Estudio de la adherencia en la unión de hormigón nuevo con hormigón viejo en vigas de hormigón sometidas a flexión, 2, 44–50. Retrieved from <http://www.uajms.edu.bo/revistas/wp-content/uploads/2017/10/cienciasur-vol2-nro3-art5.pdf>
- Sabino, J., & Álvarez, L. (2010). *Estudio de la factibilidad del uso de ferrocemento para la construcción de viviendas de bajo costo, sismo resistentes y de rápida ejecución en la*

República Dominicana 2010 /. Instituto Tecnológico de Santo Domingo, Retrieved from <https://opacbiblioteca.intec.edu.do/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=145272>

Santibáñez Barrientos, M. (2004). *CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA SOCIAL DE ALTURA EN FERROCEMENTO*. Universidad Austral de Chile. Retrieved from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/bmfcis235c/doc/bmfcis235c.pdf>

Sheng Yap, K. (Abril de 1990). Ferrocement floating house for low-income families of Klong Toey, Bangkok, Tailand. *Journal of Ferrocement*, 20(2), 133-142.

Subsecretaria de Vivienda. (2016). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda Programa Nacional de Vivienda Social*. Recuperado de: <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/PROYECTO-PROGRAMA-NACIONAL-DE-VIVIENDA-SOCIAL-9nov-1.pdf>

Surendra, S. (1981). Ferrocemento un nuevo material de construcción. *IMCYC*, 19(126). Recuperado el 18 de 3 de 2018, de <http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Ferrocemento/4%20Ferrocemento%20un%20nuevo%20material%20de%20construccion.pdf>

Vilagut, F. (1975). *Prefabricados de Hormigón*. Barcelona: GUSTAVO GILI, S. A.

Wainshtok, D. H. (2010). *Ferrocemento* (Cuarta ed.). Riobamba: La fábrica Comunicación Integral.

Walkus, R. (1987). Techos de Ferrocemento. *IMCYC*, 35(191). Recuperado el 16 de 4 de 2018, de <http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Ferrocemento/Revista/4%20Techos%20de%20ferrocemento.pdf>

Yepes Piqueras, V. (29 de julio de 2014). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de <http://victoryepes.blogs.upv.es/2014/07/29/planta-de-prefabricados-de-hormigon/>

ANEXOS

12.1 Anexo A: Análisis paramétrico para el pre-dimensionamiento de la losa de cubierta

12.1.1 Introducción.

En el presente anexo se muestra resumen de análisis paramétrico utilizado para definir el tipo de sección transversal y su pre dimensionamiento, con el objetivo asegurar una deformación menor a la permitida y además garantizar un peso lineal del prefabricado que garantice su traslado sin necesidad de equipos mecánicos durante su colocación en obra.

12.1.2 Sección transversal.

Se proponen tres figuras geométricas: parábola, arco circular y una sección tipo C invertida.

Para poder analizar y comparar estas secciones se supondrá un espesor $e=2\text{cm}$, una altura $h = 20\text{ cm}$ y un ancho $b = 50\text{cm}$.

De la fórmula de la deformación para una carga distribuida uniforme:

$$\Delta_{\max} = \frac{5qL^4}{384E_{\text{red}} I}$$

Donde:

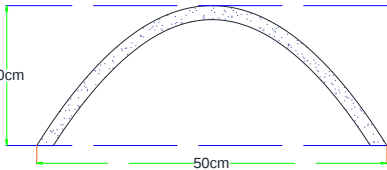
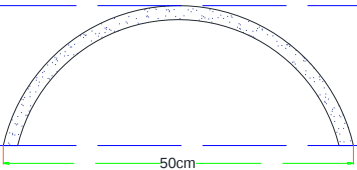
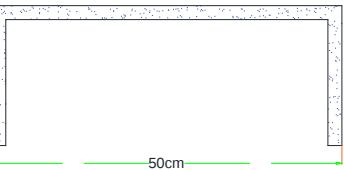
$\Delta_{\max}$ = Deformación máxima del elemento según su sección transversal
 q = Combinación de las cargas distribuidas uniformemente
 I =Inercia de la sección transversal

Se observa que la deformación máxima es directamente proporcional a la carga “ q ” e inversamente proporcional a la inercia. Por lo cual si se asume que las tres secciones propuestas están construidas con el mismo material: altura, base, espesor y densidad (γ), las únicas variables que cambian son el “área trasversal” y el “momento de inercia”.

$$\Delta_{\max} = \frac{A}{I} \times \frac{5\gamma L^4}{384E}$$

Mediante la relación entre el área transversal y la inercia se puede determinar la sección más eficiente.

Tabla 12.1: Evaluación de la sección más eficiente.

Parábola (sección1)	Arco de círculo (Sección 2)	Sección C invertida (Sección 3)
		
$Area = 126.81cm^2$ $Inercia = 4398.95cm^4$	$Area = 132.03cm^2$ $Inercia = 4462.03cm^4$	$Area = 172cm^2$ $Inercia = 6163.38cm^4$
$Ratio = \frac{Area}{Inercia}$ $Ratio = 0.0288$	$Ratio = \frac{Area}{Inercia}$ $Ratio = 0.0296$	$Ratio = \frac{Area}{Inercia}$ $Ratio = 0.0279$

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Al tomar como base de comparación la sección de la parábola, en la Tabla 12.2 se muestra los porcentajes de variación.

Tabla 12.2: Porcentajes de variación respecto de la sección parabólica.

	Arco de círculo	Sección C invertida
Área	4.12% más que la parábola	35.64% más que la parábola
Deformación	2.7% más que la parábola	3.125% menos que la parábola

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

La variación en los porcentajes de deformación entre las tres secciones varía en menos de 5% por lo cual se seleccionará la sección transversal en base al área.

El hecho de tener una menor área transversal conlleva a una LPF más económica.

La forma geométrica para la losa de cubierta será de sección parabólica.

12.1.3 Definición de la dimensión longitudinal del elemento

La LPF para cubierta se ha establecido de 4 metros ya que es el vano máximo permitido por la NEC-15 para viviendas de 2 pisos.

12.1.4 Definición de las dimensiones de la sección transversal.

12.1.4.1 Ancho de la sección o cuerda.

Según Maza (2016) el ancho de un prefabricado responde a la modulación que exista o se establezca para los programas VIS, para los cuales recomienda micromódulos de 50 cm y así asegurar una red a eje cuyas dimensiones sean múltiplos de dicho valor.

La norma NEC para viviendas de hasta dos pisos establece un vano máximo de 4 metros, por lo que en este proyecto se fijó una abertura de la parábola de **b = 50cm**, cuyo valor es múltiplo, es decir, para cubrir dicho espacio serán requeridas 8 unidades por vano.

12.1.4.2 Espesor y altura.

En esta investigación se fijarán variables del espesor dentro del rango de 10mm y 50mm recomendado por Wainshtok, los valores por razones constructivas y la posible variación de las cargas de peso propio como de servicio llevan a este estudio a considerar tres espesores $e_1 = 10\text{mm}$, $e_2 = 15\text{mm}$ y $e_3 = 20\text{mm}$

Ya que la losa de cubierta es una parábola, para el estudio paramétrico el valor de la altura (h) será: 20%, 30%, 40% y 50% del valor de b.

Tabla 12.3: Área y peso de las secciones parabólicas en función de su altura y espesor.

		$e_1=10\text{mm}$		$e_2=15\text{mm}$		$e_3=20\text{mm}$	
Flecha (mm)		Área (cm ²)	Peso (kg/m)	Área (cm ²)	Peso (kg/m)	Área (cm ²)	Peso (kg/m)
h_1	15	58.51	14.63	86.46	21.62	113.57	28.39
h_2	17	61.01	15.25	90.27	22.57	118.68	29.67
h_3	20	65.04	16.26	96.34	24.08	126.81	31.70
h_4	25	72.34	18.08	107.30	26.82	141.46	35.37

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

La Tabla 12.3 muestra la magnitud del peso del elemento está influenciado tanto por la altura (h) como por el espesor (e), de manera directa y proporcional.

12.1.4.3 Longitud restringida por el peso.

Como se ha mencionado la principal restricción para el pre-dimensionado es el peso del elemento en el vano a emplearse. El peso garantiza su manejo y colocación en obra sin ayuda mecánica.

El peso máximo (P_{max}) que permite dicha manipulación según Maza (2016), es de 250 kg, Si se considera que 4 personas movilizarán el elemento, entonces la longitud máxima (L_{max}) estará dada por la siguiente condición:

$$L_{max} \leq \frac{P_{max}}{P_p}$$

Donde:

P_p =Peso por metro lineal del elemento

Tabla 12.4: Peso y longitud máxima de las secciones parabólicas en función de su altura y espesor.

		e₁=10mm		e₂=15mm		e₃=20mm	
Altura (mm)		Peso (kg/m)	Longitud (m)	Peso (kg/m)	Longitud (m)	Peso (kg/m)	Longitud (m)
h₁	15	14.63	17.09	21.62	11.57	28.39	8.80
h₂	17	15.25	16.39	22.57	11.08	29.67	8.43
h₃	20	16.26	15.38	24.08	10.38	31.70	7.89
h₄	25	18.08	13.82	26.82	9.32	35.37	7.07

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Se aprecia que la longitud máxima es inversamente proporcional a las variables (altura, espesor).

12.1.4.4 Deformación máxima

Para el pre-dimensionamiento de elementos de ferrocemento es factible establecer las dimensiones transversales en base a la máxima deformación permisible (Δ_{per}) que viene dada por la condición:

$$\Delta_{per} = \frac{L}{480}$$

Donde:

L= Longitud del elemento

Por lo tanto si L=400cm la deformación permisible será 0.83cm

Para ello Bezukadov (citado por Wainshtok, 2010) plantea con fines de pre-diseño un módulo de elasticidad reducido a la flexión ($E_{red}=15000 \text{ MPa}$). De las posibles dimensiones transversales se obtiene la inercia de la sección y una vez conocida la longitud del elemento se determina la deformación máxima según la ecuación (4.4):

La carga viva (CV) a soportar según la NEC-SE-CG-2015 para cubiertas es de 0.7 kN/m² la abertura de la sección parabólica es de 0.5m por lo tanto CV=0.7x0.5=0.35kN/m, el peso propio por metro lineal (P_p) está dado en la tabla A1.1, la combinación de las cargas se determinará mediante la siguiente expresión:

$$q=1.2P_p + 1.6C_v$$

Al aplicar todas las variables en la ecuación (4.4) se obtiene las deformaciones que se presentan en la Tabla 12.5.

Tabla 12.5: Inercia y deformación de las secciones parabólicas en función de su altura y espesor.

		e₁=10mm		e₂=15mm		e₃=20mm	
Altura (mm)		Inercia (cm⁴)	Deformación (cm)	Inercia (cm⁴)	Deformación (cm)	Inercia (cm⁴)	Deformación (cm)
h₁	15	1165.85	1.38	1670.07	1.14	2127.93	1.03
h₂	17	1582.23	1.03	2276.42	0.85	2913.08	0.77
h₃	20	2365.46	0.71	3420.47	0.59	4398.45	0.53
h₄	25	4155.24	0.42	6043.69	0.35	7816.46	0.32

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

La altura y espesor adecuados para la cubierta bajo las consideraciones adoptadas son aquellas que presenten una deformación < 0.83cm en la Tabla 12.5

La elección de las dimensiones más adecuadas estará en función del peso dado en la Tabla 12.4 y del espesor necesario que garantice el respectivo recubrimiento del acero así por ejemplo:

La losa **h₃-e₁** tiene una deformación de 0.71 cm y un peso de 16.26 kg/m mientras la losa **h₂-e₂** tiene una deformación de 0.85 cm y un peso de 22.57 kg/m, ambas opciones cumplen con las condiciones permitidas por lo tanto la elección quedará en función de las capas de malla a utilizarse y el diámetro de las mismas, lo que garantiza el respectivo recubrimiento mínimo.

12.2 ANEXO B: Caracterización de árido fino para fabricar la prelosa prefabricada de ferrocemento.

12.2.1 Granulometría.

La granulometría del árido fino se ha realizado según la norma NTE INEN 696:2011, el módulo de finura (MF) obtenido es de 2.91; en la tabla 12.6 se presenta el análisis granulométrico y en la Figura 12.1 se verifica que el árido fino cumple con los requerimientos de la norma ASTM C33 además de las recomendaciones de la ACI-549R

Tabla 12.6: Granulometría

Tamiz	W. Tamiz	W Tam+mues	W. rete	W.acum	%ret	%Pasante
N°4	487.64	487.64	0	0	0.00	100.00
N°8	477.23	628.82	151.59	151.59	21.61	78.39
N°16	422.36	554.08	131.72	283.31	40.39	59.61
N°30	398.97	522.12	123.15	406.46	57.94	42.06
N°50	331.75	479.26	147.51	553.97	78.97	21.03
N°100	341.22	440.83	99.61	653.58	93.17	6.83
Fondo	378.67	426.58	47.91	701.49	100.00	0.00

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

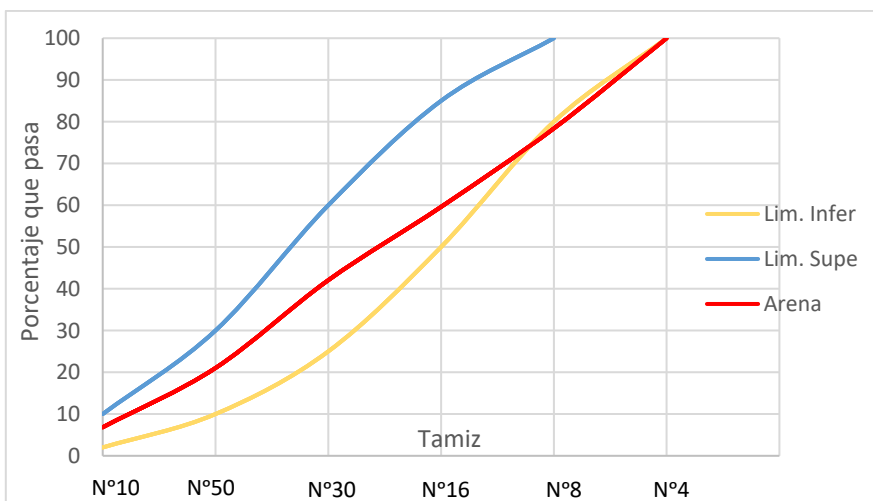


Figura 12.1: Curva granulométrica

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

12.2.2 Densidad y absorción

La metodología de ensayo usada en la determinación de la densidad y absorción del agregado fino está establecida en la norma NTE INEN 856:2010. Los resultados se muestran en la

Tabla 12.7 12.7.

Tabla 12.7: Densidad y absorción del árido fino

Dato	Valor	Unidad
Densidad (SSS)=	2.61	$\frac{kg}{m^3}$
Absorción (%)	2.33	%

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

12.2.3 Contenido de Humedad (CH)

El contenido de humedad presente en la arena se muestra en la Tabla 12.8, la metodología de ensayo está dada por la norma NTE INEN 862:2011

Tabla 12.8: Contenido de humedad del árido fino

Recipiente	W. Rec.	W. Rec+Mh	W. Rec+Ms	CH
G13	69.71	374.58	353.4	5.99%
JA3	54.82	311.56	294.13	5.93%
LF16	65.11	350.55	330.48	6.07%
CH=				6.0%

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

12.2.4 Material más fino que pasa el tamiz No 200.

El muestreo se lo ejecutó el día 18/12/2017 y el ensayo el 20/12/2017 en el laboratorio de suelos del DGMIC, los ensayos fueron realizados por el autor del presente trabajo de titulación.

12.2.4.1 Cálculos

La cantidad de material que pasa el tamiz No 200 mediante lavado se obtiene según la Ecuación 12.1 propuesta en la norma NTE INEN 697:2010

$$A = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Ecuación 12.1

Donde:

A = Porcentaje del material más fino que pasa el tamiz No 200 mediante lavado

B = Masa seca original de la muestra

C = masa seca de la muestra luego del lavado

$$A = \frac{783.15 - 747.46}{783.15} \times 100 = 4.56\% < 5\% \text{ si cumple}$$

12.3 Anexo C: Diseño de mortero.

12.3.1 Resistencia requerida

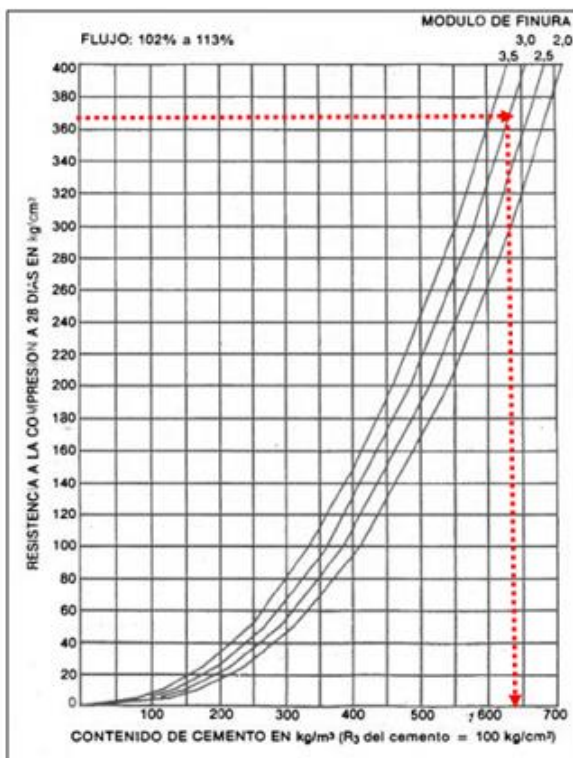
Para un hormigón que tenga baja permeabilidad cuando este expuesto al agua y una severidad moderada a la presencia de sulfatos la NEC-SE-HM en su sección 3.1.4 y la PCA (2004) recomiendan una resistencia mínima de 28 MPa con una relación de agua/cemento menor o igual a 0.5

Para la resistencia media requerida (f'_{cr}), según la tabla 10 propuesta en la NEC-SE-HM, para un hormigón entre 21 y 35 MPa es:

$$f'_{cr} = 28MPa + 8.5 = 36.5MPa$$

12.3.2 Cuantía de cemento

De la gráfica propuesta por el Ingeniero Rodrigo Salamanca (1985), para una resistencia de $372 \frac{kg}{cm^2}$ y un módulo de finura 2.91 se determina el contenido de cemento por metro cúbico de mortero húmedo (fluido).



Contenido de cemento (C)

$$C = 640 \frac{Kg}{m^3}$$

Figura 12.2: Contenido de cemento en función del f'_{cr} requerido

Fuente: Salamanca, 1985

Elaboración: El autor

12.3.3 Contenido de agua (a)

Se aplicó la ecuación (12.2) propuesta por Rodrigo Salamanca (1985), para obtener la relación agua/cemento (A/C):

$$A/C = \left(\frac{R_{28}}{55.1} \right)^{-1/2.13} \quad (12.2)$$

Donde:

A/C = Relacion agua/cemento

R_{28} = Resistencia esperada a los 28 dias

$$A/C = \left(\frac{372}{55.1} \right)^{-1/2.13} = 0.408$$

Se reemplaza el contenido de cemento por metro cúbico:

$$A = 0.408 \times 640 \frac{kg}{m^3} = 261.12 \frac{kg}{m^3}$$

12.3.4 Contenido de arena

De la caracterización del agregado fino y ensayos de laboratorio se sabe:

- Densidad SSS = $2610 \frac{kg}{m^3}$
- Peso unitario suelto de la arena = $1600 \frac{kg}{m^3}$
- Densidad del cemento = $3080 \frac{kg}{m^3}$

Para determinar el contenido de arena se aplica el método del volumen absoluto.

En la Tabla 12.9 se muestra el volumen ocupado por los materiales para un metro cúbico de mortero a excepción del agregado fino.

Tabla 12.9: Volumen de agua, cemento y aire para 1m³ de mortero

Materiales	Peso(kg)	Densidad(kg/m ³)	Volumen(m ³)
Agua	261.12	1000	0,2611
Cemento	640	3080	0,2078
Aire			0,0350
Total			0.5039

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

El volumen ocupado por la arena para 1m³ de mortero es:

$$Volumen\ de\ arena = 1m^3 - 0.5039 = 0.4961m^3$$

Al multiplicar por la densidad (SSS) de la arena, para 1m³ de mortero se necesita:

$$Cantidad\ de\ arena = 0.4961 \times 2610 = 1294.821 \frac{kg}{m^3}$$

12.3.5 Dosificación para 1m³ de mortero con materiales en SSS:

Agua	261.12 kg
Cemento	640 kg
Arena	1294.82kg

Masa total (SSS)	2195.94 kg
% De aire	3.60%

12.3.6 Corrección por humedad

De la Tabla 12.8 se tiene que contenido de humedad es 6% y de la

Tabla

12.7 la absorción de 2.33% la proporción de agregado fino de la mezcla se vuelve:

$$Arena\ (6\% CH) = (1294.821 - (1294.821 \times 2.33\%)) \times 1.06 = 1340.53\ kg$$

La humedad superficial contribuida por el agregado fino = 6% - 2.33% = 3.67%

El requisito estimado para el agua sería:

$$261.12 - \left((1294.821 - (1294.821 \times 2.33\%)) \times 0.0367 \right) = 214.7kg$$

La masa de la mezcla calculada para 1m³, para incluir la humedad del agregado fino:

Agua	214.7 kg
Cemento	640 kg
Arena	1340.53kg

Masa total (SSS)	2178.7 kg
% De aire	3.60%

12.4 ANEXO D: Análisis de precios unitarios de estructuras para entrepiso y cubierta.

12.5 Losas de concreto armado usadas para la solución de entrepiso

El análisis de precios unitarios se realizó en el generador de precios “CYPE INGENIEROS, SA.” Para Ecuador 2018. El portal web <http://www.ecuador.generadordeprecios.info> permite realizar estimaciones del costo de elementos estructurales, mediante un análisis de precios unitarios (APU). Los costos estimados de las losas se los obtuvo el día 18/03/2018 de la página web antes mencionada.

12.5.1 Losa en una dirección con vigas de banda y nervios en sitio

Losa de hormigón armado, elaborada con hormigón premezclado en planta de $f'c=28\text{MPa}$ y vaciado mediante medios manuales, resistencia del acero igual 420MPa , la losa se encuentra sobre un sistema de encofrado continuo conformado por losa en una dirección, nervio colado en sitio con un ancho de 15cm , distancia entre ejes 75cm , bovedilla de hormigón “bloque” de $60\times 20\times 25\text{ cm}$, acero a compresión para temperatura una malla electro soldada de $15\times 15\text{ cm}$ de 3.5 cm de diámetro.

The screenshot shows the 'Generador de Precios.Ecuador' software interface. The top bar includes the title 'Generador de Precios.Ecuador' and the copyright '© CYPE Ingenieros, S.A.'. Below this is a status bar 'Revisión independiente' with a green checkmark and the IECA logo. The main interface has a tabbed menu with 'Losa', 'Hormigón', 'Acero', 'Malla electrosoldada', 'Encofrado', and 'Curado'. The 'Losa' tab is active, showing a 'Viguetas y entrevigado' section. This section includes a 'Losa' sub-section with 'Horizontal' (selected) and 'Inclinada' options, and an 'Altura libre de planta' sub-section with 'Hasta 3 m', 'Entre 3 y 4 m' (selected), and 'Entre 4 y 5 m' options. Below these is a 'Tipo de losa' section with 'Nervio en sitio de hormigón armado' (selected) and 'Nervio en sitio con piezas de EPS' options. The 'Nervio' section shows a diagram of a cross-section with reinforcement bars and a list of options: '12 cm', '14 cm', '15 cm' (selected), and '16 cm'. The 'Tipo de bovedilla' section has 'De hormigón' (selected), 'De arcilla expandida', and 'De poliestireno expandido' options, accompanied by a 3D diagram of a concrete block. At the bottom, the 'Intereje (cm)' section shows '75' (selected) and '85' options.

Figura 12.3: Losa en una dirección con vigas de banda y nervios en sitio

Fuente: <http://www.ecuador.generadordeprecios.info>

Elaboración: CYPE Ingenieros, S.A.

Unidad	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
Materiales				
m²	Tablero de madera tratada, de 22 mm de espesor, reforzado con varillas y perfiles.	0,044	39,93	1,76
m²	Estructura soporte para encofrado recuperable, compuesta de: sopandas metálicas y accesorios de montaje.	0,007	90,49	0,63
Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 4 m de altura.	0,027	19,56	0,53
m³	Madera de pino.	0,003	253,55	0,76
kg	Puntas de acero de 20x100 mm.	0,040	7,45	0,30
l	Agente desmoldante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0,030	2,10	0,06
Ud	Bovedilla de hormigón para nervios en sitio, 60x20x25 cm. Incluso piezas especiales.	4,900	0,72	3,53
Ud	Separador homologado para vigas.	0,800	0,08	0,06
Ud	Separador homologado para nervios en sitio en losas en una dirección.	1,000	0,06	0,06
kg	Acero en barras corrugadas, Grado 60 (fy=4200 kg/cm²), de varios diámetros, según NTE-INEN-2167 y ASTM A 706.	15,750	1,26	19,85
kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,255	1,17	0,30
m²	Malla electrosoldada con alambres longitudinales y transversales de 3,5 mm de diámetro espaciados 15x15 cm, según NTE-INEN-2209 y ASTM A 497.	1,100	1,24	1,36
m³	Hormigón f'c=280 kg/cm² (28 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, consistencia blanda, premezclado en planta, según NEC-11 y ACI 318.	0,172	97,67	16,80
m³	Agua.	0,005	1,60	0,01
Subtotal materiales:				46,01
Mano de obra				
h	Encofrador.	0,646	7,02	4,53
h	Ayudante encofrador.	0,634	4,44	2,81
h	Fierro.	0,218	7,02	1,53
h	Ayudante fierro.	0,218	4,44	0,97
h	Peón de albañil.	0,193	4,05	0,78
h	Maestro de estructura mayor, en el proceso de hormigonado.	0,046	7,02	0,32
h	Ayudante estructurista, en el proceso de hormigonado.	0,180	4,44	0,80
Subtotal mano de obra:				11,74
Herramienta menor				
%	Herramienta menor	2,000	57,75	1,16
Amortamiento decenal: \$ 4,12 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):	58,91

Figura 12.4: Análisis de precios unitarios para la losa en una dirección con vigas de banda y nervios en sitio

Fuente: <http://www.ecuador.generadordeprecios.info>

Elaboración: CYPE Ingenieros, S.A.

El precio estimado para este tipo de losas por metro cuadrado es de 58.91 usd

Este presupuesto se lo puede visualizar directamente en el siguiente enlace web:

http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|6|0|EHU015|ehu forjado%20vigas p insitu: 0 0 1c6 0 2c3 0 3c7 0|hormigon%20forjado unid insitu:c 6 0 1c7 0 3 0 1 0 5|ehu cuvo sin pilares%20forj insitu: 0 0 14000 0|acero%20forjado u nid insitu: 0 0 0 0 0 0 0 3|mallazo estructuras: 0 0 0 0|enc_ehu_encof_cont:c6 0 10 0 100 0 30 100c4 0 10|hor curado%20hormigon: 1 0 0 0

12.5.2 Losa Maciza

Losa de hormigón armado, elaborada con hormigón premezclado en planta de $f'c=28\text{MPa}$ y vaciado mediante medios manuales, resistencia del acero igual 420MPa , la losa se encuentra sobre un sistema de encofrado continuo desmontable, el proceso de curado se realiza con agua. La losa presenta un canto de 15cm.

Figura 12.5: Losa maciza con canto de 15 cm

Fuente: <http://www.ecuador.generadordeprecios.info>

Elaboración: CYPE Ingenieros, S.A.

Unidad	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
Materiales				
m²	Tablero de madera tratada, de 22 mm de espesor, reforzado con varillas y perfiles.	0,044	39,93	1,76
m²	Estructura soporte para encofrado recuperable, compuesta de: sopandas metálicas y accesorios de montaje.	0,007	90,49	0,63
Ud	Puntal metálico telescópico, de hasta 3 m de altura.	0,027	14,23	0,38
m³	Madera de pino.	0,003	253,55	0,76
kg	Puntas de acero de 20x100 mm.	0,040	7,45	0,30
l	Agente desmoldante, a base de aceites especiales, emulsionable en agua para encofrados metálicos, fenólicos o de madera.	0,030	2,10	0,06
Ud	Separador homologado para losas macizas.	3,000	0,08	0,24
kg	Acero en barras corrugadas, Grado 60 ($f_y=4200\text{ kg/cm}^2$), de varios diámetros, según NTE-INEN-2167 y ASTM A 706.	22,050	1,26	27,78
kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,294	1,17	0,34
m³	Hormigón $f'c=280\text{ kg/cm}^2$ (28 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, consistencia blanda, premezclado en planta, según NEC-11 y ACI 318.	0,158	97,67	15,43
m³	Agua.	0,005	1,60	0,01
			Subtotal materiales:	47,69
Mano de obra				
h	Encofrador.	0,560	7,02	3,93
h	Ayudante encofrador.	0,560	4,44	2,49
h	Fierrero.	0,330	7,02	2,32
h	Ayudante fierrero.	0,306	4,44	1,36
h	Peón de albañil.	0,177	4,05	0,72
h	Maestro de estructura mayor, en el proceso de hormigonado.	0,037	7,02	0,26
h	Ayudante estructurista, en el proceso de hormigonado.	0,151	4,44	0,67
			Subtotal mano de obra:	11,75
Herramienta menor				
%	Herramienta menor	2,000	59,44	1,19
Amortamiento decenal: \$ 3,03 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):	60,63

Figura 12.6: Análisis de precios unitarios para la losa en una dirección con vigas de banda y nervios en sitio

Fuente: <http://www.ecuador.generadordeprecios.info>

Elaboración: CYPE Ingenieros, S.A.

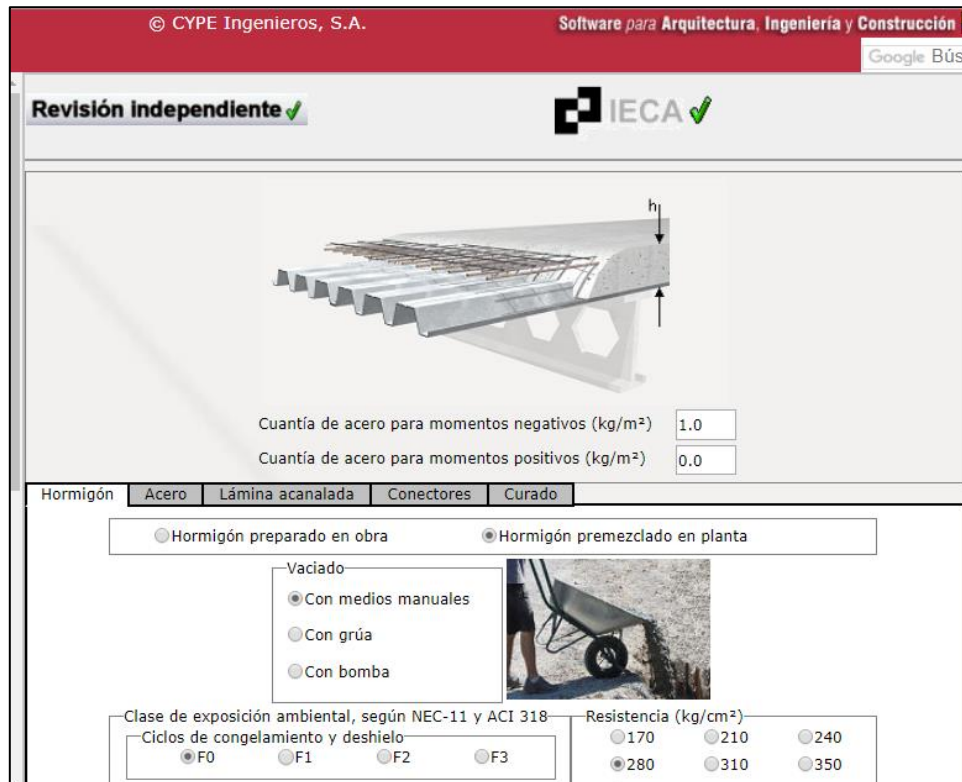
Del APU presentado en la Figura 12.5 se tiene que el costo directo por metro cuadrado de losa maciza para Ecuador es de 60.63 usd.

Este presupuesto se lo puede visualizar directamente en el siguiente link:

http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|2_0|1|EHL010|ehl cuvo%20sin soportes: 0|tipo losa: 0|ehl altplant: 0 7 1|hormigon%20losa:c6 0 1c7 0 3 0 1 0 5|ehl cuantia%20sin soportes: 0 1600 0|acero%20losa: 0 0 0 0 0 0 0 3|ehl mallazo: 0 1 0 1 0|hor separadores%20losas: 0 0 0 0 2 0 0|enc ehl 010:c5 0 10 0 10 0 0 30 100c4 0 10|hor curado%20hormigon: 0 0 0 0

12.5.3 Losa con lámina metálica o placa colaborante

Se tiene una losa con placa de acero colaborante con un canto de 10cm, elaborada con hormigón premezclado en planta de $f'c=28\text{MPa}$ y vaciado mediante medios manuales, resistencia del acero igual 420MPa y malla electro-soldada de $15 \times 15\text{ cm}$ y diámetro de 3.5, la placa es de acero galvanizado con forma acanalada, de 0.65mm de espesor, 5 cm de altura y 32.9 cm de interjeje.



© CYPE Ingenieros, S.A. Software para Arquitectura, Ingeniería y Construcción

Revisión Independiente ✓ IECA ✓

Cuántia de acero para momentos negativos (kg/m^2) 1.0

Cuántia de acero para momentos positivos (kg/m^2) 0.0

Hormigón Acero Lámina acanalada Conectores Curado

☐ Hormigón preparado en obra ☒ Hormigón premezclado en planta

Vaciado

☒ Con medios manuales

☐ Con grúa

☐ Con bomba

Clase de exposición ambiental, según NEC-11 y ACI 318

Ciclos de congelamiento y deshielo

☒ F0 ☐ F1 ☐ F2 ☐ F3

Resistencia (kg/cm^2)

☐ 170 ☐ 210 ☐ 240

☒ 280 ☐ 310 ☐ 350

Figura 12.7: Losa con lámina metálica o placa colaborante

Fuente: <http://www.ecuador.generadordeprecios.info>

Elaboración: CYPE Ingenieros, S.A.

Unidad	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
Materiales				
m ²	Perfil de lámina de acero galvanizado con forma acanalada, de 0,65 mm de espesor, 50 mm de altura de perfil y 329 mm de interje, 7 a 8 kg/m ² y un momento de inercia de 20 a 30 cm ⁴ . Incluso tornillos autotaladrantes rosca-metal para fijación de las láminas.	1,050	18,21	19,12
Ud	Separador homologado para losas.	3,000	0,08	0,24
kg	Acero en barras corrugadas, Grado 60 (fy=4200 kg/cm ²), de varios diámetros, según NTE-INEN-2167 y ASTM A 706.	1,050	1,26	1,32
kg	Alambre galvanizado para atar, de 1,30 mm de diámetro.	0,029	1,17	0,03
m ²	Malla electrosoldada con alambres longitudinales y transversales de 3,5 mm de diámetro espaciados 15x15 cm, según NTE-INEN-2209 y ASTM A 497.	1,150	1,24	1,43
m ³	Hormigón f _c =280 kg/cm ² (28 MPa), clase de exposición F0 S0 P0 C0, tamaño máximo del agregado 12,5 mm, consistencia blanda, premezclado en planta, según NEC-11 y ACI 318.	0,065	97,67	6,35
Ud	Conector de acero galvanizado con cabeza de disco, de 19 mm de diámetro y 81 mm de altura, para fijar a estructura de acero mediante soldadura a la placa colaborante.	10,000	0,75	7,50
m ³	Agua.	0,005	1,60	0,01
Subtotal materiales:				36,00
Equipo y maquinaria				
h	Equipo y elementos auxiliares para soldadura de conectores.	0,504	17,27	8,70
Subtotal equipo y maquinaria:				8,70
Mano de obra				
h	Montador de estructura metálica.	0,695	7,02	4,88
h	Ayudante montador de estructura metálica.	0,269	4,44	1,19
h	Fierro.	0,038	7,02	0,27
h	Ayudante fierro.	0,037	4,44	0,16
h	Peón de albañil.	0,073	4,05	0,30
h	Maestro de estructura mayor, en el proceso de hormigonado.	0,015	7,02	0,11
h	Ayudante estructurista, en el proceso de hormigonado.	0,063	4,44	0,28
Subtotal mano de obra:				7,19
Herramienta menor				
%	Herramienta menor	2,000	51,89	1,04
miento decenal: \$ 3,18 en los primeros 10 años.		Costos directos (1+2+3+4):		
		52,93		

Figura 12.8: Análisis de precios unitarios para la losa en una dirección con vigas de banda y nervios en sitio

Fuente: <http://www.ecuador.generadordeprecios.info>

Elaboración: CYPE Ingenieros, S.A.

El precio directo estimado para este tipo de losas por metro cuadrado es de 52.93 usd

Este presupuesto se lo puede visualizar directamente en la página:

http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=0|0_0_6|0|EHX005|ehx_005:c3_0_10c6_0_1c7_0_3_0_1_0_5c6_0_3c12_0_8c5_0_1c3_0

12.6 Cubierta de teja común

FORMULARIO B-2
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

DATOS GENERALES					
	Proyecto	:	Cubierta		
	Actividad	:	Cubierta teja comun		
	Cantidad	:	1.00		
	Unidad	:	m2		
	Moneda	:	Dólares		
1. MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
1201210 Clavos	kg	0.25	0.67	0.17	
1201211 Tira de madera de 4x4cm	m	4.00	0.20	0.80	
1201212 Teja artesanal	u	12.50	0.50	6.25	
1201213 Viga de madera tratada 8x8 cm	m	1.00	3.00	3.00	
Total materiales			10.22		
2. MANO DE OBRA					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
1201208 Peón (ESTRUC. OCUP. E2)	Hora	0.70	3.51	2.46	
1201209 Albañil (ESTRUC. OCUP. D2)	Hora	0.70	3.55	2.49	
Total mano de obra			4.94		
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio productivo	Costo total	
Subtotal equipo, maquinaria y herramientas				0.00	
Herramientas 5.00%				0.25	
Total equipo, maquinaria y herramientas				0.25	
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
5. UTILIDAD					
Utilidad = (% de 1+2+3+4)			2.00%	0.31	
Total utilidad				0.31	
6. IMPUESTOS					
Total precio unitario				15.71	
Son: QUINCE 71/100 Dólares					
(*) El proponente deberá señalar los porcentajes pertinentes a cada rubro.					
NOTA.- El proponente declara que el presente Formulario ha sido llenado de acuerdo con las especificaciones técnicas, aplicando las leyes sociales y tributarias vigentes, y es consistente con el Formulario B-3					

Figura 12.9: Análisis de precios unitarios para la cubierta de teja común

Fuente: <http://www.insucons.com/ec>

Elaboración: CYPE Ingenieros, S.A.

Para el análisis se requiere del costo directo, por lo cual no se toma en cuenta el costo total de utilidad del presente APU:

$$\text{Costo directo}(teja_{comun}) = 15.71 - 0.31 = 15.40 \text{ usd.}$$

12.7 Cubierta compuesta por laminas perfiladas galvanizadas de 0.8mm de espesor.

El análisis de precios unitarios se realizó en el generador de precios “CYPE INGENIEROS, SA.” Para Ecuador 2018.

El portal web <http://www.ecuador.generadordeprecios.info> permite realizar estimaciones del costo de elementos estructurales, mediante un análisis de precios unitarios (APU).

Los costos estimados de la cubierta se los obtuvo el día 20/03/2018 de la página web antes mencionada.

Tabla 12.10: APU cubierta de zinc

Cubierta inclinada de lámina perfilada de acero galvanizado , de 0,8 mm de espesor, con una pendiente mayor del 10%.					
Rubro	Unidad	Descripción	Cantidad	Costo unitario	Costo parcial
1		Materiales			
mt13ccg010b	m ²	Lámina perfilada de acero galvanizado, espesor 0,8 mm.	1.100	10.72	11.79
mt13ccg030d	Ud	Tornillo autorroscante de 6,5x70 mm de acero inoxidable, con arandela.	3.000	0.66	1.98
			Subtotal materiales:		13.77
2		Mano de obra			
mo051	h	Montador de fachadas y cubiertas de paneles metálicos.	0.167	5.14	0.86
mo098	h	Ayudante montador de fachadas y cubiertas de paneles metálicos.	0.167	3.14	0.52
			Subtotal mano de obra:		1.38
3		Herramienta menor			
	%	Herramienta menor	2.000	15.15	0.30
Coste de mantenimiento decenal: \$ 4,48 en los primeros 10 años.			Costos directos (1+2+3):		15.45

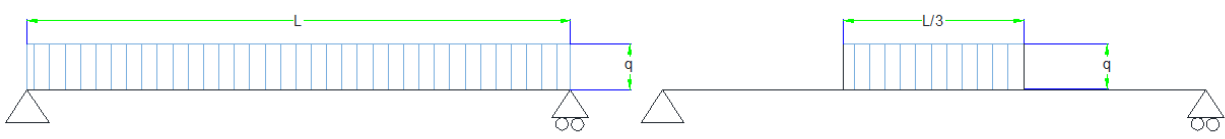
Fuente: <http://www.ecuador.generadordeprecios.info>

Elaboración: CYPE 2018

12.8 ANEXO E: DEFORMACIÓN DE TRABAJO

En este apartado se determinara la carga distribuida equivalente a la carga colocada experimentalmente en los ensayos de flexión, para determinar la deformación producida con la carga de trabajo de los diseños tanto de cubierta como entrepiso.

Tabla 12.11: Relación de momentos según la carga distribuida

	
$M = \frac{q_1 L^2}{8}$	$M = \frac{5q_2 L^2}{72}$
$\frac{q_1 L^2}{8} = \frac{5q_2 L^2}{72}$	
Se despeja la carga distribuida 2 (q_2)	$q_2 = \frac{9q_1}{5}$

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

Para la cubierta:

La carga distribuida de la cubierta obtenida del cálculo de la sección 4.1.1.3 es de $q_1 = 92.692 \frac{kg}{m}$ por lo tanto la carga distribuida (q_2) es $q_2 = 166.85 \frac{kg}{m}$ para obtener la carga colocada en el ensayo de flexión se multiplica por L/3 lo que resulta en un valor de carga de 221.91kg, la deformación producida según la Tabla 6.2: Carga y deformación de la LPF es de 3.77mm

Para el entrepiso:

La carga distribuida del entrepiso obtenido del cálculo de la sección 4.2.1.3 es $q_1 = 329.762 \frac{kg}{m}$ por lo tanto la carga distribuida (q_2) es $q_2 = 593.57 \frac{kg}{m}$ para obtener la carga colocada en el ensayo de flexión se multiplica por L/3 como resultado da un valor de carga de 791.23kg, se interpola la deformación producida en la Tabla 6.4. La deformación es 2.71mm para el entrepiso.

Tabla 12.12: Deformaciones teóricas y experimentales.

	Deformación			
	Teórica (mm)	Simulación (mm)	Ensayo de flexión (mm)	Máxima permitida (mm)[ACI318, tabla 9.5b]
Cubierta (LPF)	3.76	3.62	3.77	8.33
Entrepiso	2.72	2.58	2.71	8.33

Fuente: El autor

Elaboración: El autor

12.9 ANEXO F: Módulo de la sección de la carpeta colaborante analizada como viga

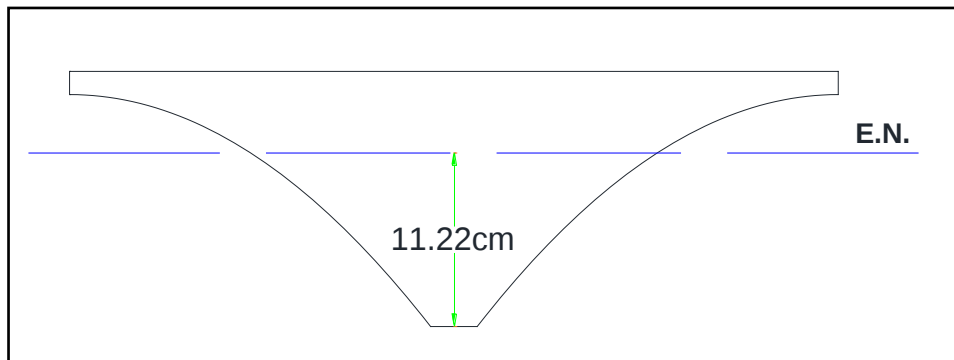


Figura 12.10: Sección transversal de la carpeta colaborante (viga)

Fuente: Autor

Elaboración: Autor

$$W = \frac{I}{yt}$$

Donde:

W = Módulo de sección.

I = Inercia de la sección.

yt = Distancia de la fibra extrema al eje neutro.

La inercia de la viga es: $I = 5950.71 \text{ cm}^4$ y la distancia del eje neutro a la fibra extrema es $yt = 11.22 \text{ cm}$

$$W = \frac{5950.71 \text{ cm}^4}{11.22 \text{ cm}} = 5.3037 \times 10^{-8} \text{ m}^3$$