



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

Estudio del comportamiento estructural de una losa de hormigón de 3cm de espesor sobre Cresta de Placa Colaborante de STEEL panel y valles rellenos de Poliestireno expandido ante cargas puntuales y vibración.

AUTORES:

**Neira Conforme Pierre Josué
Parodi Pileggi Renato Guiseppi**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERÍA CIVIL**

TUTOR:

Ing. Cali Proaño, Ángela Francisca Mgs.

Guayaquil, Ecuador

28 de febrero del 2023



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Pierre Josué Neira Conforme y Renato Guiseppi Parodi Pileggi**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Civil**

TUTORA



Firmado electrónicamente por:
**ANGELA FRANCISCA
CALI PROANO**

f. _____

Ing. Ángela Francisca Cali Proaño

DIRECTOR DE LA CARRERA



Firmado electrónicamente por:
**STEFANY ESTHER
ALCIVAR BASTIDAS**

f. _____

Ing. Stefany Alcívar Bastidas, Msc.

Guayaquil, a los 28 del mes de febrero del año 2023.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

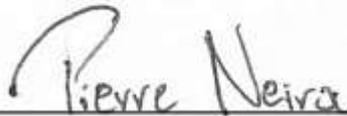
Nosotros: **Pierre Josué Neira Conforme y Renato Guiseppi Parodi Pileggi**

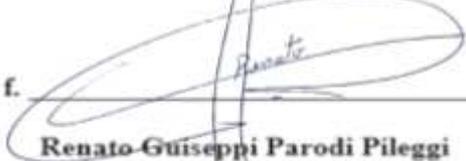
DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación: **Estudio del comportamiento estructural de una losa de hormigón de 3cm de espesor sobre Cresta de Placa Colaborante de STEEL panel y valles rellenos de Poliestireno expandido ante cargas puntuales y vibración**, previo a la obtención del título de **Ingeniería Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 28 días del mes de febrero del año 2023

EL AUTOR
f. 
Pierre Josué Neira Conforme

EL AUTOR
f. 
Renato Guiseppi Parodi Pileggi



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

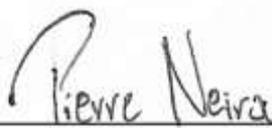
AUTORIZACIÓN

Nosotros: **Pierre Josué Neira Conforme** y **Renato Guiseppi Parodi Pileggi**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **estudio del comportamiento estructural de una losa de hormigón de 3cm de espesor sobre cresta de placa colaborante de steel panel y valles rellenos de poliestireno expandido ante cargas puntuales y vibración**, previo a la obtención del título de **Ingeniería Civil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 28 del mes de febrero del año 2023

AUTORES:

f. 
Pierre Josué Neira Conforme

f. 
Renato Guiseppi Parodi Pileggi



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Firmado electrónicamente por:
**ANGELA FRANCISCA
CALI PROANO**

f. _____

Ing. Cali Proaño, Angela

TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**STEFANY ESTHER
ALCIVAR BASTIDAS**

f. _____

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany

DIRECTORA DE LA CARRERA



Firmado electrónicamente por:
**JAIME FRANCISCO
HERNANDEZ BARREDO**

f. _____

Ing. Hernández Barredo, Jaime

DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Barros Cabeza, José Andrés

OPONENTE

REPORTE URKUND

Document Information

Analyzed document	Tesis_Neira_Parod- FINAL 3 - RECOGE OBSEVACIONES.docx (D160072307)
Submitted	2023-03-04 17:35:00
Submitted by	
Submitter email	angela.cali@cu.ucsg.edu.ec
Similarity	0%
Analysis address	angela.cali.ucsg@analysis.orkund.com

Sources included in the report

Entire Document



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte de mi vida y han influido de alguna manera en la realización de este trabajo. A mi madre Laura, que siempre ha estado ahí para apoyarme en cada paso que he dado, a pesar de las dificultades y los desafíos. Gracias por ser mi fuerza y mi luz en los momentos difíciles. A novia Yolanda, que ha sido mi fuente de inspiración, motivación y alegría durante todo este proceso. Gracias por sus palabras de aliento, por escucharme cuando lo necesitaba y por creer en mí cuando yo mismo perdía la fe. También agradezco a todos aquellos que han formado parte de mi historia, por enseñarme lecciones valiosas y por ser una parte importante en mi formación como persona y como profesional. Gracias a todos por ser una parte fundamental en este logro y por hacer de este trabajo una experiencia inolvidable.

Pierre Josué Neira Conforme

Primero agradezco a Dios por darme la oportunidad de graduarme con la promoción que comencé el inicio de este ciclo universitario, agradezco a mi esposa Camila Núñez por el apoyo incondicional que me da cada día, a pesar de los problemas que se nos presentaron estuvo siempre a mi lado nunca dejándome caer, a mi hija por darme la felicidad más grande de este mundo que es ser padre, te amo mi reina. También agradezco a mi madre por recibir a todos mis amigos, por aguantar malas noches conmigo alado, por siempre darme ese apoyo moral cuando más lo necesitaba, aconsejándome para tomar buenas decisiones, le agradezco por ser mi madre y a pesar de todo nunca dejar de amarme. Agradezco a mi padre por nunca dejarme solo cuando más lo necesitaba, por recibirme siempre con los brazos abiertos. Por último, le agradezco a mis amigos con los que pasamos tantos momentos agradables, los cuales extrañare por el resto de mi vida, los llevare siempre en el corazón.

Renato Guiseppi Parodi Pileggi

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a tres mujeres muy especiales en mi vida: mi abuela Alba, mi abuela Alcira y mi madre Laura, quienes siempre han sido una fuente de inspiración y motivación en mi vida. También, quiero dedicarle este trabajo a mi novia Yolanda y a su familia. A ellos, que hoy son también mi familia, por haber creído en mí desde el principio, por todo su amor y apoyo en los momentos más difíciles, su presencia ha sido una bendición que siempre llevaré en mi corazón y espero que este trabajo sea una forma de agradecer a la familia que me ha acogido con tanto cariño y generosidad. Esta tesis es una muestra de mi dedicación, pasión y compromiso en mi campo de estudio. Espero que este trabajo pueda contribuir al avance del conocimiento en mi área y que pueda ser de utilidad para otros investigadores en el futuro.

Pierre Josué Neira Conforme

Dedico mi tesis a mi esposa e hija por su incondicional apoyo día a día a lo largo de mi carrera, por entender los sacrificios que tuve que hacer para poder salir adelante, a mi madre por amarme siempre a pesar de no comportarme bien en algunas ocasiones, por recibir a mis amigos con los brazos abiertos, por ser una mujer luchadora que nunca se rindió, que siempre nos entregó lo mejor de ella, te amo madre. Le dedico la tesis especialmente a mi padre por ser mi guía y me apoyo a lo largo de mi vida académica y personal, por esas noches sin dormir por ayudarme en las tareas, gracias por todo el sacrificio que hiciste a lo largo de mi vida. Los amo a todos.

Renato Guiseppi Parodi Pileggi

INDICE

CAPÍTULO I – ASPECTOS GENERALES	2
1.1. Introducción	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcance y limitaciones	4
CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de históricos	5
2.2. Materiales empleados	7
2.2.1. Cemento	7
2.2.2. Aditivos.....	9
2.2.3. Poliestireno expandido	11
2.2.4. Steel Panel	12
2.2.5. Malla Electrosoldada.....	13
2.3. Elementos estructurales.....	13
2.3.1 Losa.....	13
2.4. Mecanismos de fallos estructurales.....	16
2.4.1 Flexión.....	16
2.4.2 Corte.....	17
2.5. Carga sísmica.....	18
2.5.1. Factores que dependen de la carga sísmica	19
2.5.2. Ventajas de disminuir la carga muerta en estructuras	20

CAPÍTULO III – DESARROLLO METODOLÓGICO	22
3.1. Estudio económico	22
3.1.1. Generalidades	22
3.1.2. Consideraciones.....	22
3.1.3. Análisis de precios unitarios.....	23
3.2. Trabajos de campo	26
3.2.1. Fundición de losas	27
3.2.2. Toma de muestra de cilindros de hormigón.....	35
3.3. Pruebas y ensayos	39
3.3.1. Ensayo de Cilindros de hormigón	39
3.3.2. Ensayo de flexión	44
CAPÍTULO IV – RESULTADOS.....	49
4.1 Resultados de la ruptura de los cilindros de hormigón	49
4.1.1. Losa de 210, espesor de 12cm	49
4.1.2. Losa de 350, espesor 3cm	50
4.2.2. Demostración del comportamiento lineal de la losa hasta los 2500 Kg .	51
4.3. Ensayos a flexión	53
4.3.1. Interpretación del grafico losa de 3cm	53
4.3.2. Resultados del ensayo físico	55
4.4 Capacidad a cortante de la losa de 3 cm.....	60
4.4.2. Cálculo de flujo cortante losa de 3 cm análisis experimental.	61
4.4.3. Cálculo de flujo cortante losa de 3 cm análisis teórico	61
4.4.5. Cálculo de esfuerzo a flexión máximo sin la losa colaborante.....	62

4.3.4. Ecuación de la recta de ajuste del grafico	63
4.3.5. Interpretación del grafico losa de 210	64
4.3.6. Resultado del ensayo físico.....	65
4.3.7. Cálculo del momento resistente de la losa de 12 cm	68
4.4 Capacidad a cortante de la losa de 12 cm	69
Ilustración 50 área que colabora con el cortante (METALCO, 2018).....	69
4.3.7. Ecuación de la recta de ajuste del grafico	70
4.5. Análisis Comparativo	71
4.5.1 Comparación de Costos	71
4.5.2 Comparación de resultados de esfuerzos en losas obtenidos en los ensayos de laboratorio.....	74
CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1. Conclusiones	75
5.2. Recomendaciones.....	76
Referencias.....	77

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Propiedades de las láminas de Metaldeck. (Acesco, 2022)	12
Ilustración 2 Curvas tensión - Deformación. (Arnaez Cantero, Rodrigo, 2021)	16
Ilustración 3 Progresión de fisuras por cortante. (Toirac Corral, J., 2004) ...	17
Ilustración 4 A.P.U. Losa aligerada de 3cm. Autoría Propia.	24
Ilustración 5 A.P.U. Losa convencional de 12cm. Autoría Propia.	25
Ilustración 6 Materiales a utilizar en sitio. Autoría Propia.....	26
Ilustración 7 Corte de los bloques de poliestireno a medida. Autoría Propia	28
Ilustración 8 Material cortado a medida y listo para el montaje. Autoría Propia	28
Ilustración 9 Colocación de los bloques de poliestireno en los valles del Steel Panel. Autoría Propia.....	29
Ilustración 10 Colocación del encofrado a cada losa. Autoría Propia.	29
Ilustración 11 Colocación de la malla electrosoldada. Autoría Propia.....	30
Ilustración 12 Montaje de la losa de 12cm. Autoría Propia.	30
Ilustración 13 Dosificación de aditivo por peso del cemento. (Holcim, 2022)	31
Ilustración 14 Dosificación para 1m ³ de hormigón. (Holcim, 2022).....	31
Ilustración 15 Vertido de concreto. Autoría Propia.....	32
Ilustración 16 Desencofrado losa de 3cm. Autoría Propia.	33
Ilustración 17 Mezcla de componente. Autoría Propia.....	33
Ilustración 18 Vertido de concreto sobre encofrado, Autoría Propia.	34
Ilustración 19 Desencofrado de losa. Autoría Propia.....	34
Ilustración 20 Curado de losa, Autoría Propia.....	34

Ilustración 21 Vertido de concreto en los cilindros, Autoría Propia.	35
Ilustración 22 Varillaje en los cilindros, Autoría Propia.	36
Ilustración 23 Vertido de concreto en cono de Abrams. Autoría Propia.	37
Ilustración 24 Retiro de molde de primer cono. Autoría Propia.	37
Ilustración 25 Retiro de molde de primer cono. Autoría propia.	38
Ilustración 26 Medición de asentamiento. Autoría Propia.	38
Ilustración 27 Prueba. Autoría Propia.	43
Ilustración 28 Esquema de los modelos típicos de fractura. (NTE INEN 1 573, 2010).....	43
Ilustración 29 Ensayo de flexión. Autoría Propia,.....	45
Ilustración 30 Ensayo a flexión con gato hidráulico de 15 ton. Autoría Propia.	45
Ilustración 31 Ensayo a flexión con gato hidráulico de 5 ton. Autoría Propia.	46
Ilustración 32 Deformímetro mecánico. Autoría Propia.....	48
Ilustración 33 Cuadro de resistencias. Autoría Propia	49
Ilustración 34 Cuadro de resistencias. Autoría Propia	50
Ilustración 35 Detalle de losa. Autoría Propia.	51
Ilustración 36 Grafica curva esfuerzo-deformación. Autoría Propia	53
Ilustración 37 Ensayo a flexión. Autoría Propia	55
Ilustración 38 Ensayo a flexión. Autoría Propia	55
Ilustración 39 Ruptura de losa. Autoría Propia.....	56
Ilustración 40 Verificación de si presento desplazamiento. Autoría Propia. .	57
Ilustración 41 Deformaciones visibles en el Steel panel. Autoría Propia	58

Ilustración 42 Detalles de la losa. (DIPAC, 2022)	59
Ilustración 43 Sección transversal de la losa. Autoría Propia	59
Ilustración 44 Grafica de curva fuerza-deformación. Autoría Propia.....	63
Ilustración 45 Grafico de Curva Fuerza-Deformación. Autoría Propia.	64
Ilustración 46 Ensayo a flexión losa 210. Autoría Propia	65
Ilustración 47 Ruptura losa 210. Autoría Propia.....	66
Ilustración 48 Verificación de si presento desplazamiento. Autoría Propia..	66
Ilustración 49 Elemento a punto de ruptura. Autoría Propia.	67
Ilustración 50 Ilustración 50 Cortante (METALCO, 2018)	69
Ilustración 51 Grafica de Curva Fuerza-Deformación. Autoría Propia.	70
Ilustración 52 Porcentajes de construcción en la construcción de un metro cuadrado de la losa de 3cm. Autoría Propia.	72
Ilustración 53 Porcentajes de construcción en la construcción de un metro cuadrado de la losa de 12cm. Autoría Propia.	72
Ilustración 54 Valores comparativos de losas. Autoría Propia.	73
Ilustración 55 Grafica curva fuerza-deformación. Autoría Propia.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de los aligerantes comúnmente utilizados. Autoría propia...	15
Tabla 2 Cuadro de rendimiento y proporciones, Holcim Ecuador Planta San Eduardo. (Holcim, 2022)	32
Tabla 3 Cuadro de dosificación del hormigón 210. (Holcim, 2022)	33
Tabla 4 Resumen de costos. Autoría Propia.	71

RESUMEN

El presente estudio de titulación se centra en analizar el comportamiento estructural de las losas Steel Panel de 3 cm de espesor, que están compuestas de hormigón sobre la cresta y de valles tapados con poliestireno expandido. Para ello, se han sometido estas losas a cargas puntuales y se ha llevado a cabo un análisis comparativo con las losas colaborantes tipo de 12 cm de espesor. Con el fin de obtener datos precisos, se han fabricado tres especímenes de losas colaborantes de 3 cm y otros tres de 12 cm. Estos especímenes han sido ensayados en el laboratorio, sometiéndolos a cargas puntuales para realizar un análisis a flexión y cortante del elemento, midiendo la resistencia máxima de las losas y las deflexiones que cada una de ellas sufrió.

Los resultados obtenidos de este análisis demuestran que las losas colaborantes de 3 cm de espesor soportan una carga aproximada de 3 toneladas, pero llegan a la ruptura como una falla frágil y con grietas a flexión, con deflexiones muy pequeñas, aproximadamente de 6 mm. En cambio, las losas colaborantes de 12 cm demostraron una falla dúctil y presentaron grietas por cortante. Los datos obtenidos de este estudio son de gran relevancia, ya que permiten conocer el comportamiento de estas losas colaborantes y comparar su resistencia y durabilidad en diferentes circunstancias de carga y tensiones.

Palabras clave: Losas Aligeradas, Poliestireno Expandido, Resistencia a la Compresión, Materiales de Construcción, Refuerzo Estructural.

ABSTRACT

The present degree study focuses on analyzing the structural behavior of the 3 cm thick Steel Panel slabs, which are composed of concrete on the ridge and valleys covered with expanded polystyrene. To do this, these slabs have been subjected to specific loads and a comparative analysis has been conducted with the 12 cm thick collaborating slabs. To obtain accurate data, three specimens of collaborating slabs of 3 cm and another three of 12 cm have been manufactured. These specimens have been evaluated in the laboratory, subjecting them to specific loads to perform a bending and cutting analysis of the element, measuring the maximum resistance of the slabs and the deflections that each of them suffered.

The results obtained from this analysis show that the collaborating slabs 3 cm thick support an approximate load of three tons, but reach the rupture as a fragile fault and with bending cracks, with small deflections, approximately 6 mm. On the other hand, the 12 cm collaborating slabs demonstrated a ductile failure and had cracks for cutting. The data obtained from this study are of great relevance since they allow us to know the behavior of these collaborating slabs and compare their strength and durability in different load and stress circumstances.

Keywords: Light Slabs, Expanded Polystyrene, Compressive Strength, Construction Materials, Structural Reinforcement.

CAPÍTULO I – ASPECTOS GENERALES

1.1. Introducción

En el auge de la construcción en acero en la ciudad de Guayaquil se introducen las placas colaborantes como sistemas de pisos en las estructuras con el propósito de disminuir peso en las edificaciones, ahorrar tiempo de construcción, y economizar los proyectos mejorando la eficiencia de los proyectos civiles en nuestro país. La losa colaborante ya lleva varios años en el mercado nacional, se ha hecho de uso común por varios constructores ya que facilita mucho el armado de las losas.

La norma del ACI-18 indica que el espesor mínimo en las losas colaborantes es de 10 centímetros lo que implica un peso alrededor de $200 \frac{kg}{m^2}$, como se sabe la fuerza sísmica es proporcional a la masa, lo que hace que haya mayor fuerza actuando sobre la estructura. A finales de los años 70 con la teoría sismo – resistente, se llegó a la conclusión de que es mejor rigidizar las estructuras que flexibilizarlas, para resistir las fuerzas sísmicas, por eso si mayor es el peso de la losa se tendría que diseñar con mayor rigidez los elementos, lo que incrementaría los recursos económicos del proyecto.

Ecuador es un país el cual está ubicado en encima del cinturón de fuego del pacifico, por eso es que nuestro país es activamente sísmico dado a que la placa de Nazca se desliza por debajo de la placa sudamericana y estas se encuentran bloqueadas, es decir no tiene un libre movimiento, cuando se supera el límite de resistencia de la corteza terrestre las placas saltan, soltando fuerzas energéticas las cuales viajan por el suelo y estas son absorbidas por la estructura, la cual se diseña de acuerdo a la NEC-15 para actuar de manera satisfactoria frente a estas condiciones sismológicas. Por lo

tanto, el propósito de esta investigación es reducir los espesores de la losa colaborante bajando considerablemente el peso de la edificación buscando economía en los proyectos y reducir pesos muertos importantes en la estructura.

La presente propuesta de investigación ha sido elaborada para realizar el estudio estructural de una alternativa de losa de hormigón con placa colaborante de Steel panel, como solución para proyectos constructivos, disminuyendo el peso muerto en la estructura y por ende economizar la obra. En el campo de la construcción se prefiere el uso de losas de hormigón con placa colaborante por los beneficios que este sistema permite, sobre el ahorro de tiempo, ahorro en mano de obra, y por lo tanto ahorro en costo. En la actualidad se considera a las placas colaborantes como un material de construcción altamente confiable y efectivo; por lo que se observa su implementación en obras sencillas tales como ampliaciones, cubiertas, pisos intermedios de edificios y en otros de mayor complejidad incluso en aquellas donde se requiere diseños para cargas de tráfico como puentes peatonales, parqueaderos, etc.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Estudiar el comportamiento estructural de una losa de hormigón de 3cm de espesor sobre la cresta de placa colaborante de steel panel ante cargas puntuales, para proponer una alternativa de losas aligeradas, para la reducción de carga muertas en las infraestructuras.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Realizar ensayos a flexión por medio de una carga puntual en laboratorio para determinar el comportamiento a estudiar con placa colaborante.

2. Analizar el cortante en la losa por medio del ensayo a flexión en laboratorio.
3. Establecer la comparación entre el comportamiento estructural de una losa con placa colaborante de hormigón y poliestireno expandido frente a losa de hormigón con placa colaborante tipo de 12 cm.

1.3. Alcance y limitaciones

La investigación está basada en realizar un ensayo a las losas de concreto, las cuales estas conformadas por 3 losas con Steel panel de 12 centímetros de espesor con una resistencia a la compresión de $210 \frac{kg}{cm^2}$ y 3 losas de 3 centímetros de espesor con una resistencia a la compresión de $350 \frac{kg}{cm^2}$. Se comparará la capacidad de ambas losas a partir de los datos procesados de los ensayos, de los cuales se obtendrán los resultados finales, esto hará que se pueda lograr tener una comparativa de resistencia y económica entre ambos tipos de losas para cumplir satisfactoriamente con su función. Se realizarán ensayos para medir la capacidad de las losas, estos son:

- Ensayo a flexión
- Análisis de cortante por medio del ensayo a flexión

Se realizarán ensayos de laboratorio haciendo rupturas de cilindros de hormigón para verificación de la resistencia a compresión del hormigón requerida para el estudio, de acuerdo con lo que establece la NTE-INEN.

CAPÍTULO II – MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de históricos

Las losas aligeradas son estructuras compuestas por bloques de materiales livianos y una losa de concreto armado, diseñadas para reducir el peso y mejorar la eficiencia estructural de las losas convencionales. El concepto de losas aligeradas se ha utilizado en la construcción de edificaciones desde hace varias décadas, y ha sido objeto de numerosos estudios teóricos y experimentales en todo el mundo. (Castaño,B., 2011)

Uno de los antecedentes más importantes de la investigación sobre losas aligeradas se remonta a los años 60, cuando los investigadores comenzaron a estudiar los efectos de los bloques aligerantes en la eficiencia y economía de las losas. En 1962, B. E. Norberg publicó un estudio experimental sobre losas aligeradas utilizando bloques de arcilla expandida, en el que se evaluó la resistencia y deformación de diferentes tipos de bloques, y se comparó la eficiencia de las losas aligeradas con las losas convencionales. Los resultados indicaron que las losas aligeradas eran más eficientes y económicas que las losas convencionales, y proporcionaban una mejor calidad térmica y acústica en las edificaciones. (Norberg, B.E., 1962)

Desde entonces, se han realizado numerosos estudios teóricos y experimentales sobre losas aligeradas, en los que se han evaluado diferentes aspectos de su comportamiento estructural y su eficiencia. En 1986, D. L. Carrilero publicó un estudio en el que se analizó el comportamiento de losas aligeradas con bloques de poliestireno expandido, en el que se evaluó la resistencia y deformación de la losa bajo cargas estáticas y dinámicas. Los resultados indicaron que las losas aligeradas eran capaces

de soportar cargas equivalentes a las de las losas convencionales, pero con un peso mucho menor.

En 1998, J. C. Arango publicó un estudio experimental en el que se evaluó el comportamiento de losas aligeradas con bloques de poliestireno expandido bajo cargas estáticas y dinámicas. Los resultados mostraron que las losas aligeradas eran capaces de soportar cargas equivalentes a las de las losas convencionales, y proporcionaban una mejor calidad térmica y acústica en las edificaciones.

En 2005, J. P. Regan y M. R. Halling publicaron un estudio sobre losas aligeradas con bloques de poliestireno expandido en el que se evaluó el comportamiento estructural de las losas bajo diferentes cargas. Los resultados mostraron que las losas aligeradas con bloques de poliestireno expandido tienen una capacidad de carga y rigidez comparables a las losas convencionales, pero con una reducción significativa en el peso. Además, el estudio mostró que la resistencia a la flexión de las losas aligeradas mejoró al aumentar el espesor de la losa. (Regan, J. P. & Halling, M. R, 2005)

En los últimos años, se han llevado a cabo numerosos estudios sobre losas aligeradas con bloques de poliestireno expandido, con el objetivo de analizar su comportamiento estructural y evaluar su eficiencia en diferentes aplicaciones. Uno de estos estudios fue realizado por A. M. El Damatty y M. A. K. Alostha en 2014, en el que se evaluó el comportamiento de losas aligeradas con bloques de EPS de diferentes dimensiones y densidades, y se comparó su eficiencia con la de las losas macizas. Los resultados mostraron que las losas aligeradas presentan una mayor eficiencia en términos de peso, resistencia y capacidad de carga, lo que las hace una opción atractiva para la construcción de edificios de varios pisos. (Regan, J. P. & Halling, M. R, 2005)

En 2016, A. Al-Saoudi y M. N. Akhtar realizaron un estudio en el que se analizó el comportamiento estructural de losas aligeradas con bloques de EPS bajo cargas estáticas y dinámicas, y se evaluó la influencia de diferentes factores como el espesor de la losa, la separación entre los bloques y la densidad del EPS. Los resultados mostraron que las losas aligeradas presentan una alta eficiencia en términos de resistencia, rigidez y capacidad de carga, y que los bloques de EPS son capaces de soportar cargas dinámicas sin sufrir daños significativos.

En otro estudio realizado por R. J. Placencia-Álvarez et al. en 2018, se evaluó el comportamiento de losas aligeradas con bloques de EPS bajo cargas sísmicas, con el objetivo de analizar su respuesta ante eventos sísmicos y su capacidad de amortiguar las vibraciones generadas por el sismo. Los resultados mostraron que las losas aligeradas presentan una alta capacidad de amortiguamiento sísmico, lo que las hace una opción interesante para la construcción de edificios en zonas de alta actividad sísmica.

En resumen, los estudios realizados en los últimos años demuestran que las losas aligeradas con bloques de poliestireno expandido presentan una alta eficiencia en términos de resistencia, capacidad de carga y amortiguamiento sísmico, lo que las convierte en una opción atractiva para la construcción de edificios de varios pisos y en zonas de alta actividad sísmica.

2.2. Materiales empleados

2.2.1. Cemento

El cemento es un material de construcción utilizado para unir otros materiales, como arena, grava y agua, para formar concreto y mortero. El cemento, por lo general es un polvo fino de color grisáceo o beige, fabricado a partir de minerales calcáreos,

como piedra caliza, arcilla y la pizarra, que se someten a altas temperaturas en un horno, se presentan en bolsas o sacos. El cemento es un material hidráulico, lo que significa que fragua y se endurece cuando se mezcla con agua, formando una pasta que se adhiere y se solidifica con el tiempo. Los tipos de cemento más comunes son el cemento Portland, el cemento blanco, el cemento de alta resistencia, el cemento de fraguado rápido y el cemento resistente a los sulfatos (NTE INEN 1 573, 2010)

2.2.1.1 Cemento Holcim Fuerte GU

El cemento Holcim Fuerte GU es un tipo de cemento Portland de alta resistencia utilizado en una amplia variedad de aplicaciones de construcción que requieren un material fuerte y duradero. Tiene una alta resistencia inicial y final, lo que significa que se endurece rápidamente y mantiene su resistencia con el tiempo. Además de su alta resistencia el cemento Holcim Fuerte GU tiene otras características importantes, como un bajo contenido de cloruro y sulfato, lo que lo hace resistente a la corrosión y adecuado para su uso en ambientes marinos y costeros.

El cemento Holcim Fuerte Tipo GU cumple con lo establecido en la Norma NTE INEN 2380 como un cemento Tipo GU para uso general. (Holcim, 2022)

2.2.1.2 Cemento Holcim Premium tipo HE

El cemento Holcim Premium Tipo HE es un tipo de cemento Portland de alta calidad que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones de construcción. Tiene una alta resistencia a la compresión, lo que significa que puede soportar cargas pesadas sin deformarse ni colapsar. También tiene otras características importantes, como un bajo contenido de cloruro, sulfatos y álcalis, lo que lo hace adecuado para su uso en concreto expuesto a ambientes agresivos y con altas temperaturas. (Holcim, 2022)

Holcim Premium Tipo HE es un cemento hidráulico de alta resistencia inicial y final, fabricado bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2380 que equivale a la Norma ASTM 1157. Por esto tiene un impacto ambiental bajo dando como resultado el uso eficiente de las materias primas, y nos permite alcanzar mezclas más resistentes a todas las edades. (NTE INEN 2380, 2011)

2.2.2. Aditivos

Los aditivos se utilizan en la construcción para optimizar el rendimiento de los materiales y mejorar su calidad. Así mismo estos pueden ayudar a reducir los costos, mejorar la eficiencia y la productividad, reducir los plazos de construcción, mejorar la calidad de la obra y reducir el impacto ambiental de la misma en ciertas ocasiones.

2.2.2.1 SikaFiber

SikaFiber se utiliza como aditivo para el concreto para mejorar su resistencia y durabilidad, al tiempo que reduce el fisuramiento que se produce cuando se contrae el concreto, también mejora su capacidad de resistir el desgaste, la abrasión y mejora su capacidad de soportar cargas y tensiones. Está compuesto por fibras sintéticas cortas y delgadas que se mezclan con el concreto durante el proceso de mezcla para mejorar sus propiedades mecánicas, como su resistencia, haciendo que sufra menos deformaciones en sus partículas y también mejora el rendimiento de la mezcla. (SIKA, 2019)

2.2.2.2 Sika MCI 2005

Sika MCI 2005 es un inhibidor de corrosión para concreto, se utiliza para proteger las placas colaborantes que se usan en las losas Steel panel contra la corrosión, entendiendo así la vida útil del concreto. El producto funciona al formar una capa protectora en la superficie del metal de la losa colaborante, evitando que el agua y el

oxígeno penetre en el concreto y desencadenen procesos de corrosión tanto en ánodo como cátodo de las partículas. El aditivo Sika MCI 2005 también es capaz de migrar a través del concreto, alcanzando áreas de refuerzo que podrían estar protegidas. (SIKA, 2019)

2.2.2.3 Plastiment -200 R

Plastiment-200 R, es un superplastificante retardante que se utiliza para mejorar la trabajabilidad y la consistencia del concreto, por la relación agua-cemento, permitiendo una mayor reducción en la cantidad de agua necesaria para determinada consistencia, es decir que se usara menos cemento y de esta manera se economiza el diseño. Este aditivo puede mejorar la resistencia, la durabilidad y la cohesión del concreto, y también reduce el tiempo de fraguado, lo que permite una mayor productividad en la obra. (SIKA, 2019)

2.2.2.4 Sikament – 115

Sikament-115 es un aditivo reductor de agua de alta eficiencia para el concreto. Este aditivo se usa para mejorar la trabajabilidad del concreto sin aumentar la cantidad de agua, lo que resulta en una mayor resistencia y durabilidad del concreto final. Sikament-115 está hecho a base de resinas sintéticas, de esta manera mejorando la cohesión, reduciendo la segregación y la exudación del concreto. Además, Sikament-115 es compatible con otros aditivos, es decir que puede ser utilizado en combinación con otros productos, para lograr resultados más específicos de trabajabilidad y resistencia. (SIKA, 2019)

2.2.2.5 Plastocrete DM

Plastocrete es un aditivo para concreto, funciona como reductor de agua y mejorador de la trabajabilidad sin la necesidad de agregar más agua. Este aditivo actúa

como un plastificante e impermeabilizante a base de no sulfatos, no siendo tóxico para el medio ambiente ni inflamable. Plastocrete DM puede mejorar la fluidez y la cohesión del concreto, lo que resulta en una mayor resistencia, durabilidad y una gran reducción de la permeabilidad del concreto final, lo que lo hace adecuado para su uso en ambientes agresivos. (SIKA, 2019)

2.2.2.6 Sikafume

Sikafume es una ceniza microsilica, también conocida como humo sílice, color gris, que se utiliza para mejorar las propiedades mecánicas y químicas del concreto, como su resistencia, durabilidad, impermeabilidad y resistencia a la corrosión. Sikafume actúa como un filler, llenando los espacios vacíos en la mezcla de concreto y mejorando su densidad y resistencia. Este aditivo es especialmente útil en la producción de concreto de alta resistencia y en la reparación de estructuras de concreto dañadas. (SIKA, 2019)

2.2.3. Poliestireno expandido

El poliestireno expandido es un material plástico celular, hecho de pequeñas perlas de poliestireno que se expanden mediante vapor de agua y se fusionan juntas. Se utiliza a menudo en losas como material de relleno o encofrado perdido para mejorar el rendimiento. Este se usa comúnmente en losas aligeradas, que son losas que tienen una estructura interna de vigas y bloques de poliestireno expandido, lo que reduce su peso y su carga sobre la estructura de soporte. El bloque de poliestireno expandido es un material económico y fácil de trabajar. Las losas con estos bloques tienen varias ventajas, como un menor peso, mayor aislamiento térmico y acústico en comparación con las losas convencionales y debido a que es un material fácil de

trabajar y cortar, permite una instalación más rápida y precisa. (Gbonegun, Victor, 2019)

2.2.4. Steel Panel

La losa colaboradora steel panel es un sistema de techos y pisos que combina la losa de concreto con paneles de acero en una estructura colaborante. Las losas colaborantes es una alternativa a las convencionales de concreto que proporciona una mayor eficiencia en el uso de los materiales y una reducción significativa en el peso de la estructura. La estructura colaboradora se compone de paneles de acero conectados entre sí mediante conectores mecánicos y una losa de concreto que se coloca sobre los paneles de acero. (Acesco, 2022)

La función principal de una losa colaboradora es proporcionar una estructura de piso y techo resistente y segura, capaz de soportar cargas en sus aplicaciones específicas. Los sistemas colaboradores permiten reducir el espesor de la losa de concreto ya que los paneles de acero garantizan un gran soporte, lo que reduce el peso de la estructura y el material necesario, lo que puede resultar en una mayor eficiencia en cuanto a tiempo y costo. Además, las lasas colaborantes tienen una gran capacidad de cumplir con los requisitos de aislamiento térmico y acústico sostenible, gracias a la capacidad de poder agregar diferentes tipos de materiales aislantes en su construcción, siendo ideales para proyectos de construcción. (Acesco, 2022)

PROPIEDADES DE LA LAMINA DE METALDECK	
Punto de fluencia mínimo	38ksi (260Mpa)
Resistencia última	55ksi (3580Mpa)
Ancho útil	1000 mm
Recubrimiento en Zinc	Galvanizada

Ilustración 1 Propiedades de las láminas de Metaldeck. (Acesco, 2022)

2.2.5. Malla Electrosoldada

La malla electrosoldada es un tipo de malla metálica fabricada mediante un proceso de soldadura eléctrica. Está compuesta por varillas de acero corrugado o liso que se sueldan entre sí en puntos de intersección. Se usa comúnmente en la construcción como refuerzo para estructuras de concreto y otros elementos estructurales. Se coloca dentro del concreto antes de que se vierta y ayuda a distribuir las cargas y las tensiones a lo largo de la estructura, aumentando su resistencia y durabilidad. La malla usada cumple con las normas técnicas NTE INEN 2167. (Adelca, 2022)

Es importante asegurarse de que esté colocada en posición adecuada y bien fijada. La malla debe estar completamente rodeada por el concreto y no debe estar demasiado cerca de la superficie de la losa. Además, se debe tener en cuenta el tamaño de la malla y la distancia entre las varillas para asegurarse de que se cumplan las especificaciones del diseño estructural. (Al-Saoudi, A. & Akhtar, M. N., 2016)

2.3. Elementos estructurales

2.3.1 Losa

Una losa de hormigón armado es un elemento estructural esencial y se utiliza para proporcionar superficies planas en las construcciones, generalmente horizontal y de espesor constante, cuya superficie inferior y superior son paralelas entre sí. Las losas son causantes de soportar las cargas verticales y distribuir las fuerzas horizontales. Esta se extiende entre los apoyos y debe reforzarse para resistir los momentos de flexión calculados a partir de la estática en función de la magnitud de la carga y la luz. Las losas generalmente se clasifican en losa en una dirección y losa en dos direcciones. El primero se apoya en dos lados y la relación de luces largas a cortas

es mayor que dos. Sin embargo, este último se apoya en cuatro lados y la relación de luz larga a corta es menor que dos.

2.3.1.1 Losa aligerada

La losa aligerada es un tipo de losa que se caracteriza por tener secciones transversales huecas o aligeramientos, que permiten reducir el peso propio de la losa y mejorar su capacidad de carga. Los aligeramientos pueden ser de diferentes formas, como huecos rectangulares o en forma de T invertida, y pueden estar dispuestos en forma regular o irregular en la losa. Las losas aligeradas son adecuadas para la construcción de techos, entrepisos y plataformas de edificios residenciales, comerciales e industriales y pueden ser construidas con diferentes materiales, como concreto, bloques de poliestireno expandido, entre otros. (Rodriguez, A., 2015)

2.3.1.1.1 Losas aligerada de poliestireno en una dirección

Las losas aligeradas en una dirección con poliestireno son un tipo de losa que utiliza bloques de poliestireno expandido como material de relleno para reducir el peso de la estructura y aumentar su capacidad de carga. Estas losas tienen nervios unidireccionales que se extienden en la dirección principal de carga y están reforzadas con acero. El poliestireno se usa como relleno en los espacios entre los nervios para reducir la cantidad de concreto necesario y, por lo tanto, disminuir el peso total de la estructura. Esto las hace más económicas y fáciles de construir. (Portillo Reynoso, Jose David, 2009)

En este tipo de losas se busca disminuir el peso de las losas de entrepiso. Con el poliestireno se consigue un peso propio del sistema menor que el de una losa de concreto tradicional debido al uso de los bloques de poliestireno expandido.

El poliestireno expandido tiene una densidad mucho menor que el concreto, lo que reduce significativamente el peso total de la losa. (Anape, 2016). El peso propio específico dependerá del tamaño y la cantidad de bloques de poliestireno usados, las losas aligeradas en una dirección con poliestireno pueden tener un peso propio entre un 30% y un 50% menor que las losas de concreto convencionales, debido al bajo peso específico del mismo que va desde $10 - 12 \frac{kg}{m^3}$, es decir que el peso del aligerante es del orden de 1kg por metro cuadrado. (Rodríguez Chavarry, 2015)

Se realiza una comparación de los materiales aligerantes como el poliestireno, ladrillos artesanales y semiindustriales de arcilla, así como ladrillos fabricados a base de cemento, para determinar el porcentaje de reducción en el peso. (Placencia-Álvarez, R. J., Llano-Torreblanca, P., & Alcocer, S. M., 2018)

Se muestra en la siguiente tabla:

Tipo de aligerante	Peso del aligerante $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	Dimensiones (cm)
Ladrillo artesanal de arcilla	$1.800 - 2.000 \frac{kg}{m^3}$	23 x 11 x 5
Ladrillo semiindustrial de arcilla	$1.800 - 2.100 \frac{kg}{m^3}$	24 x 11.5 x 5.5
Ladrillo de cemento	$1.800 - 2.200 \frac{kg}{m^3}$	20 x 10 x 6
Poliestireno	$10 - 12 \frac{kg}{m^3}$	10050 x 25

Tabla 1 Características de los aligerantes comúnmente utilizados. Autoría propia

2.4. Mecanismos de fallos estructurales

2.4.1 Flexión

Es uno de los típicos fallos al momento de analizar una estructura, el cual se observa cuando las cargas sobre la viga exceden su capacidad de flexión. La resistencia al corte de la viga debe ser mayor que su resistencia a la flexión, de lo contrario, la falla por cortante ocurriría antes que la falla por flexión. Algunos casos de falla son los siguientes:

1. Un caso de falla es la tensión, inicia con la fluencia del acero de refuerzo seguido del aplastamiento del concreto en el lado de compresión de la viga, ocurre generalmente cuando la relación de refuerzo en la viga es inferior a la relación equilibrada. (ACI 318-14, 2014)
2. Otro caso de falla es la compresión por flexión, misma que suele comenzar con el aplastamiento del concreto en el lado de compresión seguido por la fluencia del acero en el lado de tensión de la viga. Ocurre cuando la viga esta sobre reforzada, lo que significa que la relación de refuerzo de la viga es mayor que la relación de refuerzo equilibrada. (ACI 318-14, 2014)

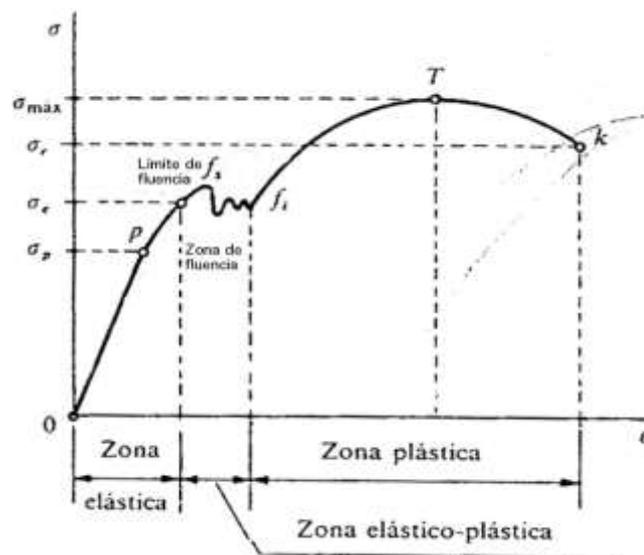


Ilustración 2 Curvas tensión - Deformación. (Arnaez Cantero, Rodrigo, 2021)

2.4.2 Corte

Las losas son elementos estructurales horizontales que están diseñados para soportar cargas en su plano, pero cuando estas cargas exceden la capacidad de la losa para resistir las cortantes, se produce el fallo.

El fallo por corte en las losas ocurre cuando se aplica una carga que excede la capacidad de la losa para resistir fuerzas cortantes. Cuando la carga aplicada a la losa es perpendicular a su plano, se producen fuerzas cortantes que actúan en la losa en una dirección horizontal. Estas fuerzas cortantes generan tensiones diagonales que pueden llegar a provocar la aparición de fisuras. (Guinda Rivero, J.I., 2004) Las losas deben ser diseñadas con suficiente capacidad para resistir las cargas cortantes esperadas y se deben usar refuerzos de acero. Los síntomas comunes del fallo por cortante en las losas incluyen fisuras diagonales o en forma de "X" que se extienden desde el borde de la losa hacia el interior.

Es importante tener en cuenta que el esfuerzo cortante en una losa colaboradora de hormigón depende también de la resistencia del hormigón y de la forma de la losa. Por lo tanto, es necesario realizar cálculos detallados y utilizar factores de carga y resistencia adecuados para asegurar la seguridad y la durabilidad de la estructura. (ASCE-ACI 445, 1998)

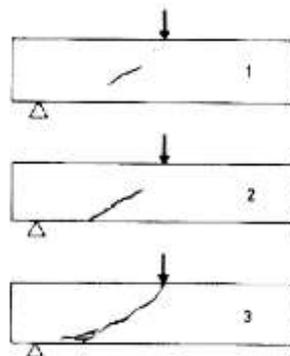


Ilustración 3 Progresión de fisuras por cortante. (Toirac Corral, J., 2004)

2.4.2.1. Flujo cortante

El flujo cortante se produce en una losa cuando está sometida a cargas transversales, esto quiere decir cuando actúan fuerzas que tienen dirección perpendicular a la superficie de la losa.

Esto puede causar deformaciones en la losa, y sean deformaciones como flexión o torsión. El cálculo del flujo cortante en una losa es posible obtener de la siguiente formula:

$$\tau = \frac{V Q}{I}$$

Donde:

τ : Es flujo cortante.

V: Fuerza de corte.

Q: Primer momento con respecto al eje neutro de la sección.

t: Espesor.

2.5. Carga sísmica

La carga sísmica es una fuerza que afecta a las estructuras durante un terremoto. Esta carga puede ser extremadamente fuerte y, si no se tiene en cuenta adecuadamente en el diseño de la estructura, puede causar daños graves o incluso la destrucción total de la estructura.

Por lo tanto, es importante considerar la carga sísmica al momento de diseñar cualquier estructura. Esto puede lograrse utilizando técnicas de análisis sísmológico y

modelos matemáticos que permitan predecir la magnitud y la dirección de la carga sísmica que se aplicará a la estructura.

Además, es crucial que se seleccione el material adecuado y se utilice una construcción adecuada para resistir la carga sísmica. Las estructuras más resistentes a los terremotos suelen ser aquellas que están construidas con materiales flexibles, como el acero, que pueden deformarse sin romperse. (Branson, 1980)

Sin embargo, incluso las estructuras más resistentes deben estar bien amarradas al suelo y estar diseñadas para distribuir de manera efectiva las fuerzas sísmicas a lo largo de toda la estructura.

En resumen, la carga sísmica es un factor crítico por considerar en el diseño de cualquier estructura. El uso de técnicas de análisis sísmológico y materiales y construcciones adecuados puede ayudar a garantizar que las estructuras estén protegidas durante un terremoto y puedan resistir la carga sísmica con éxito.

2.5.1. Factores que dependen de la carga sísmica

La carga sísmica depende de varios factores, incluyendo:

Magnitud del terremoto: La magnitud de un terremoto se mide en escala Richter y determina la intensidad de la carga sísmica que se aplicará a la estructura.

Distancia a la fuente sísmica: La carga sísmica es mayor cuanto más cerca esté la estructura de la fuente del terremoto

Características del suelo: Las características del suelo, como la densidad, la elasticidad y la capacidad de absorción de energía, pueden afectar la transmisión de la carga sísmica a la estructura.

Dirección de la carga: La dirección de la carga sísmica puede ser horizontal o vertical y afectará de manera diferente a la estructura.

Duración del terremoto: La duración del terremoto también puede afectar la carga sísmica que se aplicará a la estructura.

Altura de la estructura: Las estructuras más altas son más propensas a sufrir daños por la carga sísmica debido a su mayor masa y a la mayor distancia desde la base hasta la cumbre.

2.5.2. Ventajas de disminuir la carga muerta en estructuras

En los últimos años, el tema de la seguridad sísmica se ha vuelto cada vez más importante a medida que los terremotos continúan causando daños y pérdidas humanas en todo el mundo. Una de las estrategias más efectivas para mejorar la seguridad sísmica de las estructuras es la reducción de peso muerto. (Chandal Nirmal & R S Mishra, 2018)

El peso muerto se refiere a las partes de una estructura que no contribuyen directamente a su capacidad de soportar cargas, pero que siguen siendo necesarias para su funcionamiento. Esto incluye cosas como materiales de relleno, techos, paredes y mampostería. Una estructura con un alto peso muerto tendrá una mayor carga inercial, lo que significa que será más difícil de mover durante un terremoto. (Chandal Nirmal & R S Mishra, 2018)

La reducción de peso muerto ayuda a la parte sísmica de varias maneras. En primer lugar, disminuye la carga inercial de la estructura, lo que significa que será más fácil de mover durante un terremoto. Esto reduce el riesgo de daño o colapso de la

estructura, lo que a su vez reduce el riesgo de pérdida humana. (Chandal Nirmal & R S Mishra, 2018)

En segundo lugar, una estructura más ligera será más flexible y adaptable a los movimientos sísmicos. Esto significa que será menos propenso a sufrir daños irreparables durante un terremoto. La flexibilidad también ayuda a disipar la energía sísmica de manera más eficiente, lo que reduce el riesgo de daño a la estructura y a las personas dentro de ella. (Chandal Nirmal & R S Mishra, 2018)

En tercer lugar, la reducción de peso muerto puede ser una forma más eficiente y económica de mejorar la seguridad sísmica de las estructuras. Al disminuir la cantidad de materiales necesarios para la construcción de una estructura, se puede reducir el costo total de la construcción. Esto es especialmente importante en regiones con presupuestos limitados para la construcción y la mejora de la infraestructura sísmica. (Chandal Nirmal & R S Mishra, 2018)

CAPÍTULO III – DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. Estudio económico

3.1.1. Generalidades

En este proyecto se realiza un estudio económico donde se lleva a cabo el determinar si el proyecto puede ser rentable. Esto incluye la elaboración de un presupuesto detallado para cada fase del proyecto, el análisis de los costos de los materiales y la mano de obra.

3.1.2. Consideraciones

- **Rendimiento mano de obra:** El rendimiento de mano de obra son importantes para la planificación y el control de costos en la construcción. El rendimiento de la mano de obra, por otro lado, se refiere a la cantidad de trabajo que puede realizar un trabajador en un periodo determinado, que en este proyecto se considera en un día de trabajo, 5 hrs diarias.
- **Gastos varios:** Es importante tener en cuenta los gastos generales que no están directamente relacionados con los materiales y la mano de obra de un proyecto específico. Estos gastos pueden variar de un proyecto a otro. En este proyecto no se toma en cuenta estos gastos ya que únicamente se analiza el costo unitario neto, vale decir el compuesto por materiales y mano de obra, pero es válido tenerlo en cuenta.
- **Materiales:** Los materiales que se deben considerar en este proyecto, tienen los valores que están vigentes hasta el mes de enero de 2023, en el mercado de Guayaquil-Ecuador. En el caso de este proyecto se consideran materiales como; madera, varilla, malla electrosoldada, cemento, aditivos, Metaldeck,

bloques de poliestireno y entre otros. Mismos que se visualizan en el capítulo II, sección 2.2.

3.1.3. Análisis de precios unitarios

El análisis de precio unitario es una técnica usada en la construcción para descomponer los costos de un proyecto en unidades individuales y determinar el costo total de cada unidad. (Ramos Salazar, J., 2017)

Esto implica identificar cada elemento en el proyecto, así como el cálculo previo del metraje y cantidad necesaria de cada elemento, así mismo mediante la experiencia del Ingeniero en obra, determinar el tiempo y la capacidad de los obreros, para realizar las tareas. Todos estos parámetros de la obra nos ayudan a definir no solo el tiempo estimado de la construcción sino de igual forma el costo final de la misma. (Ramos Salazar, J., 2017)

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 1

UNIDAD: m2

DESCRIPCION: LOSA DE 30mm PREFABRICADA CON MALLA DE 100X100X 6mm, hormigon de 350 kg/cm2

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	TARIFA	COSTO HORA	REND.	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor		5% m.o.			0,490
Soldadora eléctrica 300 Amp.	0,50	2,50	1,25	0,321	0,401
SUBTOTAL M					0,891
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANT.	JORNAL HR	COSTO HORA	REND.	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Est. Ocup. E2 peon	4,00	4,05	16,200	0,321	5,200
Est. Ocup. D2: albañil	1,00	4,10	4,100	0,321	1,316
Est. Ocup. D2 fierro	1,00	4,10	4,100	0,321	1,316
Est. Ocup. D2 soldador	1,00	4,10	4,100	0,321	1,316
Est. Ocup. C1 Ay. Albañil	0,50	4,55	2,275	0,321	0,730
SUBTOTAL N					9,878
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Elementos de sujeción anclajes y conectores	glb	1,000	1,50	1,500	
Placa colaborante de 0,75 mm	m2	1,000	12,45	12,450	
Poliesterfo expandido de 12x5 cm x 1,0m cortado	u	1,250	2,97	3,715	
Hormigon premezclado de 350 kg/cm2	m3	0,030	145,00	4,350	
Malla electrosoldada	m2	1,050	8,40	8,820	
Alambre precocido	ml	0,020	1,50	0,030	
SUBTOTAL O					30,865
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A * B	
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					41,630
INDIRECTOS Y UTILIDADES %				15,00%	
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					41,630
VALOR OFERTADO:					41,63

Ilustración 4 A.P.U. Losa aligerada de 3cm. Autoría Propia.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 2

UNIDAD: m²

DESCRIPCION: LOSA PREFABRICADA CON MALLA DE 100X100X 6mm, hormigon de 210 kg/cm³

EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANT.	TARIFA	COSTO HORA	REND.	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Herramienta menor		5% m.o.			0.620
Soldadora eléctrica 300 Amp.	0.50	2.50	1.25	0.400	0.500
SUBTOTAL M					1.120
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANT.	JORNAL HR.	COSTO HORA	REND.	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
Est. Ocup. E2 peon	4.00	4.05	16.200	0.400	6.480
Est. Ocup. D2c albañil	1.00	4.10	4.100	0.400	1.640
Est. Ocup. D2 ferreiro	1.00	4.10	4.100	0.400	1.640
Est. Ocup. D2 soldador	1.00	4.10	4.100	0.400	1.640
Est. Ocup. C1 Ay. Albañil	0.50	4.55	2.275	0.400	0.910
SUBTOTAL N					12.310
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO	
		A	B	C = A x B	
Bementas de sujeción anclajes y conectores:	g/b	1.000	1.90	1.900	
Placa colaborante de 0.75 mm	m ²	1.000	12.45	12.450	
Hormigon premezclado de 210 kg/cm ²	m ³	0.094	130.00	12.181	
Malla electrosoldada	m ²	1.050	8.40	8.820	
Alambre precocido	kg	0.020	1.50	0.030	
SUBTOTAL O					35.381
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
		A	B	C = A * B	
SUBTOTAL P					
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					48.810
INDIRECTOS Y UTILIDADES %					
OTROS INDIRECTOS %					
COSTO TOTAL DEL RUBRO:					48.810
VALOR OFERTADO:					48.81

Ilustración 5 A.P.U. Losa convencional de 12cm. Autoría Propia.

3.2. Trabajos de campo

Los trabajos de campo son actividades que se realizarán con el propósito de recolectar datos e información, sobre las losas que se van a construir, con el motivo principal de procesar la información obtenida.

También se realizará la toma de muestras de cilindros de hormigón de cada losa fundida, donde se recolectan muestras de la mezcla de hormigón fresco en un cilindro de acero, una vez llenado los cilindros de hormigón, se etiquetan y se transportan al laboratorio para su curado, para posteriormente realizar las pruebas necesarias, esto se debe hacer basándose en las normas establecidas, para no alterar los resultados de los análisis previos. De igual forma se toma precaución al momento de encofrar las losas para no alterar las medidas de las losas propuestas en el proyecto.

El miércoles 4 de enero del año 2023, se trasladó el material hacia el emplazamiento externo a la UCSG, para proceder con el armado y encofrado de las losas; en la misma fecha se coordinó la toma de las muestras de los cilindros de hormigón.



*Ilustración 6 Materiales a utilizar en sitio.
Autoría Propia.*

3.2.1. Fundición de losas

Las fundiciones de losas son procesos constructivos, que requieren previamente un trabajo realizado, estos trabajos suelen ser; modificación de los materiales a las diferentes formas y tamaños que se necesitara para las losas, dependiendo de los requerimientos de diseño y las cargas que deben soportar.

Es importante que previo a una fundición, se tenga claro el proceso, no solo por parte de la persona a cargo, sino también de los trabajadores, para que de esta manera se pueda tener un fundición con un mayor porcentaje de eficacia, de ser necesario la persona encargada, en este caso el ingeniero, deberá dar una breve explicación de las dosificaciones de los materiales para hacer el concreto, y a su vez designar a alguien a cargo del uso del vibrador y explicar cómo se debe usar, de no contar con la maquinaria deberá buscar soluciones para vibrar la mezcla una vez vertida en el encofrado, para así poder evitar futuros problemas dentro de la fundición. (Al-Saoudi, A. & Akhtar, M. N., 2016)

3.2.1.1. Preparación de sitio

Previo a la fundición de las losas, se acopió los diferentes materiales por orden, para tenerlos a disposición dependiendo del proceso de la fundición y así de esta forma optimizar el tiempo de los trabajadores. Posteriormente se despejo la zona donde se realizarán las fundiciones y comprobar estas zonas no sean afectadas por factores externos que puedan llegar a alterar las muestras. (Covarrubias, Juan P. , 1992)

3.2.1.2. Preparación de materiales

Se inicio midiendo los valles del Steel Panel, para proceder con los cortes de los bloques de poliestireno, se comprobó que los cortes coincidan con las medidas preestablecidas en el diseño. Luego se continuo con los cortes de la malla

electrosoldada la cual debe ser previamente medida y también es necesario verificar que los cortes coincidan con el diseño. Los demás materiales tanto aditivos, como agregados y cemento, ya se deben encontrar listos para la fundición, al igual que la maquinaria, en este caso la concretera a usarse. (Portillo Reynoso, Jose David, 2009)

En el proceso de la preparación de todos los materiales se cortaron 6 superficies de $1m^2$ de las planchas steel panel para las losas.



Ilustración 7 Corte de los bloques de poliestireno a medida. Autoría Propia



Ilustración 8 Material cortado a medida y listo para el montaje. Autoría Propia

3.2.1.3. Preparación del Encofrado Losas de 3 cm

En este punto los materiales previamente preparados, se comenzaron a montar bajo el siguiente orden:

1. Inicialmente sobre las 3 superficies de steel panel de $1m^2$, se soldaron varillas corrugadas en los extremos que servirán como ayuda para el apoyo de la losa,
2. Se colocaron los bloques de poliestireno ya cortados dentro de los valles de los steel panel,
3. Se realizó el armado del encofrado en las 3 losas,
4. Se colocó la malla electrosoldada en las 3 losas como refuerzo,



Ilustración 9 Colocación de los bloques de poliestireno en los valles del Steel Panel. Autoría Propia.



Ilustración 10 Colocación del encofrado a cada losa. Autoría Propia.



*Ilustración 11 Colocación de la malla electrosoldada.
Autoría Propia.*

3.2.1.4. Preparación del Encofrado Losas de 12 cm

En este punto los materiales previamente preparados, se comenzó a montar bajo el siguiente orden:

1. Inicialmente sobre las 3 superficies de steel panel de $1m^2$ se procedió a armar el encofrado de las losas,
2. Se colocó la malla electrosoldada en las 3 losas como refuerzo,



Ilustración 12 Montaje de la losa de 12cm. Autoría Propia.

3.2.1.5. Vertido de concreto y curado de las Losas de 3 cm

Se preparo el hormigón para alcanzar la resistencia f_c : $350 \frac{kg}{cm^2}$, lo importante en esta instancia es el control de la dosificación. Por lo que se solicitó la siguiente dosificación a compañía Holcim:

NOTA:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS	
Metodo utilizado para el diseño:	A.C.I. 211	
<u>DOSIFICACIÓN PARA 1 m³ DE HORMIGÓN</u>		
Cemento:	Tipo HE	451 kg
Piedra TM 19mm		0 kg
Piedra TM 12,5mm		887 kg
Arena Triturada		307 kg
Arena Natural		469 kg
Agua		188 Lt

Ilustración 13 Dosificación de aditivo por peso del cemento. (Holcim, 2022)

ADITIVO POR PESO DEL CEMENTO			
SikaFiber	0,13%		0,60kg
MCI 2005	0,22%		1,00kg
Plastiment 200R	0,50%		2,26kg
Sikament N115	1,30%		5,86kg
Plastocrete DM	0,50%		2,26kg
SikaFume	5,00%		22,55kg
Sikament N115	0,40%	Obra	1,80kg
			2'338
			R a/c= 0,42

Ilustración 14 Dosificación para 1m³ de hormigón. (Holcim, 2022)

DENSIDAD	VOLUMEN	MEZCLA DE A. GRUESO	MEZCLA DE			MEZCLA TOTAL
			A. FINO	%		%
s.s.s	mt3					
2990	0.151					
2611	0.000		0%			0%
2604	0.341	887	100%			53%
2636	0.116				40%	18%
2685	0.175			776	47	60%
1000	0.188					
Aire en la mezcla	0.020					
1120	0.001					
1220	0.001					
1200	0.002					
1200	0.005					
1070	0.002					
3000	0.008					
1200	0.002					
Total rendido	1.010					100%

Tabla 2 Cuadro de rendimiento y proporciones, Holcim Ecuador Planta San Eduardo. (Holcim, 2022)

Lista la mezcla, esta se vertió en el encofrado de las losas, se usó vibrador de forma muy cuidadosa y también se le aplicó golpes laterales con un combo de goma. De esta forma se fundieron las losas. Se realizó un curado por 14 días, hasta esperar los resultados de la prueba de los cilindros.



Ilustración 15 Vertido de concreto. Autoría Propia.



Ilustración 16 Desencofrado losa de 3cm.
Autoría Propia.

3.2.1.6. Vertido de concreto y curado de las Losas de 12 cm

Se preparó el hormigón para alcanzar la resistencia f_c : $210 \frac{kg}{cm^2}$, lo importante en esta instancia es el control de la dosificación; Por lo cual se usó la siguiente dosificación:

CANTIDADES (cmt-ar-gr)	RESISTENCIA			CEMENTO (cmt)	ARENA mt3 (ar)	GRAVA mt3 (gr)	AGUA Lts (promedio)
	Kg/cm2	PSI	Mpa				
1 - 2 - 2	280	4000	27	420	0.67	0.67	190
1 - 2 - 2,5	240	3555	24	380	0.6	0.76	180
1 - 2 - 3	226	3224	22	350	0.55	0.84	170
1 - 2 - 3,5	210	3000	20	320	0.52	0.9	170
1 - 2 - 4	200	2850	19	300	0.48	0.95	158

Tabla 3 Cuadro de dosificación del hormigón $210 \frac{kg}{cm^2}$.



Ilustración 17 Mezcla de componente.
Autoría Propia.

Lista la mezcla, esta se vertió en el encofrado de las losas, se usó vibrador de forma muy cuidadosa y se le aplicó golpes laterales con un combo de goma. De esta forma se fundieron las 3 losas. Se realizó un curado por 14 días, hasta esperar los resultados de la prueba de los cilindros.



Ilustración 18 Vertido de concreto sobre encofrado, Autoría Propia.



Ilustración 19 Desencofrado de losa. Autoría Propia.



Ilustración 20 Curado de losa, Autoría Propia.

3.2.2. Toma de muestra de cilindros de hormigón

Para esto se utilizaron moldes cilíndricos de 15cm de diámetro y 30cm de altura, los cuales fueron limpiados y engrasados. El llenado de los cilindros se realizó en 3 capas, cada una de ellas fue compactada. Para la verificación de la resistencia del concreto, es necesario realizar el ensayo de compresión, por medio de rotura de probetas tomadas de la fundición en sitio mediante el siguiente procedimiento:

1. Elegir un lugar con superficie plana para realizar el vertido de la mezcla
2. Una vez hecha la mezcla se vierte, con el cucharón metálico la mezcla en las probetas previamente lubricada, en capas de 10 cm.
3. Se realizó el varillado de cada capa 25 veces respectivamente con la barra de acero lisa, golpeando a su vez el molde con el martillo con cabeza de goma
4. Se retiró el molde, después de que pasaran 24 horas para posteriormente llevarlo a una piscina donde se realizara el curado respectivo hasta el momento del ensayo, a los 7, 14 y 28 día de fraguado (NTE INEN 1 573, 2010)



Ilustración 21 Vertido de concreto en los cilindros, Autoría Propia.



*Ilustración 22 Varillaje en los cilindros,
Autoría Propia.*

3.2.2.1. Asentamiento mediante el cono de Abrams

La prueba de revenimiento (asentamiento) se realizó atendiendo lo que indica la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1578. Se seleccionó una superficie plana, húmeda y no absorbente, se sostuvo firmemente el molde, para colocar la mezcla en el molde en tres capas, cada una aproximadamente un tercio del volumen del molde, se compactó cada capa con 25 golpes distribuidos uniformemente en su superficie, después con la varilla de compactación se enrazó la mezcla, para tener una superficie lisa. Se retiró el molde levantándolo cuidadosamente en dirección vertical en un tiempo de $5s \pm 2s$, con un movimiento ascendente uniforme y sin movimientos laterales o de torsión, finalmente se procedió a medir el revenimiento el cual fue de aproximadamente 11.5 cm para la losa de 12 cm y un asentamiento de 14 cm para la losa de 3 cm con una variación de $\pm 2cm$. (ACI 214, 1977)

Las dimensiones del molde metálico troncocónico utilizado son, 200mm de diámetro en su base mayor con altura de 300mm de altura y 100mm de diámetro en su base menor.



Ilustración 23 Vertido de concreto en cono de Abrams. Autoría Propia.



Ilustración 24 Retiro de molde de primer cono. Autoría Propia.



*Ilustración 25 Retiro de molde de primer cono.
Autoría propia.*



*Ilustración 26 Medición de asentamiento.
Autoría Propia.*

3.3. Pruebas y ensayos

Las pruebas de campo son estudios que se realizan con el motivo de identificar o extraer datos, mismo que luego serán procesados o analizados para la obtención de resultados finales que dependerán de los estudios en cuestión de los encargados.

En las siguientes secciones se detallarán las pruebas que se realizaron paso a paso, y a partir de estas se pudieron obtener valores importantes, los cuales sirvieron de base para mediante cálculos obtener los resultados finales de este estudio.

3.3.1. Ensayo de Cilindros de hormigón

Para los ensayos de cilindro, se trasladaron los cilindros hacia el laboratorio Geocimientos, y se coordinó para que de inmediato sean ingresadas a la piscina. Cabe recalcar que tanto para la movilización y para su desmolde se tuvo absoluto cuidado, para evitar alterar los resultados de las muestras. El procedimiento utilizado fue el siguiente:

1. Se retiraron los cilindros de la piscina de curado un día antes de realizar la prueba,
2. Colocación de cilindros al aire libre, procurando que le dé luz solar para que pierda el agua superficial,
3. Se toma la medida del diámetro de la probeta en centímetros,
4. Se calcula el área transversal y el volumen para la probeta de hormigón

f_c : 210 kg/cm^2 y de f_c : 350 kg/cm^2

Cilindro de hormigón f_c : 210 kg/cm^2 (7 días)

$$A = (\pi D^2) / 4$$

$$A = 78,54 \text{ cm}^2$$

Cilindro de hormigón f_c : 350 kg/cm^2 (7 días)

$$A = \frac{(\pi D^2)}{4}$$

$$A = 78,54 \text{ cm}^2$$

5. Colocar el cilindro de concreto en la prensa hidráulica y aplicar la fuerza que fueron de:

Cilindro de hormigón f_c : 210 kg/cm^2 (7 días)

$$F = 138,2 \text{ kN o } 14092,48 \text{ kgf}$$

Cilindro de hormigón f_c : 350 kg/cm^2 (7 días)

$$F = 255,9 \text{ kN o } 26094,53 \text{ kg}$$

6. La resistencia de ruptura a la compresión de cilindro de concreto tomado para la resistencia de

$$f_c: 210 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ y de } f_c: 350 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

, esta es la relación de la carga máxima aplicada en el momento de la falla y el área transversal en que se aplica la carga

Se determina de la fórmula:

$$R = \frac{F}{A}$$

Donde:

R = resistencia a la rotura de la compresión, en kg/cm^2

F = carga máxima aplicada en el momento de la falla, en kg

A = área de la sección transversal del cilindro, en cm^2

Cilindro de hormigón 210 kg/cm^2 (7 días)

$$R = \frac{F}{A}$$

$$R = \frac{14092,48 \text{ kg}}{78,54} \text{ cm} = 179,4 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Cilindro de hormigón 350 kg/cm^2 (7 días)

$$R = \frac{26094,53 \text{ kg}}{78,54} \text{ cm} = 332,1 \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

7. Esperar la resistencia a la que se agriete el concreto y apuntarla. Esta se identifica de la siguiente forma

Tipo 1.- Conos en ambos extremos razonablemente bien formado, fisura a través de la cabecera menores a 25mm. Los lados de la muestra tienen adaptar la forma de un barril un instante antes de su destrucción, quedando como forma de reloj de arena.

Tipo 2.- Conos bien formados en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy bien definido en el otro extremo, es una falla por cortante que bien puede indicar cabeceador irregular.

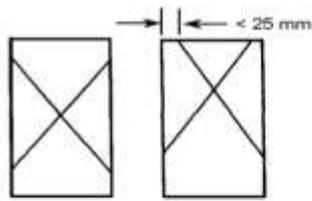
Tipo 3.- Fisuras vertical columnas a través de ambos extremos, conos no muy bien definidos.

Tipo 4.- Fractura diagonal sin fisura a través de los bordes, golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1.

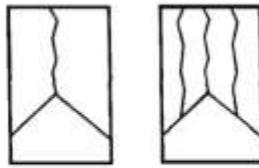
Tipo 5.- Fractura a los lados, en el extremo superior o en el fondo

Tipo 6.- Similar a Tipo 5, pero el extremo del cilindro en punta

(NTE INEN 1 573, 2010)



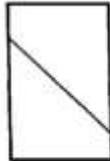
Tipo 1
Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm



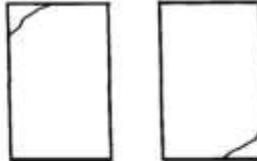
Tipo 2
Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.



Tipo 3
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.



Tipo 4
Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes; golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1



Tipo 5
Fracturas a los lados, en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensaya con neoprenos)



Tipo 6
Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta

Ilustración 28 Esquema de los modelos típicos de fractura. (NTE INEN 1 573, 2010)



Ilustración 27 Prueba. Autoría Propia.

3.3.2. Ensayo de flexión

El ensayo de flexión es una prueba comúnmente usada para evaluar la resistencia y la capacidad de carga de un material o estructura ante cargas transversales. En el caso de una losa aligerada, como la de este proyecto, se aplica una carga en el centro de la losa y se mide la deflexión y la carga aplicada. (Arthur H. Nilson, 2005)

Se realizó el ensayo a flexión en el laboratorio CEINVES (centro de investigación de estructuras) de la Universidad Católica Santiago de guayaquil, se realizaron los ensayos a flexión de los especímenes de losas ya indicados objeto de este trabajo de investigación; esto es losas de steel panel, tres especímenes con un espesor de 3cm y tres especímenes con espesor de 12 cm. Se utilizó dos vigas IPE160 las que permitieron sostener a la losa en el aire. Separadas a 1 metro de distancia las cuales sirvieron para simular los apoyos de la losa.

Para ensayar la losa colaborante de 3cm, se usó un gato hidráulico de 5 toneladas, y 2 anillos de 3cm de espesor para lograr repartir la carga junto a una tira de neopreno que se ubicó por debajo de la viga cajón.

Para la medición de la flexión en el centro de la losa, se optó por dos procedimientos distintos,

1. La utilización de un deformímetro mecánico colocado debajo de la losa para obtener directamente la lectura de la deformación.
2. La utilización de un flexómetro y un operario realizó constantemente las medidas de la deflexión.



Ilustración 29 Ensayo de flexión. Autoría Propia,

Para la losa colaborante de 12 cm, se aplicó lo mismo solo que para este ensayo se cambió el gato hidráulico de 5 toneladas a uno más grande de 15 toneladas y se reemplazó un anillo de 3cm por uno de menor espesor para que el gato ingrese con fuga.



Ilustración 30 Ensayo a flexión con gato hidráulico de 15 ton. Autoría Propia.



Ilustración 31 Ensayo a flexión con gato hidráulico de 5 ton. Autoría Propia.

3.3.2.1 Instrumentos para el ensayo

El uso de instrumentos precisos y calibrados es fundamental en el ensayo de flexión de una losa, ya que permiten obtener datos confiables y precisos sobre la capacidad del material para soportar cargas transversales. Es esencial seguir los procedimientos adecuados para el ensayo y utilizar los instrumentos correctos para obtener resultados precisos y confiables.

3.3.2.1.1 Viga IPE 160

Una viga IPE160 es un perfil estructural de acero laminado en caliente en forma de "I". La sección transversal de la viga IPE160 tiene una parte superior e inferior llamadas "ala" y una parte vertical llamada "alma". La viga IPE160 tiene una altura nominal de 160 mm y un peso nominal de 19,3 kg/m. La longitud de la viga se puede cortar a medida según las necesidades específicas del proyecto.

En un ensayo de flexión de una losa, una viga IPE 160 podría ser utilizada como un elemento de soporte o carga. La viga se coloca en una posición horizontal y se aplica una carga en el centro de la viga para simular las fuerzas que actúan sobre la losa. La viga IPE 160 es una elección común en los ensayos de flexión debido a su resistencia y rigidez. Además, su sección transversal en forma de "I" le da una mayor resistencia a la torsión, lo que la hace adecuada para aplicaciones de carga en flexión.

3.3.2.1.2 Gato Hidráulico de 5 ton.

Un gato hidráulico de 5 toneladas se usa en un ensayo de flexión de losa como un dispositivo de carga para aplicar una carga en la parte superior de la losa y simular las fuerzas que actúan sobre ella. El gato se utiliza para aplicar una carga gradualmente y se mide la cantidad de deflexión que experimenta la losa. La cantidad de deflexión se utiliza para determinar la rigidez de la losa y su capacidad para soportar cargas de flexión.

3.3.2.1.3 Gato Hidráulico de 15 ton

El gato hidráulico de 15 toneladas es adecuado para aplicar una carga controlada en la losa sin causar daño o fractura. Además, su capacidad de carga permite simular cargas de flexión más altas y es capaz de someter la losa a cargas más extremas para evaluar su resistencia y capacidad de carga.

3.3.2.1.4 Viga cajón rígida de acero

Una viga cajón rígida de acero se utiliza como una viga de soporte en un ensayo de flexión de losa para aplicar una carga de flexión en la losa. Esta viga se puede utilizar para soportar la losa y aplicar una carga controlada en la parte superior de la losa para simular las fuerzas que actúan sobre ella.

3.3.2.1.5 Tira de neopreno

Las tiras de neopreno se utilizan en un ensayo de flexión en una losa para distribuir la carga de manera uniforme en los puntos de apoyo. Las tiras de neopreno son un material elástico y resistente que se coloca entre la losa y la superficie de apoyo para reducir el contacto directo entre la losa y la superficie.

Durante el ensayo, las tiras de neopreno se colocan en los puntos de apoyo de la losa para distribuir la carga de manera uniforme. Esto ayuda a reducir la concentración de tensiones y minimiza el riesgo de fractura en la losa debido a cargas de flexión extremas.

3.3.2.1.6. Deformímetro mecánico

Un deformímetro mecánico se utiliza en un ensayo de flexión de una losa para medir la cantidad de deformación que ocurre en la losa durante el ensayo. El deformímetro mecánico es un dispositivo que se coloca en la losa y se utiliza para medir la cantidad de desplazamiento o deformación que se produce en la losa cuando se somete a cargas de flexión.



Ilustración 32 Deformímetro mecánico. Autoría Propia.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS

4.1 Resultados de la ruptura de los cilindros de hormigón

4.1.1. Losa de 210, espesor de 12cm

CILINDRO No.	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	f _c (Kg/cm ²)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Masa (g)	Densidad (Kg/m ³)	CARGA DE ROTURA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			TIPO DE ROTURA	OBSERVACIONES
										(Kg/cm ²)	(MPa)	%		
1	04/01/2023	11/01/2023	7	210	100	7854	3836	2329	138.2	179.4	17.6	85%	3	Losa Concreta Rev=11.5cm
2	04/01/2023	18/01/2023	14	210	100	7854	3904	2370	155.5	201.9	19.8	96%	5	
3	04/01/2023	01/02/2023	28	210	100	7854	3820	2319	220.3	286.0	28.0	136%	4	
4	04/01/2023		T	210	100	7854								
5	04/01/2023	11/01/2023	7	350	100	7854	3650	2216	255.9	332.1	32.6	99%	3	Losa HOLCIM Rev=13.5cm
6	04/01/2023	18/01/2023	14	350	100	7854	3752	2278	294.8	382.6	37.5	109%	5	
7	04/01/2023	01/02/2023	28	350	100	7854	3714	2254	365.4	474.2	46.5	135%	6	
8	04/01/2023		T	350	100	7854								

Ilustración 33 Cuadro de resistencias. Autoría Propia

En la ilustración 33, se aprecia las propiedades mecánicas del hormigón de 210 Kg/cm² para la losa tipo de 12 cm de espesor, en donde se puede notar como a los 7 días el concreto tiene una resistencia del 85% con 179 Kg/cm² de resistencia a la compresión del hormigón.

A los 14 días el concreto aumento su resistencia a un 96% con 201 Kg/cm² de resistencia a la compresión. El aumento es poco considerable con respecto a la resistencia que arrojo a los 7 días.

A los 28 días en donde el hormigón debe alcanzar el 100% de su resistencia máxima, la prueba de ruptura nos arroja un 136% de resistencia, esto quiere decir 286 Kg/cm². ((ACI 318-19), The American Concrete Institute , 2019)

4.1.2. Losa de 350, espesor 3cm

CILINDRO No.	FECHA DE TOMA	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	f _c (Kg/cm ²)	Diámetro (mm)	Área (mm ²)	Masa (g)	Densidad (Kg/m ³)	CARGA DE ROTURA (kN)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			TIPO DE ROTURA	OBSERVACIONES
										(Kg/cm ²)	(MPa)	%		
1	04/01/2023	11/01/2023	7	210	100	7854	3836	2329	138.2	179.4	17.6	85%	3	Losa Concretera Rev=11.5cm
2	04/01/2023	18/01/2023	14	210	100	7854	3904	2370	155.5	201.9	19.8	98%	6	
3	04/01/2023	01/02/2023	28	210	100	7854	3820	2319	220.3	286.0	28.0	136%	4	
4	04/01/2023		T	210	100	7854								
5	04/01/2023	11/01/2023	7	350	100	7854	3650	2216	255.9	332.1	32.6	95%	3	Losa HOLCIM Rev=13.5cm
6	04/01/2023	18/01/2023	14	350	100	7854	3752	2278	294.8	382.6	37.5	109%	5	
7	04/01/2023	01/02/2023	28	350	100	7854	3714	2254	365.4	474.2	46.5	135%	5	
8	04/01/2023		T	350	100	7854								

Ilustración 34 Cuadro de resistencias. Autoría Propia

En la ilustración 34, a los 7 días de haberse fundido el hormigón, ya tenía el 95% con 332.1 Kg/cm² de su resistencia a la compresión, esto es dado a los aditivos sobre todo el Plastocrete que es el que le aporta mucha más resistencia al concreto a lo largo de su vida.

Al día 14 la resistencia del hormigón subió considerablemente llegando al 109% (382.6 Kg/cm²), de la resistencia del hormigón a compresión, esto quiere decir que las propiedades son muy buenas, considerado un hormigón de alta resistencia.

A los 28 días, la resistencia está en el 135% de su resistencia a la compresión, llegando a estar por encima de los 450 Kg/cm², esto ayudo a incrementar la resistencia a la carga que fue sometida la muestra.

4.2. Datos requeridos para los cálculos de la losa de 3 cm

$$A_s = n * \pi * \frac{d_s^2}{4} = 10 * \pi * \frac{0.6^2}{4} = 2.83 \text{ cm}^2$$

$$I_c = \frac{1}{12} b * h^3 = \frac{1}{12} * 100 * 3^3 = 225 \text{ cm}^4$$

$$I_{csp} = \frac{E_s}{E_c} * I_{st} + I_c = \frac{2100}{328.75} * 53.90 + 225 = 569.30 \text{ cm}^4$$

$$A_c = b * h = 100 * 3 = 300 \text{ cm}^2$$

$$f'_c = 474 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y = 5000 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{y\text{sp}} = 2500 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$E_c = 15100\sqrt{f'_c} = 15100 * \sqrt{474} = 328750.27 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

4.2.2. Demostración del comportamiento lineal de la losa hasta los 2500 Kg

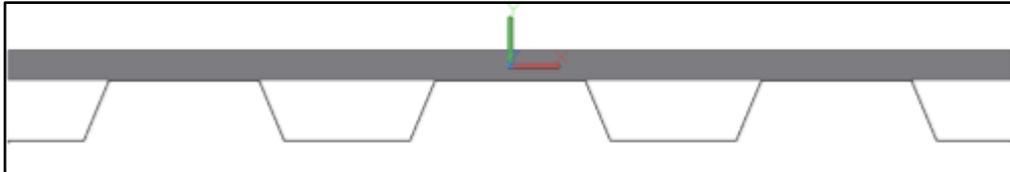


Ilustración 35 Detalle de losa. Autoría Propia.

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}, \text{ Se hace } \Delta = 1 \Rightarrow P = K$$

Despejando K, se tiene:

$$K = \frac{48EI}{L^3} \rightarrow E = \frac{KL^3}{48I}$$

Cálculo del módulo de elasticidad del concreto según la ACI-318

$$E_T = 15100 * \sqrt{f'_c} = 15100 * \sqrt{474} = 328750.27 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Cálculo del módulo de elasticidad del concreto experimental

A) Empleando la inercia de la losa

$$E_c = \frac{6277.898 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}} * 84^3 \text{cm}^3}{48 * 225 \text{cm}^4} = 344531.0422 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

B) Empleando la inercia colaborante

$$E_c = \frac{6277.898 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}} * 84^3 \text{cm}^3}{48 * 569.30 \text{cm}^4} = 136166.32 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Cálculo de error del módulo de elasticidad del concreto

A) Considerando solo la inercia del concreto

$$\text{error} = \frac{E_T - E}{E_T} * 100 = \left| \frac{328750.27 - 344531.0422}{328750.27} \right| * 100 = 4.80\%$$

B) Considerando solo la inercia colaborante

$$\text{error} = \frac{E_T - E}{E_T} * 100 = \left| \frac{328750.27 - 136166.32}{328750.27} \right| * 100 = 58.58\%$$

Donde:

Δ = *Deformacion del elemento*

L = *Longitud transversal de la viga*

$P = K$ = *Rigidez del elemento*

E = *Modulo de elasticidad del concreto experimental*

I_{csp} = *Inercia del elemento*

E_c = *Modulo de elasticidad del concreto Teorico*

$f'c$ = *Resistencia a la compresion del concreto*

Del cálculo resulta que la losa tiene un comportamiento elástico, además nos indica que el Steel panel no tiene participación en la inercia a flexión del concreto, es decir que el Steel panel no es colaborante a la losa, sirve solamente de apoyo.

4.3. Ensayos a flexión

4.3.1. Interpretación del grafico losa de 3cm

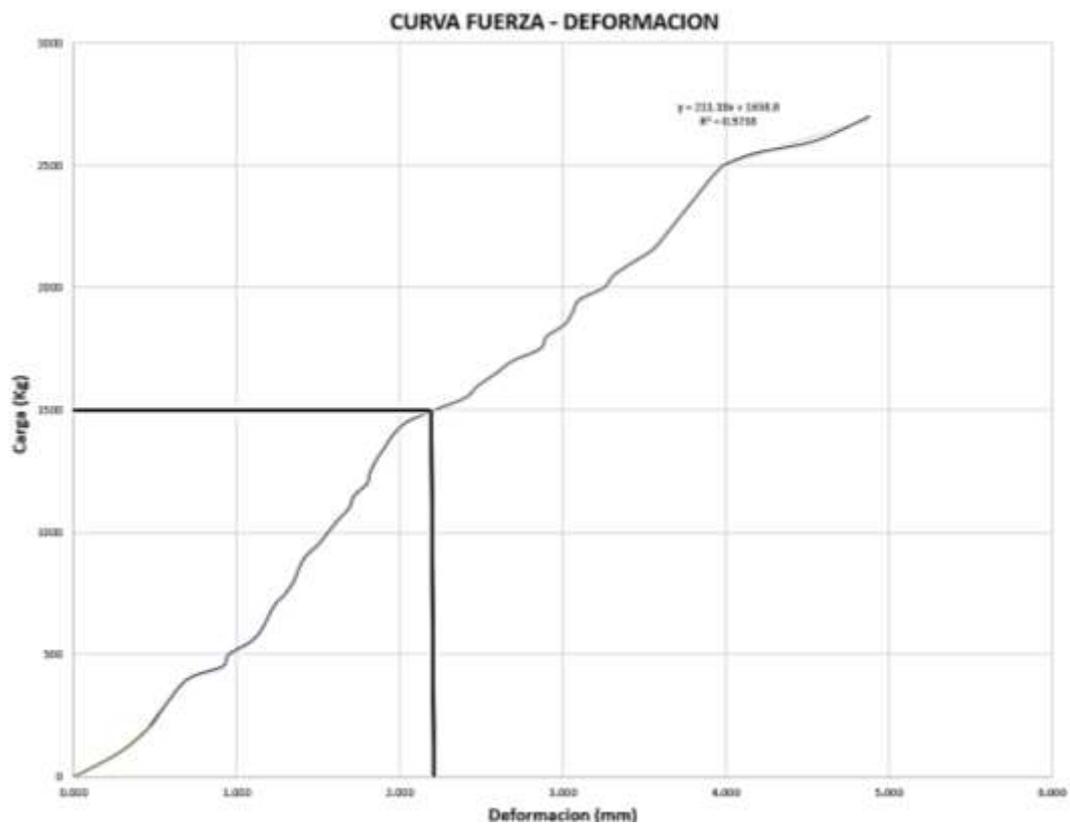


Ilustración 36 Grafica curva esfuerzo-deformación. Autoría Propia

- 1) Del ensayo físico en el laboratorio se pudo observar y se escuchó la primera grieta de la losa de 3 cm a 3000 PSI (1500 Kg) que corresponde a una deformación en el centro de la losa de 1.3 mm. Se aprecia en la gráfica fuerza-deformación un pequeño cambio de pendiente (rigidez) justo en este punto de 647.47 Kg/mm a 560.52 Kg/mm. Se observa que el cambio de rigidez es muy

pequeño, comportándose como una sola línea recta con una pendiente ajustada por mínimo cuadrado de 647.47 Kg/mm.

- 2) De la gráfica se aprecia que hay un comportamiento lineal hasta 5100 PSI (2500 Kg) que corresponde a una deformación en el centro de la losa de 3.98 mm. Hasta este punto no se apreció fisuras visibles en la sección de la losa.
- 3) A partir de los 5000 PSI (2500 Kg) se puede apreciar un cambio de pendiente en la curva fuerza – deformación notable, lo cual es interpretado en que la losa supera su límite elástico y entra en un rango inelástico.
- 4) A los 5800 PSI (2900 Kg) a la deformación 5.14 mm, se produjo la ruptura súbita escuchándose un estruendo de la losa (presentándose una falla frágil), quedando una deformación final de 28 mm justo donde ocurrió el mecanismo de ruptura, al momento que se retiró la carga de la losa, hubo una recuperación, quedando una deformación permanente de 15 mm.

Nota: Para este ensayo se usó un gato de capacidad máxima de 5 ton a 10000 PSI

4.3.2. Resultados del ensayo físico



Ilustración 37 Ensayo a flexión. Autoría Propia

En los 3000 *PSI* (1500 *Kg*), se pudo escuchar como el concreto se fisuró, de ahí nació la primera grieta, esta no se podía apreciar dado a que era muy pequeña. En este punto el Steel panel comenzó a aportar resistencia a la flexión.

A partir de los 3000 *PSI* (1500 *Kg*) hasta los 5000 *PSI* (2500 *Kg*), la losa trabajó muy bien, presentado un aumento en la deformación de 1.77 *mm*.



Ilustración 38 Ensayo a flexión. Autoría Propia

En la ilustración 38 adjunta, se nota la deflexión de la viga antes de que esta llegue a la cedencia, en este punto se comenzó a apreciar una pequeña curva la cual se produjo después de que pasaran los 5000 *PSI* (2500 *Kg*) de fuerza, aquí el concreto comenzó a comportarse inelásticamente, quedando deformaciones permanentes, esto sin necesidad de aumentar mucho la carga, hasta que llegue a la ruptura.



Ilustración 39 Ruptura de losa. Autoría Propia

En la ilustración 39 adjunta se puede apreciar una fisura de ruptura de la losa a lo largo de toda la sección transversal. Es importante indicar que esta fisura no ocurrió justo en la mitad de la losa (donde el momento es máximo) sino a 6 cm de donde estaba ubicada la carga.

Esto se debe a que el área donde actúa la carga contribuye con un apoyo lateral continuo, aumentando la rigidez en esta sección, debido a que la carga no es una línea, sino que es una carga que se distribuye en una pequeña área de ancho igual a la viga IPE160 que se empleó para transmitir la carga sobre la losa.

Durante el ensayo se observó que la falla que produjo la losa es similar a las que se dan cuando existe falla por cortante, pero es recomendable seguir investigando.

No se evidenció desprendimiento del Steel panel del concreto, a excepción de cuando la losa falló ya que hubo una excesiva deformación; y, esto produjo que donde se presentó la fisura, haya la separación entre el Steel panel y el concreto.



Ilustración 40 Verificación de si presento desplazamiento. Autoría Propia.

Como se puede observar en la ilustración 40, se marcó con una tiza color blanco el final del apoyo para saber si los apoyos producto de la carga se iban a deslizar, cabe decir que al final del ensayo se midió si hubo algún desplazamiento y el resultado fue 0 cm, esto quiere decir que el Steel panel aporta una resistencia al cortante impidiendo que el apoyo se deslice.



Ilustración 41 Deformaciones visibles en el Steel panel. Autoría Propia

En la ilustración 41, se evidencia que el Steel panel contribuyó en el cálculo del momento último de la losa de 3 cm, se puede apreciar claramente en la zona de la cresta del Steel panel la deformación permanente producto de la incursión del material en el rango inelástico por esfuerzos de tensión de la sección transversal.

4.3.3. Momento resistente de la losa colaborante de 3 cm

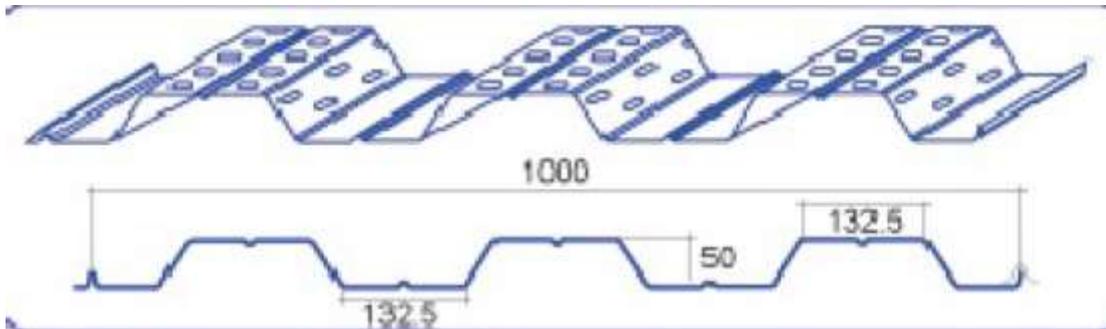


Ilustración 42 Detalles de la losa. (DIPAC, 2022)

$$A_{sp} = 13.25\text{cm} * 0.074 * 3 + \frac{13.25}{2} * 0.074 * 2 = 3.921\text{ cm}^2$$

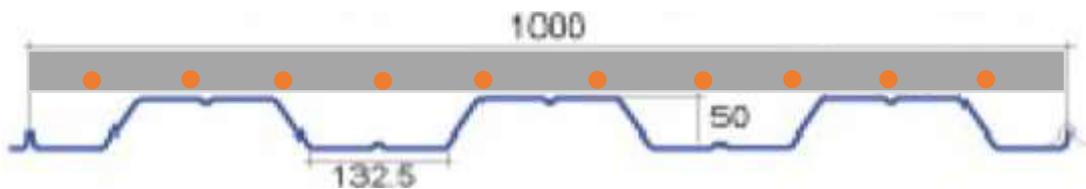


Ilustración 43 Sección transversal de la losa. Autoría Propia

$$C = T$$

$$0.85 * f'c * a * b = A_s * f_y + A_{sp} * f_{y_{sp}}$$

$$a = \frac{A_s * f_y + A_{sp} * f_{y_{sp}}}{0.85 * f'c * b}$$

$$a = \frac{2.83 * 5000 + 3.921 * 2500}{0.85 * 474 * 100} = 0.594\text{ cm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{0.594}{0.72} = 0.825\text{ cm}$$

Cálculo del f_s y $f_{y_{sp}}$:

$$f_s = 6300 * \frac{d - c}{c} = 6300 * \frac{2.5 - 0.825}{0.825} = f_y$$

$$= 5000 \frac{Kg}{cm^2}; \text{el acero de refuerzo fluye}$$

$$f_{ysp} = 6300 * \frac{d_{sp} - c}{c} = 6300 * \frac{3.037 - 0.825}{0.825} = f_{yst}$$

$$= 2500 \frac{Kg}{cm^2}; \text{el steel panel fluye}$$

Cálculo del momento resistente de la losa:

$$M_R = A_s * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_{sp} * f_{ysp} * \left(d_{sp} - \frac{a}{2}\right)$$

$$M_R = 2.83 * 5000 * \left(2.5 - \frac{0.594}{2}\right) + 3.921 * 2500 * \left(3.037 - \frac{0.594}{2}\right)$$

$$= 0.58 \text{ Ton} - m$$

Cálculo del momento último de la losa:

$$M_u = \frac{PL}{4} = \frac{2.9 * 0.84}{4} = 0.61 \text{ Ton} - m$$

$$\text{error} = \frac{M_u - M_R}{M_u} * 100 = \left| \frac{0.61 - 0.58}{0.61} \right| * 100 = 4.91\%$$

4.4 Capacidad a cortante de la losa de 3 cm

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'c} * b_w * d$$

$$V_c = 0.53 * \sqrt{474} * 100 * 2.5 = 2.88 \text{ Ton}$$

Donde:

$V_c =$ Aporte del concreto al cortante

$b_w =$ Base de la seccion transversal de la losa

$d =$ Peralte efectivo, medido desde el centro

de la varilla hasta la superficie libre

$f'c =$ Resistencia a la compresion del concreto

4.4.2. Cálculo de flujo cortante losa de 3 cm análisis experimental.

Datos:

$$Q = 100 \text{ cm} * 3 \text{ cm} * 1.5 \text{ cm} = 450 \text{ cm}^3$$

$$I = 225 \text{ cm}^4$$

$$t = 3 \text{ cm}$$

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

$$\tau_{ex} = \frac{2.5 \text{ Ton} * 450 \text{ cm}^3}{225 * 3} = 1.66 \frac{\text{Ton}}{\text{cm}^2}$$

4.4.3. Cálculo de flujo cortante losa de 3 cm análisis teórico

Datos:

$$Q = 100 \text{ cm} * 3 \text{ cm} * 1.5 \text{ cm} = 450 \text{ cm}^3$$

$$I = 225 \text{ cm}^4$$

$$t = 3 \text{ cm}$$

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

$$\tau_T = \frac{2.50 \text{ Ton} * 450 \text{ cm}^3}{225 * 3} = 5 \frac{\text{Ton}}{\text{cm}^2}$$

ERROR

$$\frac{\tau_T - \tau_{ex}}{\tau_T} = \frac{1.92 - 1.93}{1.92} = 0.52\%$$

4.4.5. Cálculo de esfuerzo a flexión máximo sin la losa colaborante

FUERZA MÁXIMA

$$M = \frac{PL}{4} = \frac{2500 * 84}{4} = 52500 \text{ Kg} - \text{cm}$$

Donde:

$P =$ Fuerza externa actuante

$L =$ Longitud libre de la losa

$$M_c = M_T = \frac{Mc}{I_c} = \frac{52500 * 1.5}{225} = \pm 350 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Donde:

$M =$ Momento actuante

$c =$ Distancia mas alejada desde el eje neutro de la sección

4.3.4. Ecuación de la recta de ajuste del grafico

Por el método de los mínimos cuadrados, se obtiene la ecuación de la recta con su respectivo ajuste.

$$P = Kx$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n Xi * Pi}{\sum_{i=1}^n Xi^2} = 627.78989 \frac{Kg}{mm}$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Pi - \bar{P})^2 - \sum_{i=1}^n (Pi - P)^2}{\sum_{i=1}^n (Pi - \bar{P})^2} = 0.9880201$$

Donde:

$K =$ Rigidez del elemento

$R =$ Correlacion de ajuste de curva a una recta

$P =$ Fuerza

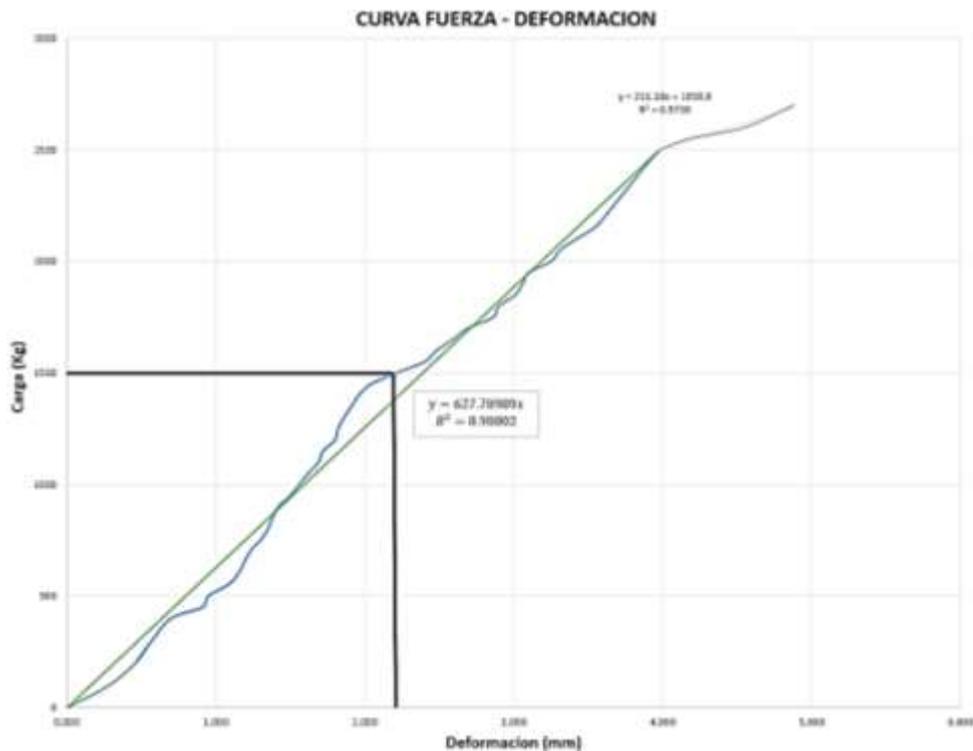


Ilustración 44 Gráfica de curva fuerza-deformación. Autoría Propia

Nota: Las pruebas fueron realizadas a los 27 días de haber sido fundidas.

4.3.5. Interpretación del grafico losa de 210



Ilustración 45 Grafico de Curva Fuerza-Deformación. Autoría Propia.

- 1) Del ensayo físico en el laboratorio se pudo observar y se escuchó la primera grieta de la losa de 12 cm a 2400 Kg (1600 PSI) que corresponde a una deformación en el centro de la losa de 1.88 mm.
- 2) La losa tuvo un comportamiento bilineal marcado. Esto se aprecia en la gráfica fuerza-deformación, el cambio de pendiente (rigidez) de 1240.082 Kg/mm a 384.56 Kg/mm, este cambio de rigidez se produce a la deformación de 1.88 mm.
- 3) A partir de los 2400 Kg (1600 PSI), se observa deformaciones grandes en la losa en comparación a los valores del rango elástico, esto es debido a la baja rigidez que se produjo por la múltiple fisuración debido a la flexión de la losa.

- 4) A los 6300 Kg (4200 PSI), la losa se fracturo, las grietas debido a la carga se agrandaron llegando a tener una deformación de 12.35 mm. El comportamiento de esta losa fue dúctil alcanzándose un valor de $\mu=6.57$.

Nota: Para este ensayo se realizó un cambio del gato hidráulico a una capacidad máxima de 15 ton a 10000 PSI.

4.3.6. Resultado del ensayo físico



Ilustración 46 Ensayo a flexión losa 210. Autoría Propia

A los 2400 Kg (1600 PSI), se escuchó la primera grieta del concreto a los 1.88 mm, la cual se hizo más grande a los 2700 Kg (1800 PSI). En este punto las deflexiones comenzaron a variar significativamente, ahí es donde se aprecia que el acero de refuerzo comienza a aportar resistencia.



Ilustración 47 Ruptura losa 210. Autoría Propia



Ilustración 48 Verificación de si presento desplazamiento. Autoría Propia.

A partir de los 2700 Kg (1800 PSI), se apreciaron las fisuras en el elemento, las cuales se iban haciendo mas grande a medida que la carga iba aumentando.

Cuando se escuchó la primera fisura a los 2400 Kg (1600 PSI), la losa comenzó a demostrar ductilidad hasta llegar a la ruptura, cabe recalcar que se marcó con una tiza donde se apoyó la losa para poder medir el desplazamiento que podría aparecer, producto de la carga, dando un desplazamiento de 0 cm, el apoyo no presentó ningún

movimiento como se puede apreciar en la ilustración 48, esto quiere decir que cumplió lo mencionado anteriormente, es decir que el Steel panel aportó rugosidad la cual ayudo al cortante en el apoyo.



En la ilustración 49 adjunta se puede ver al elemento ya en su punto de ruptura, en este punto el gato hidráulico dejó de marcar, ya que el elemento se deformaba sin necesidad de aplicar más carga, en este punto se paró el ensayo para poder apreciar la recuperación de la losa, la cual tuvo una deformación total de 12.35 mm con una carga de 6600 Kg (4400 PSI), con la ayuda de un flexómetro se tomó como eje de referencia la zona baja de la losa como se puede observar en la ilustración 49, teniendo una medida inicial de 22.5 cm y al momento de liberar la carga esta se recupera llegando a tener como medida final 23 cm, entonces la diferencia entre la medida final menos la media inicial nos da una recuperación de 5 mm.

Haciendo la diferencia se logra observar que la losa quedo completamente deformada después de haber retirado la carga, haciendo la diferencia entre la

deformación máxima y lo que se recuperó. La losa quedo con una deformación permanente de 7.35 mm.

4.3.7. Cálculo del momento resistente de la losa de 12 cm

$$A_{sp} = 13.25 \text{ cm} * 0.074 * 5 + \frac{13.25}{2} * 0.074 * 2 = 5.883 \text{ cm}^2$$

$$C = T$$

$$0.85 * f'c * a * b = A_s * f_y + A_{sp} * f_{ysp}$$

$$a = \frac{A_s * f_y + A_{sp} * f_{ysp}}{0.85 * f'c * b}$$

$$a = \frac{2.83 * 5000 + 5.883 * 2500}{0.85 * 286 * 100} = 1.187 \text{ cm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{1.187}{0.85} = 1.397 \text{ cm}$$

Centroide del acero a tensión desde la parte superior de la losa steel panel

$$Y = \frac{2.94 * 6 + 2.94 * 12}{2.94 + 2.94} = 9 \text{ cm}$$

Cálculo del f_s del el acero de refuerzo y steel panel

$$f_s = 6300 * \frac{d - c}{c} = 6300 * \frac{5.5 - 1.397}{1.397} = f_y$$

$$f_{sp} = 6300 * \frac{d - c}{c} = 6300 * \frac{9 - 1.397}{1.397} = f_y$$

Cálculo del momento resistente de la losa:

$$M_R = A_s * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right) + A_{sp} * f_{ysp} * \left(d_{sp} - \frac{a}{2}\right)$$

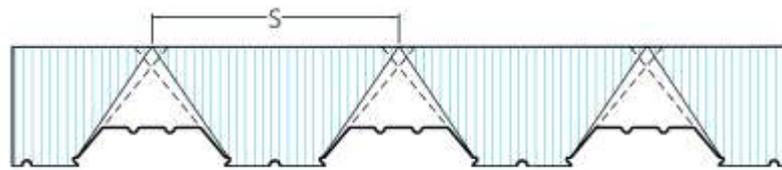
$$M_R = 2.83 * 5000 * \left(5.5 - \frac{1.187}{2}\right) + 5.88 * 2500 * \left(9 - \frac{1.187}{2}\right) = 1.93 \text{ Ton} - m$$

Cálculo del momento último de la losa de 12 cm:

$$M_u = \frac{PL}{4} = \frac{6.3 * 0.84}{4} = 1.323 \text{ Ton} - m$$

$$\text{error} = \frac{M_u - M_R}{M_u} * 100 = \left| \frac{1.323 - 1.93}{1.323} \right| * 100 = 45.88\%$$

4.4 Capacidad a cortante de la losa de 12 cm



Se ajusta el área calculando la forma en la cual la dimensión en la parte superior no exceda la separación, S, indicada en (a)

Ilustración 50 área que colabora con el cortante (METALCO, 2018)

$$V_c = 0.85 * \frac{\sqrt{f'c}}{6} * A_c + V_{ny}; \text{ (sección F. 4.7.5.7 del NSR - 10)}$$

$$V_c = 0.85 * \frac{\sqrt{286}}{6} * 878 + 1.20 \frac{Kg}{mm} * 1000 \text{ mm} = 3303 \text{ Kg}$$

Donde:

V_c = Capacidad a cortante de la losa compuesta

A_c = Área del concreto disponible para el cortante

V_{ny} = Cortante resistente de la lamina metaldeck

$f'c$ = Resistencia a la compresion del concreto

Cálculo del V_u resistente de la losa:

$$V_u = \frac{P}{2} = \frac{6300}{2} = 3150 \text{ Kg}$$

$$\text{error} = \frac{V_u - V_c}{V_u} * 100 = \left| \frac{3150 - 3303}{3150} \right| * 100 = 4.85\%$$

4.3.7. Ecuación de la recta de ajuste del grafico

Por el método de los mínimos cuadrados se obtiene la ecuación de la recta con su respectivo ajuste.

$$P = Kx$$

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n X_i * P_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} = 1240.082$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - P)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} = 0.99802$$

Donde:

K = Rigidez del elemento

R = Correlacion de ajuste de curva a una recta

P = Fuerza

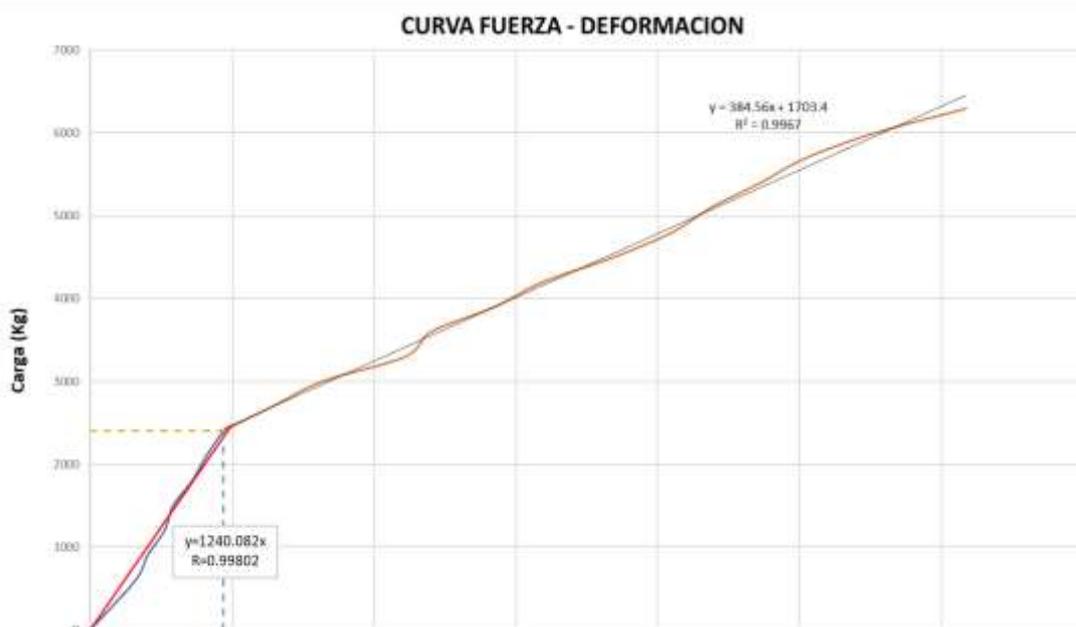


Ilustración 51 Grafica de Curva Fuerza-Deformación. Autoría Propia.

4.5. Análisis Comparativo

Un análisis comparativo es un proceso en el que se comparan dos o más elementos. Estos criterios pueden incluir factores como el costo, la calidad, el rendimiento, la eficiencia, la durabilidad o cualquier otro aspecto que sea relevante para el análisis. Una vez que ya se ha seleccionado los elementos y los criterios de evaluación, se procede a recopilar los datos y a compararlos. Se involucran los cálculos previamente realizados, los resultados de los mismo, características de los elementos, comparación de costos y etc.

4.5.1 Comparación de Costos

Para la comparación de costos de una losa de 12 cm y una losa de 3 cm, es necesario considerar varios factores importantes, que influyen en el costo total de cada opción. En la sección 3.1.3 se presenta el análisis de precios unitarios, de los cuales se obtiene los resultados que se presentaran a continuación.

4.5.1.1 Cuadro resumen (\$/m²)

Especificación	Losa de 12 cm	Losa de 3 cm
Materiales	\$35.38	\$30.86
Mano de obra	\$12.31	\$9.87
Equipos, Maquinaria y herramientas	\$1.12	\$0.89
Costo unitario m²	\$48.81	\$41.63

Tabla 4 Resumen de costos. Autoría Propia.



Ilustración 52 Porcentajes de construcción en la construcción de un metro cuadrado de la losa de 3cm. Autoría Propia.



Ilustración 53 Porcentajes de construcción en la construcción de un metro cuadrado de la losa de 12cm. Autoría Propia.



Ilustración 54 Valores comparativos de losas. Autoría Propia.

Después de realizar la comparación de costos de las diferentes losas, se puede concluir que la losa aligerada de 3cm resulta ser más económica en términos de costo total. Esto debido a que la losa de 12cm requiere de mayor cantidad de material, lo que se traduce en un mayor costo de construcción, pero la losa de 3cm permite reducir considerablemente la cantidad de material utilizado, además de que su instalación es mucho más rápida y sencilla, lo que se traduce en un menor costo de mano de obra.

Por lo anterior la losa de 3cm resulta ser una opción más efectiva en términos de costo, lo que la convierte en una alternativa atractiva en la construcción.

4.5.2 Comparación de resultados de esfuerzos en losas obtenidos en los ensayos de laboratorio

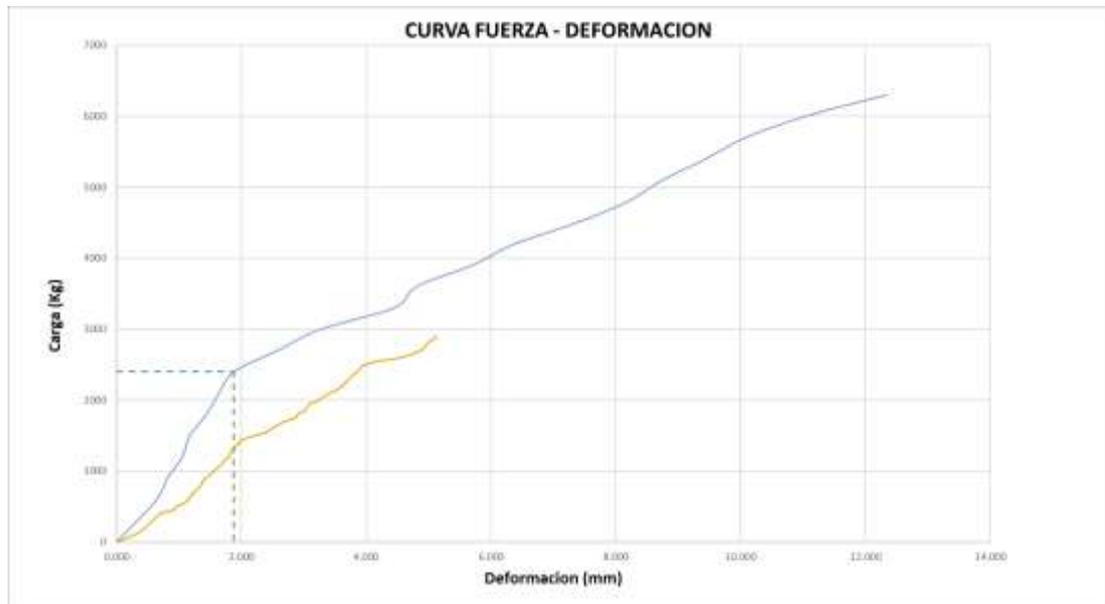


Ilustración 55 Gráfica curva fuerza-deformación. Autoría Propia.

De la ilustración 55 obtenida de los resultados de los ensayos en laboratorio se puede observar lo siguiente:

- 1) La losa de 12 cm tiene aproximadamente el doble de rigidez (1240 Kg/mm) que la losa de 3 cm hasta 1.88mm zona elástica, de este punto en adelante la losa de 3 cm mantiene su pendiente de 627 Kg/mm que es aproximadamente el doble de rigidez que la losa de 12 cm que es 384.56 Kg/mm.
- 2) La losa de 12 cm tiene mayor capacidad de resistir carga vertical y mayor capacidad de deformación (13 mm) que la de 3 cm (6mm), esto es más que obvio dado a que la losa de 12 cm tiene 4 veces más espesor que las losas de 3 cm, sin embargo, la capacidad de carga de la losa de 12 cm (6300 Kg) es el doble que el de la losa de menor espesor (3000 Kg)
- 3) La losa de 12 cm tiene una ductilidad mayor a 5 veces que la ductilidad de la losa de 3cm, que prácticamente es lineal. Es importante indicar que la losa de 12cm, necesita deformarse 13 mm para alcanzar la máxima carga de 6300 Kg, sin embargo, la losa de 3cm con una deformación de 5 mm, alcanza su carga máxima de 3000 Kg.

CAPÍTULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- No se requiere pernos de corte para alcanzar el momento último de la losa, fue suficiente la rugosidad del steel panel.
- De acuerdo con la experiencia las losas de 3 cm sirven para usarse en edificios, puentes peatonales, casas, donde la carga muerta + viva sea menor que 1400 kg/m², dado que en este punto el elemento no tuvo ningún agrietamiento.
- Ambas losas cumplen con lo que manda la NEC-15, donde dice que la carga viva para casas o residencias es de $200 \frac{Kg}{m^2}$, y carga de muerta de $240 \frac{Kg}{m^2}$.
- Las losas Steel panel de 3 cm de esta investigación debido a su bajo peso son ideales para minimizar costos y peso muerto en las estructuras.
- Los análisis de precios unitarios realizados indican que la losa de 3 cm tiene menor costo que la losa de 12 cm.
- La losa de 3 cm tuvo una falla frágil, la cual se presentó al momento de llegar a la máxima carga.
- La losa de 12 cm tuvo una falla dúctil. Durante el ensayo se apreciaron grietas a medida que se iba incrementando la carga.
- La losa de 12 cm presentó mayor rigidez y resistencia, obteniendo mayores deformaciones.
- La losa de 3 cm tuvo menor rigidez en el rango elástico, pero en el rango inelástico su rigidez es mayor que la losa de 12 cm como se pudo apreciar en las gráficas.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda fabricar steel panel para losas de espesor de 3cm, para que exista más contribución del steel panel.
- Es aconsejable que la losa colaborante se ancle con pernos autoperforante o soldados a los nervios en donde se apoya la losa, para que haya un movimiento monolítico entre la losa y la superestructura.
- Se recomienda que para las losas de 3cm la separación entre nervios no deben ser mayores de 1 m.
- El concreto de la losa de 3 cm debe ser de muy alta resistencia, superior a los 450 kg/cm², revisar diseño de Holcim.
- Se recomienda realizar más ensayos experimentales para las losas de 12 cm y 3 cm, teniendo en consideración diferentes tipos de ensayos para determinar la capacidad a flexión y cortante puro. Debido a las limitaciones de ensayos realizados durante esta investigación pudieron haberse presentado combinaciones de esfuerzos que no se han podido determinar.

Referencias

- (ACI 318-19), The American Concrete Institute . (2019). *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. Farmington Hills, Michigan, Estados Unidos.
- Acesco. (27 de octubre de 2022). Acesco. Obtenido de <https://acesco.com.ec/producto/metaldeck/>
- ACI 214. (1977). *Evaluation of Strength Test Results Of Concrete*. United States of America: American Concrete Institute.
- ACI 318-14, A. C. (2014). *Building Code Requirements or Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary(ACI 318R-14)*. Farmington Hills.
- Adelca. (14 de febrero de 2022). Adelca. Obtenido de <https://www.adelca.com/producto.php?nom=Mallas-electrosoldadas-sismoresistentes&cat=2>
- Al-Saoudi, A., & Akhtar, M. N. (2016). Experimental investigation of structural behaviour of lightweight concrete slabs reinforced with waste expanded polystyrene blocks under static and dynamic loads. *Construction and Building Materials.*, 354-361.
- Anape. (6 de septiembre de 2016). *Asociación Nacional de Poliestireno Expandido*. Obtenido de www.anape.es
- Arnaez Cantero, Rodrigo. (2021). *Análisis global plástico de pórticos mediante SAP2000*. . Valladolid: Construcciones arquitectónicas, ingeniería del terreno y mecánica de los medios continuos.
- Arthur H. Nilson. (2005). *Diseño de estructuras de concreto*. Bogota: Mc Graw Hill.
- ASCE-ACI 445. (1998). Recent approaches to shear design of structural concrete. *Journal of Structural Engineering ASCE*, 1375-1412.

- Branson, D. (1980). *Deflexiones de estructuras de concreto reforzado y preesforzado*. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto.
- Castaño, B. (2011). *Generalidades y construcción de edificaciones*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.
- Chandal Nirmal, & R S Mishra. (2018). Seismic Analysis of light weight concrete structure. *IOSR Journal of Engineering*, 4-11.
- Covarrubias, Juan P. . (1992). Hormigon Premezclado. En I. d. Construcción, *Ingeniería de Construcción* (págs. 01-08). Santiago.
- DIPAC. (17 de octubre de 2022). *DIPAC* . Obtenido de <https://dipacmanta.com/categoria-de-productos/>
- Gbonegun, Victor. (5 de agosto de 2019). *The Guardian* . Obtenido de <https://guardian.ng/property/engineers-canvass-use-of-expanded-polystyrene-construction-method/>
- Guinda Rivero, J.I.,. (2004). *Influencia de la cuantía de armadura longitudinal en la resistencia a cortante en vigas de hormigon convencional y autocompactante*. Escuela Tecnica Superior de Barcelona, Barcelona.
- Holcim. (21 de junio de 2022). *Holcim*. Obtenido de <https://www.holcim.com.ec/cemento-holcim-fuerte>
- Norberg, B.E. (1962). Experiments on Reinforced Lightweight Concrete Slabs. *Journal of the American Concrete Institute*, 747-762.
- NTE INEN 1 573. (2010). *Hormigon de cemento hidraulico. Determinacion de la resistencia a la compresion de especimenes cilindricos de hormigon de cemento hidraulico*. Quito.
- NTE INEN 2380. (julio de 2011). *Servicio Ecuatoriano de Normalizacion*. Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2380.pdf>
- Park, P. a. (1978).

- Placencia-Álvarez, R. J., Llano-Torreblanca, P., & Alcocer, S. M. (2018). Experimental and numerical assessment of seismic behavior of lightweight concrete slabs with expanded polystyrene blocks. *Engineering Structures*, 80-90.
- Portillo Reynoso, Jose David. (2009). *Ánàlisis, evaluación y rediseño de losas prefabricadas de concreto armado, aligeradas con poliestireno expandido*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Ingeniería Civil. San Carlos: Biblioteca Usac.
- Ramos Salazar, J. (2017). *Costos y Presupuestos en Edificación*. Lima, Peru: Fondo Editoria CAPECO.
- Regan, J. P., & Halling, M. R. (2005). Structural behavior of prestressed hollow-core slabs with EPS blockouts. *Journal of Structural Engineering*, 273.281.
- Rodriguez Chavarry. (2015). *Comparación del comportamiento estructural y económico de losas colaborantes unidireccionales con losas aligeradas*. San Isidro, Perú.
- Rodriguez, A. (2015). *Comparación del comportamiento estructural y económico de losas colaborantes unidireccionales con losas aligeradas*. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Lima.
- Romo Proaño, M. (2008). *Diseño en hormigon armado*.
- SIKA. (26 de 8 de 2019). *Sika Ecuador*. Obtenido de <https://ecu.sika.com/es/products.html>
- Toirac Corral, J. (2004). Patología de la Construcción. *Ciencia y Sociedad*, 72-114.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

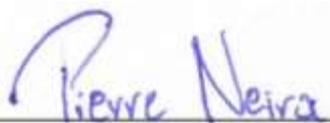
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, Pierre Josué Neira Conforme y Renato Guiseppi Parodi Pileggi con C.C: #0804570208, #0930318886 autores del trabajo de titulación: **Estudio del comportamiento estructural de una losa de hormigón de 3cm de espesor sobre cresta de placa colaborante de steel panel y valles rellenos de poliestireno expandido ante cargas puntuales y vibración**, previo a la obtención del título de **Ingeniería civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaramos tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizamos a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **28 de febrero del 2023**

f. 

Nombre: **Pierre Josué Neira Conforme**

C.C: 0804570208

f. 

Nombre: **Renato Guiseppi Parodi Pileggi**

C.C: 093031886

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Estudio del comportamiento estructural de una losa de hormigón de 3cm de espesor sobre cresta de placa colaborante de steel panel y valles rellenos de poliestireno expandido ante cargas puntuales y vibración.		
AUTOR(ES)	Neira Conforme Pierre Josué Parodi Pileggi Renato Guiseppi		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Angela Francisca Cali Proaño		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniería Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	28 de febrero del 2023	No. DE PÁGINAS:	79
ÁREAS TEMÁTICAS:	Hormigón, Estructuras, Resistencia de materiales.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Losas aligeradas, poliestireno expandido, resistencia a la compresión, materiales de construcción, refuerzo estructural.		
RESUMEN:	<p>El presente estudio de titulación se centra en analizar el comportamiento estructural de las losas Steel Panel de 3 cm de espesor, que están compuestas de hormigón sobre la cresta y de valles tapados con poliestireno expandido. Para ello, se han sometido estas losas a cargas puntuales y se ha llevado a cabo un análisis comparativo con las losas colaborantes tipo de 12 cm de espesor. Con el fin de obtener datos precisos, se han fabricado tres especímenes de losas colaborantes de 3 cm y otros tres de 12 cm. Estos especímenes han sido ensayados en el laboratorio, sometiéndolos a cargas puntuales para realizar un análisis a flexión y cortante del elemento, midiendo la resistencia máxima de las losas y las deflexiones que cada una de ellas sufrió.</p> <p>Los resultados obtenidos de este análisis demuestran que las losas colaborantes de 3 cm de espesor soportan una carga aproximada de 3 toneladas, pero llegan a la ruptura como una falla frágil y con grietas a flexión, con deflexiones muy pequeñas, aproximadamente de 6 mm. En cambio, las losas colaborantes de 12 cm demostraron una falla dúctil y presentaron grietas por cortante. Los datos obtenidos de este estudio son de gran relevancia, ya que permiten conocer el comportamiento de estas losas colaborantes y comparar su resistencia y durabilidad en diferentes circunstancias de carga y tensiones.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTORES:	CON	Teléfono: 0988939530/0994838964	E-mail: pierre-neira@outlook.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	LA	Nombre: Clara Glas Cevallos	
		Teléfono: +593-4 -2206956	
	DEL	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			