

Optimización económica y técnica mediante la implementación de losas prefabricadas en el edificio Sente

Economic and technical optimization by the implementation of precast slabs applied on Sente building

Lizbeth Bretania Saavedra Salinas^{1,a}, Félix Santiago Sánchez Benites^{1,b}

Recibido: 13/04/2023 - Aprobado: 30/06/2023 – Publicado: 06/10/2023

RESUMEN

Esta investigación consiste en la evaluación económica y técnica de dos sistemas de construcción utilizados en la industria. Se realizó la comparación del costo, duración de la fase del casco y nivel de residuos de construcción por sistema. Los sistemas analizados son: i) Viguetas prefabricadas y ii) Prelosas prefabricadas, aplicado en el edificio multifamiliar Sente. Además, se presenta el criterio del nivel tecnológico, que muestra la reducción del plazo con el sistema de prelosas, en comparación con el de viguetas. Como parte de la evaluación económica se estimaron los costos que implica cada sistema, acorde a su secuencia constructiva y periodos de ejecución. El resultado fue que el sistema de prelosas, en comparación al de viguetas, logra reducir el costo de obra en 3.4%, el plazo del casco en 10% (acumulado entre ambas torres). También este sistema disminuye la generación de residuos sólidos de construcción, porque requiere 18.5% menos de concreto in situ en obra, que el de viguetas prefabricadas.

Palabras claves: Sistemas prefabricados, prelosas, viguetas, optimización económica, construcción industrializada.

ABSTRACT

The present research sets out the economic and technical evaluation of two construction systems used in the actual industry, and includes the comparison of cost, time lapse of the slabs construction and the level of construction solid waste. The analyzed systems were: i) Precast beams and ii) Precast slabs, evaluated in Sente Building. In addition, the criteria of technological level is presented which support the reduction in execution time achieved by the precast slabs system in comparison with the precast beam system. As a part of the economic evaluation, the costs associated with every constructive procedure and execution period were estimated. The results showed that, in comparison with precast beams system, the precast slabs system achieved a reduction of the cost building cost in 3.45%, a reduction in time execution of 10% accumulated in both building towers, and ultimately, the precast slab system reduces the quantity of solid waste of construction as requires 18.5% minus of in-situ concrete.

Keywords: Precast systems, precast slabs, beams, economic optimization, industrialized construction.

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Departamento Académico de Ingeniería Civil, Lima, Perú

a. Autor para correspondencia: lizbeth.saavedra@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0742-0481>.

b. E-mail: fsanchezb@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5175-7762>

I. INTRODUCCIÓN

El sector de construcción en el Perú es considerado uno de los más sólidos dentro de nuestra economía. Una muestra es que tuvo un promedio anual de su valor agregado bruto de 4.2% durante el periodo 1950-2020 (Instituto Nacional de Estadística e Informática- INEI, 2021). En la Figura 1 se aprecia su trayectoria, remarcándose un mayor crecimiento en el periodo 2000 – 2010.

Por otra parte, el constante crecimiento de este sector está asociado a la brecha de vivienda creciente en nuestro país (déficit habitacional), razón por la cual la demanda y la oferta de unidades inmobiliarias seguirá incrementándose. Se puede observar en la Figura 2 que durante el periodo 2018-2021, el incremento porcentual anual del déficit habitacional fue del 0.4%.

Sin embargo, el sector construcción, en particular los proyectos de edificaciones, todavía presentan ciertas deficiencias durante la ejecución de las obras inmobiliarias:

- Bajo nivel de tecnificación o industrialización en las secuencias constructivas.
- Cronogramas de obra de bajo nivel de cumplimiento.
- Generación de altos volúmenes de residuos sólidos.

Chang (2014) precisó algunos impedimentos de por qué la tecnificación en el Perú se ha retrasado: baja capacitación de trabajadores, falta de adaptación al cambio, desconfianza en sistemas constructivos industrializados y el sindicalismo en contra del incremento de la productividad. Al ejecutarse todavía con sistemas de construcción tradicionales, que requieren un mayor número de actividades operativas in situ, en comparación con los sistemas industrializados, cada actividad añade un porcentaje de variabilidad (o, de no cumplimiento de lo planificado) en función a la cantidad de recursos y restricciones que cada actividad requiera para su ejecución.

Por otra parte, el planeta está presentando una alta generación de residuos sólidos, ocasionada principalmente por el crecimiento poblacional, el desarrollo económico, así como por la ausencia de un adecuado tratamiento y disposición final de residuos sólidos (Khalib et al, 2014, como se citó en Castillo y Del Valle, 2023).

En esta línea, el sector construcción es considerado el mayor productor de residuos sólidos, al generar aproximadamente el 35% de los residuos industriales en todo el mundo (Hendriks & Pietersen, 2000), como se citó en Solis-Guzmán et ál., 2009). Tal es el impacto que, en Hong Kong (China), los residuos de construcción han llegado a conformar el 38% del total de residuos de esta ciudad, en donde los residuos de concreto son los de mayor proporción, según se observa en la Tabla 1 (Li-yin Shen et ál., 2008).

De esta forma, es necesario la mejora de los procedimientos constructivos actuales para tener proyectos eficientes en costo y tiempo y que contribuyan con la disminución de impactos negativos de la construcción sobre el medio ambiente.

Considerando lo anterior, la investigación tiene como objetivos evaluar las mejoras en el aspecto económico (costo), plazo (tiempo) y ambiental (nivel de residuos) que se obtienen de implementar el sistema de prelosas prefabricadas en reemplazo del sistema de viguetas prefabricadas en el edificio Sente.

II. METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del estudio

El edificio Sente se ubica en el Jr. Centenario 175, Urb. Garden City, Breña, provincia y departamento de Lima. Sus coordenadas geográficas son 12°04'00.0"S 77°02' 53.2"W.

2.2. Enfoque y diseño de investigación

El enfoque de esta investigación es cuantitativo porque emplea métodos y herramientas cuantitativas, que incluyen la toma de mediciones, el muestreo y el tratamiento estadístico, a fin de comprobar una hipótesis. (Ñaupas, 2018). El diseño de la investigación es experimental de tipo cuasiexperimental, los grupos de experimentación y de control no son asignados al azar.

Las etapas de la investigación fueron las siguientes (Saavedra, 2023):

1. Revisión sistemática de los sistemas prefabricados en estudio: se realizó una revisión concienzuda sobre los sistemas de viguetas y prelosas prefabricadas.
2. Estudio del expediente del proyecto: el expediente abarcó las especialidades de arquitectura, estructuras, instalaciones, circuito cerrado de televisión, intercomunicadores y detección de alarmas contra incendios.
3. Cálculo de metrados y análisis de precios unitarios: se calcularon los metrados de las partidas de análisis para los sistemas en evaluación (i. sistema de viguetas prefabricadas, y ii. sistema de prelosas prefabricadas). Posteriormente, se elaboraron los análisis de precios unitarios (APU) considerando los insumos necesarios y la forma de contratación en la industria.
4. Elaboración de presupuestos de costo directo: se estimaron los costos de estructuras y arquitectura, considerando los metrados y análisis de precios unitarios de las partidas que requiere cada sistema.
5. Elaboración del cronograma base de ejecución del caso: se realizó la sectorización de los sótanos, primer piso y planta típica del edificio; se definió el tren de actividades y cronograma maestro (base) para cada escenario.
6. Cálculo de desfase de cronogramas mediante juicio de expertos: se realizaron entrevistas a expertos en el rubro de edificios multifamiliares (Ing. senior de control de costos, Ing. residente y jefe de producción), quienes habiéndose desempeñado en los proyectos presentados en la Tabla 5, estimaron porcentajes de cumplimiento de la planificación acorde a su experiencia con los sistemas. Con la media de los porcentajes brindados, se calculó el desfase (en meses) por sistema comparado frente al cronograma inicial.

7. Elaboración de presupuestos de costo indirecto: se estimaron los costos de las partidas obras provisionales y gastos generales que están supeditadas al tiempo, considerándose también el staff de profesionales requeridos.
8. Análisis de resultados e hipótesis: en base a la evaluación de ambos sistemas y la contrastación con la hipótesis inicial, se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que llega la investigación

Figura 1

Valor agregado bruto del sector construcción.

Valor Agregado Bruto del Sector Construcción

Índice Año Base 2007=100



Fuente: INEI (2021).

Figura 2

Perú: Hogares que tienen déficit habitacional (%) 2018 - 2021.

Área	Año				Variación porcentual (2021 - 2020)
	2018	2019	2020	2021	
Total	10,4	10,2	10,8	11,2	0,4
Urbana	8,3	8,2	9,3	10,0	0,7
Rural	17,6	17,5	16,4	15,6	-0,8

Fuente: Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2011-2021.

Tabla 1

Porcentajes por tipo de residuos y actividades de construcción en territorio chino

Tipo de residuo	Porcentaje de residuos por actividad			
	Ejecución de obra	Trabajos de demolición	Trabajos generales civiles	Trabajos de renovación
Metal	4%	5%	10%	5%
Madera	5%	7%	0%	5%
Plástico	2%	3%	0%	5%
Papel	2%	2%	0%	1%
Concreto	75%	70%	40%	70%
Roca / escombros	2%	1%	5%	0%
Arena / suelo	5%	0%	40%	0%
Vidrio	3%	2%	0%	10%
Otros	2%	10%	5%	4%
Total	100%	100%	100%	100%

Nota: Adaptada de "[Beneficios de reemplazar el concreto in situ por losas prefabricadas para construcciones provisionales en la práctica de la construcción sostenible]" (Shen, L. et al, 2008).

III. RESULTADOS

3.1 Sistemas constructivos estudiados.

3.1.1 Sistema de viguetas prefabricadas.

Sistema constructivo no convencional validado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS) en el año 2005, mediante la RM-331-2005-VIVIENDA. Se presenta una sección transversal típica del sistema en la Figura 3. Consiste en la ejecución de losas aligeradas utilizando viguetas prefabricadas, pretensadas y elementos aligerantes (bovedillas) que pueden ser de concreto, arcilla o poliestireno. Las viguetas son espaciadas a cada 0.50 m, 0.60 m ó 0.70 m, dependiendo del tipo de vigueta que se utilice. Existen 5 tipologías de viguetas, dependiendo de su cuantía de acero.

El concreto empleado para las viguetas es de $f'c$ 350 kg/cm^2 o 420 kg/cm^2 , dependiendo del tipo de viguetas; el acero es pretensado de f_y de 18,000 kg/cm^2 a 19,600 kg/cm^2 . Las bovedillas son fabricadas a base de arcilla, concreto o de forma mixta (bandeja de concreto y casetón de poliestireno), a selección del proyectista o diseñador. En

la Figura 4 se presenta una vista del fondo del cielo raso con el sistema de viguetas prefabricadas.

El proceso constructivo de este sistema comprende las siguientes partidas:

- a) Apuntalamiento de losa.
- b) Izaje y colocación de viguetas.
- c) Colocación de bovedillas.
- d) Habilitación y colocación de acero negativo y la malla de temperatura.
- e) Habilitación de instalaciones sanitarias, eléctricas y gas.
- f) Vaciado de concreto en losas y vigas.

3.1.2 Sistema de prelosas prefabricadas

Este sistema constructivo no convencional, aprobado por el MVCS en el año 2018, mediante la RM-069-2018-VIVIENDA, plantea la ejecución de losas aligeradas y macizas mediante una losa de concreto prefabricada de 5 cm (que incluyen a las viguetas longitudinales (tralichos) y el acero positivo estructural) y casetones de poliestireno

Figura 3

Sección típica del sistema de viguetas prefabricadas

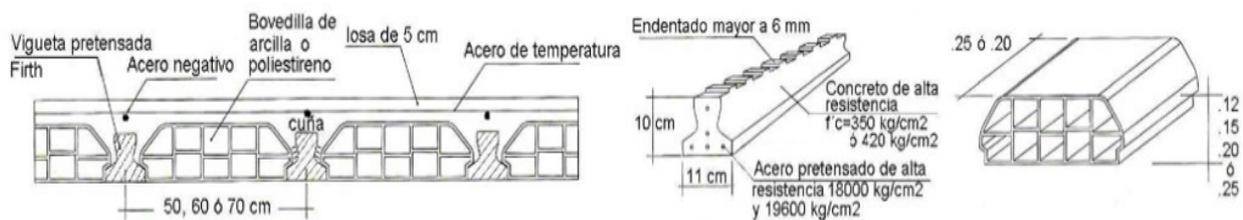


Figura 4

Vista de cielo raso - Sistema de viguetas prefabricadas



como elementos aligerantes. La Figura 5 presenta las secciones transversales típicas para una losa aligerada y maciza, respectivamente.

El concreto empleado para las losas de 5 cm es de $f'c$ 280 kg/cm², los casetones son de densidad 12 kg/m³; y las viguetas tralichos se componen de 3 varillas de acero de 6 mm espaciadas a cada 0.57 m. Los diámetros del acero inferior son adaptados a 8 mm y 3/8", acorde al requerimiento para la losa del proyectista estructural.

En la Figura 6 se presenta una vista del fondo del cielo raso con el sistema de prelosas prefabricadas. La secuencia constructiva del sistema abarca las partidas de:

- Apuntalamiento de losa.
- Colocación de las prelosas.
- Habilitación de instalaciones sanitarias, eléctricas y gas.
- Colocación del acero negativo y la malla de temperatura.
- Vaciado de la losa de concreto superior.

3.2 Caso de estudio: edificio Sente.

El edificio multifamiliar Sente tiene 02 sótanos, 15 niveles y azotea, con un área techada de 19,220.04 m² y 204 departamentos. Su construcción fue planificada en 2 fases (F1 y F2). Cada fase corresponde a una torre del edificio, que nace a partir del nivel 01. A continuación, en la Tabla 2 se indican las áreas techadas y usos por piso del edificio.

Inicialmente el edificio fue diseñado con el sistema de viguetas prefabricadas, sin embargo, fue reemplazado por el sistema de prelosas, a fin de reducir el costo del proyecto y generar valor a la inmobiliaria. La empresa proveedora de prelosas, Beton Decken, realizó la adaptación de los planos iniciales al sistema de prelosas para la revisión y aprobación del proyectista. Se efectuó la adaptación a su sistema modulando los paños conformados por prelosas (Figura 7), y diferenciando: i) El acero a colocarse en su planta (acero positivo) y ii) El acero a colocarse en obra (acero de continuidad, acero de costura y acero negativo).

3.2.1 Cálculo de costos directos por escenario

Se realizó el cálculo de metrados, elaboración de APUS y el presupuesto a costo directo de ambos escenarios. Los precios de los recursos considerados corresponden al periodo abril – junio del 2022. Como se observa en las Tablas 3 y 4, el costo que requiere el sistema de prelosas en arquitectura es menor en S/318,951.06, respecto al sistema de viguetas, dado que la partida de tarrajeo de cielos se elimina completamente, se requiere sólo una limpieza de prelosas. Por otro lado, en estructuras, el delta entre ambos sistemas es de S/101,372.74, favorable al sistema de prelosas.

Asimismo, durante la gestión de la construcción, será importante implementar un sistema de control de los indicadores de productividad (IP) para que, al ser contrastados con los estimados en los APUS del presupuesto, se evalúe si se están consumiendo las horas hombre (HH) proyectadas o si el número de HH está excediendo el umbral presupuestado.

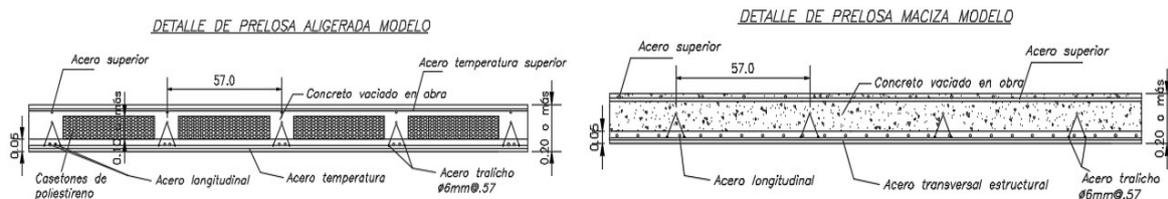
Este control permitirá a los jefes de producción o residentes de obra disponer de la información oportunamente, lo que favorecerá el análisis del contexto, la selección de la mejor decisión, y, en consecuencia, conseguir los resultados esperados (Escudero et al, 2022).

3.2.2 Cálculo de costos indirectos por escenario

Dado que los costos indirectos se encuentran directamente ligados al tiempo de ejecución del proyecto, se elaboró el cronograma base para ambos escenarios a un ritmo de vaciado de 1 techo por semana, con 5 sectores (Figura 8), teniéndose así un plazo total por el casco del proyecto (solo techos) de 7.75 meses.

Los desfases en tiempo para cada escenario se estimaron considerando porcentajes de cumplimiento para cada sistema determinado, mediante la opinión de expertos consultados en la materia (Tabla 6 y 7), quienes se desempeñan como jefe de producción, Ing. sénior de control de costos e Ing. residente. En la Tabla 5 se presentan algunos de los proyectos en los cuales han participado durante su trayectoria.

Figura 5
Sección típica de prelosa aligerada y maciza



Fuente: Beton Decken SAC. (s.f.).

Figura 6
Fondo de cielo raso - Sistema de prelasas prefabricadas



Tabla 2
Tabla de distribución de áreas techadas (AT) por nivel del proyecto

NIVEL	F1 (AT m2)	F2 (AT m2)	FUNCIONALIDAD
PISO TÉCNICO	259.34		Cuarto de bombas + Cisternas
SÓT 2, SÓT. 1	32623.03		Estacionamiento (vehículos, bicicletas)
NIVEL 1	541.29	492.07	Lobby, áreas comunes, 8 dptos.
NIVEL 2 – 13	540.61	488.07	Áreas privadas: 14 dptos. en el nivel.
NIVEL 14	523.75	489.14	Áreas privadas: 14 dptos. en el nivel.
NIVEL 15	507.91	468.96	Áreas privadas: 14 dptos. en el nivel.
AZOTEA	162.50	167.89	Áreas comunes del edificio.
AI TOTAL	19,220.04 m2		

Figura 7
Modulación de prelasas macizas y aligerada – Sótano 02, edificio Sente



Tabla 3

Costo directo del sistema de viguetas prefabricadas (escenario 01).

ESC 01: VIGUETAS PREFABRICADAS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	PU (S/)	PARCIAL (S/)
1.00	ESTRUCTURAS				S/ 2,810,238
1.01	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				
1.01.01	LOSA ALIGERADA H=0.20M				S/ 1,016,079
1.01.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 KG/CM2, P57	m3	447.3	322.5	144,241
1.01.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	6,282.0	37.5	235,547
1.01.01.03	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	16,476.6	5.7	94,633
1.01.01.04	VIGUETA PRETENSADA 101	ml	9,042.0	11.9	108,033
1.01.01.05	VIGUETA PRETENSADA 102	ml	3,379.0 w	13.1	44,340
1.01.01.06	VIGUETA PRETENSADA 103	ml	738.1	13.9	10,264
1.01.01.07	VIGUETA PRETENSADA 104	ml	370.3	15.0	5,538
1.01.01.08	COLOCACIÓN DE VIGUETAS PRETENSADAS	ml	13,529.4	5.5	74,412
1.01.01.09	SUMINISTRO DE BOVEDILLAS DE CONCRETO H=0.15M	und	62,819.6	3.5	217,406
1.01.01.10	COLOCACIÓN DE BOVEDILLAS DE CONCRETO	und	62,819.6	1.3	81,665
1.01.02	LOSA ALIGERADA H=0.25M				S/ 91,236
1.01.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 KG/CM2, P57	m3	42.6	322.5	13,740
1.01.02.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	501.2	37.5	18,794
1.01.02.03	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	1,715.7	5.7	9,854
1.01.02.04	VIGUETA PRETENSADA 102	ml	516.6	13.1	6,779
1.01.02.05	VIGUETA PRETENSADA 103	ml	496.8	13.9	6,908
1.01.02.06	COLOCACIÓN DE VIGUETAS PRETENSADAS	ml	1,013.4	5.5	5,574
1.01.02.07	SUMINISTRO DE BOVEDILLAS DE CONCRETO H=0.20M	und	5,012.4	4.6	23,071
1.01.02.08	COLOCACIÓN DE BOVEDILLAS DE CONCRETO	und	5,012.4	1.3	6,516
1.01.03	LOSA MACIZA H=0.20M				S/ 1,669,053
1.01.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 KG/CM2, P57	m3	1,722.4	322.5	555,460
1.01.03.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSAS MACIZAS	m2	8,612.1	47.9	412,486
1.01.03.03	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	122,069.6	5.7	701,108
1.01.04	OTROS				S/ 33,870
1.01.04.01	CURADO CON ADITIVO QUÍMICO	m2	15,395.3	2.2	33,870
2.00	ARQUITECTURA				S/ 471,374
2.01	REVOQUES				S/ 471,374
2.01.01	TARRAJEO DE CIELORASOS (MORTERO 1:4)	m2	15,395.3	30.6	471,374
	TOTAL ESTRUCTURAS Y ARQUITECTURA				S/ 3,281,612

Tabla 4

Costo directo del sistema de prelosas prefabricadas (escenario 02)

ESC 02: PRELOSAS PREFABRICADAS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	PU (S/)	PARCIAL (S/)
1.00	ESTRUCTURAS				S/ 2,708,865
1.01	OBRAS DE CONCRETO ARMADO				
1.01.01	LOSA ALIGERADA H=0.20 M				S/ 909,574
1.01.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 KG/CM2, P57	m3	464.9	322.5	149,915
1.01.01.02	APUNTALAMIENTO DE PRELOSA ALIGERADA	m2	6,282.1	20.5	128,782
1.01.01.03	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60 (NEGATIVO)	kg	14,432.6	5.7	82,894
1.01.01.04	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60, PARA PRELOSA	kg	28,840.0	4.1	118,917
1.01.01.05	SUMINISTRO DE PRELOSA PREFABRICADA ALIGERADA	m2	6,282.1	61.8	388,231
1.01.01.06	COLOCACIÓN DE PRELOSAS	m2	6,282.1	6.5	40,833
1.01.02	LOSA ALIGERADA H=0.25 M				S/ 84,691
1.01.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 KG/CM2, P57	m3	44.0	322.5	14,190
1.01.02.02	APUNTALAMIENTO DE PRELOSA ALIGERADA	m2	501.2	20.5	10,275
1.01.02.03	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60 (NEGATIVO)	kg	1,837.2	5.7	10,552
1.01.02.04	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60, PARA PRELOSA	kg	2,767.5	4.1	11,411
1.01.02.05	SUMINISTRO DE PRELOSA PREFABRICADA ALIGERADA	m2	501.2	69.8	35,004
1.01.02.06	COLOCACIÓN DE PRELOSAS	m2	501.2	6.5	3,258
1.01.03	LOSA MACIZA H=0.20 M				S/ 1,680,729
1.01.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO F'C=210 KG/CM2, P57	m3	1,291.9	322.5	416,637
1.01.03.02	APUNTALAMIENTO DE PRELOSA MACIZA	m2	8,613.0	20.5	176,566
1.01.03.03	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60 (NEGATIVO)	kg	60,189.5	5.7	345,699
1.01.03.04	ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60, PARA PRELOSA	kg	66,485.2	4.1	274,142
1.01.03.05	SUMINISTRO DE PRELOSA PREFABRICADA MACIZA	m2	8,613.0	47.8	411,701
1.01.03.06	COLOCACIÓN DE PRELOSAS	m2	8,613.0	6.5	55,984
1.01.04	OTROS				S/ 33,872
1.01.04.01	CURADO CON ADITIVO QUÍMICO	m2	15,396.3	2.2	33,872
2.00	ARQUITECTURA				S/ 152,423
2.01	REVOQUES				S/ 152,423
2.01.01	SELLADO DE JUNTAS + LIMPIEZA DE REBABAS	m2	15,396.3	9.9	152,423
TOTAL ESTRUCTURAS Y ARQUITECTURA					S/ 2,861,288

Figura 8
Sectorización del piso típico (piso 02), dividido en fases.

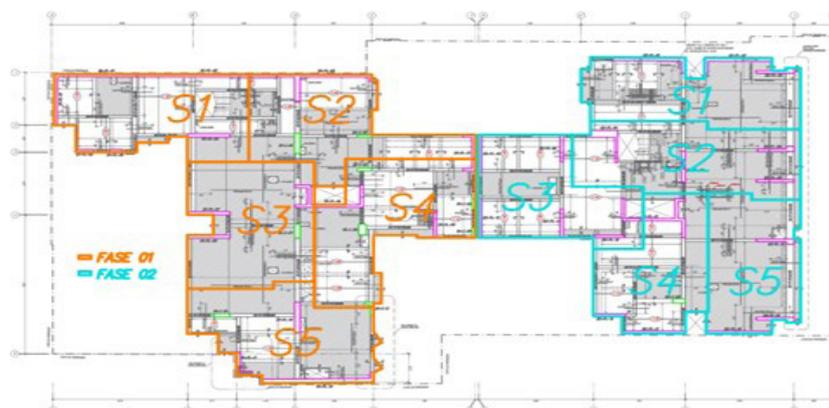


Tabla 5

Proyectos multifamiliares en los que han participado los expertos consultados.

ID	EDIFICIO	UBICACIÓN	PROPIETARIO
1	Brescia	Magdalena del Mar	Grupo Brazil
2	Vielha	Magdalena del Mar	Grupo Brazil
3	Eres	Surquillo	Grupo Lar
4	Elant	La Victoria	Grupo Lar
5	Hara	La Victoria	Grupo Lar
6	Alto Huaraz	Breña	Inversiones Cesia
7	Mar Adentro	Punta Hermosa	Milenio Asociados
8	Ital San Felipe	Jesús María	Italcasa

Tabla 6

Porcentajes de cumplimiento de actividades estimados a juicio de expertos.

CARGO DE EXPERTO	VIGUETAS PREFABRICADAS	PRELOSAS PREFABRICADAS
Jefe de producción	65.00%	87.50%
Ing. sénior de control de costos	82.50%	92.50%
Ing. residente	75.00%	90.00%
PROMEDIO	74.17%	90.00%

Tabla 7

Cálculo de duraciones reales y desfases en base a los porcentajes de cumplimiento

ETAPA	UND	DURACIÓN PROGRAMA	% CUMPLIMIENTO	DURACIÓN REAL	DESFASE (mes)
ESC 01: VIGUETAS PREFABRICADAS					
CASCO FASE 01	mes	5.25	74.2%	7.08	1.83
CASCO FASE 02	mes	3.75	74.2%	5.06	1.31
ESC 02: PRELOSAS PREFABRICADAS					
CASCO FASE 01	mes	5.25	90.0%	5.83	0.58
CASCO FASE 02	mes	3.75	90.0%	4.17	0.42

Se resalta que, el sistema de prelosas tiene ratios de colocación de 150 m² en 2 horas, además de la partida colocación de elementos aligerantes, lo que permite lograr porcentajes de cumplimiento mayor al sistema de viguetas.

Considerando los desfases calculados, se compararon los costos de obras provisionales y gastos generales en cada escenario, por el tiempo adicional que requeriría cada sistema para su culminación. La Tabla 8 resume los cálculos realizados.

IX. DISCUSIÓN

4.1 Análisis económico – técnico de escenarios.

a. Análisis económico.

Luego de la comparación económica, se obtienen saldos positivos (ahorros) en estos cuatro grupos de partidas al optar por el sistema de prelosas prefabricadas en lugar del sistema de viguetas. Estos resultados favorables para el

sistema de prelosas se sustentan mediante el costo x m² entre ambos sistemas para un mismo tipo de losa aligerada o maciza (Figuras 9, 10 y 11).

Cabe recalcar que, para el edificio en estudio, los costos indirectos como: alquiler de torre grúa, operador de grúa y riggers, se consideran como costos necesarios en ambos escenarios, dada la altura del edificio de: 15 pisos y azotea con N.T.T. (Nivel de techo terminado) de 43.55 m.

b. Análisis del tiempo de ejecución por sistema.

Cabe destacar que el logro de un menor tiempo de ejecución con el sistema de prelosas prefabricadas se sustenta al tener un nivel tecnológico menor al del sistema de viguetas, siendo el del primero 4 (días), y el del segundo de 5 (días). Debe entenderse al nivel tecnológico como la cantidad de días necesarios para la culminación de una secuencia de partidas. En la Figura 12 se presenta la secuencia de partidas de cada sistema y el tiempo de duración del ciclo por sistema.

4.2 Resumen de escenarios comparados.

Considerando lo mencionado anteriormente, el sistema de prelosas permite reducir el costo de la obra, aproximadamente el 3.45% del presupuesto inicial del proyecto. (Tabla 9).

Es necesario precisar que el ahorro obtenido en estructuras y arquitectura es del 1.76%, es similar al obtenido en la investigación de Carbajal et ál (2019), quien en su etapa investigativa estimó un 1.77% de ahorro a nivel del presupuesto de obra con el sistema de prelosas.

Además, en la misma investigación, los autores estimaron una reducción del plazo del 10% con el sistema de prelosas versus el sistema de viguetas, lo que concuerda con los resultados obtenidos en plazos de la presente investigación, en la que el plazo total de obra es de 22 meses, siendo la reducción acumulada entre ambas torres en 2.1 meses con el sistema de prelosas.

Es importante resaltar que una adecuada concepción y planificación de las fases del proyecto, sumado a una correcta administración de recursos y control de los mismos, devendrá en el incremento de la eficiencia, eficacia y mayor competitividad para las organizaciones gestoras de proyectos. (Münch, 2010, como se citó en Loayza G., 2022).

4.3 Análisis de indicador de sostenibilidad.

Según se observa en la Tabla 10, el volumen de concreto in situ que requiere el sistema de prelosas es menor al que requiere el sistema de viguetas, lo que se traduce en una menor cantidad de desperdicios y residuos durante la ejecución de la obra con el sistema de prelosas. Además, dado que el sistema de viguetas no requiere de las partidas colocación de bovedillas y tarrajeo de cielo raso, se anulan los residuos que se generarían por estas partidas.

Tabla 8

Comparación de costos indirectos de ambos sistemas

ESC 01: VIGUETAS PREFABRICADAS					ESC 02: PRELOSAS PREFABRICADAS				
DESCRIPCIÓN	UND	CANT	PU (S/)	PARCIAL (S/)	UND	CANT	PU (S/)	PARCIAL (S/)	VARIAC (S/)
OBRAS PROVISIONALES				S/255,131				S/ 81,400	S/173,731
FASE 01 Y FASE 02									
OBRAS PRELIMINARES									
VIGILANCIA 24 HORAS	mes	3.1	6,100	19,119	mes	1.0	6,100	6,100	13,019
TRABAJOS PRELIMINARES									
BAÑOS PARA OBREROS	mes	3.1	3,400	10,657	mes	1.0	3,400	3,400	7,257
BAÑOS PARA STAFF TÉCNICO	mes	3.1	600	1,881	mes	1.0	600	600	1,281
TOPOGRAFÍA PERMANENTE C1	mes	3.1	11,200	35,104	mes	1.0	11,200	11,200	23,904
TOPOGRAFÍA PERMANENTE C2	mes	3.1	10,500	32,910	mes	1.0	10,500	10,500	22,410
SUMINISTRO - AGUA POTABLE	mes	3.1	2,500	7,836	mes	1.0	2,500	2,500	5,336
SUMINISTRO - ENERGÍA ELÉCTR	mes	3.1	3,500	10,970	mes	1.0	3,500	3,500	7,470
LIMPIEZA DURANTE CASCO OBRA	mes	3.1	5,000	15,671	mes	1.0	5,000	5,000	10,671
TRANSPORTE VERTIC Y HORIZ									
TRANSP VERT CON TORRE GRÚA	mes	3.1	28,500	89,327	mes	1.0	28,500	28,500	60,827
TRASLADO Y ACARREO HORIZ	mes	3.1	10,100	31,656	mes	1.0	10,100	10,100	21,556
GASTOS GENERALES				S/333,363				S/106,360	S/227,003
FASE 01 Y FASE 02									
Staff profesional									
Ingeniero residente de obra	mes	3.1	17,500	54,850	mes	1.0	17,500	17,500	37,350
Ingeniero de campo	mes	3.1	9,500	29,776	mes	1.0	9,500	9,500	20,276
Ingeniero de instalaciones	mes	3.1	7,250	22,724	mes	1.0	7,250	7,250	15,474
Asistente de ing. de campo	mes	3.1	5,500	17,239	mes	1.0	5,500	5,500	11,739
Ingeniero de oficina técnica	mes	3.1	9,000	28,209	mes	1.0	9,000	9,000	19,209
Asistente de Ing de OT	mes	3.1	5,500	17,239	mes	1.0	5,500	5,500	11,739
Ingeniero de calidad	mes	3.1	7,500	23,507	mes	1.0	7,500	7,500	16,007
Gerente de proyectos	mes	0.6	20,000	12,537	mes	0.2	20,000	4,000	8,537

Tabla 8

Continuación...

Prevencionista 1	mes	3.1	5,000	15,671	mes	1.0	5,000	5,000	10,671
Monitor 1	mes	3.1	3,000	9,403	mes	1.0	3,000	3,000	6,403
Monitor 2	mes	3.1	3,000	9,403	mes	1.0	3,000	3,000	6,403
Staff técnico y administrativo									
Maestro de obra	mes	3.1	4,500	14,104	mes	1.0	4,500	4,500	9,604
Administrador de obra	mes	3.1	4,500	14,104	mes	1.0	4,500	4,500	9,604
Almacenero	mes	3.1	3,780	11,848	mes	1.0	3,780	3,780	8,068
Asistente de almacén	mes	3.1	2,850	8,933	mes	1.0	2,850	2,850	6,083
Capataz de obra	mes	3.1	4,500	14,104	mes	1.0	4,500	4,500	9,604
Electricista de mantenim.	mes	3.1	3,780	1,848	mes	1.0	3,780	3,780	8,068
Vigias	mes	3.1	5,700	17,865	mes	1.0	5,700	5,700	12,165
COSTOS INDIRECTOS TOTALES				S/588,494	S/187,760				S/400,734

Figura 9

APU de una losa aligerada, peralte 0.20 m, con los 2 sistemas analizados.

DESCRIPCIÓN	UND	CANT x M2	PU (S/)	PARCIAL (S/)
LOSA ALIGERADA H=0.20M				S/ 161.77
CONCRETO PREMEZCLADO F'c=210 KG/CM2, P57, SLUMP 4-6"	m3	0.07	322.49	S/ 22.96
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSAS MACIZAS	m2	1.00	37.50	S/ 37.50
ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	2.65	5.74	S/ 15.22
SUMINISTRO DE VIGUETAS	ml	2.15	12.40	S/ 26.66
COLOCACIÓN DE VIGUETAS	ml	2.15	5.50	S/ 11.83
SUMINISTRO DE BOVEDILLAS DE CONCRETO	und	10.00	3.46	S/ 34.61
COLOCACIÓN DE BOVEDILLAS DE CONCRETO	und	10.00	1.30	S/ 13.00
DESCRIPCIÓN	UND	CANT x M2	PU (S/)	PARCIAL (S/)
PRELOSA ALIGERADA H=0.20M				S/ 144.97
CONCRETO PREMEZCLADO F'c=210 KG/CM2, P57, SLUMP 4-6"	m3	0.07	322.49	S/ 23.86
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSAS MACIZAS	m2	1.00	20.50	S/ 20.50
ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60 - ACERO NEGATIVO	kg	2.25	5.74	S/ 12.92
ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60 - PARA PRELOSA	kg	4.70	4.12	S/ 19.38
SUMINISTRO DE PRELOSA ALIGERADA	m2	1.00	61.80	S/ 61.80
COLOCACIÓN DE PRELOSA ALIGERADA	m2	1.00	6.50	S/ 6.50

Figura 10

APU de una losa aligerada, peralte 0.25 m, con los 2 sistemas analizados

DESCRIPCIÓN	UND	CANT x M2	PU (S/)	PARCIAL (S/)
LOSA ALIGERADA H=0.25M				S/ 189.46
CONCRETO PREMEZCLADO F'c=210 KG/CM2, P57, SLUMP 4-6"	m3	0.09	322.49	S/ 27.41
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSAS MACIZAS	m2	1.00	37.50	S/ 37.50
ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	4.52	5.74	S/ 25.96
SUMINISTRO DE VIGUETAS	ml	2.15	12.90	S/ 27.74
COLOCACIÓN DE VIGUETAS	ml	2.15	5.50	S/ 11.83
SUMINISTRO DE BOVEDILLAS DE CONCRETO	und	10.00	4.60	S/ 46.03
COLOCACIÓN DE BOVEDILLAS DE CONCRETO	und	10.00	1.30	S/ 13.00
DESCRIPCIÓN	UND	CANT x M2	PU (S/)	PARCIAL (S/)
PRELOSA ALIGERADA H=0.25M				S/ 174.75
CONCRETO PREMEZCLADO F'c=210 KG/CM2, P57, SLUMP 4-6"	m3	0.09	322.49	S/ 27.73
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSAS MACIZAS	m2	1.00	20.50	S/ 20.50
ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60 - ACERO NEGATIVO	kg	4.66	5.74	S/ 26.76
ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60 - PARA PRELOSA	kg	5.68	4.12	S/ 23.42
SUMINISTRO DE PRELOSA ALIGERADA	m2	1.00	69.83	S/ 69.83
COLOCACIÓN DE PRELOSA ALIGERADA	m2	1.00	6.50	S/ 6.50

Tabla 9

Resumen del análisis económico de los sistemas analizados

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	PU (S/)	PARCIAL (S/)
01	OPTIMIZACIÓN SISTEMA DE LOSAS COSTO DIRECTO				S/ 420,323.80
1.01	ESTRUCTURAS	glb	1.00	101,372.74	S/ 101,372.74
1.02	ARQUITECTURA	glb	1.00	318,951.06	S/ 318,951.06
	COSTO INDIRECTO				S/ 400,733.56
1.03	OBRAS PROVISIONALES	glb	1.00	173,730.89	S/ 173,730.89
1.04	GASTOS GENERALES	glb	1.00	227,002.67	S/ 227,002.67
	TOTAL CD + CI				S/ 821,057.36
	PRESUPUESTO INICIAL				S/ 23,828,162.89
	% AHORRO (CD + CI)				3.45%

Tabla 10

Volumen de concreto a vaciar in situ, por sistema

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VIGUETAS PREFAB.	PRELOSAS PREF.	VARIAC (m3)
CONCRETO IN SITU (LOSA ALIG H=0.20)	m3	447.28	464.87	- 17.60
CONCRETO IN SITU (LOSA ALIG H=0.25)	m3	42.61	44.00	- 1.40
CONCRETO IN SITU (LOSA MAC H=0.20)	m3	1,722.42	1,291.95	430.48
CANTIDADES TOTALES	m3	2,212.30	1,800.82	411.48

Figura 11

APU de una losa maciza, peralte 0.20 m, con los 2 sistemas analizados

DESCRIPCIÓN	UND	CANT x M2	PU (S/)	PARCIAL (S/)
LOSA MACIZA H=0.20M				S/ 193.78
CONCRETO PREMEZCLADO F'c=210 KG/CM2, P57, SLUMP 4-6"	m3	0.20	322.49	S/ 64.50
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO DE LOSAS MACIZAS	m2	1.00	47.90	S/ 47.90
ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	14.17	5.74	S/ 81.39

DESCRIPCIÓN	UND	CANT x M2	PU (S/)	PARCIAL (S/)
PRELOSA MACIZA H=0.20M				S/ 195.15
CONCRETO PREMEZCLADO F'c=210 KG/CM2, P57, SLUMP 4-6"	m3	0.15	322.49	S/ 48.37
ENCOFRADO Y DEENCOFRADO DE LOSAS MACIZAS	m2	1.00	20.50	S/ 20.50
ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60 - ACERO NEGATIVO	kg	6.99	5.74	S/ 40.14
ACERO fy=4200 kg/cm2 GRADO 60 - PARA PRELOSA	kg	7.72	4.12	S/ 31.84
SUMINISTRO DE PRELOSA MACIZA	m2	1.00	47.80	S/ 47.80
COLOCACIÓN DE PRELOSA MACIZA	m2	1.00	6.50	S/ 6.50

Figura 12

Tren de trabajo para los sistemas de viguetas y prelosas prefabricadas para obra

	ESC: VIGUETAS PREFABRICADAS	L	M	X	J	V
	VACIADO DE TECHOS					
VERT	ACERO EN VERTICALES	1	2	3	4	5
	ENCOFRADO EN VERTICALES	1	2	3	4	5
	CONCRETO EN VERTICALES	1	2	3	4	5
HORIZ	ENCOFRADO DE VIGAS		1	2	3	4
	APUNTALAMIENTO DE VIGUETAS		1	2	3	4
	COLOCACIÓN DE ACERO EN VIGAS			1	2	3
	COLOCACIÓN DE VIGUETAS			1	2	3
	COLOCACIÓN DE BOVEDILLAS			1	2	3
	ACERO EN LOSAS				1	2
	HABILITACIÓN DE IISS/IIIEE/IIGG				1	2
	CONCRETO EN LOSAS Y VIGAS					1

	ESC: PRELOSAS PREFABRICADAS	L	M	X	J
	VACIADO DE TECHOS				
VERT	ACERO EN VERTICALES	1	2	3	4
	ENCOFRADO EN VERTICALES	1	2	3	4
	CONCRETO EN VERTICALES	1	2	3	4
HORIZ	ENCOFRADO DE VIGAS		1	2	3
	APUNTALAMIENTO DE PRELOSAS		1	2	3
	COLOCACIÓN DE ACERO EN VIGAS		1	2	3
	COLOCACIÓN DE PRELOSAS			1	2
	ACERO EN LOSAS			1	2
	HABILITACIÓN DE IISS/IIIEE/IIGG				1
	CONCRETO EN LOSAS Y VIGAS				1

X. CONCLUSIONES

- Con el sistema prefabricado de prelosas para las dos torres del edificio Sente se logró una reducción del presupuesto de obra en 3.45%, con respecto al presupuesto del sistema de viguetas prefabricadas.
- Con el sistema prefabricado de prelosas para las dos torres del proyecto Sente se logró la reducción del plazo de ejecución del casco en 2.13 meses, con respecto del sistema de viguetas prefabricadas.
- Los residuos de concreto armado para el sistema prefabricado de prelosas para las dos torres del edificio Sente, disminuyeron con respecto del sistema de viguetas prefabricadas en 18.5%.

XI. REFERENCIAS

- Chang, M. A. (2020). Propuesta y evaluación de la aplicación del sistema de construcción industrializada modular [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5970>
- Castillo Zavaleta, C. O., & Del Valle Jurado, C. (2023). Evaluación del reaprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados por los servicios de un catering. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 26(51), e23942. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/23942>
- Escudero Simon, W., Guadalupe Gómez, E., & Romero Baylon, A. (2022). Construcción de un modelo de gestión de costos en una mina subterránea. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 25(50), 179–190. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/24239>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2021). Estadísticas del bicentenario. https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1806/index.html#p=2
- Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI. (2022). Encuesta Nacional de Programas Presupuestales 2011-2021. https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1855/libro.pdf
- Loayza Susanibar, G. F. (2022). Planeamiento estratégico para el incremento de la productividad en el Consorcio Minero Horizonte, año 2020. *Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas*, 25(50), 201–208. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/download/24245/19172/88473>
- Ñaupas, H., Valdivia, M. R., Palacios, J. J. y Romero, H. E. (2018). Metodología de la investigación. Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis. 5ta edición. Editorial Ediciones de la U.
- Saavedra L., (2023). Optimización del costo, plazo de obra y nivel de sostenibilidad mediante la implementación de prelosas en el edificio multifamiliar Sente. [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos] <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/19225>
- Shen, L., Wing-yan y V., Yang, C. (2008). Benefit analysis on replacing in situ concreting with precast slabs for temporary construction works in pursuing sustainable construction practice. *Resources, Conservation and Recycling*, Volumen 53, Issue 3. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.11.001>
- Solis, J., Marrero, M., Montes, M. V. y Ramírez, A., (2009). A Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste Management*, Volumen 29, Issue 9. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.05.009>

Contribución de autoría:

Conceptualización: Lizbeth Saavedra y Félix Sánchez; Investigación: Lizbeth Saavedra y Félix Sánchez, Metodología: Lizbeth Saavedra y Félix Sánchez, Administración del proyecto: Lizbeth Saavedra y Félix Sánchez; Recursos: Lizbeth Saavedra y Félix Sánchez; Validación: Lizbeth Saavedra y Félix Sánchez, Visualización: Lizbeth Saavedra y Félix Sánchez; Supervisión y Redacción inicial (borrador): Lizbeth Saavedra y Félix Sánchez y Redacción final: Lizbeth Saavedra y Félix Sánchez.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.