

# Optimization of precast slab loading in prefabrication by applying Tekla's Stacker and Organizer tool in the multifamily housing project sector

Carhuachin Solorzano, Anderson Jhim<sup>1</sup>, Meza Calle, Julianna Sayuri<sup>2</sup>

<sup>1,1</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U201924352@upc.edu.pe, <sup>1,2</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U201924617@upc.edu.pe

**Abstract—** The problem of precast slab stacking in Lima, Peru, emerges as a critical challenge that impacts efficiency and safety in construction. The need to optimize this process lies in the logistical complexity, where proper handling and placement require specialized machinery and sufficient space. The inherent fragility of precast elements increases the risk of loss or damage during transport, intensifying the urgency to perfect stacking. In the initial phases of the multifamily housing project with the precast company, meticulous planning of the process sequence, along with the implementation of tools such as Stacker and Organizer in Tekla, laid the foundation for efficient schedule management and 3D handling of the precast slabs to the truck. The proposed solution, which includes the implementation of Tekla and the "Stacker" tool, shows a remarkable improvement in slab stacking performance, increasing from 2400 m<sup>2</sup>/day to 4800 m<sup>2</sup>/day, and in truck loading, increasing from 801.6 m<sup>2</sup>/day to 960 m<sup>2</sup>/day. This effective integration optimizes process planning and sequencing, reducing errors and improving operational efficiency and safety. These results support the conclusion that this combination optimizes the management of pre-slabs, improving stacking efficiency at the construction site in a tangible way.

**Keywords—** logistics, prefabrication, efficiency, stacking, Tekla.

# "Optimización del Carguío de Prelosas en la Prefabricación aplicando las herramientas Stacker y Organizador de Tekla en el sector de proyectos de vivienda multifamiliar"

Carhuachin Solorzano, Anderson Jhim<sup>1</sup>, Meza Calle, Julianna Sayuri<sup>2</sup>

<sup>1,1</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U201924352@upc.edu.pe, <sup>1,2</sup>Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú, U201924617@upc.edu.pe

**Resumen**— La problemática del apilamiento de losas prefabricadas en Lima, Perú, emerge como un desafío crítico que impacta la eficiencia y seguridad en la construcción. La necesidad de optimizar este proceso radica en la complejidad logística, donde la manipulación y colocación adecuadas demandan maquinaria especializada y espacio suficiente. La fragilidad inherente de los elementos prefabricados aumenta el riesgo de pérdida o daño durante el transporte, intensificando la urgencia de perfeccionar el apilamiento. En las fases iniciales del proyecto de vivienda multifamiliar con la empresa de prefabricados, la planificación meticulosa de la secuencia de procesos, junto con la implementación de herramientas como Stacker y Organizador en Tekla, sentaron las bases para una eficiente gestión del cronograma y manipulación 3D de las prelosas al camión. La propuesta de solución, que incluye la implementación de Tekla y la herramienta "Stacker", muestra una notable mejora en el rendimiento del apilamiento de prelosas, aumentando de 2400 m<sup>2</sup>/día a 4800 m<sup>2</sup>/día, y en el carguío al camión, incrementando de 801.6 m<sup>2</sup>/día a 960 m<sup>2</sup>/día. Esta integración eficaz optimiza la planificación y secuencia de procesos, reduciendo errores y mejorando la eficiencia operativa y la seguridad. Estos resultados respaldan la conclusión de que esta combinación optimiza la gestión de prelosas, mejorando la eficiencia del apilamiento en el sitio de construcción de manera palpable.

**Palabras claves**— logística, prefabricación, eficiencia, apilamiento, Tekla.

## I. INTRODUCCIÓN

La logística de producción desempeña un papel fundamental en el transporte y la colocación de elementos prefabricados dentro de la empresa manteniendo los estándares de calidad para ello es necesario garantizar un montaje adecuado de las estructuras se requiere del uso de maquinaria especializada y la disponibilidad de espacio suficiente [1]. Además, que, a pesar de su resistencia y volumen, los elementos prefabricados presentan un mayor riesgo de pérdida o daño durante el transporte en comparación con otros materiales utilizados en la construcción convencional [2].

En Lima, la capital del Perú solo cuenta con dos empresas de prefabricados, Beton Decken y Entrepisos Lima, que logran suministrar a todos los proyectos que se construyen mediante el uso de elementos prefabricados. Estas empresas se encuentran en constante cambio con el propósito de mejorar el sistema de producción y los contratiempos logísticos. Ya que existen problemas en la eficiencia de la secuencia de desarrollo, uno de estos problemas es el apilamiento en el carguío de prelosas dentro de la planta. Todo esto se debe a que, aún existen procesos que se pueden optimizar en dichas empresas debido al corto periodo que se viene implementando este sistema en el país.

Investigaciones anteriores proponen diferentes puntos de vista con relación a la logística en el apilamiento de prefabricados.

El artículo propuesto por [3], plantea que existen deficiencias en la productividad e incertidumbre en las entregas de prefabricados. Por lo que, la investigación se centra en analizar y presentar los requisitos para el desarrollo de un sistema de gestión de proyectos fuera de sitio (OSC).

De igual manera, como menciona [4], plantea que para resolver la problemática en la planificación logística en la construcción modular integrada, que implica coordinar la entrega y el transporte de múltiples módulos. El modelo propuesto ayuda a las partes interesadas a evaluar el impacto de sus decisiones en varias medidas clave de rendimiento (KPM) en un entorno sin riesgos.

En un estudio de [5], menciona que, para resolver el problema de los costos logísticos asociados con el transporte vertical de paneles de pared prefabricados en la construcción, donde lograron reducir los costos de espera y detención en más del 25%. Además, permite cargar un 52% más de paneles prefabricados.

Por otro lado, los autores [6], proponen un sistema integrado para mejorar la coordinación, planificación, control de calidad, gestión de inventario, logística,

cumplimiento normativo y seguridad. De esta manera, el uso de simulación de elevación de equipos pesados y el modelo digital simplificaron tareas y mejoraron la eficiencia en la instalación del sitio.

Así mismo, otro estudio realizado por [7] plantea que el programa de modelado Tekla permite utilizar en la gestión visual simple y eficaz de los proyectos de ingeniería, y el modelo BIM también se puede utilizar para el trabajo colaborativo del flujo de trabajo.

De manera similar, los autores [8], concluyen que la eficacia del modelado y el dibujo, así como la flexibilidad del diseño se mejoró mediante el diseño paramétrico en el programa de Tekla Structures y sus extensiones. Además, que logran mejorar la eficiencia y reducir la tasa de errores.

Por lo que, los autores [9], mencionan que se puede garantizar la integridad de los prefabricados durante su traslado y minimizar los posibles contratiempos logísticos. Pero para ello es necesario, un proceso de automatización correcta y funcional que logre satisfacer estos requisitos.

Este artículo tiene como propósito la implementación y el uso de herramientas Building Information Modeling (BIM) en el programa Tekla con las herramientas de Stacker y Organizador. Para ello se pretende realizar la comparación entre el rendimiento de la situación actual de la empresa Beton Decken y la propuesta de mejora de la implementación de la herramienta en Tekla.

Conociendo que este problema se repite continuamente por la reciente adopción de los prefabricados en el Perú. Es importante aumentar el rendimiento del apilamiento en el carguío de las prelosas dentro de las plantas de prefabricados para garantizar un trabajo más eficiente que beneficie a todos los integrantes del círculo de la construcción. Ya que este proceso es una parte crucial en la producción que afecta directamente la eficiencia operativa de la empresa de prefabricados y la empresa constructora.

## II. MATERIALES

Durante la fase de investigación en terreno, es esencial contar con ciertos materiales para llevar a cabo el izaje de las prelosas de manera segura y efectiva. Entre estos elementos clave se encuentran la cadena de Izaje, los dispositivos de comunicación por radio y Tecnopor. Por lo tanto, definimos algunos de ellos.

**Cadena de Izaje:** Se trata de una cadena de alta calidad y gran resistencia diseñada para soportar cargas pesadas, para esta investigación es de 8 ganchos. En el contexto del Izaje de prelosas, estas cadenas son empleadas para asegurar y elevar las prelosas con la asistencia de una grúa. Su función principal es garantizar que el peso de las prelosas se maneje de manera segura y eficaz.

**Radio de comunicación:** Los radios de comunicación representan dispositivos inalámbricos utilizados por los miembros del equipo durante el proceso de izaje con el propósito de mantener una comunicación efectiva entre ellos.

**Tecnopor:** El uso de Tecnopor se traduce en la estabilización efectiva de las prelosas durante su transporte en camiones. Asimismo, desempeña un papel beneficioso al apilar prelosas macizas, contribuyendo a su estabilidad,

especialmente cuando se combinan con las prelosas aligeradas.

## III. HERRAMIENTAS

En la industria de la construcción, la eficiente gestión de prelosas es vital. Este artículo destaca el papel clave de Tekla, una herramienta BIM, en el apilamiento preciso de prelosas para garantizar la eficiencia y seguridad en el sitio. Tekla simplifica el diseño, nivelación y carga, optimizando los procesos de construcción. Por lo cual, utilizamos las siguientes herramientas para el diseño en oficina técnica y la torre grúa para el carguío de estas prelosas en planta:

**Stacker:** una herramienta integrada en el software Tekla, se utiliza para la simulación y gestión de la carga de elementos prefabricados, como prelosas, en vehículos de transporte.

**Organizador de Tekla:** representa una herramienta esencial que desempeña un rol crítico en la gestión de diversos aspectos de proyectos de construcción. Esto incluye la programación de tareas, la asignación de recursos y la planificación de fechas específicas para la producción y transporte de elementos prefabricados.

**Torre grúa:** son equipos esenciales para el izaje y transporte de cargas pesadas en sitios de obra. Las torres grúa desempeñaron un papel importante para el izaje de las prelosas al carguío en planta.

## IV. METODOLOGÍA

En el desarrollo de nuestra investigación, hemos adoptado un enfoque teórico-experimental que involucró una meticulosa búsqueda de fuentes bibliográficas como base fundamental. En este contexto, se exploró a fondo la colaboración con la empresa Beton Decken, lo que resultó en la recopilación de información esencial sobre las prelosas, sus requerimientos y especificaciones para su uso en la construcción de un proyecto de vivienda multifamiliar. A partir de esta base sólida, se procedió a desarrollar una secuencia de procesos detallada para el carguío y apilamiento de prelosas, con un enfoque en la planificación cuidadosa de procesos para minimizar retrasos y errores. El modelado tridimensional en Tekla y el uso de herramientas como "Stacker" y "Organizador" representaron elementos cruciales en este proceso, permitiendo la simulación precisa del carguío y la programación eficiente del transporte de prelosas. Finalmente, la generación de planos en formato PDF proporcionó valiosos recursos visuales para el proyecto, facilitando la comunicación y la ejecución precisa de los detalles de construcción en la obra.

### FASE 1: Recopilación de información bibliográfica

En la etapa de recolección de información bibliográfica para la investigación, se buscan exhaustivamente soluciones y alternativas para abordar el problema en cuestión. A través de la revisión de fuentes bibliográficas, se pudo acceder a conocimientos previamente establecidos, teorías existentes y enfoques exitosos que han sido aplicados en situaciones similares. Este proceso de

recopilación y análisis de datos bibliográficos contribuye a enriquecer la base de conocimientos y proporciona una sólida plataforma para la formulación de soluciones efectivas a los desafíos investigados.

### **FASE 2: Recopilación de información y colaboración con la empresa de prefabricados:**

El punto de partida en este proyecto fue la recopilación de información relevante sobre las prelosas. Este proceso involucró visitas a obras y consultas con una empresa de prefabricados lo que permitió obtener una comprensión completa de los requisitos específicos y la cantidad de prelosas que se utilizarían en la construcción del proyecto de vivienda multifamiliar.

### **FASE 3: Desarrollo de la secuencia de procesos de carguío y apilamiento de prelosas:**

Con la información recopilada en la fase anterior, se procedió a desarrollar una secuencia de procesos detallada para el carguío y apilamiento de prelosas. Esto implicó la identificación de los pasos necesarios para garantizar un manejo eficiente de las prelosas, teniendo en cuenta factores como el peso y la altura. Este enfoque en la planificación de procesos fue fundamental para minimizar retrasos y errores durante la construcción.

### **FASE 4: Implementación de la propuesta en un sector de un proyecto:**

En la evaluación del procedimiento de apilamiento de prelosas en un proyecto de vivienda multifamiliar de la empresa de prefabricados, se utiliza Tekla para mejorar la eficiencia y la organización en el proceso. A continuación, se resumen los puntos clave del estudio:

#### **1. Sectorización del Proyecto:**

En el proyecto, se evalúa el proceso de sectorización, centrándose en un sector específico denominado "Sector 1" que consta de 26 prelosas.

#### **2. Modelación de prelosas en Tekla:**

Se realizó una modelación de prelosas en base a las medidas indicadas en los planos. La modelación se realizó en Tekla para adecuarla mejor al uso de las herramientas claves para el proceso de apilamiento.

### **FASE 5: Utilización de la herramienta Stacker:**

En base a la fase anterior, usaremos esas prelosas modeladas para usar Stacker. Con esta herramienta, se pudo simular el carguío de las prelosas, teniendo en cuenta la sectorización y los pesos de cada una. Esta simulación resultó esencial para optimizar el proceso de apilado en el camión, asegurando que las prelosas se acomodaran de manera eficiente y segura.

### **FASE 6: Uso de la herramienta Organizador:**

Una vez que las prelosas estuvieron cargadas en el camión, se utilizó la herramienta "Organizador" de Tekla para programar fechas específicas para su transporte y producción. Esto permitió una gestión efectiva del cronograma, garantizando que las prelosas estuvieran

disponibles cuando se necesitaran en la obra, evitando así retrasos innecesarios.

### **FASE 7: Generación de planos en formato PDF:**

Finalmente, como último paso en este proceso integral, se procedió a la generación de planos en formato PDF. Estos planos representaban las prelosas en vista 2D y 3D, lo que facilitó la comunicación y la comprensión de los detalles en planta. Estos planos sirvieron como una valiosa referencia para los equipos de trabajo en la obra.

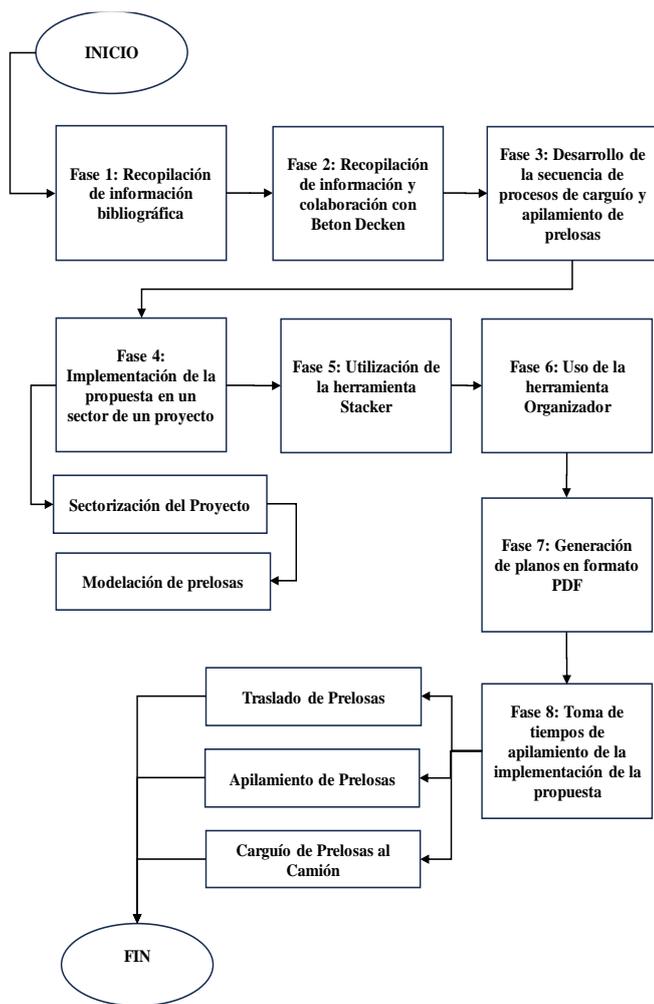
### **FASE 8: Toma de tiempos de apilamiento de la implementación de la propuesta:**

El procedimiento de apilamiento se mejora con el uso de Tekla, siguiendo un proceso específico:

- **Traslado de Prelosas:** Las prelosas se organizan según la producción de la mesa y su ubicación en el sitio de vaciado. El desafío reside en retirar las prelosas en el orden requerido en los planos.
- **Apilamiento de Prelosas:** Se evalúa la ubicación de cada prelosa en el camión y se ordenan en el área de producción siguiendo el orden del plano de Tekla con la herramienta Stacker. El tiempo de análisis y apilamiento.
- **Carguío de Prelosas al Camión:** Se siguen estrictamente las indicaciones del plano de Tekla para el carguío, donde se calcula el tiempo de carguío al camión.

En siguiente flujograma se resume el procedimiento de la metodología empleada, Figura 1.

Figura 1 flujograma de procedimiento de la metodología



## V. RESULTADOS

En este caso de estudio, se ha evaluado el proceso de apilado de prelosas en un sector específico de un proyecto de vivienda multifamiliar, haciendo uso de la plataforma Tekla. El procedimiento incluye el traslado de prelosas al sitio de embarque, el apilamiento de prelosas según planos de Tekla y el carguío de prelosas al camión siguiendo estrictamente las indicaciones en los planos generados en Tekla, lo que ha llevado a un ahorro de tiempo de 10 minutos en comparación con enfoques anteriores basados en criterios operativos. Esta integración de Tekla ha mejorado la eficiencia, garantizando que las prelosas se ubiquen correctamente y reduciendo los errores. La estandarización del proceso a través de Tekla también ha mejorado la seguridad al minimizar la manipulación innecesaria de las prelosas, lo que resulta en un entorno de trabajo más seguro y una gestión más eficiente del apilado de prelosas.

### a. Dimensiones del camión de carguío para prelosas.

La Tabla 1 presenta las dimensiones del camión utilizado en el proceso de apilamiento de prelosas en el proyecto de vivienda multifamiliar de la empresa de prefabricados. El

camión tiene una longitud de 10 a 12 metros, un ancho de 3.00 metros que permite el apilamiento de hasta 12 prelosas y una altura de 2.50 metros.

Tabla 1. Dimensiones del camión para el carguío

Dimensiones del camión		
Longitud (m)	10-12	m
Ancho (m)	3.00	m
Altura (m)	2.50	m

### b. Restricciones de diseño

La Tabla 2 muestra las restricciones de diseño que afectan el proceso de apilamiento de prelosas. Estas restricciones incluyen una altura máxima de 1.8 metros, la posibilidad de apilar un máximo de 12 prelosas y un peso aproximado de 120 kg/m<sup>2</sup> por prelosa.

Tabla 2. Restricciones para el apilamiento en el camión

Restricciones del diseño		
Altura máxima	1.8	m
Máximo se pueden apilar	12	prelosas
Peso de cada prelosa aprox.	120	kg/m <sup>2</sup>

### c. Rendimientos de los procesos en la situación actual

La Tabla 3 compara los rendimientos entre la situación actual y la situación propuesta en el proceso de apilamiento de prelosas. Se detalla el tiempo estimado en minutos, el rendimiento en m<sup>2</sup> por día para ambas situaciones, y se destaca la mejora en el rendimiento en la situación propuesta.

Tabla 3. Rendimientos evaluados en planta sin la aplicación de la propuesta

Procesos	Descripción	Tiempo (min)	Rendimiento (m <sup>2</sup> /minutos)	Rendimiento (m <sup>2</sup> /día)
Traslado de prelosas al sitio de embarque	Traslado de prelosas desde el sitio de vaciado hasta el sitio de embarque mediante la grúa pluma.	20 minutos aprox.	5	2400

Apilamiento de prelosas	Colocación de las prelosas mediante los planos de apilamiento brindados en oficina	20 minutos aprox.	5	2400
Carguío de prelosas al camión	Es el proceso donde se realiza el carguío de las prelosas hacia el camión.	60 minutos aprox.	1.67	801.6

#### d. Rendimientos de los procesos con la propuesta de mejora.

La Tabla 4 detalla los rendimientos de la situación propuesta para el proceso de apilamiento de prelosas. Los procesos evaluados incluyen el traslado de prelosas al sitio de embarque, el apilamiento de prelosas y el carguío de prelosas al camión. Se proporciona el tiempo estimado en minutos, el rendimiento en m<sup>2</sup> por minuto y el rendimiento en m<sup>2</sup> por día para cada proceso. Tenemos que mencionar que en este proceso se tomó los planos realizados en oficina técnica. En la cual, se basó en realizar el apilamiento considerando sus dimensiones y peso, esto debido a la herramienta Stacker que nos facilitó poder acomodar las prelosas en el camión y tener una visión 3D predeterminada del carguío. Obteniendo de esta forma planos en 3D con la ubicación de las prelosas.

La herramienta “organizador” nos ayudo a estimar la fecha y organizar la carga que se iba a cargar ese día al camión.

Tabla 4. Rendimientos evaluados con la propuesta

Procesos	Descripción	Tiempo (min)	Rendimiento (m <sup>2</sup> /día)	Rendimiento (m <sup>2</sup> /día)
Traslado de prelosas al sitio de embarque	Traslado de prelosas desde el sitio de vaciado hasta el sitio de embarque mediante la grúa pluma.	20 minutos aprox.	2400	2400
Apilamiento de prelosas	Colocación de las prelosas mediante los planos de apilamiento brindados en oficina	10 minutos aprox.	2400	4800
Carguío de prelosas al camión	Es el proceso donde se realiza el carguío de las prelosas hacia el camión.	50 minutos aprox.	801.6	960

#### e. Comparación de rendimientos de la situación actual y la propuesta.

La Tabla 5 ofrece una comparación más detallada de los rendimientos entre la situación actual y la situación propuesta. Se muestra el rendimiento en m<sup>2</sup> por día para cada proceso en ambas situaciones, resaltando las

diferencias en el rendimiento que se logran con la implementación de la propuesta.

Tabla 5. Tabla comparativa de la situación actual con la propuesta planteada

Procesos	Descripción	Rendimiento sin propuesta (m <sup>2</sup> /día)	Rendimiento con propuesta (m <sup>2</sup> /día)
Traslado de prelosas al sitio de embarque	Traslado de prelosas desde el sitio de vaciado hasta el sitio de embarque mediante la grúa pluma.	2400	2400
Apilamiento de prelosas	Colocación de las prelosas mediante los planos de apilamiento brindados en oficina	2400	4800
Carguío de prelosas al camión	Es el proceso donde se realiza el carguío de las prelosas hacia el camión.	801.6	960

## VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### a. Tiempo y rendimiento de la situación actual

En las siguientes tablas se analizarán los resultados más relevantes en el desarrollo del artículo.

Tabla 6. Tiempo y rendimiento actual

Actividad	Tiempo (minutos)	Rendimiento (m <sup>2</sup> /día)
Traslado de prelosas al sitio de embarque	20	2400
Apilamiento de prelosas	20	2400
Carguío de prelosas al camión	60	801.6

La tabla 6 detalla los tiempos empleados en las diferentes actividades realizadas y sus rendimientos. Durante la inspección en el sitio, se detectó una inconsistencia entre la implementación y los planos de apilamiento proporcionados por el departamento técnico. Esta inconsistencia surge debido a que el departamento a veces no considera adecuadamente los factores de peso y ubicación de las prelosas, lo que puede causar problemas de estabilidad durante su colocación. En resumen, la omisión de estos elementos cruciales durante la fase de diseño y planificación puede resultar en la necesidad de hacer correcciones y pérdidas de tiempo en el proceso de apilamiento.

**b. Tiempo y rendimiento de la propuesta**

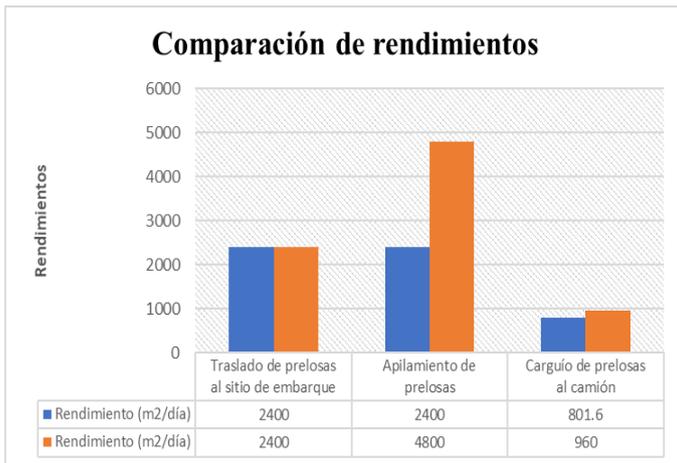
$$V = \frac{\bar{X} - l}{k}$$

Tabla 7. Tiempo y rendimiento de la propuesta

Actividad	Tiempo (minutos)	Rendimiento (m2/día)
Traslado de prelosas al sitio de embarque	20	2400
Apilamiento de prelosas	10	4800
Carguío de prelosas al camión	50	960

En la figura 2, nos muestra la comparación entre la propuesta actual y la propuesta de solución. De esta figura se obtienen datos interesantes donde se aumenta el rendimiento del apilamiento de prelosas de 2400 m2/día a 4800 m2/día y el carguío en el camión de las prelosas de 801.6 m2/día a 960 m2/día.

Figura 2. Comparación de rendimientos entre la situación actual y la propuesta de solución.



La integración de Tekla y la herramienta "Stacker" demuestra su eficacia al optimizar el proceso de apilamiento de prelosas en Beton Decken. La combinación de estas tecnologías permite una planificación precisa, garantizando que las prelosas se coloquen según el orden correcto del proyecto, lo que ahorra tiempo y minimiza errores en el apilamiento. Esta sinergia aumenta el rendimiento del apilamiento de prelosas de 2400 m2/día a 4800 m2/día y el carguío en el camión de las prelosas de 801.6 m2/día a 960 m2/día, mejorando significativamente la eficiencia y la seguridad en el entorno de trabajo de la construcción.

**VII. VALIDACIÓN**

Para el desarrollo de la validación de la propuesta se desarrolló un análisis de juicio de expertos mediante la metodología de V de Aiken (2009).

Donde  $\bar{X}$  representa la media muestral de las calificaciones de los jueces, l representa el menor valor de las calificaciones y el k representa el rango de posibles valores de las calificaciones usados en la investigación (para el valor de 1 a 5 se tiene un valor de k=4). Donde la V representa la ratio de investigación que indica su nivel de valoración. Así, los valores superiores a 0.80 representan la aceptación del instrumento propuesto.

De esta manera, nos permite analizar la aceptación del programa Tekla, las herramientas Stacker y organizador. Para ello se mostraron los indicadores para su validez, en términos de,

COHERENCIA= El ítem mide la coherencia alguna variable presente en el cuadro de congruencia metodológica.

CLARIDAD= El ítem es claro (no genera confusión o contradicciones)

ESCALA= El ítem puede ser analizado a pequeña y gran escala.

NIVELES DE COGNOSCITIVOS= El ítem comprende sintetiza la problemática y su análisis.

DIFICULTAD= El ítem presenta cierto grado de dificultad en su aplicación.

RELEVANCIA= El ítem es ítem relevante para cumplir con las preguntas y objetivos de la investigación.

Estos indicadores se miden en una escala de valores de 1 a 5 donde, 1=Inaceptable, 2=Deficiente, 3=Regular, 4=Bueno y 5=Excelente. Para cada los 3 ítems analizados (aplicación del programa Tekla, uso de las herramientas Stacker y organizador).

Para el análisis de datos se realizó la encuesta a 10 jueces que tienen experiencia con relación al tema a la logística de los prefabricados. De esta manera, se obtuvo los datos de la tabla #08, donde nos muestra los criterios analizados por ítem, la media muestral de las calificaciones de los jueces por criterio, la desviación estándar promedio por cada uno de los criterios analizados y la V de Aiken nos muestra el valor de ratio alcanzados.

Tabla 8. Análisis de datos mediante la V de Aiken

ANÁLISIS DE DATOS MEDIANTE LA V DE AIKEN				
Ítem	Criterio	Media	D.E.P	V de Aiken
1	COHERENCIA	4.6	0.5164	0.90
	CLARIDAD	4.3	0.6749	0.83
	ESCALA	4.2	0.7888	0.80
	NIVELES COGNOSCITIVOS	4.5	0.5270	0.88
	DIFICULTAD	4.1	0.7379	0.78

	RELEVANCIA	4.4	0.5164	0.85
2	COHERENCIA	4.5	0.5270	0.88
	CLARIDAD	4.2	0.6325	0.80
	ESCALA	4.6	0.5164	0.90
	NIVELES COGNOSCITIVOS	4.3	0.4830	0.83
	DIFICULTAD	4.1	0.9944	0.78
	RELEVANCIA	4.4	0.5164	0.85
3	COHERENCIA	4.5	0.7071	0.88
	CLARIDAD	4.4	0.5164	0.85
	ESCALA	4.1	0.7379	0.78
	NIVELES COGNOSCITIVOS	4.3	0.6749	0.83
	DIFICULTAD	3.6	1.3499	0.65
	RELEVANCIA	4.2	0.9189	0.80

Al analizar los valores obtenidos de la tabla #08, se puede determinar que 17 de los 18 criterios analizados se encuentra por encima del valor de 0.80. Que cuando se analiza por cada ítem se obtiene que, el ítem 01 (aplicación del programa Tekla) tiene una media de 0.84, el ítem 02 (uso de la herramienta Stacker) tiene una media de 0.85 y el ítem 03 (uso de la herramienta Organizador) tiene una media de 0.80. Todos estos valores en la escala de la V de Aiken. Además, la desviación estándar promedio de los valores analizados tiende a ser menor al valor de 1, lo cual nos garantiza una buena objetividad y validez de la encuesta realizada.

Lo cual demuestra la validez de la propuesta brindada en este artículo científico.

## CONCLUSIONES

En la Fase 2 del proyecto, la recopilación de información y la estrecha colaboración con la empresa de prefabricados fueron fundamentales para establecer una base sólida. La comprensión detallada de los requisitos específicos de las prelosas aseguró que el diseño cumpliera con los estándares necesarios, adaptándose a las necesidades reales del proyecto de vivienda multifamiliar.

En la Fase 3, se llevó a cabo el desarrollo meticuloso de la secuencia de procesos para el carguío y apilamiento de prelosas. La identificación de pasos clave, considerando factores como el peso y la altura, sentó las bases para un manejo eficiente, minimizando retrasos y errores durante la construcción.

La Fase 4 marcó la implementación práctica de la propuesta en un sector específico del proyecto de la empresa de prefabricados. La sectorización del proyecto, enfocándose en el sótano 3, permitió una evaluación precisa del rendimiento mejorado con el uso de Tekla, Stacker y Organizador.

La introducción de la herramienta "Stacker" en Tekla fue crucial en la Fase 5, demostrando ser esencial en la simulación eficiente del carguío de prelosas. La

consideración detallada de la sectorización y los pesos de cada prelosa garantizó un apilamiento óptimo en el camión, contribuyendo significativamente a la eficiencia del proceso.

La Fase 6 se centró en la utilización de la herramienta "Organizador", consolidando la gestión efectiva del cronograma al programar fechas específicas para el transporte y la producción de prelosas. Esto aseguró la disponibilidad oportuna de las prelosas, evitando posibles retrasos y optimizando la logística del proyecto.

En la Fase 7, la generación de planos en formato PDF representó el último paso en el proceso integral. Estos planos, en vista 2D y 3D, se convirtieron en una herramienta valiosa para la comunicación y la comprensión detallada de los aspectos constructivos, facilitando el trabajo de los equipos en la obra.

La Fase 8 implicó la toma detallada de tiempos de apilamiento con la implementación de la propuesta. La optimización del procedimiento mediante Tekla, Stacker y Organizador resultó en ahorros de tiempo significativos, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo posibles errores.

El análisis de validación mediante la metodología V de Aiken revela que 17 de los 18 criterios evaluados superan el umbral aceptable de 0.80, indicando una alta aceptación del programa Tekla y las herramientas Stacker y Organizador. Las medias obtenidas para la aplicación del programa Tekla, el uso de Stacker y Organizador son respectivamente 0.84, 0.85 y 0.80, evidenciando una sólida aceptación en la escala de la V de Aiken. La consistencia en las respuestas de los 10 jueces y las bajas desviaciones estándar promedio refuerzan la objetividad y validez de la encuesta, respaldando la eficacia de la propuesta.

En conjunto, cada fase del proyecto contribuyó a una mejora continua en la eficiencia del proceso de apilamiento de prelosas en Beton Decken. La implementación de Tekla y la herramienta "Stacker" en el proceso de apilamiento de prelosas en la empresa de prefabricados ha demostrado ser altamente exitosa, según los datos cuantitativos recopilados. En la situación actual, el tiempo y rendimiento indicaban cierta ineficiencia, con tiempos considerables y un rendimiento total de 2400 m<sup>2</sup>/día. Sin embargo, la propuesta logró una mejora significativa, reduciendo los tiempos y elevando el rendimiento total a 9600 m<sup>2</sup>/día, con un destacado rendimiento de apilamiento de 4800 m<sup>2</sup>/día. La figura 2 visualiza claramente este progreso, respaldando la conclusión de que la combinación de Tekla y "Stacker" optimiza la gestión de prelosas, mejorando la eficiencia operativa y la seguridad en el sitio de construcción de manera palpable. Estos resultados cuantitativos respaldan la eficacia de la propuesta y su impacto positivo en el proceso de apilamiento de prelosas en el contexto de Beton Decken.

## REFERENCIAS

- [1] Yang, X. (2022). Optimization Algorithm of Logistics Transportation Cost of Prefabricated Building Components for Project Management. *Journal of mathematics*, 2022, 1460335. doi: 10.1155/2022/1460335
- [2] Lu, W., Chen, K., Xue, F., Pan, W. (2018). Searching for an optimal level of prefabrication in construction: An analytical framework. *J.Clean. Prod*, 201, 236–245. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.07.319
- [3] Jang, Y., Son, J., & Hwang, S. (2022). Requirements Analysis for Development of Off-Site Construction Project Management System: Focusing on Precast Concrete Construction. *Building*. 12(10), 1499. doi: 10.3390/buildings12101499
- [4] Hussein, M, Karam, A, Eltoukhy, AEE, Darko, A & Zayed, T. (2022). Improved Workflow for Precast Element Design Based on BIM and Lean Construction. *Journal of construction engineering and management*, 148 (8), 04022065. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002316
- [5] Lee, Y., Kim, J., Flager, F., & Fischer, M. (2022). Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) Checklists for Off-Site Construction (OSC) Projects. *Sustainability*. 14(19), 11988. doi: 10.3390/su141911988
- [6] Jang, Y., Son, J., & Yi, J.-S. (2022). BIM-Based Management System for Off-Site Construction Projects. *Applied Sciences*, 12(19), 9878. MDPI AG. doi.org/10.3390/app12199878
- [7] Xie, H. Application of secondary development of Tekla Structures in GA diagram. *Ind. Control Comput.* 2018, 31, 91–92
- [8] Hu, H., Song, W., Song, G. & Li, Y. Optimization design and parametric research of belt conveyor deck truss structure. *Structures*. 57, 105155. doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105155
- [9] Zhang, H., & Yu, L. (2020). Dynamic transportation planning for prefabricated component supply chain. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(9), 2553-2576. doi: 10.1108/ECAM-12-2019-0674
- [10] Penfield, R. & Giacobbi, P. (2009). Applying a Score Confidence Interval to Aiken's Item Content-Relevance Index. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*. 8(4), 213-225. doi: 10.1207/s15327841mpee0804\_3