

Análisis de la productividad de mano de obra y desperdicios de materiales en la construcción de viviendas

Royer Andreé Araujo Mejía*
<https://orcid.org/0009-0007-0322-0067>
raraujom@unc.edu.pe
Universidad Nacional de Cajamarca
Cajamarca, Perú

Noe Melciades Araujo Vera
<https://orcid.org/0009-0004-9200-9316>
naraujov@unc.edu.pe
Universidad Nacional de Cajamarca
Cajamarca, Perú

*Autor de correspondencia: naraujov@unc.edu.pe

Recibido: (23/03/2026), Aceptado: (29/06/2026)

Resumen. La productividad de la mano de obra y el desperdicio de materiales son indicadores fundamentales para evaluar la eficiencia de los proyectos de construcción. El objetivo de este estudio fue evaluar la productividad laboral y el desperdicio de concreto, mortero y ladrillo en viviendas del sector norte de Celendín, Perú. Se desarrolló una investigación cuantitativa, aplicada, con diseño no experimental y alcance descriptivo-analítico. La productividad se evaluó mediante la técnica de carta balance y el desperdicio mediante mediciones directas en obra. Los resultados mostraron que el vaciado de columnas presentó el mayor porcentaje de trabajo productivo, mientras que el levantamiento de muros registró el mayor trabajo improductivo. Asimismo, los desperdicios de materiales permanecieron por debajo de los valores de referencia establecidos por CAPECO. Finalmente, se propuso un Índice de Eficiencia Operativa para integrar la evaluación del desempeño de las partidas constructivas.

Palabras clave: productividad laboral, desperdicio, eficiencia constructiva, *Lean Construction*, carta balance.

Analysis of Labor Productivity and Material Waste in Housing Construction

Abstract. Labor productivity and material waste are key indicators for assessing the efficiency of construction projects. The objective of this study was to evaluate labor productivity and the waste of concrete, mortar, and brick in housing units located in the northern sector of Celendín, Peru. A quantitative, applied study was conducted, with a non-experimental design and a descriptive-analytical scope. Productivity was assessed using the balance chart technique, while waste was evaluated through direct on-site measurements. The results showed that column concrete pouring presented the highest percentage of productive work, whereas wall construction recorded the highest level of unproductive work. Likewise, material waste remained below the reference values established by CAPECO. Finally, an Operational Efficiency Index was proposed to integrate the performance assessment of construction activities.

Keywords: labor productivity, waste, construction efficiency, *Lean Construction*, balance chart.

I. INTRODUCCIÓN

La productividad de la mano de obra constituye uno de los principales indicadores para evaluar el desempeño de los proyectos de construcción, debido a su influencia directa sobre los costos, los tiempos de ejecución y la utilización eficiente de los recursos disponibles [1]. En este contexto, la productividad trasciende la simple medición del rendimiento físico de los trabajadores, al depender también de la planificación de las actividades, la coordinación de los equipos de trabajo y la gestión eficiente de los procesos constructivos [2], [3]. Paralelamente, el desperdicio de materiales representa una fuente significativa de pérdidas económicas y ambientales, ya que incrementa los costos de producción, reduce la eficiencia operativa y genera un mayor volumen de residuos durante la ejecución de las obras [4], [5], [6], [7].

En los últimos años, la investigación sobre productividad en la construcción ha evolucionado hacia enfoques integrales que consideran simultáneamente factores técnicos, organizacionales y humanos. Estudios recientes han demostrado que variables como la gestión de obra, la motivación del personal, la autoeficacia y la implementación de principios de *Lean Construction* ejercen una influencia significativa sobre el desempeño laboral y la reducción de actividades que no agregan valor [8], [9], [10], [11], [12], [13]. Aunque estos avances han fortalecido la comprensión de los factores que condicionan la productividad, la mayoría de las investigaciones continúa analizando de forma independiente la productividad de la mano de obra y el desperdicio de materiales, limitando una evaluación integral del desempeño operativo de los proyectos de construcción [13], [14], [15], [16], [17].

Bajo esta perspectiva, el presente estudio evalúa la productividad de la mano de obra y el desperdicio de concreto, mortero y ladrillo durante la construcción de viviendas en el sector norte de la ciudad de Celendín, Perú. A diferencia de enfoques convencionales, esta investigación propone una evaluación integrada del desempeño operativo mediante el análisis conjunto de la productividad laboral y el aprovechamiento de los materiales, utilizando observaciones directas en campo y la técnica de carta balance. Los resultados obtenidos aportan evidencia empírica para la identificación de oportunidades de mejora en la eficiencia de proyectos de vivienda y proporcionan un marco de referencia para futuras investigaciones orientadas a fortalecer la productividad y la sostenibilidad del sector construcción [14], [18].

II. MARCO TEÓRICO

A. Productividad de la mano de obra en la construcción

La productividad de la mano de obra constituye uno de los principales indicadores para evaluar el desempeño de los proyectos de construcción, debido a su influencia directa sobre los costos, los tiempos de ejecución y la utilización eficiente de los recursos. En términos generales, la productividad refleja la relación entre los resultados obtenidos y los recursos empleados para alcanzarlos; sin embargo, en el ámbito de la construcción esta depende no solo de la capacidad técnica de los trabajadores, sino también de factores asociados con la planificación, la disponibilidad de materiales, la coordinación de actividades, la supervisión y las condiciones propias del entorno de trabajo [1], [2].

Las investigaciones recientes han ampliado el análisis tradicional de la productividad al incorporar variables relacionadas con la gestión organizacional y el comportamiento humano. Aspectos como la motivación, la autoeficacia, el liderazgo y la coordinación entre equipos han demostrado ejercer una influencia significativa sobre el rendimiento laboral, favoreciendo una mayor continuidad de las actividades productivas y una disminución de los tiempos improductivos [5], [8], [10]. En este contexto, metodologías como *Lean Construction* promueven la eliminación sistemática de actividades que no agregan valor, convirtiéndose en una estrategia ampliamente utilizada para incrementar la eficiencia operativa en proyectos constructivos [6], [13].

B. Desperdicio de materiales y eficiencia constructiva

El desperdicio de materiales representa una de las principales fuentes de ineficiencia en la industria de la construcción, debido a sus repercusiones económicas y ambientales. Las pérdidas de concreto, mortero, ladrillo y otros insumos incrementan los costos directos de las obras, afectan la productividad global y generan un mayor volumen de residuos de construcción, reduciendo la sostenibilidad de los

proyectos [7], [11], [12]. En consecuencia, la reducción del desperdicio constituye actualmente uno de los objetivos prioritarios dentro de la gestión moderna de obras civiles.

Diversos estudios coinciden en que la magnitud del desperdicio no depende exclusivamente de las características de los materiales empleados, sino principalmente de la organización del proceso constructivo, la capacitación de la mano de obra, la logística de abastecimiento y la planificación de las actividades [3], [4], [9]. Bajo esta perspectiva, el control de pérdidas deja de considerarse una actividad aislada para integrarse como un componente esencial de la eficiencia constructiva y de la mejora continua en la ejecución de proyectos.

C. Productividad y desperdicio como indicadores complementarios

Aunque tradicionalmente la productividad laboral y el desperdicio de materiales han sido analizados de manera independiente, investigaciones recientes destacan la necesidad de evaluar ambas variables de forma integrada para comprender con mayor precisión el desempeño operativo de los proyectos de construcción [5], [8]. Una adecuada organización del trabajo favorece la continuidad de las actividades productivas, reduce interrupciones y optimiza el uso de los recursos materiales, generando beneficios simultáneos sobre la eficiencia técnica, económica y ambiental de las obras [6], [10], [12].

Bajo este enfoque, la evaluación conjunta de la productividad de la mano de obra y el desperdicio de materiales permite identificar oportunidades de mejora que difícilmente serían evidentes al analizar cada indicador por separado. En consecuencia, la integración de ambas métricas proporciona una visión más completa de la eficiencia constructiva y constituye una herramienta útil para orientar estrategias de planificación, supervisión y control orientadas a incrementar el desempeño de proyectos de vivienda [9], [14], [15], [16], [17], [18].

III. METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con diseño no experimental y alcance descriptivo-analítico. El estudio se orientó a evaluar el comportamiento de la productividad de la mano de obra y los desperdicios de materiales durante la ejecución de actividades constructivas en viviendas unifamiliares, mediante observaciones directas en campo y mediciones sistemáticas realizadas durante el proceso constructivo. Aunque el objetivo principal fue la caracterización de las variables de estudio, el análisis incorporó procedimientos comparativos que permitieron identificar diferencias entre partidas constructivas y contrastar los resultados con parámetros técnicos reportados por la literatura especializada y los estándares establecidos por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO).

Con el propósito de sintetizar el desempeño operativo de las partidas evaluadas, se calculó el Índice de Eficiencia Operativa (IEO), definido como la relación entre el tiempo productivo y la suma del tiempo productivo y el tiempo improductivo.

A. Área de estudio y unidad de análisis

El estudio se desarrolló en viviendas en proceso de construcción ubicadas en el sector norte de la ciudad de Celendín, departamento de Cajamarca, Perú. La unidad de análisis estuvo constituida por tres partidas representativas del proceso constructivo: vaciado de columnas de concreto, revestimiento de paredes con mortero y levantamiento de muros de ladrillo. Estas actividades fueron seleccionadas debido a su alta participación en el consumo de mano de obra y materiales, así como por su influencia sobre el rendimiento global de las obras de vivienda.

B. Población y muestra

La población estuvo conformada por las doce viviendas que se encontraban en proceso de construcción en el sector norte de la ciudad de Celendín, Cajamarca, Perú, durante el período de estudio. A partir de esta población se seleccionó una muestra de cinco viviendas, correspondientes al 41,7% del universo de estudio, considerando criterios de accesibilidad, estado de avance de la obra y homogeneidad del sistema constructivo, de manera que permitieran el seguimiento continuo de las actividades analizadas.

En cada vivienda se evaluaron tres partidas representativas del proceso constructivo: vaciado de columnas de concreto, revestimiento de paredes con mortero y levantamiento de muros de ladrillo. Para cada partida se realizaron observaciones sistemáticas mediante la técnica de carta balance para la evaluación de la productividad de la mano de obra, así como mediciones directas para cuantificar el desperdicio de materiales, generando un conjunto de datos comparables entre viviendas y actividades constructivas.

C. Recolección de información

La productividad de la mano de obra se determinó mediante la técnica de carta balance, ampliamente utilizada para evaluar el aprovechamiento efectivo del tiempo de trabajo en proyectos de construcción. Las actividades observadas fueron clasificadas en: trabajo productivo (TP), trabajo de apoyo (TA) y trabajo no productivo (TNP). De manera complementaria, los desperdicios de concreto, mortero y ladrillo fueron cuantificados mediante observación directa y mediciones en campo utilizando balanza, wincha y fichas normalizadas de registro.

D. Variables e indicadores

Se analizaron dos variables principales. La primera fue la productividad de la mano de obra, cuyos indicadores fueron el porcentaje de trabajo productivo, el porcentaje de trabajo de apoyo y el porcentaje de trabajo no productivo. La segunda fue el desperdicio de materiales, cuyos indicadores fueron el porcentaje de desperdicio de concreto, el porcentaje de desperdicio de mortero y el porcentaje de desperdicio de ladrillo.

E. Procesamiento y análisis de datos

La información obtenida fue organizada en hojas de cálculo y sometida a un análisis estadístico descriptivo mediante medidas de tendencia central y dispersión, incluyendo promedios, máximos, mínimos y desviaciones estándar para cada variable evaluada. Adicionalmente, se realizaron comparaciones entre partidas constructivas con el propósito de identificar diferencias en los niveles de productividad y desperdicio de materiales, así como contrastes respecto a los valores de referencia establecidos por CAPECO y los reportados en investigaciones recientes. Finalmente, los resultados fueron representados mediante tablas y gráficos comparativos que facilitaron el análisis integral del comportamiento de las variables y permitieron identificar oportunidades de mejora en la eficiencia de los procesos constructivos.

IV. RESULTADOS

A. Productividad de la mano de obra

La evaluación de la productividad laboral (Tabla 1) permitió identificar diferencias en la distribución de los tiempos de trabajo entre las tres partidas constructivas analizadas. El vaciado de columnas presentó el mayor porcentaje de trabajo productivo (42,28 %), seguido por el revestimiento de paredes (42,12 %), mientras que el levantamiento de muros registró el menor desempeño (39,43 %). En contraste, esta última actividad concentró la mayor proporción de trabajo improductivo (25,66 %), lo que evidencia mayores oportunidades para optimizar la planificación operativa y la coordinación de recursos durante su ejecución.

Tabla 1. Resumen estadístico de la productividad por partida.

Partida	Trabajo productivo (%)	Trabajo de apoyo (%)	Trabajo improductivo (%)
Vaciado de columnas	42,28	45,83	11,89
Revestimiento de paredes	42,12	37,36	20,52
Levantamiento de muros	39,43	34,91	25,66

En términos generales, los resultados muestran que, aunque las tres actividades presentan porcentajes de trabajo productivo relativamente similares, la distribución del tiempo destinado a actividades de apoyo e improductivas constituye el principal factor diferenciador del desempeño operativo. Este comportamiento coincide con investigaciones recientes que destacan que pequeñas variaciones en la

organización del trabajo pueden traducirse en diferencias significativas en la productividad global de los proyectos.

La Figura 1 presenta la distribución porcentual de los tiempos de trabajo registrados en cada partida constructiva. Se observa que el trabajo productivo mantiene valores cercanos entre las tres actividades; sin embargo, la principal diferencia se concentra en el incremento del trabajo improductivo, especialmente en el levantamiento de muros. Esto evidencia que la mejora del desempeño no depende únicamente de aumentar el tiempo productivo, sino de reducir las actividades que no agregan valor al proceso constructivo.

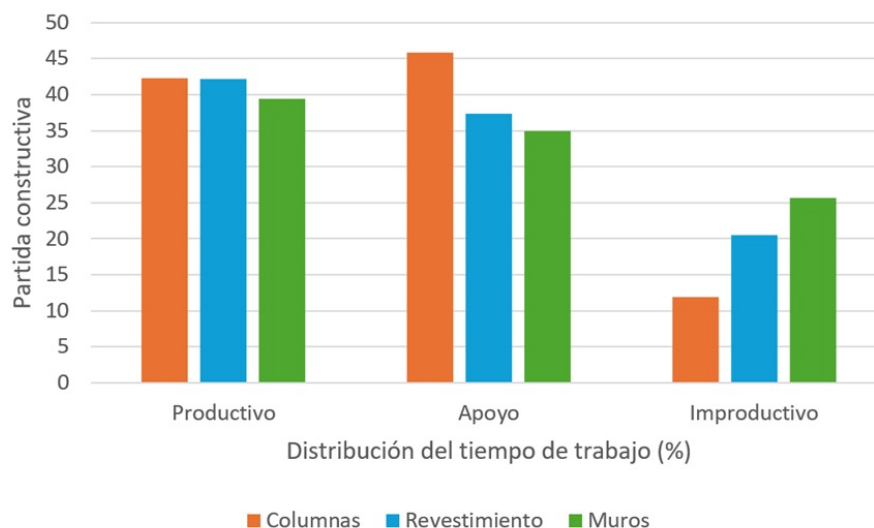


Fig. 1. Distribución de los tiempos de trabajo por partida constructiva.

B. Desperdicio de materiales

Los porcentajes de desperdicio obtenidos fueron inferiores a los valores de referencia establecidos por CAPECO para los tres materiales evaluados. El mortero presentó el mayor nivel de pérdida (6,18 %), mientras que el concreto y el ladrillo registraron desperdicios considerablemente menores (1,10 % y 1,84 %, respectivamente). Estos resultados sugieren un adecuado aprovechamiento de los materiales durante la ejecución de las actividades constructivas y reflejan un desempeño operativo favorable respecto a los parámetros técnicos utilizados como referencia.

Tabla 2. Desperdicio de materiales y comparación con los valores de referencia.

Material	Desperdicio observado (%)	Valor de referencia (%)	Cumplimiento
Concreto	1,10	5,00	Sí
Mortero	6,18	10,00	Sí
Ladrillo	1,84	5,00	Sí

Más allá del cumplimiento de los valores recomendados, los resultados permiten inferir que la adecuada organización de las actividades constructivas contribuye no solo a incrementar la productividad de la mano de obra, sino también a reducir el consumo innecesario de materiales, fortaleciendo simultáneamente la eficiencia económica y ambiental del proceso constructivo.

La Figura 2 compara los porcentajes de desperdicio de materiales obtenidos durante el estudio con los valores de referencia establecidos por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). En los tres materiales evaluados, los desperdicios observados se ubicaron por debajo de los límites recomendados, evidenciando un adecuado control del consumo de materiales durante la ejecución de las actividades constructivas. La mayor diferencia respecto al valor de referencia se registró en el concreto y el ladrillo, mientras que el mortero presentó el mayor porcentaje de desperdicio, aunque manteniéndose dentro de los parámetros técnicos aceptables.

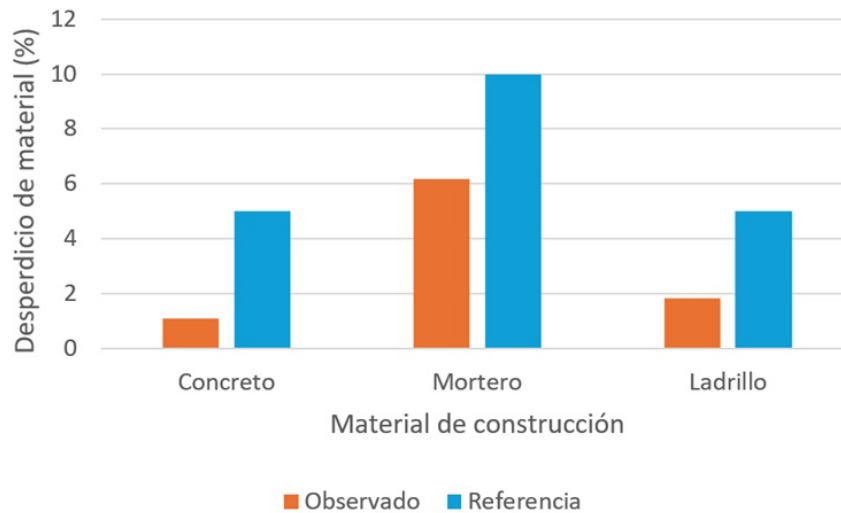


Fig. 2. Comparación entre los desperdicios observados y los valores de referencia.

C. Índice integrado de eficiencia constructiva

Con el propósito de integrar el comportamiento de la productividad laboral y facilitar la comparación entre partidas constructivas, se calculó un índice integrado de eficiencia definido (Tabla 3) como la relación entre el tiempo productivo y la suma del tiempo productivo y el tiempo improductivo. Este indicador permite sintetizar el desempeño operativo sin modificar la información original obtenida mediante la carta balance.

Tabla 3. Índice integrado de eficiencia constructiva.

Partida	Índice integrado de eficiencia
Vaciado de columnas	0,78
Revestimiento de paredes	0,67
Levantamiento de muros	0,61

Los resultados muestran que el vaciado de columnas alcanzó el mayor índice de eficiencia (0,78), seguido por el revestimiento de paredes (0,67), mientras que el levantamiento de muros presentó el menor desempeño (0,61). Esta diferencia confirma que las mayores oportunidades de mejora se concentran en aquellas actividades donde aumenta la proporción de tiempos improductivos, aun cuando el porcentaje de trabajo productivo permanezca relativamente estable.

La Figura 3 presenta el índice integrado de eficiencia constructiva calculado para las tres partidas evaluadas, el cual sintetiza el desempeño operativo a partir de la relación entre el tiempo productivo y el tiempo improductivo. Los resultados evidencian que el vaciado de columnas alcanzó el mayor nivel de eficiencia, seguido del revestimiento de paredes, mientras que el levantamiento de muros registró el menor desempeño. Esta diferencia refleja que las variaciones en la eficiencia constructiva están asociadas principalmente con el incremento de actividades improductivas, más que con cambios significativos en el tiempo efectivamente productivo, lo que pone de manifiesto la importancia de optimizar la organización y coordinación de las actividades en obra.

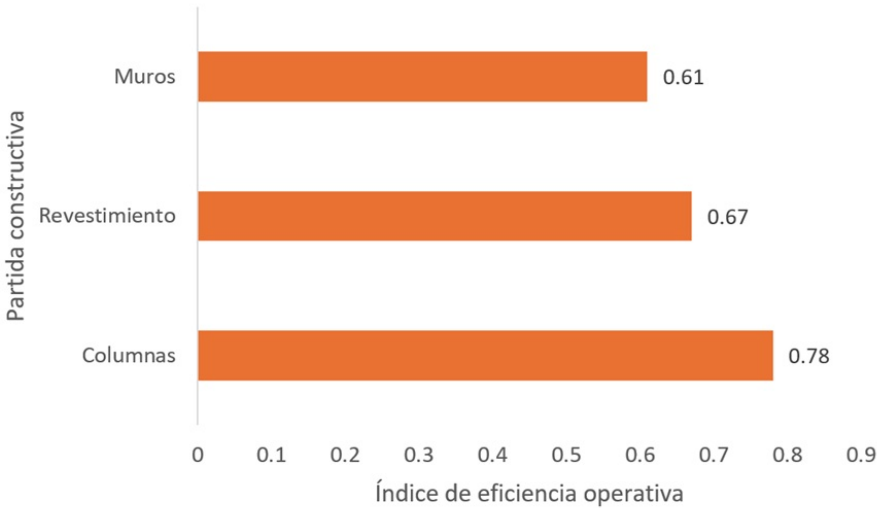


Fig. 3. Comparación del índice integrado de eficiencia entre partidas.

D. Relación entre productividad y desperdicio de materiales

El análisis conjunto de los indicadores permitió identificar una tendencia consistente entre el incremento de la productividad laboral y la reducción del desperdicio de materiales. Aunque el tamaño de la muestra no permite establecer relaciones de naturaleza inferencial, la representación conjunta de ambas variables evidencia que las partidas con mayor proporción de trabajo productivo también presentan menores niveles de pérdida de materiales, lo que respalda la importancia de optimizar la organización de las actividades constructivas como estrategia para mejorar la eficiencia global del proyecto.

Tabla 4. Síntesis del desempeño operativo de las partidas constructivas.

Partida	Productividad	Desperdicio	Desempeño global
Vaciado de columnas	Alta	Muy bajo	Muy eficiente
Revestimiento de paredes	Alta	Moderado	Eficiente
Levantamiento de muros	Media	Bajo	Aceptable

Los resultados confirman que la productividad laboral y el control del desperdicio no deben analizarse como variables independientes, sino como componentes complementarios del desempeño operativo. Esta perspectiva integrada fortalece la evaluación técnica de proyectos de vivienda y proporciona información útil para la toma de decisiones orientadas a incrementar la competitividad y la sostenibilidad del sector construcción.

La Figura 4 presenta una comparación integrada entre el porcentaje de trabajo productivo y el desperdicio de materiales en las partidas constructivas evaluadas. Se observa que el vaciado de columnas combina el mayor nivel de trabajo productivo con el menor porcentaje de desperdicio, mientras que el revestimiento de paredes registra el mayor desperdicio de materiales, a pesar de mantener un nivel de productividad similar. Por su parte, el levantamiento de muros presenta la menor productividad, aunque con un desperdicio inferior al observado en el revestimiento. Estos resultados evidencian que la productividad laboral y el desperdicio de materiales constituyen indicadores complementarios para evaluar el desempeño operativo de los procesos constructivos, por lo que su análisis conjunto proporciona una visión más integral de la eficiencia durante la ejecución de obras de vivienda.

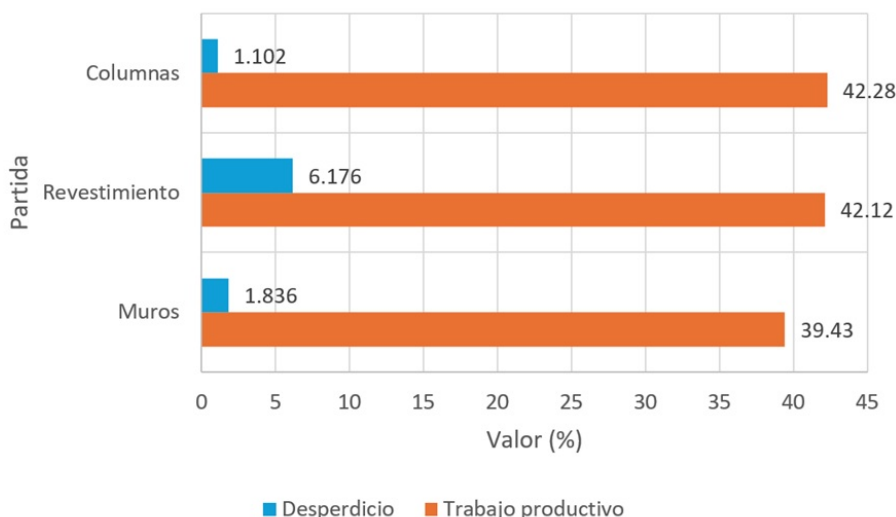


Fig. 4. Comparación conjunta del trabajo productivo y el desperdicio de materiales por partida constructiva.

E. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos evidenciaron diferencias en la productividad de la mano de obra entre las partidas constructivas evaluadas, siendo el vaciado de columnas la actividad con mayor proporción de trabajo productivo y el levantamiento de muros la que presentó el mayor porcentaje de trabajo improductivo. Estos hallazgos son consistentes con lo planteado por Shehata y El-Gohary [11], quienes señalan que la productividad en la construcción depende en gran medida de la planificación de las actividades, la coordinación de los recursos y la gestión eficiente de los procesos constructivos. De manera complementaria, Jahanger et al. [8] destacan que la productividad laboral no debe analizarse únicamente desde el desempeño de los trabajadores, sino también desde la eficiencia de la gestión de obra, aspecto que explica las diferencias observadas entre actividades constructivas con características técnicas similares.

Desde una perspectiva organizacional, los resultados también guardan relación con los planteamientos de Van Tam [10], quien identificó que factores como la autoeficacia y la motivación laboral ejercen una influencia significativa sobre la productividad en proyectos de construcción. Aunque estas variables no fueron evaluadas directamente en el presente estudio, la presencia de mayores porcentajes de trabajo improductivo en determinadas partidas sugiere que la eficiencia operativa depende tanto de la adecuada planificación técnica como de la organización del trabajo y la gestión del recurso humano. En este sentido, los resultados respaldan la necesidad de implementar estrategias orientadas a reducir actividades que no agregan valor, principio ampliamente promovido por la filosofía *Lean Construction* [6], [13].

Respecto al desperdicio de materiales, los porcentajes obtenidos fueron inferiores a los valores de referencia establecidos por CAPECO para el concreto, el mortero y el ladrillo, lo que refleja un adecuado aprovechamiento de los recursos durante la ejecución de las obras. Este comportamiento coincide con investigaciones que destacan la importancia de optimizar los procesos constructivos para incrementar simultáneamente la productividad, la eficiencia económica y el desempeño ambiental de los proyectos [7]. Asimismo, los avances recientes en gestión sostenible de residuos de construcción resaltan que la reducción de pérdidas de materiales constituye un componente esencial para fortalecer la economía circular y mejorar el aprovechamiento de los recursos empleados en el sector [12].

Uno de los principales aportes del presente estudio consiste en la evaluación conjunta de la productividad de la mano de obra y el desperdicio de materiales como indicadores complementarios del desempeño operativo. Mientras que numerosas investigaciones analizan estas variables de manera independiente [1], [2], [5], los resultados obtenidos muestran que su integración proporciona una visión más completa de la eficiencia constructiva durante la ejecución de proyectos de vivienda. En este contexto, el Índice de Eficiencia Operativa (IEO) permitió sintetizar el comportamiento de las partidas mediante un indicador simple y de fácil interpretación, facilitando la comparación del desempeño sin modificar la información obtenida en campo.

Finalmente, los hallazgos obtenidos refuerzan la importancia de orientar la gestión de obras hacia modelos de mejora continua, donde la productividad laboral y el control del desperdicio de materiales sean abordados de manera integrada. La aplicación de principios asociados a *Lean Construction*, junto con una adecuada planificación de las actividades y una gestión eficiente de los recursos, representa una estrategia viable para incrementar la competitividad de los proyectos de vivienda y fortalecer la sostenibilidad del sector construcción. Aunque el estudio se desarrolló en un conjunto específico de viviendas, la metodología empleada y el enfoque integrado propuesto pueden servir como referencia para futuras investigaciones orientadas a evaluar la eficiencia operativa en diferentes contextos constructivos.

CONCLUSIONES

La productividad de la mano de obra presentó diferencias entre las partidas constructivas evaluadas, siendo el vaciado de columnas la actividad con mayor desempeño operativo y el levantamiento de muros la de menor eficiencia. Los resultados evidencian que estas diferencias estuvieron asociadas principalmente al incremento del trabajo improductivo, lo que confirma la importancia de optimizar la organización y coordinación de las actividades durante la ejecución de las obras.

Los porcentajes de desperdicio de concreto, mortero y ladrillo se mantuvieron por debajo de los valores de referencia establecidos por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), lo que refleja un adecuado aprovechamiento de los materiales y demuestra que una gestión eficiente de los recursos puede contribuir simultáneamente a la reducción de costos y al fortalecimiento de la sostenibilidad de los proyectos de vivienda.

La incorporación del Índice de Eficiencia Operativa (IEO) permitió integrar la información derivada de la carta balance en un indicador sintético que facilitó la comparación del desempeño entre las partidas constructivas. Si bien su aplicación se realizó en un conjunto limitado de viviendas, el indicador constituye una alternativa práctica para apoyar la evaluación comparativa de procesos constructivos y podrá ser validado en futuras investigaciones con muestras más amplias.

La evaluación conjunta de la productividad de la mano de obra y el desperdicio de materiales proporcionó una visión más integral del desempeño operativo que el análisis independiente de cada variable. En consecuencia, futuras investigaciones deberían profundizar en la incorporación de indicadores integrados de eficiencia, así como evaluar el efecto de factores organizacionales, tecnológicos y de gestión sobre la productividad y el aprovechamiento de materiales en diferentes tipologías de proyectos constructivos.

REFERENCIAS

- [1] T. R. Oke, "The energetic basis of the urban heat island," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 108, no. 455, pp. 1–24, 1982.
- [2] J. A. Voogt and T. R. Oke, "Thermal remote sensing of urban climates," *Remote Sensing of Environment*, vol. 86, no. 3, pp. 370–384, 2003.
- [3] D. Zhou *et al.*, "Satellite remote sensing of surface urban heat islands: Progress, challenges, and perspectives," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 1, 2018.
- [4] S. Peng *et al.*, "Surface urban heat island across 419 global big cities," *Environmental Science & Technology*, vol. 46, no. 2, pp. 696–703, 2011.
- [5] L. Zhao, X. Lee, R. B. Smith, and K. Oleson, "Strong contributions of local background climate to urban heat islands," *Nature*, vol. 511, no. 7508, pp. 216–219, 2014.
- [6] G. Manoli *et al.*, "Magnitude of urban heat islands largely explained by climate and population," *Nature*, vol. 573, no. 7772, pp. 55–60, 2019.
- [7] Q. Weng, D. Lu, and J. Schubring, "Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies," *Remote Sensing of Environment*, vol. 89, no. 4, pp. 467–483, 2004.
- [8] F. Yuan and M. E. Bauer, "Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in landsat imagery," *Remote Sensing of Environment*, vol. 106, no. 3, pp. 375–386, 2007.

- [9] J. C. Jimenez-Munoz, J. A. Sobrino, D. Skokovic, C. Mattar, and J. Cristobal, "Land surface temperature retrieval methods from landsat-8 thermal infrared sensor data," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 11, no. 10, pp. 1840–1843, 2014.
- [10] D. Baño, J. Salazar, and M. Delgado, "Remote sensing in the design of urban planning strategies, case study urban heat island of the metropolitan district of quito, ecuador," *Latin-American Journal of Computing*, vol. 5, no. 1, pp. 17–26, 2018. [Online]. Available: <https://doaj.org/article/2f70efe3c73243178289ed26349795d9>
- [11] J. Garzón, I. Molina, J. Velasco, and A. Calabia, "A remote sensing approach for surface urban heat island modeling in a tropical colombian city using regression analysis and machine learning algorithms," *Remote Sensing*, vol. 13, no. 21, 2021.
- [12] T. Chakraborty and X. Lee, "A simplified urban-extent algorithm to characterize surface urban heat islands on a global scale and examine vegetation control on their spatiotemporal variability," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 74, pp. 269–280, 2019.
- [13] J. Schwaab, R. Meier, G. Mussetti, S. Seneviratne, C. Bürgi, and E. L. Davin, "The role of urban trees in reducing land surface temperatures in european cities," *Nature Communications*, vol. 12, no. 1, 2021.
- [14] I. D. Stewart and T. R. Oke, "Local climate zones for urban temperature studies," *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 93, no. 12, pp. 1879–1900, 2012.
- [15] J. Muñoz-Sabater *et al.*, "ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications," *Earth System Science Data*, vol. 13, no. 9, pp. 4349–4383, 2021.
- [16] N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore, "Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone," *Remote Sensing of Environment*, vol. 202, pp. 18–27, 2017.
- [17] X. Yu, X. Guo, and Z. Wu, "Land surface temperature retrieval from landsat 8 TIRS—comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method," *Remote Sensing*, vol. 6, no. 10, pp. 9829–9852, 2014.
- [18] S. B. Duan *et al.*, "Validation of landsat land surface temperature product in the conterminous united states using in situ measurements from SURFRAD, ARM, and NDBC sites," *International Journal of Digital Earth*, vol. 14, no. 5, pp. 640–660, 2021.