



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Civil
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Evaluación del diseño estructural de encofrados de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor

Miguel Angel Cauchi Jimenez

Asesor

Mg. Ing. José Saúl Orbegoso López

Huacho-Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INFORMACIÓN DE METADATOS

DATOS DEL AUTOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Miguel Angel Cauchi Jimenez	72961862	28/09/2023
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
José Saúl Orbegoso López	06800598	0000-0003-4866-3404
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
Eladio Cesar Gallardo Bazán	17828005	0000-0001-6745-7601
Cristian Milton Mendoza Flores	16711622	0000-0002-2298-6224
Juan Manuel Ipanaque Roña	32952515	0000-0003-2695-9802

EVALUACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE ENCOFRADOS DE MADERA PARA LOSAS ALIGERADAS DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA CIUDAD DE HUAURA

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	1%
2	archive.org Fuente de Internet	1%
3	repositorio.uprit.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repository.eia.edu.co Fuente de Internet	1%

**EVALUACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE ENCOFRADOS DE MADERA
PARA LOSAS ALIGERADAS DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA CIUDAD
DE HUAURA**

DEDICATORIA

Todo lo que tengo, se lo debo a Dios. Dedico la presente investigación, a mi madre (por enseñarme a ser disciplinado y ordenado), a mi padre (por mostrarme que la risa y el buen sentido del humor son esenciales en la vida), a mis hermanos (por compartir sus aprendizajes día tras día y ayudarme a crecer como amigo), a quién caminó a mi lado y estuvo presente durante estos cinco años de mi etapa universitaria, a mis nakamas (mis mejores amigos) por contribuir en mi crecimiento personal y profesional, a mis profesores de academia, a todos mis amigos, amigas y familiares que aportaron en mi desarrollo como ser humano. Con mucho cariño, aprecio y amor; Miguel Angel Cauchi Jimenez.

AGRADECIMIENTO

Gracias a todos los docentes, personal administrativo y compañeros de los diferentes ciclos de la Facultad de Ingeniería Civil por contribuir en mi formación profesional y personal. Agradezco al director e integrantes del Gabinete Estudiantil de Investigación Científica (G.E.I.C.) de INVESCIENCIAS Perú, por todas sus enseñanzas en el plano moral, científico y académico. Retribuyo mi aprecio a todos los propietarios que amablemente me permitieron realizar las mediciones en sus viviendas y al mismo tiempo, reconozco mi afecto a cada uno de los maestros de obra, albañiles y ayudantes, quienes aportaron con sus experiencias, ideas y sugerencias a lo largo de mi investigación.

ÍNDICE

CARATULA	1
TÍTULO	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
ÍNDICE DE ECUACIONES	16
RESUMEN.....	17
ABSTRACT	18
INTRODUCCIÓN	19
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1 Descripción de la realidad problemática	20
1.2 Formulación del problema	22
1.2.1 Problema general	22
1.2.2 Problemas específicos	23
1.3 Objetivos de la investigación.....	23
1.3.1 Objetivo general.....	23
1.3.2 Objetivos específicos	23
1.4 Justificación de la investigación.....	23
1.5 Delimitaciones del estudio	24
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	25
2.1 Antecedentes de la investigación.....	25
2.1.1 Investigaciones internacionales	25
2.1.2 Investigaciones nacionales.....	29
2.2 Bases teóricas.....	32
2.2.1 La madera.....	32
2.2.1.1 Madera aserrada de uso estructural	33

2.2.1.2 Madera rolliza de uso estructural	33
2.2.1.3 Especies y grupos de madera	35
2.2.1.4 Propiedades mecánicas de la madera	36
2.2.1.5 Propiedades mecánicas según agrupamiento de las maderas.....	40
2.2.2 El encofrado	42
2.2.2.1 Clasificación de encofrados según su uso.....	42
2.2.3 Elementos del encofrado de madera para losas aligeradas	46
2.2.4 Diseño estructural de encofrados de madera	48
2.2.4.1 Método de diseño	48
2.2.4.2 Dimensiones comerciales y reales de los elementos de madera	49
2.2.4.3 Diseño estructural de elementos de madera en Flexión.....	50
2.2.4.4 Diseño estructural de elementos de madera en Flexo-compresión	55
2.2.4.5 Uniones de elementos estructurales de madera.....	57
2.3 Bases filosóficas	58
2.4 Definición de términos básicos.....	58
2.5 Operacionalización de variables.....	60
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA	61
3.1 Diseño metodológico	61
3.2 Población y muestra.....	61
3.2.1 Población.....	61
3.2.2 Muestra	62
3.3 Técnicas de recolección de datos	62
3.4 Técnicas para el procesamiento de la información.....	62
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	64
4.1 Análisis de resultados	64
a) Vivienda unifamiliar N° 01.....	64
b) Vivienda unifamiliar N° 02.....	73
c) Vivienda unifamiliar N° 03.....	82
d) Vivienda unifamiliar N° 04.....	92
e) Vivienda unifamiliar N° 05.....	100
f) Vivienda unifamiliar N° 06.....	108

g) Vivienda unifamiliar N° 07.....	119
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	128
5.1 Discusión de resultados.....	128
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
6.1 Conclusiones	130
6.2 Recomendaciones	131
REFERENCIAS	132
7.1 Fuentes documentales.....	132
7.2 Fuentes bibliográficas.....	132
7.3 Fuentes hemerográficas.....	134
7.4 Fuentes electrónicas	134
ANEXOS.....	136
01 MATRIZ DE CONSISTENCIA	136
02 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 01	137
03 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 02	140
04 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 03	143
05 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 04	146
06 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 05	149
07 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 06	152
08 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 07	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Módulo de elasticidad para los grupos A, B y C	41
Tabla 2 Esfuerzos admisibles para los grupos A, B y C	41
Tabla 3 Pesos por metro cuadrado de losas aligeradas	45
Tabla 4 Separaciones máximos de soleras de encofrados para losas aligeradas.....	48
Tabla 5 Dimensiones reales y equivalentes comerciales parte I.....	49
Tabla 6 Dimensiones reales y equivalentes comerciales parte II.....	50
Tabla 7 Resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 01	65
Tabla 8 Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 01	67
Tabla 9 Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 01	70
Tabla 10 Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 01	73
Tabla 11 Resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 02	74
Tabla 12 Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 02.....	76
Tabla 13 Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 02	79
Tabla 14 Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 02	82
Tabla 15 Resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 03	84
Tabla 16 Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 03.....	86
Tabla 17 Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 03	89
Tabla 18 Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 03	91
Tabla 19 Resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 04	93
Tabla 20 Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 04.....	95
Tabla 21 Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 04	97
Tabla 22 Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 04	100
Tabla 23 Resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 05	101
Tabla 24 Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 05.....	103
Tabla 25 Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 05	105
Tabla 26 Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 05	108
Tabla 27 Resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 06	110
Tabla 28 Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 06.....	112
Tabla 29 Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 06	115
Tabla 30 Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 06	118
Tabla 31 Resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 07	120

Tabla 32 Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 07	122
Tabla 33 Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 07	124
Tabla 34 Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 07	126
Tabla 35 Resultados promedio de los cálculos estructurales del encofrado	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Falla estructural del encofrado para una losa maciza	22
Figura 2 Madera aserrada.....	33
Figura 3 Madera rolliza.....	34
Figura 4 Unidades para comercializar la madera	35
Figura 5 Lista de especies agrupadas	36
Figura 6 Dirección del grano en la madera	37
Figura 7 Compresión paralela al grano	37
Figura 8 Compresión perpendicular al grano.....	38
Figura 9 Tracción paralela al grano	39
Figura 10 Corte paralelo al grano.....	39
Figura 11 Flexión paralela al grano	40
Figura 12 Partes del encofrado para losa aligerada.....	47
Figura 13 Dimensiones comerciales y reales de la escuadría (sección transversal)	49
Figura 14 Foto panorámica de la vivienda N° 01	64
Figura 15 Medición de la sección transversal de los tablones en la vivienda N° 01 ...	65
Figura 16 Gráfico de resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 01	66
Figura 17 Soleras usadas en el encofrado de la vivienda N° 01	67
Figura 18 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 01	68
Figura 19 Pies derechos usados en el encofrado de la vivienda N° 01	69
Figura 20 Cuñas usadas bajo los pies derechos en la vivienda N° 01	69
Figura 21 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 01	71
Figura 22 Tablones en mal estado usados en el encofrado de la vivienda N° 01	71
Figura 23 Pie derecho con curvatura notoria en la vivienda N° 01	72
Figura 24 Foto panorámica de la vivienda N° 02	73
Figura 25 Separación de tablones en el encofrado de la vivienda N° 02.....	74
Figura 26 Gráfico de resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 02	75
Figura 27 Medición de la sección transversal de las soleras en la vivienda N° 02.....	76
Figura 28 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 02.....	77
Figura 29 Medición de la separación entre pies de derechos en la vivienda N° 02.....	78
Figura 30 Medición de la altura de la cuña del pie derecho en la vivienda N° 02.....	78
Figura 31 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 02.....	80

Figura 32 Solera dañada utilizada en el encofrado de la vivienda N° 02	80
Figura 33 Tablones dañados utilizados en el encofrado de la vivienda N° 02	81
Figura 34 Foto panorámica de la vivienda N° 03	82
Figura 35 Separación de tablones utilizados en el encofrado de la vivienda N° 03	83
Figura 36 Medición de la altura del tablón en la vivienda N° 03	83
Figura 37 Gráfico de resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 03	85
Figura 38 Soleras utilizadas en el encofrado de la vivienda N° 03.....	85
Figura 39 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 03.....	87
Figura 40 Pies derechos usados en el encofrado de la vivienda N° 03	87
Figura 41 Medición de la separación entre pies derechos en la vivienda N° 03.....	88
Figura 42 Medición de la altura de pies derechos en la vivienda N° 03.....	88
Figura 43 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 03.....	90
Figura 44 Tablón roto utilizado en el encofrado de la vivienda N° 03	90
Figura 45 Cuñas usadas en los pies derechos del encofrado de la vivienda N° 03.....	91
Figura 46 Foto panorámica de la vivienda N° 04	92
Figura 47 Distribución de los tablones en el encofrado de la vivienda N° 04.....	92
Figura 48 Toma de datos del encofrado en la vivienda N° 04	93
Figura 49 Gráfico de resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 04	94
Figura 50 Medición de la altura de soleras en el encofrado de la vivienda N° 04.....	95
Figura 51 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 04.....	96
Figura 52 Medición de pies derechos en el encofrado de la vivienda N° 04.....	97
Figura 53 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 04.....	98
Figura 54 Pie derecho quebrado usado en el encofrado de la vivienda N° 04.....	99
Figura 55 Cuña utilizada en el encofrado de la vivienda N° 04	99
Figura 56 Foto panorámica de la vivienda N° 05	100
Figura 57 Separación de los tablones en el encofrado de la vivienda N° 05	102
Figura 58 Gráfico de resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 05 ...	102
Figura 59 Medición de la solera en el encofrado de la vivienda N° 05	103
Figura 60 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 05.....	104
Figura 61 Medición de pies derechos en el encofrado de la vivienda N° 05	105
Figura 62 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 05.....	106
Figura 63 Soleras traslapadas utilizadas en el encofrado de la vivienda N° 05.....	107

Figura 64	Tablón agrietado utilizado en el encofrado de la vivienda N° 05.....	107
Figura 65	Foto panorámica de la vivienda N° 06	108
Figura 66	Distribución de unidades de albañilería alveolares en la vivienda N° 06..	109
Figura 67	Separación de los tablones en el encofrado para la vivienda N° 06	109
Figura 68	Gráfico de resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 06 ...	111
Figura 69	Medición de la solera en el encofrado de la vivienda N° 06	111
Figura 70	Separación de soleras en el encofrado de la vivienda N° 06.....	113
Figura 71	Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 06.....	113
Figura 72	Separación de pies derechos en el encofrado de la vivienda N° 06	114
Figura 73	Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 06.....	116
Figura 74	Cuñas de madera utilizadas en el encofrado de la vivienda N° 06.....	117
Figura 75	Soleras carcomidas y agrietadas en el encofrado de la vivienda N° 06 ...	118
Figura 76	Foto panorámica de la vivienda N° 07	119
Figura 77	Separación de los tablones en el encofrado de la vivienda N° 07	119
Figura 78	Gráfico de resultados de la medición de tablones en la vivienda N° 06 ...	121
Figura 79	Medición de soleras en el encofrado de la vivienda N° 07	121
Figura 80	Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 07.....	123
Figura 81	Soleras traslapadas usadas en el encofrado de la vivienda N° 07	123
Figura 82	Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 07.....	125
Figura 83	Solera en pésimas condiciones en el encofrado de la vivienda N° 07.....	125
Figura 84	Cuña del pie derecho usada en el encofrado de la vivienda N° 07.....	126

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Momento resistente	51
Ecuación 2 Separación entre elementos sometidos a flexión	51
Ecuación 3 Módulo de sección para vigas de sección rectangular	52
Ecuación 4 Esfuerzo horizontal máximo para vigas simplemente apoyadas.....	52
Ecuación 5 Esfuerzo horizontal máximo para vigas continuas.....	53
Ecuación 6 Esfuerzo horizontal máximo para vigas simplemente apoyadas.....	53
Ecuación 7 Esfuerzo horizontal máximo para vigas continuas.....	53
Ecuación 8 Deflexión para viga simplemente apoyada	54
Ecuación 9 Deflexión para viga empotrada en dos tramos	54
Ecuación 10 Deflexión para vigas continuas	54
Ecuación 11 Fórmula de Euler	55
Ecuación 12 Fórmula de Euler modificada.....	55
Ecuación 13 Carga admisible por pandeo.....	56
Ecuación 14 Carga admisible por pandeo para columnas cortas	56
Ecuación 15 Carga admisible por pandeo para columnas intermedias	57
Ecuación 16 Constante k.....	57

RESUMEN

En esta investigación, el objetivo fue determinar los valores de la evaluación del diseño estructural de encofrados de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura. El método empleado fue del tipo de investigación aplicada, el nivel descriptivo, el diseño de la investigación fue no experimental de corte transversal y el enfoque de la investigación fue mixto. En los resultados, se logró evaluar siete viviendas unifamiliares en proceso de construcción, con un total de doscientos diez (210) elementos de madera, consiguiendo como escuadrillas promedias para tablones de 1 pulgada x 8 pulgadas, para soleras de 2 pulgadas x 4 pulgadas y pies derecho de diámetro de 3 pulgadas con altura de 2.50 m. Así mismo, las especies de madera predominantes fueron: tornillo y eucalipto. Las conclusiones, en lo referente a valores del diseño estructural para los tablones se obtuvo, que el momento de inercia fue igual a 26.49 cm⁴, módulo de sección igual a 21.11 cm³ y un esfuerzo cortante igual a 2.53 kgf/cm²; para las soleras: el momento de inercia fue igual a 504.08 cm⁴, el módulo de sección igual a 97.24 cm³, el esfuerzo cortante igual a 6.71 kgf/cm² y la separación de 64.14 cm; finalmente, para los pies derechos los siguientes: carga admisible igual a 383.43 kgf, esfuerzo de compresión igual a 11.18 kgf/cm² y espaciamiento de 118.00 cm.

Palabras clave: evaluación estructural, diseño estructural, vivienda unifamiliar, encofrado de madera, losa aligerada, Huaura.

ABSTRACT

In this investigation, the objective was to determine the values of the evaluation of the structural design of wooden formwork for lightened slabs of single-family homes in the city of Huaura. The method used was of the applied research type, the descriptive level, the research design was non-experimental, cross-sectional, and the research approach was mixed. In the results, it was possible to evaluate seven single-family homes under construction, with a total of two hundred and ten (210) wooden elements, achieving average squads for 1-inch x 8-inch planks, for 2-inch x 4-inch screeds and straight feet of diameter of 3 inches with a height of 2.50 m. Likewise, the predominant wood species were: tornillo and eucalyptus. The conclusions, in relation to values of the structural design for the planks, were obtained, that the moment of inertia was equal to 26.49 cm⁴, section module equal to 21.11 cm³ and a shear stress equal to 2.53 kgf/cm²; for the screeds: the moment of inertia was equal to 504.08 cm⁴, the section module equal to 97.24 cm³, the shear stress equal to 6.71 kgf/cm² and the separation of 64.14 cm; finally, for the right feet the following: permissible load equal to 383.43 kgf, compression stress equal to 11.18 kgf/cm² and spacing of 118.00 cm.

Keywords: structural evaluation, structural design, single-family home, wooden formwork, lightened slab, Huaura.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación aborda la evaluación del diseño estructural de los tablonos, soleras y pies derechos que conforman los encofrados de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura. Tema que muy pocos autores han tomado en cuenta, algunos de ellos han realizado investigaciones sobre el encofrado con respecto al costo y rendimiento, o algunos han recurrido a evaluar encofrados metálicos o de madera en construcciones de envergadura, pero casi nadie con respecto a ese 80% de viviendas que son autoconstruidas, tal como lo menciona la Sociedad Peruana de Bienes Raíces (2019).

La seguridad en la obra es de capital importancia, justamente esta característica de los encofrados ha sido infravalorada a lo largo de los años. Y se ve reflejado con lo acontecido en julio del 2022, en el distrito limeño de Ventanilla, lugar en donde la estructura de encofrado de madera colapsó, cuando se realizaba el vaciado de concreto para la losa, debido a una falla estructural. Por tal motivo, la actual tesis busca contribuir y aportar en alguna nueva normativa de seguridad o diseño para los encofrados, que pueda surgir de uno de los niveles del gobierno, con respecto a la elaboración de planos para encofrados y la supervisión de la calidad de los materiales usados para su armado. Así mismo, también se pretende incentivar a que los futuros profesionales se involucren más en nuevas investigaciones, en torno a los encofrados para los diferentes elementos estructurales de las obras civiles, o indagaciones de encofrados con nuevos materiales oriundos de nuestro país, que logren un equilibrio entre seguridad y economía.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática

En América Latina, la construcción de viviendas familiares se ha incrementado notoriamente en las últimas décadas, ya sean por motivos políticos, económicos o sociales de cada país. Todo esto, ha generado que las ciudades crezcan de manera desordenada y que los habitantes construyan sus residencias sin la supervisión técnica de ingenieros civiles o arquitectos, antes y durante el proceso constructivo.

La gran mayoría de viviendas en nuestro continente son denominadas viviendas autoconstruidas, tal como lo resalta el portal web IQ Latino: En América Latina, llamamos de diferentes maneras a las áreas urbanas informales, como barrios, tugurios, favelas o villa miseria. Pero la mayoría de las casas en estas áreas se construyen por las familias mismas a lo largo de muchos años, utilizando sus ahorros y esfuerzo (Salas, 2015).

El Perú no está lejano de este problema, es más, se podría decir que la situación es alarmante. Así lo indica el estudio realizado por la Sociedad Peruana de Bienes Raíces (2019): “el 80% de las viviendas en el Perú son construidas por sus propietarios, sin contar con asistencia profesional”. Esto revela que las viviendas construidas en el Perú son autoconstruidas, es decir los propietarios acuden exclusivamente a los maestros de obra para la construcción de sus residencias, sin el control adecuado de un profesional.

La autoconstrucción de viviendas también es un problema notorio en la provincia de Huaura. Por ejemplo, en la zona sur del distrito de Huacho se evidencia el crecimiento desmedido de asentamientos humanos, asociaciones de vivienda y pueblos jóvenes. En su mayoría originados por las invasiones y/o tráfico de terrenos. Conllevando a que estas familias

opten por la autoconstrucción de sus viviendas, buscando únicamente el asesoramiento de un maestro de obra de su localidad. En la zona norte del distrito de Huaura ocurre un panorama similar, el crecimiento de habilitaciones urbanas ha generado que muchos propietarios construyan sus viviendas sin la vigilancia técnica de un profesional calificado.

Todo lo mencionado anteriormente, nos permite evidenciar que existe un gran problema durante el proceso constructivo de las viviendas de uso familiar. Durante este proceso, los encofrados juegan un rol muy importante porque proporcionan seguridad y calidad en la construcción de los diferentes elementos estructurales, tales como: columnas, vigas, losas, sobrecimientos, entre otros.

Si no contamos con un adecuado diseño estructural y montaje de los encofrados, los elementos estructurales de concreto armado que conforman una vivienda, no podrían soportar de manera eficiente las fuerzas gravitacionales y fuerzas sísmicas, generando daños estructurales permanentes a la vivienda. Por otro lado, el inadecuado diseño de los encofrados disminuye la seguridad de los trabajadores durante la construcción, pudiendo generar pérdidas humanas y sobrecostos para el propietario.

Los encofrados para losas macizas o aligeradas están diseñados para soportar las fuerzas gravitacionales del concreto, del acero, de las unidades de albañilería, de los equipos, de las maquinarias y de todo el personal encargado de construir este diafragma rígido. En consecuencia, este tipo de encofrados debe brindar mayor seguridad, con el fin de salvaguardar las vidas humanas involucradas durante la construcción de las losas, tal como se muestra en la figura 1.



Figura 1 Falla estructural del encofrado para una losa maciza

Fuente: Instaingenieria (2020)

Para evitar las posibles fallas de los encofrados, en los diferentes elementos estructurales se debe:

- Realizar un adecuado diseño estructural del encofrado.
- Realizar el correcto ensamble y montaje de los elementos estructurales del encofrado.
- Prever las situaciones potenciales de falla del encofrado.
- Fiscalizar de manera constante las construcciones de viviendas a través de los gobiernos locales, regionales y nacionales.
- Brindar charlas técnicas sobre el adecuado proceso constructivo para una vivienda de uso familiar.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son los valores de la evaluación del diseño estructural de encofrados de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuáles son los valores del diseño estructural de los tablonos usados en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura?

¿Cuáles son los valores del diseño estructural de las soleras usadas en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura?

¿Cuáles son los valores del diseño estructural de los pies derechos usados en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar los valores de la evaluación del diseño estructural de encofrados de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar los valores del diseño estructural de los tablonos usados en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura.

Determinar los valores del diseño estructural de las soleras usadas en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura.

Determinar los valores del diseño estructural de los pies derechos usados en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura.

1.4 Justificación de la investigación

La actual investigación es importante porque permitió conocer los valores del diseño estructural de encofrados de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura. En consecuencia, futuras investigaciones podrán utilizar estos valores de diseño estructural de encofrados, en las especialidades de construcción, seguridad y optimización de costos de las carreras de ingeniería civil y arquitectura. Del mismo modo, la actual tesis fomentará que las nuevas investigaciones incluyan el diseño estructural de

encofrados de madera y de otros materiales con el fin de ser aplicados a los diferentes elementos estructurales de concreto armado. Finalmente, se consiguió inferir las carencias en el diseño y montaje de los encofrados de madera para la construcción de losas aligeradas, contribuyendo a que los gobiernos locales, regionales y nacionales puedan generar nuevas políticas de estado respecto a la supervisión y/o dirección técnica en las construcciones de viviendas unifamiliares.

1.5 Delimitaciones del estudio

Delimitación temporal

La actual investigación se realizó durante el año 2022.

Delimitación espacial

La actual investigación se realizó en la ciudad de Huaura, provincia de Huaura, Región Lima.

Delimitación social

La actual investigación involucró a los habitantes del sector El Socorro de la ciudad de Huaura.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones internacionales

Correa y Correa (2018) en su tesis de investigación para titularse de ingeniero civil titulada “Estudio comparativo de los tipos de encofrado metálico y el tradicional (caña guadua y madera) aplicado a una edificación tipo de 3 niveles de 450 m² de hormigón armado”, presentada en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. Plantearon como objetivo general: analizar técnicamente y económicamente el empleo del encofrado metálico y el tradicional (caña guadua y madera) para la construcción de edificaciones y como objetivos específicos propusieron: determinar el tiempo de vida útil y seguridad industrial de los dos tipos de encofrado y recomendar en base al estudio económico, la utilización del mejor tipo de encofrado. El tipo de investigación que emplearon los autores es exploratorio y su diseño de investigación es cuantitativo, siendo su población de investigación todos los habitantes económicamente activos del cantón La Troncal, ubicada en la provincia del Cañar, Ecuador y se usó como muestra probabilística a trescientos setenta y ocho habitantes que se encuentran distribuidos equitativamente a través de los cuatro puntos cardinales, quienes proporcionarán información referente al sistema de encofrado que ellos utilizarían en el caso de tener la oportunidad a construir. Sus resultados revelaron que el encofrado metálico tiene ventaja en el tiempo del encofrado y desencofrado como la del aplomado, cuyas molduras proporcionan caras limpias soportando una presión de concreto hasta el 80 kN/m², debido a esto, los profesionales de la construcción tratan de inducir a las personas dueñas de las obras para que hagan uso de los encofrados metálicos, y lograr reemplazar el encofrado tradicional, factor elemental que incide en la tala de bosques y el desgaste de los recursos naturales que posee el planeta. Finalmente concluyeron que el tiempo de vida útil del encofrado de madera es muy corto, debido a que la madera, así como la caña guadua tiende a deformarse debido a los factores climáticos (agua, sol), mientras que el encofrado metálico tiene una perdurabilidad más significativa.

Piedrahita (2017) en su tesis de investigación para titularse de ingeniero civil titulada “Análisis de factibilidad del encofrado deslizante en la construcción de edificaciones”, presentada en la Universidad EIA, Antioquia, Colombia. Propuso como objetivo general: verificar si el encofrado deslizante como método constructivo es factible desde el punto de vista económico en una edificación propuesta por la constructora Conconcreto y como objetivos específicos planteó: analizar los costos que actualmente son asumidos a la hora de construir una edificación por el método constructivo tradicional y comparar los costos totales para cada método constructivo en la edificación propuesta. El enfoque de investigación de la tesis es cuantitativo, siendo su población todo el proyecto Mantia Apartamentos, ubicado en el municipio de Itagüí, Antioquia la que comprende la construcción de dos torres de vivienda con 240 apartamentos y una altura de 20 m y como muestra utilizaron todos los muros y las losas de una torre del proyecto. Los resultados indican que el encofrado deslizante, contra el del encofrado tradicional tiene una diferencia considerable en los costos a la hora de ejecutar los muros y las losas de uno de las dos torres del proyecto Mantia Apartamentos, también revelaron que el encofrado deslizante supera en un 66% al presupuesto total de estos elementos ejecutados mediante métodos tradicionales de encofrado. Se concluyó que el encofrado deslizante como metodología constructiva para la ejecución de edificaciones en Colombia no es factible bajo las condiciones técnicas mencionadas en el presente trabajo, no tanto por la alta inversión inicial que se debe hacer para el encofrado, sino por altos costos directos que se obtienen para el sistema de conexión entre los muros y las losas, comparados con el sistema tradicional.

Guerreo (2018) en su tesis de investigación para titularse de ingeniero civil titulada “Análisis comparativo de factibilidad técnica, económica y constructiva entre encofrado tradicional y encofrado LosaFlex para losas y vigas de hormigón armado en edificaciones”, presentada en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. Propuso como objetivo general: determinar los valores de factibilidad técnica, económica y constructiva del sistema tradicional de encofrados para vigas y losas de hormigón armado en edificaciones en comparación al sistema de encofrado “LosaFlex” y como objetivos específicos planteó: determinar los beneficios y desventajas del sistema tradicional de encofrados para vigas y losas de concreto armado en edificaciones en comparación al sistema de encofrado “LosaFlex”. El tipo de

investigación de la tesis es descriptivo-correlacional, siendo su población y muestra dos edificios en construcción en Quito, en donde se pudo observar las ventajas y desventajas del proceso constructivo, así como la duración con los dos tipos de encofrado. Obteniendo como resultado que el sistema LosaFlex es viable, siendo mejor en los aspectos técnicos y constructivos sin importar las condiciones del elemento estructural (vigas y losas) a encofrar y con un costo muy inferior para encofrado de losas planas (losas de espesor constante) o con luces grandes en comparación del encofrado tradicional y también se recomienda que el diseño de la estructura se coordine con el diseño arquitectónico con el afán de tener luces grandes o a su vez losas planas, para que de esta manera se pueda maximizar los beneficios que este nuevo sistema de encofrado (LosaFlex) presenta. Se concluyó que los elementos del sistema LosaFlex son más livianos a los utilizados en el otro sistema, como es el caso de la vigueta metálica de 3 m de largo pesa 33 kg mientras una viga de madera vm 20 plus de 3 metros de largo pesa 13.80 kg, por tal motivo la manejabilidad del equipo para llevar a cabo la instalación del encofrado es más fácil y el tiempo se reduce considerablemente, aumentando el rendimiento de la mano de obra.

García y Ramos (2018) en su tesis de ingeniero civil titulada “Análisis comparativo, técnico y económico de placas prefabricadas Hollow contra sistema de encofrado de formaletas industrializada de losas aligeradas”, presentada en la Universidad Nacional Pedro Enriquez Ureña, Santo Domingol, República Dominicana. Plantearon como objetivo general: evaluar las variables de tipo técnico y económico entre dos sistemas industrializados de construcción de placas aligeradas, sistema Hollow Core y encofrado industrializado de formaleta y como objetivos específicos plantearon: identificar las características técnicas de cada uno de los sistemas industrializados de construcción y detallar los procesos de construcción de losas aligeradas en cada uno de los sistemas industrializados. El nivel de investigación que emplearon los autores es documental y el método de la investigación usado es inductivo, siendo su población y muestra las losas aligeradas de niveles, tipo del edificio Corporate Center de Santo Domingo. Sus resultados revelaron que el sistema de encofrado de formaletas son más económicos, presentando un 14.99% gasto menor en comparación del sistema Hollow Core pero en lo referente a rendimiento en días, el sistema Hollow Core obtuvo un menor rendimiento, presentando un 18.75% de menor

rendimiento en días en comparación del sistema de encofrado de formaletas. Finalmente concluyeron que el sistema más rentable para el contratista es el sistema prefabricado “Hollow Core”, ya que se obtienen mayores beneficios en menor tiempo y en lo referente a la seguridad del personal, los sistemas industrializados nos brindan mayor rendimiento con menos mano de obra, esto quiere decir que mientras más industrializado sea el sistema a utilizar tenemos menos personal y menos materiales involucrados en el proceso de construcción y por ende existe un menor riesgo de accidentes laborales.

Herrera, Moreno y Robles (2016) en su trabajo de investigación para ingeniero civil titulada “Diagnóstico del uso de encofrados en elementos estructurales de concreto para los diferentes tipos de edificaciones en la zona oriental de El Salvador”, presentada en la Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador. Plantearon como objetivo general: realizar un diagnóstico del cálculo, diseño y construcción de encofrados que son utilizados para el confinamiento y moldeado de estructuras de concreto en la zona oriental de El Salvador. El nivel de investigación que emplearon los autores es exploratorio, su población fue de cuarenta y tres construcciones que se ejecutaron en la zona oriental de El Salvador, en el municipio de San Miguel y se usó como muestra probabilística a veintisiete construcciones. En sus resultados se obtuvo una separación promedio entre soleras de 101.62 cm, siendo la longitud a tomar en obra de 100 cm y una separación promedio entre puntales o pies derechos circulares de 0.85 m, para un peralte de losa de 0.17 m. Finalmente concluyeron que en la zona oriental de El Salvador, la elaboración de encofrados se realiza en su mayoría de manera empírica, es decir, que no se emplea un diseño de encofrados, desconociendo los nuevos sistemas que contribuirían en la elaboración de moldes con mayor capacidad de soportar cargas y mayor número de usos, permitiendo un ahorro en cuestión de tiempo y costos del proyecto, también indicaron que para realizar un buen diseño de encofrado, primero se procede a analizar el tipo de estructura de concreto a realizar. Como es el caso de: cimentaciones, columnas, paredes, losas y vigas de concreto considerando sus dimensiones y condiciones de cargas a la que estará sujeta la formaleta que los confinará.

2.1.2 Investigaciones nacionales

Apaza y Machaca (2020) en su tesis de investigación para titularse de ingeniero civil titulada “Diseño y evaluación de encofrado con fenólicos para construcción del colegio Innova School, Juliaca-2020”, presentada en la Universidad Privada de Trujillo. Plantearon como objetivo general: diseñar y evaluar el encofrado de vigas, columnas y losas con fenólicos para la construcción del colegio Innova School, de la ciudad de Juliaca y como objetivos específicos propusieron: describir las consideraciones estructurales y técnicas para el diseño del encofrado, diseñar el encofrado de vigas, losas y columnas con fenólicos, estimar el costo de las soluciones calculadas y evaluar el rendimiento de la colocación de encofrados con fenólicos. El tipo de investigación que emplearon los autores es descriptivo y el diseño de la investigación es no experimental, para esta investigación la población fue el colegio Innova School de la ciudad de Juliaca y como muestra de investigación se utilizaron: una columna, una viga y una losa en la ejecución de la obra Innova School de la ciudad de Juliaca. Sus resultados referentes al comportamiento estructural del encofrado de madera para losas, nos indicaron que obtuvieron una separación entre soleras de 102.64 cm, siendo la longitud a tomar en obra de 105 cm para una tabla de 1 1/2x8 pulgadas cuadradas y una separación entre puntales de 1.00 m con una altura de 3.20 m para la especie de madera eucalipto rollizo, para un peralte de losa aligerada de 0.20 m. Finalmente se concluyó que fue posible diseñar estructuralmente el encofrado de columna, viga y losa para el colegio Innova School de Juliaca y el encofrado con fenólico sufrió una deformación lateral de 1.13 mm, por otro lado, el encofrado con madera sufrió una deformación lateral de 2.82 mm siendo la causa principal de esta deformación el uso del alambre N° 8 para asegurar los barros, por eso el encofrado con madera obtiene esta deformación.

Arapa y Maldonado (2019) en su tesis de ingeniero civil titulada “Análisis de la eficiencia del empleo de encofrados metálicos y madera en la construcción de edificios de la ciudad del Cusco-2017”, presentada en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Plantearon como objetivo general: comparar la eficiencia de los encofrados metálicos con respecto al encofrado de madera en la construcción de edificios y como objetivos específicos propusieron dos, el primero fue: cuantificar los costos de materiales y mano de obra al emplear los encofrados metálicos y los

encofrados de madera en la construcción de edificios y el segundo objetivo específico fue: determinar el comportamiento estructural de los encofrados metálicos y los encofrados de madera durante el vaciado del concreto en la construcción de edificios de la ciudad del Cusco durante el año 2017. El tipo de investigación que emplearon los autores es comparativo, ya que compararon el rendimiento, la seguridad, la calidad y los costos con el comportamiento estructural del sistema de encofrado metálico y sistema de encofrados de madera, el diseño de investigación utilizado fue transversal correlacional-cuasi experimental y tal como lo indican los autores, su tesis tiene como objetivo indagar la incidencia y los valores en que se manifiestan una o más variables. Sus resultados indicaron que los encofrados metálicos tienen elementos fabricados con exactitud, donde las piezas vienen totalmente elaboradas que permiten un ensamble rápido en obra, permitiendo un aumento del rendimiento en un 50% más en comparación del encofrado de madera, considerando desde la elaboración en obra del encofrado de madera y el encofrado metálico no requiere de un personal especializado si no de un obrero con previa capacitación, en comparación del encofrado de madera que requiere de un maestro carpintero para la elaboración de las formas de madera y ensamblado. Finalmente concluyeron que el diseño del sistema de encofrados en Cusco es reducido y se lleva a cabo de manera empírica, es decir no se emplea un diseño de encofrados, a pesar de que el cálculo y la elaboración de los encofrados es uno de los aspectos más importantes, también se observa que en la mayoría de los proyectos no se cuenta con planos de encofrados, solo se utilizan los planos estructurales y de detalle.

Laura (2016) en su trabajo de investigación para obtener el título de ingeniero civil titulada “Diseño de sistema de encofrados en la provincia de Angaraes-Huancavelica”, presentada en la Universidad Nacional de Huancavelica. Propuso como objetivo general: determinar un diseño adecuado de encofrados de los elementos que conforman una estructura en edificaciones y como objetivos específicos planteó: determinar el diseño adecuado de encofrado en losa, viga y columna en edificaciones en el distrito de Lircay, provincia de Angaraes, región Huancavelica. El tipo de investigación de la tesis es pura, ya que busca contribuir a la ampliación del conocimiento científico, su nivel de investigación es descriptivo y su población de investigación fueron las obras ejecutadas en el año 2014 por la subgerencia del gobierno regional de Huancavelica y para su muestra se utilizó la obra llamada: mejoramiento de

los servicios educativos de la institución educativa José Carlos Mariátegui de Ccollpapampa del distrito de Lircay, provincia de Angaraes, región Huancavelica. Los resultados referentes al diseño de encofrados para losas macizas indicaron que las separaciones promedio entre soleras fue de 1.16 m y las separaciones promedio entre puntales o pies derechos fue de 0.66 m. Como conclusiones, la autora nos dice que su investigación es una guía que explica el diseño de encofrados para diferentes elementos de una infraestructura de edificación como losas, vigas y columnas, debido a que proporciona un esquema de cálculos mediante tablas y gráficos de fácil aplicación y finalmente menciona la importancia de los encofrados en la construcción de las estructuras y que los encofrados metálicos son muy costosos en comparación del encofrado de madera, pero a largo plazo resulta más rentable debido a que se puede utilizar más veces que el encofrado de madera.

Briceño (2017) en su tesis de investigación para titularse de ingeniero civil titulada “Aplicación de encofrados modulares en viviendas multifamiliares y productividad en obra-Condominio Real Carabayllo en el 2016”, presentada en la Universidad César Vallejo, sede Lima. Propuso como objetivo general: establecer que la aplicación de encofrados modulares en viviendas multifamiliares aumentará la productividad en obra del condominio Real Carabayllo y como objetivos específicos planteó: determinar que los bajos costos y el tiempo de instalación de encofrados modulares en viviendas multifamiliares mejorarán la productividad en obra del condominio Real Carabayllo. El tipo de investigación de la tesis es aplicada y su diseño de investigación es no experimental de corte transversal, siendo su población todo el condominio Real Carabayllo con una muestra no probabilística sujeta al criterio del autor. Los resultados indicaron que en la obra del condominio Real Carabayllo, el 75% utilizó encofrado metálico y el 25% utilizó encofrado de madera referente al nivel de utilización de encofrados modulares. Se concluyó que al elegir los encofrados adecuados se mejora la productividad de la obra del condominio Real Carabayllo y que la vida útil de los encofrados de madera solo duraba para 10 usos (metálicos máx. 150 usos), teniendo que renovar e incrementar el precio de estos.

Lazo (2018) en su tesis para titularse de ingeniero civil titulada “Aplicación de un sistema de encofrados con desplazamiento horizontal y su influencia en la

construcción del centro comercial Open Plaza Huancayo en la etapa de estructuras”, presentada en la Universidad Continental, sede Huancayo. Propuso como objetivo general: determinar la influencia de la aplicación de un sistema de encofrados con desplazamiento horizontal en la construcción del centro comercial Open Plaza Huancayo en la etapa de estructuras y como objetivos específicos planteó: identificar la producción y determinar el plazo de ejecución de la aplicación de un sistema de encofrados con desplazamiento horizontal en la construcción del centro comercial Open Plaza Huancayo en la etapa de estructuras. El tipo de investigación de la tesis es aplicada, su nivel de investigación es descriptivo-exploratorio, su diseño de investigación es transversal y su población fue todo área de la construcción del centro comercial Open Plaza Huancayo, siendo su muestra del tipo no probabilística con un área total de 11 349.62 metros cuadrados. Los resultados indicaron que el sistema de encofrados con rotación horizontal presenta un avance diario de 200 m² que es menor debido a que, en obra se tiene que realizar el corte a la cara de la viga que es la condición primordial para que este sistema funcione, en el proyecto se compensó el avance de los 200 m² para no tener retrasos trabajando más horas y avanzando mayor cantidad de área desde los 200 m² a 300 m². Se concluyó demostrando que el sistema de encofrados con desplazamiento horizontal contra un sistema tradicional disminuye de 250 m² a 200 m² de avance por día ya que se debe realizar el corte a la cara de la viga, también nos indica que la aplicación del sistema de encofrados con desplazamiento horizontal presenta un plazo mayor en la etapa de estructuras beneficiando a los proyectos, pero que en la etapa de estructuras y arquitectura del proyecto se lograría un menor plazo por la etapa de arquitectura que es una de las más variables en construcción.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 La madera

“Parte sólida de los árboles debajo de la corteza. Es el tejido principal de sostén, reserva y conducción de agua de los tallos y raíces” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020, p. 59).

Existen diferentes tipos de maderas, así lo menciona la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984):

- Anhidra.
- Aserrada.
- Clasificada.
- Comercialmente seca.
- Estructural.
- Verde.
- Labrada.
- Preservada.
- Rajada.
- Rolliza.

2.2.1.1 Madera aserrada de uso estructural

“Se denomina así a la madera escuadrada cuya función es básicamente resistente” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020, p. 15).



Figura 2 Madera aserrada

Fuente: BBC (2020)

2.2.1.2 Madera rolliza de uso estructural

“Se denomina madera rolliza a la madera utilizada en forma cilíndrica con o sin corteza” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020, p. 15).



Figura 3 Madera rolliza

Fuente: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2020)

Debido a sus ventajosas propiedades la madera es el material que frecuentemente se emplea en encofrados. Posee numerosas características tal como lo menciona SENCICO (2012): su bajo peso en relación a su resistencia, la facilidad para trabajarla, su ductilidad y su textura, la hacen aparente para su uso en encofrados.

“La unidad de comercialización de la madera es el pie tablar o pie cuadrado, equivalente en volumen a una pieza cuadrada de un pie lineal de lado y una pulgada de espesor” (Pacheco, 1980, p. 43). Las secciones o escuadrías se designan en pulgadas, por ejemplo: 1”x8”, 2”x4”, 3”x3”, entre otras más; la longitud se expresa en pies.

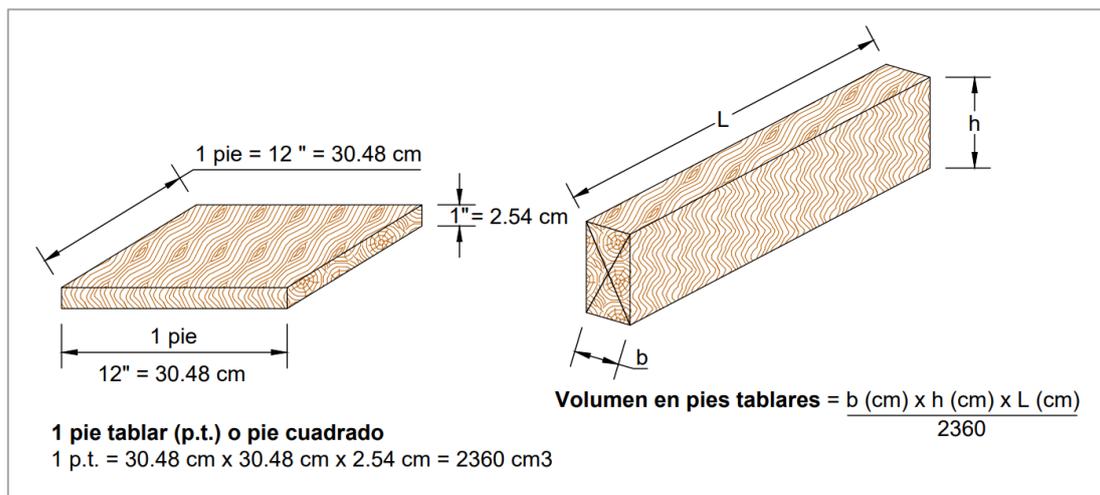


Figura 4 Unidades para comercializar la madera

Fuente: Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena (1984)

2.2.1.3 Especies y grupos de madera

SENCICO (2012) nos indica, que las especies de madera típicamente utilizadas en la fabricación de encofrados son el tornillo y la moena, ya que tienen propiedades de resistencia que las hacen adecuadas para su empleo en estructuras de madera y, por supuesto, en encofrados. Sin embargo, es importante que la madera no presente defectos notables que puedan comprometer su resistencia ni afectar la calidad de las superficies de concreto. Tales defectos pueden incluir deformaciones, curvaturas, fisuras, grietas y una cantidad excesiva de nudos huecos.

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020) en la norma E.010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones, nos indica las especies agrupadas según sus valores de densidad básica y de resistencia mecánica:

ÍTEM	COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	GRUPO
1	AZUCAR HUAYO	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	A
2	ESTORAQUE	<i>Miroxylon peruiferum</i>	
3	HUACAPU	<i>Minquartia guianensis</i>	
4	PUMAQUIRO	<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	
5	QUINILLA COLORADA	<i>Manilkara bidentata</i>	
6	SHIHUAHUACO MARRON	<i>Dipteryx odorata</i>	
7	AGUANO MASHA	<i>Machaerium inundatum</i>	B
8	ANA CASPI	<i>Apuleia leiocarpa</i>	
9	CACHIMBO COLORADO	<i>Cariniana domestica</i>	
10	CAPIRONA	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	
11	HUAYRURO	<i>Ormosia coccinea</i>	
12	MANCHINGA	<i>Brosimum uleanum</i>	
13	BOLAINA BLANCA	<i>Guazuma crinita</i>	C
14	CATAHUA AMARILLA	<i>Hura crepitans</i>	
15	COPAIBA	<i>Copaifera officinalis</i>	
16	DIABLO FUERTE	<i>Podocarpus rospigliosii</i>	
17	LAGARTO CASPI	<i>Calophyllum brasiliense</i>	
18	MASHONASTE	<i>Clarisia racemosa</i>	
19	MOENA AMARILLA	<i>Aniba amazónica</i>	
20	MOENA ROSADA	<i>Ocotea bofo</i>	
21	PANGUANA	<i>Brosimum utile</i>	
22	PAUJILRURO BLANCO	<i>Pterygota amazonica</i>	
23	TORNILLO	<i>Credelinga cateniformis</i>	
24	UTUCURO	<i>Septotheca tessmannii</i>	
25	YACUSHAPANA	<i>Terminalia oblonga</i>	

Figura 5 Lista de especies agrupadas

Fuente: Adaptado del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020)

2.2.1.4 Propiedades mecánicas de la madera

La madera, como material, exhibe una característica llamada anisotropía, lo que significa que muestra propiedades mecánicas distintas en diferentes direcciones. Cuando se somete a carga, el comportamiento de un componente de madera es diferente al que tendría un componente hecho de un material uniforme e isotrópico. En ingeniería, la madera a menudo se trata como un material ortotrópico, lo que significa que tiene direcciones características determinadas por la orientación de las fibras. Además, cuando se analizan componentes lineales como vigas o columnas, se puede considerar que la madera se comporta como si fuera un material uniforme e isotrópico (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Las principales propiedades mecánicas de la madera son: resistencia a la compresión paralela al grano, a la compresión perpendicular al grano, a la flexión, a la tracción y al corte paralelo al grano.

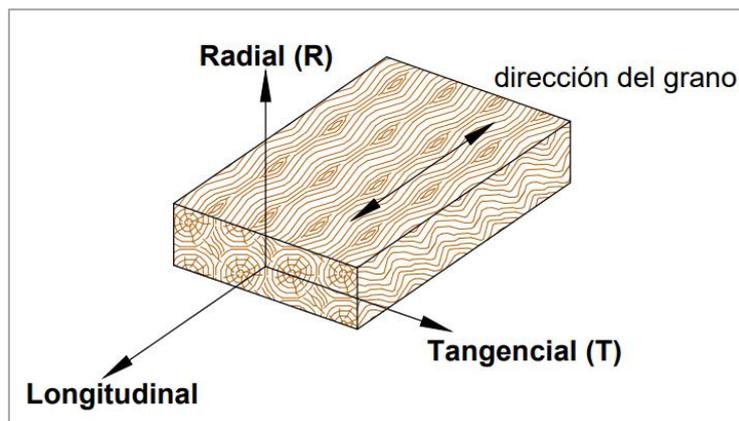


Figura 6 Dirección del grano en la madera

Fuente: Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena (1984)

2.2.1.4.1 Resistencia a la compresión paralela

La madera exhibe una notable resistencia cuando se somete a fuerzas de compresión en la misma dirección que sus fibras. Esto se debe a que las fibras están alineadas longitudinalmente en esa dirección, y esta disposición se acerca o coincide con la orientación de las microfibrillas que componen la capa media de la pared celular. La resistencia de la madera a la compresión en esta dirección es aproximadamente la mitad de su resistencia a la tracción (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

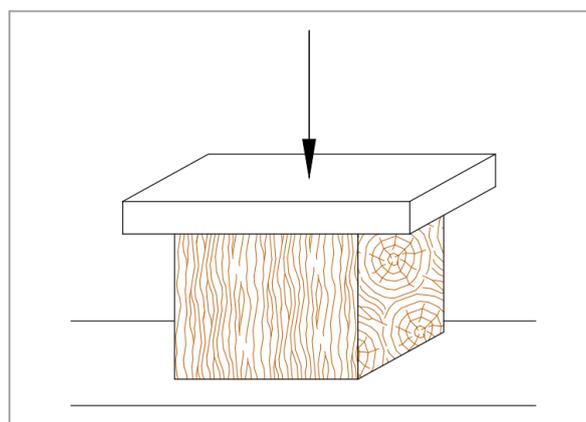


Figura 7 Compresión paralela al grano

Fuente: Adaptado de Constructor Civil (2011)

2.2.1.4.2 Resistencia a la compresión perpendicular

Bajo este tipo de cargas, las fibras experimentan una fuerza que actúa perpendicular a su eje y que tiene la tendencia de comprimir las pequeñas cavidades que se encuentran dentro de ellas. Esto permite la carga de la madera sin que se manifieste una falla que sea fácilmente discernible. La resistencia se define mediante el esfuerzo al límite proporcional, que generalmente oscila entre una cuarta y una quinta parte del esfuerzo al límite proporcional en compresión paralela (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

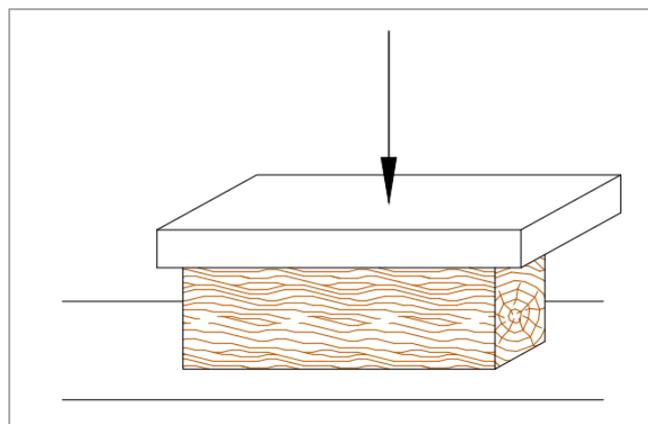


Figura 8 Compresión perpendicular al grano

Fuente: Adaptado de Constructor Civil (2011)

2.2.1.4.3 Resistencia a la tracción

“La resistencia a la tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión” (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984, p. 22).

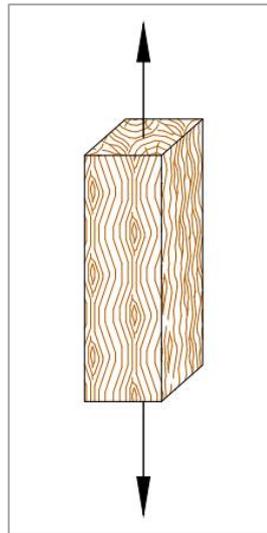


Figura 9 Tracción paralela al grano

Fuente: Adaptado de Historia de Covalada (2016)

2.2.1.4.4 Resistencia al corte paralelo

La Junta del Acuerdo de Cartagena (1984) menciona que, dentro de los elementos de construcción, se experimenta un esfuerzo de corte cuando las piezas están bajo cargas de flexión, es decir, se someten a fuerzas que provocan corte debido a la flexión. El esfuerzo máximo que puede soportar un material en condiciones de corte paralelo varía en promedio de 25 a 200 kg/cm². Este valor es más alto cuando se aplica en la dirección radial en comparación con la dirección tangencial.

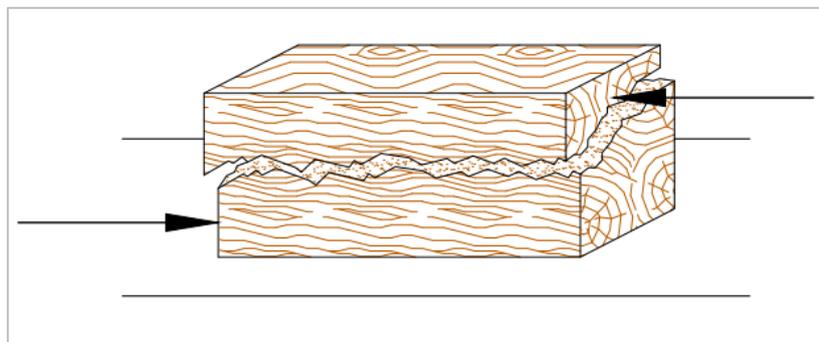


Figura 10 Corte paralelo al grano

Fuente: Adaptado de Constructor Civil (2011)

2.2.1.4.5 Resistencia a la flexión paralela

La distinción entre la capacidad de resistencia a la tracción y la capacidad de resistencia a la compresión paralela da lugar a un comportamiento típico en las vigas de madera cuando se someten a flexión. Dado que la resistencia a la compresión es inferior a la resistencia a la tracción, la madera experimenta una falla inicial en la zona de compresión. Esto resulta en un aumento en las deformaciones en la región comprimida y provoca el desplazamiento del eje neutro hacia la zona de tracción, lo que, a su vez, incrementa de manera significativa las deformaciones totales. Finalmente, la pieza cede debido a la tracción (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

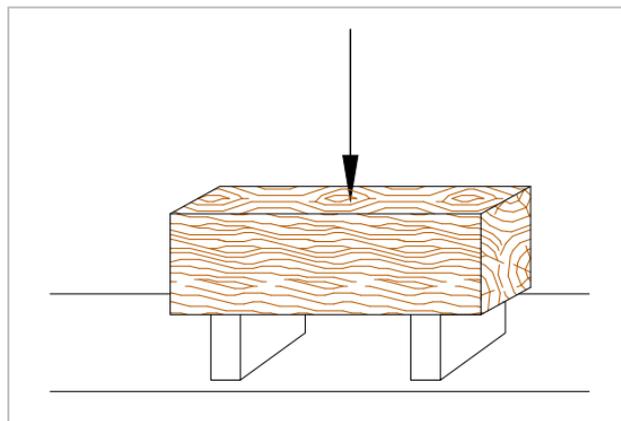


Figura 11 Flexión paralela al grano

Fuente: Adaptado de Constructor Civil (2011)

2.2.1.4.6 Módulo de elasticidad

“El módulo de elasticidad de la madera puede ser obtenido directamente de una curva esfuerzo-deformación. Puede ser hallado también por métodos indirectos como los ensayos a flexión” (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984, p. 26).

2.2.1.5 Propiedades mecánicas según agrupamiento de las maderas

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020) en la norma E.010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones, nos menciona que los valores de los módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles para los grupos A, B y C son los siguientes:

Tabla 1
Módulo de elasticidad para los grupos A, B y C

Grupo	Módulo de Elasticidad (E)	
	MPa (kgf/cm ²)	
	E mínimo	E promedio
A	9 316 (95 000)	12 748 (130 000)
B	7 355 (75 000)	9 806 (100 000)
C	5 394 (55 000)	8 826 (90 000)

Nota: el módulo de elasticidad (E) es aplicable para elementos en flexión, tracción o compresión en la dirección paralela a las fibras.

Fuente: Adaptado de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020)

Tabla 2
Esfuerzos admisibles para los grupos A, B y C

Grupo	Esfuerzos Admisibles				
	MPa (kgf/cm ²)				
	Flexión	Tracción	Compresión	Compresión	Corte
	f_m	Paralela	Paralela	Perpendicular	Paralela
		f_t	$f_c \parallel$	$f_c \perp$	f_v
A	20.6 (210)	14.2 (145)	14.2 (145)	3.9 (40)	1.5 (15)
B	14.7 (150)	10.3 (105)	10.8 (110)	2.7 (28)	1.2 (12)
C	9.8 (100)	7.3 (75)	7.8 (80)	1.5 (15)	0.8 (8)

Nota: Para los esfuerzos admisibles en compresión deberán considerarse adicionalmente los efectos del pandeo.

Fuente: Adaptado de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020)

2.2.2 El encofrado

El encofrado, cimbra o formaleta funciona como un sistema de apoyo que se utiliza cuando se vierte concreto fresco. Incluye los moldes o revestimientos que se ponen alrededor del concreto, así como todas las partes y refuerzos necesarios para mantenerlo en su lugar. (American Concrete Institute-347-04, 2014).

2.2.2.1 Clasificación de encofrados según su uso

2.2.2.1.1 Encofrados para usarse una vez

A veces, cuando construimos edificios, utilizamos un tipo de encofrado que solo se usa una vez y luego se queda en su lugar. Esto suele ocurrir en lugares donde es difícil o costoso quitarlo. También se usa en algunos edificios especiales que tienen funciones técnicas o decorativas particulares. En ciertos sistemas de construcción, este tipo de cimbra forma parte importante del proceso (INEN, 1978).

Dentro de los encofrados para usarse una vez, podemos mencionar lo siguientes tipos:

- Papel asfáltico o lámina plástica.
- Tubos de cartón o plástico.
- Unidades de albañilería tubulares (ladrillos de techo).
- Placas o planchas de fibrocemento.
- Bloques de poliuretano.

2.2.2.1.2 Encofrados para uso múltiples

Cuando empleamos encofrados que se pueden usar varias veces, por lo general son más baratos si se pueden usar una y otra vez. Para que sean fáciles de quitar, es importante diseñarlos de manera que se puedan soltar sin dificultad, especialmente si se van a retirar por completo. Para hacer esto, a veces aplicamos lubricante a la madera seca y al acero o mojamos la madera antes de verter el concreto. Dependiendo del tipo de materiales que se utilicen, es importante tomar medidas para que el proceso de retirada del encofrado sea sencillo y no dañe la estructura (INEN, 1978).

2.2.2.1.3 Clasificación de encofrados según su material

Los encofrados más usados pueden clasificarse según su material de la siguiente manera:

- Encofrados de madera.
- Encofrados metálicos.
- Encofrados plásticos.

2.2.2.1.4 Características de los encofrados

Cuando construimos diferentes partes de estructuras de concreto reforzado, como columnas, placas, vigas y losas, necesitamos usar encofrados. Estas cimbras son como moldes que nos ayudan a darle la forma, el tamaño y la posición correcta a estas partes, tal como se indica en los planos y dentro de los límites aceptables.

SENCICO (2012) menciona tres características importantes que se debe tener en cuenta en el diseño y construcción de encofrados:

- Seguridad.
- Precisión en las medidas.
- Economía.

Lo más importante de estos tres rasgos es la seguridad, ya que la mayoría de los accidentes en las obras de construcción ocurren debido a problemas con los moldes llamados encofrados. Las fallas generalmente ocurren porque no consideramos cuánto peso pueden soportar los moldes ni cómo ese peso afecta a éstos mismos. También, a veces usamos madera en mal estado o moldes que son demasiado débiles, y a veces no seguimos los pasos correctos para construir (SENCICO, 2012).

2.2.2.1.5 Cargas que actúan en los encofrados

Los encofrados soportan cargas verticales y cargas horizontales.

- Las cargas verticales consisten en la carga muerta y la carga viva.

- Las cargas horizontales lo constituyen el viento, la tensión de los cables, apoyos inclinados y el arranque y paralización de los equipos.

“El peso de la cimbra más el peso y refuerzo del concreto recientemente colocado constituyen la carga muerta. La carga viva incluye el peso de los trabajadores, el equipo, el material almacenado, pasillos de acceso y el impacto” (Comité ACI-347-04, 2014, p. 9).

Otro aspecto muy relevante es la presión lateral de concreto, el cual es un factor importante para el diseño estructural de encofrados para columnas, sobrecimientos, muros de contención, entre otros más. Debido a que la presente tesis solo se centrará en el diseño de encofrados para losas aligeradas, no será necesario explicar a detalle la teoría de la presión lateral del concreto fresco, ya que únicamente se usarán como factores predominantes las cargas verticales o gravitacionales.

De igual forma en la siguiente sección se abordarán las principales cargas que actúan en los encofrados de modo que el lector conozca o recuerde algunas definiciones básicas.

2.2.2.1.6 Peso del concreto

Los encofrados deben ser considerados como estructuras y no como simples moldes. Por lo tanto, mientras el concreto no alcance las resistencias mínimas exigibles y no pueda soportar su propio peso, los encofrados tienen que ser suficientemente resistentes para soportar el peso del concreto.

SENCICO (2012) menciona que el concreto es un material que tiene un peso considerable: un metro cúbico de concreto pesa 2400 kg, lo cual es una cantidad que no se debe subestimar. Para ponerlo en perspectiva, un metro cuadrado de una losa de concreto de 0.15 metros de espesor pesa 360 kg, lo que equivale a más de 8 bolsas de cemento.

2.2.2.1.7 Peso de los ladrillos para losas aligeradas

Cuando se trate de losas aligeradas, los encofrados serán responsables de soportar el peso de las unidades de albañilería tubulares (ladrillos de techo) y concreto de las viguetas. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020) en la norma E.020 Cargas, nos

proporciona los pesos por metro cuadrado de losa aligerada según la altura de los ladrillos de techo, tal como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3
Pesos por metro cuadrado de losas aligeradas

Espesor del aligerado (m)	Espesor de losa superior (m)	Peso propio kPa (kgf/m ²)
0.17	0.05	2.8 (280)
0.20	0.05	3.0 (300)
0.25	0.05	3.5 (350)
0.30	0.05	4.2 (420)

Fuente: Adaptado de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020)

2.2.2.1.8 Cargas de construcción

Como se había mencionado anteriormente las cargas de construcción son las cargas vivas, es decir corresponden al peso de los obreros que participan en el vaciado de los techos, así como el equipo usado para el llenado.

El Comité ACI-347-04 (2014) recomienda adoptar los siguientes valores:

- Vaciado con equipo normal: 50 lb/pie² (244.12 kgf/m²).
- Vaciado cuando se usen carritos motorizados: 75 lb/pie² (366.18 kgf/m²).

En consecuencia, la carga por metro cuadrado sobre el encofrado de una losa aligerada de 0.20 m de espesor, vaciado con equipo normal será: $300 \text{ kgf/m}^2 + 244.12 \text{ kgf/m}^2 = 544.12 \text{ kgf/m}^2$, casi media tonelada.

2.2.2.1.9 Peso de los encofrados

“En encofrados de madera el peso propio tiene poca significancia con relación al peso del concreto y cargas de construcción” (SENCICO, 2012, p. 125). Por lo tanto, en la presente tesis dicho peso fue soslayado en el momento de realizar los cálculos estructurales.

2.2.2.1.10 Presión del concreto fresco

Pacheco (1980) nos menciona que cuando vertemos concreto, éste se encuentra en una fase plástica y empuja hacia los lados de las estructuras de contención llamadas encofrados. Esta presión lateral aumenta a medida que vertemos más concreto y este se acumula en el encofrado mientras se vacía.

2.2.3 Elementos del encofrado de madera para losas aligeradas

CAPECO (2003) en su libro Costos y Presupuestos en Edificaciones, nos menciona los siguientes elementos que conforman los encofrados de madera para losas aligeradas: (1) tablones, (2) Soleras, (3) pies derechos, (4) arriostres, (5) cuñas, (6) uniones, (7) refuerzo lateral y (8) frisos.

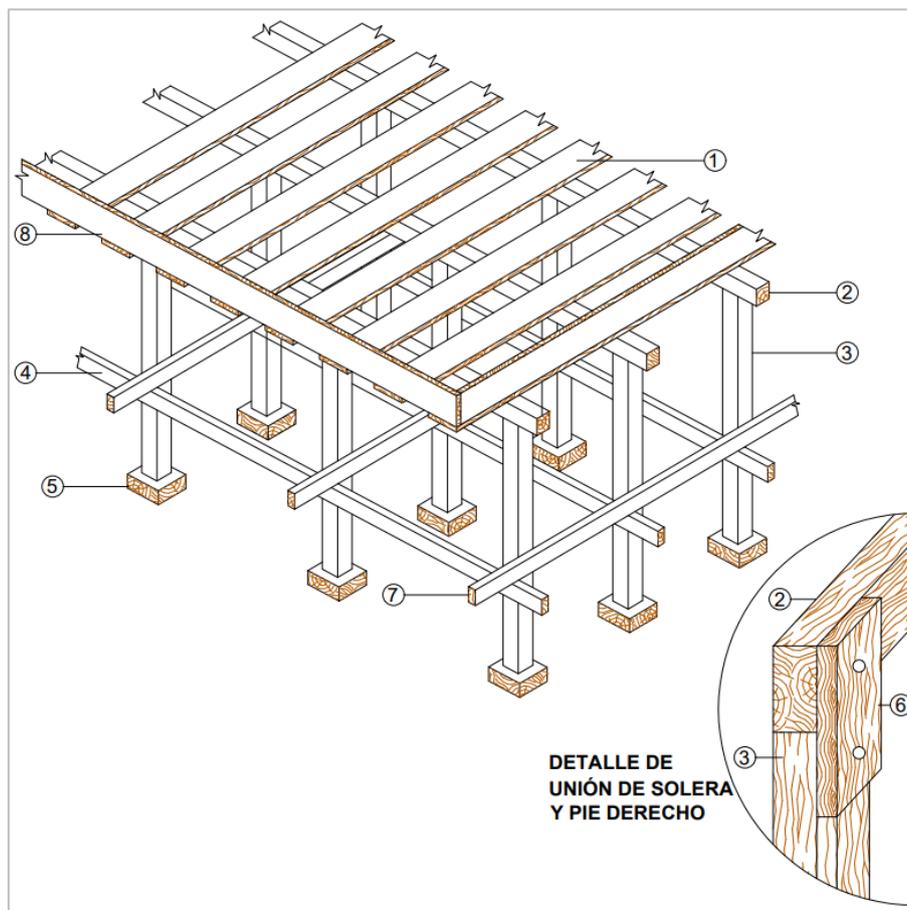


Figura 12 Partes del encofrado para losa aligerada

Fuente: Adaptado de CAPECO (2003)

SENCICO (2012) menciona que las escuadrías comúnmente empleadas en los encofrados de losas aligeradas son:

- Tablas: 1" o 1 1/2", en anchos de 8" mínimo.
- Soleras: 2"x4", 3"x3" y 3"x4".
- Pies derechos: 3"x3" o de 3"x4".
- Frisos: 1" o 1 1/2", en anchos variables según corresponda el espesor de la losa aligerada.

Para regular la altura de los pies derechos se suele interponer, entre los pies derechos y los falsos pisos o las losas de los entrepisos, cuñas o tacos de madera. Debe evitarse el empleo de ladrillos en sustitución de las cuñas o apoyos de madera (SENCICO, 2012, p. 141).

Tabla 4
Separaciones máximas de soleras de encofrados para losas aligeradas

Espesor de la losa aligerada (m)	Tablas	Espaciamiento máximo (m)
0.20	1"x8"	0.80
0.20	1 1/2"x8"	0.90
0.25	1"x8"	0.75
0.25	1 1/2"x8"	0.85

Fuente: Adaptado de SENCICO (2012)

Con respecto al espaciamiento máximo entre pies derechos, SENCICO (2012) menciona que para losas aligeradas de 0.20 y 0.25 m de espesor con una altura de piso a techo que no supere los 3.00 m, la separación máxima será 1.00 m siempre y cuando la escuadría sea de 3"x3".

2.2.4 Diseño estructural de encofrados de madera

2.2.4.1 Método de diseño

Según indica la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984) en su manual de diseño para maderas del Grupo Andino, el diseño de elementos de madera debe hacerse para cargas de servicio o método de esfuerzos admisibles.

Por lo tanto, los elementos estructurales de un encofrado de madera para losas aligeradas deben diseñarse para que los esfuerzos aplicados, producidos por las cargas presentes puedan ser menores o iguales que los esfuerzos admisibles del material o especie de madera.

Los valores de los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad para cada grupo de especies de madera ya fueron presentados en la sección: 2.2.1.5 Propiedades mecánicas según agrupamiento de las maderas.

2.2.4.2 Dimensiones comerciales y reales de los elementos de madera

Debido a la serie de cortes y al lijado, las piezas de madera experimentan reducciones graduales en las dimensiones de su sección transversal, lo que significa que las medidas iniciales, conocidas como medidas nominales o equivalentes comerciales, cambian (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

Cuando venden madera, generalmente usan las dimensiones iniciales, llamadas nominales, para calcular cuánto pagará el comprador. Sin embargo, las dimensiones reales terminan siendo más pequeñas que las iniciales

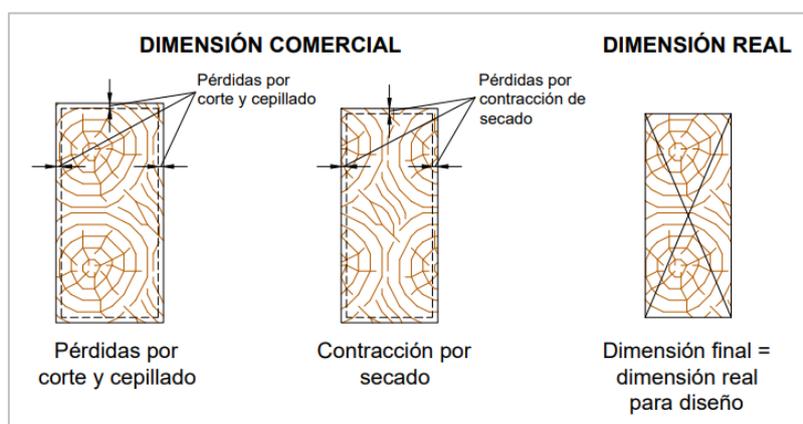


Figura 13 Dimensiones comerciales y reales de la escuadría (sección transversal)

Fuente: Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena (1984)

Para espesores de tablas de revestimiento se considera 1" (una pulgada) teórica o comercial puede equivaler a 2 cm de espesor real.

Tabla 5

Dimensiones reales y equivalentes comerciales parte I

Dimensión Real	Equivalente Comercial
b x h (cm)	b x h (pulgada)
4 x 4	2 x 2
4 x 6.5	2 x 3
4 x 9	2 x 4

4 x 14	2 x 6
4 x 16.5	2 x 7
4 x 19	2 x 8
4 x 24	2 x 10
6.5 x 6.5	3 x 3
6.5 x 9	3 x 4

Fuente: Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena (1984)

Tabla 6

Dimensiones reales y equivalentes comerciales parte II

Dimensión Real	Equivalente Comercial
b x h (cm)	b x h (pulgada)
9 x 9	4 x 4
9 x 14	4 x 6
9 x 19	4 x 8
9 x 24	4 x 10
9 x 29	4 x 12
14 x 14	6 x 6
14 x 19	6 x 8
14 x 24	6 x 10
14 x 29	6 x 12

Fuente: Adaptado de Junta del Acuerdo de Cartagena (1984)

2.2.4.3 Diseño estructural de elementos de madera en Flexión

2.2.4.3.1 Verificación por flexión

Así como lo menciona Pacheco (1980), el momento resistente en vigas está dada por la expresión: $M_R = \sigma \cdot I/c$ que se conoce como la fórmula de la flexión y en la que σ es el esfuerzo en la fibra más alejada o de borde, y c es la distancia del eje neutro a la fibra más alejada.

La relación I/c se denomina módulo de la sección y se asigna como S y se expresa $S = I/c$, por lo tanto, la fórmula de la flexión puede expresarse:

Ecuación 1 Momento resistente

$$M_R = \sigma \cdot S$$

Fuente: Pacheco (1980)

Para que exista equilibrio, el momento flector ocasionado por las fuerzas externas a la sección considerada debe ser igual al momento resistente de la viga por tanto: $M_R = M = \sigma \cdot S$, expresión que nos permite obtener la dimensión de la viga en función del momento flector máximo y la fatiga admisible a la flexión de la madera que se seleccione o también conocida la sección de la viga, la fatiga admisible y la carga repartida, encontrar la luz o separación entre apoyos (Pacheco, 1980, p. 47).

En efecto, si para las vigas continuas, como es el caso de la mayoría de los encofrados para losas aligeradas el momento flector es: $M = \frac{1}{10} \cdot \omega \cdot l^2$, siendo ω la carga repartida actuante y l la luz de la viga e igualándola a la ecuación 1, obtenemos:

$$M = M_R \rightarrow \frac{1}{10} \cdot \omega \cdot l^2 = \sigma \cdot S \rightarrow l = \sqrt{\frac{10 \cdot \sigma \cdot S}{\omega}}$$

Ecuación 2 Separación entre elementos sometidos a flexión

$$l = \sqrt{\frac{10 \cdot \sigma \cdot S}{\omega}}$$

Fuente: Pacheco (1980)

De otro lado, para secciones rectangulares de vigas o tablonés que es lo común en encofrados, el momento de inercia es $I = b \cdot h^3 / 12$ y como la distancia del eje neutro a la fibra más alejada es $c = h/2$, en consecuencia, el módulo de sección sería:

$$S = \frac{I}{c} = \frac{\frac{b \cdot h^3}{12}}{\frac{h}{2}} \rightarrow S = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Ecuación 3 Módulo de sección para vigas de sección rectangular

$$S = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Fuente: Pacheco (1980)

2.2.4.3.2 Verificación por esfuerzo cortante

En una viga cargada existe la tendencia de una parte de la viga a desplazarse respecto a la parte adyacente según un plano perpendicular al eje neutro, este desplazamiento es conocido como corte vertical. Existe, además la tendencia de las fibras a desplazarse en plano paralelo al eje neutro denominado corte horizontal, dado que el esfuerzo cortante horizontal es crítico en la madera es justificado considerar este esfuerzo en la verificación (Pacheco, 1980, pp.47-48).

El corte horizontal es deducido a partir de la fuerza cortante vertical máxima y su valor es: $\tau = 1.50 \left(\frac{V}{b \cdot h} \right)$, y que no deberá exceder el esfuerzo cortante horizontal admisible para la madera seleccionada.

Pacheco (1980) menciona que el corte vertical máximo V para vigas simplemente apoyadas es $V = 0.50 \cdot \omega \cdot l$ cargadas uniformemente con ω kgf/ml y para vigas continuas de tres o más tramos es $V = 0.60 \cdot \omega \cdot l$, por lo tanto:

Ecuación 4 Esfuerzo horizontal máximo para vigas simplemente apoyadas

$$\tau = 0.75 \frac{\omega \cdot l}{b \cdot h}$$

Fuente: Pacheco (1980)

Ecuación 5 Esfuerzo horizontal máximo para vigas continuas

$$\tau = 0.90 \frac{\omega \cdot l}{b \cdot h}$$

Fuente: Pacheco (1980)

Las ecuaciones anteriores permitirán verificar el esfuerzo horizontal cortante conociendo la carga, la luz y el área de la sección de la viga o también determinar la luz conociendo el área de la sección de la viga y la fatiga admisible de esfuerzo cortante horizontal.

Cabe anotar que Pacheco (1980) menciona que la comprobación de corte despreciando las cargas ubicadas a una distancia igual al peralte de la viga h contada desde los apoyos. Se tendría así las siguientes fórmulas modificadas:

Ecuación 6 Esfuerzo horizontal máximo para vigas simplemente apoyadas

$$\tau = 0.75 \frac{\omega \cdot (l - 2 \cdot h)}{b \cdot h}$$

Fuente: Pacheco (1980)

Ecuación 7 Esfuerzo horizontal máximo para vigas continuas

$$\tau = 0.90 \frac{\omega \cdot (l - 2 \cdot h)}{b \cdot h}$$

Fuente: Pacheco (1980)

2.2.4.3.3 Verificación por flecha o deflexión

“Deflexiones excesivas de los encofrados que confinan el concreto para losas, columnas o muros resultan inconvenientes pues además de obligar a un mayor costo en el forjado de revoques afectan estéticamente sobre todo en el caso del concreto expuesto” (Pacheco, 1980, p. 49).

Existen diversos criterios para establecer los valores límites de las flechas o deflexiones; algunos limitan la flecha a $1/270$ de la luz o claro, otros son aún más exigentes limitando la flecha a $1/360$ de la luz; otros en cambio, fijan los valores límites en relación con el elemento analizado, por ejemplo Pacheco (1980) menciona:

- Para entablados (caso de losas y tableros de muros): 1/16" (1.60 mm).
- Para elementos que no sean entablados como soleras y barrotos: 1/8" (3.20 mm).
- Para luces mayores de 1.50 m: 1/4" (6.40 mm).

Las fórmulas que expresan las flechas de vigas en función de la carga, luz y rigidez son:

Ecuación 8 Deflexión para viga simplemente apoyada

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{\omega \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Fuente: Pacheco (1980)

Ecuación 9 Deflexión para viga empotrada en dos tramos

$$\delta = \frac{1}{384} \cdot \frac{\omega \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Fuente: Pacheco (1980)

Ecuación 10 Deflexión para vigas continuas

$$\delta = \frac{1}{128} \cdot \frac{\omega \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Fuente: Pacheco (1980)

Las ecuaciones enunciadas anteriormente nos permitirán verificar, para una determinada luz, si la deflexión está dentro de los límites adoptados y también, dada una determinada flecha o deflexión determinar la luz o separación entre apoyos.

2.2.4.4 Diseño estructural de elementos de madera en Flexo-compresión

2.2.4.4.1 Verificación de puntales o pies derechos

Los puntales o pies derechos son los elementos de encofrados de losas aligeradas encargadas de transmitir las cargas hacia el piso o suelo. Cuando calculamos o revisamos el tamaño de estos elementos importantes en los moldes (llamados encofrados), debemos ser muy cuidadosos. Si uno o varios de estos elementos fallan, podría hacer que todo el molde se rompa o falle (Pacheco, 1980).

El dimensionamiento o verificación de los pies derechos deben considerarse como columnas, ya que generalmente son esbeltas y sujetas a cargas de compresión axial y propensos a fallar por pandeo.

P_E , la carga crítica, representa la cantidad máxima de fuerza o peso que una columna delgada y recta puede resistir antes de pandearse. Este valor se calcula utilizando la fórmula de Euler:

Ecuación 11 Fórmula de Euler

$$P_E = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

Fuente: Pacheco (1980)

Si $I = A \cdot r^2$ en donde r es el radio de giro del área A con respecto al eje neutro podemos expresar la formula anterior como:

Ecuación 12 Fórmula de Euler modificada

$$P_E = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\left(\frac{l}{r}\right)^2}$$

Fuente: Pacheco (1980)

Siendo l/r la relación de esbeltez. Tal como menciona Pacheco (1980), si P_E/A es la carga crítica por unidad de área de la sección recta de la columna o esfuerzo crítico por pandeo, depende solo de la rigidez del material y de la relación de esbeltez.

Por otra parte, para columnas de sección rectangular el radio de giro está expresado de la siguiente manera: $r = d/\sqrt{12}$ siendo d el lado menor de la sección transversal de la columna. Así mismo añadiendo un coeficiente de seguridad $n = 3$ la carga admisible de trabajo por pandeo será:

Ecuación 13 Carga admisible por pandeo

$$P_w = \frac{0.274 \cdot E \cdot A}{(l/d)^2}$$

Fuente: Pacheco (1980)

“Las columnas cuya esbeltez con relación al lado menor de la sección de una columna no sobrepasa de 10 son denominadas o clasificadas columnas cortas” (Pacheco, 1980, p. 62). En este caso la falla se produce por aplastamiento por compresión y la carga máxima se puede calcular con la siguiente expresión:

Ecuación 14 Carga admisible por pandeo para columnas cortas

$$P = C_{\parallel} \cdot A$$

Fuente: Pacheco (1980)

Siendo C_{\parallel} el esfuerzo de compresión paralela a la fibra. “Las columnas cuya esbeltez sobrepasa la relación 10 son consideradas puntales largos” (Pacheco, 1980, p. 62). En consecuencia, su capacidad de carga puede calcularse aplicando la fórmula modificada de Euler usando la ecuación 13.

Para columnas de esbeltez intermedia y basado en ensayo con madera, el Laboratorio de Productos Forestales (Forest Product Laboratory) recomienda la siguiente fórmula:

Ecuación 15 Carga admisible por pandeo para columnas intermedias

$$P_w = A \cdot C_{\parallel} \left[1 - \frac{(l/k \cdot d)^4}{3} \right]$$

Fuente: Pacheco (1980)

Siendo k una constante para la especie de madera que se seleccione y depende solo de las características de la madera.

Ecuación 16 Constante k

$$k = 0.642 \sqrt{\frac{E}{C_{\parallel}}}$$

Fuente: Pacheco (1980)

“Se consideran columnas de esbeltez intermedia aquellas cuya esbeltez relativa al lado menos de la sección recta está comprendida entre 10 y el valor k ” (Pacheco, 1980, p. 63).

2.2.4.5 Uniones de elementos estructurales de madera

2.2.4.5.1 Verificación de apoyos

Además de verificar por flexión, corte, deflexión y pandeo en el caso de puntales es necesario comprobar los apoyos o superficies de contacto entre elementos, como el apoyo entre soleras y pies derechos en el encofrado para losas aligeradas.

La comprobación se hace para verificar si las áreas efectivas de contacto entre elementos son suficientes para evitar el aplastamiento y en caso de no serlo, ampliar dichas áreas o interponiendo en algunos casos platinas de fierro para

disminuir la presión unitaria de modo que sea igual o menor a las fatigas admisibles de compresión correspondientes. Es pertinente anotar que siendo la madera un material no homogéneo es preciso distinguir los esfuerzos de compresión perpendicular a las fibras o paralelo a las fibras (Pacheco, 1980, p. 50).

2.3 Bases filosóficas

La presente investigación pretende fomentar las buenas prácticas de seguridad en obra, con un adecuado diseño de encofrados que conlleve a salvaguardar la vida humana de todos los involucrados en el proceso construcción de las viviendas unifamiliares. En consecuencia, los proyectos de viviendas unifamiliares deberían contar con planos de encofrados para la construcción de losas aligeradas o macizas.

La mayoría de los accidentes pueden prevenirse durante la etapa de planificación. Es deber del diseñador garantizar que, al elaborar el plan de proyecto y el estudio de seguridad y salud (ya sea básico o no), se seleccione el tipo de estructura de soporte de losas. Se deben considerar los riesgos asociados a cada método de soporte y encofrado, además de tener en cuenta la eficiencia económica y la velocidad de construcción, y determinar qué medidas de seguridad se necesitan para cada uno de ellos (Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales, 2007).

SENCICO (2012) indica que lo más importante es asegurar la seguridad, ya que la mayoría de los accidentes en las obras de construcción ocurren debido a problemas con los moldes llamados encofrados. Principalmente, las fallas suceden porque no se tienen en cuenta la magnitud real de las cargas que soportan los encofrados y cómo estas cargas afectan a los moldes. También ocurren cuando se utiliza madera en mal estado o moldes que son demasiado delgados, y, por supuesto, cuando se siguen métodos de construcción incorrectos.

2.4 Definición de términos básicos

Concreto fresco: es una etapa del concreto, que inicia con el mezclado del concreto, hasta que fragua completamente, presenta una mezcla semilíquida de cemento portland, arena (agregado fino), grava o piedra triturada (agregado grueso) y agua.

Diseño estructural: es uno de los campos de la ingeniería civil, en donde se busca equilibrar el costo y las propiedades mecánicas de los materiales y/o estructuras en cuanto a la estabilidad, la resistencia y la rigidez.

Encofrado: es un elemento estructural provisional, que se desempeña como molde y es el encargado de proporcionar las características geométricas de los elementos estructurales de concreto armado, tal como lo indican las medidas de los planos.

Encofrado de madera: es un tipo de encofrado, en donde el material predominante es la madera.

Carga gravitacional: es el conjunto de fuerzas gravitacionales producidas por los pesos, que actúan sobre una estructura o elemento estructural.

Losa aligerada: es un tipo de losa, techo o entrepiso; de concreto armado en una sola dirección, que contiene unidades de albañilería tubulares (ladrillos para techo) o casetones de tecnopor, para aligerar el peso propio de la losa.

Pie derecho: es un elemento estructural vertical del encofrado de madera, que se encarga de soportar las cargas gravitacionales provenientes de las soleras y se encuentra apoyado en las cuñas o tacos de madera.

Presión: es la fuerza perpendicular que ejerce un gas, un líquido o un sólido sobre una superficie.

Presión del concreto: es la presión lateral, que ejerce el concreto fresco sobre las paredes de los encofrados en los elementos estructurales verticales, al momento del vaciado del concreto.

Solera: es un elemento estructural horizontal del encofrado de madera, que se encarga de soportar las cargas gravitacionales provenientes de los tablones y se encuentra apoyada sobre los pies derechos.

Tablón: es un elemento estructural horizontal del encofrado de madera, que se encarga de soportar las cargas gravitacionales del concreto, acero, unidades de albañilería tubulares y cargas vivas; se encuentra apoyado sobre las soleras.

Vivienda unifamiliar: son viviendas que han sido construidas con la finalidad de albergar únicamente a una familia.

2.5 Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR
Diseño estructural de encofrados de madera	“El diseño estructural de encofrados de madera se basa en las fórmulas de resistencia de materiales y ciertas simplificaciones en la estimación de las cargas para su dimensionamiento” (Pacheco, 1980).	El diseño estructural de encofrados de madera se efectuará de acuerdo con las verificaciones por: flexión, cortante, deflexión y carga axial para los tablonces, soleras y pies derechos que conforman el encofrado durante el proceso de construcción de las viviendas en la ciudad de Huaura.	Diseño estructural del tablón	Especie de madera
				Área de la sección transversal en pulgadas cuadradas
			Diseño estructural de la solera	Especie de madera
				Área de la sección transversal en pulgadas cuadradas
				Longitud de separación en centímetros
			Diseño estructural del pie derecho	Especie de madera
	Área de la sección transversal en pulgadas cuadradas			
	Altura del pie derecho en centímetros			
	Longitud de separación en centímetros			

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

Tipo de investigación

El tipo de la investigación se consideró aplicada. Es decir, la investigación aplicada se centra en usar lo que sabemos para solucionar problemas específicos. Se apoya en la investigación básica (Ramírez, 2017).

Nivel de investigación

El nivel de la investigación se consideró descriptiva. Puesto que, la investigación descriptiva se enfoca en explicar cómo funcionan o qué está pasando en el tema que estamos estudiando. El investigador no debe tratar de cambiar cómo funciona el tema que investiga (Montes, 2014).

Diseño de investigación

El diseño de la investigación se consideró no experimental de corte transversal. Es no experimental porque, en estos estudios, no tocamos ni cambiamos intencionadamente las cosas; en cambio, observamos lo que ocurre en situaciones habituales (Ramírez, 2017). Así mismo, Torres (2010) indica que es de corte transversal, puesto que recopilamos información sobre lo que estamos estudiando (un grupo grande o una parte de ese grupo).

Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación se consideró mixto. Puesto que, “estudia información cuantitativa y cualitativa” (Ramírez, 2017). Por tal motivo, la investigación recolectó el nombre de las especies de madera y los valores numéricos provenientes de mediciones.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La actual investigación, empleó como población a las viviendas en construcción de la ciudad de Huaura durante el año 2022.

3.2.2 Muestra

La actual investigación empleó una muestra no probabilística, para tal efecto, se estudiará como muestra representativa al sector de El Socorro de la ciudad de Huaura, ya que en esta zona se presente un auge creciente en la construcción de viviendas unifamiliares.

3.3 Técnicas de recolección de datos

La actual investigación, empleó la técnica de recolección de datos tipo observación y las fuentes primarias se registraron en la ficha de inspección visual que se adjunta en los anexos.

En la ficha se anotó los datos obtenidos de la inspección visual de los encofrados de madera para losas aligeradas usados en el proceso de construcción de viviendas unifamiliares y se apuntaron los siguientes datos:

- Para los tablones: especie de madera, ancho y altura de la sección transversal.
- Para las soleras: especie de madera, separación entre soleras, ancho y altura de la sección transversal.
- Para los pies derechos: especie de madera, altura del pie derecho, altura de la cuña, separación entre pies derechos, ancho y altura de la sección transversal.

3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Procesamiento:

- Mediante la ficha de inspección visual, se anotaron los valores numéricos de las mediciones realizadas en campo para cada uno de los elementos que conforman el encofrado para losas aligeradas. Para los tablones se registraron los siguientes datos: especie de madera, ancho y altura de la sección transversal. Para las soleras: especie de madera, separación entre soleras, ancho y altura de la sección transversal. Para los pies derechos: especie de madera, altura del pie derecho, altura de la cuña, separación entre pies derechos, ancho y altura de la sección transversal.
- Toda la información obtenida mediante las fichas de inspección visual, fueron procesadas en una hoja de cálculos mediante el software Microsoft Excel 2019, en

donde se realizaron los cálculos de promedio aritmético, para los anchos de las secciones transversales, las alturas de las secciones transversales, la separación entre elementos de encofrados, las alturas de los pies derechos y las alturas de las cuñas o tacones de madera. Posteriormente se crearon gráficos estadísticos que permitieron visualizar de manera más rápida la información procesada. Finalmente, toda la información fue copiada y editada en el capítulo de resultados de la actual tesis, para tal motivo se usó el software Microsoft Word 2019, para el procesamiento de textos, tablas y figuras.

- En la inspección visual realizada para cada vivienda en proceso de construcción, se tomaron fotos y se dibujaron planos a mano alzada del sistema de encofrados usados en la construcción de las losas aligeradas.

Análisis e interpretación:

- Luego de haber realizado el procesamiento de la información, se procedió a realizar la evaluación estructural de los encofrados para losas aligeradas de cada vivienda de la zona de estudio. Para tal efecto, se usó el método de esfuerzos admisibles y se efectuaron las verificaciones por flexión, cortante, deflexión y carga axial para los tablonés, soleras y pies derechos, dicho proceso fue realizado de forma manual utilizando las fórmulas de resistencia de materiales con la ayuda de una calculadora científica, posteriormente los cálculos fueron procesados en el software Microsoft Excel 2019 para un mejor análisis e interpretación de los resultados. Finalmente, los resultados obtenidos para cada elemento estructural del sistema de encofrados fueron comparados con los valores admisibles que menciona la norma E.010 Madera del Reglamento Nacional de Edificaciones.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

Las viviendas unifamiliares en proceso de construcción que formaron parte de la investigación en sus diferentes etapas como: observación, medición y toma de datos, fueron las siguientes:

a) Vivienda unifamiliar N° 01



Figura 14 Foto panorámica de la vivienda N° 01

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 podemos observar una foto panorámica de la vivienda N° 01, ubicada en la calle Iquitos cuyo proceso de construcción de la losa aligerada se realizó en el primer nivel.



Figura 15 Medición de la sección transversal de los tablonos en la vivienda N° 01

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior podemos apreciar la forma de medición del ancho de la sección transversal del tablón de madera tornillo haciendo uso de un flexómetro de mano por parte del personal asistente de la investigación.

Tabla 7

Resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 01

Tablón	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)
T-1	20.00	2.35	47.00
T-2	19.80	2.10	41.58
T-3	19.70	2.20	43.34
T-4	19.70	2.50	49.25
T-5	18.80	2.40	45.12
T-6	20.00	2.20	44.00
T-7	19.60	2.30	45.08
T-8	19.60	2.50	49.00
T-9	20.00	2.50	50.00
T-10	21.00	2.50	52.50
Promedio	19.82	2.36	46.69

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 7, se muestran los resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 01, obteniendo un valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 19.82 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 2.36 cm.

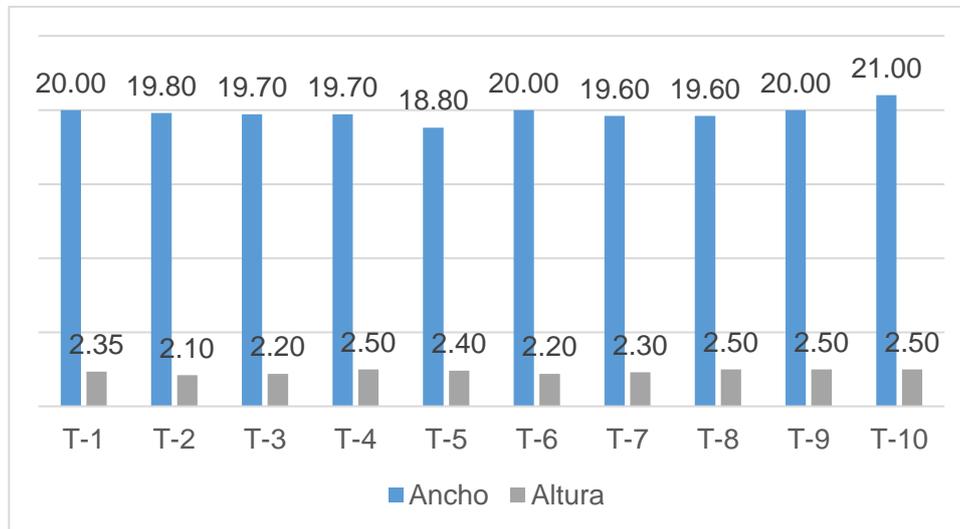


Figura 16 Gráfico de resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 01

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de los tablonos en la vivienda N° 01, teniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen T-10 con 21.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-5 con 18.80 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en los especímenes T-4, T-8, T-9 y T-10 con 2.50 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-2 con 2.10 cm.

Por otro lado, en la figura 17 se puede observar parte de la distribución del encofrado de madera para la losa aligera, así como también el estado físico de los tablonos y soleras con presencia de rajaduras, grietas y restos de concreto endurecido.



Figura 17 Soleras usadas en el encofrado de la vivienda N° 01

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 01

Solera	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)	Separación (cm)
S-1	6.70	7.80	52.26	-
S-2	4.70	10.00	47.00	54.50
S-3	4.30	10.00	43.00	55.50
S-4	7.00	4.50	31.50	64.50
S-5	4.70	9.00	42.30	31.00
S-6	4.50	10.00	45.00	78.00
S-7	4.50	10.00	45.00	37.40
S-8	4.60	6.00	27.60	72.00
S-9	5.30	9.50	50.35	76.00
S-10	4.80	8.00	38.40	76.00
Promedio	5.11	8.48	42.24	60.54

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, se muestran los resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 01, obteniendo como valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 5.11 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 8.48 cm. Así mismo, la separación promedio entre soleras fue de 60.54 cm.

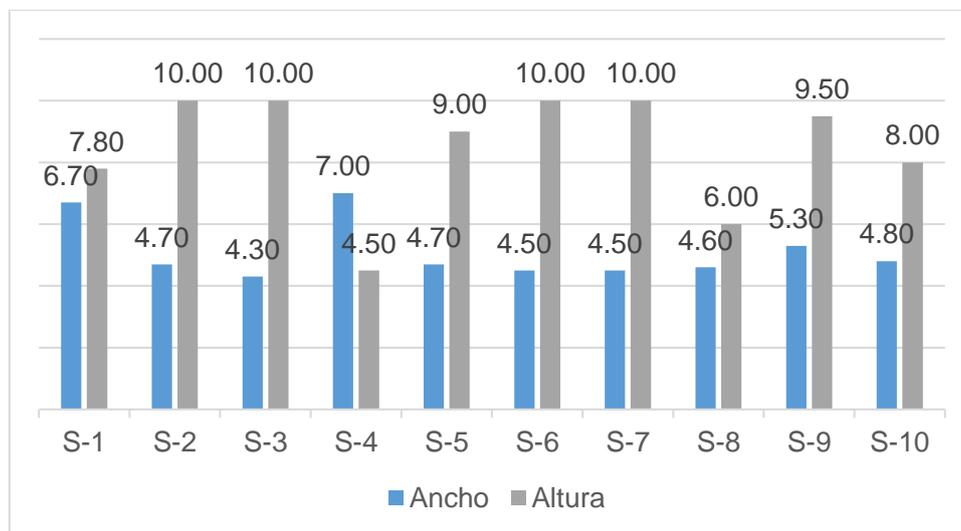


Figura 18 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 01

Fuente: Elaboración propia

En la figura 18 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de las soleras en la vivienda N° 01, obteniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen S-4 con 7.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-3 con 4.30 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en los especímenes S-2, S-3, S-6 y S-7 con 10.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-4 con 4.50 cm.



Figura 19 Pies derechos usados en el encofrado de la vivienda N° 01

Fuente: Elaboración propia

En la figura 19 se puede apreciar la distribución de los pies derechos usados en el encofrado. También se observa la presencia de traslapes entre las soleras de madera.



Figura 20 Cuñas usadas bajo los pies derechos en la vivienda N° 01

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se muestran las condiciones de trabajo durante el encofrado de la losa aligerada en la vivienda N° 01, con presencia de restos de madera y bolsas de cemento. Pero lo que más notorio es el uso combinado de cuñas de ladrillo y madera utilizados para apoyar y soportar los pies derechos.

Tabla 9
Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 01

Pie derecho	Diámetro de la sección transversal (cm)	Altura del pie derecho (cm)	Altura de la cuña (cm)	Separación (cm)
P-1	7.00	236.00	15.00	-
P-2	7.50	239.00	11.00	59.50
P-3	7.70	241.00	7.30	66.00
P-4	6.30	249.00	4.70	56.50
P-5	5.80	249.20	4.00	60.00
P-6	6.20	229.00	18.20	62.00
P-7	6.20	254.50	2.50	58.00
P-8	5.70	247.50	3.50	59.00
P-9	6.70	242.00	11.00	58.00
P-10	6.90	244.30	9.00	65.00
Promedio	6.60	243.15	8.62	60.44

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9, se muestran los resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 01, obteniendo un valor numérico promedio del diámetro de la sección transversal de 6.60 cm; conjuntamente la altura promedio del pie derecho y de la cuña fueron de 243.15 cm y 8.62 cm respectivamente. Así mismo, la separación promedio entre pies derechos alcanzó un valor numérico de 60.44 cm.

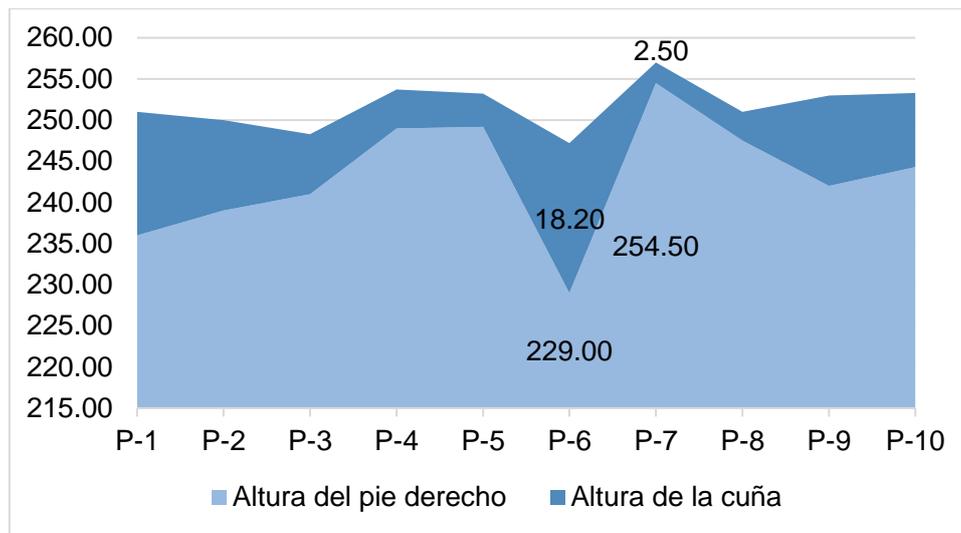


Figura 21 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 01

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se muestra un gráfico de áreas correspondiente a los resultados de la medición de las alturas de los pies derechos y cuñas en la vivienda N° 01, obteniendo un valor numérico máximo de pie derecho en el espécimen P-7 con 254.50 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-6 con 229.00 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la cuña en el espécimen P-6 con 18.20 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-7 con 2.50 cm.



Figura 22 Tableros en mal estado usados en el encofrado de la vivienda N° 01

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se observa el pésimo estado físico de algunos tablonos utilizados en el encofrado de la vivienda N° 01; se puede notar claramente la presencia de rajaduras, grietas y fisuras en toda su extensión y sección transversal. Los obreros manifestaron que estos tablonos presentaron un uso excesivo de más de treinta repeticiones como elementos estructurales del encofrado encargados de soportar directamente a las unidades de albañilería alveolares (ladrillos de techo).



Figura 23 Pie derecho con curvatura notoria en la vivienda N° 01

Fuente: Elaboración propia

Resultados de los cálculos estructurales:

Tabla 10

Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 01

Elemento	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo de sección (cm ³)	Esfuerzo cortante (kgf/cm ²)	Carga admisible (kgf)	Esfuerzo de compresión (kgf/cm ²)	Separación (cm)
Tablón	21.71	18.40	2.61	-	-	-
Solera	259.67	61.24	7.12	-	-	61.00
Pie derecho	-	-	-	379.87	9.87	103.00

Fuente: Elaboración propia

b) Vivienda unifamiliar N° 02

Dirección : Asociación Viña del Mar

Número de nivel : 2



Figura 24 Foto panorámica de la vivienda N° 02

Fuente: Elaboración propia

En la figura 24 podemos observar una foto panorámica de la vivienda N° 02, ubicada en la asociación Viña del Mar cuyo proceso de construcción de la losa aligerada se realizó en el segundo nivel.



Figura 25 Separación de tablonos en el encofrado de la vivienda N° 02

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11

Resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 02

Tablón	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)
T-1	19.80	2.20	43.56
T-2	20.00	2.50	50.00
T-3	20.50	2.50	51.25
T-4	19.40	2.40	46.56
T-5	20.50	2.20	45.10
T-6	20.20	2.50	50.50
T-7	21.70	2.50	54.25
T-8	19.70	2.50	49.25
T-9	20.70	2.30	47.61
T-10	20.50	2.30	47.15
Promedio	20.30	2.39	48.52

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11, se muestran los resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 01, obteniendo un valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 20.30 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 2.39 cm.

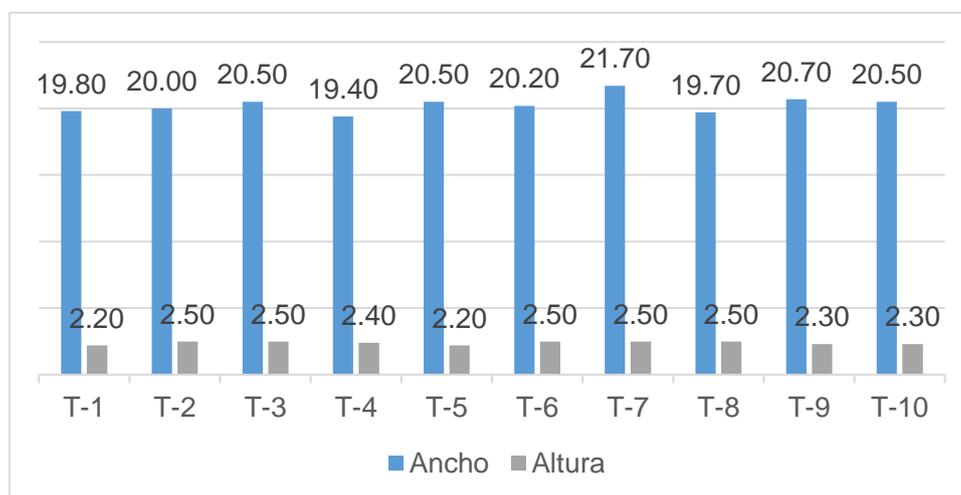


Figura 26 Gráfico de resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 02

Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de los tablonos en la vivienda N° 02, teniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen T-7 con 21.70 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-4 con 19.40 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en los especímenes T-2, T-3, T-6, T-7 y T-8 con 2.50 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-1 y T-5 con 2.20 cm.



Figura 27 Medición de la sección transversal de las soleras en la vivienda N° 02

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se puede observar parte de la etapa de medición de las soleras, específicamente la medida de ancho de la sección transversal.

Tabla 12

Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 02

Solera	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)	Separación (cm)
S-1	5.00	10.00	50.00	-
S-2	4.50	10.00	45.00	72.00
S-3	5.70	9.70	55.29	68.20
S-4	4.40	19.60	86.24	72.70
S-5	5.00	13.50	67.50	71.20
S-6	5.00	10.00	50.00	69.70
S-7	4.40	8.40	36.96	71.50
S-8	4.60	8.30	38.18	66.50
S-9	4.70	10.90	51.23	65.20
S-10	5.00	7.00	35.00	80.00
Promedio	4.83	10.74	51.54	70.78

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 12, se muestran los resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 02, obteniendo como valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 4.83 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 10.74 cm. Así mismo, la separación promedio entre soleras fue de 70.78 cm.

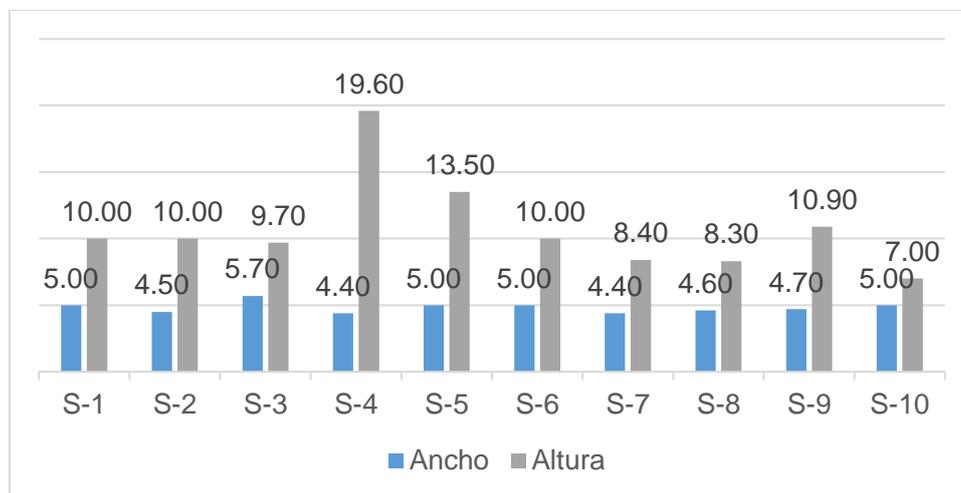


Figura 28 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 02

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de las soleras en la vivienda N° 02, obteniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen S-3 con 5.70 cm y un valor numérico mínimo en los especímenes S-4 y S-7 con 4.40 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en el espécimen S-4 con 19.60 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-8 con 8.30 cm.



Figura 29 Medición de la separación entre pies de derechos en la vivienda N° 02

Fuente: Elaboración propia

En la figura 29 se puede apreciar la medición de la separación entre pies derechos o puntales realizados en la vivienda N° 02.



Figura 30 Medición de la altura de la cuña del pie derecho en la vivienda N° 02

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se muestra la medición de las cuñas de los pies derechos, teniendo como material predominante a los ladrillos.

Tabla 13
Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 02

Pie derecho	Diámetro de la sección transversal (cm)	Altura del pie derecho (cm)	Altura de la cuña (cm)	Separación (cm)
P-1	6.80	241.00	3.70	-
P-2	7.30	250.00	2.70	62.00
P-3	6.80	248.00	2.30	71.00
P-4	6.90	247.50	2.50	68.50
P-5	7.40	249.00	0.00	67.10
P-6	6.60	249.00	2.70	83.00
P-7	6.40	252.00	1.50	69.00
P-8	6.60	244.60	9.00	67.00
P-9	6.10	213.00	30.00	73.50
P-10	6.20	237.50	15.50	76.00
Promedio	6.71	243.16	6.99	70.79

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13, se muestran los resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 02, obteniendo un valor numérico promedio del diámetro de la sección transversal de 6.71 cm; conjuntamente la altura promedio del pie derecho y de la cuña fueron de 243.16 cm y 6.99 cm respectivamente. Así mismo, la separación promedio entre pies derechos alcanzó un valor numérico de 70.79 cm.

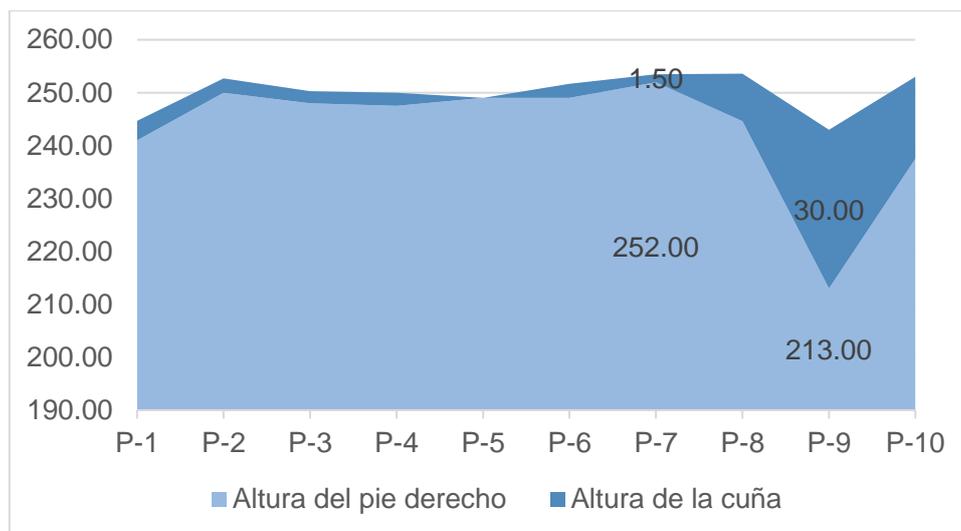


Figura 31 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 02

Fuente: Elaboración propia

En la figura 31 se muestra un gráfico de áreas correspondiente a los resultados de la medición de las alturas de los pies derechos y cuñas en la vivienda N° 02, obteniendo un valor numérico máximo de pie derecho en el espécimen P-7 con 252.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-9 con 213.00 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la cuña en el espécimen P-9 con 30.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-7 con 1.50 cm.



Figura 32 Solera dañada utilizada en el encofrado de la vivienda N° 02

Fuente: Elaboración propia

En la figura 32 se observa el pésimo estado físico de una de las soleras utilizadas en el encofrado de la vivienda N° 02; se puede observar la presencia de rajaduras, grietas, desprendimientos de madera y fisuras en toda su extensión.



Figura 33 Tablones dañados utilizados en el encofrado de la vivienda N° 02

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se observa el pésimo estado físico de algunos tablones con presencia de grietas y fisuras, utilizados en el encofrado de la vivienda N° 02; así mismo se pueden apreciar los ladrillos de techo con presencia de eflorescencia.

Resultados de los cálculos estructurales:

Tabla 14

Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 02

Elemento	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo de sección (cm ³)	Esfuerzo cortante (kgf/cm ²)	Carga admisible (kgf)	Esfuerzo de compresión (kgf/cm ²)	Separación (cm)
Tablón	41.26	28.45	2.44	-	-	-
Solera	498.63	92.85	7.82	-	-	72.00
Pie derecho	-	-	-	405.80	13.78	116.00

Fuente: Elaboración propia

c) Vivienda unifamiliar N° 03

Dirección : Calle Alfonso Ugarte

Número de nivel : 1



Figura 34 Foto panorámica de la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia

En la figura 34 podemos observar una foto panorámica de la vivienda N° 03, ubicada en la calle Alfonso Ugarte cuyo proceso de construcción de la losa aligerada se realizó en el primer nivel.

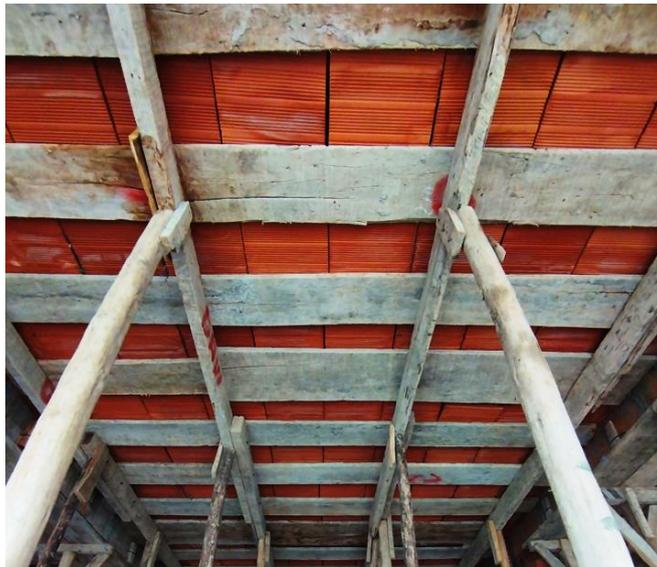


Figura 35 Separación de tablonos utilizados en el encofrado de la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia



Figura 36 Medición de la altura del tablón en la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia

En la figura 35 podemos apreciar la separación de tablonos utilizados en el encofrado de la vivienda N° 03, así como también el estado físico de cada uno de ellos. Mientras que en la figura 36 se observa parte de la etapa de medición de la altura de la sección transversal de los tablonos.

Tabla 15

Resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 03

Tablón	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)
T-1	21.60	2.40	51.84
T-2	25.70	2.40	61.68
T-3	20.90	2.40	50.16
T-4	21.40	2.40	51.36
T-5	28.00	2.30	64.40
T-6	24.50	2.30	56.35
T-7	19.50	2.50	48.75
T-8	20.80	2.50	52.00
T-9	21.50	2.30	49.45
T-10	19.30	2.50	48.25
Promedio	22.32	2.40	53.42

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 15, se muestran los resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 03, obteniendo un valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 22.32 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 2.40 cm.

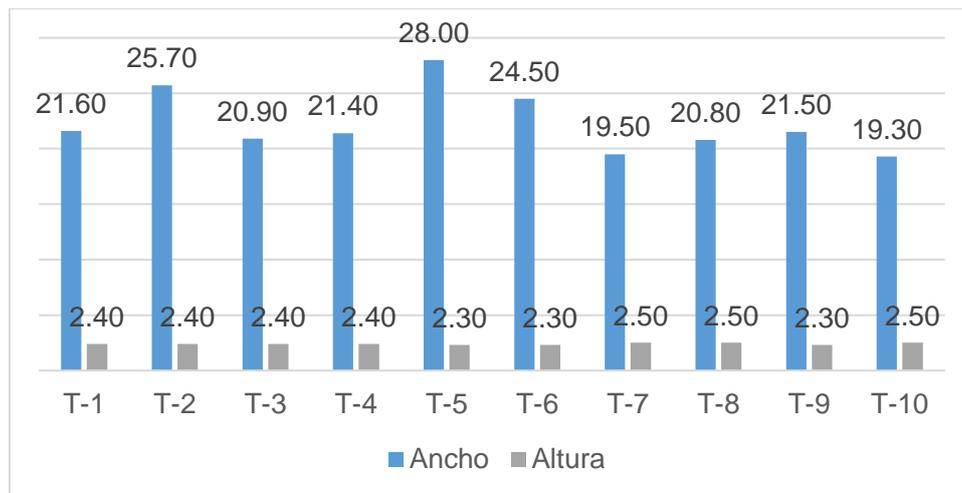


Figura 37 Gráfico de resultados de la medición de tabloncillos en la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de los tabloncillos en la vivienda N° 03, teniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen T-5 con 28.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-10 con 19.30 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en los especímenes T-7, T-8 y T-10 con 2.50 cm y un valor numérico mínimo en los especímenes T-5, T-6 y T-9 con 2.30 cm.

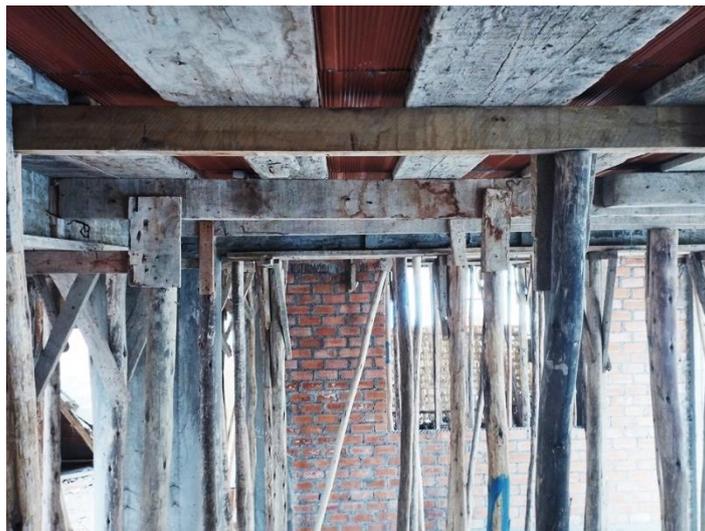


Figura 38 Soleras utilizadas en el encofrado de la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia

En la figura 38 se puede observar parte de la distribución del encofrado de madera para la losa aligera, así como también el estado físico de los tablonos con presencia de rajaduras, grietas y fisuras en toda su extensión.

Tabla 16
Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 03

Solera	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)	Separación (cm)
S-1	4.10	13.80	56.58	-
S-2	4.50	13.30	59.85	77.00
S-3	5.00	11.50	57.50	81.00
S-4	4.30	11.60	49.88	74.00
S-5	5.50	11.30	62.15	73.50
S-6	4.80	12.00	57.60	68.00
S-7	5.50	7.70	42.35	69.00
S-8	5.70	7.40	42.18	61.00
S-9	5.50	7.70	42.35	85.00
S-10	5.40	7.70	41.58	73.00
Promedio	5.03	10.40	51.20	73.50

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16, se muestran los resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 03, obteniendo como valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 5.03 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 10.40 cm. Así mismo, la separación promedio entre soleras fue de 73.50 cm.

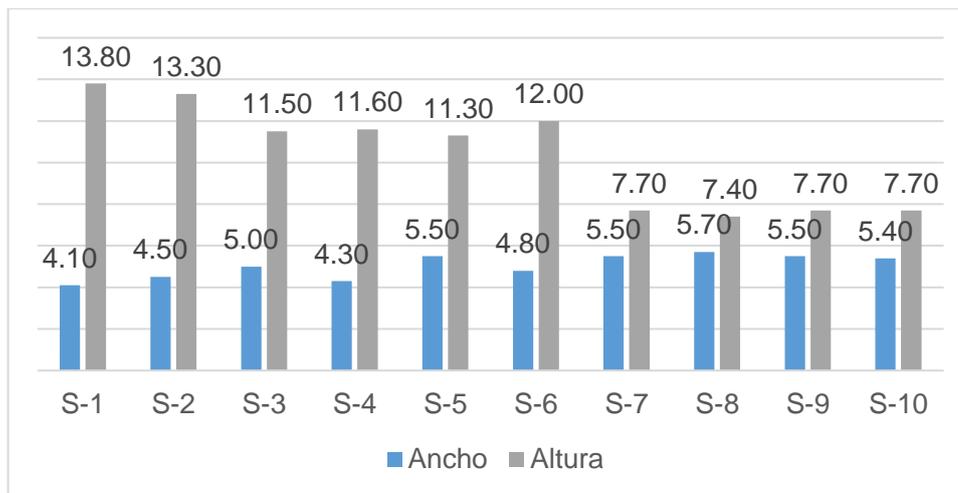


Figura 39 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia

En la figura 39 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de las soleras en la vivienda N° 03, obteniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen S-8 con 5.70 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-1 con 4.10 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en el espécimen S-1 con 13.80 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-8 con 7.40 cm.



Figura 40 Pies derechos usados en el encofrado de la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia



Figura 41 Medición de la separación entre piés derechos en la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia



Figura 42 Medición de la altura de piés derechos en la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 41 y 42 se muestran las mediciones realizadas en la separación y altura de los pies derechos respectivamente correspondientes al diseño de encofrados para la vivienda N° 03.

Tabla 17

Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 03

Pie derecho	Diámetro de la sección transversal (cm)	Altura del pie derecho (cm)	Altura de la cuña (cm)	Separación (cm)
P-1	6.00	280.50	32.00	-
P-2	6.70	281.00	28.00	89.00
P-3	6.50	279.00	34.00	106.00
P-4	6.00	298.00	17.20	101.00
P-5	6.00	282.40	43.50	91.00
P-6	6.30	282.60	44.30	74.50
P-7	6.50	282.50	43.20	100.00
P-8	6.50	280.00	48.00	116.00
P-9	5.70	288.00	40.00	78.00
P-10	6.00	275.60	67.50	65.00
Promedio	6.22	282.96	39.77	91.17

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 17, se muestran los resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 03, obteniendo un valor numérico promedio del diámetro de la sección transversal de 6.22 cm; conjuntamente la altura promedio del pie derecho y de la cuña fueron de 282.96 cm y 39.77 cm respectivamente. Así mismo, la separación promedio entre pies derechos alcanzó un valor numérico de 91.17 cm.

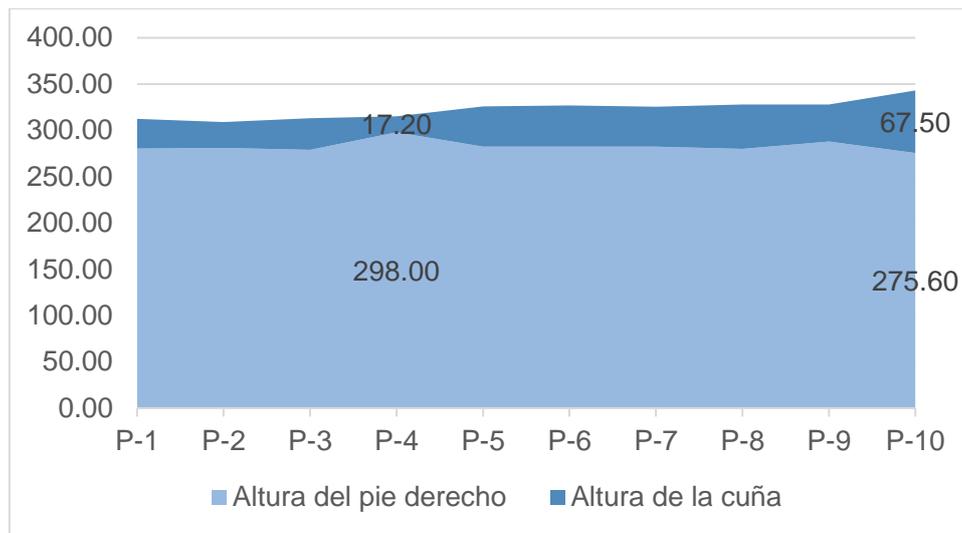


Figura 43 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia

En la figura 43 se muestra un gráfico de áreas correspondiente a los resultados de la medición de las alturas de los pies derechos y cuñas en la vivienda N° 03, obteniendo un valor numérico máximo de pie derecho en el espécimen P-4 con 298.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-10 con 275.60 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la cuña en el espécimen P-10 con 67.50 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-4 con 17.20 cm.



Figura 44 Tablón roto utilizado en el encofrado de la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia

En la figura 44 se observa el pésimo estado físico de uno de los tablonos utilizados en el encofrado de la vivienda N° 03; se puede notar claramente la presencia de una gran grieta o rajadura en una de sus caras, acompañado de concreto endurecido en toda su extensión.



Figura 45 Cuñas usadas en los pies derechos del encofrado de la vivienda N° 03

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se observan las cuñas de ladrillo y tacos de madera utilizados como apoyo para los pies derechos en el encofrado de la vivienda N° 03.

Tabla 18

Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 03

Elemento	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo de sección (cm ³)	Esfuerzo cortante (kgf/cm ²)	Carga admisible (kgf)	Esfuerzo de compresión (kgf/cm ²)	Separación (cm)
Tablón	25.71	21.43	2.39	-	-	-
Solera	471.51	90.67	7.26	-	-	64.00
Pie derecho	-	-	-	221.27	13.26	117.00

Fuente: Elaboración propia

d) Vivienda unifamiliar N° 04

Dirección : Pasaje San José

Número de nivel : 1



Figura 46 Foto panorámica de la vivienda N° 04

Fuente: Elaboración propia

En la figura 46 podemos observar una foto panorámica de la vivienda N° 04, ubicada en el pasaje San José cuyo proceso de construcción de la losa aligerada se realizó en el primer nivel.



Figura 47 Distribución de los tablones en el encofrado de la vivienda N° 04

Fuente: Elaboración propia



Figura 48 Toma de datos del encofrado en la vivienda N° 04

Fuente: Elaboración propia

En las figuras 47 y 48, podemos apreciar la distribución de los tablonos utilizados en el encofrado de madera para la vivienda N° 04, así como también la distribución de las unidades de albañilería alveolares (ladrillos de techo) y la indumentaria utilizada por el investigador en la toma de datos respectivamente.

Tabla 19

Resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 04

Tablón	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)
T-1	20.30	2.30	46.69
T-2	24.70	3.30	81.51
T-3	21.10	2.20	46.42
T-4	24.50	2.00	49.00
T-5	19.50	2.40	46.80
T-6	19.90	2.40	47.76
T-7	25.20	2.40	60.48
T-8	18.40	2.50	46.00
T-9	19.90	2.50	49.75
T-10	19.50	2.70	52.65
Promedio	21.30	2.47	52.71

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19, se muestran los resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 04, obteniendo un valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 21.30 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 2.47 cm.

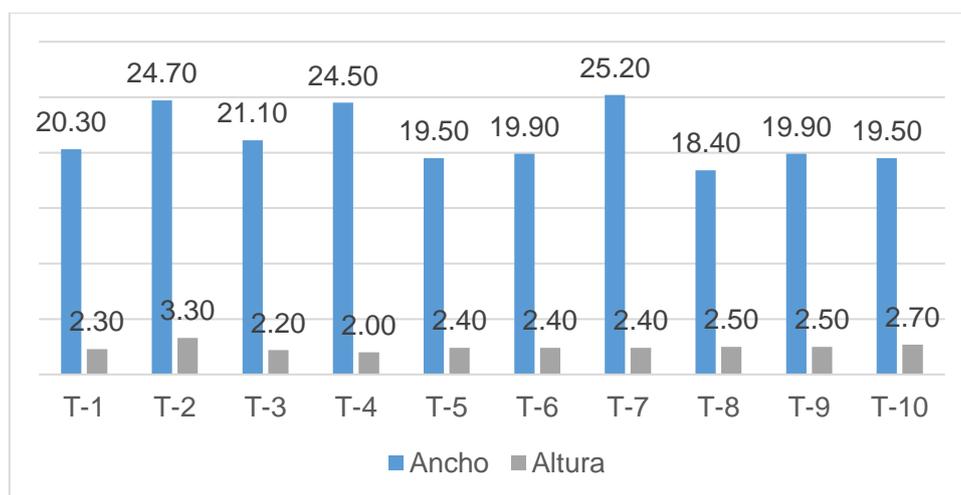


Figura 49 Gráfico de resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 04

Fuente: Elaboración propia

En la figura 49 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de los tablonos en la vivienda N° 04, teniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen T-7 con 25.20 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-8 con 18.40 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en el espécimen T-2 con 3.30 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-4 con 2.00 cm.



Figura 50 Medición de la altura de soleras en el encofrado de la vivienda N° 04

Fuente: Elaboración propia

En la figura 50 se puede observar parte de la etapa de medición concerniente a altura de la sección transversal de las soleras utilizadas en el encofrado de madera de la presente vivienda.

Tabla 20

Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 04

Solera	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)	Separación (cm)
S-1	4.10	9.00	36.90	-
S-2	5.40	9.50	51.30	74.00
S-3	5.00	9.10	45.50	78.00
S-4	4.00	9.30	37.20	77.70
S-5	5.00	9.50	47.50	79.00
S-6	5.00	8.80	44.00	81.70
S-7	6.80	15.20	103.36	83.50
S-8	7.50	9.80	73.50	80.00
S-9	10.30	9.40	96.82	63.50
S-10	8.10	10.00	81.00	67.00
Promedio	6.12	9.96	61.71	76.04

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20, se muestran los resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 04, obteniendo como valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 6.12 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 9.96 cm. Así mismo, la separación promedio entre soleras fue de 76.04 cm.

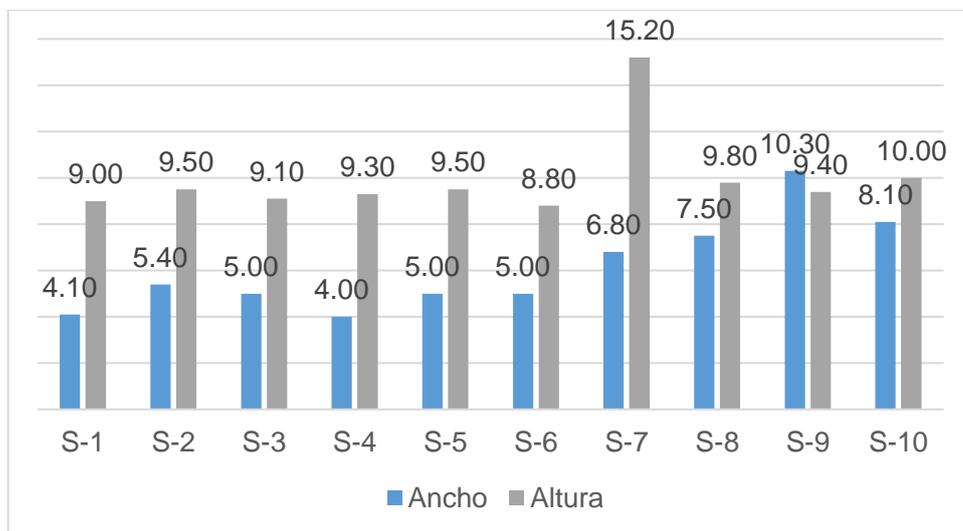


Figura 51 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 04

Fuente: Elaboración propia

En la anterior se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de las soleras en la vivienda N° 04, obteniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen S-9 con 10.30 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-4 con 4.00 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en el espécimen S-7 con 15.20 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-6 con 8.80 cm.

Por otro lado, en la figura 52 se puede observar el procedimiento utilizado en las mediciones de los pies derechos del encofrado de la vivienda N° 04, así mismo se puede notar en la parte del fondo las curvaturas que presentaban algunos pies derechos a lo largo de toda su longitud.



Figura 52 Medición de pies derechos en el encofrado de la vivienda N° 04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 04

Pie derecho	Diámetro de la sección transversal (cm)	Altura del pie derecho (cm)	Altura de la cuña (cm)	Separación (cm)
P-1	6.50	231.50	31.00	-
P-2	5.80	224.70	41.50	80.00
P-3	5.60	235.20	26.00	70.00
P-4	6.00	254.00	10.00	75.50
P-5	6.60	248.50	15.30	108.00
P-6	7.00	252.00	15.50	80.50
P-7	6.10	230.00	37.50	81.00
P-8	7.00	257.50	10.00	80.50
P-9	5.00	248.00	18.00	80.50
P-10	6.50	249.00	21.00	76.00
Promedio	6.21	243.04	22.58	81.33

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 21, se muestran los resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 04, obteniendo un valor numérico promedio del diámetro de la sección transversal de 6.21 cm; conjuntamente la altura promedio del pie derecho y de la cuña fueron de 243.04 cm y 22.58 cm respectivamente. Así mismo, la separación promedio entre pies derechos alcanzó un valor numérico de 81.33 cm.

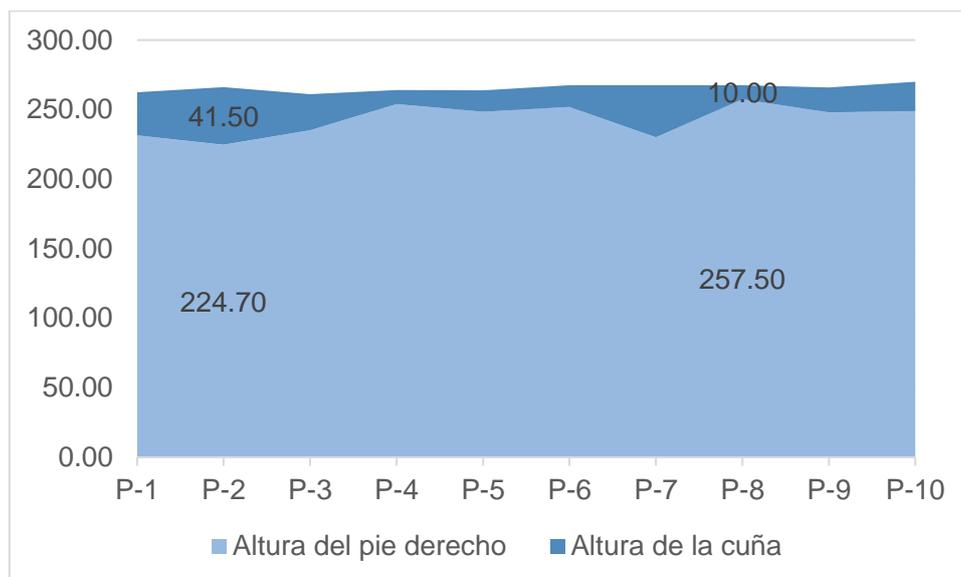


Figura 53 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 04

Fuente: Elaboración propia

En la anterior se muestra un gráfico de áreas correspondiente a los resultados de la medición de las alturas de los pies derechos y cuñas en la vivienda N° 04, obteniendo un valor numérico máximo de pie derecho en el espécimen P-8 con 257.50 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-2 con 224.70 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la cuña en el espécimen P-2 con 41.50 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-8 con 10.00 cm.

En la figura 54 se observa el pésimo estado físico de un pie derecho utilizado en el encofrado de la vivienda N° 04; se puede notar claramente la presencia de una gran rajadura, así como también grietas, fisuras y desprendimiento de madera en toda su extensión.

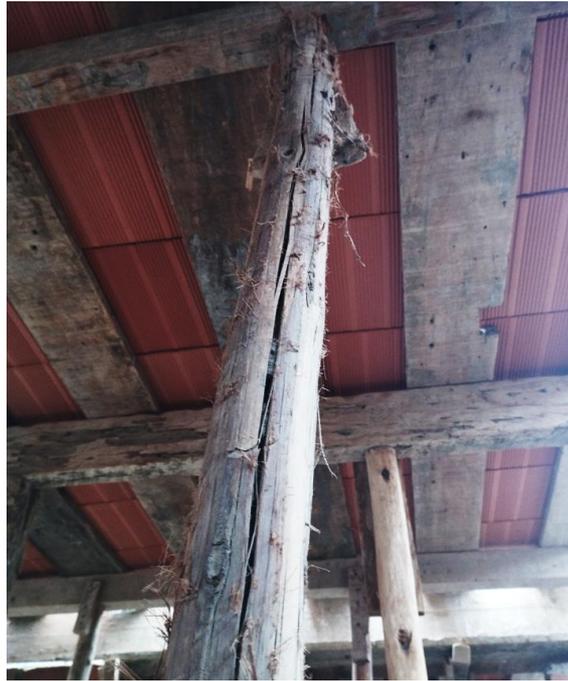


Figura 54 Pie derecho quebrado usado en el encofrado de la vivienda N° 04

Fuente: Elaboración propia



Figura 55 Cuña utilizada en el encofrado de la vivienda N° 04

Fuente: Elaboración propia

En la figura 55 se puede corroborar la gran cantidad de cuñas de ladrillos utilizados como apoyo a los pies derechos en el encofrado de madera para la vivienda actual, siendo muy excesiva su altura tal como se manifiestan en el gráfico de la figura 53.

Tabla 22

Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 04

Elemento	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo de sección (cm ³)	Esfuerzo cortante (kgf/cm ²)	Carga admisible (kgf)	Esfuerzo de compresión (kgf/cm ²)	Separación (cm)
Tablón	26.75	21.66	2.47	-	-	-
Solera	503.90	101.19	6.34	-	-	65.00
Pie derecho	-	-	-	298.00	10.92	119.00

Fuente: Elaboración propia

e) Vivienda unifamiliar N° 05

Dirección : Urbanización Los Jazmines

Número de nivel : 1



Figura 56 Foto panorámica de la vivienda N° 05

Fuente: Elaboración propia

En la figura 56 podemos observar una foto panorámica de la vivienda N° 05, ubicada en la urbanización Los Jazmines cuyo proceso de construcción de la losa aligerada se realizó en el primer nivel.

Tabla 23

Resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 05

Tablón	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)
T-1	20.00	2.20	44.00
T-2	20.20	2.30	46.46
T-3	19.80	2.80	55.44
T-4	19.70	2.70	53.19
T-5	19.60	2.40	47.04
T-6	19.10	2.20	42.02
T-7	20.00	2.40	48.00
T-8	19.50	2.70	52.65
T-9	20.60	2.80	57.68
T-10	20.00	2.80	56.00
Promedio	19.85	2.53	50.25

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 23, se muestran los resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 05, obteniendo un valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 19.85 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 2.53 cm.

Así mismo, en la figura 37 se puede observar la distribución del encofrado de madera para la losa aligera, así como también los traslapes de madera usados en las soleras.



Figura 57 Separación de los tablonos en el encofrado de la vivienda N° 05

Fuente: Elaboración propia

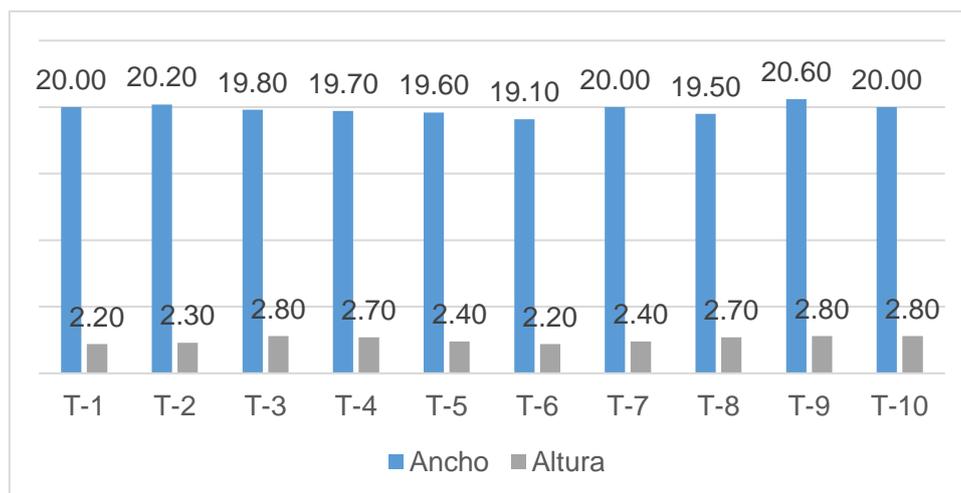


Figura 58 Gráfico de resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 05

Fuente: Elaboración propia

En la figura 58 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de los tablonos en la vivienda N° 05, teniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen T-9 con 20.60 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-6 con 19.10 cm. Así mismo, se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en los especímenes T-3, T-9 y T-10 con 2.80 cm y un valor numérico mínimo en los especímenes T-1 y T-6 con 2.20 cm.



Figura 59 Medición de la solera en el encofrado de la vivienda N° 05

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior podemos apreciar la forma de medición del ancho de la sección transversal de la solera haciendo uso de un flexómetro de mano por parte del investigador.

Tabla 24

Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 05

Solera	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)	Separación (cm)
S-1	5.00	8.60	43.00	-
S-2	5.10	14.70	74.97	84.00
S-3	5.00	12.00	60.00	72.70
S-4	5.10	9.60	48.96	80.00
S-5	5.00	9.00	45.00	76.00
S-6	5.50	14.70	80.85	73.40
S-7	4.40	14.70	64.68	49.20
S-8	10.00	14.70	147.00	52.00
S-9	5.50	14.80	81.40	69.00
S-10	4.60	10.00	46.00	72.00
Promedio	5.52	12.28	69.19	69.81

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24, se muestran los resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 05, obteniendo como valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 5.52 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 12.28 cm. Así mismo, la separación promedio entre soleras fue de 69.81 cm.

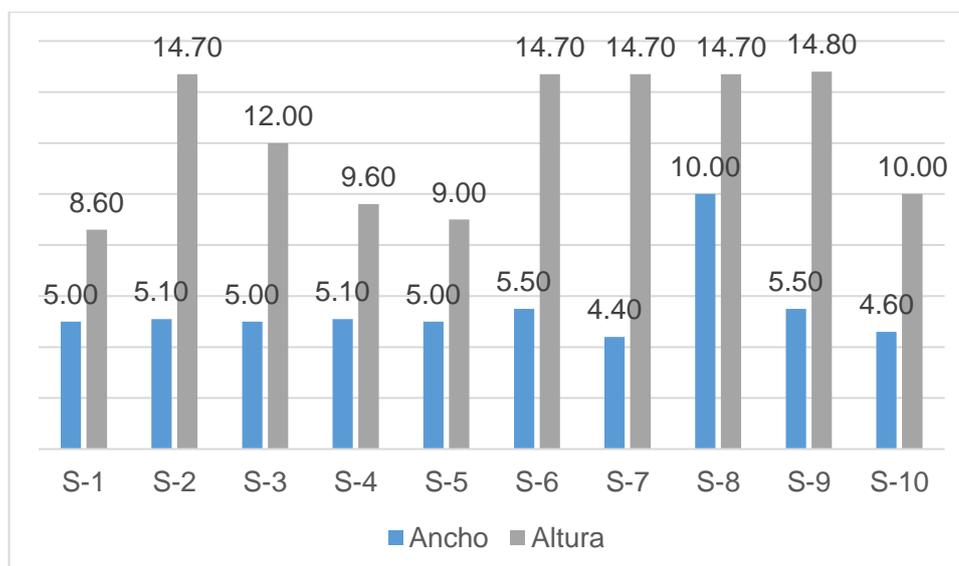


Figura 60 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 05

Fuente: Elaboración propia

En la figura 60 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de las soleras en la vivienda N° 05, obteniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen S-8 con 10.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-7 con 4.40 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en el espécimen S-9 con 14.80 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-1 con 8.60 cm.



Figura 61 Medición de pies derechos en el encofrado de la vivienda N° 05

Fuente: Elaboración propia

En la figura 49, podemos apreciar la forma de medición de la separación entre pies derechos, haciendo uso de un flexómetro de mano por parte del investigador.

Tabla 25

Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 05

Pie derecho	Diámetro de la sección transversal (cm)	Altura del pie derecho (cm)	Altura de la cuña (cm)	Separación (cm)
P-1	7.50	250.07	4.40	-
P-2	7.80	249.30	3.50	57.50
P-3	6.60	250.00	2.40	82.00
P-4	7.70	250.50	2.00	65.50
P-5	6.50	245.20	7.50	66.00
P-6	8.30	259.00	0.00	55.50
P-7	6.20	235.00	20.30	43.00
P-8	7.00	255.00	0.00	72.00
P-9	5.10	247.60	5.70	65.00
P-10	10.00	251.20	2.50	82.50
Promedio	7.27	249.29	4.83	65.44

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 25, se muestran los resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 05, obteniendo un valor numérico promedio del diámetro de la sección transversal de 7.27 cm; conjuntamente la altura promedio del pie derecho y de la cuña fueron de 249.29 cm y 4.83 cm respectivamente. Así mismo, la separación promedio entre pies derechos alcanzó un valor numérico de 65.44 cm.

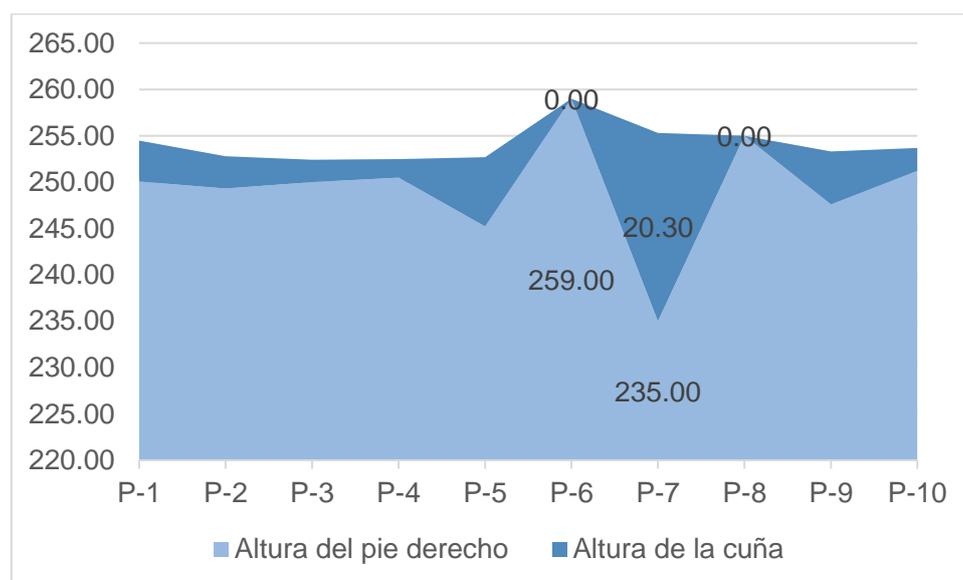


Figura 62 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 05

Fuente: Elaboración propia

En la figura 62 se muestra un gráfico de áreas correspondiente a los resultados de la medición de las alturas de los pies derechos y cuñas en la vivienda N° 05, obteniendo un valor numérico máximo de pie derecho en el espécimen P-6 con 259.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-7 con 235.00 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la cuña en el espécimen P-7 con 20.30 cm y un valor numérico mínimo en los especímenes P-6 y P-8 con 0.00 cm.

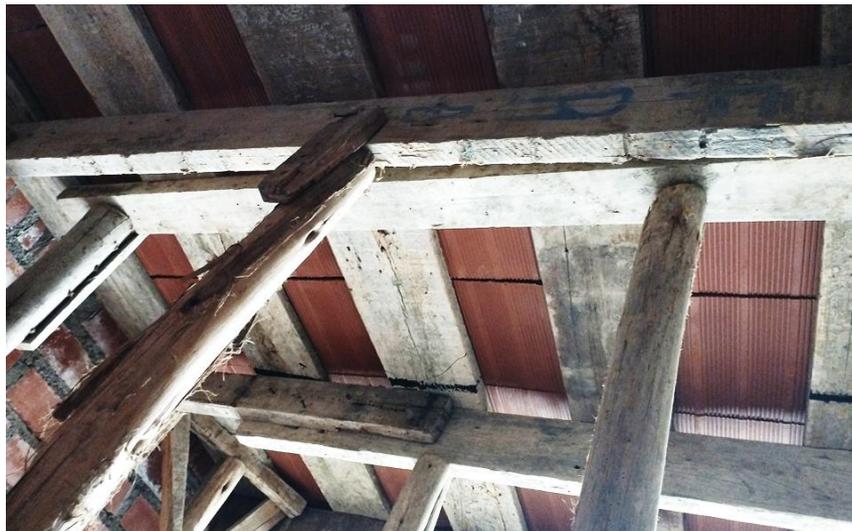


Figura 63 Soleras traslapadas utilizadas en el encofrado de la vivienda N° 05

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se puede notar la utilización de traslapes de maderas en las soleras presentes en el encofrado de la vivienda N° 05; evidentemente este tipo de procesos constructivos hacen deficiente la resistencia a flexión de las soleras.



Figura 64 Tablón agrietado utilizado en el encofrado de la vivienda N° 05

Fuente: Elaboración propia

En la figura 64 se observa el pésimo estado físico de uno de los tablonos utilizados en el encofrado de la vivienda N° 05; se puede notar claramente la presencia de rajaduras, grietas y fisuras en toda su extensión y sección transversal.

Tabla 26

Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 05

Elemento	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo de sección (cm ³)	Esfuerzo cortante (kgf/cm ²)	Carga admisible (kgf)	Esfuerzo de compresión (kgf/cm ²)	Separación (cm)
Tablón	26.79	21.18	2.59	-	-	-
Solera	851.83	138.73	6.51	-	-	65.00
Pie derecho	-	-	-	532.02	12.14	136.00

Fuente: Elaboración propia

f) Vivienda unifamiliar N° 06

Dirección : Pasaje 18 de marzo

Número de nivel : 1



Figura 65 Foto panorámica de la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura 65 podemos observar una foto panorámica de la vivienda N° 06, ubicada en el pasaje 18 De Marzo cuyo proceso de construcción de la losa aligerada se realizó en el primer nivel.



Figura 66 Distribución de unidades de albañilería alveolares en la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura 66 podemos apreciar la distribución de los ladrillos de techo en el encofrado para la losa aligerada de la vivienda N° 06, así como también la indumentaria utilizada y la forma de medición del investigador.



Figura 67 Separación de los tablonos en el encofrado para la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior podemos observar la separación entre tablonos del alero del encofrado para la losa aligerada de la vivienda N° 05, también logramos notar las diferentes calidades de tablonos de especie tornillo, entre aquellas de menor cantidad de usos y otros con más veces de usos y con restos de concreto endurecido.

Tabla 27

Resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 06

Tablón	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)
T-1	20.80	2.40	49.92
T-2	20.00	2.50	50.00
T-3	19.40	2.50	48.50
T-4	20.20	2.40	48.48
T-5	19.80	2.50	49.50
T-6	20.00	2.40	48.00
T-7	20.00	2.40	48.00
T-8	20.20	2.40	48.48
T-9	19.80	2.50	49.50
T-10	20.50	2.50	51.25
Promedio	20.07	2.45	49.16

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 27, se muestran los resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 01, obteniendo un valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 20.07 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 2.45 cm.

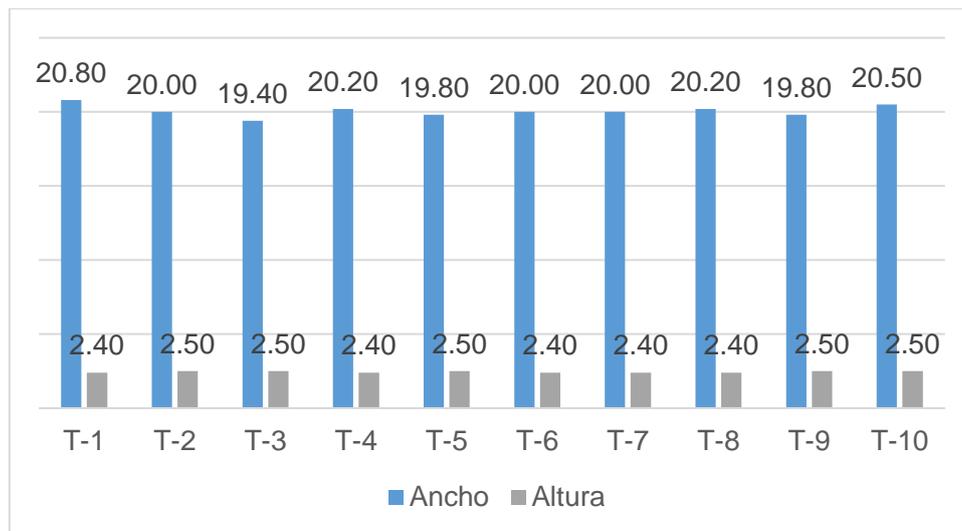


Figura 68 Gráfico de resultados de la medición de tabloncillos en la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura 68 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de los tabloncillos en la vivienda N° 06, teniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen T-1 con 20.80 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-3 con 19.40 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en los especímenes T-2, T-3, T-5, T-9 y T-10 con 2.50 cm y un valor numérico mínimo en los especímenes T-1, T-4, T-6, T-7 y T-8 con 2.40 cm.

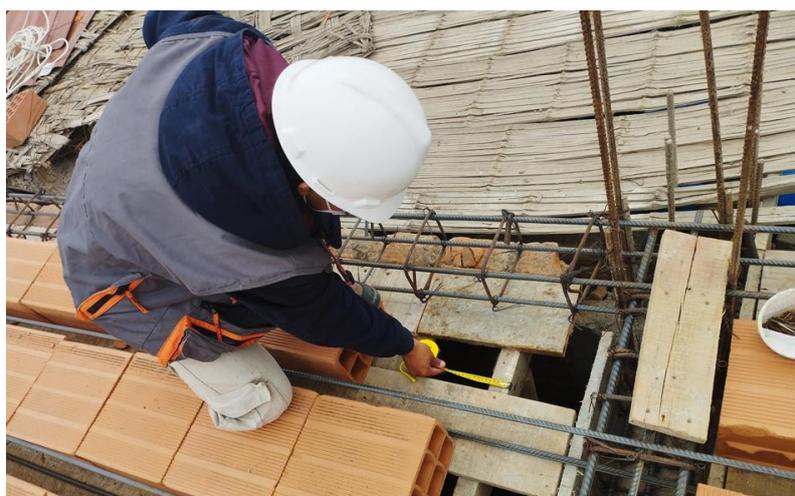


Figura 69 Medición de la solera en el encofrado de la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura 69, podemos observar la manera de medición del ancho de la sección transversal de las soleras de la vivienda N° 06, haciendo uso de un flexómetro de mano por parte del investigador.

Tabla 28

Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 06

Solera	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)	Separación (cm)
S-1	5.00	8.20	41.00	-
S-2	4.50	8.30	37.35	72.00
S-3	7.50	10.00	75.00	75.00
S-4	4.90	8.30	40.67	69.00
S-5	7.40	7.30	54.02	71.50
S-6	7.50	9.80	73.50	71.00
S-7	7.40	9.70	71.78	72.00
S-8	7.40	8.20	60.68	68.00
S-9	7.35	7.30	53.66	71.00
S-10	5.50	9.80	53.90	69.00
Promedio	6.45	8.69	56.16	70.94

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28, se muestran los resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 06, obteniendo como valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 6.45 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 8.69 cm. Así mismo, la separación promedio entre soleras fue de 70.94 cm.



Figura 70 Separación de soleras en el encofrado de la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura 70 se puede observar parte de la distribución del encofrado de madera para la losa aligera, así como también el estado físico de los tablonos y soleras.

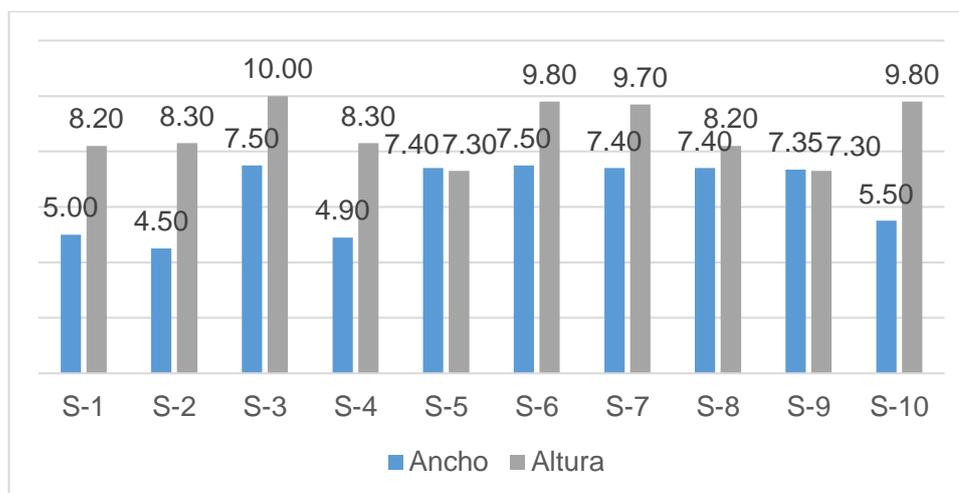


Figura 71 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura 71 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de las soleras en la vivienda N° 06, obteniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en los especímenes S-3 y S-6 con 7.50 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-2 con 4.50 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura

de la sección transversal en el espécimen S-3 con 10.00 cm y un valor numérico mínimo en los especímenes S-5 y S-9 con 7.30 cm.



Figura 72 Separación de pies derechos en el encofrado de la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se muestran las condiciones de trabajo durante el encofrado de la losa aligerada en la vivienda N° 06, donde podemos notar la presencia de materiales, muebles y plantas, esto es porque la familia decidió paralizar por un pequeño tiempo el vaciado de concreto para la losa aligerada.

Tabla 29

Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 06

Pie derecho	Diámetro de la sección transversal (cm)	Altura del pie derecho (cm)	Altura de la cuña (cm)	Separación (cm)
P-1	7.00	270.00	0.00	-
P-2	7.00	268.20	2.00	80.50
P-3	6.00	269.30	1.50	91.00
P-4	6.50	269.00	4.00	72.00
P-5	6.00	268.00	2.00	67.00
P-6	7.00	270.00	0.00	90.00
P-7	6.70	269.00	1.00	71.00
P-8	7.00	268.70	0.00	73.50
P-9	7.50	269.70	0.00	82.00
P-10	7.00	269.00	0.00	68.00
Promedio	6.77	269.09	1.05	77.22

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 29, se muestran los resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 06, obteniendo un valor numérico promedio del diámetro de la sección transversal de 6.77 cm; conjuntamente la altura promedio del pie derecho y de la cuña fueron de 269.19 cm y 1.05 cm respectivamente. Así mismo, la separación promedio entre pies derechos alcanzó un valor numérico de 77.22 cm.

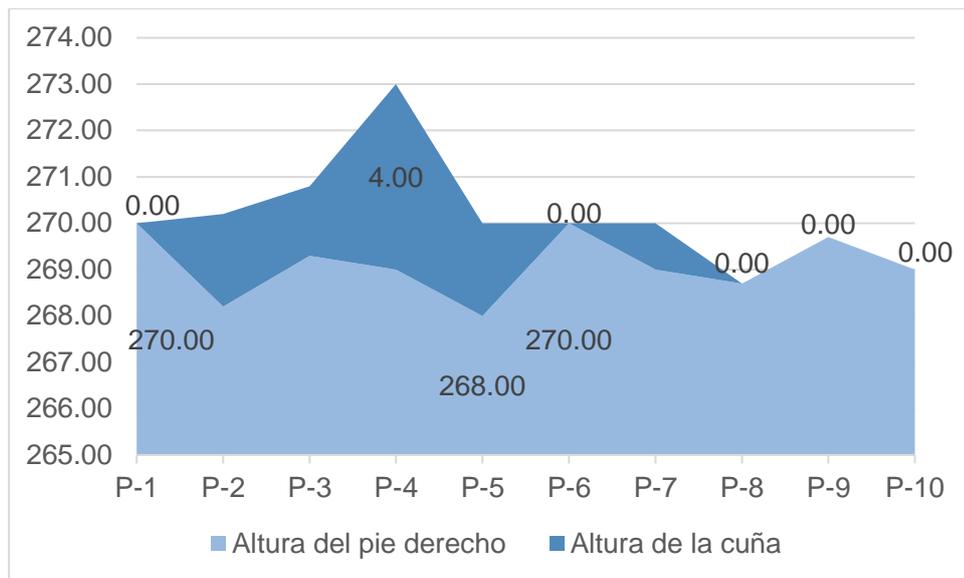


Figura 73 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura 73 se muestra un gráfico de áreas correspondiente a los resultados de la medición de las alturas de los pies derechos y cuñas en la vivienda N° 06, obteniendo un valor numérico máximo de pie derecho en los especímenes P-1 y P-6 con 270.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-5 con 268.00 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la cuña en el espécimen P-4 con 4.00 cm y un valor numérico mínimo en los especímenes P-1, P-6, P-8, P-9 y P-10 con 0.00 cm.



Figura 74 Cuñas de madera utilizadas en el encofrado de la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se observa algunos de los pies derechos que no contaron con cuñas, así mismo el uso de tacones de madera como cuñas para los demás pies derechos que conforman el encofrado de madera.

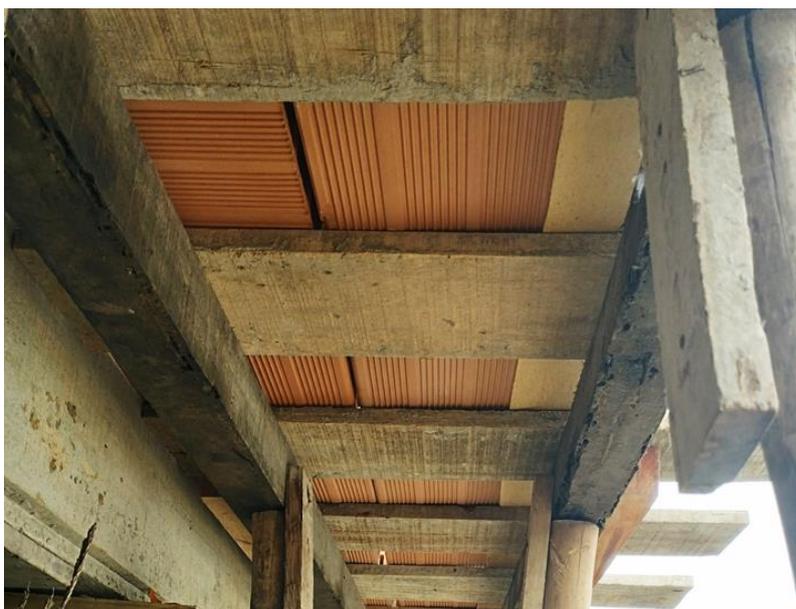


Figura 75 Soleras carcomidas y agrietadas en el encofrado de la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura 75 se observa el pésimo estado físico de algunas soleras utilizadas en el encofrado de la vivienda N° 06; se puede distinguir claramente que la solera del lado derecho se encontró totalmente carcomida y llena de agujeros.

Tabla 30

Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 06

Elemento	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo de sección (cm ³)	Esfuerzo cortante (kgf/cm ²)	Carga admisible (kgf)	Esfuerzo de compresión (kgf/cm ²)	Separación (cm)
Tablón	24.60	20.08	2.56	-	-	-
Solera	352.73	81.18	6.31	-	-	63.00
Pie derecho	-	-	-	343.37	9.09	109.00

Fuente: Elaboración propia

g) Vivienda unifamiliar N° 07

Dirección : Jirón Lima

Número de nivel : 2



Figura 76 Foto panorámica de la vivienda N° 07

Fuente: Elaboración propia

En la figura 76 podemos observar una foto panorámica de la vivienda N° 07, ubicada en el Jirón Lima cuyo proceso de construcción de la losa aligerada se realizó en el segundo nivel.



Figura 77 Separación de los tablonés en el encofrado de la vivienda N° 07

Fuente: Elaboración propia

En la figura 77 se puede observar parte de la distribución del encofrado de madera para la losa aligera, así como también el estado físico de los tablonos y soleras. Podemos notar que el primer tablón presenta una deflexión y restos de concreto endurecido.

Tabla 31

Resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 07

Tablón	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)
T-1	18.00	2.20	39.60
T-2	18.50	2.10	38.85
T-3	20.40	2.30	46.92
T-4	20.60	2.20	45.32
T-5	20.50	2.30	47.15
T-6	20.00	2.20	44.00
T-7	20.30	2.50	50.75
T-8	19.90	2.30	45.77
T-9	18.60	2.20	40.92
T-10	19.50	2.20	42.90
Promedio	19.63	2.25	44.22

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 31, se muestran los resultados de la medición de tablonos en la vivienda N° 07, obteniendo un valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 19.63 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 2.25 cm.

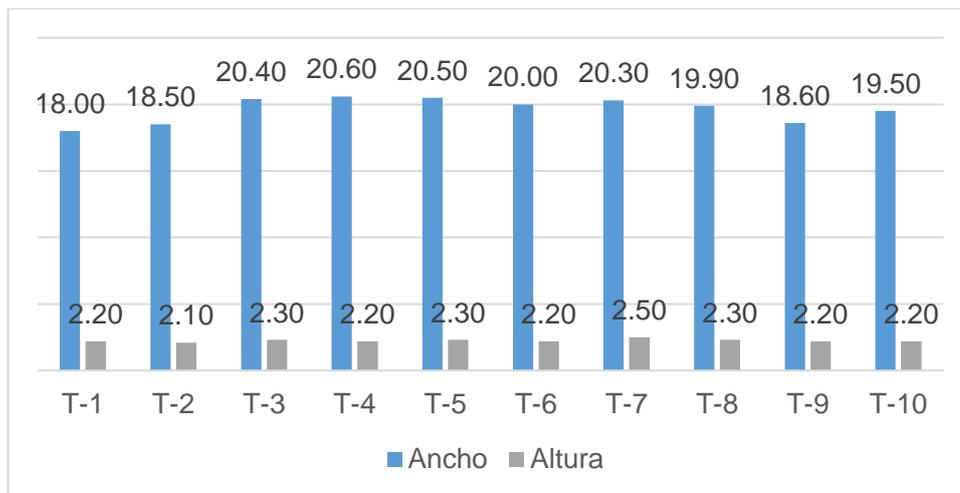


Figura 78 Gráfico de resultados de la medición de tabloncillos en la vivienda N° 06

Fuente: Elaboración propia

En la figura 78 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de los tabloncillos en la vivienda N° 07, teniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen T-4 con 20.60 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-1 con 18.00 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en el espécimen T-7 con 2.50 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen T-2 con 2.10 cm.



Figura 79 Medición de soleras en el encofrado de la vivienda N° 07

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior podemos apreciar la forma de medición de la separación de las soleras, haciendo uso de un flexómetro de mano por parte del investigador.

Tabla 32
Resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 07

Solera	Ancho de la sección transversal (cm)	Altura de la sección transversal (cm)	Área de la sección transversal (cm ²)	Separación (cm)
S-1	5.00	15.00	75.00	-
S-2	5.30	14.50	76.85	76.00
S-3	4.70	9.80	46.06	69.00
S-4	8.00	9.80	78.40	68.00
S-5	7.10	8.50	60.35	57.50
S-6	4.40	10.00	44.00	73.50
S-7	4.10	7.20	29.52	61.00
S-8	12.50	4.30	53.75	63.00
S-9	9.10	9.40	85.54	67.00
S-10	5.00	14.30	71.50	68.50
Promedio	6.52	10.28	62.10	67.06

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32, se muestran los resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 07, obteniendo como valor numérico promedio del ancho de la sección transversal de 6.52 cm y un valor numérico promedio de la altura de la sección transversal de 10.28 cm. Así mismo, la separación promedio entre soleras fue de 67.06 cm.

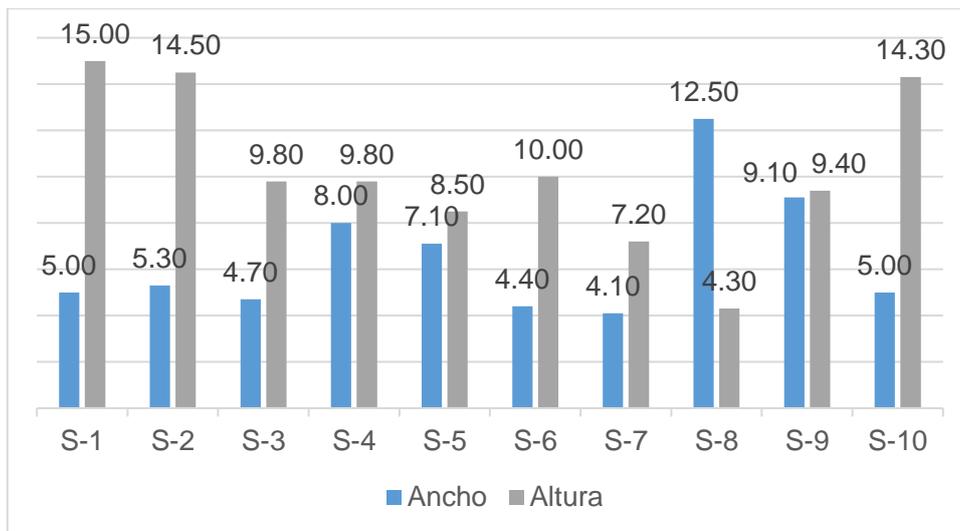


Figura 80 Gráfico de resultados de la medición de soleras en la vivienda N° 07

Fuente: Elaboración propia

En la figura 80 se muestra un gráfico de barras con el resultado de la medición de las soleras en la vivienda N° 07, obteniendo un valor numérico máximo del ancho de la sección transversal en el espécimen S-8 con 12.50 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-7 con 4.10 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la altura de la sección transversal en el espécimen S-1 con 15.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen S-8 con 4.30 cm.



Figura 81 Soleras traslapadas usadas en el encofrado de la vivienda N° 07

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se puede apreciar la distribución de los tablonos y soleras, a simple viste se puede notar que algunas de las soleras se encuentran traslapadas, lo que genera una menor resistencia mecánica por parte de estos elementos del encofrado para la losa aligerada.

Tabla 33

Resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 07

Pie derecho	Diámetro de la sección transversal (cm)	Altura del pie derecho (cm)	Altura de la cuña (cm)	Separación (cm)
P-1	8.50	239.00	24.00	-
P-2	4.30	212.00	50.00	66.50
P-3	7.00	242.30	20.50	60.00
P-4	5.40	220.50	45.00	78.50
P-5	7.10	226.20	38.50	88.50
P-6	6.20	250.00	12.60	98.50
P-7	7.00	234.00	23.00	75.00
P-8	7.60	252.00	7.50	58.00
P-9	7.00	210.00	49.50	63.00
P-10	9.10	235.30	23.00	45.00
Promedio	6.92	232.13	29.36	70.33

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 33, se muestran los resultados de la medición de pies derechos en la vivienda N° 07, obteniendo un valor numérico promedio del diámetro de la sección transversal de 6.92 cm; conjuntamente la altura promedio del pie derecho y de la cuña fueron de 232.13 cm y 29.36 cm respectivamente. Así mismo, la separación promedio entre pies derechos alcanzó un valor numérico de 70.33 cm.

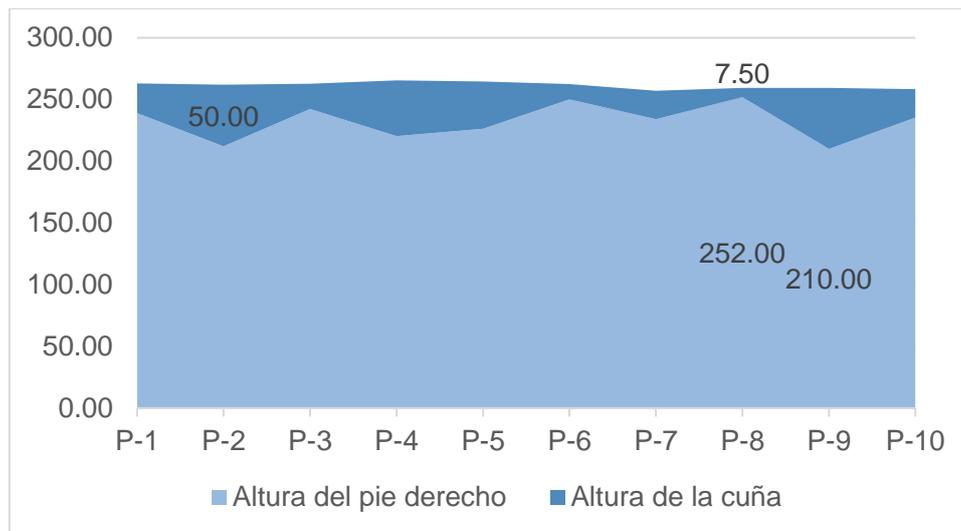


Figura 82 Gráfico de resultados de pies derechos en la vivienda N° 07

Fuente: Elaboración propia

En la figura 82 se muestra un gráfico de áreas correspondiente a los resultados de la medición de las alturas de los pies derechos y cuñas en la vivienda N° 07, obteniendo un valor numérico máximo de pie derecho en el espécimen P-8 con 252.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-9 con 210.00 cm. Así mismo se obtuvo como valor numérico máximo de la cuña en el espécimen P-2 con 50.00 cm y un valor numérico mínimo en el espécimen P-8 con 7.50 cm.



Figura 83 Solera en pésimas condiciones en el encofrado de la vivienda N° 07

Fuente: Elaboración propia

En la figura 83 se observa el pésimo estado físico de una de las soleras utilizados en el encofrado de la vivienda N° 07; se observar que se encuentra traslapada con presencia de grietas, rajaduras y desprendimientos de madera.



Figura 84 Cuña del pie derecho usada en el encofrado de la vivienda N° 07

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior poder notar la altura excesiva que presentan la cuña del pie derecho, haciendo referencia al valor numérico máximo de la cuña del espécimen P-2 con 50.00 cm de la figura 82.

Tabla 34

Resultados de los cálculos estructurales en la vivienda N° 07

Elemento	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo de sección (cm ³)	Esfuerzo cortante (kgf/cm ²)	Carga admisible (kgf)	Esfuerzo de compresión (kgf/cm ²)	Separación teórica (cm)
Tablón	18.63	16.56	2.67	-	-	-
Solera	590.26	114.84	5.63	-	-	59.00
Pie derecho	-	-	-	503.69	9.23	126.00

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla podemos observar los valores numéricos estructurales promedios de los cálculos estructurales a partir de las escuadrillas, para cada uno de los elementos que conforman el encofrado de madera. Obteniendo para los tablonos un esfuerzo cortante promedio de 2.53 kgf/cm², mientras que las soleras alcanzaron los 6.71 kgf/cm² de esfuerzo cortante con una separación promedio de 64.14 cm, finalmente los pies derechos obtuvieron 11.18 kgf/cm² de esfuerzo a la compresión con un espaciamiento promedio de 118.00 cm.

Tabla 35

Resultados promedio de los cálculos estructurales del encofrado

Elemento	Momento de inercia (cm ⁴)	Módulo de sección (cm ³)	Esfuerzo cortante (kgf/cm ²)	Carga admisible (kgf)	Esfuerzo de compresión (kgf/cm ²)	Separación teórica (cm)
Tablón	26.49	21.11	2.53	-	-	-
Solera	504.08	97.24	6.71	-	-	64.14
Pie derecho	-	-	-	383.43	11.18	118.00

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que, según el análisis de la sábana de datos se obtuvieron escuadrillas promedias de 0.95 pulgadas x 8.06 pulgadas y 2.23 pulgada x 3.98 pulgadas para los tablonos y soleras respectivamente. El diámetro promedio de los pies derechos fue 2.63 pulgadas, mientras que su altura fue 251.83 cm y 16.17 cm como altura media de las cuñas. Finalmente, la especie de madera predominante para soleras y tablonos fue el tornillo, mientras que para los pies derechos, fue el eucalipto.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1 Discusión de resultados

- Se encontraron resultados similares a los de Herrera, Moreno y Robles (2016) en referencia a la separación promedio de soleras y pies derechos para losas de 0.17 m de espesor. Siendo 64.11 cm de espaciamiento promedio calculado de las soleras para esta investigación y 101.62 cm para los autores internacionales, así mismo la separación promedio calculada de los pies derechos fue de 118.00 cm para la actual tesis y 85.00 cm para los autores de El Salvador. Cabe mencionar que los resultados obtenidos por esta investigación son conservadores y se enmarcan en la realidad estudiada, lo cual podría diferir de la propia filosofía de construcción del país de El Salvador. Así mismo, se debe de indicar que la mayoría de las viviendas que formaron parte de esta investigación, presentaron un espesor o peralte de la losa de 0.20 m, y por consiguiente la carga gravitatoria aplicada a los elementos estructurales de madera que conforman el encofrado para losas aligeradas sería mayor, generando mayores esfuerzos mecánicos en cada uno de estos elementos, y podría causante de los resultados conservadores obtenidos durante el proceso de medición para esta investigación.
- Apaza y Machaca (2020) obtuvieron una separación entre soleras de 102.64 cm, en tablas de 1 1/2x8 pulgadas cuadradas, por el contrario, en la presente investigación se logró obtener un valor constructivo promedio de la sección de las tablas de 1x8 pulgadas cuadradas, con una separación promedio calculada para las soleras de

64.11 cm; así mismo, el espaciamiento promedio entre pies derechos fue de 118.00 cm con una altura promedio de 2.52 m. Mientras que los autores mencionados, obtuvieron una separación de 100.00 cm, con una altura de 3.20 m para la especie de madera eucalipto rollizo, para un peralte de losa aligerada de 0.20 m. Es importante indicar que la separación promedio de los pies derechos de la presente tesis, fue menor en 18.00 cm con respecto a lo hallado por los autores citados, a pesar de que los puntales de la investigación citada fueron de mayor longitud, alrededor de 70.00 cm más, en referencia a las longitudes obtenidas en el proceso de medición para esta investigación.

- Se encontraron resultados inferiores de separación promedio de las soleras en comparación con los obtenidos por Laura (2016), los cuales fueron de 116 cm y para esta tesis fue de 64.11 cm. No obstante, en la actual investigación se hallaron valores superiores frente a la separación promedio entre puntales, siendo de 118.00 cm en comparación con lo obtenido por la investigación citada líneas arriba, el cual fue 66 cm. Es de capital importancia indicar que el espaciamiento de 116 cm para las soleras, obtenidas en los resultados de la investigación mencionada, se realizó durante el mejoramiento de una institución educativa, y dicha separación supera los parámetros máximos mencionados por SENCICO (2012), en donde indican que el espaciamiento máximo de soleras para encofrados de madera para losas aligeradas debe ser 90 cm.
- Se encontró relación con la investigación de Arapa y Maldonado (2019), ya que no se encontró ningún plano o boceto del diseño de los encofrados para losas aligeradas, pero es posible que otros investigadores logren obtener resultados de elaboración de planos para estos tipos de encofrados, debido a limitaciones de la coyuntura y cantidad de muestra utilizada en la actual tesis.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Los valores del diseño estructural de los tablonos usados en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura fueron los siguientes: momento de inercia igual a 26.49 cm^4 , módulo de sección igual a 21.11 cm^3 y un esfuerzo cortante igual a 2.53 kgf/cm^2 .
- Los valores del diseño estructural de las soleras usadas en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura fueron los siguientes: momento de inercia igual a 504.08 cm^4 , módulo de sección igual a 97.24 cm^3 y un esfuerzo cortante igual a 6.71 kgf/cm^2 . Por lo tanto, la separación entre soleras fue 64.14 cm .
- Los valores del diseño estructural de los pies derechos usados en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura fueron los siguientes: carga admisible igual a 383.43 kgf y un esfuerzo de compresión igual a 11.18 kgf/cm^2 . En consecuencia, el espaciamiento entre puntales fue 118.00 cm .

6.2 Recomendaciones

- La evaluación estructural de los tablonos, soleras y puntales podrían ajustarse a ciertos ensayos mecánicos de laboratorio, así mismo a un análisis más detallado concerniente a la cantidad de su usos o repeticiones que tienen estos elementos de madera antes de ser usados como parte de los encofrados.
- Se podrían generar nuevas investigaciones teniendo como población y/o muestra a un número mayor de viviendas en proceso de construcción, teniendo en cuenta factores como el nivel socioeconómico, rendimiento en obra y seguridad de los trabajadores. Incluyendo también los encofrados para vigas, columnas, muros de corte o placas y muros de contención.
- El diseño estructural de encofrados de madera debería estar al alcance de todos los peruanos, por tal motivo podría elaborarse una aplicación para smartphone o algún programa para computadora de fácil uso, que permita calcular rápidamente los espaciamiento o separación de los elementos de madera a partir de datos promedio de las escuadrillas que comúnmente son ofertadas en el rubro de la construcción.

REFERENCIAS

7.1 Fuentes documentales

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *NORMA E.010 MADERA*. Lima.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *NORMA E.020 CARGAS*. Lima.

7.2 Fuentes bibliográficas

Apaza, O., & Machaca, E. (2020). *Diseño y evaluación de encofrado con fenólicos para construcción del colegio Innova School, Juliaca-2020*. Universidad Privada de Trujillo, Trujillo.

Arapa, V., & Maldonado, F. (2019). *Análisis de la eficiencia del empleo de encofrados metálicos y de madera en la construcción de edificios de la ciudad de Cusco-2017*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco.

Beato, R. (2018). *Estudio comparativo entre los sistemas de encofrado en República Dominicana y el sistema de España*. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.

Briceño, E. (2017). *Aplicación de encofrados modulares en viviendas multifamiliares y productividad en obra-Condominio Real Carabayllo en el 2016*. Universidad César Vallejo, Lima.

CAPECO. (2003). *Costos y Presupuestos en Edificaciones*. Lima.

Comité ACI-347-04. (2014). *Guía para el diseño, construcción y materiales de cimbras para concreto*. American Concrete Institute.

Correa, L., & Correa, M. (2018). *Estudio comparativo de los tipos de encofrado metálico y el tradicional (caña guadua y madera) aplicado a una edificación tipo de 3 niveles de 450 m² de hormigón armado*. Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, Guayaquil.

- García, M., & Ramos, S. (2018). *Análisis comparativo, técnico y económico de placas prefabricadas Hollow contra sistema de encofrado de formaletas industrializada de losas aligeradas*. Universidad Nacional Pedro Enriquez Ureña, Santo Domingo.
- Guerreo, A. (2018). *Análisis comparativo de factibilidad técnica, económica y constructiva entre encofrado tradicional y encofrado LosaFlex para losas y vigas de hormigón armado en edificaciones*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Herrera, A., Moreno, J., & Robles, N. (2014). *Diagnóstico del uso de encofrados en elementos estructurales de concreto para los diferentes tipos de edificaciones en la zona oriental de El Salvador*. Universidad de El Salvador, San Miguel.
- INEN. (1978). *Diseño y construcción de encofrados*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales. (2007). *Guía práctica de encofrados*. San Sebastián: Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales.
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1984). *Manual de diseño para maderas del grupo andino*. Lima: Junta del Acuerdo de Cartagena.
- Laura, T. (2016). *Diseño de sistema de encofrados en la provincia de Angaraes-Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica.
- Lazo, K. (2018). *Aplicación de un sistema de encofrados con desplazamiento horizontal y su influencia en la construcción del centro comercial Open Plaza Huancayo en la etapa de estructuras*. Universidad Continental, Huancayo.
- Millán, C. (2018). *Evaluación de la vida útil de la cimbra de madera, a partir de la utilización de diferentes tipos de agentes desmoldantes*. Universidad Autónoma de Aguascalientes, Aguascalientes.
- Montes, C. E. (2014). *Metodología de investigación tecnológica*. Huancayo: Soluciones Gráficas S.A.C.
- Pacheco, J. (1980). *Construcción II*. Lima.

Piedrahita, A. (2017). *Análisis de factibilidad del encofrado deslizante en la construcción de edificaciones*. Universidad EIA, Envigado.

Ponce, L. (2016). *Análisis comparativo entre el encofrado metálico por el sistema de muros portantes y el encofrado de madera por el sistema tradicional para viviendas en la urbanización Villa del Rey, etapa Princesa Diana*. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.

Ramírez, R. R. (2017). *Metodología para la investigación y redacción*. Málaga: Servicios Académicos Intercontinentales S.L.

SENCICO. (2012). *El maestro de obra*. Lima: SENCICO.

Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. Bogotá: Pearson Educación de Colombia.

7.3 Fuentes hemerográficas

José Salinas Saavedra. (Marzo de 2019). Materiales y soluciones que están mejorando los proyectos de construcción. *Costos*, 5(2), 8-14.

7.4 Fuentes electrónicas

Civilparaelmundo. (2016). *Civilparaelmundo*. Obtenido de:

<https://civilparaelmundo.com/metrado-madera-pie2/>

Constructor Civil. (2011). *Constructor Civil*. Obtenido de Constructor Civil:

<https://www.elconstructorcivil.com/2011/02/propiedades-de-la-madera-compresion.html>

Historia de Covalada. (2016). *Historia de Covalada*. Obtenido de

<https://historiadecovalada.wordpress.com/>

Instaingenieria. (16 de Noviembre de 2020). *Tema: Falla de encofrados*. YouTube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=k4dzzP7RbY4>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (s.f.). *Prepublicación del proyecto de ficha de homologación de postes de madera rolliza*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/midagri/informes-publicaciones/841632-prepublicacion-del-proyecto-de-ficha-de-homologacion-de-postes-de-madera-rolliza>

Salas, A. V. (7 de Mayo de 2015). *IQ Latino*. Obtenido de <https://iqlatino.org/>

Sociedad Peruana de Bienes Raíces. (10 de Enero de 2019). *Sociedad Peruana de Bienes Raíces*. Obtenido de <https://bienesraices.com/>

ANEXOS

01 MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	METODOLOGÍA
<p>Problema general:</p> <p>¿Cuáles son los valores de la evaluación del diseño estructural de encofrados de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar los valores de la evaluación del diseño estructural de encofrados de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>Los valores de la evaluación del diseño estructural de encofrados de madera para losas aligeradas no cumplen los parámetros admisibles estructurales en las viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura</p>	<p>Variable principal:</p> <p>Y: Diseño estructural de encofrados de madera.</p>	<p>Población:</p> <p>Viviendas en proceso de construcción de la ciudad de Huaura.</p> <p>Muestra:</p> <p>Viviendas en proceso de construcción en el sector El Socorro de la ciudad de Huaura.</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>¿Cuáles son los valores del diseño estructural de los tablones usados en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura?</p> <p>¿Cuáles son los valores del diseño estructural de las soleras usadas en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura?</p> <p>¿Cuáles son los valores del diseño estructural de los pies derechos usados en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>Determinar los valores del diseño estructural de los tablones usados en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura</p> <p>Determinar los valores del diseño estructural de las soleras usadas en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura.</p> <p>Determinar los valores del diseño estructural de los pies derechos usados en el encofrado de madera para losas aligeradas de viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura</p>	<p>Hipótesis específicas:</p> <p>Los valores del diseño estructural de los tablones usados en el encofrado de madera para losas aligeradas no cumplen los parámetros admisibles estructurales en las viviendas unifamiliares de la urbanización en la ciudad de Huaura</p> <p>Los valores del diseño estructural de las soleras usadas en el encofrado de madera para losas aligeradas no cumplen los parámetros admisibles estructurales en las viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura</p> <p>Los valores del diseño estructural de los pies derechos usados en el encofrado de madera para losas aligeradas no cumplen los parámetros admisibles estructurales en las viviendas unifamiliares en la ciudad de Huaura.</p>	<p>Dimensiones:</p> <p>D1: Diseño estructural del tablón.</p> <p>D2: Diseño estructural de la solera.</p> <p>D3: Diseño estructural del pie derecho.</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Aplicada.</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>Descriptiva.</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>No experimental de corte transversal.</p> <p>Enfoque de investigación:</p> <p>Mixto.</p>

02 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 01

SEPARACIÓN ENTRE SOLERAS

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
P1 = 2.22 kgf/cm

$$P_1 = P \times (\text{Ancho Tributario})$$

Carga o peso de la losa por metro lineal sobre la tabla.

SECCIÓN DE LA TABLA O TABLÓN

ESPECIE	TORNILLO
GRUPO	C
ANCHO	19.82 cm
ALTURA	2.36 cm

MOMENTO DE INERCIA

$$I = 21.71 \text{ cm}^4$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE SECCIÓN DE LA TABLA

$$S = 18.40 \text{ cm}^3$$

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1 : 10 Para vigas continuas

L1 = 91.04 cm

$$L1 = 91.00 \text{ cm}$$

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2 : 128 Para vigas continuas

Deflexión : 2.00 mm 0.20 cm

L2 = 60.92 cm

$$L2 = 61.00 \text{ cm}$$

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3 : 0.60 Para vigas continuas

L1 = 91.00 cm

$$fv1 = 3.89 \text{ kgf/cm}^2$$

OK

L2 = 61.00 cm

$$fv2 = 2.61 \text{ kgf/cm}^2$$

OK

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_1 \times L}{A}$$

Asumimos :

L = 60.00 cm

SEPARACIÓN ENTRE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

L1: Medida anterior

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
P2 = 3.33 kgf/cm

P₂ = P × L₁
 Carga o peso por metro lineal sobre sobre la solera

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	EUCALIPTO
GRUPO	C
ANCHO	5.11 cm
ALTURA	8.48 cm

MOMENTO DE INERCIA

I = 259.67 cm⁴

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE LA SECCIÓN DE LA TABLA

S = 61.24 cm³

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1: 10 Para vigas continuas

L1 = 135.62 cm

L1 = 136.00 cm

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2: 128 Para vigas continuas

Deflexión: 2.00 mm 0.20 cm

L2 = 102.37 cm

L2 = 103.00 cm

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3: 0.60 Para vigas continuas

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2 \times L}{A}$$

L1 = 136.00 cm	fv1 = 9.41 kgf/cm ²	CAMBIAR
L2 = 103.00 cm	fv2 = 7.12 kgf/cm ²	OK

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE DESPRECIANDO CARGAS EN APOYOS

K3 : 0.60	Para vigas continuas	$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2(L - 2 \times h)}{A}$	
L1 = 136.00 cm		fv1 = 8.23 kgf/cm ²	CAMBIAR
L2 = 103.00 cm		fv2 = 5.95 kgf/cm ²	OK

Asumimos :

L = 100.00 cm

VERIFICACIÓN DE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL =	554.97	kgf/m ²	
Q =	332.98	kgf	Carga o peso puntual sobre cada pie derecho o puntal

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	TORNILLO	ALTURA TOTAL =	251.77 cm
GRUPO	C	ALTURA CUÑA =	8.62 cm
ANCHO	0.00 cm	ALTURA EFECTIVA =	243.15 cm
ALTURA	0.00 cm	SOLERA:	ANCHO = 5.11 cm
DIÁMETRO	6.60 cm		ALTURA = 8.48 cm

VERIFICACIÓN POR CARGA CRÍTICA O ADMISIBLE

$L/d = 36.84$ **COLUMNA LARGA**

Relación de esbeltez con el lado menor del puntal

Área = 34.21 cm² Área de la sección transversal

Q adm = 379.87 kgf **OK**

$$Q_{adm} = \frac{0.274 \times E \times A}{(L/d)^2}$$

VERIFICACIÓN DEL APOYO DE LA SOLERA SOBRE EL PUNTAL

fc = 9.87 kgf/cm² **OK**

$$f_c = \frac{Q}{b \times h}$$

03 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 02

SEPARACIÓN ENTRE SOLERAS

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
P1 = 2.22 kgf/cm

P₁ = P × (Ancho Tributario)
 Carga o peso de la losa por metro lineal sobre la tabla.

SECCIÓN DE LA TABLA O TABLÓN

ESPECIE	TORNILLO
GRUPO	C
ANCHO	20.30 cm
ALTURA	2.90 cm

MOMENTO DE INERCIA

I = 41.26 cm⁴

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE SECCIÓN DE LA TABLA

S = 28.45 cm³

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1 : 10 Para vigas continuas

L1 = 113.22 cm

L1 = 113.00 cm

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2 : 128 Para vigas continuas

Deflexión : 2.00 mm 0.20 cm

L2 = 71.52 cm

L2 = 72.00 cm

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3 : 0.60 Para vigas continuas

L1 = 113.00 cm

fv1 = 3.83 kgf/cm²

L2 = 72.00 cm

fv2 = 2.44 kgf/cm²

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_1 \times L}{A}$$

OK

OK

Asumimos :

$$L = 70.00 \text{ cm}$$

SEPARACIÓN ENTRE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

L1: Medida anterior

$$\begin{aligned} P \text{ TOTAL} &= 554.97 \text{ kgf/m}^2 \\ P_2 &= 3.88 \text{ kgf/cm} \end{aligned}$$

$$P_2 = P \times L_1$$

Carga o peso por metro lineal sobre sobre la solera

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	EUCALIPTO
GRUPO	C
ANCHO	4.83 cm
ALTURA	10.74 cm

MOMENTO DE INERCIA

$$I = 498.63 \text{ cm}^4$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE LA SECCIÓN DE LA TABLA

$$S = 92.85 \text{ cm}^3$$

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1 : 10 Para vigas continuas

$$L_1 = 154.60 \text{ cm}$$

$$L_1 = 155.00 \text{ cm}$$

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2 : 128 Para vigas continuas

Deflexión : 2.00 mm 0.20 cm

$$L_2 = 115.95 \text{ cm}$$

$$L_2 = 116.00 \text{ cm}$$

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3 : 0.60 Para vigas continuas

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2 \times L}{A}$$

L1 = 155.00 cm	fv1 = 10.45 kgf/cm ²	CAMBIAR
L2 = 116.00 cm	fv2 = 7.82 kgf/cm ²	OK

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE DESPRECIANDO CARGAS EN APOYOS

K3 : 0.60	Para vigas continuas	$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2(L - 2 \times h)}{A}$
L1 = 155.00 cm	fv1 = 9.00 kgf/cm ²	
L2 = 116.00 cm	fv2 = 6.37 kgf/cm ²	OK

Asumimos :

L = 115.00 cm

VERIFICACIÓN DE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL =	554.97	kgf/m ²	
Q =	446.75	kgf	Carga o peso puntual sobre cada pie derecho o puntal

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	TORNILLO	ALTURA TOTAL =	250.15 cm
GRUPO	C	ALTURA CUÑA =	6.99 cm
ANCHO	0.00 cm	ALTURA EFECTIVA =	243.16 cm
ALTURA	0.00 cm	SOLERA:	ANCHO = 4.83 cm
DIÁMETRO	6.71 cm		ALTURA = 10.74 cm

VERIFICACIÓN POR CARGA CRÍTICA O ADMISIBLE

L/d = 36.24	COLUMNA LARGA
-------------	----------------------

Relación de esbeltez con el lado menor del puntal

Área = 35.36 cm ²	Área de la sección transversal
-------------------------------------	--------------------------------

Q adm = 405.80 kgf	CAMBIAR
---------------------------	----------------

$$Q_{adm} = \frac{0.274 \times E \times A}{(L/d)^2}$$

VERIFICACIÓN DEL APOYO DE LA SOLERA SOBRE EL PUNTAL

fc = 13.78 kgf/cm ²	OK
---------------------------------------	-----------

$$f_c = \frac{Q}{b \times h}$$

04 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 03

SEPARACIÓN ENTRE SOLERAS

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
P1 = 2.22 kgf/cm

P₁ = P × (Ancho Tributario)
 Carga o peso de la losa por metro lineal sobre la tabla.

SECCIÓN DE LA TABLA O TABLÓN

ESPECIE	TORNILLO
GRUPO	C
ANCHO	22.32 cm
ALTURA	2.40 cm

MOMENTO DE INERCIA

I = 25.71 cm⁴

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE SECCIÓN DE LA TABLA

S = 21.43 cm³

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1: 10 Para vigas continuas

L1 = 98.25 cm

L1 = 98.00 cm

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2: 128 Para vigas continuas

Deflexión: 2.00 mm 0.20 cm

L2 = 63.55 cm

L2 = 64.00 cm

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3: 0.60 Para vigas continuas

L1 = 98.00 cm

fv1 = 3.66 kgf/cm²

L2 = 64.00 cm

fv2 = 2.39 kgf/cm²

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_1 \times L}{A}$$

OK
OK

Asumimos :

$$L = 65.00 \text{ cm}$$

SEPARACIÓN ENTRE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

L1: Medida anterior

$$\begin{aligned} P \text{ TOTAL} &= 554.97 && \text{kgf/m}^2 \\ P_2 &= 3.61 && \text{kgf/cm} \end{aligned}$$

$$P_2 = P \times L_1$$

Carga o peso por metro lineal sobre sobre la solera

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	EUCALIPTO
GRUPO	C
ANCHO	5.03 cm
ALTURA	10.40 cm

MOMENTO DE INERCIA

$$I = 471.51 \text{ cm}^4$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE LA SECCIÓN DE LA TABLA

$$S = 90.67 \text{ cm}^3$$

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1: 10 Para vigas continuas

$$L_1 = 158.54 \text{ cm}$$

$$L_1 = 159.00 \text{ cm}$$

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2: 128 Para vigas continuas

Deflexión: 2.00 mm 0.20 cm

$$L_2 = 116.47 \text{ cm}$$

$$L_2 = 117.00 \text{ cm}$$

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3: 0.60 Para vigas continuas

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2 \times L}{A}$$

L1 = 159.00 cm	fv1 = 9.87 kgf/cm ²	CAMBIAR
L2 = 117.00 cm	fv2 = 7.26 kgf/cm ²	OK

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE DESPRECIANDO CARGAS EN APOYOS

K3 : 0.60	Para vigas continuas	$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2(L - 2 \times h)}{A}$
L1 = 159.00 cm	fv1 = 8.58 kgf/cm ²	CAMBIAR
L2 = 117.00 cm	fv2 = 5.97 kgf/cm ²	OK

Asumimos :

L = 115.00 cm

VERIFICACIÓN DE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL =	554.97	kgf/m ²
Q =	414.84	kgf

Carga o peso puntual sobre cada pie derecho o puntal

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	TORNILLO
GRUPO	C
ANCHO	0.00 cm
ALTURA	0.00 cm
DIÁMETR	6.22 cm
O	

ALTURA TOTAL =	322.73 cm
ALTURA CUÑA =	39.77 cm
ALTURA EFECTIVA =	282.96 cm

SOLERA:	ANCHO = 5.03 cm
	ALTURA = 10.40 cm

VERIFICACIÓN POR CARGA CRÍTICA O ADMISIBLE

L/d = 45.49 **COLUMNA LARGA**

Relación de esbeltez con el lado menor del puntal

Área = 30.39 cm² Área de la sección transversal

Q adm = 221.27 kgf **CAMBIAR**

$$Q_{adm} = \frac{0.274 \times E \times A}{(L/d)^2}$$

VERIFICACIÓN DEL APOYO DE LA SOLERA SOBRE EL PUNTAL

13.26
fc = kgf/cm² **OK**

$$f_c = \frac{Q}{b \times h}$$

05 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 04

SEPARACIÓN ENTRE SOLERAS

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
P1 = 2.22 kgf/cm

P₁ = P × (Ancho Tributario)
 Carga o peso de la losa por metro lineal sobre la tabla.

SECCIÓN DE LA TABLA O TABLÓN

ESPECIE	TORNILLO
GRUPO	C
ANCHO	21.30 cm
ALTURA	2.47 cm

MOMENTO DE INERCIA

I = 26.75 cm⁴

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE SECCIÓN DE LA TABLA

S = 21.66 cm³

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1 : 10 Para vigas continuas

L1 = 98.77 cm

L1 = 99.00 cm

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2 : 128 Para vigas continuas

Deflexión : 2.00 mm 0.20 cm

L2 = 64.18 cm

L2 = 65.00 cm

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3 : 0.60 Para vigas continuas

L1 = 99.00 cm

fv1 = 3.76 kgf/cm²

L2 = 65.00 cm

fv2 = 2.47 kgf/cm²

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_1 \times L}{A}$$

OK

OK

Asumimos :

L = 65.00 cm

SEPARACIÓN ENTRE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
P2 = 3.61 kgf/cm

L1: Medida anterior

P₂ = P × L₁
 Carga o peso por metro lineal sobre sobre la solera.

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	EUCALIPTO
GRUPO	C
ANCHO	6.12 cm
ALTURA	9.96 cm

MOMENTO DE INERCIA

I = 503.90 cm⁴

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE LA SECCIÓN DE LA TABLA

S = 101.19 cm³

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1: 10 Para vigas continuas

L1 = 167.48 cm

L1 = 168.00 cm

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2: 128 Para vigas continua

Deflexión: 2.00 mm 0.20 cm

L2 = 118.42 cm

L2 = 119.00 cm

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3: 0.60 Para vigas continuas

L1 = 168.00 cm

fv1 = 8.95 kgf/cm²

L2 = 119.00 cm

fv2 = 6.34 kgf/cm²

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2 \times L}{A}$$

CAMBIAR

OK

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE DESPRECIANDO CARGAS EN APOYOS

$K_3 = 0.60$ Para vigas continuas

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2(L - 2 \times h)}{A}$$

L1 = 168.00 cm $f_{v1} = 7.89 \text{ kgf/cm}^2$ OK
 L2 = 119.00 cm $f_{v2} = 5.28 \text{ kgf/cm}^2$ OK

Asumimos :

$L = 115.00 \text{ cm}$

VERIFICACIÓN DE PUNTALES**CARGAS GRAVITACIONALES**

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
Q = 414.84 kgf Carga o peso puntual sobre cada pie derecho o puntal

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	TORNILLO	ALTURA TOTAL =	265.62 cm
GRUPO	C	ALTURA CUÑA =	22.58 cm
ANCHO	0.00 cm	ALTURA EFECTIVA =	243.04 cm
ALTURA	0.00 cm	SOLERA:	ANCHO = 6.12 cm
DIÁMETRO	6.21 cm		ALTURA = 9.96 cm

VERIFICACIÓN POR CARGA CRÍTICA O ADMISIBLE

$L/d = 39.14$ **COLUMNA LARGA**

Relación de esbeltez con el lado menor del puntal

Área = 30.29 cm² Área de la sección transversal

$Q_{adm} = 298.00 \text{ kgf}$ **CAMBIAR**

$$Q_{adm} = \frac{0.274 \times E \times A}{(L/d)^2}$$

VERIFICACIÓN DEL APOYO DE LA SOLERA SOBRE EL PUNTAL

$f_c = 10.92 \text{ kgf/cm}^2$ **OK**

$$f_c = \frac{Q}{b \times h}$$

06 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 05

SEPARACIÓN ENTRE SOLERAS

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
P1 = 2.22 kgf/cm

P₁ = P × (Ancho Tributario)
 Carga o peso de la losa por metro lineal sobre la tabla.

SECCIÓN DE LA TABLA O TABLÓN

ESPECIE	TORNILLO
GRUPO	C
ANCHO	19.85 cm
ALTURA	2.53 cm

MOMENTO DE INERCIA

I = 26.79 cm⁴

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE SECCIÓN DE LA TABLA

S = 21.18 cm³

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1: 10 Para vigas continuas

L1 = 97.67 cm

L1 = 98.00 cm

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2: 128 Para vigas continuas

Deflexión: 2.00 mm 0.20 cm

L2 = 64.20 cm

L2 = 65.00 cm

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3: 0.60 Para vigas continuas

L1 = 98.00 cm

fv1 = 3.90 kgf/cm²

L2 = 65.00 cm

fv2 = 2.59 kgf/cm²

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_1 \times L}{A}$$

OK
OK

Asumimos :

L = 65.00 cm

SEPARACIÓN ENTRE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

L1: Medida anterior

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
P2 = 3.61 kgf/cm

P₂ = P × L₁
 Carga o peso por metro lineal sobre sobre la solera.

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	EUCALIPTO
GRUPO	C
ANCHO	5.52 cm
ALTURA	12.28 cm

MOMENTO DE INERCIA

I = 851.83 cm⁴

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE LA SECCIÓN DE LA TABLA

S = 138.73 cm³

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1: 10 Para vigas continuas

L1 = 196.11 cm

L1 = 197.00 cm

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2: 128 Para vigas continuas

Deflexión: 2.00 mm 0.20 cm

L2 = 135.03 cm

L2 = 136.00 cm

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3: 0.60 Para vigas continuas

L1 = 197.00 cm

fv1 = 9.44 kgf/cm²

L2 = 136.00 cm

fv2 = 6.51 kgf/cm²

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2 \times L}{A}$$

CAMBIAR

OK

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE DESPRECIANDO CARGAS EN APOYOS

K3 : 0.60 Para vigas continuas

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2(L - 2 \times h)}{A}$$

L1 = 197.00 cm fv1 = 8.26 kgf/cm² **CAMBIAR**

L2 = 136.00 cm fv2 = 5.34 kgf/cm² **OK**

Asumimos :

L = 135.00 cm

VERIFICACIÓN DE PUNTALES**CARGAS GRAVITACIONALES**

P TOTAL = 554.97 kgf/m²

Q = 486.99 kgf Carga o peso puntual sobre cada pie derecho o puntal

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	TORNILLO	ALTURA TOTAL =	254.12 cm
GRUPO	C	ALTURA CUÑA =	4.83 cm
ANCHO	0.00 cm	ALTURA EFECTIVA =	249.29 cm
ALTURA	0.00 cm	SOLERA:	ANCHO = 5.52 cm
DIÁMETRO	7.27 cm		ALTURA = 12.28 cm

VERIFICACIÓN POR CARGA CRÍTICA O ADMISIBLE

L/d = 34.29 **COLUMNA LARGA**

Relación de esbeltez con el lado menor del puntal

Área = 41.51 cm² Área de la sección transversal

Q adm = 532.02 kgf **OK**

$$Q_{adm} = \frac{0.274 \times E \times A}{(L/d)^2}$$

VERIFICACIÓN DEL APOYO DE LA SOLERA SOBRE EL PUNTAL

fc = 12.14 kgf/cm² **OK**

$$f_c = \frac{Q}{b \times h}$$

07 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 06

SEPARACIÓN ENTRE SOLERAS

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
P1 = 2.22 kgf/cm

P₁ = P × (Ancho Tributario)
 Carga o peso de la losa por metro lineal sobre la tabla.

SECCIÓN DE LA TABLA O TABLÓN

ESPECIE	TORNILLO
GRUPO	C
ANCHO	20.07 cm
ALTURA	2.45 cm

MOMENTO DE INERCIA

I = 24.60 cm⁴

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE SECCIÓN DE LA TABLA

S = 20.08 cm³

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1: 10 Para vigas continuas

L1 = 95.10 cm

L1 = 95.00 cm

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2: 128 Para vigas continuas

Deflexión: 2.00 mm 0.20 cm

L2 = 62.85 cm

L2 = 63.00 cm

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3: 0.60 Para vigas continuas

L1 = 95.00 cm

fv1 = 3.86 kgf/cm²

L2 = 63.00 cm

fv2 = 2.56 kgf/cm²

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_1 \times L}{A}$$

OK

OK

Asumimos :

$$L = 65.00 \text{ cm}$$

SEPARACIÓN ENTRE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

L1: Medida anterior

$$\begin{aligned} P \text{ TOTAL} &= 554.97 \text{ kgf/m}^2 \\ P_2 &= 3.61 \text{ kgf/cm} \end{aligned}$$

$$P_2 = P \times L_1$$

Carga o peso por metro lineal sobre sobre la solera

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	EUCALIPTO
GRUPO	C
ANCHO	6.45 cm
ALTURA	8.69 cm

MOMENTO DE INERCIA

$$I = 352.73 \text{ cm}^4$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE LA SECCIÓN DE LA TABLA

$$S = 81.18 \text{ cm}^3$$

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1 : 10 Para vigas continuas

$$L_1 = 150.01 \text{ cm}$$

$$L_1 = 151.00 \text{ cm}$$

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2 : 128 Para vigas continuas

Deflexión : 2.00 mm 0.20 cm

$$L_2 = 108.32 \text{ cm}$$

$$L_2 = 109.00 \text{ cm}$$

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3 : 0.60 Para vigas continuas

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2 \times L}{A}$$

L1 = 151.00 cm	fv1 = 8.75 kgf/cm ²	CAMBIAR
L2 = 109.00 cm	fv2 = 6.31 kgf/cm ²	OK

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE DESPRECIANDO CARGAS EN APOYOS

K3 : 0.60	Para vigas continuas	$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2(L - 2 \times h)}{A}$
L1 = 151.00 cm	fv1 = 7.74 kgf/cm ²	OK
L2 = 109.00 cm	fv2 = 5.31 kgf/cm ²	OK

Asumimos :

L = 110.00 cm

VERIFICACIÓN DE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL =	554.97	kgf/m ²	
Q =	396.80	kgf	Carga o peso puntual sobre cada pie derecho o puntal

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	TORNILLO	ALTURA TOTAL =	270.14 cm
GRUPO	C	ALTURA CUÑA =	1.05 cm
ANCHO	0.00 cm	ALTURA EFECTIVA =	269.09 cm
ALTURA	0.00 cm	SOLERA:	ANCHO = 6.45 cm
DIÁMETRO	6.77 cm		ALTURA = 8.69 cm

VERIFICACIÓN POR CARGA CRÍTICA O ADMISIBLE

L/d = 39.75 **COLUMNA LARGA**

Relación de esbeltez con el lado menor del puntal

Área = 36.00 cm² Área de la sección transversal

Q adm = 343.37 kgf **CAMBIAR**

$$Q_{adm} = \frac{0.274 \times E \times A}{(L/d)^2}$$

VERIFICACIÓN DEL APOYO DE LA SOLERA SOBRE EL PUNTAL

fc = 9.09 kgf/cm² **OK**

$$f_c = \frac{Q}{b \times h}$$

08 CÁLCULOS PARA LA VIVIENDA N° 07

SEPARACIÓN ENTRE SOLERAS

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL = 554.97 kgf/m²
P1 = 2.22 kgf/cm

P₁ = P × (Ancho Tributario)
 Carga o peso de la losa por metro lineal sobre la tabla.

SECCIÓN DE LA TABLA O TABLÓN

ESPECIE	TORNILLO
GRUPO	C
ANCHO	19.63 cm
ALTURA	2.25 cm

MOMENTO DE INERCIA

I = 18.63 cm⁴

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE SECCIÓN DE LA TABLA

S = 16.56 cm³

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

K1 : 10 Para vigas continuas

L1 = 86.38 cm

L1 = 86.00 cm

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

K2 : 128 Para vigas continuas

Deflexión : 2.00 mm 0.20 cm

L2 = 58.63 cm

L2 = 59.00 cm

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_1}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

K3 : 0.60 Para vigas continuas

L1 = 86.00 cm

fv1 = 3.89 kgf/cm²

L2 = 59.00 cm

fv2 = 2.67 kgf/cm²

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_1 \times L}{A}$$

OK
OK

Asumimos :

$$L = 60.00 \text{ cm}$$

SEPARACIÓN ENTRE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

L1: Medida anterior

$$\begin{aligned} P \text{ TOTAL} &= 554.97 && \text{kgf/m}^2 \\ P_2 &= 3.33 && \text{kgf/cm} \end{aligned}$$

$$P_2 = P \times L_1$$

Carga o peso por metro lineal sobre sobre la solera.

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	EUCALIPTO
GRUPO	C
ANCHO	6.52 cm
ALTURA	10.28 cm

MOMENTO DE INERCIA

$$I = 590.26 \text{ cm}^4$$

$$I = \frac{1}{12} \times b \times h^3$$

MÓDULO DE LA SECCIÓN DE LA TABLA

$$S = 114.84 \text{ cm}^3$$

$$S = \frac{1}{6} \times b \times h^2$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO A FLEXIÓN

$$K_1 = 10 \quad \text{Para vigas continuas}$$

$$L_1 = 185.71 \text{ cm}$$

$$L_1 = 186.00 \text{ cm}$$

$$L_1 = \sqrt{\frac{K_1 \times f_m \times S}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR FLECHA O DEFLEXIÓN

$$K_2 = 128 \quad \text{Para vigas continuas}$$

$$\text{Deflexión} : 2.00 \text{ mm} \quad 0.20 \text{ cm}$$

$$L_2 = 125.69 \text{ cm}$$

$$L_2 = 126.00 \text{ cm}$$

$$L_2 = \sqrt[4]{\frac{K_2 \times \delta \times E \times I}{P_2}}$$

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE

$$K_3 = 0.60 \quad \text{Para vigas continuas}$$

$$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2 \times L}{A}$$

L1 = 186.00 cm	fv1 = 8.32 kgf/cm ²	CAMBIAR
L2 = 126.00 cm	fv2 = 5.63 kgf/cm ²	OK

VERIFICACIÓN POR ESFUERZO CORTANTE DESPRECIANDO CARGAS EN APOYOS

K3 : 0.60	Para vigas continuas	$f_v = \frac{3}{2} \times \frac{K_3 \times P_2(L - 2 \times h)}{A}$
L1 = 186.00 cm	fv1 = 7.40 kgf/cm ²	OK
L2 = 126.00 cm	fv2 = 4.71 kgf/cm ²	OK

Asumimos :

L = 125.00 cm

VERIFICACIÓN DE PUNTALES

CARGAS GRAVITACIONALES

P TOTAL =	554.97	kgf/m ²	
Q =	416.23	kgf	Carga o peso puntual sobre cada pie derecho o puntal

SECCIÓN DE LA SOLERA

ESPECIE	TORNILLO	ALTURA TOTAL =	261.49 cm
GRUPO	C	ALTURA CUÑA =	29.36 cm
ANCHO	0.00 cm	ALTURA EFECTIVA =	232.13 cm
ALTURA	0.00 cm	SOLERA: ANCHO =	6.52 cm
DIÁMETRO	6.92 cm	ALTURA =	10.28 cm

VERIFICACIÓN POR CARGA CRÍTICA O ADMISIBLE

L/d = 33.54 **COLUMNA LARGA**

Relación de esbeltez con el lado menor del puntal

Área = 37.61 cm² Área de la sección transversal

Q adm = 503.69 kgf **OK**

$$Q_{adm} = \frac{0.274 \times E \times A}{(L/d)^2}$$

VERIFICACIÓN DEL APOYO DE LA SOLERA SOBRE EL PUNTAL

fc = 9.23 kgf/cm² **OK**

$$f_c = \frac{Q}{b \times h}$$