

# Encofrados de madera y metálicos en muros de corte y su desempeño respecto al número de usos y costo

José Ronald Aguilar Huerta  
<https://orcid.org/0000-0002-5215-5253>  
jose.aguilar@unsaac.edu.pe  
Universidad Nacional de San Antonio  
Abad del Cusco  
Cusco, Perú

Urpi Barreto Rivera  
<https://orcid.org/0000-0002-2205-6799>  
ubarreto@continental.edu.pe  
Facultad de Ingeniería, Universidad  
Continental  
Cusco, Perú

Lisbeth Berrio Atapaucarr  
<https://orcid.org/0000-0002-9893-077X>  
lisbeth.berrio1@gmail.com  
Universidad Nacional de San Antonio Abad  
del Cusco  
Cusco, Perú

Recibido (16/12/2022), Aceptado (11/04/2023)

**Resumen:** La construcción con concreto requiere de un encofrado que dé forma a las secciones estructurales y resista el peso del concreto, este representa entre el 40% y el 60% de los costos globales del concreto, por lo que el equipo de construcción debe tomar decisiones rentables a lo largo de todo el proyecto. En esta investigación se compara el rendimiento técnico y económico, el costo unitario y la cantidad de aplicaciones del encofrado metálico y de madera en la construcción de muros de corte ejecutados en 80 unidades unifamiliares reunidos en 4 unidades inmobiliarias. Para alcanzar el valor de rendimiento de 3.501,18m<sup>2</sup>, con el encofrado metálico, se requirió de 31 usos con un costo de 5.873,13 USD; en cambio, con el encofrado de madera se requirió de 51 usos con un costo de 14.289,79 USD. Después de 20 usos, comparando el encofrado de madera con el metálico, el segundo resultó un 66% más eficiente.

**Palabras clave:** Encofrado, madera, metálico, desempeño.

Wood and metal shear wall formwork and its performance concerning its uses number and costs

**Abstract.-** Concrete construction requires a formwork that shapes the structural sections and resists the concrete's weight, representing between 40% and 60% of the overall concrete costs, so the construction team must make cost-effective decisions throughout the project. This research compares the technical and economic performance, unit cost, and the number of metal and wood formwork applications in constructing shear walls in 80 single-family units assembled in 4 real estate units. To reach the yield value of 3,501.18m<sup>2</sup>, with the metal formwork, 31 uses were required at the cost of 5,873.13 USD; on the other hand, with the wood formwork, 51 uses were necessary at the cost of 14,289.79 USD. After 20 uses, comparing the wood formwork with the metal formwork, the latter was 66% more efficient.

**Keywords:** Formwork, wood, metal, performance.



## I. INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los principales materiales de construcción en el sector de la edificación. Es un material que puede ayudar a reducir los costos de mantenimiento del edificio, mejorar la protección contra incendios y minimizar el ruido, todo lo cual contribuye a la longevidad de un edificio [1]. Se ha utilizado ampliamente en la construcción de edificios e infraestructuras residenciales y comerciales no sólo por sus excelentes propiedades de construcción, como el rendimiento estructural, la sostenibilidad, la accesibilidad y el bajo costo, sino también por su capacidad de encofrado para conseguir cualquier forma independientemente de la complejidad geométrica. Por ello, el concreto requiere un molde para dar forma a las piezas estructurales en los proyectos de construcción, lo que se conoce comúnmente como encofrado.

El encofrado se define como una estructura temporal utilizada para soportar y resistir el peso del concreto hasta que pueda aguantar su propio peso. La construcción de los distintos componentes de las estructuras de concreto armado -columnas, muros, vigas, cubiertas, etc.- requiere encofrados, que funcionan de forma similar a los moldes en el sentido de que permiten conseguir las formas y medidas indicadas en los diseños correspondientes.

Sin embargo, los encofrados no deben ser considerados como simples moldes. En realidad, son estructuras; por lo tanto, sujetas a diversos tipos de cargas y acciones que, generalmente, alcanzan significativas magnitudes [2]. Los encofrados tradicionales se han utilizado en la construcción de concreto desde los primeros tiempos, los cuales están hechos de materiales rígidos y normalmente se utilizan para las estructuras con geometrías regulares. El encofrado de madera y el encofrado metálico son los dos tipos de encofrados tradicionales más utilizados [3].

En términos de costo, el encofrado representa entre el 40% y el 60% del total de la obra de concreto y aproximadamente el 10% de los costos totales de la construcción [4]. Basándose en este estudio, el equipo de construcción debe tomar decisiones rentables a lo largo de todo el proceso, desde la selección de materiales hasta la instalación del encofrado, para garantizar que el proyecto sea rentable en cuanto a costos y tiempo [5], [6], por lo que, el número de usos del encofrado también es otro factor decisivo dependiendo de los requerimientos de la obra de manera que se evite un encarecimiento innecesario.

Esta investigación se analiza en la gerencia de la empresa constructora Corporación Ayar S.A.C. en el Perú, para esto se analizó un condominio de cuatro bloques de seis niveles de 20 departamentos cada uno. El sistema estructural de acuerdo a los planos fue de muros de corte o placas. El encofrado y desencofrado es en total de 3.501,18 m<sup>2</sup>, por lo tanto, surgió la cuestión de qué tipo de encofrado usar. Por tal motivo, se realizó un estudio técnico y económico para determinar la eficiencia en la empleabilidad de ambos tipos de encofrados, a través de comparaciones entre rendimientos, costos unitarios y usos de los mismos.

## II. DESARROLLO

Los encofrados tradicionales suelen fabricarse con materiales rígidos como la madera y el metal para la construcción de estructuras de concreto con geometrías regulares. Estos encofrados suelen ser construidos manualmente por artesanos cualificados. Debido a que, la aplicación de los encofrados tradicionales tiene una larga historia, las técnicas de fabricación, como el corte, el montaje y la colocación de los elementos del encofrado, están bien establecidas.

#### A. Encofrado de madera

En los encofrados de madera la construcción se realiza en el sitio utilizando como material de fabricación las tablas de madera y madera contrachapada o aglomerado resistente a la humedad. Es utilizada en su mayoría en obras de pequeña y mediana envergadura. El contrachapado es un material comúnmente utilizado en los encofrados de madera. El contrachapado es un producto de madera fabricado con finas láminas de chapa laminada transversalmente y unidas bajo calor y presión con fuertes adhesivos [7]. Los paneles de madera contrachapada tienen una estabilidad dimensional superior y una excelente relación resistencia-peso. También son muy resistentes a los impactos, a los productos químicos y a los cambios de temperatura y humedad [8]. El uso del contrachapado como material de encofrado tiene muchas ventajas, como su superficie lisa, su disponibilidad en una gama de espesores y longitudes estándar, y su facilidad de manejo durante la construcción. Además, los paneles de madera contrachapada pueden desmontarse fácilmente, invertirse y utilizarse en diferentes lados, lo que podría aumentar el número de reutilizaciones [9].

Con el rápido desarrollo de la industria inmobiliaria, se ha visto un gran aumento de los edificios residenciales y comerciales de gran altura en todo el mundo. En estas estructuras modernas se suele requerir un sistema de encofrado con gran capacidad de carga y rigidez global. Para mejorar la calidad del encofrado de madera y obtener un contrachapado de altas prestaciones para las construcciones modernas, se investigó el contrachapado compuesto, se utilizaron chapas de álamo y eucalipto de rápido crecimiento como materiales de base debido a su alta relación resistencia-peso y su bajo costo [10]. El tejido de fibra de carbono, que tiene baja densidad, alta resistencia, alto módulo y propiedades químicas estables, se utilizó para reforzar el contrachapado compuesto. Se descubrió que tanto la resistencia al impacto como las propiedades de flexión del encofrado podían mejorar significativamente utilizando el contrachapado compuesto en comparación con la madera ordinaria.

Aunque los encofrados de madera se han utilizado ampliamente en la industria de la construcción, no están exentos de desventajas. Por un lado, los encofrados de madera suelen requerir mucha mano de obra para cortar y ensamblar las piezas de madera, lo que requiere mucho tiempo para la construcción de grandes estructuras [11]. Por otro lado, la reutilización de los elementos de madera se limita a estructuras con geometrías similares, y los elementos de madera suelen tener una vida útil corta [12]. Además, el encofrado de madera no puede mantener su forma cuando se aplican cargas pesadas, y suele ser necesario un sistema de andamiaje adicional, lo que resulta ineficiente e insostenible [13].

#### B. Encofrado de metálico

El sistema de encofrado metálico es otro sistema de encofrado tradicional ampliamente utilizado en todo el mundo. El acero y el aluminio son los dos materiales más utilizados en el sistema de encofrado metálico. En comparación con el encofrado de madera, el encofrado de acero tiene varias ventajas. En primer lugar, el encofrado de acero no sólo puede proporcionar una rigidez y resistencia adecuadas, sino que también se puede montar, desmontar, trasladar y volver a montar rápidamente [14]. En segundo lugar, el costo puede reducirse mediante la reutilización múltiple, especialmente en el caso de estructuras con formas ortogonales. Además, la suavidad de la superficie de los componentes de concretos colados por el encofrado de acero suele ser buena. Aunque el encofrado de acero es el más adecuado para la fabricación de componentes de concreto ortogonales, también puede utilizarse para vaciar componentes de concretos curvos. Mediante un diseño adecuado, el encofrado de acero puede servir como encofrado permanente, de modo que se pueden conseguir sistemas de cubierta de acero de gran envergadura, lo que permite reducir el costo y el tiempo de construcción. También puede reducirse el número de componentes de soporte, como las vigas y los muros, lo que permitiría obtener diseños de planta abierta excepcionales.

A pesar de las muchas ventajas, también hay que tener en cuenta las desventajas del encofrado de acero. En primer lugar, el costo del encofrado de acero sería elevado. No sería rentable utilizar el encofrado de acero a menos que se pueda utilizar repetidamente. Además, el encofrado de acero tiene un gran peso propio, lo que puede requerir equipos de elevación adicionales durante la construcción. Mientras tanto, el encofrado de acero puede ralentizar el proceso de curado del concreto en tiempo frío, y también puede oxidarse durante la temporada de lluvias, lo que puede afectar a la resistencia, la duración y la calidad de la superficie de los componentes del concreto. Además del acero, también se ha utilizado el aluminio como material de encofrado. Debido a su menor densidad, el encofrado de aluminio es mucho más ligero que el de acero.

El encofrado de aluminio se suele fabricar en forma de sistema de encofrado modular que consta de miembros de tamaño estándar. Utilizando el encofrado modular de aluminio, las obras de construcción son rentables, y normalmente se pueden conseguir componentes de concreto con una buena calidad superficial. La naturaleza del sistema de encofrado modular también permite un fácil montaje y desmontaje de los miembros del encofrado, lo que significa que la construcción puede ser muy eficiente con poca desviación en la dimensión [15]. Como el aluminio puede ser atacado químicamente por el concreto fresco, es conveniente utilizar una aleación de aluminio en el sistema de encofrado.

En la actualidad, los encofrados de acero y aluminio se utilizan principalmente para vaciar componentes de concreto ortogonales para los que es posible el uso repetitivo de encofrados. Para estructuras de concreto con geometrías complejas y personalizadas, estos encofrados no se utilizan habitualmente. Esto se debe principalmente a la dificultad en la fabricación de los miembros del encofrado metálico en formas complejas. Además, los costos de fabricación y mantenimiento de los encofrados de acero y aluminio son relativamente altos. Además, el encofrado utilizado para la fundición de elementos estructurales a medida no puede utilizarse repetidamente, lo que supone un aumento adicional del costo global. Además, como el encofrado metálico es impermeable, el aire atrapado daría lugar a la formación de agujeros de soplado en un concreto inadecuadamente compactado.

### C. Requerimientos del sistema de encofrados de madera y metálicos

Para evaluar los requerimientos necesarios [16], se considera a la mano de obra, equipo y maquinaria y almacenamiento para encofrados tanto de madera y metálicos en muros de corte (muros estructurales, generalmente vertical, diseñados para resistir combinaciones de cortante, momento y fuerza axial inducidas por los movimientos sísmicos), tal como se aprecia en la tabla a continuación.

**Tabla 1.** Requerimientos de Sistema de Encofrados Convencional de Madera y Metálico

Tipo de encofrado	Mano de obra	Equipo y maquinaria	Almacenamiento
Encofrado de madera	Requiere ser especializada	Maderas: tablas y cuartones, clavos, cepillo de madera, sierra de mesa, niveles, escuadra metálica, martillo, serrucho, corbata, cinta métrica	
Encofrado metálico	No requiere ser especializada	Formaletas, cuña para conexión.	Barniz anticorrosivo

Fuente: [16].

### III. METODOLOGÍA

Para determinar la eficiencia en la empleabilidad de los encofrados convencionales de madera y los encofrados metálicos, se analizó un condominio de cuatro bloques de seis niveles de 20 departamentos cada uno. El sistema estructural es de muros estructurales. De acuerdo a los planos, el encofrado y desencofrado asciende a un total de 3.501,18 m<sup>2</sup>. Por lo tanto, surge la necesidad de elegir correctamente el encofrado a utilizarse. En consecuencia, en la investigación se plantea una metodología para la elección del encofrado, la cual consiste en (i) calcular el costo unitario de la actividad encofrado y desencofrado en muros de corte, con encofrados de madera y encofrados metálicos, (ii) compatibilizar los planos las distintas especialidades e identificar la ubicación y geometría de los muros de corte para realizar la medición en metros cuadrados de los encofrados requeridos, (iii) determinar los rendimientos en metros cuadrados por día diferenciando entre encofrados de madera y metálicos, (iv) realizar la equivalencia de un mismo número de obreros, estableciendo el rendimiento en la unidad de metros cuadrados en un día, del encofrado tanto para madera como para metálico, (v) estimar el costo inicial que se requiere para iniciar el encofrado de madera, así como el del encofrado metálico, (vi) para los encofrados de madera, elaborar una tabla de usos, costo y rendimiento, tomando en cuenta la vida útil de cinco usos, (vii) para los encofrados metálicos, elaborar una tabla de usos, costo y rendimiento, tomando en cuenta la vida útil de hasta 100 usos, (viii) graficar los costos y usos en el empleo de los encofrados convencionales de madera y encofrados metálicos en muros de corte y (ix) graficar los rendimientos y usos en el uso de encofrados convencionales de madera y encofrados metálicos en muros de corte.

### RESULTADOS

#### A. Análisis de costos unitarios

En un análisis de costos unitarios se ofrece una lista completa de los suministros, herramientas, mano de obra y otros gastos necesarios para completar una actividad concreta, que se utiliza para desglosar el costo de cada elemento de trabajo en términos unitarios, este análisis se utiliza como herramienta de gestión de costos a lo largo de toda la construcción. En la tabla 2 se muestra el costo unitario de la partida de encofrado y desencofrado para muros de cortante utilizando el encofrado tradicional de madera, en el contexto estudiado el costo por metro cuadrado del encofrado de madera es de 18,63 USD.

**Tabla 2.** Análisis de Costos Unitarios para encofrados de madera.

Encofrado y desencofrado de madera para muros portantes					Costo unitario directo por: m <sup>2</sup> en USD
Rendimiento (m <sup>2</sup> /día)	Mano de Obra	11,62	Equipos	11,62	18,63
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio USD	Parcial USD
<b>Mano de Obra</b>					<b>2,54</b>
Operario	hh	1	0,688	1,95	1,35
Oficial	hh	1	0,688	1,74	1,20
<b>Materiales</b>					<b>16,02</b>
Alambre Negro # 8	kg		0,460	1,08	0,50
Hoja de Sierra	u		0,020	1,08	0,02
Clavos de 4"	kg		0,300	0,92	0,28
Acero Corrugado FY=4200 Kg/Cm <sup>2</sup> De 3/8"	kg		0,436	0,59	0,26
Madera para Encofrado 1 1/2" X 8" X 10"	p2		19,000	0,62	11,80
Madera 2" X 3" X 10"	p2		4,000	0,62	2,48
Rollizo de eucalipto De 4" X 3m	pza		0,333	1,89	0,63
Petróleo Diésel # 2	gal		0,023	2,21	0,05
<b>Equipos</b>					<b>0,08</b>
Herramientas manuales	%MO		0,03	2,54	0,08

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se observa que el costo unitario de la partida de encofrado y desencofrado para muros de corte utilizando encofrados metálicos, estos tienen un costo unitario de 5063 USD.

**Tabla 3.** Análisis de Costos Unitarios para encofrados metálicos.

Encofrado y desencofrado metálicos para muros portantes					Costo unitario directo por: m2 en USD
Rendimiento (m2/día)	Mano de Obra	29	Equipos	29	50,63
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio USD	Parcial USD
<b>Mano de Obra</b>					<b>1,50</b>
Operario	hh	1	0,276	1,95	0,54
Oficial	hh	2	0,552	1,74	0,96
<b>Materiales</b>					<b>49,09</b>
Alambre negro # 8	kg		0,0833	1,08	0,09
Clavos de 4"	kg		0,0416	0,92	0,04
Acero liso de 1/2"	kg		0,07	3,24	0,23
Acero corrugado fy=4200 kg/cm2 de 1/4"	kg		0,17	0,59	0,10
Acero corrugado fy=4200 kg/cm2 de 3/8"	kg		0,436	0,59	0,26
Varilla roscada 1/2 x 1 m	var		0,4	2,97	1,19
Madera para encofrado 1 1/2" x 8" x 10"	p2		13	0,62	8,07
Madera 2" x 3" x 10"	p2		6	0,62	3,73
Rollizo de eucalipto de 4" x 3m	pza		0,3333	1,89	0,63
Acero rectangular 1" x 2" x 6 m	var		0,4	6,75	2,70
Platina de acero 1/8" x 2" x 6 m	pza		0,17	5,94	1,01
Angulo acero pesado de lados iguales de 2" x 2" x 1/8"	var		1,4	5,94	8,32
Petróleo Diesel # 2	gal		0,023	2,21	0,05
Plancha acero 3,1mm x 0,60m x 2,40 m	pl		0,7	32,40	22,68
<b>Equipos</b>					<b>0,04</b>
Herramientas manuales	%MO		0,03	1,50	0,04

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4, se aprecia el rendimiento de una cuadrilla tanto para el encofrado convencional de madera, así como para el encofrado metálico. Es así que, el rendimiento de una cuadrilla para el encofrado de muros de corte haciendo uso de un sistema de encofrado convencional de madera es de 69,72m2 teniendo en cuenta que lo realizan doce obreros, mientras que para la misma cantidad de obreros empleado un sistema de encofrado metálico es de 116,00 m2. En la edificación estudiada, se ha cuantificado un total de 3.501,18 m2 de encofrado, es así que se obtiene un costo inicial de 1.298, 88 USD en el caso de encofrados de madera y 5873.08 USD en el caso de encofrados metálicos.

**Tabla 4.** Rendimiento y costo, para una cuadrilla de obrero para encofrados de madera y metálicos

Tipo de encofrado	Cuadrilla	Rendimiento	Costo inicial
Encofrado de madera	6 operarios y 6 oficiales	69,72 m2	1298,88 USD
Encofrado convencional	4 operarios y 8 oficiales	116,00 m2	5873,08 USD

Fuente: Elaboración propia.

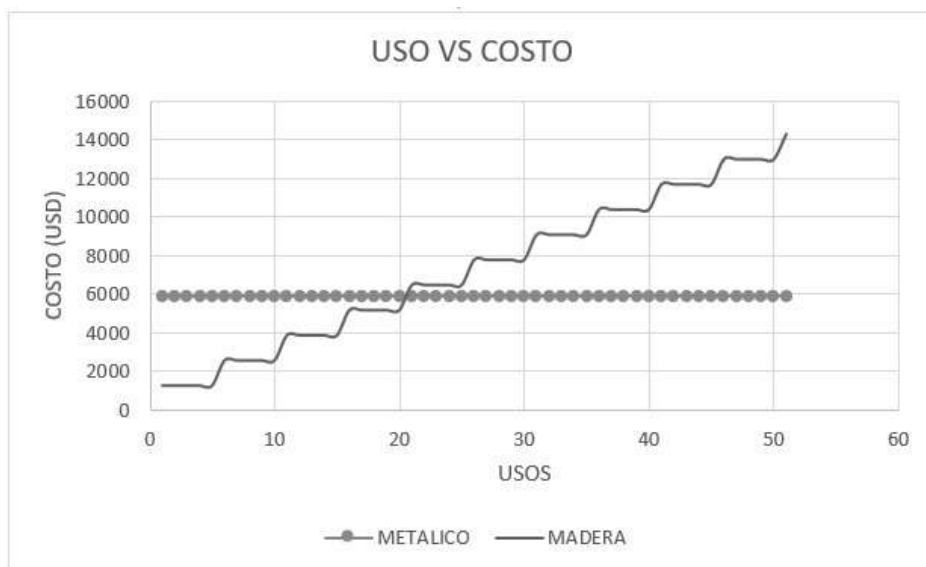
En la tabla 5, se tiene la comparación numérica de los encofrados de madera con los encofrados metálicos, teniendo en cuenta el número de usos, costo y rendimiento.

**Tabla 5.** Usos, rendimientos y costo inicial para, encofrados de madera y metálicos.

Usos	Madera		Metálico		Usos	Madera		Metálico	
	Costo	Rendimiento	Costo	Rendimiento		Costo	Rendimiento	Costo	Rendimiento
1	1.299,07	69,72	5.873,13	116	27	7.794,44	1.882,44	5.873,13	3.132
2	1.299,07	139,44	5.873,13	232	28	7.794,44	1.952,16	5.873,13	3.248
3	1.299,07	209,16	5.873,13	348	29	7.794,44	2.021,88	5.873,13	3.364
4	1.299,07	278,88	5.873,13	464	30	7.794,44	2.091,60	5.873,13	3.480
5	1.299,07	348,6	5.873,13	580	31	9.093,51	2.161,32	5.873,13	3.596
6	2.598,15	418,32	5.873,13	696	32	9.093,51	2.231,04	5.873,13	3.712
7	2.598,15	488,04	5.873,13	812	33	9.093,51	2.300,76	5.873,13	3.828
8	2.598,15	557,76	5.873,13	928	34	9.093,51	2.370,48	5.873,13	3.944
9	2.598,15	627,48	5.873,13	1.044	35	9.093,51	2.440,20	5.873,13	4.060
10	2.598,15	697,2	5.873,13	1.160	36	10.392,58	2.509,92	5.873,13	4.176
11	3.897,22	766,92	5.873,13	1.276	37	10.392,58	2.579,64	5.873,13	4.292
12	3.897,22	836,64	5.873,13	1.392	38	10.392,58	2.649,36	5.873,13	4.408
13	3.897,22	906,36	5.873,13	1.508	39	10.392,58	2.719,08	5.873,13	4.524
14	3.897,22	976,08	5.873,13	1.624	40	10.392,58	2.788,80	5.873,13	4.640
15	3.897,22	1.045,80	5.873,13	1.740	41	11.691,65	2.858,52	5.873,13	4.756
16	5.196,29	1.115,52	5.873,13	1.856	42	11.691,65	2.928,24	5.873,13	4.872
17	5.196,29	1.185,24	5.873,13	1.972	43	11.691,65	2.997,96	5.873,13	4.988
18	5.196,29	1.254,96	5.873,13	2.088	44	11.691,65	3.067,68	5.873,13	5.104
19	5.196,29	1.324,68	5.873,13	2.204	45	11.691,65	3.137,40	5.873,13	5.220
20	5.196,29	1.394,40	5.873,13	2.320	46	12.990,73	3.207,12	5.873,13	5.336
21	6.495,36	1.464,12	5.873,13	2.436	47	12.990,73	3.276,84	5.873,13	5.452
22	6.495,36	1.533,84	5.873,13	2.552	48	12.990,73	3.346,56	5.873,13	5.568
23	6.495,36	1.603,56	5.873,13	2.668	49	12.990,73	3.416,28	5.873,13	5.684
24	6.495,36	1.673,28	5.873,13	2.784	50	12.990,73	3.486,00	5.873,13	5.800
25	6.495,36	1.743,00	5.873,13	2.900	51	14.289,80	3.555,72	5.873,13	5.916
26	7.794,44	1.812,72	5.873,13	3.016					

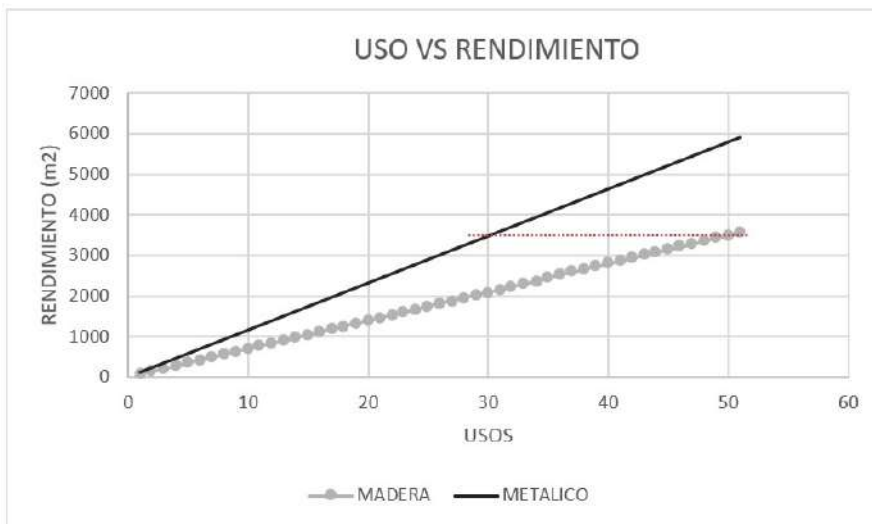
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1 se observa que el punto de intersección del costo de encofrados de madera y metálicos comparado con el número de usos empleados en muros de corte o placas se observa que para usos inferiores o iguales a 20 es más económico emplear encofrados de madera, se observa también que, después del uso 20, es más rentable emplear encofrados metálicos.



**Fig. 1.** Costos y usos en la utilización de los encofrados convencionales de madera y encofrados metálicos en muros de corte o placas.

En la figura 2, se observa la relación hallada para determinar la eficiencia que genera la relación que existe entre el número de usos de los encofrados metálicos comparados con los encofrados de madera, es decir 51 usos entre 31 usos, respectivamente. Es decir, para aproximarse al valor del rendimiento de 3.501,18 m<sup>2</sup>, en el caso de encofrados de metálicos, es necesario 31 usos, con un costo de 5.873,13 USD. En el caso de los encofrados de madera, se necesita 51 usos, y un costo de 14.289,79 USD.



**Fig. 2.** Rendimiento y usos en la utilización de los encofrados convencionales de madera y encofrados metálicos en muros de corte o placas.

## CONCLUSIONES

Por su rendimiento estructural, sostenibilidad, accesibilidad y bajo costo, el concreto es un material crucial para la construcción; hasta que el concreto pueda soportar su propio peso, debe apoyarse en estructuras temporales conocidas como encofrados. Los encofrados de madera y los metálicos son ejemplos de encofrados tradicionales y suelen usarse en estructuras con geometrías regulares. Entre el 40% y el 60% del costo total de la obra de concreto y alrededor del 10% de los gastos totales de construcción son atribuibles al encofrado. Por lo tanto, es importante tener en cuenta la selección del material y la instalación del encofrado para garantizar que el proyecto sea viable desde el punto de vista financiero y logístico. En este estudio técnico y económico, se compararon el rendimiento, los costos unitarios y el uso de dos tipos de encofrados para un condominio de cuatro bloques y seis niveles. Se halló que la eficiencia del encofrado metálico es 65% más que el encofrado de madera. A partir del análisis presentado, se entiende que el punto de inflexión entre el encofrado de madera y el encofrado metálico es de 20 usos. Es decir, cuando se tiene más de 20 usos de encofrados se recomienda que se use encofrados metálicos de lo contrario emplear encofrados de madera. Para la misma cantidad de usos el rendimiento de los encofrados metálicos es mucho mayor a de los encofrados de madera. De la misma manera se determinó que, para la misma cuadrilla de doce obreros, el costo inicial que se requiere para iniciar los trabajos de encofrados de madera es de 1.299,07 USD, además el rendimiento de estos sería 69,72m<sup>2</sup>. Para el caso de encofrado metálico, considerando la misma cantidad de obreros el costo inicial es de 5.873,13 USD, para un rendimiento de 116,00 m<sup>2</sup>. En el desarrollo de la investigación, no se ha evidenciado la cantidad de usos totales que tuvo los encofrados metálicos durante su vida útil.



## REFERENCIAS

- [1] W. Li, X. Lin, D. W. Bao, and Y. M. Xie, "A review of formwork systems for modern concrete construction," in *Structures*, 2022, vol. 38, pp. 52–63.
- [2] L. L. Yépez, A. D. Herrera, and J. G. Aviña, "Estado del desarrollo y aplicaciones de la tecnología del concreto," *Cienc. Nicolaita*, no. 85, 2022.
- [3] R. Yip and C. S. Poon, "Comparison of timber and metal formwork systems," in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Waste and Resource Management*, 2008, vol. 161, no. 1, pp. 29–36.
- [4] T. Terzioglu, H. Turkoglu, and G. Polat, "Formwork systems selection criteria for building construction projects: A critical review of the literature," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 49, no. 4, pp. 617–626, 2022.
- [5] S. U. Dikmen and M. Sonmez, "An artificial neural networks model for the estimation of formwork labour," *J. Civ. Eng. Manag.*, vol. 17, no. 3, pp. 340–347, 2011.
- [6] S. Hayashi and T. Gondo, "Analysis of the construction of a reinforced-concrete free-form roof formwork and the development of a unit-construction method," *J. Build. Eng.*, vol. 34, p. 101924, 2021.
- [7] P. Bekhta, S. Hiziroglu, and O. Shepelyuk, "Properties of plywood manufactured from compressed veneer as building material," *Mater. Des.*, vol. 30, no. 4, pp. 947–953, 2009.
- [8] T. Ü. Dönmez, A. Türer, Ö. Anil, and R. T. Erdem, "Experimental and numerical investigation of timber formwork beam under different loading type," *Mech. Based Des. Struct. Mach.*, pp. 1–21, 2020.
- [9] S. M. Karke and M. B. Kumathekar, "Comparison of the use of Traditional and Modern Formwork Systems," *Civ. Eng. Syst. Sustain. Innov.*, pp. 348–351, 2014.
- [10] Y. Liu, M. Guan, X. Chen, Y. Zhang, and M. Zhou, "Flexural properties evaluation of carbon-fiber fabric reinforced poplar/eucalyptus composite plywood formwork," *Compos. Struct.*, vol. 224, p. 111073, 2019.
- [11] M. T. Al-ashwal, R. Abdullah, and R. Zakaria, "Traditional formwork system sustainability performance: experts' opinion," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 271, no. 1, p. 12108.
- [12] G. M. Sai and A. Aravindan, "A comparative study on newly emerging type of formwork systems with conventional type of form work systems," *Mater. Today Proc.*, vol. 33, pp. 736–740, 2020.
- [13] Z. Lu and C. Guo, "Probabilistic analysis of derrick frame in a formwork support system," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 14, no. 5, p. 101977, 2023.
- [14] A. J. Van Niekerk, "Concrete elements: timber faced formwork systems versus steel faced formwork systems and which is truly better for the contractor?," 2010.
- [15] S. M. Harle, "Comparision of Conventional With Aluminium Formwork System," *J. Adv. Geotech. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2018.
- [16] Y. Oribe Alva, "Análisis de costos y eficiencia del empleo de encofrados metálicos y convencionales en la construcción de edificios en la ciudad de Lima," 2015.

## LOS AUTORES



**Ronald Aguilar Huerta**, Ingeniero Civil. Maestro en Ciencias de Ingeniería. Culminó el Doctorado de Administración. Especialista en obras por impuestos, residencia de obra, supervisión de obras, evaluador de proyectos de inversión pública. Con experiencia en procesos constructivos y gestión de proyectos.



**Urpi Barreto Rivera**, Ingeniera Civil. Magister en Gestión y Planificación en Ingeniería Civil. Doctora en Administración. Docente universitaria. Perito de la Corte Superior de Justicia.



**Lisbeth Berrio Atapuaccar**, Ingeniera Civil. Experiencia en ejecución y gestión de obras de tipo edificación y defensa ribereña. Estudios de especialización en gestión de proyectos..