

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
CHOTA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y EFICIENCIA DE LOS
ENCOFRADOS DE MADERA Y ENCOFRADOS DE FENÓLICO
PARA COLUMNAS Y VIGAS DE VIVIENDAS, CHOTA, 2023**

Presentado por:

NILVER TIRADO FERNANDEZ

LUIS FERNANDO MEJÍA GAVIDIA

Asesor: Dr. Ing. ELMER NATIVIDAD CHÁVEZ VÁSQUEZ

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y
PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Chota – Perú

2025



Colpa Matara, 22 de octubre del 2025.

C.O. N° 31-2025-UI-EPIC

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis titulado: **“COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y EFICIENCIA DE LOS ENCOFRADOS DE MADERA Y ENCOFRADOS DE FENÓLICO PARA COLUMNAS Y VIGAS DE VIVIENDAS, CHOTA, 2023”**, elaborado por los bachilleres en ingeniería civil: **NILVER TIRADO FERNÁNDEZ y LUIS FERNANDO MEJÍA GAVIDIA**, para optar el Título Profesional de ingeniero civil, presenta un índice de similitud de 6% excluyendo texto citado, bibliografía y fuentes que tengan coincidencias de menos de 10 palabras; por lo tanto, cumple con los criterios de evaluación de originalidad establecidos en el acápite g) del artículo 20 del Reglamento de Grados y Títulos UNACH, aprobado mediante la Resolución C.O. N° 120-2022-UNACH con fecha de 03 de marzo de 2022.




Se expide la presente, en conformidad a la directiva antes mencionada, para los fines que estime pertinentes.

Miguel Ángel SILVA TARRILLO
INGENIERO CIVIL

Ing. Miguel Ángel Silva Tarrillo
Jefe de la unidad de investigación
FCI-UNACH

NILVER TIRADO FERNÁNDEZ LUIS FERNANDO ME...

COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y EFICIENCIA DE LOS ENCOFRADOS DE MADERA Y ENCOFRADOS DE FENÓLICO PA...

-  Informe Final de Tesis
-  UNIDAD DE INVESTIGACION FIC 2025-1
-  Universidad Nacional Autónoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3382374638

Fecha de entrega

22 oct 2025, 9:17 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

22 oct 2025, 10:56 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

INFORME_FINAL_DE_TESIS_1.docx

Tamaño del archivo

10.1 MB

163 páginas

38.515 palabras

197.785 caracteres




6% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 5% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 2% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	2%
2	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
3	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%
4	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
5	Internet	unach.edu.pe	<1%
6	Internet	idoc.pub	<1%
7	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
8	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
9	Internet	hdl.handle.net	<1%
10	Internet	www.coursehero.com	<1%
11	Internet	studylib.es	<1%

12	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
13	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	<1%
14	Internet	sodimac.falabella.com.pe	<1%
15	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
16	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
17	Internet	dspace.esoch.edu.ec	<1%
18	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
19	Internet	repositorio.unh.edu.pe	<1%
20	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional San Agustin	<1%
21	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
22	Internet	cybertesis.uni.edu.pe	<1%
23	Internet	nanopdf.com	<1%
24	Trabajos del estudiante	Universidad TecMilenio	<1%
25	Internet	zagan.unizar.es	<1%

26	Trabajos del estudiante	Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador	<1%
27	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
28	Internet	repositorio.unphu.edu.do	<1%
29	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
30	Internet	apirepositorio.unu.edu.pe	<1%
31	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	<1%
32	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
33	Internet	repositorio.unan.edu.ni	<1%
34	Internet	repositorio.unu.edu.pe	<1%
35	Internet	www.unach.edu.pe	<1%
36	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Educacion Enrique Guzman y Valle	<1%
37	Internet	distancia.udh.edu.pe	<1%
38	Trabajos del estudiante	Universidad Internacional de la Rioja	<1%
39	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo	<1%

40	Internet	repositorio.unamba.edu.pe	<1%
41	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
42	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
43	Internet	repositorioinstitucional.ufpso.edu.co	<1%
44	Trabajos del estudiante	upb	<1%
45	Internet	upc.aws.openrepository.com	<1%
46	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca	<1%
47	Internet	issuu.com	<1%
48	Internet	revistainvecom.org	<1%
49	Internet	tesis.udea.edu.co	<1%
50	Internet	www.dspace.espol.edu.ec	<1%



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

Ley de Creación N° 29531

LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 160-2018-SUNEDU/CD

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 11:00 a.m. del día 06 de noviembre 2025, reunidos en la sala de docentes de la EPIC, los miembros del jurado de tesis que suscriben, para escuchar y evaluar la sustentación de tesis presentado por los bachilleres: **Nilver Tirado Fernandez Y Luis Fernando Mejía Gavidia**, denominada: **“COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y EFICIENCIA DE LOS ENCOFRADOS DE MADERA Y ENCOFRADOS DE FENÓLICO PARA COLUMNAS Y VIGAS DE VIVIENDAS, CHOTA, 2023”**; escuchada la sustentación, y absueltas las preguntas a las observaciones formuladas, la declaramos:

13 (TRECE)

CON EL CALIFICATIVO (*)

APROBADO

En consecuencia, se les declara **EXPEDITOS** para conferirle el Título de Ingeniero civil, elevando la presente acta al coordinador de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería a fin de que se emita el acto resolutivo, en conformidad con la ley universitaria y el estatuto de la Universidad.

Chota, 06 de noviembre 2025.

Dra. Carmen Rosa Cárdenas Rosales
PRESIDENTE

M.Sc. Carlos Tapia Cabrera
SECRETARIO

Dra. Claudia Emilia Benavidez Núñez
VOCAL

Dr. Elmer Natividad Chávez Vásquez
ASESOR

(*) De acuerdo al reglamento específico del proyecto y tesis de investigación de la EPIC, aprobada con Resolución de coordinación N° 141-2020, Artículo 21, cuya calificación es: (20 Summa Cum Laude); (18-19: Aprobado con excelencia); (15-17: Aprobado con mención honrosa); (12-14: Aprobado); (0-11: Desaprobado).

**COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO Y EFICIENCIA
DE LOS ENCOFRADOS DE MADERA Y ENCOFRADOS
DE FENÓLICO PARA COLUMNAS Y VIGAS DE
VIVIENDAS, CHOTA, 2023**

POR:

NILVER TIRADO FERNANDEZ

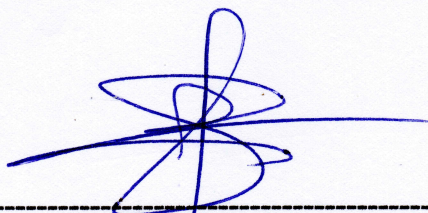
LUIS FERNANDO MEJÍA GAVIDIA

**Presentada a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la
Universidad Nacional Autónoma de Chota para optar el título**

de

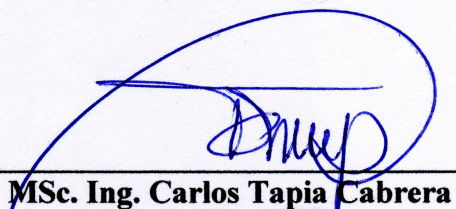
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR



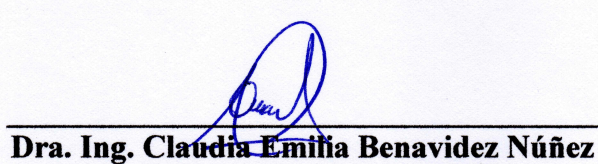
Dra. Ing. Carmen Rosa Cárdenas Rosales

PRESIDENTE



MSc. Ing. Carlos Tapia Cabrera

SECRETARIO



Dra. Ing. Claudia Emilia Benavidez Núñez

VOCAL

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación, en primer lugar, a Dios, por darme la vida, la salud y la fortaleza necesaria para culminar esta meta. A mi familia, por su amor incondicional, su paciencia y sus palabras de aliento en cada momento de dificultad. A mis amigos, quienes con su apoyo y compañía hicieron más llevadero este camino.

Nílver Tirado Fernandez

Dedico esta tesis a Dios, por guiar mis pasos y brindarme sabiduría en cada decisión. A mi familia, por ser mi inspiración constante, su apoyo inquebrantable y su ejemplo de esfuerzo y perseverancia. A mis amigos, por su respaldo, ánimo y por compartir conmigo cada etapa de esta experiencia académica.

Luis Fernando Mejía Gavidia

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a Dios, por permitirnos concluir con éxito este trabajo de investigación y por brindarnos las fuerzas para superar cada reto. Expresamos nuestro profundo reconocimiento a nuestro asesor, Dr. Ing. Elmer Natividad Chávez Vásquez, por su orientación, paciencia y valiosas observaciones que enriquecieron el desarrollo de esta tesis. Agradecemos también a los propietarios de las viviendas que formaron parte del estudio, por permitirnos realizar las evaluaciones necesarias, así como a los maestros de obra, operarios y peones, quienes colaboraron de manera directa en la recolección de datos y ejecución de las actividades de campo. A todos ustedes, nuestro más sincero agradecimiento por haber hecho posible la culminación de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

SIGLAS Y ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Planteamiento del problema.....	16
1.2. Formulación del problema	18
1.2.1. Problema general	18
1.2.2. Problemas específicos.....	18
1.3. Justificación	19
1.4. Objetivos	20
1.4.1. Objetivo general.....	20
1.4.2. Objetivos específicos	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes	21
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales	24
2.1.3. Antecedentes regionales	26
2.2. Bases teórico – científicas	27
2.2.1. Efecto del contacto del concreto con el encofrado	27
2.3. Marco conceptual.....	29
2.3.1. Encofrado.....	29
2.3.2. Sistemas de encofrados utilizados en construcción	29
2.3.3. Encofrado para columnas y vigas	31
2.3.4. Desencofrado	32
2.3.5. Rendimiento del encofrado	33
2.3.6. Eficiencia del encofrado	36
2.4. Hipótesis.....	37
2.4.1. Hipótesis general	37

2.4.2. Hipótesis específicas.....	38
2.5. Operacionalización de variables	38
2.5.1. Variable independiente: Encofrados	38
2.5.2. Variable dependiente: Rendimiento en la construcción de estructuras armadas	39
2.5.3. Variable dependiente: Eficiencia en la construcción de estructuras armadas	39
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	41
3.1. Tipo y nivel de investigación	41
3.2. Diseño de investigación	42
3.3. Métodos de investigación.....	42
3.4. Población, muestra y muestreo	44
3.4.1. Población	44
3.4.2. Muestreo	44
3.4.3. Muestra	45
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	46
3.5.1. Técnicas de recolección de datos.....	46
3.5.2. Instrumentos para la recolección de datos	47
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	49
3.6.1. Proceso de obtención de la información.....	49
3.6.2. Procesamiento de datos.....	79
3.6.3. Análisis de datos	79
3.7. Aspectos éticos	79
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	80
4.1. Descripción de resultados.....	80
4.1.1. Rendimiento del encofrado de madera y encofrado de fenólico en columnas y vigas de viviendas.....	80
4.1.2. Consumo de materiales empleados en ambos tipos de encofrado durante el proceso constructivo de columnas y vigas	99
4.1.3. Costos asociados al uso de encofrados de madera y fenólico en la ejecución de columnas y vigas de viviendas	112

4.1.4. Tiempo de ejecución y desmontaje de los encofrados de madera y fenólico utilizados en columnas y vigas de viviendas	121
4.1.5. Calidad del acabado superficial de columnas y vigas encofradas con madera y fenólico en viviendas	131
4.2. Contrastación de hipótesis.....	137
4.2.1. Hipótesis general	137
4.2.2. Criterio de análisis inferencial	137
4.2.3. Prueba de normalidad de datos	137
4.2.4. Análisis inferencial	139
4.2.5. Análisis descriptivo	143
4.2.6. Integración del análisis inferencial y descriptivo	143
4.3. Discusión de resultados.....	145
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	153
5.1. Conclusiones	153
5.2. Recomendaciones y/o sugerencias	155
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS	157
CAPÍTULO VII. ANEXOS	166
Anexo A. Matriz de consistencia.....	166
Anexo B. Panel fotográfico	167
Anexo C. Documentación.....	174
Anexo D. Datos recolectados en las viviendas.....	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rendimiento de la Mano de Obra en Actividades de Encofrado y Desencofrado de Columnas y Vigas de Acuerdo a CAPECO (2006).....	34
Tabla 2 Matriz de Operacionalización de Variables	40
Tabla 3 Tipo de Investigación Según los Principales Criterios.....	41
Tabla 4 Criterios de Inclusión y Exclusión	44
Tabla 5 Fuentes, Técnicas e Instrumentos para la Recolección Datos	48
Tabla 6 Ubicación de las Viviendas en las que se Realizó Labores de Encofrado en Columnas y Vigas con Madera Natural o Madera Artificial (Fenólico) en la Ciudad de Chota.....	52
Tabla 7 Datos Geométricos de las Viviendas en las que se Realizó el Encofrado de Columnas y Vigas en la Ciudad de Chota	54
Tabla 8 Check List Utilizado para la Verificación de la Calidad del Acabado Superficial	76
Tabla 9 Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas y Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota	80
Tabla 10 Rendimiento del Desencofrado de Madera y Fenólico en Columnas y Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota	81
Tabla 11 Rendimiento del Encofrado y Desencofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota	82
Tabla 12 Rendimiento del Encofrado y Desencofrado de Madera y Fenólico en Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota	82
Tabla 13 Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota	83
Tabla 14 Porcentaje de Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota	83
Tabla 15 Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota, de Acuerdo al Número de Piso	84
Tabla 16 Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota, de Acuerdo a la Vivienda	85
Tabla 17 Rendimiento del Encofrado de Fenólico en Columnas de Viviendas, Chota.....	86
Tabla 18 Rendimiento del Encofrado de Madera en Columnas de Viviendas, Chota	87
Tabla 19 Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota	88
Tabla 20 Porcentaje de Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota	88

Tabla 21 Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota, de Acuerdo al Número de Piso	89
Tabla 22 Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota, de Acuerdo a la Vivienda	90
Tabla 23 Rendimiento del Encofrado de Fenólico en Vigas de Viviendas, Chota.....	91
Tabla 24 Rendimiento del Encofrado de Madera en Vigas de Viviendas, Chota	92
Tabla 25 Rendimiento del Desencofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota.....	93
Tabla 26 Porcentaje de Rendimiento del Desencofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota	93
Tabla 27 Rendimiento del Desencofrado de Fenólico en Columnas de Viviendas, Chota	94
Tabla 28 Rendimiento del Desencofrado de Madera en Columnas de Viviendas, Chota.....	95
Tabla 29 Rendimiento del Desencofrado de Madera y Fenólico en Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota.....	96
Tabla 30 Porcentaje de Rendimiento del Desencofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota	96
Tabla 31 Rendimiento del Desencofrado de Fenólico en Vigas de Viviendas, Chota.....	97
Tabla 32 Rendimiento del Desencofrado de Madera en Vigas de Viviendas, Chota.....	98
Tabla 33 Comparación del Aporte Unitario de Materiales para Encofrado con Madera y con Fenólico de Columnas y Vigas en Viviendas, Chota	99
Tabla 34 Materiales Utilizados en el Encofrado de Columnas en Viviendas, Chota.....	101
Tabla 35 Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Columnas en Viviendas, Chota.	102
Tabla 36 Comparación del Aporte Unitario de Materiales para Encofrado con Madera y con Fenólico de Columnas en Viviendas, Chota	102
Tabla 37 Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Columnas Utilizando Madera Natural en Viviendas, Chota	103
Tabla 38 Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Columnas Utilizando Madera Artificial (Fenólico) en Viviendas, Chota.....	105
Tabla 39 Materiales Utilizados en el Encofrado de Vigas en Viviendas, Chota.....	107
Tabla 40 Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Vigas en Viviendas, Chota.....	108
Tabla 41 Comparación del Aporte Unitario de Materiales para Encofrado con Madera y con Fenólico de Vigas en Viviendas, Chota	108
Tabla 42 Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Vigas Utilizando Madera Natural en Viviendas, Chota.....	109
Tabla 43 Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Vigas Utilizando Madera Artificial (Fenólico) en Viviendas, Chota.....	111

Tabla 44 Costos Asociados al Uso de Encofrado de Madera y Fenólico para Columnas y Vigas de Viviendas.....	113
Tabla 45 Comparación de Costos Locales con Precios Oficiales de Mano de Obra.....	113
Tabla 46 Costos Utilizados en el Análisis de Costos Unitarios del Encofrado de Columnas y Vigas con Madera Natural o Artificial (Fenólico)	114
Tabla 47 Costos Unitarios del Encofrado de Columnas y Vigas con Madera Natural o Artificial (Fenólico) en Viviendas de la Ciudad de Chota.....	114
Tabla 48 Costos Asociados al Encofrado de Columnas con Madera Natural o Artificial (Fenólico) en las Viviendas de la Ciudad de Chota.....	116
Tabla 49 Costos Asociados al Encofrado de Vigas con Madera Natural o Artificial (Fenólico) en las Viviendas de la Ciudad de Chota.....	119
Tabla 50 Tiempo de Ejecución y Desmontaje de los Encofrado de Madera Natural y Artificial (Fenólico) Utilizados en Columnas y Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota	122
Tabla 51 Tiempo de Ejecución del Encofrado de Columnas con Madera Natural en Viviendas de la Ciudad de Chota	124
Tabla 52 Tiempo de Ejecución del Encofrado de Columnas con Madera Artificial (Fenólico) en Viviendas de la Ciudad de Chota	125
Tabla 53 Tiempo de Ejecución del Desencofrado de Columnas con Madera Natural en Viviendas de la Ciudad de Chota	126
Tabla 54 Tiempo de Ejecución del Desencofrado de Columnas con Madera Artificial (Fenólico) en Viviendas de la Ciudad de Chota	127
Tabla 55 Tiempo de Ejecución del Encofrado de Vigas con Madera Natural	129
Tabla 56 Tiempo de Ejecución del Encofrado de Vigas con Madera Artificial (Fenólico)	129
Tabla 57 Tiempo de Desencofrado de Vigas con Madera Artificial (Fenólico)	130
Tabla 58 Tiempo de Desencofrado de Vigas con Madera Natural.....	130
Tabla 59 Calidad del Acabado Superficial de Columnas y Vigas Encofradas con Madera y Fenólico en Viviendas de la Ciudad de Chota	132
Tabla 60 Calidad del Acabado Superficial de Columnas Encofradas con Fenólico	134
Tabla 61 Calidad del Acabado Superficial de Columnas Encofradas con Madera Natural	134
Tabla 62 Calidad del Acabado Superficial de Vigas Encofradas con Fenólico	136
Tabla 63 Calidad del Acabado Superficial de Vigas Encofradas con Madera Natural	136
Tabla 64 Prueba de Normalidad de Datos.....	138
Tabla 65 Prueba Mann-Whitney para Rendimiento de la Mano de Obra en el Encofrado de Columnas y Vigas	139
Tabla 66 Prueba Mann-Whitney para Consumo de Madera en el Encofrado de Columnas y Vigas	140
Tabla 67 Prueba Mann-Whitney para Costo Unitario del Encofrado de Columnas y Vigas ..	140

Tabla 68 Prueba Mann-Whitney para Tiempo de Ejecución del Encofrado de Columnas y Vigas	141
Tabla 69 Prueba t-student de Dos Muestras para Tiempo del Desencofrado de Columnas y Vigas	142
Tabla 70 Prueba Mann-Whitney para la Calidad del Acabado Superficial de Columnas y Vigas Encofradas con Madera Natural o Artificial (Fenólico).....	142
Tabla 71 Comparación del Rendimiento y Eficiencia de los Encofrados de Madera y Encofrados de Fenólico para Columnas y Vigas de Viviendas en la Ciudad de Chota	144

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	La Piel de Concreto Afectada por el Contacto con el Encofrado:	27
Figura 2	Sistemas de Encofrado Utilizados en Construcción	30
Figura 3	Encofrado en Columnas y Vigas	32
Figura 4	Tiempos Usuales para Desencofrar Elementos Estructurales.....	33
Figura 5	Diseño de Investigación.....	43
Figura 6	Ubicación de las Viviendas que Han Formado parte del Estudio del Encofrado de Vigas y Columnas con Madera Natural y Artificial (Fenólico) en Chota	45
Figura 7	Flujograma del Proceso de Recolección de Datos en las Viviendas.....	50
Figura 8	Identificación de Viviendas en las que se Realice Labores de Encofrado.....	51
Figura 9	Tesista con el Maestro de Obra Luego de la Aplicación de Cuestionario Sobre Costos de Materiales, Mano de Obra, Equipos y/o Herramientas.....	55
Figura 10	Observación del Proceso de Encofrado de Vigas y Registro de Datos de Interés	57
Figura 11	Encofrado de Columnas con Madera.....	58
Figura 12	Encofrado de Columnas con Madera Artificial Fenólico	59
Figura 13	Encofrado de Vigas con Madera Natural.....	60
Figura 14	Encofrado de Vigas con Madera Artificial Fenólico	61
Figura 15	Determinación del Presupuesto en el Programa Presupuestos.pe.....	73
Figura 16	Tesistas Observando la Preparación para el Desencofrado en Columnas	75
Figura 17	Verificación de la Calidad del Acabado Superficial de las Columnas	78
Figura 18	Verificación de la Calidad del Acabado Superficial de las Vigas	78
Figura 19	Análisis de Costos Unitarios (S/. por m ²) para el Encofrado de Columnas con Madera Natural.....	117
Figura 20	Análisis de Costos Unitarios (S/. por m ²) para el Encofrado de Columnas con Madera Artificial (Fenólico)	117
Figura 21	Análisis de Costos Unitarios (S/. por m ²) para el Encofrado de Vigas con Madera Natural.....	120
Figura 22	Análisis de Costos Unitarios (S/. por m ²) para el Encofrado de Vigas con Madera Artificial (Fenólico)	120
Figura 23	Tiempo de Encofrado o Desencofrado de 1 m ² de Madera.....	121
Figura 24	Porcentaje de Tiempo que Disminuye o Aumenta el Proceso de Encofrado o Desencofrado al Utilizar Madera Natural o Artificial (Fenólico)	122
Figura 25	Puntuación de la Escala Likert del Acabado Superficial del Elemento Encofrado con Madera Natural o Artificial (Fenólico) en Viviendas de la Ciudad de Chota	132

SIGLAS Y ABREVIATURAS

APA	American Psychological Association
BIM	Building Information Modeling
BIM 4D	Building Information Modeling en cuarta dimensión (tiempo)
CAPECO	Cámara Peruana de la Construcción
gal	Galón
H.H.	Horas-hombre
IDR	Rupia indonesia (Indonesian Rupiah)
kg	Kilogramo
LPS	Last Planner System
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
MAFRESA	Maderas y Fibras Reconstituidas S.A.
min/m ²	Minutos por metro cuadrado
mm	Milímetro
M.O.	Mano de obra
MVCS	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
N.º	Número
Of	Oficial
Op	Operario
Pe	Peón
p ²	Pies cuadrados
PT	Perseroan Terbatas (Sociedad de Indonesia)
S/.	Sol (moneda de Perú)
TC	Trabajo contributivo
TNC	Trabajo no contributivo
TP	Trabajo productivo
UC	Unidad de control (usada en fórmulas de desencofrado)
UTM	Universal Transversal de Mercator
VI	Variable independiente
VD	Variable dependiente

RESUMEN

En la construcción de elementos estructurales de concreto armado, la elección del sistema de encofrado influye directamente en el tiempo, costo, consumo de materiales y calidad del acabado final. La investigación tuvo como objetivo comparar el rendimiento y la eficiencia de los encofrados de madera y fenólico en la construcción de columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota, 2023. El estudio fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicada y nivel descriptivo, con muestra conformada por 14 viviendas en construcción (7 con encofrado de madera y 7 con fenólico). En cada caso se evaluó el rendimiento de la mano de obra, el consumo de materiales, el costo unitario directo, el tiempo de montaje y desmontaje, y la calidad del acabado superficial. Los resultados evidenciaron que el encofrado de madera presentó mayor rendimiento de mano de obra en columnas (10.60 m²/día) y vigas (9.89 m²/día) frente al fenólico (9.33 m²/día y 9.39 m²/día, respectivamente), así como menor costo unitario (S/ 78.91 en columnas y S/ 86.59 en vigas, frente a S/ 87.10 y S/ 89.90 del fenólico); sin embargo, el encofrado fenólico redujo significativamente el consumo de madera natural (30.39% en columnas y 63.58% en vigas), presentó menores tiempos de desmontaje (24.04% menos en columnas y 13.15% menos en vigas) y mejor calidad de acabado superficial, especialmente en vigas (4.00 puntos “Bueno” frente a 3.00 puntos “Regular” de la madera). Se concluye que ambos sistemas de encofrado poseen ventajas y desventajas: el fenólico es más eficiente en consumo de materiales, desmontaje y calidad de acabado, mientras que la madera destaca por su mayor rendimiento, menor costo y mayor rapidez en el montaje.

Palabras clave: encofrado de madera, encofrado fenólico, rendimiento, eficiencia, columnas, vigas.

ABSTRACT

In the construction of reinforced concrete structural elements, the choice of formwork system directly influences the time, cost, material consumption, and quality of the final finish. The objective of this research was to compare the performance and efficiency of wood and phenolic formwork in the construction of columns and beams for homes in the city of Chota, 2023. The study was quantitative, applied, and descriptive in nature, with a sample consisting of 14 homes under construction (7 with wood formwork and 7 with phenolic formwork). In each case, labor performance, material consumption, direct unit cost, assembly and disassembly time, and surface finish quality were evaluated. The results showed that wooden formwork had higher labor productivity in columns (10.60 m²/day) and beams (9.89 m²/day) compared to phenolic formwork (9.33 m²/day and 9.39 m²/day, respectively), as well as lower unit cost (S/ 78.91 for columns and S/ 86.59 for beams, compared to S/ 87.10 and S/ 89.90 for phenolic); however, phenolic formwork significantly reduced natural wood consumption (30.39% for columns and 63.58% for beams), had shorter dismantling times (24.04% less in columns and 13.15% less in beams) and better surface finish quality, especially in beams (4.00 points “Good” compared to 3.00 points “Fair” for wood). It is concluded that both formwork systems have advantages and disadvantages: phenolic formwork is more efficient in terms of material consumption, dismantling, and finish quality, while wood formwork stands out for its higher performance, lower cost, and faster assembly.

Keywords: wood formwork, phenolic formwork, performance, efficiency, columns, beams.

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El uso del encofrado es esencial en el proceso constructivo de estructuras de concreto armado, tanto por su participación directa en la definición de las formas estructurales como por su impacto en el tiempo y costo del proyecto. Kareem et al. (2019) han señalado que el encofrado representa del 40% al 60% del costo de la partida de concreto. En dicho contexto, Terzioglu et al. (2022) señalan que, el avance de los sistemas industrializados, como el encofrado fenólico, ha permitido incrementar la eficiencia y la seguridad en obra, frente a los sistemas tradicionales de madera que presentan mayor desgaste, menor precisión dimensional y mayor generación de residuos. Sin embargo, la elección del material continúa siendo un desafío técnico en distintas realidades constructivas, donde se busca lograr buena relación costo-beneficio sin comprometer la calidad estructural (Rajeshkumar et al., 2021).

La construcción en Perú ha mantenido preferencia por los encofrados tradicionales de madera, dado su bajo costo inicial y amplia disponibilidad; sin embargo, la normativa técnica peruana, como la norma E.060 “Concreto armado” del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, MVCS (2009), no establece lineamientos detallados sobre el tipo de encofrado más eficiente o apropiado según condiciones de obra, lo que ha derivado en decisiones empíricas por parte de los profesionales. Esta falta de estandarización ha contribuido a variaciones significativas en los rendimientos de ejecución, con escasa información cuantitativa comparativa sobre nuevas alternativas como el encofrado fenólico. A pesar de los beneficios que ofrece este último en términos

de reutilización, menor absorción de humedad y mejores acabados, su incorporación en obras de pequeña y mediana escala ha sido limitada, principalmente por desconocimiento técnico o por barreras de acceso económico inicial (Kareem et al., 2019).

En la región Cajamarca, la elección entre encofrados de madera y encofrados fenólicos continúa respondiendo a criterios tradicionales antes que a análisis técnicos objetivos. Las empresas locales optan mayoritariamente por sistemas de encofrado de madera debido a su bajo costo inmediato y facilidad de ensamblaje, aunque estudios han evidenciado que estas estructuras tienden a deteriorarse rápidamente y presentan mayores tiempos de habilitación y desencofrado (Terzioglu et al., 2019). El desconocimiento sobre el comportamiento del encofrado fenólico frente a las condiciones climáticas de la región, así como la ausencia de evaluaciones comparativas en obras reales, ha limitado su aplicación, impidiendo conocer su impacto en los índices de productividad y eficiencia durante la ejecución de elementos estructurales como columnas y vigas (Kareem et al., 2019).

En la provincia de Chota, se han desarrollado investigaciones sobre rendimientos en partidas constructivas como el asentado de ladrillo (Burga, 2022) y el vaciado de losas (Medina, 2023), donde se evidenció que los rendimientos reales obtenidos en obra resultaron inferiores a los de compendios nacionales como el de la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO, 2006); esta diferencia ha puesto en cuestión la aplicabilidad directa de dichos parámetros y ha resaltado la necesidad de generar estudios locales que reflejen las condiciones particulares de ejecución en la zona. No obstante, no se ha investigado de forma sistemática el rendimiento ni la eficiencia de los diferentes tipos de encofrado

utilizados en la construcción de viviendas, a pesar de ser actividades frecuentes. Esta brecha ha impedido optimizar los procesos constructivos y tomar decisiones informadas sobre qué sistema de encofrado resulta más eficiente en términos de tiempo, calidad de acabado, durabilidad y costos operativos, particularmente al comparar el encofrado de madera frente al fenólico. Por ello, el estudio propuso analizar comparativamente ambos sistemas para vigas y columnas, con el fin de generar evidencia técnica aplicable a la realidad local.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Con qué tipo de encofrado de madera o fenólico se logra mayor rendimiento y eficiencia en la construcción de columnas y vigas de viviendas, Chota?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Con qué tipo de encofrado (fenólico o madera) se logra mayor rendimiento de la mano de obra en la edificación de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota?
- ¿Con qué tipo de encofrado (fenólico o madera) se logra menor consumo de materiales empleados durante el proceso constructivo de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota?
- ¿Con qué tipo de madera (fenólico o madera) se logra menor costo directo asociado al encofrado de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota?
- ¿Con qué tipo de encofrado (fenólico o madera) se logra menor tiempo de ejecución y desmontaje de los encofrados de madera y fenólico utilizados en columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota?

- ¿Con qué tipo de encofrado (fenólico o madera) se logra mayor calidad en el acabado superficial de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota?

1.3. Justificación

Los encofrados representan del 40 al 60% del costo estructural (Kareem et al., 2019), por lo que, de su correcta elección depende el éxito del proyecto, más aún cuando se trata de la edificación de columnas y vigas de viviendas, en el distrito de Chota. Con el presente estudio se conocerá el desempeño de dos tipos de encofrados: madera y fenólico, verificando como, el uso de uno u otro genera cambios en la apariencia final del concreto, en el rendimiento laboral, y en la calidad final del trabajo realizado. El vacío del conocimiento que, se llenará está orientado a definir la eficiencia del encofrado en la edificación de columnas y vigas de viviendas de Chota, por lo que, se desarrollará y apoyará en la teoría de la eficiencia definida en base a la triple restricción: alcance (calidad, seguridad, etc.), tiempo y costo. Siendo así, los resultados pueden generalizarse para otros proyectos en el distrito de Chota, con características similares. Así mismo, no existen investigaciones locales que, hayan evaluado la eficiencia del encofrado en construcción.

Surgió por la variabilidad en los tipos de encofrados que, son utilizados, pero se desconoce su eficiencia en la construcción, y tampoco se ha establecido una comparación entre ellos, para elegir uno u otro para cada tarea, a pesar de que, una selección incorrecta del encofrado provocará un aumento de los costos y un retraso en el proyecto de construcción, siendo así, se analizará la elección del encofrado en la edificación de columnas y vigas de viviendas de Chota. Siendo así, el estudio es original no existen investigaciones locales acerca de la eficiencia de encofrados, resolviendo el problema del desconocimiento de las ventajas y

desventajas del uso de uno u otro tipo de encofrado, lo que, hace que la investigación sea conveniente y trascendente en Chota, porque, favorece a investigadores y a la parte técnica (mano de obra).

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general*

Comparar el rendimiento y eficiencia de los encofrados de madera y encofrados de fenólico para columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota, 2023.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Determinar el rendimiento de la mano de obra en el encofrado de madera y encofrado de fenólico en columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota.
- Analizar el consumo de materiales empleados en ambos tipos de encofrado durante el proceso constructivo de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota.
- Evaluar el costo directo asociado al uso de encofrados de madera y fenólico en la ejecución de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota.
- Comparar el tiempo de ejecución y desmontaje de los encofrados de madera y fenólico utilizados en columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota.
- Examinar la calidad del acabado superficial de columnas y vigas encofradas con madera y fenólico en viviendas de la ciudad de Chota.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Supriyono et al. (2025) en su artículo científico “Análisis comparativo de sistemas de encofrado: eficiencia de costos y gestión del tiempo en proyectos de construcción” tuvieron como objetivo comparar la eficiencia en costos y tiempos de los sistemas de encofrado multiplex y de aluminio para la construcción de vigas y losas en los pisos 6 a 13. Emplearon observaciones de campo y revisión bibliográfica para recopilar datos utilizando enfoque mixto. Determinaron que, el encofrado de aluminio requiere 60 días para completarse, en comparación con los 112 días del encofrado multiplex, lo que representa ahorro de 52 días. En cuanto al costo, el encofrado de aluminio asciende a IDR 1,805,910,198, lo que representa ahorro de IDR 159,540,423 en comparación con el encofrado multiplex de IDR 1,965,450,621; así mismo, el encofrado de aluminio permite optimizar los flujos de trabajo del proyecto y reducir los retrasos. Concluyeron que, el encofrado de aluminio tiene potencial para mejorar la eficiencia, minimizar el desperdicio de material y promover prácticas de construcción sostenibles.

Santiana et al. (2024) en su artículo científico “Análisis de la productividad laboral en estructuras de concreto armado mediante estudios de tiempos” tuvieron como objetivo determinar la productividad de la mano de obra en el encofrado, vaciado de concreto y habilitación de acero de columnas, vigas y losas del proyecto de construcción del mercado turístico temático de Ubud, en la regencia de Gianyar, Bali. En la investigación de enfoque cuantitativo utilizaron como instrumento el formato de medición de rendimiento laboral diario.

Determinaron que, el valor medio de la productividad en el encofrado de columnas es de 10.65 m²/hh, en el encofrado de vigas es de 46.89 m²/ hh y en el encofrado de losas es de 73.29 m²/ hh. El trabajo de refuerzo de columnas es de 204.51 kg/ hh, el de vigas es de 349.93 kg/ hh y el de losas es de 287.57 kg/ hh. El trabajo de hormigonado de columnas es de 7.96 m³/ hh, el de vigas es de 25.31 m³/ hh y el de losas es de 15.81 m³/ hh. Concluyeron que, en el encofrado de columnas, vigas y losas el índice de productividad que se puede alcanzar es de 130.83 m²/hh.

Vansya et al. (2024) en su artículo científico “La eficacia del uso de encofrados de columnas en proyectos de construcción de edificios de varios pisos” tuvieron como objetivo evaluar la rentabilidad del encofrado de columnas, comparando su utilización en un proyecto de construcción de varias plantas en Indonesia. El estudio fue de enfoque cuantitativo e inicio con la recopilación de datos primarios para el cálculo del área de encofrado de tres tipos: convencional (madera), semisistema (madera - fenólico) y sistema completo (fenólico). Determinaron que, en este proyecto de construcción del edificio, el encofrado de columnas convencional genera gastos por un valor de IDR 587,749,263.04 y requiere 28 días para su finalización, mientras que el encofrado de columnas de semisistema logra ahorro de costos del 37% con la misma duración de 28 días, y el encofrado de columnas de sistema completo se vuelve 64% más rentable con período de construcción de 10 días. Concluyeron que, el sistema completo (fenólico) para encofrado tiene mayor eficacia para su uso en edificios.

Nosi et al. (2024) en su artículo científico “Análisis de gestión de tiempos y costos de los trabajos de encofrado y refuerzo (columnas, vigas y losas) para las instalaciones del 2° piso del proyecto de desarrollo del edificio de oficinas del Hub de conocimiento BSD City” tuvieron como objetivo comparar el costo y

tiempo de realización de los trabajos de encofrado del edificio de oficinas Knowledge Hub BSD City construido en la superficie de 54.956 m² con 11 plantas, en Jalan Raya BSD Barat, Sampora, distrito de Cisauk, regencia de Tangerang, provincia de Banten. Utilizaron el enfoque cuantitativo empleando el método del cálculo de encofrados (columnas, vigas y losas) mediante Microsoft Excel. Determinaron que, para el encofrado de columnas se requirió una cuadrilla conformada por 1 capataz, 3 carpinteros y 6 obreros con jornada laboral de 7 horas diarias, con ello alcanzaban rendimientos de 116.67 a 233.33 m²/hh, para 0.67 a 1.34 días de trabajo; respecto a los costos estos ascendían a 36,513,852 rupias. En vigas para la misma cuadrilla, el rendimiento fue de 87.5 a 200 m²/hh, para 0.87 a 1.98 días de trabajo, con costo total de 40,328,000 rupias. Concluyeron de forma general que, el precio unitario total requerido para el trabajo de encofrado (columnas, vigas y placas) en el segundo piso de servicios en 1 día es de IDR 16,683,543.54 rupias y la duración del trabajo requerido es de 2 días.

Putra et al. (2024) en su artículo científico “Análisis de costos y comparación de métodos para encofrados de columnas de edificios de gran altura mediante tres métodos de encofrado” tuvieron como objetivo comparar tres métodos de encofrado, que son: el método convencional, el método del sistema con multiplex y con materiales de película fenólica. Utilizaron el enfoque cuantitativo y obtuvieron los datos de los planos de taller y los cálculos proporcionados por PT. Hutama Karya, con los precios de los materiales y salarios para la Región de Java Occidental. Determinaron que el encofrado con método “sistema” utilizando película fenólica es el método de encofrado más económico en este estudio, esto se debe a que el tipo de encofrado se puede utilizar no solo múltiples veces, sino también en edificios con tipos de columnas variados.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Berrios (2025) en su tesis “Relación entre el rendimiento de mano de obra real y fijados por CAPECO en la construcción del palacio municipal del distrito de Santo Domingo de Anda - Huánuco - 2024” tuvo como objetivo comparar la eficiencia de la mano de obra con CAPECO durante la construcción del palacio municipal de Santo Domingo de Anda. El estudio de enfoque cuantitativo tuvo como muestra a las cuadrillas que laboraron en el proceso de habilitación y encofrado de dicha obra. Determinó que, el rendimiento en la habilitación de madera para columnas era de 36.38 m² y en encofrado era 19 m², siendo menor a CAPECO; mientras que, en vigas el rendimiento en habilitado de encofrado era 34.13 m² y en encofrado era 16.69 m², siendo también menor a CAPECO. Concluyó que, rendimiento de la mano de obra en la construcción del palacio municipal es inferior a lo que, regula CAPECO.

Sarmiento (2024) en su tesis “Relación entre los factores y el rendimiento de la mano de obra en concreto armado de la infraestructura del Poder Judicial de Abancay – 2023” tuvo como objetivo analizar los factores que afectan el rendimiento de la mano de obra en la construcción del poder judicial. Utilizó el enfoque mixto y tuvo como muestra al personal que laboro en las partidas de concreto armado. Determinó que, el rendimiento de la mano de obra en el encofrado y desencofrado de columnas es de 5.79 m²/día a 8.44 m²/día con eficiencia del 64% al 94%, el rendimiento en el encofrado y desencofrado de vigas de amarre es de 9.73 m²/día a 10.26 m²/día con eficiencia del 122% a 128%, en el encofrado y desencofrado de vigas el rendimiento es de 7.46 m²/día a 8.58 m²/día, con eficiencia del 93% a 107%. Concluyó que, los factores aspecto laboral, economía y supervisión afectan el rendimiento de la mano de obra.

Silva & Barua (2024) en su tesis “Propuesta de mejora de planificación de subcontratistas de vaciado y encofrado de los elementos verticales y horizontales para aumentar la productividad en obra utilizando la metodología BIM 4D en un proyecto multifamiliar en Lima” tuvieron como objetivo mejorar los índices de productividad, duración y costo de la construcción de una vivienda multifamiliar en Lima aplicando la metodología BIM 4D. En la investigación de enfoque cuantitativo, los metrados estimados en la construcción fueron de 281.63 m² de encofrado para elementos verticales (columnas) y 111.24 m² para vigas, con ello, determinaron que, se requerían 2 cuadrillas para habilitación de encofrado, 10 cuadrillas para encofrado y 2 para vaciado en columnas, en vigas fue necesario 3 cuadrillas para habilitación de encofrado, 3 para encofrado y 2 para vaciado. Las partidas de encofrados verticales y horizontales se realizaron en 11 días, con costo que asciende a 69,379.57 soles; no obstante, al aplicar la metodología BIM 4D el índice de productividad aumento en 25% en el encofrado de columnas y 46.66% en el encofrado de vigas, por lo que, concluyeron que, el uso de metodologías como BIM 4D puede ayudar a mejorar la eficiencia constructiva en proyectos de viviendas multifamiliares en Lima.

Gamarra & Roldan (2024) en su tesis “Implementación del sistema last planner system en actividades de encofrados en pisos altos aplicado en el proyecto multifamiliar prime Trujillo” tuvieron como objetivo implementar el LPS en las actividades de encofrado de 9 niveles del proyecto multifamiliar Prime de Trujillo, para ello utilizaron el diseño no experimental, determinando que, al usar LPS en las actividades de encofrado el tiempo de construcción se redujo en 45% respecto al proceso tradicional, lo que significo 30 días de eficiencia constructiva, por lo que concluyeron que, LPS tenía rentabilidad operativa.

2.1.3. Antecedentes regionales

Torres et al. (2024) en su artículo científico “Productividad y rendimiento de mano de obra en la construcción de vigas y columnas en viviendas de Chota, Cajamarca” tuvieron como objetivo determinar la productividad y rendimiento laboral en las partidas de vaciado de concreto, encofrados y aceros de columnas y vigas de la ciudad de Chota. El enfoque utilizado fue cuantitativo con 9 viviendas como muestra, determinando que, para 2 obreros el rendimiento en el encofrado de columnas es de 10.93 m²/día y para vigas era 10 m²/día, alcanzando 39% de trabajo productivo, 38% de trabajo contributorio y 23% de trabajo no contributorio. Concluyeron que, el rendimiento y productividad en vigas y columnas en viviendas en la ciudad de Chota es mayor a los datos dados por CAPECO.

Benavides & Torres (2024) en su tesis “Evaluación de productividad y rendimiento de mano de obra en vigas y columnas de concreto en construcción de viviendas de la ciudad de Chota” tuvieron como objetivo evaluar el rendimiento y productividad laboral de vigas y columnas en la construcción de 9 viviendas en Chota. Determinaron que, el rendimiento de la mano de obra en el encofrado de vigas de las viviendas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9, era respectivamente 9.54, 9.24, 9.49, 10.64, 10.63, 9.98, 11.75, 9.92 y 10.53 m²/día, siendo la media 10 m²/día para cuadrillas de 2 obreros; mientras que, el rendimiento en el encofrado de columnas de las viviendas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9, era respectivamente 10.95, 10.76, 10.58, 10.47, 10.56, 10.74, 12.78, 10.89, 11.45 m²/día, siendo la media 10.93 m²/día. Respecto a la productividad, el TP, TC, TNC de encofrado de vigas era 40.1% (3.21 horas), 36.9% (2.95 horas), 23% (1.84 horas); y en el encofrado de columnas era 38.4% (3.07 horas), 38.4% (3.07 horas), 23.3% (1.86 horas), respectivamente. Concluyeron que, el rendimiento es mayor que CAPECO.

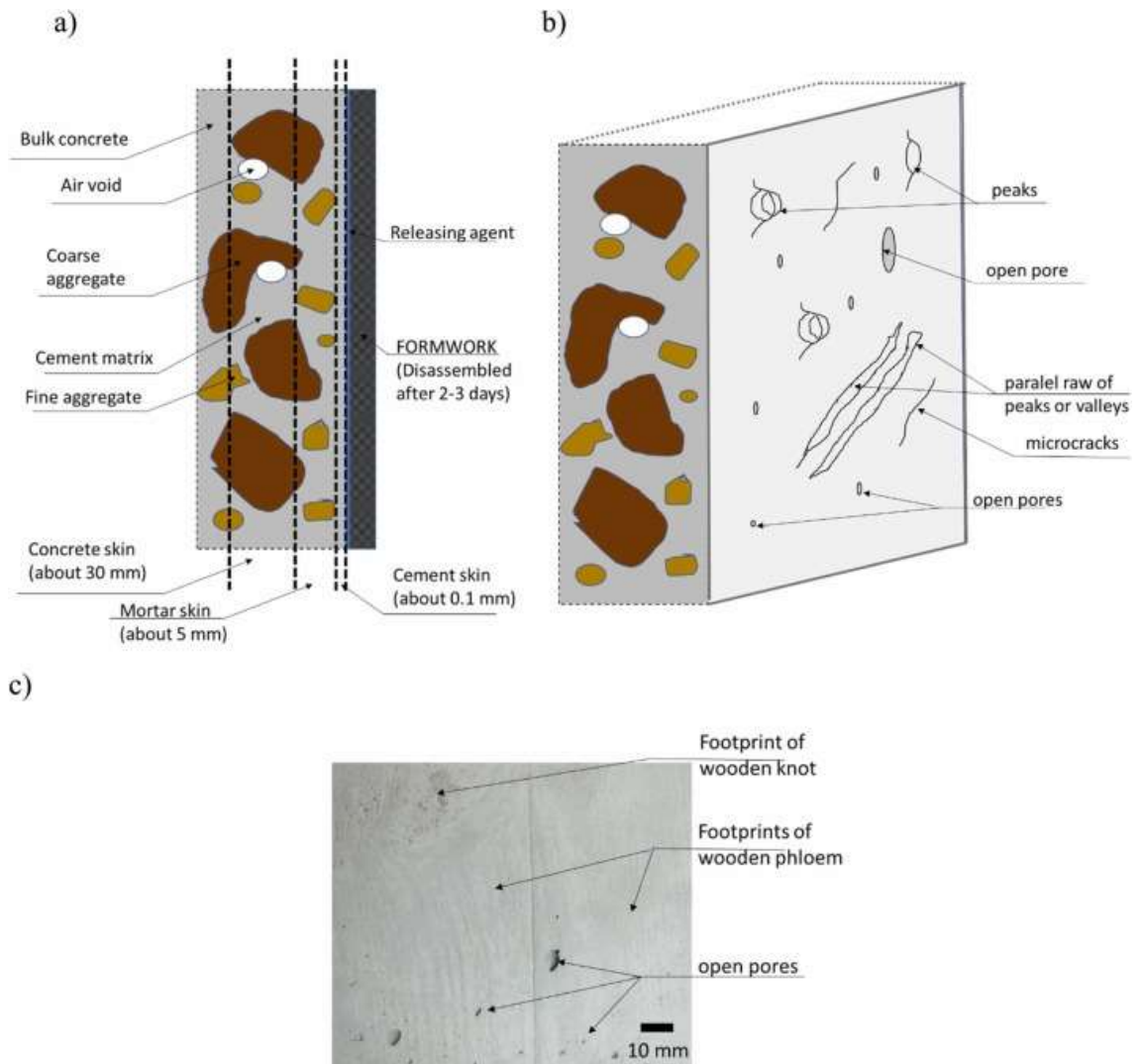
2.2. Bases teórico – científicas

2.2.1. Efecto del contacto del concreto con el encofrado

Los principales materiales utilizados habitualmente para la creación de encofrados son el acero, y la madera. Como resultado, existe la posibilidad de obtener diferentes huellas de los encofrados utilizados en la superficie del compuesto cementoso, lo que se debe a los fenómenos de contacto interfacial sólido-sólido (Czarnecki & Sadowski, 2022).

Figura1

La Piel de Concreto Afectada por el Contacto con el Encofrado:



Nota. a) durante la creación, b) después del desmontaje, c) ejemplo de superficie realizada con encofrado de madera (Czarnecki & Sadowski, 2022).

El borde del elemento de concreto se realiza mediante encofrado de otro material, siendo así, esto definirá su piel; en este caso la piel de concreto aparece por el contacto con los encofrados (De Caro et al., 2007). Debido a este fenómeno, la capa subsuperficial de compuestos cementosos se puede dividir en capa de cemento (0.1 mm), de mortero (5 mm) y de concreto (30 mm) (Zheng et al., 2003).

En la Figura 1 se muestra la interpretación visual de la piel de cemento, durante y después del encofrado, donde se puede apreciar, incluso mediante la observación visual a simple vista de las muestras, que estas superficies están preparadas de forma diferente y su piel de cemento, capa exterior, está afectada fuertemente por el material que se utilizó como encofrado (Chuta et al., 2020).

La piel de cemento también se crea como el elemento completo al finalizar el proceso de hormigonado, que se divide en tres etapas: vaciado, endurecimiento en el encofrado y desmontaje (Vanhove & Djelal, 2021). Durante la colada, el flujo de masa de compuestos cementosos es muy dinámico y la velocidad de las partículas es grande (Dybeł & Kucharska, 2019); sin embargo, esta aumenta con la distancia desde el encofrado; esto se debe a las fuerzas de fricción entre las partículas compuestas de cemento y encofrado (Švec et al., 2014). Después de eso, comienza el proceso de endurecimiento, durante el cual la mezcla fresca es la carga del encofrado y, después de un tiempo, es capaz de soportar su propio peso (Sadowski et al., 2017); por lo tanto, antes de desmontar el encofrado, es necesario realizar métodos de curado adecuados dedicados a la mezcla de compuesto cementoso y la temperatura de colado (Toubal et al., 2019). Después de quitar el encofrado, se puede investigar el efecto final que es el aspecto visual de la superficie; siendo así, para evitar grietas y huecos innecesarios, vale la pena usar un agente desmoldante específico (Savukaitis et al., 2021)

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Encofrado

El encofrado se considera un molde fundamental para contener el concreto fresco y darle forma durante el vaciado, usando materiales que cumplan con las normas técnicas, permite ejecutar elementos estructurales precisos, siempre que cuenten con soportes y arriostramientos adecuados (Chunga & Ramírez, 2019).

Palomino & Rayme (2021) destacan que estos moldes pueden fabricarse en madera natural, madera prefabricada (fenólico), acero (elementos de metal) o sistemas mixtos, y se encargan de soportar la carga hasta que el concreto alcance su resistencia para soportar su propio peso y las cargas para las que se ha diseñado.

Los sistemas de encofrado se agrupan en cuatro tipos: los simples, moldes pequeños contruidos en obra para vaciados reducidos; los horizontales, usados en vigas y losas con tableros, viguetas y puntales reutilizables que soportan cargas verticales; los verticales, aplicados en columnas, muros y placas para contener el concreto y resistir presiones laterales; y los estacionarios, empleados en plantas de prefabricación (Chunga & Ramírez, 2019).

2.3.2. Sistemas de encofrados utilizados en construcción

De acuerdo con Quispe (2015), los sistemas de encofrado utilizados en la construcción se agruparon en dos categorías: tradicionales, fabricados en madera, y prefabricados o industriales, elaborados con materiales como fenólico.

Según Castañeda & López (2015), los sistemas tradicionales están compuestos por tablas, tablones y puntales, elementos comunes en edificaciones convencionales. En cambio, los prefabricados incluyen paneles modulares con grapas, estabilizadores, ménsulas y ganchos de izado, los cuales facilitan el montaje más rápido, preciso y seguro en obra.

Figura 2

Sistemas de Encofrado Utilizados en Construcción



Encofrado de madera

Encofrado de fenólico

Nota. Adaptado de (Espinoza, 2021).

2.3.2.1. Sistema de encofrados tradicionales con madera natural

La madera se emplea en la fabricación de encofrados directamente en obra. Su estructura fibrosa le permite ser moldeada con facilidad para adaptarse a distintos diseños (Alonso, 2022). Se usa en construcciones pequeñas o en proyectos que requieren encofrados personalizados. Aunque su montaje es sencillo, el proceso es más lento que en sistemas industrializados. Presenta un costo inicial bajo y buena adaptabilidad. Sin embargo, su vida útil es reducida y no siempre puede reutilizarse, lo que eleva los costos en proyectos prolongados.

Asimismo, según Neuman (2017), la madera presenta ventajas relevantes: buena resistencia mecánica, bajo peso, facilidad de corte y ensamblaje. Aunque menos precisa que otros materiales, su bajo costo y reutilización la hacen funcional. Pero, la explotación continua de madera puede afectar negativamente al medio ambiente (Cárdenas, 2021).

2.3.2.2. Sistema de encofrado utilizando madera artificial (fenólico)

El encofrado fenólico está formado por láminas de madera tratadas con resinas y sometidas a presión y temperatura, lo que le confiere alta resistencia y posibilidad de reutilización. Se utiliza en la construcción de muros, losas y columnas. Su resistencia a la humedad y productos químicos permite su empleo en ambientes exigentes como laboratorios y hospitales (Construproductos, 2021). Su resistencia al desgaste y la posibilidad de múltiples usos lo convierten en una opción eficiente. Aunque tiene un costo inicial más alto que la madera, su reutilización justifica la inversión, especialmente en obras de gran escala. Asimismo, contribuye al aprovechamiento racional de recursos forestales al requerir menor cantidad de madera por unidad, por lo que, es considerado un material sostenible dentro del ámbito constructivo (MAFRESA, 2021).

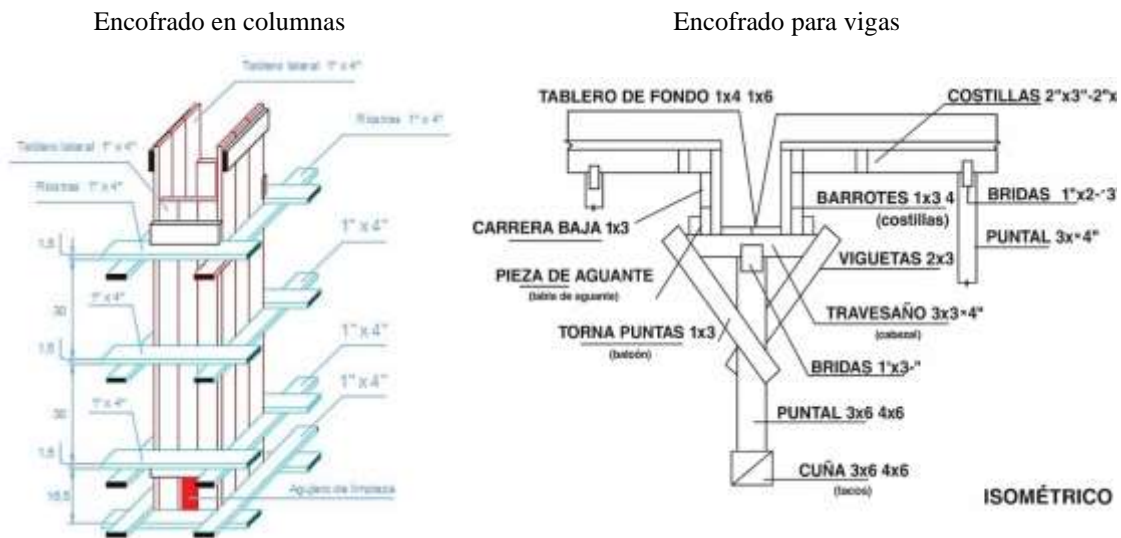
2.3.3. *Encofrado para columnas y vigas*

Encofrados para columnas. Son moldes temporales que dan forma y soporte al concreto fresco en elementos verticales, garantizando dimensiones, alineación y estabilidad según el diseño estructural. Están compuestos por paneles (madera, fenólico, metálico o plástico) y sistemas de sujeción que contrarrestan la presión lateral, evitando fugas de lechada hasta que el concreto adquiera resistencia suficiente (Oribe, 2014).

Encofrado para vigas. Son moldes temporales que confinan el concreto fresco en elementos horizontales o inclinados, asegurando la geometría y alineación de los planos. Incluyen base, laterales, refuerzos y soportes (puntales, viguetas, arriostres) capaces de resistir el peso del concreto, del acero y las vibraciones del compactado, manteniéndose en posición hasta que el concreto logre resistencia adecuada (Arapa & Maldonado, 2019).

Figura3

Encofrado en Columnas y Vigas



Nota. Adaptado de (Arapa & Maldonado, 2019)

2.3.4. Desencofrado

El desencofrado consiste en retirar cuidadosamente los moldes estructurales sin dañar el concreto endurecido. El encofrado debe mantenerse hasta que el concreto alcance entre el 60% y 75% de su resistencia a los 28 días (Gabillo & Mejía, 2014). Las vigas requieren entre 12 y 24 días, mientras columnas y muros pueden liberarse a las 24 horas, siempre con validación técnica previa (Arapa & Maldonado, 2019).

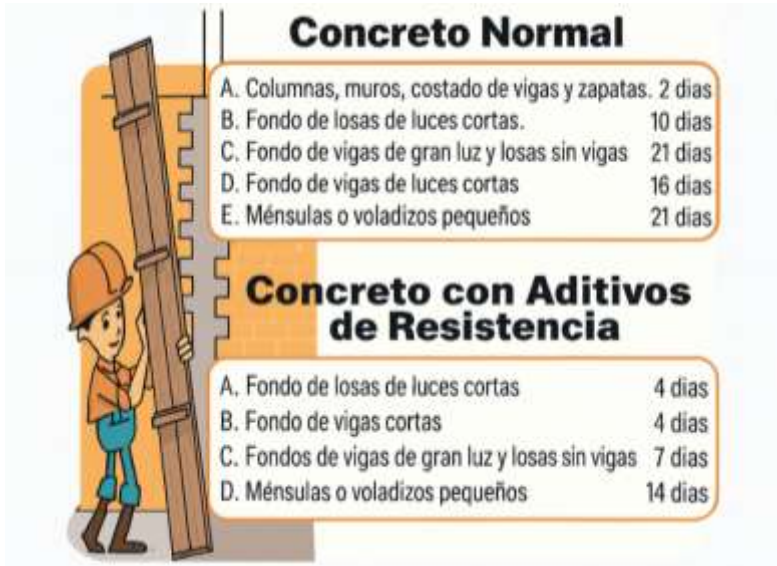
Si en la obra se conocen las cargas de diseño, el tiempo de desencofrado puede determinarse usando esta relación: (Arapa & Maldonado, 2019).

$$Nn = \frac{280U}{\frac{F}{P} + \frac{Uc}{3}} - \frac{280Uc}{Tm+10}, Uc = \frac{R28}{R7} \quad (1)$$

Donde: N Número de días, Tm Temperatura media en grados, P Peso o carga que actúa sobre el elemento en el momento del desencofre, F Carga que actuará posteriormente, R28 y R7 Resistencia del concreto a los 28 días y 7 días.

Figura 4

Tiempos Usuales para Desencofrar Elementos Estructurales



Concreto Normal	
A. Columnas, muros, costado de vigas y zapatas.	2 días
B. Fondo de losas de luces cortas.	10 días
C. Fondo de vigas de gran luz y losas sin vigas	21 días
D. Fondo de vigas de luces cortas	16 días
E. Ménsulas o voladizos pequeños	21 días

Concreto con Aditivos de Resistencia	
A. Fondo de losas de luces cortas	4 días
B. Fondo de vigas cortas	4 días
C. Fondos de vigas de gran luz y losas sin vigas	7 días
D. Ménsulas o voladizos pequeños	14 días

Nota. Adaptado de (Arapa & Maldonado, 2019).

2.3.5. Rendimiento del encofrado

Es la cantidad de trabajo ejecutado en la instalación, ajuste y desmontaje de moldes temporales, en función de los recursos empleados (mano de obra, materiales, equipos y herramientas). Se expresa como la relación entre la superficie encofrada (m²) y los recursos aplicados, evaluando productividad según desempeño del personal, consumo de insumos y organización de actividades en un periodo determinado (Berrios, 2025).

2.3.5.1. Rendimiento de la mano de obra en encofrado

El rendimiento se refiere a la cantidad de trabajo ejecutado para obtener una unidad de medida en un periodo de tiempo (Arapa & Maldonado, 2019).

$$\text{Rendimiento} = \frac{\# \text{ total de unidades producidas}}{\text{total de tiempo empleado}} \quad (2)$$

El rendimiento en Horas-Hombre (H.H.) se refiere al número de horas de trabajo que una cuadrilla necesita para completar una actividad (Berrios, 2025).

$$H. H. = \frac{\# \text{ de Cuadrilla} * \text{Jornada}}{\text{Rendimiento}} \quad (3)$$

El rendimiento de la mano de obra de acuerdo a CAPECO (2006) en el encofrado de columnas es igual a 10 m²/día y en vigas es 9 m² día.

Tabla 1

Rendimiento de la Mano de Obra en Actividades de Encofrado y Desencofrado de Columnas y Vigas de Acuerdo a CAPECO (2006)

Elemento	Actividad	Cuadrilla	Rendimiento (m ² /día)
	Habilitación	1 oficial + 2 peones	40
Columna	Encofrado	0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial	10
	Desencofrado	1 oficial + 2 peones	40
	Habilitación	1 oficial + 2 peones	40
Vigas	Encofrado	0.10 capataz + 1 operario + 1 oficial	9
	Desencofrado	1 oficial + 2 peones	36

Nota. (CAPECO, 2006).

2.3.5.2. Rendimiento de materiales en encofrado

El rendimiento de materiales para encofrado se define como la capacidad de un material específico, como madera, clavos, alambre o lubricantes, para ser utilizado en la instalación, ajuste y desmontaje del encofrado, en relación con la superficie construida (m²) o el número de reutilizaciones que permite (Arapa & Maldonado, 2019). Los materiales que se utilizan en el encofrado son:

Madera. Se emplea madera aserrada en piezas de dimensiones estándar para facilitar su armado (Arapa & Maldonado, 2019).

- Tablero triplay fenólico: Panel compuesto por capas de madera unidas con adhesivo fenólico, resistente a la humedad y reutilizable en encofrados.
- Tablas de madera: Piezas planas y rectangulares de madera aserrada usadas para formar superficies de contacto en el encofrado.
- Barrotes: Elementos de sección cuadrada o rectangular que sirven como soporte y rigidización del encofrado.
- Puntales: Soportes verticales que transmiten las cargas del encofrado al suelo.

- Estacas: Piezas cortas de madera clavadas en el terreno para fijar elementos.
- Soleras: Sirven de base o unión para recibir y distribuir cargas en el encofrado.
- Tornapuntas: Elementos inclinados que brindan estabilidad lateral.
- Cabezales: Piezas horizontales ubicadas sobre los puntales para soportar vigas o tableros del encofrado.
- Pies derechos: Soportes verticales que sostienen cargas.
- Arriostres laterales: Elementos diagonales o horizontales que aseguran la alineación y rigidez del encofrado.
- Cuñas: Piezas pequeñas de madera en forma triangular usadas para ajustar, nivelar o fijar elementos del encofrado

Clavos. Se usan clavos de acero para facilitar el desencofrado. Las medidas más comunes son de 2” a 4” (Arapa & Maldonado, 2019).

Alambres. Se aplican alambres negros recocidos N.º 8 y 16 como tensores en muros, vigas o columnas (Arapa & Maldonado, 2019).

Tornillos. Para presiones más altas se utilizan tornillos o espárragos de 5/8” y 3/4”, ideales para sistemas de encofrado exigentes (Arapa & Maldonado, 2019).

Lubricante: Sustancia líquida o aceitosa aplicada sobre la superficie de contacto del encofrado para evitar la adherencia del concreto (Arapa & Maldonado, 2019).

2.3.5.3.Rendimiento de herramientas en encofrado

Es la relación entre la utilidad de las herramientas en la ejecución del encofrado, generalmente expresada como porcentaje del costo de la mano de obra. Evalúa su aporte en actividades de medición, corte, fijado, ajuste y verificación, utilizando equipos como martillo carpintero, wincha, cortadora circular, pata de cabra, taladro, alicate, serrucho, plomada y nivel de burbuja (Arapa & Maldonado, 2019).

2.3.6. Eficiencia del encofrado

Es la capacidad del sistema para cumplir su función de moldeo y soporte del concreto optimizando recursos, tiempo, costos y calidad. Un encofrado eficiente facilita montaje y desmontaje, permite múltiples reutilizaciones, se adapta a diferentes geometrías, reduce desperdicios y garantiza acabados uniformes (Arapa & Maldonado, 2019).

2.3.6.1. Tiempo de los encofrados

Es el período requerido para ejecutar y, en su caso, desmontar un sistema de encofrado, medido desde el inicio de su montaje hasta su retiro total, considerando las actividades preparatorias, de armado, ajuste y desencofrado, así como las condiciones de obra y recursos disponibles que influyen en su duración (Arapa & Maldonado, 2019).

2.3.6.2. Costos de los encofrados

Es el valor monetario por ejecutar un m² de encofrado, que incluye costos directos (materiales, mano de obra, herramientas y equipos) e indirectos (supervisión y logística). En concreto armado, este rubro puede superar incluso al costo del concreto y del acero (Arapa & Maldonado, 2019).

a) Costos directos

Incluyen gastos directamente relacionados con la ejecución de partidas, como materiales, mano de obra y equipos. Su precisión varía según el objetivo del análisis y la experiencia del profesional (Arapa & Maldonado, 2019) .

Aporte de materiales. Los materiales se calculan con base en estudios técnicos y referencias en obra. Se consideran unidades de comercialización (m³, bolsas, varillas, etc.) y porcentajes de desperdicio para estimar su costo real (Arapa & Maldonado, 2019) .

Mano de obra. Se divide según el rol: operarios, oficiales, peones y maestros. El análisis varía para operadores de maquinaria, con costos específicos según su función (Alan, 2003).

Equipos y herramientas. Se ajusta según el tipo de equipo y su aplicación en el proyecto (Alan, 2003).

b) Costos indirectos

Comprenden gastos generales no vinculados a partidas específicas, como administración, supervisión y logística. Una adecuada gestión de estos costos influye en el control económico del proyecto (Arapa & Maldonado, 2019).

2.3.6.3. Calidad de los encofrados

Es el grado de cumplimiento con planos y especificaciones técnicas, garantizando rigidez, estabilidad y acabados adecuados del concreto. Incluye control de juntas, tolerancias (máx. 6 mm cada 6 m) y capacidad de reutilización. En acabados arquitectónicos se exigen moldes de alta precisión, mientras que en no arquitectónicos se permiten tratamientos posteriores (Soto, 2022).

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Hipótesis alterna (H_1): El uso de encofrados fenólicos en la construcción de columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota presenta un rendimiento y una eficiencia constructiva superiores en comparación con los encofrados tradicionales de madera.

Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias en el rendimiento ni en la eficiencia entre los encofrados fenólicos y los de madera empleados en estructuras armadas de viviendas en la ciudad de Chota.

2.4.2. Hipótesis específicas

H₁: El encofrado fenólico presenta mayor rendimiento de la mano de obra que el encofrado de madera en vigas y columnas de las viviendas de la ciudad de Chota.

H₂: El encofrado fenólico presenta menor consumo de materiales que el encofrado de madera en vigas y columnas de las viviendas de la ciudad de Chota.

H₃: El encofrado fenólico presenta menor costo unitario directo que el encofrado de madera en vigas y columnas de las viviendas de la ciudad de Chota.

H₄: El encofrado fenólico requiere menor tiempo de ejecución y/o desmontaje que el encofrado de madera en vigas y columnas de las viviendas de la ciudad de Chota.

H₅: El encofrado fenólico logra mayor calidad de acabado superficial que el encofrado de madera en vigas y columnas de las viviendas de la ciudad de Chota.

2.5. Operacionalización de variables

2.5.1. Variable independiente: Encofrados

El encofrado es una estructura provisional que contiene y moldea el concreto fresco hasta que este adquiere la resistencia necesaria para sostenerse por sí mismo. Incluye las superficies en contacto directo con el concreto y los elementos de soporte que garantizan su estabilidad durante el vaciado (Chunga & Ramírez, 2019). En esta investigación se consideran dos tipos:

Encofrado de madera: Sistema tradicional compuesto por tableros, listones y piezas de madera natural, ensamblados en obra para formar el molde.

Encofrado fenólico: Sistema modular elaborado con tableros recubiertos de resina fenólica, diseñado para múltiples reutilizaciones y con superficies lisas que mejoran el acabado del concreto.

La variable se identifica según el tipo de encofrado empleado en columnas y vigas durante el proceso constructivo. Se registra mediante observación directa y verificación en campo, clasificando el sistema como madera o fenólico.

2.5.2. Variable dependiente: Rendimiento en la construcción de estructuras armadas

El rendimiento es la cantidad de superficie encofrada que se ejecuta por unidad de tiempo, considerando la intervención de la mano de obra, el aporte de materiales y el uso de herramientas o equipos. Representa la capacidad productiva alcanzada en condiciones reales de obra.

Se mide como el metrado de superficie encofrada (m^2) dividido entre el tiempo total de ejecución (días o minutos/ m^2) para columnas y vigas, diferenciando según el tipo de encofrado utilizado. El dato se obtiene a partir del registro de tiempos y volúmenes de trabajo en obra.

2.5.3. Variable dependiente: Eficiencia en la construcción de estructuras armadas

La eficiencia es el grado en que el proceso de encofrado cumple los objetivos constructivos optimizando los recursos disponibles. Incluye la capacidad de reducir tiempos de ejecución, minimizar costos directos y obtener un acabado superficial acorde a las especificaciones técnicas, sin desperdicio innecesario de materiales.

Se evalúa a partir de tres indicadores: el tiempo, mediante la comparación del montaje y desmontaje del encofrado (min/m^2) en ambos sistemas; los costos, a través de la determinación del costo unitario directo ($S/$ por m^2) que incluye materiales, mano de obra y herramientas; y la calidad, evaluada con una escala Likert de 1 a 5, considerando la uniformidad, porosidad y apariencia estética.

Tabla 2

Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Definición operacional	Indicador	Ítem
VI Encofrados	El encofrado es el molde en el que se vierte el concreto húmedo para darle forma (Chunga & Ramírez, 2019).	Sistema de encofrado de madera	Conjunto de elementos de madera que forman un molde temporal para contener y dar forma al concreto fresco (Chunga & Ramírez, 2019).	Encofrado de madera para columnas	p2
				Encofrado de madera para vigas	p2
		Sistema de encofrado de fenólico	Conjunto modular de paneles recubiertos con resina fenólica (Chunga & Ramírez, 2019).	Encofrado de madera para columnas	p2
				Encofrado de madera para vigas	p2
VD Rendimiento	Es la cantidad de trabajo efectuado por la mano de obra, y la cantidad de recursos utilizados (Berrios, 2025).	Rendimiento de la mano de obra	Cantidad de superficie encofrada que el personal ejecuta por unidad de tiempo, expresada generalmente en m ² /día (Berrios, 2025).	Metrado total	m2
				Tiempo	hr
				Aporte unitario	hh/m2
		Rendimiento de materiales	Relación entre la cantidad de material utilizado y la superficie encofrada, considerando su aprovechamiento y desperdicio (Berrios, 2025).	Fenólico	p2
				Madera natural	p2
				Clavos	kg
Rendimiento de herramientas	Estimación del uso de herramientas y equipos en el encofrado (Berrios, 2025).	Alambre	kg		
		Lubricante	gal		
VD Eficiencia	La eficiencia es el grado en que el proceso de encofrado cumple los objetivos constructivos optimizando los recursos disponibles. Incluye la capacidad de reducir tiempos de ejecución, minimizar costos directos y obtener un acabado superficial acorde a las especificaciones técnicas (Arapa & Maldonado, 2019).	Costo de encofrado	Valor monetario total necesario para ejecutar el encofrado, incluyendo materiales, mano de obra, herramientas y equipos (Arapa & Maldonado, 2019).	Costo de mano de obra	S/.
				Costo de materiales	S/.
		Tiempo de encofrado y desencofrado	Duración requerida para montar y desmontar el sistema de encofrado por unidad de superficie (Arapa & Maldonado, 2019).	Costo de herramientas manuales	S/.
				Tiempo unitario de encofrado	min/m2
Eficiencia	un acabado superficial acorde a las especificaciones técnicas (Arapa & Maldonado, 2019).	Calidad del acabado superficial del elemento encofrado	Grado de uniformidad, textura y apariencia estética que presenta la superficie del concreto una vez retirado el encofrado (Arapa & Maldonado, 2019).	Tiempo unitario de desencofrado	min/m2
				Aspecto de acabado	Escala Likert
				Número de elementos encofrados	Nº
				Cantidad de usos	Nº

Nota. Se presenta la matriz de operacionalización con variables, dimensiones e indicadores.

CAPÍTULO III.

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación presentó enfoque cuantitativo, debido a que se trabajó con datos numéricos y medibles, tales como el rendimiento de la mano de obra ($m^2/día$), el consumo unitario de materiales (p^2/m^2 , kg/m^2 , gal/m^2), los costos directos ($S/$ por m^2), los tiempos de montaje y desmontaje (min/m^2) y la calificación del acabado superficial mediante escala Likert. Estos valores permitieron establecer comparaciones objetivas entre los dos sistemas de encofrado evaluados. Fue de tipo aplicado, ya que los resultados obtenidos no se limitaron a generar conocimiento teórico, sino que se orientaron a resolver una problemática real en el ámbito constructivo, proporcionando criterios técnicos y económicos para optimizar la elección de encofrados en proyectos similares. El nivel descriptivo comparativo se justificó porque el estudio describió las características y el comportamiento de cada sistema de encofrado y, a la vez, estableció comparaciones directas entre ambos, identificando ventajas y desventajas en términos de rendimiento, costos, tiempos y calidad.

Tabla 3

Tipo de Investigación Según los Principales Criterios

Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	aplicada
Estrategia o enfoque metodológico	cuantitativa
Objetivos	descriptiva
Fuente de datos	mixta
Control de diseño de la prueba	No experimental
Temporalidad	Transversal
Contexto donde sucede	Ejecución de obra
Intervención disciplinaria	Ingeniería de construcción

Nota. (Grajales, 2000).

3.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue no experimental, ya que las variables independientes (tipo de encofrado de madera y fenólico) no fueron manipuladas por los investigadores, sino observadas en su aplicación real en las obras de construcción. El estudio fue transversal, porque la recolección de datos se realizó en un solo periodo de tiempo (2023–2024), y retrospectivo, al utilizar registros de obra complementados con observaciones técnicas y mediciones en campo.

$$p \rightarrow q \dots p \leftrightarrow q \quad (4)$$

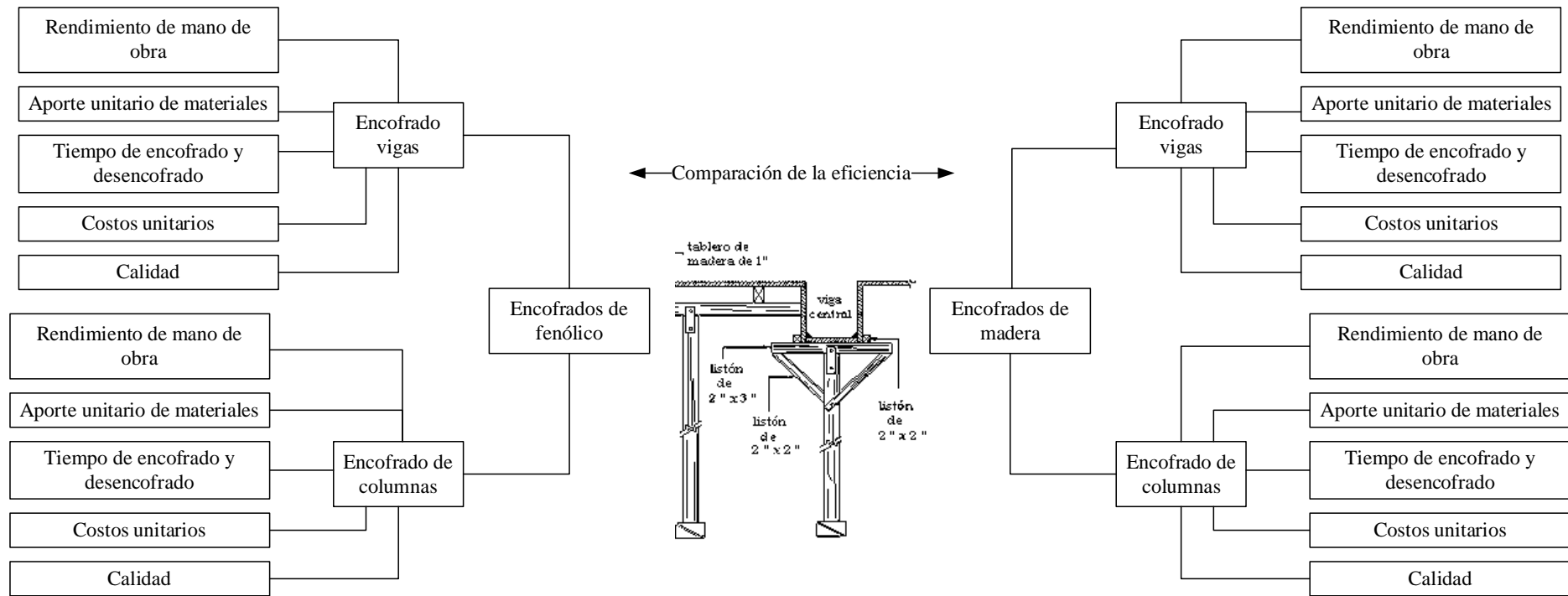
Donde: $p \rightarrow q$ las características del encofrado generan eficiencia $p \leftrightarrow q$

3.3. Métodos de investigación

La investigación utilizó el método sintético-analítico, ya que en una primera etapa se aplicó el análisis para descomponer el fenómeno de estudio en sus componentes esenciales; se evaluaron de forma separada el rendimiento de la mano de obra, el consumo unitario de materiales, el costo directo, los tiempos de montaje y desmontaje, y la calidad del acabado superficial, obteniendo datos específicos para cada sistema de encofrado. Posteriormente, se empleó la síntesis para integrar estos resultados y establecer una visión global del comportamiento de ambos sistemas, permitiendo identificar relaciones, ventajas y desventajas. Este proceso permitió pasar de la observación y medición de datos individuales a la formulación de conclusiones generales, sustentadas en la comparación técnica y económica de los encofrados de madera y fenólico.

Figura 5

Diseño de Investigación



Nota. En la figura se muestra el esquema para la comparación de la eficiencia de encofrados de madera y fenólico en columnas y vigas, considerando rendimiento, aporte de materiales, tiempos de encofrado y desencofrado, costos unitarios y calidad.

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

La población estuvo conformada por viviendas construidas en la ciudad de Chota utilizando material noble, particularmente aquellas en las que se ejecutaron actividades de encofrado y desencofrado en columnas y vigas.

3.4.2. Muestreo

Se utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando aquellas viviendas a las que se tuvo acceso para la toma de datos, es decir, contar con la autorización de los propietarios y del maestro de obra, y que cumplían con las condiciones técnicas necesarias para la comparación con la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), criterios de inclusión y exclusión de la muestra.

Tabla 4

Criterios de Inclusión y Exclusión

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Viviendas en construcción ubicadas dentro de la jurisdicción de la ciudad de Chota.	Viviendas en construcción ubicadas fuera de la jurisdicción de la ciudad de Chota.
Viviendas que se encuentren en actividades de encofrado de columnas y vigas	Viviendas que se encuentren en otras actividades que no sean encofrado de columnas y vigas
Viviendas de dos niveles a más, que tengan un área techada igual o mayor a 100 m ² .	Viviendas de un solo nivel, o que tengan un área techada menor a 100 m ² .
Viviendas en que la mano de obra este conformado por la cuadrilla, de al menos operario + peón.	Viviendas en que la mano de obra solo sean operarios, o solo sean peones.
Viviendas en que la madera o fenólico utilizado para el encofrado de la edificación sea nuevo	Viviendas en que la madera o fenólico utilizado para el encofrado no sea nuevo
Construcción formal, con licencia de construcción	Construcción informal, sin licencia de construcción

Nota. Los criterios de inclusión y exclusión permitieron delimitar las unidades muestrales.

Por tanto, las viviendas fueron seleccionadas bajo criterios de inclusión como: estar dentro de Chota, tener encofrado en columnas y vigas, mínimo dos niveles y área ≥ 100 m², mano de obra mixta (operario + peón), y uso de madera

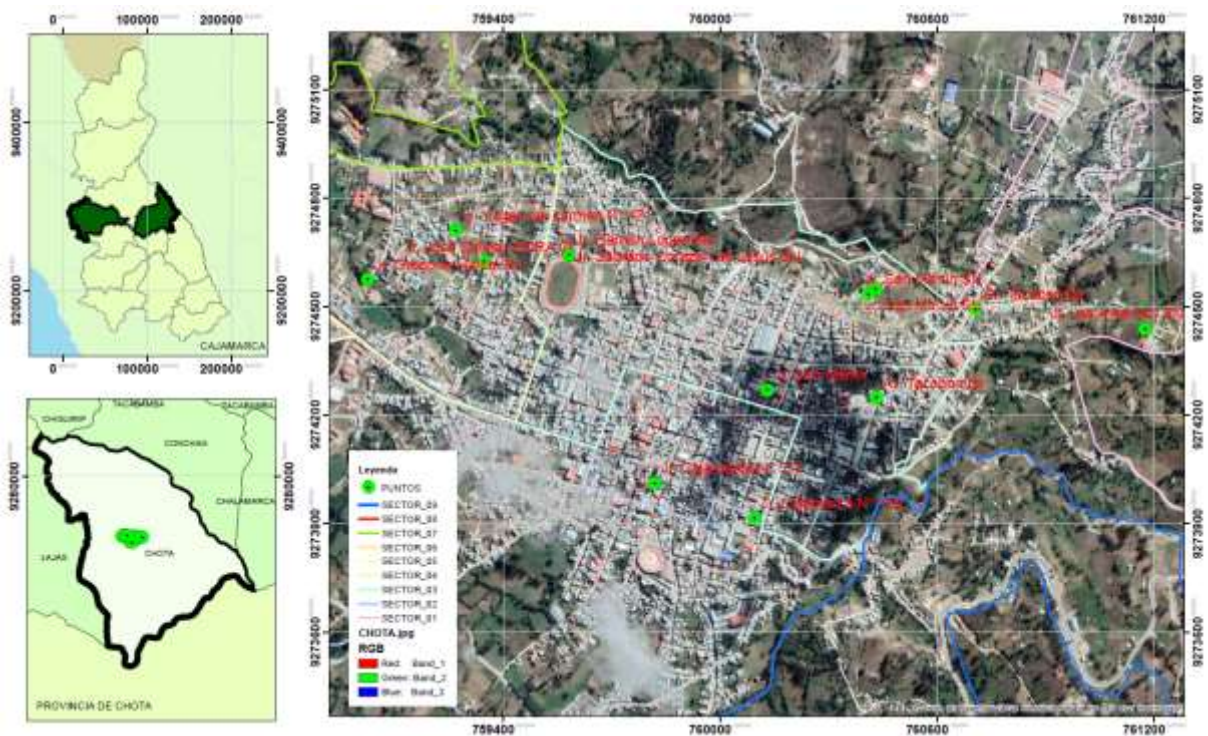
o fenólico nuevo. Se excluyeron construcciones fuera del área urbana, de un solo nivel o sin proceso activo de encofrado. Finalmente, se seleccionaron 14 casos para ambos sistemas (07 viviendas con encofrado de madera y 07 viviendas con encofrado de fenólico), asegurando el equilibrio muestral.

3.4.3. Muestra

La muestra estuvo integrada por 14 viviendas en construcción dentro del área urbana de Chota en las cuales se ejecutaron trabajos de encofrado y desencofrado en columnas y vigas, utilizando tanto sistemas de madera como fenólico. De las cuales 7 emplearon encofrado de madera y 7 utilizaron encofrado de fenólico, evaluándose en cada caso el rendimiento de la mano de obra, el consumo de materiales, el costo unitario directo, el tiempo de montaje y desmontaje, y la calidad del acabado superficial.

Figura 6

Ubicación de las Viviendas que Han Formado parte del Estudio del Encofrado de Vigas y Columnas con Madera Natural y Artificial (Fenólico) en Chota



3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Se aplicaron técnicas rigurosas para obtener información relevante sobre los sistemas de encofrado. Para ello, inicialmente se realizó una revisión documental que proporcionó base teórica sólida a partir de fuentes técnicas especializadas (Díaz, 2021), y luego se aplicaron en campo las siguientes técnicas:

Observación directa de las características de las viviendas y los elementos estructurales. Permitió identificar las condiciones reales de ejecución y los aspectos constructivos de cada sistema de encofrado. Para esta técnica se emplearon la ficha de registro de las características de las viviendas (Anexo N° 2), la ficha de datos del elemento estructural (Anexo N° 4) y el formato de análisis de la calidad del acabado superficial (Anexo N° 6), registrando información sobre dimensiones, estado de los materiales y calificación estética de los acabados

Encuesta. Se utilizó para obtener información económica sobre los costos de materiales, mano de obra y equipos empleados en las obras, aplicando como instrumento el cuestionario de costo de mano de obra, materiales y equipos (Anexo N° 3).

Medición del rendimiento de la mano de obra. Se realizó mediante el seguimiento y registro del tiempo y área encofrada durante la ejecución, utilizando como instrumento el formato para cálculo de rendimiento de la mano de obra en el encofrado de columnas y vigas (Anexo N° 5).

Análisis del rendimiento de los materiales. Permitió determinar el aporte unitario de los insumos empleados en cada sistema, para lo cual se empleó el formato de cálculo del aporte de materiales (Anexo N° 7), considerando desperdicios y reutilizaciones.

3.5.2. *Instrumentos para la recolección de datos*

Los instrumentos empleados constituyeron herramientas validadas mediante juicio de expertos, cada uno diseñado para recopilar datos técnicos, económicos y cualitativos relacionados con el proceso de encofrado de madera y fenólico en columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota.

Formatos de observación directa. Para el proceso de registro de la observación de las características de la vivienda, características de los elementos estructurales antes y después del encofrado se han utilizado los siguientes instrumentos:

- **Ficha de registro de las características de las viviendas (Anexo N° 2).** Este instrumento permitió recopilar información básica y descriptiva de cada vivienda evaluada, como ubicación, número de pisos, tipo de estructura, materiales predominantes y etapa de construcción. Su propósito fue contextualizar las condiciones de obra en las que se ejecutó el proceso de encofrado.
- **Ficha de datos del elemento estructural (Anexo N° 4).** Se utilizó para registrar de forma detallada las dimensiones y características técnicas de las columnas y vigas analizadas, incluyendo largo, ancho, alto, tipo de encofrado empleado y cantidad total de elementos por vivienda.
- **Formato de análisis de la calidad del acabado superficial (Anexo N° 6).** Sirvió para evaluar visualmente la uniformidad, porosidad y apariencia estética de la superficie del concreto, utilizando la escala Likert de 1 a 5. .

Cuestionario de costo de mano de obra, materiales y equipos (Anexo N° 3). Permitted recopilar datos económicos directamente de maestros de obra y encargados, incluyendo precios unitarios de materiales, tarifas de mano de obra y

costos de herramientas y equipos empleados durante el encofrado. Esta información fue esencial para el cálculo de costos directos.

Formato para cálculo de rendimiento de la mano de obra en el encofrado de columnas y vigas (Anexo N° 5). Consistió en un registro detallado de las horas-hombre invertidas por la cuadrilla en el montaje de encofrados, relacionando este tiempo con el metrado ejecutado. El objetivo fue obtener el rendimiento expresado en m²/día para cada sistema de encofrado.

Formato de cálculo del aporte de materiales (Anexo N° 7). Se utilizó para cuantificar el volumen y cantidad de materiales empleados por metro cuadrado de encofrado, tales como madera, clavos, alambre y lubricante. Este instrumento facilitó la comparación del consumo entre el sistema de madera y el de fenólico.

Tabla 5

Fuentes, Técnicas e Instrumentos para la Recolección Datos

Variables	Recolección de datos		
	Fuente	Técnica	Instrumento
VI Encofrados	Primaria	Observación	Ficha de registro de las características de las viviendas (Anexo N° 2)
		directa	Ficha de datos del elemento estructural (Anexo N° 4)
VD Rendimiento	Primaria	Medición	Formato para cálculo de rendimiento de la mano de obra en el encofrado de columnas y vigas (Anexo N° 5)
	Primaria	Observación directa	Formato de análisis de la calidad del acabado superficial (Anexo N° 6)
VD Eficiencia	Primaria	Encuesta	Cuestionario de costo de mano de obra, materiales y equipos (Anexo N° 3)
	Primaria	Análisis	Formato de cálculo del aporte de materiales (Anexo N° 7)

Nota. La tabla presenta las fuentes, técnicas e instrumentos empleados para la recolección de datos, precisando además los anexos en los que se encuentran los formatos utilizados, con el fin de garantizar la trazabilidad y validez de la información obtenida en campo.

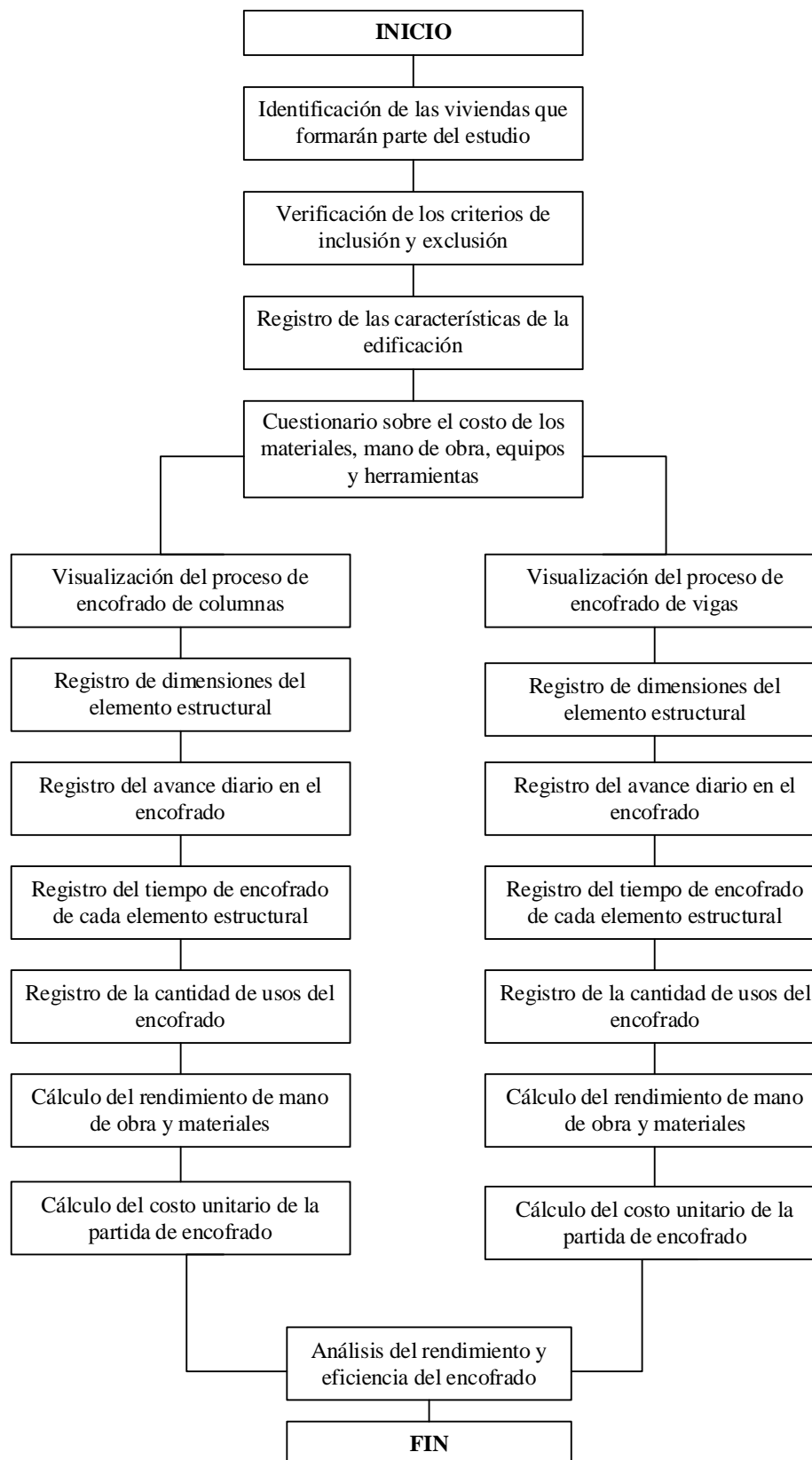
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Proceso de obtención de la información

El proceso de recolección de datos se desarrolló en la ciudad de Chota entre diciembre de 2023 y diciembre de 2024, iniciando con la identificación de 14 viviendas donde se ejecutaban labores de encofrado de columnas y vigas con madera natural o madera artificial (fenólico), mediante visitas de campo, observación directa y coordinación con maestros de obra, registrando ubicación georreferenciada, características constructivas, dimensiones, niveles y formalidad técnica. Posteriormente, se aplicaron cuestionarios estructurados para obtener costos de mano de obra, materiales y equipos, verificando in situ cantidades de insumos y precios unitarios. Se efectuó la observación sistemática del proceso constructivo, midiendo dimensiones, metrado, composición de cuadrillas, tiempos de ejecución y consumo de materiales, diferenciando según el tipo de encofrado. Asimismo, se calcularon rendimientos y aportes unitarios de materiales y mano de obra mediante fórmulas establecidas y se determinaron costos unitarios a partir de datos de campo y referencias técnicas locales. Se midieron los tiempos de encofrado y desencofrado por metro cuadrado para columnas y vigas, y se evaluó la calidad del acabado superficial mediante inspección directa y aplicación de un check list con escala Likert, complementando con registro fotográfico y observaciones cualitativas, consolidando toda la información en bases de datos para su análisis comparativo

Figura 7

Flujograma del Proceso de Recolección de Datos en las Viviendas



Nota. El flujograma presenta la secuencia de actividades realizadas en la investigación.

3.6.1.1. Identificación de viviendas en las que se realice labores de encofrado de vigas y columnas con madera natural o madera artificial (fenólico)

El estudio se realizó en la ciudad de Chota, con coordenadas UTM WGS84 17S 759839.08 m E, 9274107.32 m S, altitud de 2380 m.s.n.m., el clima de la ciudad es semifrío lluvioso, con temperatura promedio de 12.72°C a 21.08°C y fuertes precipitaciones pluviales (105 mm/hr) de noviembre a abril (SENAMHI, 2023). En el área urbana de Chota se identificaron mediante visitas de campo, observación directa y coordinación con los maestros de obra o responsables técnicos de cada vivienda, catorce (14) viviendas, donde la cuadrilla de trabajo (conformada por al menos un operario y un peón) desarrollaban labores de encofrado de vigas y columnas con madera natural o madera artificial (fenólico). El registro del trabajo se realizó desde diciembre 2023 hasta diciembre 2024.

Figura 8

Identificación de Viviendas en las que se Realice Labores de Encofrado



Nota. Vivienda en construcción en la ciudad de Chota con encofrado de madera en columnas y vigas, utilizada como unidad muestral en el estudio.

Tabla 6

Ubicación de las Viviendas en las que se Realizó Labores de Encofrado en Columnas y Vigas con Madera Natural o Madera Artificial (Fenólico) en la Ciudad de Chota

N° de viv.	Propietario	Dirección de la vivienda	Norte m S	Este m E	Tipo de encofrado
1	Reiner Idrogo Vasquez	Jr. Virgen del Carmen N° 471	9274710.52	759267.71	Fenólico
2	José Edgar Carranza Peralta	Jr. Gregorio Malca SN	9274574.95	759024.46	Madera natural
3	Julio Cesar Pérez Salazar	Jr. Cajamarca N° 513	9274012.39	759819.00	Madera natural
4	Demostenes Herrera Rafael	Jr. San Martín SN	9274546.80	760429.75	Madera natural
5	Gilberto Tapia Rimarachin	Av. Tacabamba SN	9274247.73	760431.41	Madera natural
6	Jorge Olivera Aguilar	Jr. San Martín	9274268.94	760129.55	Madera natural
7	Atilano Bustamante Irigoin	Jr. Cajamarca N° 119	9273915.07	760093.84	Madera natural
8	Dilma Herrera Rubio	Jr. Sagrado Corazón de Jesús SN	9274642.38	759580.76	Fenólico
9	Maribel Vásquez Ruiz	Jr. San Martín SN	9274535.05	760408.92	Fenólico
10	Modesto Fustamante Benavidez	Av. Tacabamba	9274492.76	760705.75	Fenólico
11	Willan Diaz Tirado	Jr. Santa Clara SN	9274242.28	9274242.28	Fenólico
12	María Silvia Silva Muñoz	Jr. José Salinas CDRA 01	9274623.64	759345.42	Madera natural
13	Vidalina Ruiz Guevara	Jr. Hernan Lopez SN	9274642.38	759580.76	Fenólico
14	Belermimo Colunchen Nuñez	Jr. Las Americas SN	9274439.09	761175.08	Fenólico

Nota. La tabla muestra la ubicación georreferenciada y el tipo de encofrado (madera o fenólico)

de las 14 viviendas analizadas en la ciudad de Chota.

a) Equipos, materiales e instrumentos utilizados

- Cámara fotográfica digital para registro visual de las obras.
- Cuaderno de campo y bolígrafos para anotaciones.
- Formatos impresos para registro de datos de identificación de la vivienda (dirección, propietario, maestro de obra, sistema de encofrado utilizado, estado de avance de obra).
- GPS portátil para georreferenciar las ubicaciones (opcional según disponibilidad).

b) Procedimiento realizado

- Se visitaron las zonas urbanas y periurbanas de la ciudad de Chota donde se desarrollaban proyectos de construcción de viviendas.
- Se efectuó una inspección visual para verificar si en la obra se estaban ejecutando trabajos de encofrado de columnas y vigas.
- Se identificó el tipo de sistema de encofrado empleado (madera natural o madera artificial/fenólico).
- Se coordinó con el maestro de obra o responsable técnico para confirmar el uso del sistema y la etapa constructiva en la que se encontraba la obra.
- Se registraron los datos en los formatos preestablecidos, incluyendo dirección, cantidad de niveles de la vivienda y sistema de encofrado utilizado.
- Se tomó registro fotográfico de las viviendas identificadas para documentar el estado de la obra y el tipo de encofrado.

3.6.1.2.Registro de características de las viviendas

Las viviendas que conformaron la muestra del estudio diversidad en cuanto a dimensiones, características constructivas y formalidad en el proceso edificatorio. Los terrenos registraron áreas que oscilaron entre 22.50 m² y 183.75 m², con frentes desde 4.00 m hasta 10.50 m y fondos entre 4.50 m y 10.00 m. El área construida varió entre 22.50 m² y 183.75 m², con perímetros de 19.00 m a 60.30 m y edificaciones de 2 a 8 niveles, alcanzando promedio de 1 a 6 habitaciones por piso según el diseño y uso de cada inmueble. Desde el punto de vista técnico, todas las viviendas contaron con planos arquitectónicos y estructurales, sin embargo, la licencia de construcción no estuvo presente en todos los casos, registrándose su ausencia en cinco viviendas, mientras que la asistencia técnica se aplicó en la mayoría, salvo en un caso donde no se contó con supervisión profesional.

Tabla 7

Datos Geométricos de las Viviendas en las que se Realizó el Encofrado de Columnas y Vigas en la Ciudad de Chota

N° de vivienda	Área construida (m2)	Perímetro (m)	N° de pisos	Promedio de habitaciones por piso
1	126	52.6	6	5
2	90.3098	43.53	2	4
3	22.5	19	4	1
4	128.79	47.655	2	4
5	142.6	60.3	4	6
6	150	51	3	4
7	82.5	37	5	2
8	128	48	6	4
9	102.696	47.26	6	4
10	53.52	33.48	8	4
11	183.75	56	6	6
12	93.75	43.5	4	4
13	152	54	4	4
14	101.25	47.25	4	4

Nota. La tabla resume los principales datos geométricos de las 14 viviendas estudiadas en Chota, incluyendo área construida, perímetro, número de pisos y promedio de habitaciones por nivel.

3.6.1.3. Aplicación de cuestionario sobre costos de materiales, mano de obra, equipos y/o herramientas

Durante esta fase, se recopiló información económica y técnica mediante la aplicación de un cuestionario estructurado, dirigido a las cuadrillas de trabajo encargadas del encofrado de columnas y vigas con madera natural y madera artificial (fenólico). El instrumento incluyó consultas sobre el pago diario recibido por el maestro de obra, operario y peón; el costo de los equipos y/o herramientas empleadas (martillo carpintero, wincha, cortadora, taladro, alicate, serrucho, plomada y nivel de burbuja); así como el precio unitario de los materiales utilizados (puntales, barrotes, tablas, tablero fenólico, lubricante, clavos y alambre). Adicionalmente, se solicitó información sobre la cantidad de materiales consumidos por metro cuadrado en el proceso de encofrado, la cual fue verificada in situ mediante observación directa.

Figura 9

Tesista con el Maestro de Obra Luego de la Aplicación de Cuestionario Sobre Costos de Materiales, Mano de Obra, Equipos y/o Herramientas



Nota. La figura muestra a los tesistas con el maestro de obra que respondió el cuestionario de costos en el encofrado de columnas y vigas en una vivienda de la ciudad de Chota.

3.6.1.4.Observación del proceso de encofrado de columnas y vigas con madera natural o artificial (fenólico) y registro de datos de interés

Durante esta etapa, se realizó el seguimiento sistemático al proceso de encofrado de columnas y vigas en viviendas que utilizaban madera natural o madera artificial (fenólico), con el fin de obtener datos técnicos para el análisis de rendimiento, consumo de materiales y características constructivas. La observación se efectuó directamente en obra, registrando tanto las dimensiones de los elementos estructurales como la composición y desempeño de las cuadrillas, así como el tiempo requerido para la ejecución de cada encofrado. Además, se cuantificaron los materiales empleados, detallando entre puntales, barrotos, tablas, tableros fenólicos, lubricantes, clavos y alambre.

a) Equipos, materiales e instrumentos utilizados:

- Cinta métrica y flexómetro.
- Cronómetro para registro de tiempos de ejecución.
- Cuaderno de campo y formatos impresos para el registro de datos técnicos.
- Cámara fotográfica para documentar el proceso y verificar posteriormente dimensiones y condiciones de montaje.
- Lápiz, lapicero y portapapeles para anotaciones en terreno.

b) Procedimiento realizado:

- Se ubicaron las viviendas seleccionadas en las que se realizaban trabajos de encofrado de columnas o vigas con madera natural o fenólico.
- Se identificó cada elemento estructural en proceso, asignándole código y registrando su número, forma y dimensiones (largo, ancho y alto).
- Se midieron las dimensiones específicas del encofrado, considerando largo, ancho o alto según correspondiera al tipo de elemento.

- Se calculó el metrado parcial y total de la superficie encofrada para cada elemento observado.
- Se registró la composición de la cuadrilla asignada a la tarea, anotando el número de operarios y de peones.
- Se cronometró el tiempo total de ejecución del encofrado desde el inicio del armado hasta la finalización del montaje.
- Se contabilizaron las cantidades de materiales empleados en cada elemento, incluyendo puntales, barrotes, tablas, tableros fenólicos, lubricantes, clavos y alambre.
- Se verificó la consistencia de los datos mediante contraste con observaciones visuales y fotografías tomadas en campo.

Figura 10

Observación del Proceso de Encofrado de Vigas y Registro de Datos de Interés



Nota. La figura evidencia el proceso de encofrado de vigas y el registro de datos necesarios para el análisis del estudio.

3.6.1.5. Proceso de encofrado de columnas y vigas con madera natural o artificial (fenólico) y registro de datos de interés

a) Encofrado de columnas con madera natural

El encofrado de columnas con madera natural inició con la selección y corte de tablas de acuerdo con las dimensiones especificadas en los planos estructurales. Posteriormente, se procedió al armado de los bastidores laterales, uniendo las tablas mediante clavos y reforzándolas con barrotes para garantizar la alineación vertical y la estabilidad. Se instalaron puntales y elementos de arriostramiento para mantener el plomo y evitar deformaciones durante el vaciado de concreto. El montaje se realizó directamente en el sitio de la columna, asegurando el ajuste correcto de las piezas y la ausencia de aberturas que pudieran ocasionar filtraciones de lechada. No se utilizó lubricante, por lo que se prestó especial atención al retiro del encofrado para evitar daños superficiales en el concreto.

Figura 11

Encofrado de Columnas con Madera



Nota. La figura muestra el uso de encofrado de madera en columnas de una de las viviendas analizadas en Chota.

b) Encofrado de columnas con fenólico

Para el encofrado de columnas con fenólico, se utilizaron tableros de 1.22 x 2.44 m, los cuales fueron adaptados a las dimensiones de una tabla de madera cortándolos por su ancho en piezas de 20 cm, obteniéndose así seis tablas de fenólico por cada tablero. Estas tablas fueron empleadas como caras de encofrado, siguiendo un procedimiento de montaje similar al utilizado con madera natural: armado de bastidores, colocación de barros de refuerzo y ajuste mediante clavos y alambre. Sin embargo, se incorporó de manera obligatoria la aplicación de lubricante de aceite en toda la superficie interna de las tablas fenólicas, con el objetivo de facilitar el desencofrado, prolongar la vida útil de los paneles y mejorar la calidad del acabado superficial del concreto. El aseguramiento del plomo se realizó con puntales y arriostres estratégicamente ubicados.

Figura 12

Encofrado de Columnas con Madera Artificial Fenólico



Nota. La figura muestra el uso de encofrado de madera artificial (fenólico) en columnas de una de las viviendas analizadas en Chota.

c) Encofrado de vigas con madera natural

El proceso de encofrado de vigas con madera natural comenzó con la medición y corte de tablas para formar las caras laterales y la base del encofrado. Se ensamblaron los paneles en obra, fijándolos con clavos y un sistema de barrotes que aportaba rigidez y estabilidad. La base se apoyó en puntales regulables y se colocaron sopandas para evitar la deformación por peso del concreto fresco. Los laterales fueron unidos y nivelados para garantizar la sección transversal de la viga conforme a diseño. Al no emplearse lubricante, se extremaron los cuidados para evitar que las tablas quedaran adheridas al concreto durante el desencofrado.

Figura 13

Encofrado de Vigas con Madera Natural



Nota. La figura muestra el uso de encofrado de madera natural en vigas de una de las viviendas analizadas en Chota.

d) Encofrado de vigas con fenólico

El encofrado de vigas con fenólico empleó el mismo sistema de paneles adaptados que en columnas, partiendo de tableros de 1.22 x 2.44 m cortados en piezas de 20 cm de ancho. Las tablas resultantes fueron instaladas como caras laterales y base del encofrado, siguiendo el procedimiento estándar: ensamblaje con clavos, refuerzo con barrotes y soporte sobre puntales y sopandas. Antes del montaje, todas las superficies internas en contacto con el concreto fueron recubiertas con lubricante de aceite para facilitar el desencofrado y preservar las condiciones del panel. Este procedimiento permitió obtener superficies lisas y uniformes en el concreto, minimizando retrabajos de acabado. El control de nivel y alineación se realizó mediante el ajuste de puntales y arriostramientos.

Figura 14

Encofrado de Vigas con Madera Artificial Fenólica



Nota. La figura muestra el uso de encofrado de madera artificial (fenólico) en columnas de una de las viviendas analizadas en Chota.

3.6.1.6. Determinación del rendimiento de encofrado de columnas y vigas con madera natural o artificial (fenólico)

Para determinar el rendimiento de la mano de obra en el encofrado de columnas y vigas con madera natural o artificial (fenólico) en las viviendas de la ciudad de Chota se ha tenido como datos las dimensiones del encofrado (largo, ancho, alto), el metrado parcial y total del encofrado utilizado, la descripción de la cuadrilla (1 Op + 1 Pe), el tiempo en el que se realizó el encofrado, y la jornada laboral diaria (correspondiente a 8 horas). A partir de dichos datos se han aplicado las ecuaciones pertinentes a fin de conocer los aportes unitarios y el rendimiento por cada vivienda, no obstante, en algunas viviendas varias columnas presentaban el mismo rendimiento, por lo cual también se ha estimado el promedio ponderado.

a) Metrados del encofrado

$$\text{Metrado parcial 1} = \text{Largo} \times \text{Alto} \times N^{\circ} \text{ de veces} \quad (5)$$

$$\text{Metrado parcial 2} = \text{Ancho} \times \text{Alto} \times N^{\circ} \text{ de veces} \quad (6)$$

$$\text{Metrado} = \text{Metrado 1} + \text{Metrado 2} \quad (7)$$

b) Aporte unitario de mano de obra

$$\text{Ap. Unt. Op.} = \frac{N^{\circ} \text{ de operarios} \times \text{Tiempo de encofrado}}{\text{Metrado}} \quad (8)$$

$$\text{Ap. Unt. Pe.} = \frac{N^{\circ} \text{ de peones} \times \text{Tiempo de encofrado}}{\text{Metrado}} \quad (9)$$

$$\text{Aporte unitario} = \text{Ap. Unt. Op.} + \text{Ap. Unt. Pe.} \quad (10)$$

c) Rendimiento de la mano de obra

$$\text{Rendimiento} = \frac{(N^{\circ} \text{ Op} + N^{\circ} \text{ Pe}) \times \text{Jornada diaria}}{\text{Aporte unitario}} \quad (11)$$

Promedio ponderado

$$\text{Rendimiento ponderado} = \frac{\sum N^{\circ} \text{ de columnas en cda viv.} \times \text{Rendimiento cda viv.}}{\sum \text{Número de columnas}} \quad (12)$$

3.6.1.7. Determinación de la cantidad de materiales para encofrado de columnas y vigas con madera natural o artificial (fenólico)

Para determinar la cantidad de materiales se ha aplicado las ecuaciones de cálculo de materiales dadas por CAPECO (2006) para columnas típicas y para vigas típicas diferenciándolas de acuerdo al material del encofrado: madera natural o madera artificial (fenólico).

a) Encofrado en columnas típicas con madera natural

Para el encofrado de columnas típicas con madera natural se utilizan tablones, barrotes, puntales y estacas, pero todos estos integran el material madera natural en p2, adicional a ello, se considera el cálculo del aporte unitario de alambre negro N° 8 y clavos de 3". Las fórmulas utilizadas son:

U.M., es la unidad de medida del encofrado que se está utilizando en la columna, se obtiene de la multiplicación de las dimensiones del elemento estructural.

$$\text{Unidad de medida (U.M)} = (2 \times \text{Largo} + 2 \times \text{Ancho}) \times \text{Alto} \quad (13)$$

Para elementos de madera:

A, la sección A representa la multiplicación de la sección de los elementos utilizados en pulg. Es decir, si se utiliza un barrote de 2"x2", el valor de A sería igual a $2 \times 2 = 4$.

$$A = \text{sección del elemento en pulg} \quad (14)$$

B, es la longitud del elemento utilizado en pies lineales, siendo así, si se tiene la longitud en metros, se realiza la conversión multiplicando por 3.281.

$$B = \text{Longitud en m} \times 3.281 = \text{Longitud en pies} \quad (15)$$

C, es la cantidad de elementos a utilizar para el encofrado, este número se ha verificado en campo por medio de la observación, pero también se puede estimar dividiendo el perímetro del encofrado entre el ancho de una tabla de 20 cm.

$$C = (2 \times Largo + 2 \times Ancho)/0.20 \quad (16)$$

D, es la cantidad de material que se utiliza en el encofrado de 1 m², en pies 2. Se determina de forma general mediante la siguiente ecuación:

$$D = \frac{A \times B \times C}{12} \quad (17)$$

E, es la cantidad de material afectada por el 10% del desperdicio que suelen tener los materiales durante el proceso de encofrado.

$$E = 1.10 \times D \quad (18)$$

G, es el número de usos que tiene cada elemento del encofrado, se ha determinado a partir de lo indicado por los maestros de obra, no obstante, CAPECO (2006) establece un estándar de 6 a 10 usos.

H, es igual a la cantidad de material utilizado entre el número de usos que se le da durante el proceso de encofrado.

$$H = \frac{E}{G} \quad (19)$$

Ap. Parcial, el aporte parcial de cada material que forma parte del encofrado se determina por medio de la división del valor H entre la unidad de medida del elemento encofrado (U.M.), siendo:

$$Ap. Parcial = \frac{H}{U.M.} \quad (20)$$

Como el encofrado tiene varios componentes de madera (tablones, barrotes, pies derechos, estacas) se debe sumar el aporte parcial de cada uno de ellos determinado individualmente por las fórmulas dadas anteriormente, para determinar el aporte total de madera.

$$Aporte total = \sum Ap. Parcial de cada elemento de encofrado \quad (21)$$

Para fijaciones (clavos y alambre):

Al igual que para los componentes de madera, las fijaciones (clavos y alambre) también se determinan en base a m² de aporte unitario, pero para ello,

se utilizan como datos la cantidad de metros lineales de alambre negro y la cantidad de elementos de clavos, aplicando las siguientes ecuaciones.

Para alambre negro se hace la conversión de longitud (ML) a su valor en peso (kg), siendo este valor D, luego se multiplica por el 15% de desperdicio obteniendo el valor E, para luego dividir el valor E entre el número de usos (G) para obtener el valor H, y dividir este valor H entre la unidad de medida (U.M.) obteniendo así, el aporte unitario del alambre.

$$D = \text{Peso del alambre} \quad (22)$$

$$E = 1.15 \times D \quad (23)$$

$$H = \frac{E}{G} \quad (24)$$

$$\text{Ap. alambre} = \frac{H}{U.M.} \quad (25)$$

Para clavos se tiene como dato inicial el número de clavos (C) que se transforma en el peso de estos, siendo este el valor D, para luego multiplicar por el 15% de desperdicio para obtener el valor E, dividiendo E entre G que es el número de usos, y generalmente equivale a 2, para obtener el valor de H, y finalmente dividir H entre la unidad de medida (U.M.) para obtener el aporte unitario de los clavos de 3”.

$$C = \text{Número de clavos} \quad (26)$$

$$D = \text{Peso de los clavos} \quad (27)$$

$$E = 1.15 \times D \quad (28)$$

$$H = \frac{E}{G} \quad (29)$$

$$\text{Ap. clavos} = \frac{H}{U.M.} \quad (30)$$

b) Encofrado en columnas típicas con madera artificial (fenólicos)

En el encofrado de fenólico en columnas, simplemente se reemplaza a los tablonces de madera por tablonces de fenólico, el proceso de estimación del aporte unitario para los demás componentes se realiza de la misma manera que para encofrado de madera natural. Es decir, los barrotes, pies derechos y estacas se calculan de igual manera por separado y luego se suman para encontrar el aporte unitario de madera; la diferencia es que adicionalmente a ello, se estima el aporte unitario de los tableros de fenólico.

Para madera artificial (fenólico):

El tablero de fenólico tiene dimensiones de 1.22 m de ancho por 2.44 m de largo, por lo que, para facilitar su aplicación en obra, los trabajadores dividieron a este en tablas de 20 cm, siendo así, al dividir el ancho del panel en secciones de 20 cm, se han logrado elaborar 6 tablas de fenólico, las cuales han sido aplicadas con el proceso similar de encofrado de madera por lo cual las ecuaciones utilizadas en el cálculo y estimación fueron las siguientes:

$$Unidad\ de\ medida\ (U.M) = (2 \times Largo + 2 \times Ancho) \times Alto \quad (31)$$

A, representa la sección de los elementos utilizados en pulg. Como el fenólico tiene espesor de 18 mm equivale a 0.71 pulg x 8 pulg.

$$A = 0.71 \times 8 = 5.68 \quad (32)$$

B, es la longitud del elemento a encofrar en la unidad de pies lineales.

$$B = Longitud\ en\ m \times 3.281 = Longitud\ en\ pies \quad (33)$$

$$B = 3.5 \times 3.281 = 11.48 \quad (34)$$

C, es la cantidad de elementos a utilizar para el encofrado, este número se ha verificado en campo por medio de la observación, pero también se puede estimar dividiendo el perímetro del encofrado entre el ancho de una tabla de 20 cm.

$$C = (2 \times Largo + 2 \times Ancho)/0.20 \quad (35)$$

$$C = \frac{2 \times 0.30 + 2 \times 0.25}{0.20} = 5.5 \quad (36)$$

D, es la cantidad de material que se utiliza en el encofrado de 1 m², en pies 2.

$$D = \frac{A \times B \times C}{12} \quad (37)$$

$$D = \frac{5.68 \times 11.48 \times 5.5}{12} = 29.89 \quad (38)$$

E, es la cantidad de material afectada por el 5% del desperdicio, debido a que cuando se utiliza fenólico los desperdicios de material son menores.

$$E = 1.05 \times D \quad (39)$$

$$E = 1.05 \times 29.89 = 31.39 \quad (40)$$

G, es el número de usos que tiene cada elemento del encofrado. De acuerdo a la ficha técnica del fenólico su número de usos es de 6 a 8, mismos que se han comprobado en las viviendas de la ciudad de Chota.

H, es igual a la cantidad de material utilizado entre el número de usos.

$$H = \frac{E}{G} \quad (41)$$

$$H = \frac{31.39}{6} = 5.23 \quad (42)$$

Ap. De fenólico, se determina por medio de la división del valor H entre la unidad de medida del elemento encofrado (U.M.), siendo:

$$Ap. de fenólico = \frac{5.23}{3.85} = 1.36 \quad (43)$$

Para fijaciones (clavos y alambre):

Se sigue el mismo proceso de estimación que para madera natural.

Lubricante de aceite:

Para el cálculo de su aporte unitario simplemente se divide los galones usados entre la unidad de medida del elemento encofrado (U.M.).

$$Ap. Lubricante = \frac{Galones}{U.M.} \quad (44)$$

c) Encofrado en vigas típicas con madera natural

El proceso de cálculo del aporte unitario de materiales para vigas es similar al proceso de cálculo realizado en columnas con la diferencia de que en este caso no se realiza la estimación para todo el largo de la viga, sino para el largo en el cual se colocara un pie derecho, siendo la distancia recomendada en CAPECO (2006), 60 cm, misma que se cumple a nivel local, por lo que el cálculo se ha realizado para esta longitud o largo.

U.M., es la unidad de medida del encofrado para el largo (L) de 0.60 m.

$$\text{Unidad de medida (U.M)} = (2 \times \text{Alto} + \text{Ancho}) \times \text{Largo} \quad (45)$$

Para elementos de madera:

A, es la de los elementos utilizados en pulg. Es decir, si se utiliza un barrote de 2"x2", el valor de A sería igual a $2 \times 2 = 4$.

$$A = \text{sección del elemento en pulg} \quad (46)$$

B, es la longitud del elemento utilizado en pies lineales.

$$B = L \times 3.281 \quad (47)$$

C, es la cantidad de elementos a utilizar para el encofrado, este número se ha verificado en campo por medio de la observación, pero también se puede estimar dividiendo el perímetro del encofrado entre el ancho de una tabla de 20 cm.

$$C = (2 \times \text{alto} + \text{Ancho}) / 0.20 \quad (48)$$

D, es la cantidad de material que se utiliza en el encofrado de 1 m², en pies 2.

$$D = \frac{A \times B \times C}{12} \quad (49)$$

E, es la cantidad de material afectada por el 10% del desperdicio.

$$E = 1.10 \times D \quad (50)$$

G, es el número de usos. CAPECO (2006) establece un estándar de 4 a 14 usos.

H, es la cantidad de material utilizado entre el número de usos.

$$H = \frac{E}{G} \quad (51)$$

Ap. Parcial, el aporte parcial de cada material que forma parte del encofrado.

$$Ap. Parcial = \frac{H}{U.M.} \quad (52)$$

Como el encofrado tiene varios componentes de madera (tablones, barrotes, soleras, tornapuntas, cabezales, pies derechos, arriostres laterales, cuñas) se debe sumar el aporte parcial de cada uno de ellos determinado individualmente por las fórmulas dadas anteriormente, para determinar el aporte total de madera.

$$Aporte\ total = \sum Ap. Parcial\ de\ cada\ elemento\ de\ encofrado \quad (53)$$

Para fijaciones (clavos y alambre):

Se realiza de la misma forma que para columnas, considerando a C como el número de clavos o la longitud de alambre de acuerdo al caso, “D” el peso de los clavos o el peso del alambre de acuerdo al caso, que luego se multiplica por el 15% de desperdicio para obtener E, y se divide E entre el número de usos (G) para obtener H, y finalmente dividir H entre la unidad de medida (U.M) para obtener el aporte unitario de alambre o de clavos según sea el caso.

$$C = \text{Número de clavos o longitud de alambre} \quad (54)$$

$$D = \text{Peso de los clavos o alambre} \quad (55)$$

$$E = 1.15 \times D \quad (56)$$

$$H = \frac{E}{G} \quad (57)$$

$$Ap. clavos\ o\ alambre = \frac{H}{U.M.} \quad (58)$$

Lubricante de aceite:

Para el cálculo de su aporte unitario simplemente se divide los galones usados entre la unidad de medida del elemento encofrado (U.M.).

$$Ap. Lubricante = \frac{Galones}{U.M.} \quad (59)$$

d) Encofrado en vigas típicas con madera artificial (fenólico)

En el encofrado de fenólico en vigas, simplemente se reemplaza a los tablonces de madera por tablonces de fenólico, el proceso de estimación del aporte unitario para los demás componentes se realiza de la misma manera que para encofrado de madera natural. Es decir, los barrotes, soleras, tornapuntas, cabezales, pies derechos, arriostres laterales y cuñas se calculan de igual manera por separado y luego se suman para encontrar el aporte unitario de madera; la diferencia es que adicionalmente a ello, se estima el aporte unitario de los tableros de fenólico.

Para madera artificial (fenólico):

El tablero de fenólico tiene dimensiones de 1.22 m de ancho por 2.44 m de largo, por lo que, para facilitar su aplicación en obra, los trabajadores dividieron a este en tablas de 20 cm, siendo así, al dividir el ancho del panel en secciones de 20 cm, se han logrado elaborar 6 tablas de fenólico, las cuales han sido aplicadas con el proceso similar de encofrado de madera por lo cual las ecuaciones utilizadas en el cálculo y estimación fueron las siguientes:

$$Unidad\ de\ medida\ (U.M) = (2 \times Alto + Ancho) \times Largo \quad (60)$$

$$U.M. = (2 \times 0.45 + 0.25) \times 0.60 = 0.69 \quad (61)$$

A, representa la sección de los elementos utilizados en pulg. Como el fenólico tiene espesor de 18 mm equivale a 0.71 pulg x 8 pulg.

$$A = 0.71 \times 8 = 5.68 \quad (62)$$

B, es la longitud del elemento a encofrar en la unidad de pies lineales.

$$B = Longitud\ en\ m \times 3.281 = Longitud\ en\ pies \quad (63)$$

$$B = 0.60 \times 3.281 = 1.97 \quad (64)$$

C, es la cantidad de elementos a utilizar para el encofrado, este número se ha verificado en campo por medio de la observación, pero también se puede estimar dividiendo el perímetro del encofrado entre el ancho de una tabla de 20 cm.

$$C = (2 \times Alto + Ancho)/0.20 \quad (65)$$

$$C = \frac{2 \times 0.45 + 0.25}{0.20} = 5.75 \quad (66)$$

D, es la cantidad de material que se utiliza en el encofrado de 1 m², en pies 2.

$$D = \frac{A \times B \times C}{12} \quad (67)$$

$$D = \frac{5.68 \times 1.97 \times 5.75}{12} = 5.36 \quad (68)$$

E, es la cantidad de material afectada por el 5% del desperdicio, debido a que cuando se utiliza fenólico los desperdicios de material son menores.

$$E = 1.05 \times D \quad (69)$$

$$E = 1.05 \times 5.36 = 5.63 \quad (70)$$

G, es el número de usos, siendo de acuerdo a lo indicado en cada vivienda 4 usos.

H, es igual a la cantidad de material utilizado entre el número de usos.

$$H = \frac{E}{G} \quad (71)$$

$$H = \frac{5.63}{4} = 1.41 \quad (72)$$

Ap. De fenólico, se determina por medio de la división del valor H entre la unidad de medida del elemento encofrado (U.M.), siendo:

$$Ap. de fenólico = \frac{1.41}{0.69} = 2.04 \quad (73)$$

Para fijaciones (clavos y alambre):

Se sigue el mismo proceso de estimación que para madera natural.

Lubricante de aceite:

Se sigue el mismo proceso de estimación que para madera natural.

3.6.1.8. Determinación del costo unitario para encofrado de columnas y vigas con madera natural o artificial (fenólico)

Para determinar el costo unitario del encofrado de columnas y vigas con madera natural o fenólico se consideraron los aportes unitarios de mano de obra obtenidos en el cálculo de materiales. Adicionalmente, se estableció un costo promedio de hora-hombre y de insumos básicos (lubricante de aceite quemado en gal, clavos en kg y alambre en kg), a partir del cuestionario aplicado a los maestros de obra de las viviendas estudiadas. En el caso de la madera (puntales, barrotes, tablas y tableros triplay), los precios fueron registrados en el cuestionario por unidad de elemento, pero para el análisis se expresaron en pies cuadrados (p²). Por ello, se adoptaron valores de referencia de análisis de costos unitarios de proyectos locales y nacionales, como el expediente técnico del Colegio N.º 093 de Zarumilla (Expediente técnico, 2023), que reporta S/ 9.92 por p² de madera tornillo y S/ 14.59 por p² de tablero fenólico.

a) Costos teóricos de los materiales determinados de acuerdo a otros expedientes técnicos y/o cotizaciones

Los datos que se han usado en este estudio son: (Expediente técnico, 2023)

- Precio del p² de madera: 9.92 soles
- Precio del p² de tablero de fenólico (1.22 m x 2.44 m): 14.59 soles
- Herramientas 3% de la mano de obra

b) Costos calculados de acuerdo a datos del cuestionario

Costo de mano de obra

$$\text{Costo prom} = (\text{Costo M.O. Fe. Col} + \text{Costo M.O. Mad. Col} + \text{Costo M.O. Fe. Vig} + \text{Costo M.O. Mad. Vig})/4 \quad (74)$$

Costos de materiales

$$\text{Costo prom} = (\text{Costo M1.Fe.Col} + \text{Costo M1.Mad.Col} + \text{Costo M1.Fe.Vig} + \text{Costo M1.Mad.Vig})/4 \quad (75)$$

c) Fórmulas para el análisis de costos unitarios

Mano de obra (M.O.)

$$\text{Cantidad} = \frac{8 \times \text{Cuadrilla}}{\text{Rendimiento}} \quad (76)$$

$$\text{Costo por categoria} = \text{Cantidad} \times \text{Precio} \quad (77)$$

$$\text{Costo M.O.} = \text{Costo maestro obra} + \text{Costo op.} + \text{Costo pe.} \quad (78)$$

Materiales

$$\text{Costo por material} = \text{Cantidad} \times \text{Precio} \quad (79)$$

$$\text{Costo materiales} = \sum \text{Costo cada material} \quad (80)$$

Equipos

$$\text{Costo equipos} = 3\% \times \text{Costo de M.O.} \quad (81)$$

Costo unitario total

$$\text{Costo unitario} = \text{Costo parcial de M.O.} + \text{Costo parcial de materiales} + \text{costo parcial de equipos} \quad (82)$$

Figura 15

Determinación del Presupuesto en el Programa Presupuestos.pe

Partida	Unidad	Metrado	Precio	Mano de Obra	Materiales	Equipos	Subcontratos	Subpartidas
3.1 = OBRAS DE CONCRETO ARMADO			342.52	60.38	280.58	3.81	0.00	0.00
3.1.1 = COLUMNAS			106.01	20.64	115.50	0.89	0.00	0.00
1.1.1.1 ENCOFRADO + DESENCORADO CON FENÓCID EN COLUMNAS	M2	1.00	81.80	17.18	25.78	0.47	0.00	0.00
1.1.1.2 ENCOFRADO + DESENCORADO CON MAQUINA EN COLUMNAS	M2	1.00	76.81	39.01	17.89	0.42	0.00	0.00
3.2 = VIGAS			176.48	30.54	145.83	0.62	0.00	0.00
1.1.1.1 ENCOFRADO + DESENCORADO CON FENÓCID EN VIGAS	M2	1.00	89.80	13.89	71.79	0.47	0.00	0.00
1.1.1.2 ENCOFRADO + DESENCORADO CON MAQUINA EN VIGAS	M2	1.00	96.68	16.65	75.27	0.45	0.00	0.00

Resultante: 0.89, MO: 14.88, MD: 71.27, EQ: 0.41, SC: 0.00, SP: 0.00, CO: 06.88

Item	Unidad	Cantidad	Costo	Parcial
CORRIDO	M2	0.1800	0.8800	12.80
UPGRADO	M2	1.0000	0.8000	4.80
PEDR	M2	1.0000	0.8000	7.50
MANGERA PARA ENCOFRADO	M	0.3700	8.00	60.21
CLASOLET	M2	0.3400	5.30	1.17
ALAMBRE REDDO 17x8	M	0.3000	4.50	1.25
LUBRICANTE P/UBICAR LFP 5 GALONES	M	0.3000	5.00	0.59
HERRAMIENTAS MANUALES	M	0.8000	14.98	0.45

Nota. Presupuestos.pe. 2025.

3.6.1.9. Determinación del tiempo para encofrado y desencofrado de columnas y vigas con madera natural o artificial (fenólico)

El proceso para determinar el tiempo de ejecución del encofrado y desencofrado de columnas y vigas se realizó mediante la medición directa del tiempo requerido para completar cada elemento, considerando tanto la colocación como el retiro del encofrado. Una vez obtenidos los tiempos totales por elemento, se empleó el metrado de encofrado (m²) correspondiente a cada caso para calcular el tiempo específico por metro cuadrado, expresado en minutos. Este procedimiento permitió realizar comparaciones entre los tiempos de ejecución de encofrado con madera natural y fenólico, diferenciando entre elementos verticales (columnas) y horizontales (vigas).

a) Equipos, materiales e instrumentos utilizados

- Cronómetro digital.
- Wincha metálica de 5 metros.
- Formatos de registro de tiempos y metrados.
- Lápices y planillas de anotación.

b) Procedimiento realizado

- Se identificó previamente el elemento estructural (columna o viga) a medir, verificando su ubicación, dimensiones y tipo de encofrado utilizado (madera natural o fenólico).
- Se colocó el cronómetro en posición de inicio en el momento en que la cuadrilla comenzaba las labores de encofrado, contabilizando todo el tiempo efectivo de trabajo hasta la finalización de la colocación del elemento.

- Se repitió el procedimiento para el desencofrado, iniciando la medición desde el primer retiro de piezas hasta la liberación total del elemento.
- Se anotaron en el formato los tiempos parciales y totales de ejecución para cada elemento, especificando piso, vivienda y tipo de material empleado.
- Paralelamente, se realizó el metrado de encofrado (m^2) correspondiente a cada elemento, considerando las dimensiones reales ejecutadas.
- Se calculó el tiempo por metro cuadrado (min/m^2) dividiendo el tiempo total registrado entre el metrado respectivo.

$$\text{Tiempo de encofrado en min} = \text{Tiempo en horas} \times 60 \quad (83)$$

$$\text{Tiempo de encofrado en horas} = \frac{\text{Tiempo en minutos}}{60} \quad (84)$$

$$\text{Tiempo por } 1 m^2 = \frac{\text{Tiempo en minutos}}{\text{Metrado realizado}} \quad (85)$$

Figura 16

Tesistas Observando la Preparación para el Desencofrado en Columnas



Nota. La figura presenta la observación en campo para el registro de los tiempos empleados en el desencofrado de columnas en las viviendas de estudio.

3.6.1.10. Verificación de la calidad del acabado superficial de columnas y vigas encofrados con madera natural o artificial (fenólico)

El proceso de verificación de la calidad del acabado superficial de columnas y vigas se realizó mediante inspección directa de cada elemento estructural una vez culminadas las actividades de desencofrado. La evaluación estuvo a cargo de los tesisistas, quienes utilizaron un check list diseñado para calificar el acabado superficial empleando una escala tipo Likert de cinco niveles: 5 (Excelente), 4 (Bueno), 3 (Regular), 2 (Malo) y 1 (Muy malo). Este procedimiento permitió cuantificar de manera estandarizada la apariencia y uniformidad del acabado, identificando posibles defectos tales como irregularidades, marcas de junta, desprendimientos o rugosidades, con el fin de comparar el desempeño de los sistemas de encofrado de madera natural y de madera artificial (fenólico).

Tabla 8

Check List Utilizado para la Verificación de la Calidad del Acabado Superficial

Elemento evaluado	5	4	3	2	1	Observaciones
Código						
Tipo de encofrado						
Criterio de evaluación						
Uniformidad superficial						
Presencia de marcas de junta						
Fugas de lechada visibles						
Defectos puntuales (descascarado, rugosidad, porosidad)						
Acabado estético general						

Nota. 5: Excelente (acabado totalmente uniforme, sin imperfecciones visibles), 4: Bueno (acabado uniforme con defectos mínimos), 3: Regular (defectos visibles, pero no comprometen el uso), 2: Malo (acabado irregular con defectos evidentes que afectan la estética), 1: Muy malo (acabado deficiente con fallas graves en la superficie).

a) Equipos, materiales e instrumentos utilizados

- Lista de verificación (check list) impresa para calificación en campo.
- Lápiz y portapapeles para el registro de observaciones.
- Cámara fotográfica digital para documentación visual de los elementos evaluados.
- Equipo de protección personal (EPP) para trabajo en obra: casco, chaleco, guantes y calzado de seguridad.

b) Procedimiento realizado

- Se identificaron en obra las columnas y vigas encofradas con madera natural y con fenólico, que se encontraban listas para el proceso de desencofrado.
- Una vez retirado el encofrado, se procedió a la inspección visual directa de las superficies, garantizando iluminación suficiente para una apreciación precisa de los detalles.
- Se aplicó el check list diseñado, calificando cada elemento según la escala Likert previamente establecida (5 a 1), en función de la uniformidad, ausencia de imperfecciones y calidad estética del acabado superficial.
- Se registraron las observaciones complementarias necesarias para explicar las calificaciones asignadas, destacando aspectos positivos y negativos.
- Se tomaron fotografías de cada elemento evaluado para respaldar la información y permitir un análisis posterior comparativo entre los sistemas de encofrado.
- Finalmente, se consolidaron las calificaciones en una base de datos, clasificándolas por tipo de elemento (columna o viga) y por sistema de encofrado (madera natural o fenólico).

Figura 17

Verificación de la Calidad del Acabado Superficial de las Columnas



Nota. La figura muestra la verificación del acabado superficial en columnas, utilizada para evaluar la calidad del encofrado.

Figura 18

Verificación de la Calidad del Acabado Superficial de las Vigas



Nota. La figura presenta la inspección del acabado superficial de las vigas, como parte del análisis de la calidad del encofrado.

3.6.2. *Procesamiento de datos*

Los datos recolectados en campo se organizaron en Microsoft Excel 2024, donde fueron depurados, agrupados y clasificados por tipo de encofrado y elemento estructural. Se elaboraron tablas y gráficos con promedios, totales y medidas de dispersión para identificar tendencias y diferencias en rendimiento, consumo de materiales, tiempos y costos.

3.6.3. *Análisis de datos*

El análisis se realizó en Minitab 22. Al no cumplirse la normalidad (prueba Anderson-Darling), se aplicó la prueba no paramétrica de Mann–Whitney con un nivel de significancia del 5%. Esto permitió contrastar la hipótesis y determinar diferencias en rendimiento y eficiencia entre encofrados de madera y fenólico.

3.7. Aspectos éticos

Durante el desarrollo de la investigación se cumplió estrictamente con los principios éticos vinculados a la autoría, la confiabilidad y el uso responsable de la información. Todas las fuentes bibliográficas y documentales consultadas fueron referenciadas siguiendo las normas APA (7.^a ed.), asegurando la integridad académica y evitando el plagio. La recolección de datos se efectuó mediante revisión bibliográfica y trabajo de campo, aplicando criterios de rigor metodológico para garantizar la validez y confiabilidad de la información obtenida, misma que fue recolectada en los instrumentos validados por juicio de expertos. Asimismo, se priorizaron los valores de respeto y honestidad, destacados por Ocampo (2022), evidenciados en la presentación fidedigna de los resultados y en el trato cordial y profesional hacia los participantes y colaboradores del estudio.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados

4.1.1. Rendimiento del encofrado de madera y encofrado de fenólico en columnas y vigas de viviendas

a) Encofrado de columnas y vigas

Los resultados obtenidos en campo permitieron calcular el rendimiento promedio de la mano de obra para el encofrado de columnas y vigas, diferenciando entre el uso de madera y fenólico como material de encofrado. Al contrastar estos valores con los rendimientos de referencia establecidos por CAPECO (2006), 10 m²/día para columnas y 9 m²/día para vigas, se pueden identificar que ambos tipos de encofrado se encuentra dentro del rango esperado, siendo el encofrado de madera el que mostró, en promedio, mejor desempeño productivo en la realidad de obra observada en la ciudad de Chota. Esto está asociado a la experiencia previa de los trabajadores con este tipo de material y su facilidad para ser cortado, clavado y ajustado directamente en obra.

Tabla 9

Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas y Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Promedio de Metrado total (m ²)	Tiempo promedio (hr)	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt. 1 OP + 1 PE	Promedio de Rendimiento (m ² /día)
Columnas	3.54	2.75	0.83	0.83	1.66	9.97
Fenólico	2.76	2.33	0.87	0.87	1.74	9.33
Madera	4.31	3.17	0.79	0.79	1.57	10.60
Vigas	4.56	3.78	0.86	0.86	1.72	9.64
Fenólico	4.88	4.14	0.88	0.88	1.77	9.39
Madera	4.25	3.42	0.83	0.83	1.67	9.89

Nota. La tabla compara promedios ponderados obtenidos de la Tabla 17, Tabla 18, Tabla 23 y

Tabla 24 del presente informe de tesis.

b) Desencofrado de columnas y vigas

Los resultados de campo permitieron calcular el rendimiento promedio de la mano de obra para el desencofrado de columnas y vigas, diferenciando entre el uso de madera y fenólico. Al contrastar con los valores de referencia de CAPECO (2006), de 40 m²/día para columnas y 36 m²/día para vigas, se observa que el desencofrado con fenólico se ubica por encima del estándar en columnas (41.20 m²/día) y próximo en vigas (35.36 m²/día), mientras que el sistema de madera presenta rendimientos menores tanto en columnas (33.13 m²/día) como en vigas (31.29 m²/día), quedando por debajo de los valores referenciales. Esto indica que el uso del fenólico permite una mayor rapidez en el retiro de moldes.

Tabla 10

Rendimiento del Desencofrado de Madera y Fenólico en Columnas y Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de desencofrado	Cuadrilla	Promedio de Metrado total (m ²)	Tiempo (hr)	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt.	Promedio de Rendimiento (m ² /día)
Columnas	1 OP + 2 PE	3.54	0.79	0.22	0.435	0.66	37.165
Fenólico		2.76	0.54	0.20	0.39	0.59	41.20
Madera		4.31	1.04	0.24	0.48	0.73	33.13
Vigas	1 OP + 1 PE	4.56	1.09	0.245	0.245	0.48	33.325
Fenólico		4.88	1.10	0.23	0.23	0.45	35.36
Madera		4.25	1.09	0.26	0.26	0.51	31.29

Nota. La tabla compara promedios ponderados de la Tabla 27, Tabla 28, Tabla 31 y Tabla 32.

c) Encofrado y desencofrado de columnas

Los resultados evidencian que en el encofrado de columnas el sistema de madera alcanzó mayor rendimiento promedio (10.60 m²/día) respecto al fenólico (9.33 m²/día), lo que coincide con la mayor experiencia del personal en el uso de este material tradicional. En contraste, en el desencofrado se observa un comportamiento inverso: el fenólico registró rendimiento superior (41.20 m²/día) frente a la madera (33.13 m²/día), superando además el valor de referencia de CAPECO (40 m²/día).

Tabla 11

Rendimiento del Encofrado y Desencofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Partida	Tipo de encofrado	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt. 1 OP + 1 PE	Promedio de Rendimiento (m ² /día)
Encofrado	Fenólico	0.87	0.87	1.74	9.33
	Madera	0.79	0.79	1.57	10.6
Desencofrado	Fenólico	0.2	0.39	0.59	41.2
	Madera	0.24	0.48	0.73	33.13

d) Encofrado y desencofrado de vigas

En el caso de las vigas, ambos sistemas presentaron rendimientos similares en el encofrado, con ligera ventaja de la madera (9.89 m²/día) sobre el fenólico (9.39 m²/día), valores que se encuentran dentro de lo esperado según CAPECO (9 m²/día). En el desencofrado, nuevamente el fenólico mostró mejor desempeño (35.36 m²/día) frente a la madera (31.29 m²/día), acercándose al valor de referencia de 36 m²/día. Esto confirma la tendencia ya observada en columnas: la madera mantiene mejores resultados en el montaje por familiaridad del personal, mientras que el fenólico es más eficiente en el desmontaje por sus características físicas que reducen adherencia y facilitan la liberación de los moldes.

Tabla 12

Rendimiento del Encofrado y Desencofrado de Madera y Fenólico en Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Partida	Tipo de encofrado	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt.	Promedio de Rendimiento (m ² /día)
Encofrado	Fenólico	0.88	0.88	1.77	9.39
	Madera	0.83	0.83	1.67	9.89
Desencofrado	Fenólico	0.23	0.23	0.45	35.36
	Madera	0.26	0.26	0.51	31.29

4.1.1.1. Rendimiento del encofrado en columnas

En el caso de las columnas, el rendimiento promedio general fue de 9.97 m²/día, valor muy próximo al estándar de CAPECO. Cuando se utilizó encofrado fenólico, se obtuvo rendimiento de 9.33 m²/día, lo cual representa una diferencia de 11.99% a favor del encofrado tradicional. En contraste, el encofrado con madera alcanzó rendimiento superior, con 10.60 m²/día, lo cual representa desempeño por encima del estándar. Este resultado sugiere que, para columnas, el personal está más familiarizado con el uso de madera, lo que favorece su eficiencia, así mismo, la manipulación del fenólico al ser un material nuevo para el personal, porque lo estaban utilizando por primera vez, ha requerido mayor tiempo de ajuste en su instalación.

Tabla 13

Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Promedio de Metrado total (m2)	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt. 1 OP + 1 PE	Promedio de Rendimiento (m2/día)
Fenólico	2.76	0.87	0.87	1.74	9.33
Madera	4.31	0.79	0.79	1.57	10.60
Promedio general	3.54	0.83	0.83	1.66	9.97

Tabla 14

Porcentaje de Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Promedio de Rendimiento (m2/día)	% respecto a CAPECO (2006)	% respecto al encofrado convencional
Fenólico	9.33	93.28%	88.01%
Madera	10.60	105.98%	100.00%
Promedio general	9.97	99.71%	94.08%

a) Rendimientos por número de piso

El encofrado fenólico se usó hasta el cuarto piso, con rendimientos de 10.45 m²/día en el primero, 8.45 m²/día en el segundo y 9.04 m²/día en el cuarto, afectados por el traslado a mayores alturas y la falta de experiencia del personal. En cambio, la madera solo se aplicó hasta el segundo nivel, alcanzando 11.12 m²/día en el primero y 10.08 m²/día en el segundo, lo que refleja mayor dominio en su uso.

Tabla 15

Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota, de Acuerdo al Número de Piso

Número de piso en el que se usó el encofrado	Promedio de Metrado total (m ²)	Promedio de Ap.Un. Op.	Promedio de Ap.Un. Pe.	Promedio de Ap.Un. 1 OP + 1 PE	Promedio de Rendimiento (m ² /día)
Fenólico	2.76	0.87	0.87	1.74	9.33
1	3.77	0.78	0.78	1.56	10.45
2	2.39	0.95	0.95	1.91	8.45
3	2.33	0.85	0.85	1.69	9.52
4	2.19	0.89	0.89	1.77	9.04
Madera	4.31	0.79	0.79	1.57	10.60
1	5.23	0.75	0.75	1.49	11.12
2	3.39	0.83	0.83	1.65	10.08
Promedio general	3.54	0.83	0.83	1.66	9.97

b) Diferencias por vivienda

En viviendas con encofrado fenólico usado por primera vez (1, 8, 9, 10, 11, 13 y 14) los rendimientos variaron entre 8.38 y 10.23 m²/día; la vivienda 1 tuvo el más bajo (8.38 m²/día), mientras que en las viviendas 13 y 14 superaron los 10 m²/día, evidenciando una curva de aprendizaje. Con madera (2, 3, 4, 5, 6, 7 y 12), los rendimientos fueron mayores, casi todos sobre 10 m²/día y hasta 12.43 m²/día en la vivienda 5, reflejando experiencia previa del personal. La excepción fue la vivienda 12 con 7.08 m²/día por alto aporte unitario (2.26 hh), asociado a factores externos.

Tabla 16

Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota, de Acuerdo a la Vivienda

Vivienda en la que se usó el encofrado	Promedio de Metrado total (m2)	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt. 1 OP + 1 PE	Promedio de Rendimiento (m2/día)
Fenólico	2.76	0.87	0.87	1.74	9.33
1	2.29	0.96	0.96	1.92	8.38
8	2.25	0.85	0.85	1.70	9.41
9	2.13	0.88	0.88	1.76	9.08
10	2.69	0.85	0.85	1.70	9.53
11	3.34	0.91	0.91	1.81	8.93
13	3.35	0.79	0.79	1.59	10.19
14	3.59	0.82	0.82	1.64	10.23
Madera	4.31	0.79	0.79	1.57	10.60
2	4.05	0.70	0.70	1.39	11.59
3	3.76	0.75	0.75	1.50	10.99
4	3.53	0.77	0.77	1.55	10.73
5	6.74	0.64	0.64	1.29	12.43
6	4.55	0.73	0.73	1.45	11.14
7	5.48	0.80	0.80	1.59	10.10
12	2.05	1.13	1.13	2.26	7.08
Promedio general	3.54	0.83	0.83	1.66	9.97

c) Rendimientos por tipo de encofrado

El encofrado fenólico mostró un rendimiento técnico aceptable pero inferior al estándar de referencia de 10 m²/día (CAPECO, 2006), con tendencia a mejorar conforme aumenta la experiencia del equipo ejecutor, tal como se observó en viviendas con rendimientos superiores a 11 m²/día. El encofrado de madera superó tanto al promedio general como al estándar técnico establecido, mostrando un desempeño más eficiente y consistente en la ejecución de columnas.

Tabla 17*Rendimiento del Encofrado de Fenólico en Columnas de Viviendas, Chota*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Metrado total (m2)	Tiempo (hr)	Aporte unitario para 1 OP + 1 Pe			Rendimiento (m2/día)
					Op.	Pe.	Total	
1	1	10	2.60	2.30	0.88	0.88	1.77	9.04
1	2	4	2.33	2.30	0.99	0.99	1.98	8.10
1	2	10	1.96	2.00	1.02	1.02	2.04	7.84
8	3	7	2.25	1.80	0.80	0.80	1.60	10.00
8	4	4	2.25	2.00	0.89	0.89	1.78	9.00
8	4	6	2.25	2.00	0.89	0.89	1.78	9.00
9	3	2	1.75	1.50	0.86	0.86	1.71	9.33
9	3	6	2.25	2.00	0.89	0.89	1.78	9.00
9	4	2	1.75	1.50	0.86	0.86	1.71	9.33
9	4	6	2.25	2.00	0.89	0.89	1.78	9.00
10	2	1	4.88	3.20	0.66	0.66	1.31	12.19
10	2	5	2.25	2.00	0.89	0.89	1.78	9.00
10	3	1	4.88	3.20	0.66	0.66	1.31	12.19
10	3	5	2.25	2.00	0.89	0.89	1.78	9.00
11	1	2	3.36	3.20	0.95	0.95	1.90	8.40
11	1	2	3.68	3.20	0.87	0.87	1.74	9.20
11	1	4	3.84	3.00	0.78	0.78	1.56	10.24
11	2	2	2.63	2.50	0.95	0.95	1.90	8.40
11	2	4	3.00	3.00	1.00	1.00	2.00	8.00
13	1	3	4.73	3.20	0.68	0.68	1.35	11.81
13	1	5	4.05	3.00	0.74	0.74	1.48	10.80
13	2	3	2.63	2.20	0.84	0.84	1.68	9.55
13	2	5	2.25	2.00	0.89	0.89	1.78	9.00
14	1	3	5.25	3.20	0.61	0.61	1.22	13.13
14	1	5	4.50	3.00	0.67	0.67	1.33	12.00
14	2	3	2.63	2.50	0.95	0.95	1.90	8.40
14	2	5	2.25	2.30	1.02	1.02	2.04	7.83
Promedio general			2.99	2.45	0.85	0.85	1.70	9.58
Número de columnas			115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00
Promedio ponderado			2.76	2.33	0.87	0.87	1.74	9.33
Máximo			5.25	3.20	1.02	1.02	2.04	13.13
Mínimo			1.75	1.50	0.61	0.61	1.22	7.83

Tabla 18*Rendimiento del Encofrado de Madera en Columnas de Viviendas, Chota*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Metrado total (m2)	Tiempo (hr)	Aporte unitario 1 OP + 1 Pe			Rendimiento (m2/día)
					Op.	Pe.	Total	
2	1	2	3.73	2.45	0.66	0.66	1.31	12.17
2	1	8	3.20	2.45	0.77	0.77	1.53	10.43
2	2	2	5.31	3.50	0.66	0.66	1.32	12.14
2	2	8	4.68	3.00	0.64	0.64	1.28	12.47
3	1	2	3.60	2.50	0.69	0.69	1.39	11.52
3	1	2	4.80	3.00	0.63	0.63	1.25	12.80
3	1	2	5.60	3.80	0.68	0.68	1.36	11.79
3	2	2	2.21	2.30	1.04	1.04	2.09	7.67
3	2	2	2.94	2.30	0.78	0.78	1.56	10.23
3	2	2	3.43	2.30	0.67	0.67	1.34	11.93
4	1	4	4.51	2.80	0.62	0.62	1.24	12.89
4	1	6	4.75	3.00	0.63	0.63	1.26	12.67
4	2	4	2.33	2.30	0.99	0.99	1.98	8.10
4	2	6	2.45	2.15	0.88	0.88	1.76	9.12
5	1	2	8.58	5.50	0.64	0.64	1.28	12.48
5	1	6	9.36	5.80	0.62	0.62	1.24	12.91
5	2	2	4.04	2.50	0.62	0.62	1.24	12.94
5	2	6	4.41	3.00	0.68	0.68	1.36	11.76
6	1	2	4.50	3.00	0.67	0.67	1.33	12.00
6	1	6	6.50	4.50	0.69	0.69	1.38	11.56
6	2	2	2.63	2.45	0.93	0.93	1.87	8.57
6	2	6	3.25	2.30	0.71	0.71	1.42	11.30
7	1	2	4.73	3.50	0.74	0.74	1.48	10.80
7	1	1	5.40	4.50	0.83	0.83	1.67	9.60
7	1	6	8.10	6.00	0.74	0.74	1.48	10.80
7	2	2	2.63	2.40	0.91	0.91	1.83	8.75
7	2	1	3.00	2.40	0.80	0.80	1.60	10.00
7	2	6	4.50	3.70	0.82	0.82	1.64	9.73
12	1	1	2.63	3.00	1.14	1.14	2.29	7.00
12	1	4	1.75	2.00	1.14	1.14	2.29	7.00
12	1	3	2.25	2.50	1.11	1.11	2.22	7.20
12	2	1	2.63	3.00	1.14	1.14	2.29	7.00
12	2	4	1.75	2.00	1.14	1.14	2.29	7.00
12	2	3	2.25	2.50	1.11	1.11	2.22	7.20
Promedio general			4.07	3.07	0.81	0.81	1.62	10.34
Número de columnas			118.00	118.00	118.00	118.00	118.00	118.00
Promedio ponderado			4.31	3.17	0.79	0.79	1.57	10.60
Máximo			9.36	6.00	1.14	1.14	2.29	12.94
Mínimo			1.75	2.00	0.62	0.62	1.24	7.00

4.1.1.2. Rendimiento del encofrado vigas

En cuanto a las vigas, el rendimiento promedio general alcanzó 9.64 m²/día, lo que también supera ligeramente el valor de referencia de CAPECO. Encofrando con fenólico, el rendimiento fue de 9.39 m²/día, mientras que con madera se logró un valor de 9.89 m²/día, confirmando nuevamente la ligera ventaja operativa del encofrado tradicional en cuanto a velocidad de ejecución. Esta diferencia de aproximadamente 5.06% a favor del encofrado tradicional está relacionada con la mayor familiaridad del personal con la manipulación de la madera, ya que este tipo de encofrado fue utilizado en viviendas donde los trabajadores ya tenían experiencia previa (viviendas 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 12).

Tabla 19

Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Promedio de Metrado total (m ²)	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt. 1 OP + 1 PE	Promedio de Rendimiento (m ² /día)
Fenólico	4.88	0.88	0.88	1.77	9.39
Madera	4.25	0.83	0.83	1.67	9.89
Promedio general	4.56	0.86	0.86	1.72	9.64

Tabla 20

Porcentaje de Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Promedio de Rendimiento (m ² /día)	% respecto a CAPECO (2006)	% respecto al encofrado convencional
Fenólico	9.39	93.92%	94.56%
Madera	9.89	98.92%	100.00%
Promedio general	9.64	96.42%	97.47%

a) Rendimientos por número de piso

Al comparar rendimientos por piso, el encofrado fenólico alcanzó 9.55 m²/día en el primer nivel, descendió en el segundo (9.04 m²/día) y tercero (9.16 m²/día), pero se recuperó en el cuarto con 10.32 m²/día por mayor dominio del personal. En madera, utilizada hasta el segundo piso, los valores fueron 9.77 y 10.02 m²/día, superiores al promedio del fenólico, confirmando que la experiencia operativa influye en el desempeño.

Tabla 21

Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota, de Acuerdo al Número de Piso

Número de piso en el que se usó el encofrado	Promedio de Metrado total (m ²)	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt. 1 OP + 1 PE	Promedio de Rendimiento (m ² /día)
Fenólico	4.88	0.88	0.88	1.77	9.39
1	4.99	0.87	0.87	1.73	9.55
2	4.69	0.92	0.92	1.85	9.04
3	4.71	0.91	0.91	1.82	9.16
4	5.36	0.78	0.78	1.55	10.32
Madera	4.25	0.83	0.83	1.67	9.89
1	4.25	0.85	0.85	1.70	9.77
2	4.25	0.82	0.82	1.64	10.02
Promedio general	4.56	0.86	0.86	1.72	9.64

b) Diferencias por vivienda

El análisis por vivienda muestra variaciones en el uso del encofrado fenólico: algunas alcanzaron buenos rendimientos (vivienda 1 con 11.07 m²/día y vivienda 8 con 10.74 m²/día), mientras que otras fueron bajas (viviendas 10 y 11 con 6.83 m²/día y 2.34 hh), evidenciando influencia de la curva de aprendizaje y factores logísticos. En contraste, el encofrado de madera mostró resultados más

estables y altos, destacando la vivienda 7 con 13.08 m²/día y la vivienda 12 con 11.75 m²/día, lo que refleja mayor eficiencia por experiencia previa.

Tabla 22

Rendimiento del Encofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota, de Acuerdo a la Vivienda

Vivienda en la que se usó el encofrado	Promedio de Metrado total (m2)	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt. 1 OP + 1 PE	Promedio de Rendimiento (m2/día)
Fenólico	4.88	0.88	0.88	1.77	9.39
1	5.95	0.72	0.72	1.45	11.07
8	5.78	0.74	0.74	1.49	10.74
9	4.95	0.81	0.81	1.62	9.90
10	3.41	1.17	1.17	2.34	6.83
11	3.41	1.17	1.17	2.34	6.83
13	5.03	0.80	0.80	1.59	10.05
14	5.25	0.82	0.82	1.64	9.77
Madera	4.25	0.83	0.83	1.67	9.89
2	5.50	0.82	0.82	1.65	9.74
3	4.25	0.78	0.78	1.55	10.30
4	3.53	0.98	0.98	1.96	8.17
5	4.14	0.92	0.92	1.85	8.72
6	2.19	1.02	1.02	2.04	7.89
7	5.31	0.61	0.61	1.22	13.08
12	4.85	0.68	0.68	1.36	11.75
Promedio general	4.56	0.86	0.86	1.72	9.64

c) Rendimientos por tipo de encofrado

Aunque el encofrado fenólico mostró rendimiento técnico aceptable, los resultados sugieren que su eficiencia depende fuertemente de la experiencia del equipo, presentando rendimientos bajos en ciertas viviendas, y más altos en aquellas donde hubo repetición de procedimientos. Mientras que, el encofrado de madera mostró mejor rendimiento general y ponderado que el fenólico, con resultados más consistentes y mayor control del tiempo de ejecución, respaldado por la experiencia del personal.

Tabla 23*Rendimiento del Encofrado de Fenólico en Vigas de Viviendas, Chota*

Vivienda	Piso	N° de vigas	Metrado total (m2)	Tiempo (hr)	Aporte unitario para cuadrilla 1 OP + 1 Pe			Rendimiento
					Op. (hh/m2)	Pe. (hh/m2)	Total (hh/m2)	Instalación (m2/día)
1	1	4	5.95	4.30	0.72	0.72	1.45	11.07
1	2	4	5.95	4.30	0.72	0.72	1.45	11.07
8	3	3	5.78	4.30	0.74	0.74	1.49	10.74
8	4	3	5.78	4.30	0.74	0.74	1.49	10.74
9	3	3	4.95	4.00	0.81	0.81	1.62	9.90
9	4	3	4.95	4.00	0.81	0.81	1.62	9.90
10	2	3	3.41	4.00	1.17	1.17	2.34	6.83
10	3	3	3.41	4.00	1.17	1.17	2.34	6.83
11	1	3	3.41	4.00	1.17	1.17	2.34	6.83
11	2	3	3.41	4.00	1.17	1.17	2.34	6.83
13	1	3	5.03	4.00	0.80	0.80	1.59	10.05
13	2	3	5.03	4.00	0.80	0.80	1.59	10.05
14	1	3	5.25	4.30	0.82	0.82	1.64	9.77
14	2	3	5.25	4.30	0.82	0.82	1.64	9.77
Promedio general			4.83	4.13	0.89	0.89	1.78	9.31
Número de vigas			44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
Promedio ponderado			4.88	4.14	0.88	0.88	1.77	9.39
Máximo			5.95	4.30	1.17	1.17	2.34	11.07
Mínimo			3.41	4.00	0.72	0.72	1.45	6.83

Tabla 24*Rendimiento del Encofrado de Madera en Vigas de Viviendas, Chota*

Vivienda	Piso	N° de vigas	Metrado total (m2)	Tiempo (hr)	Aporte unitario para cuadrilla 1 OP + 1 Pe			Rendimiento
					Op. (hh/m2)	Pe. (hh/m2)	Total (hh/m2)	Instalación (m2/día)
2	1	3	6.33	5.00	0.79	0.79	1.58	10.12
2	2	3	4.68	4.00	0.86	0.86	1.71	9.35
3	1	3	4.25	3.30	0.78	0.78	1.55	10.30
3	2	3	4.25	3.30	0.78	0.78	1.55	10.30
4	1	3	3.53	3.45	0.98	0.98	1.96	8.17
4	2	3	3.53	3.45	0.98	0.98	1.96	8.17
5	1	4	3.53	3.45	0.98	0.98	1.96	8.17
5	2	1	4.51	4.20	0.93	0.93	1.86	8.58
5	2	1	4.68	3.80	0.81	0.81	1.63	9.84
5	2	1	4.85	4.00	0.83	0.83	1.65	9.69
5	2	1	5.02	4.50	0.90	0.90	1.79	8.92
6	1	1	1.91	2.00	1.05	1.05	2.09	7.65
6	1	1	2.81	3.00	1.07	1.07	2.13	7.50
6	1	1	1.84	2.00	1.09	1.09	2.18	7.35
6	2	1	1.91	2.00	1.05	1.05	2.09	7.65
6	2	1	2.81	2.50	0.89	0.89	1.78	9.00
6	2	1	1.84	1.80	0.98	0.98	1.96	8.17
7	1	3	5.31	3.30	0.62	0.62	1.24	12.88
7	2	3	5.31	3.20	0.60	0.60	1.20	13.28
12	1	3	4.85	3.30	0.68	0.68	1.36	11.75
12	2	3	4.85	3.30	0.68	0.68	1.36	11.75
Promedio general			3.93	3.28	0.87	0.87	1.74	9.46
Número de vigas			44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
Promedio ponderado			4.25	3.42	0.83	0.83	1.67	9.89
Máximo			6.33	5.00	1.09	1.09	2.18	13.28
Mínimo			1.84	1.80	0.60	0.60	1.20	7.35

4.1.1.3. Rendimiento del desencofrado en columnas

En el caso del desencofrado de columnas, el rendimiento promedio general fue de 37.17 m²/día, equivalente al 92.91% del valor referencial de CAPECO (40 m²/día). Al diferenciar por tipo de encofrado, se observa que el fenólico alcanzó 41.20 m²/día, superando tanto el estándar de CAPECO (103%) como el rendimiento del encofrado convencional de madera (124.36%). En contraste, el sistema de madera registró 33.13 m²/día, que representa solo el 82.83% del valor de referencia y fue tomado como base del 100% para la comparación relativa. Estos resultados indican que, para el desencofrado de columnas, el fenólico es más eficiente, ya que logra liberar mayor superficie en menor tiempo gracias a su superficie lisa y menor adherencia con el concreto.

Tabla 25

Rendimiento del Desencofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Promedio de Metrado total (m2)	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt. 1 OP + 2 PE	Promedio de Rendimiento (m2/día)
Fenólico	2.76	0.2	0.39	0.59	41.2
Madera	4.31	0.24	0.48	0.73	33.13
Promedio general	3.54	0.22	0.435	0.66	37.165

Tabla 26

Porcentaje de Rendimiento del Desencofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Promedio de Rendimiento (m2/día)	% respecto a CAPECO (2006)	% respecto al encofrado de madera
Fenólico	41.20	103.00%	124.36%
Madera	33.13	82.83%	100.00%
Promedio general	37.165	92.91%	112.81%

Tabla 27*Rendimiento del Desencofrado de Fenólico en Columnas de Viviendas, Chota*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Metrado total (m2)	Tiempo (hr)	Aporte unitario para 1 OP + 2 Pe			Rendimiento (m2/día)
					Op.	Pe.	Total	
1	1	10	2.60	0.50	0.19	0.38	0.58	41.60
1	2	4	2.33	0.50	0.21	0.43	0.64	37.24
1	2	10	1.96	0.42	0.21	0.43	0.64	37.63
8	3	7	2.25	0.42	0.19	0.37	0.56	43.20
8	4	4	2.25	0.42	0.19	0.37	0.56	43.20
8	4	6	2.25	0.42	0.19	0.37	0.56	43.20
9	3	2	1.75	0.33	0.19	0.38	0.57	42.00
9	3	6	2.25	0.50	0.22	0.44	0.67	36.00
9	4	2	1.75	0.33	0.19	0.38	0.57	42.00
9	4	6	2.25	0.42	0.19	0.37	0.56	43.20
10	2	1	4.88	1.00	0.21	0.41	0.62	39.00
10	2	5	2.25	0.42	0.19	0.37	0.56	43.20
10	3	1	4.88	1.00	0.21	0.41	0.62	39.00
10	3	5	2.25	0.42	0.19	0.37	0.56	43.20
11	1	2	3.36	0.67	0.20	0.40	0.60	40.32
11	1	2	3.68	0.67	0.18	0.36	0.54	44.16
11	1	4	3.84	0.67	0.17	0.35	0.52	46.08
11	2	2	2.63	0.58	0.22	0.44	0.67	36.00
11	2	4	3.00	0.58	0.19	0.39	0.58	41.14
13	1	3	4.73	1.00	0.21	0.42	0.63	37.80
13	1	5	4.05	0.75	0.19	0.37	0.56	43.20
13	2	3	2.63	0.50	0.19	0.38	0.57	42.00
13	2	5	2.25	0.42	0.19	0.37	0.56	43.20
14	1	3	5.25	1.00	0.19	0.38	0.57	42.00
14	1	5	4.50	0.83	0.19	0.37	0.56	43.20
14	2	3	2.63	0.50	0.19	0.38	0.57	42.00
14	2	5	2.25	0.50	0.22	0.44	0.67	36.00
Promedio general			2.99	0.58	0.20	0.39	0.59	41.14
Número de columnas			115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00
Promedio ponderado			2.76	0.54	0.20	0.39	0.59	41.20
Máximo			5.25	1.00	0.22	0.44	0.67	46.08
Mínimo			1.75	0.33	0.17	0.35	0.52	36.00

Tabla 28*Rendimiento del Desencofrado de Madera en Columnas de Viviendas, Chota*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Metrado total (m2)	Tiempo (hr)	Aporte unitario 1 OP + 2 Pe			Rendimiento (m2/día)
					Op.	Pe.	Total	
2	1	2	3.73	0.83	0.22	0.45	0.67	35.78
2	1	8	3.20	0.83	0.26	0.52	0.78	30.67
2	2	2	5.31	1.25	0.24	0.47	0.71	34.00
2	2	8	4.68	1.08	0.23	0.46	0.70	34.52
3	1	2	3.60	0.83	0.23	0.46	0.69	34.56
3	1	2	4.80	1.17	0.24	0.49	0.73	32.91
3	1	2	5.60	1.33	0.24	0.48	0.71	33.60
3	2	2	2.21	0.50	0.23	0.45	0.68	35.28
3	2	2	2.94	0.67	0.23	0.45	0.68	35.28
3	2	2	3.43	0.83	0.24	0.49	0.73	32.93
4	1	4	4.51	1.08	0.24	0.48	0.72	33.32
4	1	6	4.75	1.17	0.25	0.49	0.74	32.57
4	2	4	2.33	0.58	0.25	0.50	0.75	31.92
4	2	6	2.45	0.58	0.24	0.48	0.71	33.60
5	1	2	8.58	2.08	0.24	0.49	0.73	32.95
5	1	6	9.36	2.33	0.25	0.50	0.75	32.09
5	2	2	4.04	1.00	0.25	0.49	0.74	32.34
5	2	6	4.41	1.00	0.23	0.45	0.68	35.28
6	1	2	4.50	1.08	0.24	0.48	0.72	33.23
6	1	6	6.50	1.50	0.23	0.46	0.69	34.67
6	2	2	2.63	0.67	0.25	0.51	0.76	31.50
6	2	6	3.25	0.83	0.26	0.51	0.77	31.20
7	1	2	4.73	1.17	0.25	0.49	0.74	32.40
7	1	1	5.40	1.33	0.25	0.49	0.74	32.40
7	1	6	8.10	1.92	0.24	0.47	0.71	33.81
7	2	2	2.63	0.58	0.22	0.44	0.67	36.00
7	2	1	3.00	0.75	0.25	0.50	0.75	32.00
7	2	6	4.50	1.17	0.26	0.52	0.78	30.86
12	1	1	2.63	0.67	0.25	0.51	0.76	31.50
12	1	4	1.75	0.42	0.24	0.48	0.71	33.60
12	1	3	2.25	0.58	0.26	0.52	0.78	30.86
12	2	1	2.63	0.67	0.25	0.51	0.76	31.50
12	2	4	1.75	0.42	0.24	0.48	0.71	33.60
12	2	3	2.25	0.50	0.22	0.44	0.67	36.00
Promedio general			4.07	0.98	0.24	0.48	0.72	33.20
Número de columnas			118.00	118.00	118.00	118.00	118.00	118.00
Promedio ponderado			4.31	1.04	0.24	0.48	0.73	33.13
Máximo			9.36	2.33	0.26	0.52	0.78	36.00
Mínimo			1.75	0.42	0.22	0.44	0.67	30.67

4.1.1.4. Rendimiento del desencofrado vigas

En el caso del desencofrado de vigas, el rendimiento promedio general fue de 33.33 m²/día, equivalente al 83.31% del valor referencial de CAPECO (36 m²/día). Al diferenciar por tipo de encofrado, se observa que el fenólico alcanzó 35.36 m²/día, lo que representa el 88.40% del estándar de CAPECO y un 113.01% respecto al rendimiento de la madera. Por su parte, el sistema de madera registró 31.29 m²/día, equivalente al 78.23% del valor de referencia, siendo considerado como base de comparación (100%). Estos resultados muestran que, en vigas, el fenólico presenta una ventaja operativa en el desencofrado, al acercarse más al rendimiento referencial y superar ampliamente a la madera.

Tabla 29

Rendimiento del Desencofrado de Madera y Fenólico en Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Promedio de Metrado total (m2)	Promedio de Ap.Unt. Op.	Promedio de Ap.Unt. Pe.	Promedio de Ap.Unt. 1 OP + 1 PE	Promedio de Rendimiento (m2/día)
Fenólico	4.88	0.23	0.23	0.45	35.36
Madera	4.25	0.26	0.26	0.51	31.29
Promedio general	4.56	0.245	0.245	0.48	33.325

Tabla 30

Porcentaje de Rendimiento del Desencofrado de Madera y Fenólico en Columnas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Promedio de Rendimiento (m2/día)	% respecto a CAPECO (2006)	% respecto al encofrado de madera
Fenólico	35.36	88.40%	113.01%
Madera	31.29	78.23%	100.00%
Promedio general	33.325	83.31%	106.50%

Tabla 31*Rendimiento del Desencofrado de Fenólico en Vigas de Viviendas, Chota*

Vivienda	Piso	N° de vigas	Metrado total (m2)	Tiempo (hr)	Aporte unitario para cuadrilla 1 OP + 1 Pe			Rendimiento
					Op. (hh/m2)	Pe. (hh/m2)	Total (hh/m2)	Instalación (m2/día)
1	1	4	5.95	1.33	0.22	0.22	0.45	35.70
1	2	4	5.95	1.33	0.22	0.22	0.45	35.70
8	3	3	5.78	1.33	0.23	0.23	0.46	34.65
8	4	3	5.78	1.33	0.23	0.23	0.46	34.65
9	3	3	4.95	1.08	0.22	0.22	0.44	36.55
9	4	3	4.95	1.17	0.24	0.24	0.47	33.94
10	2	3	3.41	0.75	0.22	0.22	0.44	36.40
10	3	3	3.41	0.80	0.23	0.23	0.47	34.13
11	1	3	3.41	0.75	0.22	0.22	0.44	36.40
11	2	3	3.41	0.80	0.23	0.23	0.47	34.13
13	1	3	5.03	1.08	0.22	0.22	0.43	37.11
13	2	3	5.03	1.17	0.23	0.23	0.46	34.46
14	1	3	5.25	1.17	0.22	0.22	0.44	36.00
14	2	3	5.25	1.20	0.23	0.23	0.46	35.00
Promedio general			4.83	1.09	0.23	0.23	0.45	35.34
Número de vigas			44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
Promedio ponderado			4.88	1.10	0.23	0.23	0.45	35.36
Máximo			5.95	1.33	0.24	0.24	0.47	37.11
Mínimo			3.41	0.75	0.22	0.22	0.43	33.94

Tabla 32*Rendimiento del Desencofrado de Madera en Vigas de Viviendas, Chota*

Vivienda	Piso	N° de vigas	Metrado total (m2)	Tiempo (hr)	Aporte unitario para cuadrilla 1 OP + 1 Pe			Rendimiento
					Op. (hh/m2)	Pe. (hh/m2)	Total (hh/m2)	Instalación (m2/día)
2	1	3	6.33	1.67	0.26	0.26	0.53	30.36
2	2	3	4.68	1.17	0.25	0.25	0.50	32.06
3	1	3	4.25	1.08	0.25	0.25	0.51	31.38
3	2	3	4.25	1.08	0.25	0.25	0.51	31.38
4	1	3	3.53	0.83	0.24	0.24	0.47	33.84
4	2	3	3.53	0.83	0.24	0.24	0.47	33.84
5	1	4	3.53	0.92	0.26	0.26	0.52	30.76
5	2	1	4.51	1.17	0.26	0.26	0.52	30.89
5	2	1	4.68	1.20	0.26	0.26	0.51	31.17
5	2	1	4.85	1.25	0.26	0.26	0.52	31.01
5	2	1	5.02	1.33	0.27	0.27	0.53	30.09
6	1	1	1.91	0.50	0.26	0.26	0.52	30.60
6	1	1	2.81	0.67	0.24	0.24	0.47	33.75
6	1	1	1.84	0.50	0.27	0.27	0.54	29.40
6	2	1	1.91	0.47	0.24	0.24	0.49	32.79
6	2	1	2.81	0.75	0.27	0.27	0.53	30.00
6	2	1	1.84	0.50	0.27	0.27	0.54	29.40
7	1	3	5.31	1.33	0.25	0.25	0.50	31.88
7	2	3	5.31	1.42	0.27	0.27	0.53	30.00
12	1	3	4.85	1.33	0.28	0.28	0.55	29.07
12	2	3	4.85	1.25	0.26	0.26	0.52	31.01
Promedio general			3.93	1.01	0.26	0.26	0.51	31.17
Número de vigas			44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
Promedio ponderado			4.25	1.09	0.26	0.26	0.51	31.29
Máximo			6.33	1.67	0.28	0.28	0.55	33.84
Mínimo			1.84	0.47	0.24	0.24	0.47	29.07

4.1.2. Consumo de materiales empleados en ambos tipos de encofrado durante el proceso constructivo de columnas y vigas

El uso de encofrado fenólico permite reducir la cantidad global de madera utilizada tanto en columnas como en vigas, registrando ahorro del 1.58 % en el encofrado de columnas y del 10.14 % en el encofrado de vigas con respecto al sistema de madera natural. En el caso de las columnas, si bien el sistema fenólico requiere mayor aporte unitario de clavos (+9.13 %) y alambre negro N° 8 (+12.18 %) en comparación con la madera, en las vigas la tendencia se invierte, ya que es el sistema de madera el que demanda mayor consumo de fijaciones (+34.99 % tanto en clavos como en alambre) respecto al fenólico; además, el uso de lubricante es exclusivo del sistema fenólico en columnas y menor en vigas.

Tabla 33

Comparación del Aporte Unitario de Materiales para Encofrado con Madera y con Fenólico de Columnas y Vigas en Viviendas, Chota

Materiales	Aporte unitario		Comparación
	Madera	Fenólico	
Columnas			
Fenólico (p2)	0.00	1.36	Exclusivo del sistema fenólico
Madera natural (p2)	6.25	4.79	Mayor uso en madera (+30.39%)
Madera (p2)	6.25	6.15	Mayor uso en madera (+1.58%)
Clavos de 3" (kg)	0.19	0.20	Mayor en fenólico (+9.13%)
Alambre negro N° 8 (kg)	0.36	0.40	Mayor en fenólico (+12.18%)
Lubricante de aceite (gal)	0.00	0.13	Exclusivo del sistema fenólico
Vigas			
Fenólico (p2)	0.00	2.04	Exclusivo del sistema fenólico
Madera natural (p2)	6.87	4.20	Mayor uso en madera (+63.58%)
Madera (p2)	6.87	6.24	Mayor uso en madera (+10.14%)
Clavos de 3" (kg)	0.24	0.18	Mayor uso en madera (+34.99%)
Alambre negro N° 8 (kg)	0.30	0.22	Mayor uso en madera (+34.99%)
Lubricante de aceite (gal)	0.10	0.08	Mayor uso en madera (+34.99%)

4.1.2.1. Consumo de materiales empleados en ambos tipos de encofrado durante el proceso constructivo de columnas

En términos globales, el sistema fenólico concentra el consumo en elementos modulares y reutilizables (paneles y bastidores), mientras que el sistema de madera demanda mayor apuntalamiento y superficie de tablas, lo que incrementa cortes, uniones y reposiciones.

Puntales. El encofrado de madera requiere 10 ml/m² frente a 6 ml/m² en fenólico (+66.7%). Este mayor apuntalamiento responde a la menor rigidez de las caras de madera y a la necesidad de controlar flechas y plomos con más apoyos, lo que eleva el acarreo, el montaje y el espacio ocupado en obra.

Barrotes. El fenólico usa 5.63 ml/m² frente a 3.39 ml/m² en madera (+66.08%). El aumento obedece al bastidor que acompaña a los paneles fenólicos para lograr continuidad y modulación de juntas; aunque incrementa linealmente la madera de soporte, reduce la cantidad de puntales y mejora la estabilidad del conjunto.

Cara de encofrado. El panel fenólico (1.23 m²/m²) es exclusivo del sistema y sustituye completamente a las tablas (0.00 m²/m²), mientras que en madera ocurre lo inverso (tablas 1.25 m²/m², panel fenólico 0.00). Esto implica:

- En fenólico: mayor inversión unitaria, pero alta reutilización y mejor acabado; menos cortes y desperdicios.
- En madera: más cortes y empalmes, mayor probabilidad de fugas de lechada y marcas de junta, con necesidad frecuente de reposición.

Lubricante. Solo se emplea en fenólico (0.50 gal/m²), lo que facilita el desencofrado y preserva la vida útil del panel; además, contribuye a un acabado más liso, reduciendo retrabajos de tarrajeo. En madera no se reporta uso de desmoldante, lo que puede aumentar adherencias y pequeñas arrancas al retirar.

Fijaciones (clavos y alambre).

- Clavos: 1.20 kg/m² en fenólico vs 1.00 kg/m² en madera (+29% en fenólico).
Este incremento se asocia a la fijación del bastidor y encuentros de paneles; aunque parezca contraintuitivo, la mayor densidad de uniones busca rigidez de módulo y control de apertura de juntas.
- Alambre: prácticamente igual (1.35 vs 1.34 kg/m²), lo que indica que la arriostación y atados del sistema son comparables entre ambos métodos.

Tabla 34

Materiales Utilizados en el Encofrado de Columnas en Viviendas, Chota

Material	Uso de materiales		Comparación
	Fenólico (prom.)	Madera (prom.)	
Puntales (ml/m ²)	6	10	Mayor uso en madera (+66.7%)
Barrotes (ml/m ²)	5.63	3.39	Mayor en fenólico (+66.08%)
Tablero Triplay Fenólico (m ²)	1.23	0.00	Exclusivo del sistema fenólico
Tablas de madera (m ²)	0.00	1.25	Exclusivas del sistema de madera
Lubricante (gal/m ²)	0.50	0.00	Utilizado solo en fenólico
Clavos (kg/m ²)	1.20	1.00	Mayor en fenólico (+29.00%)
Alambre (kg/m ²)	1.35	1.34	Igual consumo en ambos sistemas

En el análisis del consumo de materiales para el encofrado de columnas en viviendas de Chota, se observa que el sistema de madera natural utiliza exclusivamente este material como cara de encofrado, con un aporte unitario de 6.25 p², acompañado de 0.19 kg de clavos de 3" y 0.36 kg de alambre N°8 por metro cuadrado, sin requerir lubricante. Por su parte, el sistema de fenólico o “madera artificial” combina el uso de 1.36 p² de panel fenólico con 4.79 p² de madera natural, alcanzando un total de 6.15 p² de madera empleada. Además, su consumo de fijaciones es ligeramente superior (0.20 kg de clavos y 0.40 kg de alambre N°8 por m²), e incorpora 0.13 galones de lubricante de aceite, necesario para facilitar el desencofrado y preservar la superficie del panel. Estos resultados muestran que, aunque el sistema fenólico reduce el uso de madera natural en la

cara de encofrado, requiere la combinación de ambos materiales para completar el sistema, así como un insumo adicional (lubricante) que no está presente en el sistema de madera natural.

Tabla 35

Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Columnas en Viviendas, Chota

Tipo de encofrado	Aporte unitario de materiales para encofrado en columnas					
	Fenólico "madera artificial" (p2)	Madera natural (p2)	Madera (p2)	Clavos de 3" (kg)	Alambre negro N° 8 (kg)	Lubricante de aceite (gal)
De madera natural	0.00	6.25	6.25	0.19	0.36	0.00
De fenólico (madera artificial)	1.36	4.79	6.15	0.20	0.40	0.13

Tabla 36

Comparación del Aporte Unitario de Materiales para Encofrado con Madera y con Fenólico de Columnas en Viviendas, Chota

Materiales	Aporte unitario		Comparación
	Madera (prom.)	Fenólico (prom.)	
Fenólico (p2)	0.00	1.36	Exclusivo del sistema fenólico
Madera natural (p2)	6.25	4.79	Mayor uso en madera (+30.39%)
Madera (p2)	6.25	6.15	Mayor uso en madera (+1.58%)
Clavos de 3" (kg)	0.19	0.20	Mayor en fenólico (+9.13%)
Alambre negro N° 8 (kg)	0.36	0.40	Mayor en fenólico (+12.18%)
Lubricante de aceite (gal)	0.00	0.13	Exclusivo del sistema fenólico

c) Aporte unitario para encofrado de columnas con madera natural

En el encofrado de columnas con madera natural se obtuvo un consumo promedio de 6.12 p²/m², 0.18 kg de clavos y 0.32 kg de alambre, que ponderados alcanzaron 6.25 p²/m², 0.19 kg y 0.36 kg respectivamente. Hubo variaciones notables: la vivienda 12 registró los mayores consumos (9.73 p²/m², 0.28 kg de clavos y 0.77 kg de alambre) por dimensiones atípicas y refuerzos adicionales,

mientras que los menores se observaron en la vivienda 5 (3.98 p²/m²) y en la vivienda 7 (4.76 p²/m²), gracias a la optimización y reutilización de tablas.

Tabla 37

Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Columnas Utilizando Madera Natural en Viviendas, Chota

Vivienda	Piso	N° de columnas	Aporte unitario de materiales (m2)		
			Madera natural (p2)	Clavos de 3" (kg)	Alambre negro N° 8 (kg)
2	1	10	6.99	0.18	0.50
2	2	10	5.63	0.15	0.43
3	1	4	6.75	0.20	0.55
3	1	2	5.15	0.14	0.39
3	2	4	6.75	0.20	0.55
3	2	2	5.15	0.14	0.39
4	1	4	5.72	0.16	0.22
4	1	6	5.07	0.13	0.18
4	2	4	7.77	0.19	0.43
4	2	6	8.13	0.26	0.36
5	1	8	4.44	0.16	0.18
5	2	8	3.98	0.19	0.18
6	1	2	5.96	0.14	0.19
6	1	6	4.97	0.13	0.18
6	2	2	5.96	0.14	0.19
6	2	6	5.38	0.14	0.19
7	1	2	6.43	0.15	0.21
7	1	1	5.63	0.15	0.21
7	1	6	4.76	0.17	0.14
7	2	2	6.43	0.19	0.21
7	2	1	5.63	0.20	0.21
7	2	6	4.76	0.21	0.14
12	1	8	9.73	0.28	0.77
12	2	8	9.73	0.28	0.77
Promedio general			6.12	0.18	0.32
Máximo			9.73	0.28	0.77
Mínimo			3.98	0.13	0.14
Número de columnas			118	118	118
Promedio ponderado			6.25	0.19	0.36

d) Aporte unitario para encofrado de columnas con madera artificial (fenólico)

En el encofrado de columnas utilizando madera artificial (fenólico) en las viviendas de la ciudad de Chota, el aporte unitario promedio general fue de 1.36 p²/m² de panel fenólico, complementado con 4.95 p²/m² de madera natural, lo que representa un consumo combinado de 6.31 p²/m² de material de encofrado. Al considerar el promedio ponderado que refleja el número total de columnas ejecutadas estos valores se mantienen estables, con 1.36 p²/m² de fenólico, 4.79 p²/m² de madera natural y un total combinado de 6.15 p²/m².

En cuanto a los elementos de fijación, se registró consumo promedio de 0.22 kg/m² de clavos de 3" y 0.41 kg/m² de alambre negro N° 8, ligeramente superiores a los valores observados en el encofrado de madera natural. Además, se utilizó 0.13 gal/m² de lubricante de aceite, insumo propio del sistema fenólico que facilita el desencofrado y prolonga la vida útil de los paneles.

Los mayores consumos de madera natural se dieron en las viviendas 8 y 9 en pisos 3 y 4, con valores de 6.06 p²/m², acompañados de mayor uso de clavos (0.38 kg/m²) y alambre (0.58 kg/m²), en contraste, los menores consumos se registraron en las viviendas 13 y 14, con aportes de madera natural entre 3.00 y 3.48 p²/m² y consumo reducido de fijaciones y lubricante, lo que sugiere mayor eficiencia en el armado.

El sistema de madera artificial mantiene un consumo constante de panel fenólico por m², mientras que el uso de madera natural complementaria, fijaciones y lubricante varía en función de las dimensiones, número de columnas y ajustes necesarios en cada obra.

Tabla 38*Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Columnas Utilizando Madera**Artificial (Fenólico) en Viviendas, Chota*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Fenólico "madera artificial" (p2)	Aporte unitario de materiales (m2)					Fenólico + madera (p2)
				Madera natural (p2)	Clavos de 3" (kg)	Alambre negro N° 8 (kg)	Lubricante de aceite (gal)		
1	1	10	1.36	5.93	0.15	0.60	0.13	7.29	
1	2	10	1.36	5.82	0.15	0.60	0.13	7.18	
8	3	7	1.36	6.06	0.38	0.58	0.17	7.42	
8	4	4	1.36	4.86	0.38	0.58	0.17	6.22	
8	4	6	1.36	5.03	0.38	0.58	0.17	6.39	
9	3	2	1.36	6.06	0.38	0.58	0.17	7.42	
9	4	6	1.36	5.03	0.38	0.58	0.17	6.39	
9	3	2	1.36	6.06	0.38	0.58	0.17	7.42	
9	4	6	1.36	5.03	0.38	0.58	0.17	6.39	
10	2	6	1.36	5.58	0.11	0.22	0.10	6.94	
10	3	6	1.36	4.77	0.11	0.22	0.10	6.13	
11	1	4	1.36	5.71	0.18	0.36	0.16	7.07	
11	1	4	1.36	4.69	0.15	0.30	0.13	6.05	
11	2	2	1.36	5.71	0.18	0.36	0.16	7.07	
11	2	4	1.36	4.69	0.15	0.30	0.13	6.05	
13	1	8	1.36	3.48	0.11	0.21	0.09	4.84	
13	2	8	1.36	3.34	0.11	0.21	0.09	4.70	
14	1	8	1.36	3.13	0.10	0.19	0.08	4.49	
14	2	8	1.36	3.00	0.10	0.19	0.08	4.36	
Promedio general			1.36	4.95	0.22	0.41	0.13	6.31	
Máximo			1.36	6.06	0.38	0.60	0.17	7.42	
Mínimo			1.36	3.00	0.10	0.19	0.08	4.36	
Número de columnas			111	111	111	111	111	111	
Promedio ponderado			1.36	4.79	0.20	0.40	0.13	6.15	

4.1.2.2. Consumo de materiales empleados en ambos tipos de encofrado durante el proceso constructivo de vigas

El sistema fenólico concentra el consumo en elementos modulares y reutilizables (paneles fenólicos y estructura de soporte), mientras que el sistema de madera demanda mayor apuntalamiento y superficie de tablas, lo que incrementa cortes, uniones y reposiciones durante el proceso constructivo.

Puntales. El encofrado de madera requiere 7.37 ml/m² frente a 6.30 ml/m² en fenólico (+66.7 %). Este mayor apuntalamiento responde a la menor rigidez de las caras de madera y a la necesidad de controlar flechas y plomos con más apoyos, lo que incrementa el espacio ocupado en obra.

Cara de encofrado. El panel fenólico (0.84 m²/m²) es exclusivo del sistema y sustituye completamente a las tablas (0.00 m²/m²), mientras que en madera ocurre lo inverso (tablas: 2.29 m²/m², panel fenólico: 0.00). Esto implica:

- **En fenólico:** mayor inversión unitaria, pero alta reutilización, mejor acabado, menos cortes y menor desperdicio de material.
- **En madera:** más cortes y empalmes, mayor probabilidad de fugas de lechada y marcas de junta, con necesidad frecuente de reposición de tablas.

Lubricante. Ambos sistemas emplean 0.50 gal/m² de desmoldante, su aplicación busca disminuir la adherencia del concreto.

Fijaciones (clavos y alambre).

- **Clavos:** 2.25 kg/m² en fenólico frente a 2.50 kg/m² en madera (+11.11 % en madera). El mayor consumo en madera está relacionado con la fijación de mayor número de piezas cortas y empalmes, mientras que, en fenólico, aunque las piezas son más grandes y modulares, se requiere una fijación precisa en los puntos de unión para mantener la rigidez del conjunto.

- **Alambre:** 0.95 kg/m² en fenólico frente a 1.00 kg/m² en madera (+5.26 % en madera), lo que indica que el atado y arriostrado es ligeramente más intensivo en el sistema tradicional, posiblemente por la mayor cantidad de puntales y elementos de refuerzo que requiere.

Tabla 39

Materiales Utilizados en el Encofrado de Vigas en Viviendas, Chota

Material	Uso de materiales		Comparación
	Fenólico (prom.)	Madera (prom.)	
Puntales (ml/m ²)	6.3	7.37	Mayor uso en madera (+66.7%)
Tablero Triplay Fenólico (m ²)	0.84	0.00	Exclusivo del sistema fenólico
Tablas de madera (m ²)	0.00	2.29	Exclusivas del sistema de madera
Lubricante (gal/m ²)	0.50	0.50	Igual consumo en ambos sistemas
Clavos (kg/m ²)	2.25	2.50	Mayor en madera (+11.11%)
Alambre (kg/m ²)	0.95	1.00	Mayor en madera (+5.26%)

El sistema de madera natural demanda 63.58% más madera natural, 10.14% más material total de encofrado y alrededor de 35% más fijaciones y lubricante que el sistema fenólico. Estas diferencias confirman que el uso de paneles fenólicos reduce de forma significativa la dependencia de madera y elementos de sujeción, además de facilitar el montaje y el desencofrado. Este sistema utiliza 2.04 p²/m² de panel fenólico y 4.20 p²/m² de madera natural, para un total combinado de 6.24 p²/m², y presenta consumos más bajos que la madera en elementos de fijación (0.18 kg/m² de clavos y 0.22 kg/m² de alambre negro N° 8) y en lubricante (0.08 gal/m²). Mientras que, el encofrado con madera utiliza 6.87 p²/m² de madera como cara de encofrado, con consumos más altos en fijaciones (0.24 kg/m² de clavos y 0.30 kg/m² de alambre) y lubricante (0.10 gal/m²).

Tabla 40*Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Vigas en Viviendas, Chota*

Tipo de encofrado	Aporte unitario de materiales para encofrado en columnas					
	Fenólico "madera artificial" (p2)	Madera natural (p2)	Madera (p2)	Clavos de 3" (kg)	Alambre negro N° 8 (kg)	Lubricante de aceite (gal)
De madera natural	0.00	6.87	6.87	0.24	0.30	0.10
De fenólico (madera artificial)	2.04	4.20	6.24	0.18	0.22	0.08

Tabla 41*Comparación del Aporte Unitario de Materiales para Encofrado con Madera y con Fenólico de Vigas en Viviendas, Chota*

Aporte unitario	Madera	Fenólico	Comparación
Fenólico (p2)	0.00	2.04	Exclusivo del sistema fenólico
Madera natural (p2)	6.87	4.20	Mayor uso en madera (+63.58%)
Madera (p2)	6.87	6.24	Mayor uso en madera (+10.14%)
Clavos de 3" (kg)	0.24	0.18	Mayor uso en madera (+34.99%)
Alambre negro N° 8 (kg)	0.30	0.22	Mayor uso en madera (+34.99%)
Lubricante de aceite (gal)	0.10	0.08	Mayor uso en madera (+34.99%)

a) Aporte unitario para encofrado de vigas con madera natural

En el encofrado de vigas utilizando madera natural en las viviendas de la ciudad de Chota, se registró aporte unitario promedio general de 6.92 p²/m² de madera natural, con consumos medios de 0.25 kg/m² de alambre negro N° 8, 0.31 kg/m² de clavos de 3" y 0.11 gal/m² de lubricante de aceite. Al considerar el promedio ponderado, los valores se ajustan levemente a 6.87 p²/m² de madera natural, 0.24 kg/m² de alambre, 0.30 kg/m² de clavos y 0.10 gal/m² de lubricante.

El mayor consumo de madera natural se registró en la vivienda 6, con 8.25 p²/m², acompañado también de los máximos consumos de alambre (0.47–0.45 kg/m²), clavos (0.59–0.56 kg/m²) y lubricante (0.20 gal/m²). En estas vigas se

requirió mayor número de uniones y refuerzos, por condiciones estructurales más exigentes que demandaron apuntalamiento adicional. Por el contrario, los menores consumos se observaron en las viviendas 7 y 12, con valores de 6.51–6.52 p²/m² de madera natural, y consumos mínimos de alambre (0.18–0.20 kg/m²), clavos (0.23–0.25 kg/m²) y lubricante (0.08–0.09 gal/m²).

Tabla 42

Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Vigas Utilizando Madera Natural en Viviendas, Chota

Vivienda	Piso	N° de vigas	Aporte unitario de materiales (m2)			
			Madera natural (p2)	Alambre negro N° 8 (kg)	Clavos de 3" (kg)	Lubricante de aceite (gal)
2	1	3	6.71	0.21	0.27	0.09
2	2	3	6.57	0.21	0.26	0.09
3	1	3	6.74	0.23	0.29	0.10
3	2	3	6.59	0.23	0.29	0.10
4	1	3	7.35	0.24	0.31	0.11
4	2	3	6.98	0.24	0.31	0.11
5	1 y 2	2	6.85	0.22	0.27	0.09
5	1 y 2	2	6.58	0.21	0.26	0.09
5	1 y 2	2	6.81	0.20	0.25	0.09
5	1 y 2	2	6.79	0.19	0.24	0.08
6	1 y 2	2	7.87	0.45	0.56	0.20
6	1 y 2	2	7.31	0.31	0.38	0.13
6	1 y 2	2	8.25	0.47	0.59	0.20
7	1	3	6.65	0.18	0.23	0.08
7	2	3	6.51	0.18	0.23	0.08
12	1	3	6.52	0.20	0.25	0.09
12	2	3	6.52	0.20	0.25	0.09
Promedio general			6.92	0.25	0.31	0.11
Máximo			8.25	0.47	0.59	0.20
Mínimo			6.51	0.18	0.23	0.08
Número de vigas			44	44	44	44
Promedio ponderado			6.87	0.24	0.30	0.10

b) Aporte unitario para encofrado de vigas con madera artificial (fenólico)

El sistema fenólico mantiene un consumo constante de panel por m^2 , mientras que el uso complementario de madera natural y fijaciones varía según la geometría y condiciones de montaje de las vigas; además, el empleo de lubricante constituye un insumo característico del sistema, con impacto positivo en la facilidad de desencofrado y la calidad del acabado final.

En el encofrado de vigas utilizando madera artificial (fenólico) en las viviendas de la ciudad de Chota, el aporte unitario promedio general fue de 2.04 p^2/m^2 de panel fenólico y 4.20 p^2/m^2 de madera natural, alcanzando un consumo combinado de 6.24 p^2/m^2 . Al considerar el promedio ponderado, que refleja el peso real de cada vivienda según el número de vigas ejecutadas, los valores se mantienen prácticamente iguales (2.04 p^2/m^2 de fenólico, 4.19 p^2/m^2 de madera natural y 6.23 p^2/m^2 totales), lo que confirma constancia en el consumo de este sistema.

En cuanto a los elementos de fijación, se registró promedio de 0.18 kg/m^2 de alambre negro N° 8 y 0.22 kg/m^2 de clavos de 3", además de 0.08 gal/m^2 de lubricante de aceite, este último empleado para facilitar el desencofrado y preservar la superficie de los paneles fenólicos.

Los mayores consumos de madera natural se presentaron en la vivienda 13 (piso 1) con 4.43 p^2/m^2 , alcanzando también el valor máximo combinado de madera y fenólico (6.47 p^2/m^2); asimismo, el mayor uso de fijaciones y lubricante se registró en la vivienda 10 (pisos 2 y 3), con hasta 0.25 kg/m^2 de alambre, 0.32 kg/m^2 de clavos y 0.11 gal/m^2 de lubricante, lo que sugiere mayor densidad de uniones o refuerzos, por condiciones particulares de diseño y montaje de las vigas.

En contraste, los menores consumos se observaron en la vivienda 1 (piso 2), con 3.92 p²/m² de madera natural y total de 5.95 p²/m² entre fenólico y madera, junto con las cantidades más bajas de fijaciones (0.15 kg/m² de alambre y 0.19 kg/m² de clavos) y lubricante (0.06 gal/m²), lo que indica mayor ajuste dimensional de los paneles y uso más eficiente de los materiales.

Tabla 43

Aporte Unitario de Materiales para Encofrado de Vigas Utilizando Madera Artificial (Fenólico) en Viviendas, Chota

Vivienda	Piso	N° de vigas	Aporte unitario de materiales (m2)					
			Fenólico "madera artificial" (p2)	Madera natural (p2)	Alambre negro N° 8 (kg)	Clavos de 3" (kg)	Lubricante de aceite (gal)	Fenólico + madera (p2)
1	1	4	2.04	4.12	0.16	0.21	0.07	6.15
1	2	4	2.04	3.92	0.16	0.21	0.07	5.95
8	3	3	2.04	4.24	0.16	0.21	0.07	6.28
8	4	3	2.04	4.24	0.16	0.21	0.07	6.28
9	3	3	2.04	4.29	0.17	0.22	0.08	6.33
9	4	3	2.04	4.29	0.17	0.22	0.08	6.33
10	2	3	2.04	3.93	0.25	0.32	0.11	5.97
10	3	3	2.04	4.25	0.25	0.32	0.11	6.29
11	1	3	2.04	3.98	0.15	0.19	0.06	6.02
11	2	3	2.04	4.26	0.15	0.19	0.06	6.30
13	1	3	2.04	4.43	0.17	0.21	0.07	6.47
13	2	3	2.04	4.28	0.17	0.21	0.07	6.32
14	1	3	2.04	4.28	0.16	0.21	0.07	6.32
14	2	3	2.04	4.28	0.16	0.21	0.07	6.32
Promedio general			2.04	4.20	0.18	0.22	0.08	6.24
Máximo			2.04	4.43	0.25	0.32	0.11	6.47
Mínimo			2.04	3.92	0.15	0.19	0.06	5.95
Número de vigas			44	44	44	44	44	44
Promedio ponderado			2.04	4.19	0.18	0.22	0.08	6.23

4.1.3. Costos asociados al uso de encofrados de madera y fenólico en la ejecución de columnas y vigas de viviendas

La evaluación del costo directo asociado al uso de encofrados de madera natural y fenólico en columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota permitió identificar que, si bien la recopilación de información incluyó datos de remuneraciones diarias, costos de adquisición de equipos y precios de materiales, los costos de mano de obra no presentan relación directa con el tipo de material empleado. En columnas, el encofrado con fenólico registró costo de mano de obra ligeramente mayor, mientras que en vigas el mayor costo correspondió al encofrado de madera. Este comportamiento evidencia que la variación en el costo de mano de obra obedece más a las condiciones particulares de cada obra (como la complejidad del elemento o el rendimiento alcanzado) que, al tipo de encofrado utilizado, por lo que para el análisis de costos unitarios se estableció un costo promedio general por hora-hombre (Tabla 46). El costo de materiales se calculó como el promedio de los valores reportados por los trabajadores para cada insumo (madera natural en p2, madera artificial fenólico en p2, clavos de madera en kg, alambre en kg y lubricante de aceite quemado en gal).

Los resultados finales (Tabla 47) muestran que, en términos de costos unitarios directos (S/. por m² de encofrado), el encofrado con fenólico implica un costo directo mayor tanto en columnas como en vigas; no obstante, la diferencia relativa es significativa en columnas, con incremento del 9.40%, mientras que en vigas la variación es reducida, de solo 3.69%, lo que indica que, en determinados contextos, los costos del encofrado con fenólico pueden acercarse a los del sistema de madera, especialmente en elementos horizontales.

Tabla 44*Costos Asociados al Uso de Encofrado de Madera y Fenólico para Columnas y Vigas de Viviendas*

Costos asociados al encofrado	Costos (S/.) en el encofrado de columnas		Costos (S/.) en el encofrado de vigas		Promedio general (S/.)
	Fenólico	Madera	Fenólico	Madera	
Costo diario de mano de obra					
Maestro de obra	114.29	108.13	82.86	105.56	102.70
Operario	82.5	82.81	60.00	80.56	76.50
Peón	60	59.38	60	59.44	59.70
Costo de adquisición de equipos y/o herramientas (S/.)					
Martillo carpintero cabeza cónica 29 mm	15.43	16.5	15.43	16.00	15.80
Wincha global plus 5 metros	11.79	11.25	11.71	10.89	11.40
Cortadora Circular	373.21	373.75	372.86	373.33	373.30
Pata de cabra 3/4 x 30	34.54	30.69	34.14	31.44	32.70
Taladro de Rotación Eléctrico	371.07	342.19	370.00	345.00	357.10
Alicate	12.75	14.63	12.86	14.67	13.70
Serrucho para madera	19.79	18	19.71	18.00	18.90
Plomada	27.89	29.88	28.14	29.78	28.90
Nivel de burbuja	15.64	12.13	15.43	12.11	13.80
Costo de materiales (S/.)					
Puntales (2.5" x 2.5" x 3.00m)	8.25	10.75	7.57	10.00	9.10
Barrotes (2" x 2" x 1.00m)	4.43	4.88	4.43	4.89	4.70
Tablas (1" x 0.20 m x 1.00m)		10.88		13.67	12.30
Tablero Triplay Fenólico (B/C 18 mm 1.22 x 2.44 m)	116.07		115.00		115.50
Lubricante de aceite quemado (1 galón)	5		5.00	5.00	5.00
Clavos para madera (kg)	5.11	5.56	5.14	5.44	5.30
Alambre (kg)	4.54	4.56	4.57	4.44	4.50

Tabla 45*Comparación de Costos Locales con Precios Oficiales de Mano de Obra*

Costo hora hombre	Programa presupuestos.pe	Tabla salarial de CAPECO (2025)	Pago local (en base a encuesta)
Maestro de obra	24.50	16.53	12.80
Operario	19.23	12.97	9.60
Peón	16.50	11.68	7.50

Nota. Los costos no se han comparado con CAPECO (2025) sino que se han comparado entre sí (encofrado de madera vs. Encofrado de fenólico) utilizando los costos locales de mano de obra que evidentemente no incluyen leyes sociales porque la construcción es realizada por el maestro de obra constituido como personal natural y no como empresa jurídica. En otras palabras, los trabajadores ofrecen un servicio individual sin pertenecer una empresa que pueda hacerles acreedores a beneficios como seguro de salud, gratificaciones, etc.

Tabla 46

Costos Utilizados en el Análisis de Costos Unitarios del Encofrado de Columnas y Vigas con Madera Natural o Artificial (Fenólico)

Costos (S/.)	Fenólico	Madera
Horas hombre		
Maestro de obra	12.80	12.80
Operario	9.60	9.60
Peón	7.50	7.50
Equipo y herramientas	3% M.O.	3% M.O.
Costo de materiales (S/.)		
Fenólico (p2)	14.59	
Madera (p2)	9.92	9.92
Clavos para madera (kg)	5.30	5.30
Alambre (kg)	4.50	4.50
Lubricante de aceite quemado (1 galón)	5.00	

Tabla 47

Costos Unitarios del Encofrado de Columnas y Vigas con Madera Natural o Artificial (Fenólico) en Viviendas de la Ciudad de Chota

Elemento		Columna	Columna	Viga	Viga
Tipo de encofrado		Madera	Fenólico	Madera	Fenólico
Rendimiento	m2/día	10.60	9.33	9.89	9.39
Descripción del recurso	Unidad	Costo	Costo	Costo	Costo
		(S/. por m ²)	(S/. por m ²)	(S/. por m ²)	(S/. por m ²)
<i>Mano de obra</i>		13.87	15.76	14.87	15.66
Maestro de obra	hh	0.97	1.10	1.04	1.09
Operario	hh	7.25	8.23	7.77	8.18
Peón	hh	5.66	6.43	6.07	6.39
<i>Materiales</i>		64.63	70.87	71.27	73.77
Tableros fenólicos	p2	0.00	19.84	0.00	29.76
Madera Tornillo	p2	62.00	47.52	68.15	41.66
Clavos de 3"	Kg	1.01	1.06	1.27	0.95
Alambre negro N° 8	Kg	1.62	1.80	1.35	0.99
Lubricantes de aceite quemado	Gl	0.00	0.65	0.50	0.40
<i>Equipos</i>					
Herramientas manuales	% mo	0.42	0.47	0.45	0.47
Costo unitario directo		78.91	87.10	86.59	89.90
(S/. por m² de encofrado)		(+9.40% fenólico)		(+3.69% fenólico)	

4.1.3.1. Costos asociados al uso de encofrados de madera y fenólico en la ejecución de columnas de viviendas

En el análisis comparativo de costos asociados al encofrado de columnas con madera natural y madera artificial (fenólico) en las viviendas de la ciudad de Chota, se observa que las diferencias no siguen un patrón único, sino que dependen del tipo de recurso evaluado. En mano de obra, el maestro de obra y el peón presentan un costo ligeramente mayor en el encofrado con fenólico (+5.39% y +1.03%, respectivamente), mientras que el operario registra un costo marginalmente superior en el sistema de madera (+0.37%). En equipos y herramientas, el sistema fenólico presenta mayores costos en cinco de los ocho ítems evaluados, destacando el nivel de burbuja (+22.44%), la pata de cabra (+11.15%) y el taladro de rotación eléctrica (+7.78%). En contraste, la madera natural presenta mayores costos en herramientas como el alicate (+12.85%), el martillo carpintero (+6.48%), la plomada (+6.66%) y la cortadora circular (+0.14%). En materiales, la madera natural muestra costos más elevados en puntales (+23.26%), barrotes (+9.22%), clavos (+8.09%) y alambre (+0.44%), además de incluir el uso exclusivo de tablas, mientras que el fenólico incorpora de manera exclusiva el tablero triplay fenólico y el lubricante de aceite quemado. En general, el fenólico concentra sus mayores costos en elementos específicos de alta inversión inicial y menor reposición, mientras que la madera natural presenta mayores costos en materiales consumibles y de reposición frecuente.

Tabla 48*Costos Asociados al Encofrado de Columnas con Madera Natural o Artificial**(Fenólico) en las Viviendas de la Ciudad de Chota*

Costos (S/.) asociados al encofrado de columnas	Fenólico (prom.)	Madera (prom.)	Comparación
Costo diario de mano de obra			
Maestro de obra	114.29	108.13	Mayor costo en fenólico (+5.39%)
Operario	82.5	82.81	Mayor costo en madera (+0.37%)
Peón	60	59.38	Mayor costo en fenólico (+1.03%)
Costo de adquisición de equipos y/o herramientas (S/.)			
Martillo carpintero cabeza cónica 29 mm	15.43	16.5	Mayor costo en madera (+6.48%)
Wincha global plus 5 metros	11.79	11.25	Mayor costo en fenólico (+4.58%)
Cortadora Circular	373.21	373.75	Mayor costo en madera (+0.14%)
Pata de cabra 3/4 x 30	34.54	30.69	Mayor costo en fenólico (+11.15%)
Taladro de Rotación Eléctrico	371.07	342.19	Mayor costo en fenólico (+7.78%)
Alicate	12.75	14.63	Mayor costo en madera (+12.85%)
Serrucho para madera	19.79	18	Mayor costo en fenólico (+9.04%)
Plomada	27.89	29.88	Mayor costo en madera (+6.66%)
Nivel de burbuja	15.64	12.13	Mayor costo en fenólico (+22.44%)
Costo de materiales (S/.)			
Puntales (2.5" x 2.5" x 3.00m)	8.25	10.75	Mayor costo en madera (+23.26%)
Barrotes (2" x 2" x 1.00m)	4.43	4.88	Mayor costo en madera (+9.22%)
Tablas (1" x 0.20 m x 1.00m)		10.88	Exclusivas del sistema de madera
Tablero Triplay Fenólico (B/C 18 mm 1.22 x 2.44 m)	116.07		Exclusivo del sistema fenólico
Lubricante de aceite quemado (1 galón)	5		Exclusivo del sistema fenólico
Clavos para madera (kg)	5.11	5.56	Mayor costo en madera (+8.09%)
Alambre (kg)	4.54	4.56	Mayor costo en madera (+0.44%)

El análisis de costos unitarios (S/. por m²) en columnas muestra que el encofrado fenólico es más caro que la madera: mano de obra S/ 15.76 vs. S/ 13.87 por m², materiales S/. 70.87 vs. S/. 64.63 por m² y equipos S/. 0.47 vs. S/. 0.42 por m². Esto se debe a su menor rendimiento (9.33 m²/día frente a 10.60 m²/día en madera) y al mayor valor de los paneles fenólicos. En conjunto, el costo unitario directo del fenólico (S/. 87.10 por m²) supera en 9.40% al de madera (S/. 78.91 por m²), aunque su reutilización compensa el sobre costo en obras de mayor escala.

Figura 19

Análisis de Costos Unitarios (S/. por m²) para el Encofrado de Columnas con Madera Natural

1.1.2 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CON MADERA EN COLUMNAS						
Rendimiento: 10.6000 M2/DIA		Unidad: M2			Costo Unitario: 78.93 x [M2]	
Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial	
CAPATAZ	HH	0.10	0.0755	12.80	0.97	
OPERARIO	HH	1.00	0.7547	9.60	7.25	
PEON	HH	1.00	0.7547	7.50	5.66	
					Mano de obra: 13.88	
MADERA PARA ENCOFRADO	P2		6.2500	9.92	62.00	
CLAVOS 3"	KG		0.1900	5.30	1.01	
ALAMBRE NEGRO N° 8	KG		0.3600	4.50	1.62	
					Materiales: 64.63	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	13.88	0.42	
					Equipos: 0.42	

Figura 20

Análisis de Costos Unitarios (S/. por m²) para el Encofrado de Columnas con Madera Artificial (Fenólico)

1.1.1 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CON FENÓLICO EN COLUMNAS						
Rendimiento: 9.3300 M2/DIA		Unidad: M2			Costo Unitario: 87.10 x [M2]	
Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial	
CAPATAZ	HH	0.10	0.0857	12.80	1.10	
OPERARIO	HH	1.00	0.8574	9.60	8.23	
PEON	HH	1.00	0.8574	7.50	6.43	
					Mano de obra: 15.76	
TABLERO FENÓLICO	p2		1.3600	14.59	19.84	
MADERA PARA ENCOFRADO	P2		4.7900	9.92	47.52	
CLAVOS 3"	KG		0.2000	5.30	1.06	
ALAMBRE NEGRO N° 8	KG		0.4000	4.50	1.80	
LUBRICANTE P/TUBERIA UF (X GALON)	UND		0.1300	5.00	0.65	
					Materiales: 70.87	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	15.76	0.47	
					Equipos: 0.47	

4.1.3.2. Costos asociados al uso de encofrados de madera y fenólico en la ejecución de vigas de viviendas

El análisis de costos asociados al encofrado de vigas en viviendas de la ciudad de Chota muestra que el sistema de madera natural presenta mayores costos en la mayoría de los rubros de mano de obra y materiales, mientras que el fenólico concentra sus mayores valores en algunos equipos y materiales específicos. En mano de obra, la madera implica un gasto significativamente superior para el maestro de obra (+21.50%) y el operario (+25.52%), aunque el peón presenta un costo ligeramente mayor en fenólico (+0.93%). En la adquisición de equipos y herramientas, el sistema de madera supera al fenólico en costos de martillo carpintero (+3.57%), cortadora circular (+0.13%), alicate (+12.34%) y plomada (+5.49%); mientras que el fenólico presenta mayores costos en wincha (+7.05%), pata de cabra (+7.90%), taladro eléctrico (+6.76%), serrucho (+8.70%) y nivel de burbuja (+21.50%). En materiales, el uso de madera natural demanda más puntales (+24.29%), barrotes (+9.42%), clavos (+5.54%) y tablas (exclusivas de este sistema), mientras que el fenólico utiliza exclusivamente tableros triplay fenólicos y presenta un costo igual en lubricante. El costo del alambre es ligeramente mayor en fenólico (+2.78%). En conjunto, los resultados reflejan que, aunque el encofrado de madera natural concentra la mayor parte de los sobrecostos en mano de obra y ciertos materiales, el fenólico implica mayores gastos en equipos y en algunos insumos específicos, lo que puede equilibrar los costos totales dependiendo de la magnitud y repetitividad del uso de los elementos de encofrado.

Tabla 49*Costos Asociados al Encofrado de Vigas con Madera Natural o Artificial**(Fenólico) en las Viviendas de la Ciudad de Chota*

Costos (S/.) asociados al encofrado de vigas	Fenólico (prom.)	Madera (prom.)	Comparación
Costo diario de mano de obra			
Maestro de obra	82.86	105.56	Mayor costo en madera (+21.50%)
Operario	60.00	80.56	Mayor costo en madera (+25.52%)
Peón	60	59.44	Mayor costo en fenólico (+0.93%)
Costo de adquisición de equipos y/o herramientas (S/.)			
Martillo carpintero cabeza cónica 29 mm	15.43	16.00	Mayor costo en madera (+3.57%)
Wincha global plus 5 metros	11.71	10.89	Mayor costo en fenólico (+7.05%)
Cortadora Circular	372.86	373.33	Mayor costo en madera (+0.13%)
Pata de cabra 3/4 x 30	34.14	31.44	Mayor costo en fenólico (+7.9%)
Taladro de Rotación Eléctrico	370.00	345.00	Mayor costo en fenólico (+6.76%)
Alicate	12.86	14.67	Mayor costo en madera (+12.34%)
Serrucho para madera	19.71	18.00	Mayor costo en fenólico (+8.70%)
Plomada	28.14	29.78	Mayor costo en madera (+5.49%)
Nivel de burbuja	15.43	12.11	Mayor costo en fenólico (+21.50%)
Costo de materiales (S/.)			
Puntales (2.5" x 2.5" x 3.00m)	7.57	10.00	Mayor costo en madera (+24.29%)
Barrotes (2" x 2" x 1.00m)	4.43	4.89	Mayor costo en madera (+9.42%)
Tablas (1" x 0.20 m x 1.00m)		13.67	Exclusivas del sistema de madera
Tablero Triplay Fenólico (B/C 18 mm 1.22 x 2.44 m)	115.00		Exclusivo del sistema fenólico
Lubricante de aceite quemado (1 galon)	5.00	5.00	Igual costo
Clavos para madera (kg)	5.14	5.44	Mayor costo en madera (+5.54%)
Alambre (kg)	4.57	4.44	Mayor costo en fenólico (+2.78%)

El análisis de costos unitarios (S/. por m²) en vigas muestra que la madera resulta más económica (S/ 86.59 por m²) frente al fenólico (S/ 89.90 por m²), con ahorro del 3.69%. El mayor costo del fenólico se debe a materiales (S/ 73.77 vs. S/ 71.27 por m² de encofrado), pese a reducir consumo de madera. Los insumos como clavos, alambre y lubricante son ligeramente mayores en madera, mientras que en equipos la diferencia es mínima. En conjunto, el fenólico es más costoso, aunque la brecha es reducida y puede compensarse con su reutilización.

Figura 21

Análisis de Costos Unitarios (S/. por m²) para el Encofrado de Vigas con Madera Natural

1.2.2 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CON MADERA EN VIGAS						
Rendimiento: 9.8900 M2/DIA		Unidad: M2		Costo Unitario: 86.60 x [M2]		
Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial	
CAPATAZ	HH	0.10	0.0809	12.80	1.04	
OPERARIO	HH	1.00	0.8089	9.60	7.77	
PEON	HH	1.00	0.8089	7.50	6.07	
					Mano de obra: 14.88	
MADERA PARA ENCOFRADO	P2		6.8700	9.92	68.15	
CLAVOS 3"	KG		0.2400	5.30	1.27	
ALAMBRE NEGRO N° 8	KG		0.3000	4.50	1.35	
LUBRICANTE P/TUBERIA UF (X GALON)	UND		0.1000	5.00	0.50	
					Materiales: 71.27	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	14.88	0.45	
					Equipos: 0.45	

Figura 22

Análisis de Costos Unitarios (S/. por m²) para el Encofrado de Vigas con Madera Artificial (Fenólico)

1.2.1 ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CON FENÓLICO EN VIGAS						
Rendimiento: 9.3900 M2/DIA		Unidad: M2		Costo Unitario: 89.89 x [M2]		
Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial	
CAPATAZ	HH	0.10	0.0852	12.80	1.09	
OPERARIO	HH	1.00	0.8520	9.60	8.18	
PEON	HH	1.00	0.8520	7.50	6.39	
					Mano de obra: 15.66	
TABLERO FENÓLICO	p2		2.0400	14.59	29.76	
MADERA PARA ENCOFRADO	P2		4.2000	9.92	41.66	
CLAVOS 3"	KG		0.1800	5.30	0.95	
ALAMBRE NEGRO N° 8	KG		0.2200	4.50	0.99	
LUBRICANTE P/TUBERIA UF (X GALON)	UND		0.0600	5.00	0.40	
					Materiales: 73.76	
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000	15.66	0.47	
					Equipos: 0.47	

4.1.4. *Tiempo de ejecución y desmontaje de los encofrados de madera y fenólico utilizados en columnas y vigas de viviendas*

En el proceso de encofrado de columnas, el sistema de madera requirió 10.99% menos tiempo por metro cuadrado (47.14 min/m²) que el sistema fenólico (52.32 min/m²), lo que indica mayor rapidez de montaje con madera, asociada a la familiaridad de los operarios con este sistema; sin embargo, en el desencofrado de columnas, el sistema fenólico mostró una clara ventaja, reduciendo el tiempo en 24.04% (11.71 min/m² frente a 14.52 min/m² en madera), lo que se atribuye a la superficie lisa y menor adherencia del material fenólico. En vigas, la tendencia es similar: durante el encofrado, la madera demandó 5.80% menos tiempo (50.08 min/m²) que el fenólico (52.98 min/m²), mientras que en el desencofrado el fenólico volvió a ser más eficiente, con 13.15% menos de tiempo (13.59 min/m² frente a 15.37 min/m² en madera); lo que indica que, aunque la madera permite un montaje más rápido tanto para columnas como para vigas, el fenólico ofrece ventajas significativas en el desmontaje.

Figura 23

Tiempo de Encofrado o Desencofrado de 1 m² de Madera

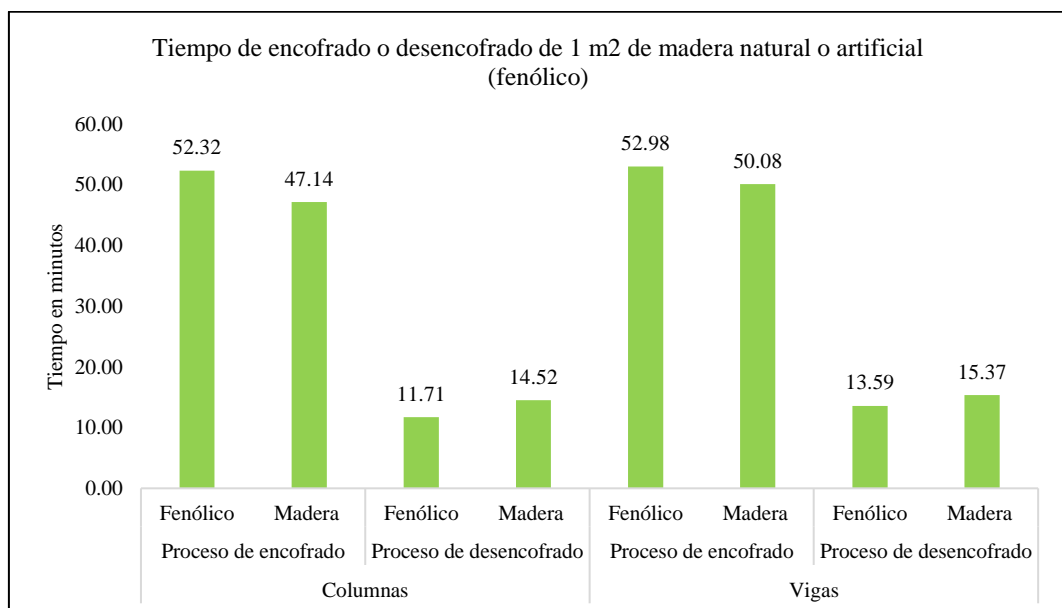


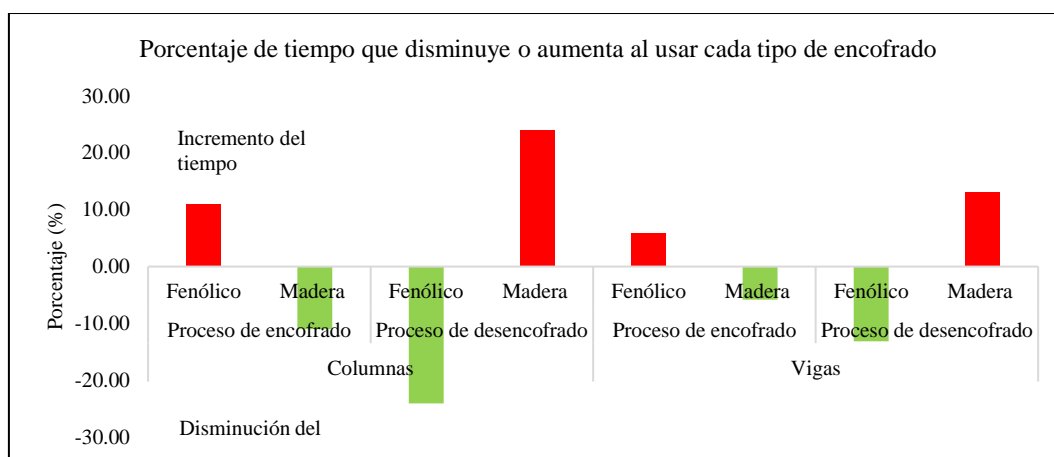
Tabla 50

Tiempo de Ejecución y Desmontaje de los Encofrado de Madera Natural y Artificial (Fenólico) Utilizados en Columnas y Vigas de Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Metrado total (m2)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Tiempo/ metrado (min/m2)	Comparación
Columnas					
<i>Proceso de encofrado</i>					
Fenólico	2.76	139.72	2.33	52.32	Menor tiempo en madera (-10.99%)
Madera	4.31	189.97	3.17	47.14	
<i>Proceso de desencofrado</i>					
Fenólico	2.76	32.13	0.54	11.71	Menor tiempo en fenólico (-24.04%)
Madera	4.31	62.54	1.04	14.52	
Vigas					
<i>Proceso de encofrado</i>					
Fenólico	4.88	248.18	4.14	52.98	Menor tiempo en madera (-5.80%)
Madera	4.25	205.09	3.42	50.08	
<i>Proceso de desencofrado</i>					
Fenólico	4.88	66.23	1.10	13.59	Menor tiempo en fenólico (-13.15%)
Madera	4.25	65.45	1.09	15.37	

Figura 24

Porcentaje de Tiempo que Disminuye o Aumenta el Proceso de Encofrado o Desencofrado al Utilizar Madera Natural o Artificial (Fenólico)



4.1.4.1. Tiempo de ejecución y desmontaje de los encofrados de madera y fenólico utilizados en columnas de viviendas

a) Tiempo de ejecución del encofrado

En columnas con madera natural, el promedio ponderado fue 4.31 m² por elemento, con 189.97 min (3.17 h), equivalente a 47.14 min/m² y 10.60 m²/día. Los tiempos oscilaron entre 37.11 y 68.57 min/m², con rendimientos de 7.00 a 12.94 m²/día. En fenólico, el promedio fue 2.76 m², con 139.72 min (2.33 h), 52.32 min/m² y 9.33 m²/día, con rangos de 36.57–61.33 min/m² y 7.83–13.13 m²/día. En promedio, la madera fue 10.99% más rápida, aunque el fenólico mostró mayor uniformidad en algunos casos.

b) Tiempo de ejecución del desencofrado

En el desencofrado de columnas con madera natural, el promedio fue 4.31 m² por elemento, con 62.54 min (1.04 h), equivalente a 14.52 min/m² y 33.13 m²/día, con variación entre 13.33–15.65 min/m² y 30.67–36.00 m²/día. En fenólico, el promedio fue 2.76 m², con 32.13 min (0.54 h), 11.71 min/m² y 41.20 m²/día, con rangos de 10.42–13.33 min/m² y 36.00–46.08 m²/día. El fenólico redujo el tiempo unitario en 24.04% frente a la madera, destacando por su superficie lisa que facilita el desmontaje.

Tabla 51*Tiempo de Ejecución del Encofrado de Columnas con Madera Natural en**Viviendas de la Ciudad de Chota*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Metrado total (m2)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Tiempo/ metrado (min/m2)	Rendimiento (m2/día)
2	1	2	3.73	147	2.45	39.44	12.17
2	1	8	3.20	147	2.45	46.01	10.43
2	2	2	5.31	210	3.50	39.53	12.14
2	2	8	4.68	180	3.00	38.50	12.47
3	1	2	3.60	150	2.50	41.67	11.52
3	1	2	4.80	180	3.00	37.50	12.80
3	1	2	5.60	228	3.80	40.71	11.79
3	2	2	2.21	138	2.30	62.59	7.67
3	2	2	2.94	138	2.30	46.94	10.23
3	2	2	3.43	138	2.30	40.23	11.93
4	1	4	4.51	168	2.80	37.23	12.89
4	1	6	4.75	180	3.00	37.89	12.67
4	2	4	2.33	138	2.30	59.29	8.10
4	2	6	2.45	129	2.15	52.65	9.12
5	1	2	8.58	330	5.50	38.46	12.48
5	1	6	9.36	348	5.80	37.18	12.91
5	2	2	4.04	150	2.50	37.11	12.94
5	2	6	4.41	180	3.00	40.82	11.76
6	1	2	4.50	180	3.00	40.00	12.00
6	1	6	6.50	270	4.50	41.54	11.56
6	2	2	2.63	147	2.45	56.00	8.57
6	2	6	3.25	138	2.30	42.46	11.30
7	1	2	4.73	210	3.50	44.44	10.80
7	1	1	5.40	270	4.50	50.00	9.60
7	1	6	8.10	360	6.00	44.44	10.80
7	2	2	2.63	144	2.40	54.86	8.75
7	2	1	3.00	144	2.40	48.00	10.00
7	2	6	4.50	222	3.70	49.33	9.73
12	1	1	2.63	180	3.00	68.57	7.00
12	1	4	1.75	120	2.00	68.57	7.00
12	1	3	2.25	150	2.50	66.67	7.20
12	2	1	2.63	180	3.00	68.57	7.00
12	2	4	1.75	120	2.00	68.57	7.00
12	2	3	2.25	150	2.50	66.67	7.20
Promedio general			4.07	184.24	3.07	48.60	10.34
Número de columnas			118	118	118	118	118
Máximo			9.36	360.00	6.00	68.57	12.94
Mínimo			1.75	120.00	2.00	37.11	7.00
Promedio ponderado			4.31	189.97	3.17	47.14	10.60

Tabla 52*Tiempo de Ejecución del Encofrado de Columnas con Madera Artificial**(Fenólico) en Viviendas de la Ciudad de Chota*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Metrado total (m2)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Tiempo/ metrado (min/m2)	Rendimiento (m2/día)
1	1	10	2.60	138	2.30	53.08	9.04
1	2	4	2.33	138	2.30	59.29	8.10
1	2	10	1.96	120	2.00	61.22	7.84
8	3	7	2.25	108	1.80	48.00	10.00
8	4	4	2.25	120	2.00	53.33	9.00
8	4	6	2.25	120	2.00	53.33	9.00
9	3	2	1.75	90	1.50	51.43	9.33
9	3	6	2.25	120	2.00	53.33	9.00
9	4	2	1.75	90	1.50	51.43	9.33
9	4	6	2.25	120	2.00	53.33	9.00
10	2	1	4.88	192	3.20	39.38	12.19
10	2	5	2.25	120	2.00	53.33	9.00
10	3	1	4.88	192	3.20	39.38	12.19
10	3	5	2.25	120	2.00	53.33	9.00
11	1	2	3.36	192	3.20	57.14	8.40
11	1	2	3.68	192	3.20	52.17	9.20
11	1	4	3.84	180	3.00	46.88	10.24
11	2	2	2.63	150	2.50	57.14	8.40
11	2	4	3.00	180	3.00	60.00	8.00
13	1	3	4.73	192	3.20	40.63	11.81
13	1	5	4.05	180	3.00	44.44	10.80
13	2	3	2.63	132	2.20	50.29	9.55
13	2	5	2.25	120	2.00	53.33	9.00
14	1	3	5.25	192	3.20	36.57	13.13
14	1	5	4.50	180	3.00	40.00	12.00
14	2	3	2.63	150	2.50	57.14	8.40
14	2	5	2.25	138	2.30	61.33	7.83
Promedio general			2.99	146.89	2.45	51.12	9.58
Número de columnas			115	115	115	115	115
Máximo			5.25	192.00	3.20	61.33	13.13
Mínimo			1.75	90.00	1.50	36.57	7.83
Promedio ponderado			2.76	139.72	2.33	52.32	9.33

Tabla 53*Tiempo de Ejecución del Desencofrado de Columnas con Madera Natural en**Viviendas de la Ciudad de Chota*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Metrado total (m2)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Tiempo/ metrado (min/m2)	Rendimiento (m2/día)
2	1	2	3.73	50	0.83	13.41	35.78
2	1	8	3.20	50	0.83	15.65	30.67
2	2	2	5.31	75	1.25	14.12	34.00
2	2	8	4.68	65	1.08	13.90	34.52
3	1	2	3.60	50	0.83	13.89	34.56
3	1	2	4.80	70	1.17	14.58	32.91
3	1	2	5.60	80	1.33	14.29	33.60
3	2	2	2.21	30	0.50	13.61	35.28
3	2	2	2.94	40	0.67	13.61	35.28
3	2	2	3.43	50	0.83	14.58	32.93
4	1	4	4.51	65	1.08	14.40	33.32
4	1	6	4.75	70	1.17	14.74	32.57
4	2	4	2.33	35	0.58	15.04	31.92
4	2	6	2.45	35	0.58	14.29	33.60
5	1	2	8.58	125	2.08	14.57	32.95
5	1	6	9.36	140	2.33	14.96	32.09
5	2	2	4.04	60	1.00	14.84	32.34
5	2	6	4.41	60	1.00	13.61	35.28
6	1	2	4.50	65	1.08	14.44	33.23
6	1	6	6.50	90	1.50	13.85	34.67
6	2	2	2.63	40	0.67	15.24	31.50
6	2	6	3.25	50	0.83	15.38	31.20
7	1	2	4.73	70	1.17	14.81	32.40
7	1	1	5.40	80	1.33	14.81	32.40
7	1	6	8.10	115	1.92	14.20	33.81
7	2	2	2.63	35	0.58	13.33	36.00
7	2	1	3.00	45	0.75	15.00	32.00
7	2	6	4.50	70	1.17	15.56	30.86
12	1	1	2.63	40	0.67	15.24	31.50
12	1	4	1.75	25	0.42	14.29	33.60
12	1	3	2.25	35	0.58	15.56	30.86
12	2	1	2.63	40	0.67	15.24	31.50
12	2	4	1.75	25	0.42	14.29	33.60
12	2	3	2.25	30	0.50	13.33	36.00
Promedio general			4.07	58.97	0.98	14.49	33.20
Número de columnas			118	118	118	118	118
Máximo			9.36	140.00	2.33	15.65	36.00
Mínimo			1.75	25.00	0.42	13.33	30.67
Promedio ponderado			4.31	62.54	1.04	14.52	33.13

Tabla 54*Tiempo de Ejecución del Desencofrado de Columnas con Madera Artificial**(Fenólico) en Viviendas de la Ciudad de Chota*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Metrado total (m2)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Tiempo/ metrado (min/m2)	Rendimiento (m2/día)
1	1	10	2.60	30	0.50	11.54	41.60
1	2	4	2.33	30	0.50	12.89	37.24
1	2	10	1.96	25	0.42	12.76	37.63
8	3	7	2.25	25	0.42	11.11	43.20
8	4	4	2.25	25	0.42	11.11	43.20
8	4	6	2.25	25	0.42	11.11	43.20
9	3	2	1.75	20	0.33	11.43	42.00
9	3	6	2.25	30	0.50	13.33	36.00
9	4	2	1.75	20	0.33	11.43	42.00
9	4	6	2.25	25	0.42	11.11	43.20
10	2	1	4.88	60	1.00	12.31	39.00
10	2	5	2.25	25	0.42	11.11	43.20
10	3	1	4.88	60	1.00	12.31	39.00
10	3	5	2.25	25	0.42	11.11	43.20
11	1	2	3.36	40	0.67	11.90	40.32
11	1	2	3.68	40	0.67	10.87	44.16
11	1	4	3.84	40	0.67	10.42	46.08
11	2	2	2.63	35	0.58	13.33	36.00
11	2	4	3.00	35	0.58	11.67	41.14
13	1	3	4.73	60	1.00	12.70	37.80
13	1	5	4.05	45	0.75	11.11	43.20
13	2	3	2.63	30	0.50	11.43	42.00
13	2	5	2.25	25	0.42	11.11	43.20
14	1	3	5.25	60	1.00	11.43	42.00
14	1	5	4.50	50	0.83	11.11	43.20
14	2	3	2.63	30	0.50	11.43	42.00
14	2	5	2.25	30	0.50	13.33	36.00
Promedio general			2.99	35.00	0.58	11.72	41.14
Número de columnas			115	115	115	115	115
Máximo			5.25	60.00	1.00	13.33	46.08
Mínimo			1.75	20.00	0.33	10.42	36.00
Promedio ponderado			2.76	32.13	0.54	11.71	41.20

4.1.4.2. Tiempo de ejecución y desmontaje de los encofrados de madera y fenólico utilizados en vigas de viviendas

a) Tiempo de ejecución del encofrado

En vigas con madera natural, el promedio fue 4.25 m² por elemento y 205.09 min (3.42 h), con tiempo unitario de 50.08 min/m² y rendimiento de 9.89 m²/día, variando entre 36.14–65.31 min/m² y 7.35–13.28 m²/día. En fenólico, el promedio fue 4.88 m² y 248.18 min (4.14 h), con 52.98 min/m² y 9.39 m²/día, fluctuando entre 43.36–70.33 min/m². En comparación, la madera fue 5.80% más rápida y con rendimiento ligeramente mayor, favorecida por la experiencia del personal y la menor necesidad de cortes previos.

b) Tiempo de ejecución del desencofrado

En vigas con madera natural, el promedio fue 4.25 m² y 65.45 min (1.09 h), con tiempo unitario de 15.37 min/m² y rendimiento de 31.29 m²/día, variando entre 14.18–16.51 min/m². En fenólico, el promedio fue 4.88 m² y 66.23 min (1.10 h), con 13.59 min/m² y 35.36 m²/día, con rangos de 12.94–14.14 min/m². En comparación, el fenólico redujo el tiempo unitario en 13.15% (1.81 min/m²), representando un ahorro significativo a escala de obra.

Tabla 55*Tiempo de Ejecución del Encofrado de Vigas con Madera Natural*

Vivienda	Piso	N° de vigas	Metrado total (m2)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Tiempo/ metrado (min/m2)	Rendimiento (m2/día)
2	1	3	6.33	300	5.00	47.43	10.12
2	2	3	4.68	240	4.00	51.34	9.35
3	1	3	4.25	198	3.30	46.59	10.30
3	2	3	4.25	198	3.30	46.59	10.30
4	1	3	3.53	207	3.45	58.72	8.17
4	2	3	3.53	207	3.45	58.72	8.17
5	1	4	3.53	207	3.45	58.72	8.17
5	2	1	4.51	252	4.20	55.94	8.58
5	2	1	4.68	228	3.80	48.77	9.84
5	2	1	4.85	240	4.00	49.54	9.69
5	2	1	5.02	270	4.50	53.84	8.92
6	1	1	1.91	120	2.00	62.75	7.65
6	1	1	2.81	180	3.00	64.00	7.50
6	1	1	1.84	120	2.00	65.31	7.35
6	2	1	1.91	120	2.00	62.75	7.65
6	2	1	2.81	150	2.50	53.33	9.00
6	2	1	1.84	108	1.80	58.78	8.17
7	1	3	5.31	198	3.30	37.27	12.88
7	2	3	5.31	192	3.20	36.14	13.28
12	1	3	4.85	198	3.30	40.87	11.75
12	2	3	4.85	198	3.30	40.87	11.75
Promedio general			3.93	196.71	3.28	52.30	9.46
Número de vigas			44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
Máximo			6.33	300.00	5.00	65.31	13.28
Mínimo			1.84	108.00	1.80	36.14	7.35
Promedio ponderado			4.25	205.09	3.42	50.1	9.89

Tabla 56*Tiempo de Ejecución del Encofrado de Vigas con Madera Artificial (Fenólico)*

Vivienda	Piso	N° de vigas	Metrado total (m2)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Tiempo/ metrado (min/m2)	Rendimiento (m2/día)
1	1	4	5.95	258	4.30	43.36	11.07
1	2	4	5.95	258	4.30	43.36	11.07
8	3	3	5.78	258	4.30	44.68	10.74
8	4	3	5.78	258	4.30	44.68	10.74
9	3	3	4.95	240	4.00	48.48	9.90
9	4	3	4.95	240	4.00	48.48	9.90
10	2	3	3.41	240	4.00	70.33	6.83
10	3	3	3.41	240	4.00	70.33	6.83
11	1	3	3.41	240	4.00	70.33	6.83
11	2	3	3.41	240	4.00	70.33	6.83
13	1	3	5.03	240	4.00	47.76	10.05
13	2	3	5.03	240	4.00	47.76	10.05
14	1	3	5.25	258	4.30	49.14	9.77
14	2	3	5.25	258	4.30	49.14	9.77
Promedio general			4.83	247.71	4.13	53.44	9.31
Número de vigas			44	44	44	44	44
Máximo			5.95	258.00	4.30	70.33	11.07
Mínimo			3.41	240.00	4.00	43.36	6.83
Promedio ponderado			4.88	248.18	4.14	52.98	9.39

Tabla 57*Tiempo de Desencofrado de Vigas con Madera Artificial (Fenólico)*

Vivienda	Piso	N° de vigas	Metrado total (m2)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Tiempo/ metrado (min/m2)	Rendimiento (m2/día)
1	1	4	5.95	80	1.33	13.45	35.70
1	2	4	5.95	80	1.33	13.45	35.70
8	3	3	5.78	80	1.33	13.85	34.65
8	4	3	5.78	80	1.33	13.85	34.65
9	3	3	4.95	65	1.08	13.13	36.55
9	4	3	4.95	70	1.17	14.14	33.94
10	2	3	3.41	45	0.75	13.19	36.40
10	3	3	3.41	48	0.80	14.07	34.13
11	1	3	3.41	45	0.75	13.19	36.40
11	2	3	3.41	48	0.80	14.07	34.13
13	1	3	5.03	65	1.08	12.94	37.11
13	2	3	5.03	70	1.17	13.93	34.46
14	1	3	5.25	70	1.17	13.33	36.00
14	2	3	5.25	72	1.20	13.71	35.00
Promedio general			4.83	65.57	1.09	13.59	35.34
Número de vigas			44	44	44	44	44
Máximo			5.95	80.00	1.33	14.14	37.11
Mínimo			3.41	45.00	0.75	12.94	33.94
Promedio ponderado			4.88	66.23	1.10	13.59	35.36

Tabla 58*Tiempo de Desencofrado de Vigas con Madera Natural*

Vivienda	Piso	N° de vigas	Metrado total (m2)	Tiempo (min)	Tiempo (hr)	Tiempo/ metrado (min/m2)	Rendimiento (m2/día)
2	1	3	6.33	100	1.67	15.81	30.36
2	2	3	4.68	70	1.17	14.97	32.06
3	1	3	4.25	65	1.08	15.29	31.38
3	2	3	4.25	65	1.08	15.29	31.38
4	1	3	3.53	50	0.83	14.18	33.84
4	2	3	3.53	50	0.83	14.18	33.84
5	1	4	3.53	55	0.92	15.60	30.76
5	2	1	4.51	70	1.17	15.54	30.89
5	2	1	4.68	72	1.20	15.40	31.17
5	2	1	4.85	75	1.25	15.48	31.01
5	2	1	5.02	80	1.33	15.95	30.09
6	1	1	1.91	30	0.50	15.69	30.60
6	1	1	2.81	40	0.67	14.22	33.75
6	1	1	1.84	30	0.50	16.33	29.40
6	2	1	1.91	28	0.47	14.64	32.79
6	2	1	2.81	45	0.75	16.00	30.00
6	2	1	1.84	30	0.50	16.33	29.40
7	1	3	5.31	80	1.33	15.06	31.88
7	2	3	5.31	85	1.42	16.00	30.00
12	1	3	4.85	80	1.33	16.51	29.07
12	2	3	4.85	75	1.25	15.48	31.01
Promedio general			3.93	60.71	1.01	15.43	31.17
Número de vigas			44.00	44.00	44.00	44.00	44.00
Máximo			6.33	100.00	1.67	16.51	33.84
Mínimo			1.84	28.00	0.47	14.18	29.07
Promedio ponderado			4.25	65.45	1.09	15.37	31.29

4.1.5. Calidad del acabado superficial de columnas y vigas encofradas con madera y fenólico en viviendas

El examen de la calidad del acabado superficial de columnas y vigas encofradas con madera natural y madera artificial (fenólico) en viviendas de la ciudad de Chota evidencian que el fenólico proporciona mejor acabado superficial en ambos elementos estructurales, con ventajas más marcadas en vigas, mientras que la madera natural sobresale únicamente en la cantidad de reutilizaciones, aunque con una penalización importante en la calidad estética del concreto. Esto implica que, en contextos donde la apariencia y regularidad de la superficie son prioritarias, el uso del fenólico se presenta como la opción más adecuada.

En columnas, el encofrado fenólico, con dimensiones promedio de 0.30 m x 0.30 m x 2.50 m, obtuvo puntuación promedio de 3.11 en la escala Likert, equivalente a un acabado “Regular”, y un promedio de 6 reutilizaciones (rango de 4 a 8 usos). Aunque el acabado no alcanzó niveles “buenos” o “excelentes”, su desempeño fue superior al de la madera natural, que presentó un puntaje de 2.50, calificado como “Malo”, con 8 reutilizaciones promedio (rango de 6 a 9 usos).

En vigas, las diferencias son más notorias. El encofrado fenólico, con dimensiones promedio de 7.00 m x 0.25 m x 0.40 m, alcanzó 4.00 puntos en la escala Likert, correspondiente a un acabado “Bueno”, con 5 reutilizaciones promedio (rango de 4 a 5 usos). Por su parte, la madera natural, con dimensiones promedio de 5.70 m x 0.25 m x 0.45 m, obtuvo 3.00 puntos (“Regular”) y un promedio de 8 reutilizaciones (rango de 6 a 10 usos). Esto confirma que, aunque la madera natural permite mayor número de usos, el fenólico ofrece superficies más uniformes y limpias, especialmente cuando se aplica lubricante, lo que reduce la adherencia del concreto y minimiza defectos visibles.

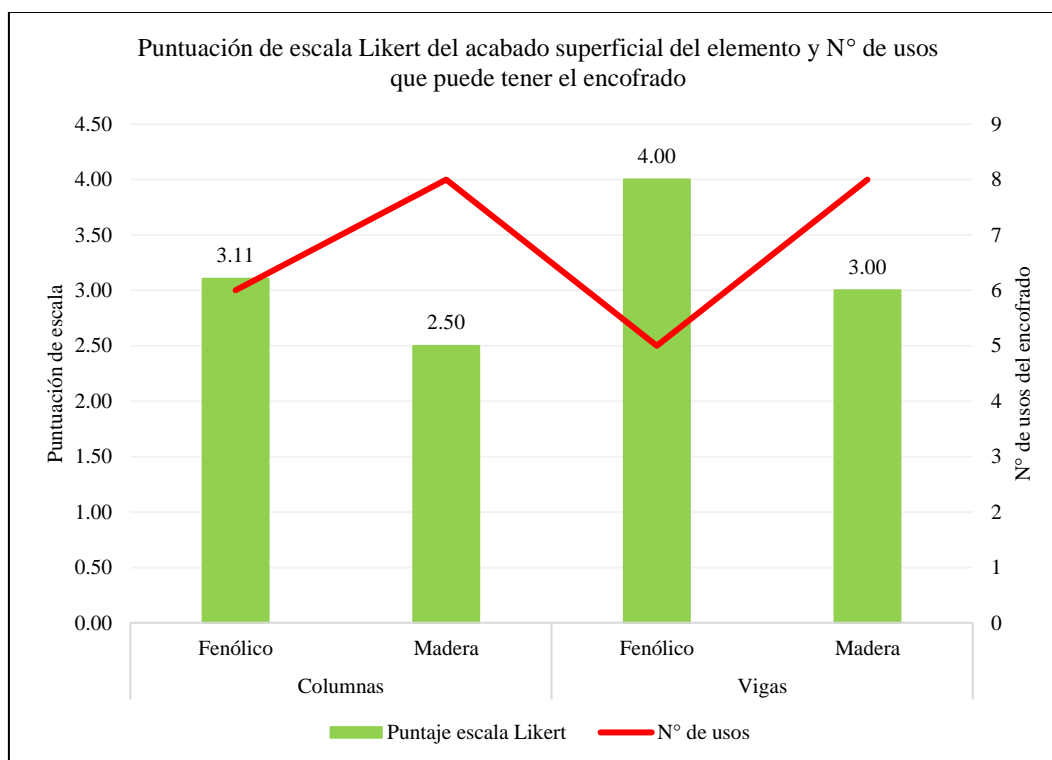
Tabla 59

Calidad del Acabado Superficial de Columnas y Vigas Encofradas con Madera y Fenólico en Viviendas de la Ciudad de Chota

Tipo de encofrado	Cantidad de elementos	Dimensiones más usuales del elemento estructural			Puntuación escala Likert promedio	Aspecto de acabado	N° de usos del encofrado		N° de usos promedio
		Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)			Mínimo	Máximo	
Columnas									
Fenólico	111	0.30	0.30	2.50	3.11	Regular	4	8	6
Madera	118	0.30	0.30	4.50	2.50	Malo	6	9	8
Vigas									
Fenólico	44	7.00	0.25	0.40	4.00	Bueno	4	5	5
Madera	44	5.70	0.25	0.45	3.00	Regular	6	10	8

Figura 25

Puntuación de la Escala Likert del Acabado Superficial del Elemento Encofrado con Madera Natural o Artificial (Fenólico) en Viviendas de la Ciudad de Chota



4.1.5.1. Calidad del acabado superficial de columnas encofradas con madera y fenólico en viviendas

En el caso del encofrado fenólico, las columnas evaluadas presentaron dimensiones promedio de 0.30 m x 0.30 m y alturas predominantes de 2.50 m, alcanzando una puntuación media de 3.11 en la escala Likert, correspondiente a un acabado “Regular”. Este comportamiento fue homogéneo en la mayoría de viviendas, con excepciones en la vivienda 1, donde se obtuvo una calificación de 4.00 (“Bueno”), lo que indica que, en condiciones de mayor control en el montaje, aplicación adecuada de lubricante y menor manipulación de paneles, el fenólico puede alcanzar un acabado superior. El número de reutilizaciones varió entre 4 y 8 usos, con un promedio de 6, lo que confirma una durabilidad moderada y consistente en obra.

Por su parte, el encofrado con madera natural presentó también dimensiones promedio de 0.30 m x 0.30 m, pero con alturas máximas de hasta 4.50 m. La puntuación promedio fue de 2.50, catalogada entre “Malo” y “Regular”, con variaciones puntuales donde se alcanzaron niveles “Regulares” e incluso “Buenos” (caso de la vivienda 5 con 4.00 puntos), lo que se relaciona con un mejor alisado y sellado de juntas en esos casos específicos. La madera natural tuvo un mayor número de reutilizaciones, entre 6 y 10 usos, con un promedio de 8, lo que refleja su resistencia estructural, aunque con un deterioro progresivo del acabado superficial debido a deformaciones, absorción de humedad y marcas visibles de empalmes.

Tabla 60*Calidad del Acabado Superficial de Columnas Encofradas con Fenólico*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Dimensiones (m)			Puntuación escala Likert	Aspecto acabado	N° de usos		N° usos promedio
			Largo	Ancho	Alto			Mínimo	Máximo	
1	1	10	0.30	0.25	3.50	4.00	Bueno	4	8	6
1	2	10	0.30	0.25	3.50	4.00	Bueno	4	8	6
8	3	7	0.30	0.30	2.50	3.00	Regular	4	8	6
8	4	4	0.30	0.30	2.50	3.00	Regular	4	8	6
8	4	6	0.30	0.30	2.50	3.00	Regular	4	8	6
9	3	2	0.25	0.3	2.50	3.00	Regular	4	8	6
9	4	6	0.30	0.3	2.50	3.00	Regular	4	8	6
9	3	2	0.25	0.3	2.50	3.00	Regular	4	8	6
9	4	6	0.30	0.3	2.50	3.00	Regular	4	8	6
10	2	6	0.80	0.25	2.50	3.00	Regular	4	8	6
10	3	6	0.80	0.25	2.50	3.00	Regular	4	8	6
11	1	4	0.25	0.25	3.20	3.00	Regular	4	8	6
11	1	4	0.35	0.25	3.20	3.00	Regular	4	8	6
11	2	2	0.25	0.25	3.20	3.00	Regular	4	8	6
11	2	4	0.35	0.25	3.20	3.00	Regular	4	8	6
13	1	8	0.30	0.3	4.50	3.00	Regular	4	8	6
13	2	8	0.30	0.3	4.50	3.00	Regular	4	8	6
14	1	8	0.30	0.3	5.00	3.00	Regular	4	8	6
14	2	8	0.30	0.3	5.00	3.00	Regular	4	8	6
Total		111	0.30	0.30	2.50	3.11	Regular	4	8	6

Tabla 61*Calidad del Acabado Superficial de Columnas Encofradas con Madera Natural*

Vivienda	Piso	N° de columnas	Dimensiones (m)			Puntuación Likert	Aspecto de acabado	N° de usos		N° usos promedio
			Largo	Ancho	Alto			Mínimo	Máximo	
2	1	10	0.30	0.30	3.80	2.00	Malo	5	8	7
2	2	10	0.30	0.30	4.50	2.00	Malo	5	8	7
3	1	4	0.30	0.30	3.50	2.00	Malo	5	8	7
3	1	2	0.60	0.25	3.50	2.00	Malo	5	8	7
3	2	4	0.30	0.30	3.50	2.00	Malo	5	8	7
3	2	2	0.60	0.25	3.50	2.00	Malo	8	10	9
4	1	4	0.30	0.25	4.85	3.00	Regular	8	10	9
4	1	6	0.35	0.30	4.85	3.00	Regular	8	10	9
4	2	4	0.30	0.25	2.45	2.00	Malo	8	10	9
4	2	6	0.35	0.30	2.45	2.00	Malo	8	10	9
5	1	8	0.60	0.30	5.20	4.00	Bueno	6	10	8
5	2	8	0.60	0.30	5.20	4.00	Bueno	6	10	8
6	1	2	0.30	0.30	5.00	3.00	Regular	6	10	8
6	1	6	0.40	0.25	5.00	3.00	Regular	6	10	8
6	2	2	0.30	0.30	5.00	3.00	Regular	6	10	8
6	2	6	0.40	0.25	5.00	3.00	Regular	6	10	8
7	1	2	0.30	0.30	4.50	2.00	Malo	5	8	7
7	1	1	0.30	0.30	4.50	2.00	Malo	5	8	7
7	1	6	0.60	0.30	4.50	2.00	Malo	5	8	7
7	2	2	0.30	0.30	4.50	2.00	Malo	5	8	7
7	2	1	0.30	0.30	4.50	2.00	Malo	5	8	7
7	2	6	0.60	0.30	4.50	2.00	Malo	5	8	7
12	1	8	0.30	0.30	2.50	3.00	Regular	5	8	7
12	2	8	0.30	0.30	2.50	3.00	Regular	5	8	7
Total		118	0.30	0.30	4.50	2.50	Malo Regular	6	9	8

4.1.5.2. Calidad del acabado superficial de vigas encofradas con madera y fenólico en viviendas

En el caso del encofrado fenólico, las vigas presentaron dimensiones más usuales de 7.00 m de largo, 0.25 m de ancho y 0.40 m de alto, con puntuación media de 4.00 en la escala Likert, equivalente a un acabado “Bueno”. Los mejores resultados (puntuación 5 – “Muy bueno”) se observaron en las viviendas 10 y 11, lo que sugiere que, en condiciones de montaje preciso y adecuada aplicación del lubricante, el sistema fenólico alcanza acabados de alta calidad, con superficies lisas y uniformes. El número de reutilizaciones osciló entre 2 y 5 usos, con promedio de 5 usos, lo que indica durabilidad aceptable, aunque menor que la madera, debido al desgaste superficial por cortes, perforaciones y manipulación.

Por su parte, el encofrado de madera natural mostró dimensiones más usuales de 5.70 m de largo, 0.25 m de ancho y 0.45 m de alto, con puntuación media de 3.00 (“Regular”). Todos los casos mantuvieron esta calificación, evidenciando acabados con imperfecciones, marcas de juntas, ondulaciones y absorción desigual de humedad. Sin embargo, la madera presentó una vida útil considerablemente mayor, con reutilizaciones que variaron entre 5 y 12 usos, alcanzando promedio de 8 usos, lo que confirma su resistencia estructural, aunque sin ventajas estéticas frente al fenólico.

Por tanto, el fenólico logró mejor acabado superficial en vigas, alcanzando en algunos casos niveles “Muy buenos”, pero con menor número de reutilizaciones promedio. En contraste, la madera natural ofreció mayor durabilidad en cuanto a usos, aunque con un acabado superficial consistentemente regular, lo que podría implicar mayores trabajos de afinado o tarrajeo en la etapa de acabados.

Tabla 62*Calidad del Acabado Superficial de Vigas Encofradas con Fenólico*

Vivienda	Piso	N° de vigas	Dimensiones (m)			Puntuación Likert	Aspecto acabado	N° de usos		N° de usos promedio
			Largo	Ancho	Alto			Mínimo	Máximo	
1	1	4	7.00	0.25	0.45	3	Regular	3	5	4
1	2	4	7.00	0.25	0.45	3	Regular	4	5	5
8	3	3	7.00	0.25	0.40	3	Regular	4	5	5
8	4	3	7.00	0.25	0.40	3	Regular	4	5	5
9	3	3	6.60	0.25	0.40	4	Bueno	4	5	5
9	4	3	6.60	0.25	0.40	4	Bueno	4	5	5
10	2	3	4.55	0.28	0.45	5	Muy bueno	4	5	5
10	3	3	4.55	0.28	0.45	5	Muy bueno	4	5	5
11	1	3	7.70	0.24	0.40	5	Muy bueno	4	5	5
11	2	3	7.70	0.24	0.40	5	Muy bueno	4	5	5
13	1	3	6.70	0.25	0.40	4	Bueno	4	5	5
13	2	3	6.70	0.25	0.40	4	Bueno	4	5	5
14	1	3	7.00	0.25	0.40	4	Bueno	2	4	3
14	2	3	7.00	0.25	0.40	4	Bueno	2	4	3
Total		44	7.00	0.25	0.40	4.00	Bueno	4	5	5

Tabla 63*Calidad del Acabado Superficial de Vigas Encofradas con Madera Natural*

Vivienda	Piso	N° de vigas	Dimensiones (m)			Puntuación Likert	Aspecto acabado	N° de usos		N° de usos promedio
			Largo	Ancho	Alto			Mínimo	Máximo	
2	1	3	5.40	0.25	0.45	3	Regular	5	8	7
2	2	3	5.50	0.25	0.45	3	Regular	5	8	7
3	1	3	5.00	0.25	0.45	3	Regular	5	8	7
3	2	3	5.00	0.25	0.45	3	Regular	8	12	10
4	1	3	4.70	0.25	0.40	3	Regular	8	12	10
4	2	3	4.70	0.25	0.40	3	Regular	6	10	8
5	1	1	5.30	0.25	0.45	3	Regular	6	10	8
5	1	1	5.50	0.25	0.45	3	Regular	6	10	8
5	1	1	5.70	0.25	0.45	3	Regular	6	10	8
5	1	1	5.90	0.25	0.45	3	Regular	6	10	8
5	2	1	5.30	0.25	0.45	3	Regular	6	10	8
5	2	1	5.50	0.25	0.45	3	Regular	6	10	8
5	2	1	5.70	0.25	0.45	3	Regular	6	10	8
5	2	1	5.90	0.25	0.45	3	Regular	6	10	8
6	1	1	2.55	0.25	0.40	3	Regular	5	8	7
6	1	1	3.75	0.25	0.40	3	Regular	5	8	7
6	1	1	2.45	0.25	0.40	3	Regular	5	8	7
6	2	1	2.55	0.25	0.40	3	Regular	6	10	8
6	2	1	3.75	0.25	0.40	3	Regular	6	10	8
6	2	1	2.45	0.25	0.40	3	Regular	6	10	8
7	1	3	6.25	0.25	0.45	3	Regular	6	10	8
7	2	3	6.25	0.25	0.45	3	Regular	6	10	8
12	1	3	5.70	0.25	0.45	3	Regular	5	8	7
12	2	3	5.70	0.25	0.45	3	Regular	5	8	7
Total		44	5.70	0.25	0.45	3.00	Regular	6	10	8

4.2. Contrastación de hipótesis

4.2.1. *Hipótesis general*

Las hipótesis generales planteadas en la investigación son:

Hipótesis alterna (H_1): El uso de encofrados fenólicos en la construcción de columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota presenta un rendimiento y una eficiencia constructiva superiores en comparación con los encofrados tradicionales de madera.

Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias en el rendimiento ni en la eficiencia entre los encofrados fenólicos y los de madera empleados en estructuras armadas de viviendas en la ciudad de Chota.

4.2.2. *Criterio de análisis inferencial*

El análisis inferencial se efectuó utilizando el software Minitab 22, con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia de 0.05. Bajo este criterio, cuando el valor p (probabilidad) es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1); mientras que, cuando el valor p es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H_1).

4.2.3. *Prueba de normalidad de datos*

La verificación de la normalidad de los datos se realizó en el software Minitab 22, aplicando la prueba de Anderson-Darling (AD). De acuerdo con este método, si el valor p es mayor a 0.05, se acepta que los datos presentan distribución con tendencia normal; en cambio, si el valor p es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis de normalidad, los datos no siguen dicha tendencia.

En la investigación, la prueba de normalidad se aplicó a los datos extraídos de las tablas correspondientes a cada variable analizada: rendimiento de la mano de obra (Tabla 17, Tabla 18, Tabla 23, Tabla 24), consumo de madera (Tabla 37,

Tabla 38, Tabla 42, Tabla 43), costos (Tabla 47), tiempos de ejecución y desencofrado (Tabla 51, Tabla 52, Tabla 53, Tabla 54, Tabla 55, Tabla 56, Tabla 57, Tabla 58) y calidad del acabado superficial (Tabla 60, Tabla 61, Tabla 62, Tabla 63).

La prueba de Anderson-Darling mostró que la mayoría de los datos (rendimiento, consumo de madera, costos y calidad) no siguen distribución normal ($p < 0.05$), por lo que se aplicó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney U. Solo en algunos registros de tiempo de desencofrado ($p > 0.05$) se usó la prueba t-Student para dos muestras.

Tabla 64

Prueba de Normalidad de Datos

Datos	Elemento	Encofrado	Media	Desv. Est.	N	AD	Valor p
Rendimiento	Columnas	Madera natural	10.60	1.958	118	3.940	<0.005
Rendimiento	Columnas	Fenólico	9.328	1.287	115	6.911	<0.005
Rendimiento	Vigas	Madera natural	9.892	1.818	44	1.402	<0.005
Rendimiento	Vigas	Fenólico	9.392	4.653	44	4.527	<0.005
Consumo de madera	Columnas	Madera natural	6.122	1.495	24	0.852	0.024
Consumo de madera	Columnas	Fenólico	6.307	1.028	19	0.895	0.018
Consumo de madera	Vigas	Madera natural	6.918	0.5036	17	1.446	<0.005
Consumo de madera	Vigas	Fenólico	6.239	0.1533	14	1.245	<0.005
Costo	Columnas	Madera natural	18.18	29.20	13	2.129	<0.005
Costo	Columnas	Fenólico	20.06	29.43	13	1.585	<0.005
Costo	Vigas	Madera natural	19.95	32.11	13	2.160	<0.005
Costo	Vigas	Fenólico	20.71	30.18	13	1.482	<0.005
Tiempo encofrado	Columnas	Fenólico	51.12	7.055	27	0.949	0.014
Tiempo encofrado	Columnas	Madera natural	46.73	9.808	31	1.676	<0.005
Tiempo encofrado	Vigas	Fenólico	53.44	11.26	14	1.845	<0.005
Tiempo encofrado	Vigas	Madera natural	52.30	8.846	21	0.338	0.469
Tiempo desencofrado	Columnas	Fenólico	11.72	0.8355	27	1.661	<0.005
Tiempo desencofrado	Columnas	Madera natural	14.51	0.6593	31	0.224	0.807
Tiempo desencofrado	Vigas	Fenólico	13.59	0.4018	14	0.423	0.275
Tiempo desencofrado	Vigas	Madera natural	15.43	0.6902	21	0.400	0.333
Calidad	Columnas	Fenólico	3.105	0.3153	19	6.103	<0.005
Calidad	Columnas	Madera natural	2.50	0.6594	24	3.063	<0.005
Calidad	Vigas	Fenólico	4	0.7845	14	1.017	0.008
Calidad	Vigas	Madera natural	2.875	0.3378	24	7.409	<0.005

4.2.4. Análisis inferencial

a) Rendimiento de la mano de obra en el encofrado

Los resultados de la prueba Mann-Whitney indican que tanto en columnas (valor $p = 1.000$) como en vigas (valor $p = 0.826$) el valor p es mayor a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0). No existe diferencia estadísticamente significativa en el rendimiento de la mano de obra entre el encofrado fenólico y el de madera. Por lo tanto, el encofrado fenólico no presenta rendimiento mayor que el encofrado de madera, evidenciando que el tipo de material empleado no determina un incremento en la productividad diaria de la cuadrilla.

Tabla 65

Prueba Mann-Whitney para Rendimiento de la Mano de Obra en el Encofrado de Columnas y Vigas

$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0, \eta_1 = \eta_2$ (El rendimiento de la mano de obra en el encofrado de columnas y vigas utilizando encofrado fenólico es igual que al utilizar encofrado de madera)

$H_1: \eta_1 - \eta_2 > 0, \eta_1 > \eta_2$ (El rendimiento de la mano de obra en el encofrado de columnas y vigas utilizando encofrado fenólico es mayor que al utilizar encofrado de madera)

Elemento	η_1	η_2	Valor W	Valor p
Columnas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	10655.50	1.000
Vigas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	1846.00	0.826

Nota. valor p mayor a 0.05 se acepta H_0 , valor p menor a 0.05 se acepta H_1 .

b) Consumo de materiales

En este caso, la prueba Mann-Whitney arroja valores p de 0.0138 para columnas y 0.000 para vigas, ambos menores a 0.05, lo que lleva a rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alternativa (H_1). Esto evidencia que el encofrado fenólico presenta un consumo de madera significativamente menor que el sistema de madera natural, lo cual es coherente con su diseño modular y la menor cantidad de piezas requeridas para cubrir las superficies de trabajo.

Tabla 66*Prueba Mann-Whitney para Consumo de Madera en el Encofrado de Columnas y Vigas*

H₀: $\eta_1 - \eta_2 = 0$, $\eta_1 = \eta_2$ (El consumo de madera en el encofrado de columnas y vigas utilizando encofrado fenólico es igual que al utilizar encofrado de madera)

H₁: $\eta_1 - \eta_2 < 0$, $\eta_1 < \eta_2$ (El consumo de madera en el encofrado de columnas y vigas utilizando encofrado fenólico es menor que al utilizar encofrado de madera)

Elemento	η_1	η_2	Valor W	Valor p
Columnas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	463.00	0.0138
Vigas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	105.00	0.000

Nota. valor p mayor a 0.05 se acepta H₀, valor p menor a 0.05 se acepta H₁.

c) Costo directo asociado

Los resultados muestran valores p de 0.801 para columnas y 0.640 para vigas, ambos mayores a 0.05, por lo que se acepta la hipótesis nula (H₀). Esto indica que el costo unitario directo del encofrado con fenólico no es menor que el del encofrado con madera. Por el contrario, considerando los valores obtenidos en el análisis descriptivo, se observa que el encofrado fenólico tiende a tener costos ligeramente superiores, por lo que no representa una alternativa de menor costo frente al uso de madera natural en este contexto.

Tabla 67*Prueba Mann-Whitney para Costo Unitario del Encofrado de Columnas y Vigas*

H₀: $\eta_1 - \eta_2 = 0$, $\eta_1 = \eta_2$ (El costo unitario del encofrado de columnas y vigas utilizando encofrado fenólico es igual que al utilizar encofrado de madera).

H₁: $\eta_1 - \eta_2 < 0$, $\eta_1 < \eta_2$ (El costo unitario del encofrado de columnas y vigas utilizando encofrado fenólico es menor que al utilizar encofrado de madera).

Elemento	η_1	η_2	Valor W	Valor p
Columnas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	191.50	0.801
Vigas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	182.00	0.640

Nota. valor p mayor a 0.05 se acepta H₀, valor p menor a 0.05 se acepta H₁.

d) Tiempo de ejecución y desmontaje del encofrado

Para el tiempo de ejecución del encofrado, los valores p obtenidos con la prueba Mann-Whitney fueron 0.987 para columnas y 0.466 para vigas, ambos mayores a 0.05, por lo que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de encofrado. Siendo así se acepta la hipótesis nula, y se infiere que el tiempo de ejecución del encofrado de columnas y vigas utilizando madera artificial (fenólico) no es menor que al utilizar madera natural, esto se debe a los mayores tiempos para adaptar los tableros de fenólico a las dimensiones de las tablas convencionales que se utilizan en madera, considerando que de esta forma el proceso constructivo era más fácil para los trabajadores.

En contraste, el análisis del tiempo de desencofrado mediante la prueba t-Student arrojó valores p de 0.000 tanto para columnas como para vigas, lo que implica rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa. Esto demuestra que el desencofrado con encofrado fenólico es significativamente más rápido que con madera natural, probablemente debido a la superficie más lisa y menor adherencia del concreto al tablero fenólico.

Tabla 68

Prueba Mann-Whitney para Tiempo de Ejecución del Encofrado de Columnas y Vigas

H₀: $\eta_1 - \eta_2 = 0$, $\eta_1 = \eta_2$ (El tiempo de ejecución del encofrado de columnas y vigas utilizando madera artificial (fenólico) es igual que al utilizar madera natural).

H₁: $\eta_1 - \eta_2 < 0$, $\eta_1 < \eta_2$ (El tiempo de ejecución del encofrado de columnas y vigas utilizando madera artificial (fenólico) es menor que al utilizar madera natural).

Elemento	η_1	η_2	Valor W	Valor p
Columnas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	938.00	0.987
Vigas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	249.00	0.466

Nota. valor p mayor a 0.05 se acepta H₀, valor p menor a 0.05 se acepta H₁.

Tabla 69*Prueba t-student de Dos Muestras para Tiempo del Desencofrado de Columnas y Vigas*

H₀: $\mu_1 - \mu_2 = 0$, $\mu_1 = \mu_2$ (El tiempo de desencofrado de columnas y vigas utilizando madera artificial (fenólico) es igual que al utilizar madera natural).

H₁: $\mu_1 - \mu_2 < 0$, $\mu_1 < \mu_2$ (El tiempo de desencofrado de columnas y vigas utilizando madera artificial (fenólico) es menor que al utilizar madera natural).

Elemento	μ_1	μ_2	Valor T	Valor p
Columnas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	-13.96	0.000
Vigas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	-9.92	0.000

Nota. valor p mayor a 0.05 se acepta H₀, valor p menor a 0.05 se acepta H₁.

e) Calidad del acabado superficial de columnas y vigas encofradas

Los resultados de la prueba Mann-Whitney muestran valores p de 0.001 para columnas y 0.000 para vigas, ambos menores a 0.05, lo que lleva a aceptar la hipótesis alternativa (H₁). Esto indica que la calidad del acabado superficial obtenida con encofrado fenólico es significativamente superior a la lograda con madera natural, destacándose por presentar superficies más uniformes, con menor porosidad y mejor apariencia estética tras el desencofrado.

Tabla 70*Prueba Mann-Whitney para la Calidad del Acabado Superficial de Columnas y Vigas Encofradas con Madera Natural o Artificial (Fenólico)*

H₀: $\eta_1 - \eta_2 = 0$, $\eta_1 = \eta_2$ (La calidad del acabado superficial de columnas y vigas encofradas utilizando madera artificial (fenólico) es igual que al utilizar madera natural).

H₁: $\eta_1 - \eta_2 > 0$, $\eta_1 > \eta_2$ (La calidad del acabado superficial de columnas y vigas encofradas utilizando madera artificial (fenólico) es mayor que al utilizar madera natural).

Elemento	η_1	η_2	Valor W	Valor p
Columnas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	542	0.001
Vigas	Encofrado fenólico	Encofrado de madera	399	0.000

Nota. valor p mayor a 0.05 se acepta H₀, valor p menor a 0.05 se acepta H₁.

4.2.5. Análisis descriptivo

El encofrado de madera destacó en rendimiento y costos, con mayor productividad diaria: en columnas 10.60 m²/día vs. 9.33 m²/día en fenólico (+11.98%) y en vigas 9.89 vs. 9.39 m²/día (+5.06%). También presentó menor tiempo de montaje (47.14 y 50.08 min/m²), aunque fue más lento en el desmontaje, donde el fenólico redujo tiempos en 24.04% (columnas) y 13.15% (vigas). En materiales, la madera demandó mayor consumo unitario (6.25 p² en columnas y 6.87 p² en vigas) frente al fenólico (4.79 y 4.20 p²). En costos, el fenólico resultó más caro: columnas 87.10 soles vs. 78.91 soles (+9.40%) y vigas 89.90 vs. 86.59 soles (+3.69%). Finalmente, en calidad de acabado superficial el fenólico fue superior, alcanzando 3.11 y 4 puntos frente a 2.50 y 3 puntos de la madera. En conclusión, la elección depende de priorizar productividad y costos (madera) o calidad y rapidez de desmontaje (fenólico).

4.2.6. Integración del análisis inferencial y descriptivo

El análisis descriptivo e inferencial llevó a aceptar la hipótesis nula (H₀): no existen diferencias significativas en rendimiento ni eficiencia global entre encofrados de madera y fenólicos en viviendas de Chota. La prueba Mann–Whitney confirmó ausencia de diferencias en mano de obra ($p = 1.000$ en columnas y $p = 0.826$ en vigas) y costos ($p > 0.05$), siendo el fenólico incluso más caro. Aunque este sistema mostró ventajas en consumo de materiales, rapidez de desencofrado y calidad de acabado, no fue superior en todos los parámetros, por lo que no se concluye que supere globalmente al encofrado de madera.

Tabla 71

Comparación del Rendimiento y Eficiencia de los Encofrados de Madera y Encofrados de Fenólico para Columnas y Vigas de Viviendas en la Ciudad de Chota

Parámetro	Madera	Fenólico	Comparación
Rendimiento (m2/día)			
Columnas	10.6	9.33	Mayor en madera (+11.98%)
Vigas	9.89	9.39	Mayor en madera (+5.06%)
Aporte unitario de materiales			
Columnas			
Fenólico (p2)	0	1.36	Exclusivo del sistema fenólico
Madera natural (p2)	6.25	4.79	Mayor uso en madera (+30.39%)
Madera (p2)	6.25	6.15	Mayor uso en madera (+1.58%)
Vigas			
Fenólico (p2)	0	2.04	Exclusivo del sistema fenólico
Madera natural (p2)	6.87	4.2	Mayor uso en madera (+63.58%)
Madera (p2)	6.87	6.24	Mayor uso en madera (+10.14%)
Costo unitario			
Columnas	78.91	87.1	Mayor en fenólico (+9.40%)
Vigas	86.59	89.9	Mayor en fenólico (+3.69%)
Tiempo/ metrado (min/m2)			
Columnas			
Proceso de encofrado	47.14	52.32	Menor tiempo en madera (-10.99%)
Proceso de desencofrado	14.52	11.71	Menor tiempo en fenólico (-24.04%)
Vigas			
Proceso de encofrado	50.08	52.98	Menor tiempo en madera (-5.80%)
Proceso de desencofrado	15.37	13.59	Menor tiempo en fenólico (-13.15%)
Calidad del acabado superficial			
Columnas			
	2.5	3.11	En columnas el acabado superficial es regular al utilizar encofrado de fenólico, pero es malo a regular al usar encofrado de madera
Vigas			
	3	4	En vigas el acabado superficial es bueno al utilizar encofrado de fenólico, pero es regular al usar encofrado de madera

4.3. **Discusión de resultados**

El rendimiento promedio de la mano de obra en el encofrado de columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota, utilizando encofrados de madera y fenólico, se encuentra dentro de los valores de referencia establecidos por CAPECO (2006); no obstante, el encofrado de madera presentó mejor desempeño productivo, con 10.60 m²/día en columnas y 9.89 m²/día en vigas, frente a 9.33 m²/día y 9.39 m²/día, respectivamente, en el encofrado fenólico. Esta diferencia, del 11.99% en columnas y del 5.06% en vigas, se asocia principalmente a la mayor experiencia y dominio que el personal tiene sobre el sistema tradicional de madera, así como a su mayor facilidad para el corte, ajuste y fijación en obra.

En el ámbito internacional, Vansya et al. (2024) y Putra et al. (2024) identificaron mejor desempeño del encofrado fenólico (sistema completo) frente a la madera en la ejecución de columnas, reduciendo significativamente los tiempos y aumentando la eficiencia. Esta discrepancia puede atribuirse a que, en los estudios mencionados, el personal contaba con experiencia previa en el uso de sistemas fenólicos, mientras que en la presente investigación los trabajadores lo empleaban por primera vez, requiriendo tiempos adicionales de ajuste y aprendizaje. Asimismo, Santiana et al. (2024) reportaron productividades superiores (10.65 m²/hh en columnas y 46.89 m²/hh en vigas), lo que sugiere que las diferencias en la organización de cuadrillas, herramientas utilizadas y condiciones de obra pueden influir notablemente en los resultados. Del mismo modo, Nosi et al. (2024) y Supriyono et al. (2025) evidenciaron que la elección de sistemas más industrializados, como aluminio o fenólico modular, optimiza la ejecución; sin embargo, su contexto se desarrolló en proyectos de gran escala con cuadrillas entrenadas y logística adaptada.

En el ámbito nacional, el rendimiento promedio obtenido con madera supera los valores reportados por Berrios (2025) en obras de encofrado de columnas (19 m² por cuadrilla/día) y vigas (16.69 m² por cuadrilla/día) cuando se normalizan por operario, evidenciando que, en la realidad de Chota, la organización de las cuadrillas y el aprovechamiento del tiempo de trabajo resultan más eficientes. Sarmiento (2024) reportó rendimientos similares en vigas (9.73 a 10.26 m²/día) y menores en columnas (5.79 a 8.44 m²/día), lo que confirma que la experiencia operativa y la especialización de la mano de obra inciden en los resultados finales. Por otro lado, Silva & Barua (2024) y Gamarra & Roldán (2024) demostraron que la aplicación de metodologías de planificación como BIM 4D y Last Planner System puede incrementar sustancialmente el rendimiento; esta diferencia subraya que la presente investigación se desarrolló bajo condiciones convencionales de obra sin intervención de dichas herramientas de gestión.

En el ámbito regional, los rendimientos obtenidos con madera (10.60 m²/día en columnas y 9.89 m²/día en vigas) se aproximan a los registrados por Torres et al. (2024) y Benavides & Torres (2024) para la ciudad de Chota (10.93 m²/día en columnas y 10 m²/día en vigas), lo que valida que estos valores son representativos de la realidad local y de las condiciones operativas habituales. Las ligeras diferencias observadas se atribuyen a variaciones en la logística, ubicación de la obra y el número de pisos en los que se ejecutaron las partidas.

El análisis del consumo de materiales empleados en los encofrados de columnas y vigas en viviendas de la ciudad de Chota muestra que el sistema fenólico permite reducción significativa en el uso de madera natural, lo que coincide parcialmente con los hallazgos de los antecedentes, pero también revela diferencias importantes asociadas a las particularidades constructivas locales. En

este estudio, el fenólico redujo en 30.39% el uso de madera natural en columnas y en 63.58% en vigas respecto al sistema tradicional, manteniendo un consumo total de material de encofrado ligeramente inferior (1.58% menos en columnas y 10.14% menos en vigas). Este comportamiento es coherente con lo señalado por Vansya et al. (2024) y Putra et al. (2024), quienes destacan que los sistemas de encofrado industrializados y modulares, como el fenólico, disminuyen la dependencia de madera y optimizan el aprovechamiento de los elementos, generando menor desperdicio y favoreciendo la reutilización.

Sin embargo, a diferencia de lo reportado por Supriyono et al. (2025) y Nosi et al. (2024), donde los sistemas más tecnificados no solo reducen materiales sino también fijaciones y accesorios, en este estudio el uso de fenólico en columnas requirió un consumo ligeramente mayor de clavos (+9.13%) y alambre negro (+12.18%) respecto a la madera, lo que se explica por la necesidad de fijar bastidores y encuentros para garantizar la rigidez y la continuidad de juntas. En vigas, la tendencia se invierte, y es el sistema de madera el que demanda mayor cantidad de clavos (+34.99%), alambre (+34.99%) y lubricante (+34.99%), debido al mayor número de piezas cortas y empalmes que requiere su montaje, confirmando lo indicado por Torres et al. (2024) y Benavides & Torres (2024) sobre la mayor intensidad de sujeción y ajuste en encofrados tradicionales.

En relación con el uso de insumos auxiliares, el lubricante de aceite fue exclusivo del sistema fenólico en columnas y se utilizó en menor cantidad en vigas, cumpliendo un rol importante en facilitar el desencofrado y preservar la superficie de los paneles, tal como sugieren Putra et al. (2024) para prolongar la vida útil del encofrado. El sistema de madera natural, en cambio, no emplea

desmoldantes en columnas y presenta un consumo mayor en vigas, probablemente como medida para minimizar adherencias en superficies con mayor absorción.

Por tanto, los resultados confirman que el encofrado fenólico es más eficiente en términos de reducción del consumo de madera y fijaciones en vigas, pero no logra esta ventaja en columnas, donde el número de elementos de sujeción es incluso mayor que en el sistema de madera.

La evaluación del costo directo asociado al uso de encofrados de madera y fenólico en la ejecución de columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota muestra que, a diferencia de lo que reportan varios antecedentes, el sistema fenólico no resulta más económico que el de madera. En el caso de columnas, el costo unitario directo del encofrado fenólico (S/ 87.10) supera en 9.40% al de madera (S/ 78.91), mientras que, en vigas, aunque la diferencia es menor (S/ 89.90 frente a S/ 86.59), también se observa costo superior del 3.69%. Estos resultados contrastan con lo reportado por Vansya et al. (2024) y Putra et al. (2024), quienes identificaron que los sistemas completos de encofrado fenólico o con película fenólica podían ser hasta 64% más rentables que los sistemas convencionales de madera, atribuyendo estas ventajas a la reducción de tiempos de ejecución y a la reutilización del material en múltiples ciclos constructivos; sin embargo, en el presente estudio, el menor rendimiento observado en el encofrado fenólico, tanto en columnas (9.33 m²/día frente a 10.60 m²/día) como en vigas (9.39 m²/día frente a 9.89 m²/día), incrementó las horas-hombre requeridas y, por ende, los costos de mano de obra. Los hallazgos también difieren parcialmente de los obtenidos por Supriyono et al. (2025), quienes concluyeron que el uso de sistemas alternativos de mayor inversión inicial, como el aluminio, permitía reducir los costos globales gracias a ahorros significativos en tiempo de ejecución.

En el contexto de Chota, si bien el sistema fenólico implica una menor demanda de ciertos materiales consumibles como clavos y alambre en vigas, el alto costo unitario de los paneles fenólicos y el uso adicional de lubricante elevan el costo total de materiales frente al sistema de madera. Este comportamiento se asemeja más a lo descrito por Berrios (2025) y Sarmiento (2024), quienes resaltan que el rendimiento y, en consecuencia, el costo asociado a la mano de obra, dependen fuertemente de las condiciones particulares de la obra, más que del tipo de encofrado empleado.

La comparación del tiempo de ejecución y desmontaje de los encofrados de madera y fenólico utilizados en columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota muestra resultados que coinciden parcialmente con lo reportado por algunos antecedentes. En el presente estudio, el encofrado de madera natural registró menores tiempos unitarios en la etapa de ejecución (montaje) tanto en columnas (47.14 min/m²) como en vigas (50.08 min/m²), lo que representó ventaja del 10.99% y 5.80% respectivamente sobre el sistema fenólico. Este comportamiento se explica principalmente por la mayor familiaridad de los operarios con el manejo de la madera, lo que coincide con lo señalado por Torres et al. (2024) y Benavides & Torres (2024), quienes reportaron rendimientos de montaje superiores en columnas y vigas empleando madera en viviendas de Chota; sin embargo, en la etapa de desmontaje (desencofrado), el sistema fenólico superó ampliamente a la madera, con reducciones del 24.04% en columnas y 13.15% en vigas, lo que concuerda con Vansya et al. (2024), quienes destacaron que los encofrados de sistema completo (fenólico) permiten una liberación más rápida de los elementos debido a su superficie lisa y baja adherencia al concreto.

Al comparar con estudios internacionales que evalúan la optimización de tiempos con sistemas industrializados, como el de Supriyono et al. (2025), se observa una diferencia importante: mientras dichos autores registraron ahorros de tiempo globales significativos (hasta 52 días) al emplear sistemas metálicos frente a multiplex, en el presente estudio el fenólico no redujo el tiempo total del ciclo constructivo (montaje + desmontaje) respecto a la madera, ya que la mejora en el desencofrado no compensó el incremento de tiempo en el encofrado. Esto también contrasta con Nosi et al. (2024), quienes hallaron altos rendimientos en montaje de columnas y vigas empleando cuadrillas especializadas.

En términos operativos, los resultados sugieren que, bajo las condiciones locales de Chota, la madera natural sigue siendo más eficiente para el montaje por su facilidad de adaptación y disponibilidad, mientras que el fenólico es claramente ventajoso para el desmontaje por su rapidez y menor esfuerzo requerido. De esta manera, la selección del sistema dependerá de la prioridad del proyecto: si se busca agilizar la etapa de montaje y optimizar el trabajo en frentes simultáneos, la madera es más conveniente; pero si el objetivo es reducir los plazos de desencofrado y acelerar la disponibilidad de moldes para reutilización, el fenólico ofrece mejores resultados.

La comparación de la calidad del acabado superficial de columnas y vigas encofradas con madera y fenólico en viviendas de la ciudad de Chota revela un patrón consistente con lo reportado por parte de los antecedentes, aunque con particularidades atribuibles a las condiciones locales de ejecución y a la manipulación de los materiales. En este estudio, el encofrado fenólico mostró desempeño superior en la calidad estética del concreto, especialmente en vigas, donde alcanzó calificación promedio de 4.00 en la escala Likert (“Bueno”), con

casos puntuales de 5.00 (“Muy bueno”). Este resultado es coherente con Vansya et al. (2024) y Putra et al. (2024), quienes destacan que los sistemas completos de encofrado fenólico proporcionan superficies más uniformes y limpias debido a su baja adherencia y menor deformación; sin embargo, a diferencia de lo observado por dichos autores, en el presente estudio el uso del fenólico no implicó aumento significativo en la cantidad de reutilizaciones, manteniéndose en promedio de 5 usos para vigas y 6 usos para columnas, inferior al alcanzado por la madera.

En contraste, el encofrado de madera natural, aunque obtuvo puntajes inferiores en la calidad del acabado (2.50 en columnas y 3.00 en vigas, equivalentes a “Malo” y “Regular”), presentó durabilidad mayor en número de reutilizaciones (8 usos promedio en ambos elementos). Este comportamiento concuerda con Torres et al. (2024) y Benavides & Torres (2024), quienes registraron que la madera, pese a no ofrecer acabados óptimos, mantiene rendimiento aceptable por su resistencia mecánica y facilidad de reparación, aunque con deterioro progresivo en la apariencia debido a la absorción de humedad, deformaciones y marcas de empalmes.

Al analizar de forma específica las columnas, el encofrado fenólico alcanzó un acabado “Regular” (3.11 puntos), superando a la madera (2.50 puntos, “Malo a Regular”). Aunque este resultado no llega a los niveles “Buenos” reportados por experiencias controladas en otros contextos, como la vivienda 1 de este estudio, que logró un 4.00 (“Bueno”), confirma que el fenólico reduce defectos visibles, tal como sugieren las recomendaciones técnicas de Putra et al. (2024) para trabajos con geometrías uniformes y correcta aplicación de desencofrantes. En vigas, la diferencia fue más pronunciada: el fenólico promedió 4.00 (“Bueno”) frente a 3.00 (“Regular”) de la madera, resultado que se alinea

con la premisa de que el acabado superficial mejora significativamente cuando se utilizan materiales con menor absorción y mayor estabilidad dimensional.

Por tanto, los hallazgos muestran que el fenólico es la opción más adecuada cuando la prioridad es obtener acabados superficiales uniformes y de buena apariencia, particularmente en vigas y en columnas con geometría regular y adecuada preparación; sin embargo, en contextos donde la durabilidad en número de reutilizaciones y la reducción de costos iniciales son prioritarias, la madera natural continúa siendo competitiva, aunque a costa de un mayor trabajo posterior de afinado o tarrajeo. De este modo, la elección entre uno u otro sistema dependerá de si el proyecto privilegia la calidad estética inmediata o la economía en el uso repetido del encofrado.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al comparar el rendimiento y eficiencia de los encofrados de madera y encofrados de fenólico para columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota, el encofrado fenólico mostró menor consumo de materiales, menor tiempo de desmontaje y mejor calidad de acabado superficial, mientras que el encofrado de madera destacó por su mayor rendimiento, mayor rapidez de montaje y menor costo, por lo que se concluye que ambos tipos de encofrado tienen ventajas y desventajas para su uso en la ciudad de Chota. Siendo las conclusiones específicas:

- 1) El rendimiento de la mano de obra en columnas y vigas de viviendas en Chota mostró que la madera superó al fenólico en el encofrado, alcanzando 10.60 m²/día en columnas y 9.89 m²/día en vigas, frente a 9.33 m²/día y 9.39 m²/día del fenólico, resultados asociados a la mayor experiencia de los trabajadores con este sistema. En cambio, en el desencofrado el fenólico fue más eficiente: en columnas logró 41.20 m²/día (por encima del estándar CAPECO de 40 m²/día), frente a 33.13 m²/día de la madera; y en vigas alcanzó 35.36 m²/día, valor cercano al estándar de 36 m²/día, mientras que la madera registró 31.29 m²/día. Esto demuestra que la madera es más ventajosa en el montaje, mientras que el fenólico presenta un desempeño superior en el desmontaje y reutilización de elementos.
- 2) El consumo de materiales en el encofrado de columnas y vigas en viviendas de la ciudad de Chota evidencia que el sistema fenólico reduce el uso de madera natural en 30.39% para columnas (4.79 p²/m² frente a 6.25 p²/m² en

madera) y en 63.58% para vigas (4.20 p²/m² frente a 6.87 p²/m² en madera); asimismo, en términos de material total empleado, el sistema con fenólico demanda tan solo 6.15 p²/m² en columnas y 6.24 p²/m² en vigas, frente a 6.25 p²/m² y 6.87 p²/m² respectivamente en el sistema tradicional. En columnas, el fenólico presenta consumo ligeramente mayor de clavos (+9.13%, 0.20 kg/m² frente a 0.19 kg/m²) y alambre N° 8 (+12.18%, 0.40 kg/m² frente a 0.36 kg/m²), además de requerir 0.13 gal/m² de lubricante, insumo no utilizado en madera. En vigas, el fenólico registra menores consumos en todos estos insumos: clavos (-34.99%, 0.18 kg/m² frente a 0.24 kg/m²), alambre (-34.99%, 0.22 kg/m² frente a 0.30 kg/m²) y lubricante (-34.99%, 0.08 gal/m² frente a 0.10 gal/m²).

- 3) El costo directo asociado determinó que el sistema fenólico en la ejecución de columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota presenta costos unitarios mayores expresados en S/ por m² de encofrado. En columnas, el costo unitario directo alcanza S/ 87.10 por m² frente a S/ 78.91 por m² del sistema de madera, lo que representa un incremento del 9.40%; y en vigas, aunque la diferencia es menor, el fenólico registra costo unitario de S/ 89.90 por m² frente a S/ 86.59 por m² en madera (+3.69%), asociado principalmente a la incorporación de tableros fenólicos (2.04 p²/m²).
- 4) El tiempo de ejecución y desmontaje de los encofrados de madera y fenólico en columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota evidenció que la madera presenta mayor rapidez en el montaje, mientras que el fenólico es más eficiente en el desmontaje. En columnas, la madera redujo en 10.99% el tiempo de encofrado (47.14 min/m²) frente al fenólico (52.32 min/m²), pero este último disminuyó en 24.04% el tiempo de desencofrado (11.71 min/m²

frente a 14.52 min/m²). En vigas, la madera también fue más rápida en el montaje, con 5.80% menos tiempo (50.08 min/m² frente a 52.98 min/m²), mientras que el fenólico redujo el tiempo de desmontaje en 13.15% (13.59 min/m² frente a 15.37 min/m²).

- 5) La calidad del acabado superficial evidenció que el encofrado fenólico proporciona mejores resultados estéticos en columnas y vigas que la madera natural, especialmente en vigas. En columnas, el fenólico obtuvo 3.11 puntos en la escala Likert (acabado “Regular”) frente a 2.50 puntos de la madera (acabado “Malo”), con promedios de reutilización de 6 y 8 veces, respectivamente. En vigas, el fenólico alcanzó 4.00 puntos (“Bueno”), mientras que la madera se mantuvo en 3.00 puntos (“Regular”), con reutilizaciones promedio de 5 usos en fenólico y 8 en madera.

5.2. Recomendaciones y/o sugerencias

Se recomienda capacitar a los operarios en técnicas de instalación de encofrados fenólicos para reducir la brecha de rendimiento y aprovechar las ventajas que este sistema ofrece en otros aspectos constructivos.

Se sugiere optar por el sistema fenólico en obras donde la optimización del consumo de madera natural sea prioritaria, particularmente en proyectos de gran metrado o con políticas de sostenibilidad ambiental; asimismo, se recomienda evaluar la disponibilidad y costo de insumos adicionales como lubricante, clavos y alambre, considerando que su incidencia varía según el tipo de elemento estructural.

Se recomienda emplear encofrado de madera en obras con restricciones presupuestarias, ya que presenta costos unitarios más bajos. En caso de optar por el fenólico por sus ventajas técnicas, se sugiere realizar un análisis costo–

beneficio integral, considerando su reutilización y el ahorro potencial en etapas posteriores como afinados o tarrajeos debido a su mejor acabado superficial.

Se sugiere utilizar encofrado de madera cuando se busque reducir el tiempo de montaje, y el fenólico cuando se requiera agilizar el desmontaje para optimizar la rotación del encofrado. Para maximizar la eficiencia, se recomienda planificar la secuencia de obra combinando ambos sistemas de forma estratégica según las características de cada elemento y la programación de la construcción.

Se recomienda emplear encofrado fenólico en proyectos donde la estética del concreto a la vista sea prioritaria o donde se busque reducir trabajos de acabado posteriores.

CAPÍTULO VI.

REFERENCIAS

- Alan, S. (2003). *Costos y Presupuestos en Edificación*. CAPECO.
- Alonso, A. E. (2022). *Propuesta de evaluación de las maderas tornillo, roble y pino como encofrados en estructuras de viviendas unifamiliares, estudiando sus características mecánicas, ecológicas y económicas en la ciudad de Lima, Perú*. [Tesis de grado, Universidad Peruana De Ciencias Aplicada].
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/666963>
- Arapa, V., & Maldonado, F. (2019). *Análisis de la eficiencia del empleo de encofrados metálicos y madera en la construcción de edificios de la ciudad del Cusco – 2017*. [Tesis de gradol, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco].
https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/3751/253T20190091_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Benavides, L. F., & Torres, R. (2024). *Evaluación de productividad y rendimiento de mano de obra en vigas y columnas de concreto en construcción de viviendas de la ciudad de Chota*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
<http://hdl.handle.net/20.500.14142/533>
- Berrios, B. (2025). *Relación entre el rendimiento de mano de obra real y fijados por CAPECO en la construcción del palacio municipal del distrito de Santo Domingo de Anda - Huánuco - 2024*. [Tesis de grado, Universidad de Huánuco].
<https://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/6132>
- Burga, J. (2022). *Evaluación del rendimiento y productividad de la mano de obra en la partida de asentado de ladrillo en la construcción de viviendas de la ciudad de Chota*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota].
<https://hdl.handle.net/20.500.14142/204>

- CAPECO. (2006). *Costos y presupuestos en edificaciones*. Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO).
- CAPECO. (2025). *Tablas salariales convención colectiva 2024-2025 del sector construcción*. Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO Perú).
<https://www.ftccperu.com/images/TABLAS%20SALARIALES%20PDF/TablasSalariales2024-2025.pdf>
- Cárdenas, A. J. (2021). *Diseño e implementación de encofrados modulares de la empresa ULMA para muros de contención de las bateas de lixiviación del proyecto Mina Justa, Perú, 2019*. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Del Perú].
https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/5280/A.Cardenas_Trabajo_de_Suficiencia_Profesional_Titulo_Profesional_2021.pdf?sequence=5
- Castañeda, J., & López, W. (2015). *Análisis comparativo entre el sistema de encofrado de aluminio y encofrado metálico para viviendas de interés social*. [Tesis de grado, Universidad de San Martín de Porres].
https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/1462/lopez_pwj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chunga, J., & Ramírez, K. (2019). *Aplicación del sistema de encofrado autotrepante y análisis comparativo de la productividad con el sistema de encofrado metálico convencional en edificaciones de gran altura*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica Del Perú].
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14222/CHUNGA_ZA%C3%91A%2C_JAHIR_%E2%80%99CAPLICACI%C3%93N%20_SISTEMA_ENCOFRADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Chuta, E., Colin, J., & Jeong, J. (2020). The impact of the water-to-cement ratio on the surface morphology of cementitious materials. *Journal of Building Engineering*, 32, 101716. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101716>
- Construproductos. (8 de Agosto de 2021). *Tableros más duraderos y seguros* . Encofrados de concreto con tableros fenólicos: <https://construproductos.com/noticia/encofrados-de-concreto-con-tableros-fenolicos-mas-duraderos-y-seguros-58DAE>
- Czarnecki, S., & Sadowski, Ł. (2022). Morphological properties of the cement skin: Understanding the effect of contact with formwork. *Case Studies in Construction Materials*, 16(2), e01007. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01007>
- De Caro, P., Djelal, C., Libessart, L., & Dubois, I. (2007). Influence of the nature of the demoulding agent on the properties of the formwork–concrete interface. *Magazine of Concrete Research*, 59(2), 141-149. <https://doi.org/10.1680/mac.2007.59.2.141>
- Díaz, D. (2021). *Análisis de la evolución de los encofrados tradicionales, encofrados metálicos y encofrados plásticos en la ciudad de Cajamarca – 2021*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/28231/Diaz%20Burgos%20C%20Dany%20Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dybeł, P., & Kucharska, M. (2019). Experimental assessment of the casting position factor of reinforcing bars in high performance concretes (HPC, HPSCC). *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 19, 127-136. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2018.09.005>
- Espinoza, J. A. (2021). *Aplicación de encofrados modulares para mejorar la productividad en construcción de viviendas multifamiliares en Jaén- Cajamarca*.

[Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/61320>

Expediente técnico. (2023). *Análisis de precios unitarios del proyecto Mejoramiento del servicio de educación básica regular de la institución educativa N° 093 Efrain Arcaya Zevallos del distrito de Zarumilla - Provincia de Zarumilla departamento de Tumbes. Municipalidad Distrital de Zarumilla.*
<https://regiontumbes.gob.pe/piloto/documentos/Obras%20con%20Cambios/EFR%20AIN%20ARCAYA%20ZEVALLOS/4.-%20INFORMACION%20ACTUALIZADA%20EFRAIN%20ARCAYA%20ZEVALLOS/2.%20PRESUPUESTOS/02%20-%20ESTRUCTURAS/analissubpresupuesto2varios.pdf>

Gabillo, S., & Mejía, F. (2014). *Optimización de la eficiencia del proceso constructivo en la partida de encofrado de vigas mediante la aplicación de cartas balance y líneas de balance, bajo un enfoque lean, para optimizar la mano de obra en el centro comercial “paso 28 de julio”.* [Tesis de grado, Universidad Peruana De Ciencias Aplicada].
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/581922>

Gamarra, F. A., & Roldan, G. R. (2024). *Implementación del sistema last planner system en actividades de encofrados en pisos altos aplicado en el proyecto multifamiliar prime Trujillo.* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte].
<https://hdl.handle.net/11537/38215>

Grajales, T. (2000). *Tipos de investigación.* Efaind. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf

- Kareem, W. B., Okwori, R. O., Abubakar, H. O., Nuhu, A., & Dickson, E. I. (2019). Evaluation of wood and plastic formworks in building construction industry for sustainable development. *In Journal of Physics: Conference Series*, 1378(3), 1-12. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1378/3/032007/pdf>
- MAFRESA. (10 de Mayo de 2021). *Tablero fenólico: Características y usos*. Construcción y encofrado: <https://mafresa.es/construccion-y-encofrado/tablero-fenolico/>
- Medina, J. A. (2023). *Evaluación del rendimiento y productividad de mano de obra en losas aligeradas con 20 cm de espesor en la construcción de vivienda, Chota*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. <http://hdl.handle.net/20.500.14142/469>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, MVCS. (2009). *Norma de concreto armado (D. S. N° 010-2009-VIVIENDA)*. Reglamento Nacional de Edificaciones. MVCS.
- Neuman, C. G. (2017). *Análisis de costos y eficiencia del encofrado de plástico en columnas y vigas*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/12676>
- Nosi, L., Bangun, S., Sembiring, K., & Naibaho, P. R. (2024). Time and cost management analysis of the formwork and reinforcement work (columns, beams, and slabs) for the 2nd floor amenities in the office building development project of the knowledge hub BSD city. *International Journal of Civil Engineering and Infrastructure*, 4(2), 23-36. <https://doi.org/10.24853/ijcei.4.2.23-36>
- Ocampo, A. y. (2022). *Análisis de eficiencia y costos del encofrado con revestimiento plástico para la construcción de estructuras de viviendas, Andahuaylas 2022*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/96453/Ocampo_AJ-Flores_CJE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Oribe, A. Y. (2014). *Análisis de costos y eficiencia del empleo de encofrados metálicos y convencionales en la construcción de edificios en la ciudad de Lima*. [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego].

[http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/628/1/REP_ING.CIVIL_YOSEP.ORIBE_AN%
c3%81LISIS.COSTOS.EFICIENCIA.EMPLEO.ENCOFRADOS.MET%
c3%81LICOS.CONVENCIONALES.CONSTRUCCI%
c3%93N.EDIFICIOS.LIMA.pdf](http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/628/1/REP_ING.CIVIL_YOSEP.ORIBE_AN%c3%81LISIS.COSTOS.EFICIENCIA.EMPLEO.ENCOFRADOS.MET%c3%81LICOS.CONVENCIONALES.CONSTRUCCI%c3%93N.EDIFICIOS.LIMA.pdf)

Palomino, T. A., & Rayme, S. (2021). *Análisis comparativo de la eficiencia al utilizar encofrado convencional versus encofrado metálico en los elementos estructurales de las edificaciones de concreto armado de la zona urbana B1 en la ciudad de Abancay 2019*. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes].
<https://hdl.handle.net/20.500.14512/286>

Putra, A. B., Sentosa, G. A., & Saputra, R. A. (2024). Cost analysis and method comparison on high-rise building column formworks by three formwork methods. *Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1324(1), 1-10.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1324/1/012007>

Quispe, J. (2015). *Análisis comparativo del proceso constructivo y propuesta de mejora de productividad en las partidas de concreto y encofrado de muros anclados mediante cartas de balance de dos proyectos ubicados en el distrito de Miraflores*. [Tesis de grado, Universidad Peruana De Ciencias Aplicada].
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/592409>

- Rajeshkumar, V., Anandaraj, S. K., & Elango, K. S. (2021). Analysis of factors influencing formwork material selection in construction buildings. *Materials Today Proceeding*, 32(2), 880-885. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.044>
- Sadowski, Ł., Popek, M., Czarnecki, S., & Mathia, T. G. (2017). Morphogenesis in solidification phases of lightweight concrete surface at early ages. *Construction and Building Materials*, 148, 96-103. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.026>
- Santiana, I. M., Sujahtra, I. W., Tapayasa, I. M., Wibawa, I. G., & Sudiasa, I. W. (2024). Analysis of labor productivity in reinforced concrete structures using time study methods. *International Research Journal of Engineering, IT and Scientific Research*, 10(3), 38-48. <https://doi.org/10.21744/irjeis.v10n3.2434>
- Sarmiento, K. (2024). *Relación entre los factores y el rendimiento de la mano de obra en concreto armado de la infraestructura del Poder Judicial de Abancay – 2023*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1485>
- Savukaitis, G., Daukšys, M., Juočiūnas, S., Grinys, A., & Kriptavičius, D. (2021). The influence of new and used formwork coated with different release agents on the appearance of the formed concrete surface. *Journal of Building Engineering*, 42(6), 102807. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102807>
- SENAMHI. (13 de noviembre de 2023). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI): <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Silva, J. E., & Barua, V. L. (2024). *Propuesta de mejora de planificación de subcontratistas de vaciado y encofrado de los elementos verticales y horizontales para aumentar la productividad en obra utilizando la metodología BIM 4D en un*

- proyecto multifamiliar en Lima*. [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)]. <http://hdl.handle.net/10757/674043>
- Soto, J. (2022). *Rendimiento del encofrado tradicional y el encofrado deslizante usado en tanques de hormigón armado*. [Tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil]. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5227>
- Supriyono, A. S., Putra, I. N., & Trigunaryah, B. (2025). Comparative Analysis of Formwork Systems: Cost Efficiency and Time Management in Construction Projects. *Advance Sustainable Science Engineering and Technology*, 7(2), 0250204-01 - 0250204-11. <https://doi.org/10.26877/asset.v7i2.1320>
- Švec, O., Žirgulis, G., Bolander, J. E., & Stang, H. (2014). Influence of formwork surface on the orientation of steel fibres within self-compacting concrete and on the mechanical properties of cast structural elements. *Cement and Concrete Composites*, 50, 60-72. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.12.002>
- Terzioglu, T., Polat, G., & Turkoglu, H. (2019). Traditional vs. industrial formwork system supply chains. In *International Civil Engineering and Architecture Conference, Trabzon, Turkey*, 1(1), 87-9. https://www.researchgate.net/profile/Taylan-Terzioglu-2/publication/354684252_Traditional_vs_industrial_formwork_system_supply_chains/links/61465c6da3df59440b97e577/Traditional-vs-industrial-formwork-system-supply-chains.pdf
- Terzioglu, T., Polat, G., & Turkoglu, H. (2022). Formwork system selection criteria for building construction projects: a structural equation modelling approach. *Buildings*, 12(2), 204. <https://doi.org/10.3390/buildings12020204>
- Torres, R., Benavides, L. F., Romero, L. F., & Cieza Sánchez, E. (2024). Productividad y rendimiento de mano de obra en la construcción de vigas y columnas en

- viviendas de Chota, Cajamarca. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 7(1), 33-42.
<https://doi.org/10.37518/2663-6360X2024v7n1p33>
- Toubal, N., Mellas, M., Sadowski, L., Krolicka, A., & Żak, A. (2019). The effect of curing conditions on the properties of cement-based composites blended with waste marble dust. *JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Societ*, 71(3), 1002-1015. <https://doi.org/10.1007/s11837-018-3254-9>
- Vanhove, Y., & Djelal, C. (2021). Influence of the formwork removal by polarization on the facing aesthetics in reinforced concrete. *Construction and Building*, 284, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122841>
- Vansya, M. L., Arifi, E., & Wijaya, M. N. (2024). The Effectiveness Of Using Column Formwork In A Multi-Story Building Construction Project. *Rekayasa Sipil*, 18(2), 165-171. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2024.018.02.14>
- Zheng, J. J., Li, C. Q., & Jones, M. R. (2003). Aggregate distribution in concrete with wall effect. *Magazine of Concrete Research*, 55(3), 257-265.
<https://doi.org/10.1680/macrcr.2003.55.3.257>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Tesis: Comparación del rendimiento y eficiencia de los encofrados de madera y encofrados de fenólico para columnas y vigas de viviendas, Chota,

2023

Tesista(s): Nilver Tirado Fernandez y Luis Fernando Mejía Gavidia

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicador	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿Con qué tipo de encofrado de madera o fenólico se logra mayor rendimiento y eficiencia en la construcción de columnas y vigas de viviendas, Chota?</p> <p>Problemas específicos</p> <p><input type="checkbox"/> ¿Con qué tipo de encofrado (fenólico o madera) se logra mayor rendimiento de la mano de obra en la edificación de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota?</p> <p><input type="checkbox"/> ¿Con qué tipo de encofrado (fenólico o madera) se logra menor consumo de materiales empleados durante el proceso constructivo de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota?</p> <p><input type="checkbox"/> ¿Con qué tipo de madera (fenólico o madera) se logra menor costo directo asociado al encofrado de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota?</p> <p><input type="checkbox"/> ¿Con qué tipo de encofrado (fenólico o madera) se logra menor tiempo de ejecución y desmontaje de los encofrados de madera y fenólico utilizados en columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota?</p> <p><input type="checkbox"/> ¿Con qué tipo de encofrado (fenólico o madera) se logra mayor calidad en el acabado superficial de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Comparar el rendimiento y eficiencia de los encofrados de madera y encofrados de fenólico para columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota, 2023.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p><input type="checkbox"/> Determinar el rendimiento de la mano de obra en el encofrado de madera y encofrado de fenólico en columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota.</p> <p><input type="checkbox"/> Analizar el consumo de materiales empleados en ambos tipos de encofrado durante el proceso constructivo de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota.</p> <p><input type="checkbox"/> Evaluar el costo directo asociado al uso de encofrados de madera y fenólico en la ejecución de columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota.</p> <p><input type="checkbox"/> Comparar el tiempo de ejecución y desmontaje de los encofrados de madera y fenólico utilizados en columnas y vigas de viviendas de la ciudad de Chota.</p> <p><input type="checkbox"/> Examinar la calidad del acabado superficial de columnas y vigas encofradas con madera y fenólico en viviendas de la ciudad de Chota.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>(H₁): El uso de encofrados fenólicos en la construcción de columnas y vigas de viviendas en la ciudad de Chota presenta un rendimiento y una eficiencia constructiva superiores en comparación con los encofrados tradicionales de madera.</p> <p>(H₀): No existen diferencias en el rendimiento ni en la eficiencia entre los encofrados fenólicos y los de madera empleados en estructuras armadas de viviendas en la ciudad de Chota.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <p>H₁: El encofrado fenólico presenta mayor rendimiento de la mano de obra que el encofrado de madera en vigas y columnas de las viviendas de la ciudad de Chota.</p> <p>H₂: El encofrado fenólico presenta menor consumo de materiales que el encofrado de madera en vigas y columnas de las viviendas de la ciudad de Chota.</p> <p>H₃: El encofrado fenólico presenta menor costo unitario directo que el encofrado de madera en vigas y columnas de las viviendas de la ciudad de Chota.</p> <p>H₄: El encofrado fenólico requiere menor tiempo de ejecución y/o desmontaje que el encofrado de madera en vigas y columnas de las viviendas de la ciudad de Chota.</p> <p>H₅: El encofrado fenólico logra mayor calidad de acabado superficial que el encofrado de madera en vigas y columnas de las viviendas de la ciudad de Chota.</p>	<p>VI</p> <p>Encofrados</p>	<p>Encofrado de madera</p> <p>Encofrado de fenólico</p> <p>Rendimiento de la mano de obra</p> <p>VD</p> <p>Rendimiento de materiales</p> <p>Rendimiento de herramientas</p> <p>Costo de encofrado</p> <p>VD</p> <p>Eficiencia</p> <p>Calidad del acabado superficial del elemento encofrado</p>	<p>Encofrado de madera para columnas</p> <p>Encofrado de madera para vigas</p> <p>Encofrado de madera para columnas</p> <p>Encofrado de madera para vigas</p> <p>Metrado total</p> <p>Tiempo</p> <p>Aporte unitario</p> <p>Rendimiento Fenólico</p> <p>Madera natural</p> <p>Clavos</p> <p>Alambre</p> <p>Lubricante</p> <p>Porcentaje respecto a la mano de obra</p> <p>Costo de mano de obra</p> <p>Costo de materiales</p> <p>Costo de herramientas manuales</p> <p>Tiempo unitario de encofrado</p> <p>Tiempo unitario de desencofrado</p> <p>Aspecto de acabado</p> <p>Número de elementos encofrados</p> <p>Cantidad de usos</p>	<p>Enfoque cuantitativo</p> <p>Nivel descriptivo</p> <p>Tipo aplicado</p> <p>Muestra: 14 viviendas, de las cuales 7 emplearon encofrado de madera y 7 utilizaron encofrado de fenólico, evaluándose en cada caso el rendimiento de la mano de obra, el consumo de materiales, el costo unitario directo, el tiempo de montaje y desmontaje, y la calidad del acabado superficial.</p>

Anexo B. Panel fotográfico

Fotografía 1. Preparación del encofrado de la vivienda N° 1



Fotografía 2. Encofrado de columnas de la vivienda N° 1



Fotografía 3. Medición del rendimiento en el encofrado de vigas de la vivienda N° 1



Fotografía 4. Encofrado de vigas de la vivienda N° 1



Fotografía 5. Preparación del encofrado de la vivienda N° 2



Fotografía 6. Encofrado de columnas de la vivienda N° 2



Fotografía 7. Medición del rendimiento en el encofrado de columnas de la vivienda N° 2



Fotografía 8. Rendimiento de encofrado de vigas de la vivienda N° 2



Fotografía 9. Preparación del encofrado de la vivienda N° 3



Fotografía 10. Medición del rendimiento en el encofrado de columnas de la vivienda N° 3



Fotografía 11. Rendimiento de encofrado de vigas de la vivienda N° 3



Fotografía 12. Vista de los acabados de columnas y vigas de la vivienda N° 3



Fotografía 13. Preparación del encofrado de la vivienda N° 4



Fotografía 14. Encofrado de columnas de la vivienda N° 4



Fotografía 15. Medición del rendimiento en el encofrado de columnas de la vivienda N° 4



Fotografía 16. Rendimiento de encofrado de vigas de la vivienda N° 4



Fotografía 17. Vista de la vivienda N° 5



Fotografía 18. Encofrado de columnas de la vivienda N° 5



Fotografía 19. Medición del rendimiento en el encofrado de columnas de la vivienda N° 5



Fotografía 20. Rendimiento de encofrado de vigas de la vivienda N° 5



Fotografía 21. Vista de la vivienda N° 6



Fotografía 22. Encofrado de columnas de la vivienda N° 6



Fotografía 23. Medición del rendimiento en el encofrado de columnas de la vivienda N° 6



Fotografía 24. Vista de los acabados de columnas y vigas de la vivienda N° 6



Fotografía 25. Vista de la vivienda N° 7



Fotografía 26. Encofrado de columnas de la vivienda N° 7



Fotografía 27. Medición del rendimiento en el encofrado de columnas de la vivienda N° 7



Fotografía 28. Vista de los acabados de columnas y vigas de la vivienda N° 7



Fotografía 29. Vista de la vivienda N° 8



Fotografía 30. Encofrado de columnas de la vivienda N° 8



Fotografía 31. Medición del rendimiento en el encofrado de vigas de la vivienda N° 8



Fotografía 32. Vista de los acabados de columnas y vigas de la vivienda N° 8



Fotografía 33. Encofrado de columnas de la vivienda N° 9



Fotografía 34. Medición del rendimiento en el encofrado de vigas de la vivienda N° 9



Fotografía 35.. Vista de los acabados de columnas de la vivienda N° 9



Fotografía 36. Medición del rendimiento en el encofrado de vigas de la vivienda N° 9



Fotografía 37. Vista de la vivienda N° 10



Fotografía 38. Encofrado de columnas de la vivienda N° 10



Fotografía 39. Medición del rendimiento en encofrado de columnas de la vivienda N° 10



Fotografía 40. Vista de los acabados de columnas y vigas de la vivienda N° 10



Fotografía 41. Vista de la vivienda N° 11



Fotografía 42. Encofrado de columnas de la vivienda N° 11



Fotografía 43. Medición del rendimiento en encofrado de columnas de la vivienda N° 11



Fotografía 44. Vista de los acabados de columnas y vigas de la vivienda N° 11



Fotografía 45. Vista de la vivienda N° 12



Fotografía 46. Encofrado de vigas de la vivienda N° 12



Fotografía 47. Medición del rendimiento en encofrado de columnas de la vivienda N° 12



Fotografía 48. Vista de los acabados de columnas y vigas de la vivienda N° 12



Fotografía 49. Vista de la vivienda N° 13



Fotografía 50. Encofrado de columnas de la vivienda N° 13



Fotografía 51. Medición del rendimiento en encofrado de columnas y vigas de la vivienda N° 13



Fotografía 52. Vista de los acabados de columnas y vigas de la vivienda N° 13



Fotografía 53. Vista de la vivienda N° 14



Fotografía 54. Encofrado de columnas de la vivienda N° 14



Fotografía 55. Medición del rendimiento en encofrado de columnas de la vivienda N° 14



Fotografía 56. Vista de los acabados de columnas de la vivienda N° 14



Anexo C. Documentación

En el presente anexo se incluye la documentación de respaldo utilizada durante el desarrollo de la investigación, la cual garantiza la validez ética y metodológica del estudio. Se presentan, en primer lugar, la carta de invitación remitida a los participantes, posteriormente la carta de aceptación que formaliza su participación voluntaria y, finalmente, los permisos otorgados por los propietarios de las 15 unidades muestrales, que autorizaron la ejecución de las actividades de observación y recolección de datos en sus viviendas.

- Anexo N° 1. Carta de invitación para participar en el estudio
- Anexo N° 2. Carta de aceptación para participar en el estudio
- Anexo N° 3. Permisos de los propietarios de las 15 unidades muestrales

La versión electrónica se puede solicitar al autor (2017051037@unach.edu.pe), o descargarse directamente desde, el enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/1bMcIUdKLiJEfWsnIAbVs-Rw3u-mNubsc>

o Código QR



Anexo D. Datos recolectados en las viviendas

Este anexo reúne los datos primarios obtenidos en las 15 viviendas de estudio, incluyendo fichas de registro, cuestionarios de costos, formatos de cálculo de rendimientos y aportes de materiales, así como el análisis de calidad del acabado superficial y los costos unitarios procesados en el programa Presupuestos.pe.

- Mapa de ubicación de las viviendas de estudio (Anexo N° 1)
- Ficha de registro de las características de las viviendas (Anexo N° 2)
- Cuestionario de costo de mano de obra, materiales y equipos (Anexo N° 3)
- Ficha de datos del elemento estructural (Anexo N° 4)
- Formato para cálculo de rendimiento de mano de obra en encofrado (Anexo N° 5)
- Formato de análisis de la calidad del acabado superficial (Anexo N° 6)
- Formato de cálculo del aporte de materiales (Anexo N° 7)
- Formato para cálculo de rendimiento en desencofrado (Anexo N° 8)
- Análisis de costos unitarios en el programa Presupuestos.pe (Anexo N° 9)

La versión electrónica se puede solicitar al autor (2017051037@unach.edu.pe), o descargarse directamente desde, el enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/1vdvv8of2pPk-XKZqsSYzvrW0piBOHf7n>

o Código QR

