

Guía para la medición de rendimientos de mano de obra en los procesos constructivos de naves industriales para la compañía Diseño Construcción y Maquinaria S.A.

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

CONSTANCIA DE PRESENTACIÓN PÚBLICA DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Guía para la medición de rendimientos de mano de obra en los procesos constructivos de naves industriales para la compañía Diseño Construcción y Maquinaria S.A.

Llevado a cabo por el estudiante:

Barrantes Zúñiga Luis Alejandro

Carné: 2019015292

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el miércoles 18 de diciembre de 2024 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Firmado digitalmente por JOSE
ANDRES ARAYA OBANDO (FIRMA)
Fecha: 2025.01.20 14:12:22 -06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando
Director de Escuela

MARIA FERNANDA
ARIAS PORRAS (FIRMA)

Firmado digitalmente por MARIA
FERNANDA ARIAS PORRAS
(FIRMA)
Fecha: 2024.12.18 17:21:36 -06'00'

Ing. Fernanda Arias Porras, MGP
Profesora Guía

MILTON ANTONIO
SANDOVAL QUIROS
(FIRMA)

Firmado digitalmente por
MILTON ANTONIO SANDOVAL
QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2024.12.18 16:04:21 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE
Profesor Lector

MANUEL ANTONIO
ALLAN ZUÑIGA (FIRMA)

Firmado digitalmente por
MANUEL ANTONIO ALLAN
ZUÑIGA (FIRMA)
Fecha: 2025.01.10 11:08:26 -06'00'

Ing. Manuel Alán Zúñiga, MBA, MGP
Profesor Observador

Resumen

Este trabajo presenta el desarrollo de una guía práctica para la medición de rendimientos de mano de obra en los procesos constructivos de la empresa Diseño Construcción y Maquinaria S.A. (DICOMA). La investigación surge de diferencias presentadas entre los costos y cronogramas proyectados vs los reales de los proyectos, se identifica la necesidad de mejorar la precisión en la estimación de rendimientos de mano de obra. A partir de la identificación de factores influyentes, como la supervisión y la experiencia laboral, se diseñaron herramientas que permiten cuantificar los rendimientos de forma más efectiva y ajustada a las condiciones de obra. La metodología incluye estudios de tiempos y entrevistas al personal de la empresa, enfocándose en variables específicas de los procesos constructivos. Los resultados demuestran que el uso de una guía estandarizada y la consideración de factores externos pueden mejorar la exactitud en las estimaciones de rendimiento, con un coeficiente de variación menor al 20% en los proyectos aplicados.

Palabras clave: rendimiento, mano de obra, procesos constructivos, factores externos.

Abstract

This study presents the development of a practical guide for measuring labor performance in the construction processes of the company Diseño Construcción y Maquinaria S.A. (DICOMA). The research arises from the need to improve accuracy in performance estimation and reduce discrepancies between projected and actual project costs. Based on the identification of influential factors, such as supervision and labor experience, tools were designed to quantify performance more effectively and adaptively to on-site conditions. The methodology includes time studies and interviews with company personnel, focusing on specific variables within construction processes. The results show that using a standardized guide and considering external factors can improve the accuracy of performance estimates, achieving a variation coefficient of less than 20% in applied projects.

Keywords: performance, labor, construction processes, external factors.

Guía para la medición de rendimientos de mano de obra en los procesos constructivos de naves industriales para la compañía Diseño Construcción y Maquinaria S.A.

LUIS ALEJANDRO BARRANTES ZÚÑIGA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Noviembre de 2024

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Resumen ejecutivo	6
Introducción	8
Problema	8
Justificación	8
Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	9
Antecedentes.....	9
Objetivo general	10
Objetivos específicos.....	10
Alcance	10
Limitaciones.....	11
Capítulo 1: Marco teórico.....	13
1.1 Rendimiento	13
1.2 Factores que influyen en el rendimiento en la construcción	13
1.4 Conceptos de estadística	16
Capítulo 2: Metodología.....	18
2.1 Tipo de investigación	18
2.2 Variables de la investigación	19
2.3 Sujetos de Información	20
2.4 Fuentes de Información	20
2.4.1 Fuentes primarias.....	21
2.4.2 Fuentes secundarias	21
2.5 Técnicas e instrumentos de recolección.....	21

2.5.1 Entrevista	22
2.5.2 Revisión bibliográfica.....	22
2.5.3 Herramienta para medición de rendimiento de mano de obra.....	22
2.6 Presentación y análisis de los resultados	24
2.6.1 Analizar la situación actual de la organización respecto a rendimientos de los procesos constructivos considerados críticos a mejorar, detectando las áreas de oportunidad y estableciendo prioridades de acción.....	24
2.6.2 Elaborar una guía para la estimación de rendimientos en la mano de obra de procesos constructivos para la aplicación en futuros proyectos.....	24
2.6.3 Aplicar la guía para la medición de rendimientos diseñada en los procesos considerados críticos para verificación de su aplicabilidad	25
Capítulo 3: Resultados y análisis.....	26
3.1 Diagnóstico de la situación actual de la empresa	26
3.2 Herramienta para la medición de rendimientos de mano de obra	28
3.2.1 Definir el proceso constructivo.....	28
3.2.2 Establecer la cuadrilla de trabajo.....	28
3.2.3 Recolección de datos del proceso	29
3.2.4 Determinar las condiciones de trabajo	29
3.2.5 Calcular el rendimiento o consumo de mano de obra	30
3.2.6 Validar con análisis adicionales y pruebas piloto.....	31
3.2.7 Presentar la estimación final	31
3.2.8 ¿Qué se debe medir en sitio?.....	31
3.2.9 ¿Cuándo se debe medir?	32
3.2.10 Guía para utilizar la herramienta de medición	33
3.3 Aplicación de la herramienta de medición para rendimientos de mano de obra.....	51
3.3.1 Fabricación de concreto en batidora (0,45 m3)	51

3.3.2 Colocación de lámina durock	58
3.3.3 Colocación de fibra en paredes livianas	62
3.3.4 Colocación de bloques de mampostería	66
3.3.5 Colado de concreto con camión mezclador	70
Conclusiones y recomendaciones	76
Conclusiones	76
Recomendaciones	77
Referencias	78
Apéndices	81

Resumen ejecutivo

Este proyecto se centra en el desarrollo de una guía práctica para la medición de rendimientos de mano de obra en los procesos constructivos de la empresa Diseño Construcción y Maquinaria S.A. (DICOMA). La iniciativa surge de mejorar la precisión en las estimaciones de rendimiento, debido a que las duraciones de los proyectos, no están siendo acordes con los cronogramas, dicha discrepancia en los tiempos genera, además, diferencias en los costos proyectados y los costos finales de los proyectos. El trabajo aporta un valor importante tanto a la Escuela de Ingeniería en Construcción como a la industria en general, proporcionando una herramienta que facilita la actualización de rendimientos y optimiza el uso de recursos.

Para el primer objetivo, se realizó un diagnóstico de la situación actual en DICOMA. Este diagnóstico reveló que, aunque existen estimaciones de rendimiento, al momento de presupuestar, se emplean mayormente rendimientos teóricos y no siempre reflejan la realidad de los proyectos. Factores como la experiencia del personal y las condiciones climáticas suelen no ser considerados, a pesar de su impacto. A través de entrevistas con ingenieros residentes y personal de presupuestos, se identificaron áreas críticas de evaluación de los procesos relacionados con paredes livianas, concreto y mampostería. En ausencia de un sistema estandarizado, se recomienda a la empresa realizar mediciones periódicas de rendimiento.

Para el segundo objetivo, se desarrolló una herramienta de estimación de rendimientos que incorpora métodos actuales de medición, adaptados a las necesidades de la empresa. Se concluye que una guía estandarizada, que integre factores externos como temperatura, supervisión y experiencia laboral, mejora significativamente la precisión en las estimaciones de rendimiento. Se recomienda a los ingenieros de proyectos evaluar la herramienta para detectar posibles áreas de mejora.

En el tercer objetivo correspondiente a la aplicación de la guía en los procesos mencionados por la empresa a evaluar, se obtuvieron datos que evidencian la efectividad de la herramienta propuesta, en donde la supervisión demostró afectar el rendimiento siendo así que en la colocación de fibras de paredes livianas, los trabajadores sin supervisión tenían rendimientos de 9,49 m²/h-h mientras que posterior a la supervisión se registraron rendimientos de 13,37 m²/h-h.

La experiencia en los trabajadores demostró ser influyente en los rendimientos siendo la colocación de bloques de mampostería por el trabajador experimentado, en promedio de 0,564 m²/h-h mientras que los trabajadores sin experiencia promediaron un rendimiento menor con 0,236 m²/h-h. De igual forma para la fabricación de concreto en batidora los trabajadores con experiencia promediaron un rendimiento de 0,576 m³/h-h mientras que los trabajadores con poca experiencia 0,344 m³/h-h.

Las mediciones presentaron coeficientes de variación inferiores al 20% en las actividades evaluadas indicando precisión en los resultados. Como recomendaciones finales, se sugiere a los ingenieros de proyectos realizar análisis adicionales de productividad. Este proyecto proporciona a la empresa una solución práctica y sostenible, con potencial de replicarse en otros entornos de la industria de la construcción, y contribuye a una mayor eficiencia y competitividad en el sector.

Para abordar esta problemática, el proyecto se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 8: **Trabajo decente y crecimiento económico**. La guía creada incluye dos herramientas específicas: una para actividades de corta duración, basada en observaciones y mediciones en intervalos relativamente cortos, y otra para procesos de larga duración, enfocada en la medición de inicio y fin del proceso. La primera herramienta permite un control continuo que es particularmente útil en actividades breves, mientras que la segunda proporciona una visión global para procesos largos, evitando la necesidad de mediciones constantes.

Introducción

En la industria de la construcción, la medición del rendimiento de la mano de obra es fundamental para cumplir con los plazos y garantizar el éxito de los proyectos. Este trabajo propone una guía práctica para evaluar y gestionar estos rendimientos en los procesos constructivos de la empresa, facilitando una toma de decisiones informada.

Problema

El trabajo final de graduación se desarrolla en la empresa Diseño Construcción y Maquinaria S.A (DICOMA). Tiene como objetivo principal la elaboración de una guía que permita la medición de rendimientos de la mano de obra en los procesos constructivos, con el fin de proporcionar una evaluación actualizada de la mano de obra en la empresa. Esto cobra especial relevancia debido a que los tiempos de las actividades no están siendo acordes a los plazos establecidos en los cronogramas, lo cual influye directamente en afectaciones a los presupuestos estimados para los proyectos.

Justificación

Es importante señalar que en la empresa donde se realiza este trabajo ya se han llevado a cabo proyectos de graduación previos que abordaron objetivos similares, como el análisis de productividad y rendimientos de la mano de obra en procesos constructivos. Sin embargo, estos proyectos anteriores enfrentaron ciertas limitaciones en cuanto a su alcance. Debido a que los trabajos de graduación generalmente deben completarse en aproximadamente un semestre, resulta complicado abarcar todos los procesos constructivos.

La empresa ha informado que, debido a estas limitaciones, solo se pudieron evaluar algunos procesos constructivos específicos en esos trabajos previos. En respuesta a estas restricciones, este nuevo trabajo propone una diferenciación clave: establecer un plan que permita a la empresa instruirse en la estimación de rendimientos para que puedan actualizar estos rendimientos periódicamente. De este modo, se busca proporcionar una herramienta práctica y sostenible que garantice la mejora continua en los proyectos constructivos de la empresa.

Ahora bien, es crucial destacar que, a pesar de los esfuerzos previos, aún existen áreas que requieren atención y actualización en lo que respecta a los rendimientos de la mano de obra. La empresa ha expresado la necesidad de actualizar los rendimientos de mano de obra de otros procesos constructivos, ya que no reflejan con precisión los tiempos y costos de los proyectos. Esta necesidad de actualizar la información se vuelve aún más relevante considerando los constantes cambios y avances en la industria de la construcción. Contar con datos actualizados y precisos es fundamental para tomar decisiones informadas y estratégicas que impulsen la eficiencia y la competitividad de la empresa en el mercado actual.

Objetivos de Desarrollo Sostenible

El ámbito consecuentemente estimula la actividad económica y el empleo en diversos sectores proveedores de la industria de la construcción. Por lo tanto, esta industria desempeña un papel esencial en el crecimiento y desarrollo del país (CCC, 2011). Tomando en cuenta lo anterior, se logra identificar que el respectivo trabajo cumple con uno de los objetivos de desarrollo sostenible por la ONU (2015) específicamente con el número 8 trabajo decente y crecimiento económico.

Antecedentes

En el desarrollo de un proyecto de construcción, los rendimientos de la mano de obra en los diferentes procesos constructivos juegan un papel crucial en la elaboración del presupuesto y la programación de la obra. Estos rendimientos permiten establecer de manera anticipada el costo y la duración del proyecto, aspectos indispensables para determinar su viabilidad. Una estimación precisa de los rendimientos garantiza que los recursos sean asignados eficientemente, minimizando riesgos y asegurando que el proyecto pueda ser completado dentro de los límites financieros y temporales establecidos (Botero, 2002).

De igual forma, al evaluar los rendimientos de la mano de obra en los procesos constructivos, se puede identificar cómo se pueden realizar mejoras significativas. Por lo general ciertos procesos consumen más tiempo o recursos de los necesarios, o ciertas tareas podrían realizarse de manera más eficiente con ajustes en los métodos de trabajo o la asignación de recursos. Abordar estas cuestiones no solo conduce a una mayor eficiencia en la ejecución de proyectos, sino que también puede tener un impacto significativo en los costos. Se reduce el tiempo necesario para completar las tareas, lo que a su vez disminuye los costos asociados con la mano de obra y otros recursos (Aguilar & C, 2007).

En el ámbito de la construcción, poseer rendimientos de mano de obra íntegros, desempeña un papel crucial en la determinación de la confiabilidad de los resultados. Es común que los profesionales del sector utilicen bases de datos comerciales para estimar los rendimientos y consumos de mano de obra en diversas actividades constructivas. Sin embargo, la discrepancia entre estos estimativos y la realidad genera desconfianza en el sector, debido a su alta variabilidad. En este contexto, Botero (2002) argumenta que los

rendimientos y consumos empleados en la planificación y presupuestación de obras deben estar respaldados por observaciones y análisis estadísticos exhaustivos, teniendo en cuenta las particularidades de cada actividad constructiva.

La estimación de rendimientos de mano de obra son una práctica común tanto a nivel nacional como internacional. Estos estudios proporcionan información crucial para las empresas, especialmente aquellas que carecen de datos actualizados sobre rendimientos. A pesar que podría considerarse que los resultados de estos análisis deberían ser consistentes entre sí, facilitando su consulta en línea, Brenes (2014) sugiere lo contrario. Según el autor, los resultados de tales estudios deben interpretarse con cautela y considerarse como una referencia para estimar costos y programar proyectos similares, en lugar de ser aplicados de manera indiscriminada a cualquier tipo de proyecto.

Objetivo general

- Realizar un guía para la estimación de rendimientos de la mano de obra en procesos constructivos claves en la empresa DICOMA, para la obtención de mejores datos en la programación y presupuestación de los proyectos.

Objetivos específicos

- Analizar la situación actual de la organización respecto a rendimientos de los procesos constructivos considerados críticos que requieren mejoras, detectando las áreas de oportunidad y estableciendo prioridades de acción.
- Elaborar una guía para la estimación de rendimientos en la mano de obra de procesos constructivos para la aplicación en futuros proyectos.
- Aplicar la guía para la medición de rendimientos diseñada en los procesos considerados críticos para verificación de su aplicabilidad.

Alcance

El presente trabajo busca comprender las necesidades de la empresa en cuanto a los rendimientos de mano de obra en procesos constructivos, para así definir aquellas áreas críticas que requieren mejoras y priorizar acciones concretas. A través de este análisis, se logra identificar los rendimientos que deben ser actualizados para la empresa, sin embargo, no se evaluarán todos los procesos constructivos.

Para apoyar este proceso, se desarrolla una herramienta de medición de rendimiento que permita a la empresa estimar de forma precisa y eficiente los rendimientos en futuros proyectos. Esta herramienta

estará basada en directrices y metodologías claras para la recopilación de datos, adaptándose a las necesidades cambiantes de los proyectos y proporcionando un marco práctico que facilite la toma de decisiones en la gestión de recursos humanos en el ámbito constructivo.

Finalmente, en la implementación de esta herramienta se realizan visitas a proyectos para aplicar la guía de medición en los procesos identificados. Con estas evaluaciones se busca verificar la aplicabilidad y efectividad de la herramienta en contextos reales, sin pretender abarcar la implementación completa en todos los proyectos de la empresa ni en una reestructuración de procesos existentes. Tampoco se incluyen evaluaciones de factores externos a los rendimientos de la mano de obra, tales como la calidad de los materiales o la gestión financiera.

Limitaciones

Este trabajo enfrentó varias limitaciones importantes que deben gestionarse adecuadamente. En primer lugar, la disponibilidad de tiempo del personal de la empresa afectó el desarrollo y seguimiento del proyecto, por lo que se organizó reuniones con anticipación para coordinar los tiempos de cada etapa.

La guía y herramienta desarrolladas también presentan una limitación en cuanto a su aplicabilidad, ya que están enfocadas en ciertos tipos específicos de procesos constructivos y pueden no ser útiles para la totalidad de actividades en DICOMA. Para mitigar este riesgo, se propuso diseñarlas de manera flexible, de modo que puedan adaptarse a una variedad de procesos constructivos y situaciones.

Adicionalmente, las cancelaciones de visitas de campo se presentaron debido a factores externos como restricciones logísticas (transporte) y factores ambientales (lluvias). Por lo que se coordinó con la empresa realizar visitas a más de un proyecto. Sin embargo, se debe aclarar que fue necesario mantener una alta disponibilidad de tiempo para adaptarse a cambios imprevistos.

Por último, surgieron retrasos en la ejecución de actividades programadas para evaluar el rendimiento de la mano de obra. Además, no se contó con la libertad esperada para recorrer los proyectos, ya que era necesario que algún ingeniero residente estuviera presente de forma constante, y no siempre disponían del tiempo requerido. Para minimizar estos impactos, el proyecto debió incorporar mayor flexibilidad para ajustar o reprogramar actividades para lograr mantener representatividad de los resultados.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mi familia, por su constante apoyo y motivación a lo largo de este camino académico. A mi tutora, María Fernanda, le expreso un sincero agradecimiento por su orientación y dedicación; su guía ha sido fundamental para la realización de este proyecto. También extendo mi gratitud a la empresa Diseño Construcción y Maquinaria S.A. (DICOMA) por permitirme desarrollar mi trabajo de graduación en un entorno profesional que me ha permitido aplicar y enriquecer mis conocimientos. Finalmente, a mi pareja Lusiana y compañeros cercanos, gracias por su amistad y apoyo constante; su compañía ha sido esencial en este proceso.

Capítulo 1: Marco teórico

En el ámbito de la construcción, la medición precisa de los rendimientos de la mano de obra es fundamental para garantizar la eficiencia y el control de los costos en los proyectos. La falta de una metodología estandarizada para medir los rendimientos puede derivar en ineficiencias y sobrecostos, afectando tanto la planificación como la ejecución de las obras. Este marco teórico explora los conceptos que fundamentan la creación de una guía práctica para la medición de rendimientos en los procesos constructivos, buscando mejorar la precisión y consistencia en la gestión de la mano de obra.

3.1 Rendimiento

Los rendimientos de mano de obra se definen según Botero (2002) lo define como: *“la cantidad de obra de alguna actividad completamente ejecutada por una cuadrilla compuesta por uno o varios operarios de diferente especialidad por unidad de recurso humano, normalmente expresada como unidad de medida por hora hombre”* (p.11). Los rendimientos se presentan como indicadores clave que permiten comprender el comportamiento de las construcciones. Estos datos, expresados en unidades de tiempo por unidad de medida (como metros lineales, metros cuadrados, metros cúbicos, etc.), se utilizan comúnmente para interpretar de manera generalizada el costo por unidad de tiempo. Su propósito principal es estimar tanto el tiempo necesario para completar una actividad como el costo asociado (Fernández et al., 2023).

1.2 Factores que influyen en el rendimiento en la construcción

Existen diversos factores externos que afectan de forma positiva o negativa el rendimiento de mano de obra: las tendencias empresariales y la situación laboral son factores que influyen directamente en el rendimiento de la mano de obra en la construcción. Durante la crisis de 2008 en España, por ejemplo, la inestabilidad económica y la caída del sector inmobiliario llevaron a un aumento del desempleo y la suspensión de pagos en muchas constructoras. Según Villar (2009), factores como la inflación global y la crisis crediticia generaron un entorno de incertidumbre laboral que afectó negativamente la productividad de los trabajadores. Cuando el mercado se contrae y las oportunidades laborales disminuyen, la motivación y eficiencia de la mano de obra tienden a reducirse, impactando el rendimiento general en el sector (Méndez, 2013).

Además, la creciente flexibilidad en los contratos de trabajo en el sector de la construcción ha llevado a un aumento del empleo precario o atípico, mientras que ha disminuido el trabajo considerado estándar, con empleo a tiempo completo y aparente estabilidad. El empleo precario abarca trabajos a tiempo parcial, contratos temporales y empleos estacionales. En Europa, cerca del 15% de la fuerza laboral trabaja a tiempo parcial, y uno de cada once trabajadores tiene un contrato temporal. Solo el 41,83% de los empleados del sector tiene un contrato indefinido, siendo el contrato por obra y servicio uno de los más comunes, utilizado en el 51,55% de los casos. Este tipo de contrato ofrece poca estabilidad, generando incertidumbre en los trabajadores sobre su futuro una vez que el proyecto termina, lo que puede afectar su salud mental y, en consecuencia, su rendimiento laboral (González et al., 2003).

La edad es una variable significativa, ya que puede afectar el rendimiento de una persona, tanto en la juventud como en la vejez. Se asume que los trabajadores más jóvenes tienden a rendir más debido a su mejor condición física, mientras que los trabajadores de mayor edad podrían no tener la misma capacidad de producción. Esta variable registra los años cumplidos de los individuos involucrados en cada actividad, considerando especialmente la edad de la persona de la cuadrilla que tiene mayor impacto en el rendimiento de la tarea (Cuartas, 2017).

De igual manera, el clima es un factor crucial a tener en cuenta. Según Núñez (2024) la OIT estima que más de 2.400 millones de trabajadores —de una fuerza laboral global de 3.400 millones— podrían estar expuestos a un calor extremo en algún momento durante su jornada laboral, una proporción que ha aumentado del 65,5% al 70,9% desde el año 2000. Las consecuencias directas de esta exposición sobre la salud pueden manifestarse rápidamente en forma de mareos, fatiga, reducción de la función cerebral, insolación, síncope por calor y rabdomiólisis, e incluso se han reportado casos de muertes por golpes de calor. Además, la exposición prolongada a altas temperaturas puede incrementar el riesgo de accidentes laborales. Los trabajadores más vulnerables a estos riesgos son aquellos que laboran al aire libre y en actividades físicamente exigentes, como la construcción.

Es fundamental buscar formas de incrementar los rendimientos y ser más eficientes, pero es igualmente crucial tener en cuenta las condiciones en las que los trabajadores realizan sus labores. No se trata solo de reorganizar o reestructurar mejor las cuadrillas; también es esencial proporcionar un entorno de trabajo que permita a los trabajadores ser más efectivos.

En Costa Rica, un país tropical, las principales problemáticas relacionadas con el clima se deben a las altas temperaturas o las fuertes lluvias. Por lo tanto, sería recomendable programar las actividades más expuestas al ambiente como por ejemplo una colada de concreto en fundaciones durante las horas en que las temperaturas son más bajas o, en caso de lluvia, realizar las actividades bajo techo, siempre que sea posible. Aunque la construcción es un entorno dinámico y estas condiciones no se pueden aplicar en todo momento, es posible identificar las actividades que podrían beneficiarse de estas mejoras.

Otro factor que influye en los rendimientos es la peligrosidad inherente al mundo de la construcción. Los accidentes no son incidentes fortuitos; tienen causas específicas. Aunque con frecuencia se atribuyen a la fatalidad, la falta de atención o errores humanos, en realidad, son consecuencia de las condiciones laborales del entorno. Al analizar estas condiciones, es posible identificar los factores que más contribuyen a la ocurrencia de accidentes y, en consecuencia, abordar su origen. Esto no solo facilita la eliminación de riesgos, sino que también contribuye a una mayor satisfacción del trabajador (González et al., 2003).

1.3 Medición de rendimiento de mano de obra

Es necesario recopilar en el sitio del proyecto los datos de la cuadrilla, los tiempos de duración y las cantidades de materiales para las actividades o subactividades cuyo rendimiento se necesita estimar. De acuerdo a Ortiz, Sandoval (2009) plantean la Ecuación 1 para estimar el rendimiento:

$$R = \frac{t \cdot n}{C_n} \quad [1]$$

Donde:

R= rendimiento en horas-hombre/unidad.

T= tiempo de duración de la actividad.

N= Número de obreros que participaron en dicha actividad y que pertenecen a una misma categoría.

C_n = Cantidad de trabajo realizado.

El rendimiento se puede medir mediante observación directa, registrando los tiempos reales. Esto se puede realizar mediante observaciones discontinuas o aleatorias, como los muestreos de trabajo, o mediante observación continua utilizando técnicas de cronometraje. Otra forma de medición es a través de tiempos predeterminados, que son tiempos asignados a las actividades básicas que conforman una tarea, con el objetivo de establecer la duración que requiere dicha tarea, realizada de acuerdo con una norma establecida (Aguilar C, 2007).

De igual forma, un factor a tomar en cuenta en el cálculo de rendimientos de mano de obra corresponde al tiempo cuando los trabajadores no están realizando directamente la actividad a evaluar, es decir cuando estos se encuentran transportando material, hidratándose, en actividades alternas como merienda, almuerzo, baño etc. Los trabajadores no son máquinas y no se puede pretender que en el 100% del tiempo que trabajan están siendo efectivos, por lo que es importante tomar en cuenta un factor de incremento que considere estos tiempos, Ortiz (2009) establece que dicho factor puede ser estimado con la Ecuación 2. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que este factor no se utiliza, cuando se realizan estimaciones de rendimiento durante toda la jornada que contemplen tiempos improductivos.

$$f_i = \frac{tc}{hd - tc} \quad [2]$$

Donde:

f_i : factor de incremento.

tc : Tiempo consumido en actividades alternas.

hd : Horas diarias de trabajo total.

Por último, la forma de estimar el rendimiento real de la mano de obra se ve expresado en la siguiente Ecuación 3:

$$R = R(1 + f_i) \quad [3]$$

Ahora bien, como los rendimientos de mano de obra se expresan en horas-hombre, es importante comprender el cálculo de su costo. Esto es esencial porque la cantidad de trabajadores y sus funciones varían según las actividades realizadas, lo que influye directamente en el costo de cada cuadrilla. El cálculo del costo de la hora-hombre se realiza a partir de la siguiente Ecuación 4:

$$\text{Horas} - \text{Hombre} = \frac{\#O \cdot (t) + \#A \cdot (t) + \#P \cdot (t)}{\# \text{ de trabajadores}} \quad [4]$$

Donde:

$\#O$: número de operarios.

$\#A$: número de ayudantes.

$\#P$: número de peones.

t : tiempo transcurrido (h)

1.4 Conceptos de estadística

Lo primero que debe hacerse es calcular la media aritmética de los rendimientos previamente obtenidos con la Ecuación 5, esta brinda una idea general de cómo están desempeñándose los trabajadores en promedio.

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{n} \quad [5]$$

El siguiente paso consiste en calcular la desviación estándar, esta indica cuán consistentes son los rendimientos de la mano de obra. Una baja desviación estándar sugiere que los rendimientos son similares entre sí, mientras que una alta desviación estándar indica variabilidad significativa. Se indica en la Ecuación 6 que se presenta a continuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(R_i - R)^2}{n - 1}} \quad [6]$$

De igual forma, se puede estimar el coeficiente de variación, es la relación entre la desviación estándar y la media, expresada como un porcentaje. La Ecuación 7 permite comparar la variabilidad de los rendimientos entre diferentes procesos o contextos, independientemente de las unidades de medida.

$$C.V = \frac{\sigma}{R} \quad [7]$$

Capítulo 2: Metodología

Este capítulo de metodología aborda el enfoque y los procedimientos utilizados para desarrollar una guía de estimación de rendimientos de mano de obra en procesos constructivos. Aquí se describen las técnicas de recolección y análisis de datos aplicadas para identificar los factores críticos que afectan el rendimiento, así como las herramientas utilizadas para diseñar y validar la guía propuesta.

2.1 Tipo de investigación

La investigación cualitativa es un enfoque centrado en la comprensión profunda de fenómenos sociales a través de la observación, entrevistas y análisis de narrativas. A diferencia de la cuantitativa, no se enfoca en datos numéricos, sino en explorar las percepciones, experiencias y contextos de los participantes. En este estudio, el enfoque cualitativo es especialmente relevante para captar las complejidades del rendimiento de la mano de obra en procesos constructivos, identificar factores humanos y operacionales que influyen en estos, y generar un análisis detallado que sirva para mejorar prácticas futuras (Hernández et al., 2014).

En cuanto a la investigación cuantitativa, es un enfoque sistemático que se centra en la recolección y análisis de datos numéricos, para identificar patrones, medir variables y establecer relaciones entre ellas. Este tipo de investigación busca cuantificar fenómenos y generalizar los resultados a partir de muestras representativas. Se caracteriza por su objetividad, utilizando técnicas matemáticas y obtener conclusiones científicas (Hernández et al., 2014). En el contexto de la investigación el enfoque cuantitativo es especialmente relevante ya que se diseña un método para medir con precisión los rendimientos de mano de obra en procesos constructivos y analizar los resultados obtenidos, esto es ideal dado que se requiere una medición exacta y objetiva para desarrollar una guía que pueda ser replicable y aplicable a futuros proyectos dentro de la organización.

Por otra parte, el nivel de la investigación es descriptivo. Cortés & Iglesias (2004) mencionan que los estudios descriptivos se enfocan en detallar las propiedades y características clave de personas, grupos o fenómenos, recopilando datos y realizando mediciones para especificar sus atributos más importantes. En el contexto del respectivo trabajo, la investigación es descriptiva porque busca documentar y caracterizar en detalle los rendimientos de mano de obra en procesos constructivos. Esto permite identificar claramente las áreas de mejora y desarrollar una guía que refleje la situación actual de la organización.

Las investigaciones también se pueden clasificar según el método de recolección de información. La investigación documental se centra en recopilar y seleccionar datos mediante la revisión de documentos, libros, revistas, grabaciones, películas, periódicos, bibliografías, entre otros. Este tipo de investigación suele estar vinculada a la investigación histórica. Entre sus características más destacadas se encuentran la recolección y el análisis de documentos existentes para obtener resultados coherentes y bien fundamentados.

Por otro lado, la investigación de campo se enfoca en obtener datos directamente de la realidad, estudiando los fenómenos tal como se presentan, sin intervenir ni modificar las variables observadas (Martínez, 2023). A causa de que los procesos de recolección utilizados en este trabajo son de las dos investigaciones mencionadas anteriormente, se puede clasificar la investigación como mixta.

Se establece que el tipo de investigación a realizar es del tipo aplicada. Este tipo de investigación, se enfoca en resolver problemas en la producción, consumo de bienes y servicios. Basándose en investigaciones básicas o fundamentales en ciencias fácticas o formales, formula hipótesis para abordar problemas de la vida productiva. Estas investigaciones buscan mejorar y optimizar sistemas y procedimientos, y se evalúan en términos de eficiencia y eficacia, en lugar de calificarlas como verdaderas, falsas o probables (Nieto, 2018).

En este trabajo, la investigación se clasifica como cualitativa, cuantitativa y aplicada. El enfoque cualitativo permite analizar en profundidad la complejidad de los rendimientos de mano de obra en procesos constructivo mientras que el enfoque cuantitativo en medición tiempos y cantidades de trabajo para la estimación de rendimientos. Por otro lado, al ser aplicada, busca ofrecer soluciones prácticas a los problemas de la organización, enfocándose en mejorar y optimizar los sistemas y procedimientos relacionados con dichos rendimientos.

2.2 Variables de la investigación

En esta investigación, se identifica el rendimiento de mano de obra como la variable principal, la cual se define como la cantidad de trabajo realizada por un grupo de trabajadores en una actividad específica durante un periodo determinado (Hernández, 2014). Además, se reconocen varias subvariables importantes para medir este rendimiento a lo largo del estudio, tales como la temperatura ambiente, la hora, y las unidades de medida empleadas, como metros lineales, metros cuadrados o cúbicos, entre otras.

2.3 Sujetos de Información

Para el desarrollo del primer objetivo de este trabajo el cual consiste en un diagnóstico general de la empresa respecto a los rendimientos de mano de obra, se opta por realizar entrevistas a trabajadores de la empresa que están estrechamente relacionados en el tema, más específicamente del Departamento de presupuestos e ingenieros residentes, que se detalla en el Cuadro 1:

CUADRO 1. SUJETOS DE INFORMACIÓN				
Nombres	Departamento	Puesto	Años de experiencia	Método de obtener la información
Emmanuel Fonseca Bonilla	Departamento de presupuestos	Coordinador de presupuestos	3	Entrevista
Juan José Espinoza Montero	Departamento de presupuestos	Gerente de Licitaciones y Presupuestos	11	Entrevista
José David Chavarría	Departamento de ingeniería	Ingeniero residente	3	Entrevista
Roberto Rodríguez Orozco	Departamento de ingeniería	Ingeniero residente	8	Entrevista

2.4 Fuentes de Información

Las fuentes de información se pueden categorizar según la accesibilidad de sus contenidos y la naturaleza de estos. Basado en cómo se accede a la información, las fuentes se clasifican en primarias, secundarias y terciarias. Es importante mencionar que en esta investigación solo se utilizan fuentes primarias y secundarias, excluyendo las terciarias. A continuación, se detallan los documentos primarios y secundarios que se utilizarán para llevar a cabo este estudio (Cabrera, 2010).

2.4.1 Fuentes primarias

Según Rivera, las fuentes de información primaria son importante establecerlas, se refiere a documentos que presentan información en su forma completa y original, sin abreviaciones. Estos incluyen todos los estudios científicos, hechos e ideas analizados desde nuevas perspectivas. En este contexto, representan las fuentes de información que ofrecen los datos más confiables y directos, ya que se trata de información publicada por primera vez, sin haber sido interpretada o filtrada por terceros (1998).

A continuación, se muestran algunas fuentes primarias para este trabajo:

- Documentos de proyectos realizados.
- Programa para estimación de presupuestos.
- Entrevistas realizadas a ingenieros y gerentes de la empresa.

2.4.2 Fuentes secundarias

Se trata de fuentes que presentan información condensada, como resúmenes, compilaciones y listados de referencias publicadas en diversas disciplinas. Estas fuentes son útiles principalmente como apoyo para los investigadores, proporcionándoles acceso a documentos primarios. Por lo que la información puede pasar por varias interpretaciones, existe el riesgo de que se distorsione la realidad de los hechos originales (Rivera, 1998).

Las fuentes secundarias en este trabajo corresponden principalmente a la elaboración de la guía para la estimación de rendimientos, libros, trabajos de graduación o publicaciones académicas relacionadas a rendimientos de mano de obra, los parámetros tomados en cuenta para medir, aspectos importantes que otros autores detectaron al finalizar sus trabajos:

- Aguilar, G & Hernández, T. Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra.
- Botero, L. Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción.
- Cuartas, L. Determinación de las variables que afectan el rendimiento de la mano de obra en la construcción de edificaciones en el municipio de Armenia.
- Aliaga, J. Análisis del rendimiento de mano de obra en el proyecto de sistema de captación de agua potable en el anexo de cruz de mayo del distrito de Andamarca.

2.5 Técnicas e instrumentos de recolección

Este apartado aborda las técnicas e instrumentos empleados para la recolección de datos en la investigación de rendimientos de mano de obra. Se detallan los métodos seleccionados, como entrevistas, herramientas de medición de rendimientos y revisión bibliográfica, que garantizan la obtención de información precisa y relevante para desarrollar y validar la guía propuesta.

2.5.1 Entrevista

De acuerdo con Cortés & Iglesias (2004): Las entrevistas son una herramienta esencial en la investigación, ya que permite recopilar información de diversos aspectos relacionados con el problema en estudio. Actúa como un método directo para obtener un diagnóstico integral sobre la situación actual de la empresa en términos de procesos de mano de obra. Se elige realizar entrevistas porque son una manera efectiva de obtener datos precisos directamente de los informantes clave. La guía de entrevista con las preguntas formuladas se encuentra en **Apéndice 1**.

2.5.2 Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica es una herramienta clave en este trabajo de graduación. A través del acceso a bases de datos en línea, se facilita el análisis y la síntesis de estudios previos, artículos técnicos y manuales especializados sobre rendimientos de mano de obra, complementado con documentos internos de la empresa. Este proceso permite obtener una comprensión detallada de las metodologías existentes y los resultados de investigaciones anteriores, lo que es crucial para el desarrollo y validación de la guía propuesta. Algunos documentos consultados se pueden encontrar la sección de **Apéndice 2, Apéndice 3, Apéndice 4, Apéndice 5, Apéndice 6**.

2.5.3 Herramienta para medición de rendimiento de mano de obra

Como se ha señalado previamente en este trabajo, el rendimiento de mano de obra se refiere a la cantidad de trabajo realizado por una cuadrilla de trabajadores en una actividad específica, generalmente expresado como la cantidad de trabajo por hora hombre. Además, se deben considerar otros factores como la temperatura, el horario y el tiempo dedicado a actividades alternas, que pueden ser objeto de análisis estadísticos adicionales. A continuación, en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Herramienta propuesta para medición de rendimiento de mano de obra.

Proceso						
Fecha (dd/mm/yyyy)			Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
N° de operarios			Desayuno			
N° de Ayudantes			Baño			
N° de peones			Café			
Unidad de medición			Almuerzo			
Hora de inicio (hh:mm)		00:00:00	Otro			
Hora de fin (hh:mm)		00:00:00	Horas diarias de trabajo			
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad ()	Consumo real (h-h/)	Rendimiento real (/h-h)
0			00:00:00	-	-	-
1			00:00:00			
2			00:00:00			
3			00:00:00			
4			00:00:00			
5			00:00:00			
6			00:00:00			
7			00:00:00			
8			00:00:00			
9			00:00:00			
10			00:00:00			
Nombre del proyecto			Tiempo total (h)	Cantidad total de ()	Promedio	
Observaciones					Desviación estándar	
					Coeficiente de variación (%)	

2.6 Presentación y análisis de los resultados

En esta sección se examina el desempeño actual de los procesos críticos de la organización, identificando oportunidades de mejora y estableciendo prioridades para optimizar su efectividad.

2.6.1 Analizar la situación actual de la organización respecto a rendimientos de los procesos constructivos considerados críticos a mejorar, detectando las áreas de oportunidad y estableciendo prioridades de acción.

Para abordar el primer objetivo, se llevó a cabo un proceso sistemático de recolección y análisis de información. Inicialmente, se realizaron entrevistas con profesionales clave de la empresa, incluyendo ingenieros residentes, especialistas en presupuestos y gerentes de proyectos. Estas entrevistas permiten obtener una visión detallada sobre la situación actual de los procesos constructivos e identificar áreas de oportunidad. La información recopilada de estas entrevistas es procesada y analizada para detectar deficiencias y oportunidades de mejora. Posteriormente, se definen las características y necesidades que debe satisfacer la herramienta para la estimación de rendimientos, basándose en los datos obtenidos. Los productos esperados de este análisis incluyen un diagnóstico general de la situación actual, enfocado en los procesos que utilizan rendimientos teóricos o desactualizados, y un listado de los procesos constructivos. Estos productos contribuyen a identificar áreas críticas de acción y a establecer prioridades para mejorar la eficiencia de los procesos constructivos dentro de la organización.

2.6.2 Elaborar una guía para la estimación de rendimientos en la mano de obra de procesos constructivos para la aplicación en futuros proyectos.

Para lograr el segundo objetivo, se llevó a cabo un proceso estructurado de investigación y desarrollo. Primero, se investigó en la literatura los métodos existentes para la medición de rendimientos, con el fin de identificar enfoques y prácticas actuales que puedan ser relevantes para la organización. A continuación, se establecerán métricas claras y específicas para evaluar el rendimiento de los procesos constructivos seleccionados, asegurando que sean adecuadas para los contextos y características particulares de la empresa. Finalmente, se desarrolló una herramienta diseñada para la estimación y cálculo de los rendimientos de mano de obra, adaptada a los procesos constructivos de la organización. El producto esperado de este proceso es una herramienta que permita estimar de manera precisa los rendimientos de mano de obra, contribuyendo a mejorar la planificación y gestión en futuros proyectos constructivos. Esta

herramienta servirá como una guía práctica para optimizar la eficiencia y la precisión en la estimación de rendimientos, alineándose con las necesidades específicas de los procesos constructivos de la empresa.

2.6.3 Aplicar la guía para la medición de rendimientos diseñada en los procesos considerados críticos para verificación de su aplicabilidad

Por último, para cumplir el tercer objetivo, se llevó a cabo un enfoque práctico y detallado. Primero, se realizaron visitas a los proyectos en los que se aplicó la herramienta de medición desarrollada previamente, enfocándose en las actividades identificadas durante el diagnóstico inicial. Durante estas visitas, se midió el rendimiento de dichas actividades utilizando la herramienta diseñada. Posteriormente, se analizó la información obtenida de estas mediciones para evaluar la eficacia y aplicabilidad de la herramienta en los procesos constructivos críticos de la organización. El producto esperado de este proceso es una medición detallada de los rendimientos, realizada con la herramienta desarrollada, que permitirá verificar su adecuación y efectividad en los contextos específicos de los procesos constructivos. Este análisis proporciona una base para ajustar y perfeccionar la herramienta, asegurando que cumpla con los requisitos y expectativas de la empresa.

Capítulo 3: Resultados y análisis

Este capítulo consiste en la presentación y análisis de los resultados obtenidos en la presente investigación dando como resultado los entregables del proyecto.

3.1 Diagnóstico de la situación actual de la empresa

En esta sección se presenta el estado actual de la empresa en relación con los rendimientos de mano de obra. A partir de la información recopilada durante las entrevistas, se obtienen los principales resultados que reflejan el desempeño y las prácticas actuales de la organización en este ámbito. Esta recopilación proporciona una base para comprender mejor el contexto operativo y evaluar las metodologías empleadas.

Con respecto a la medición de rendimientos Padilla (2014) sostiene que la mano de obra es uno de los factores clave en el progreso de una obra, ya que son los trabajadores quienes impulsan y marcan el ritmo de avance del proyecto. Esta información es confirmada por el ingeniero residente Jose David Chavarría, sin embargo, este menciona que no suele trabajar con rendimientos precisos ya sean m^2/hh o ml/hh , cuando estos realizan los cronogramas de los proyectos, los plazos para definir las actividades se definen en días y sus duraciones se estiman mediante la experiencia que tienen los ingenieros, pero mencionan que no se poseen datos tabulados históricos o algún otros como guías de referencia, de igual forma se expresa que dada a la repetitividad de algunos proyectos (como la construcción de los Supermercados Palí) se vuelve más fácil definir los plazos de las actividades.

De igual forma, el ingeniero Rodríguez también residente confirma que, si bien su experiencia les ayuda a estimar duraciones acertadas en las diversas actividades que se realicen en los proyectos, siempre existen actividades que en un proyecto tardan un tiempo promedio y en otros proyectos se podría hasta duplicar el tiempo requerido para completar el mismo tipo de actividades, el ingeniero expresa que esto provoca que los proyectos terminen costando más de lo presupuestado y los plazos de entrega se tengan que modificar o en el peor de los casos pagar multas. Por último, expresan que no se consideran factores como la ubicación o clima para definir si una actividad se realiza más lento. Lo anterior evidencia la necesidad que tiene la empresa de disponer de una herramienta que le permita estimar el rendimiento de mano de obra de forma precisa. Como bien lo menciona Vargas (2015), es fundamental disponer de herramientas que permitan calcular con precisión los rendimientos de mano de obra, ya que estas cifras son clave para estimar los costos

del proyecto. Contar con estas herramientas asegura una mejor planificación y control de los recursos, optimizando así el uso del tiempo y el capital disponible en cada etapa del proceso constructivo.

Mediante las entrevistas a los ingenieros de presupuestos se observa que ellos tampoco poseen un listado de rendimientos para las actividades. Si bien las hojas de Excel con las que se calculan los presupuestos sí contemplan rendimientos para definir la cantidad de horas hombre que requiere una tarea, es visto meramente desde un enfoque económico dado que la forma de revisar los presupuestos lo realizan observando el costo unitario por actividad, aunque se externa que tampoco existe un documento que recopile precios unitarios por actividad. Por lo que los ingenieros presupuestistas dada su experiencia al momento de revisar los presupuestos saben más o menos en cuanto deben rondar estos precios y de esta forma identifican si lo presupuestado está fuera del rango esperado, esta experiencia la han adquirido ya que han trabajado tanto en presupuestos como ejecutando proyectos. Si bien se menciona que esta técnica les ha funcionado, conforme ha crecido la empresa e ingresan nuevos integrantes al Departamento de presupuestos resulta poco práctico para los nuevos ingenieros presupuestistas ya que necesitan la constante revisión de las estimaciones por parte de los superiores.

Los ingenieros de presupuestos señalan que la estimación de las horas-hombre necesarias para las actividades en general no toma en cuenta factores clave como la ubicación y el clima del proyecto. Esto representa una omisión importante, ya que, como indica Vargas (2015), la duración de un proyecto y el rendimiento del equipo están directamente influenciados por la ubicación geográfica y las condiciones climáticas. Estos elementos no solo afectan los recursos humanos, sino también la eficiencia con la que se ejecutan las tareas. De manera similar, Padilla (2014) destaca que el clima debe ser un factor esencial en la planificación, al incluir aspectos como la temperatura, el estado del suelo y si las labores se realizan bajo cubierta. Ambos autores coinciden en que ignorar estas variables puede distorsionar la estimación de tiempos y rendimientos, lo que resalta la importancia de integrarlas en el proceso de planificación.

Aunque los presupuestistas reconocen la falta de una tabulación específica para los rendimientos de mano de obra, y mencionan que lo ideal sería medir todos los procesos que lleva a cabo la empresa, también señalan que esto escapa al alcance del proyecto actual. Sin embargo, expresan interés en que se realicen estimaciones de actividades que más se realizan en los diversos proyectos, relacionadas con paredes livianas, concreto y mampostería. Este enfoque selectivo permitiría obtener datos más específicos en áreas clave, lo que a su vez facilitaría la optimización de los recursos y tiempos para esos procesos críticos dentro de la empresa. Además, al centrarse en estas actividades, se podría generar una base de datos que, en el futuro, podría ampliarse para abarcar otros aspectos constructivos.

3.2 Herramienta para la medición de rendimientos de mano de obra

Esta sección busca generar una herramienta que permita medir los rendimientos en los procesos constructivos de la empresa Dicoma. Sin embargo, antes de enfocarse en cómo utilizar la herramienta propuesta, es esencial comprender primero los fundamentos de la medición de los rendimientos de mano de obra.

3.2.1 Definir el proceso constructivo

El primer paso según Huang et al. (2009): para estimar el rendimiento de mano de obra, es identificar claramente el proceso constructivo que se desea evaluar, ya sea la “construcción de un muro de mampostería”, la “demolición de una pared liviana”, entre otros. A continuación, es fundamental desglosar este proceso en actividades específicas, lo que permitirá una comprensión más detallada y facilitará la estimación precisa del rendimiento.

Por ejemplo, en el caso de la “construcción de un muro de mampostería”, el proceso se puede descomponer en las siguientes actividades clave:

- Preparación del área y cimientos
- Preparación de mortero y transporte de bloques
- Colocación de primera hilada
- Levantado del muro
- Acabado y limpieza

3.2.2 Establecer la cuadrilla de trabajo

Es fundamental definir la composición de la cuadrilla de trabajo, especificando claramente el número y los roles de los integrantes, tales como operarios, ayudantes y peones. La cantidad de personal y su especialización tienen un impacto directo en los rendimientos de cada actividad.

El tamaño de la cuadrilla debe ser adecuado a la complejidad y naturaleza del trabajo, ya que una composición desequilibrada —ya sea por exceso o insuficiencia de personal— puede afectar negativamente. Además, la experiencia y habilidades de cada miembro de la cuadrilla también influyen en la eficiencia general del equipo. Por lo tanto, una correcta distribución de las responsabilidades y un buen manejo de los recursos humanos son determinantes para optimizar los rendimientos en los procesos constructivos (Martínez et al, 1990).

3.2.3 Recolección de datos del proceso

Observación y medición directa: Realizar mediciones en el lugar de la obra es la forma más precisa de obtener rendimientos reales. Este método consiste en registrar el tiempo que se tarda en completar una cantidad determinada de trabajo. Sin embargo, es fundamental ejercer discreción al medir rendimientos, ya que la presencia del evaluador puede generar presión en los trabajadores. Cuartas (2017) menciona que *“La alta calidad de los trabajos y en gran medida los tiempos de ejecución en buena parte, dependen del tipo de supervisión que se ejerza y el nivel de capacitación que posea quien realiza esta labor”* (p.60). Es importante que el evaluador tome en consideración su presencia en la obra, ya que podría conducir a los trabajadores a desempeñarse de manera más efectiva de lo habitual. Este fenómeno puede distorsionar la percepción del rendimiento real de la mano de obra.

Consultar datos históricos sobre proyectos anteriores puede ser un recurso valioso, aunque no siempre es posible, ya que muchas empresas no disponen de información exhaustiva de sus actividades pasadas. Para maximizar la utilidad de esta información, es importante observar la cantidad de trabajo asociada a la actividad, la composición de la cuadrilla que llevó a cabo el trabajo y las fechas de inicio y finalización del proyecto.

Ejemplo: En el caso de la colocación de cerámica, se podría registrar que se completaron 90 m² con la participación de 1 operario y 2 ayudantes en un plazo de 2 días.

Aunque existen otros métodos, como utilizar rendimientos teóricos obtenidos de revistas u otros documentos similares, su utilidad es limitada. Esto se debe a que suelen estar basados en cuadrillas estándar (1 operario y 1 ayudante). Para aplicar correctamente estas tablas, es necesario ajustar las estimaciones de mano de obra para reflejar las condiciones reales de los proyectos. Sin embargo, esta implementación puede incrementar los costos (Cuartas, 2017).

3.2.4 Determinar las condiciones de trabajo

Los factores ambientales, como las condiciones climáticas, la temperatura y la luminosidad (si está soleado o nublado), pueden influir significativamente en el rendimiento de los trabajadores. Estas variables impactan no solo en la comodidad de los operarios, sino también en su capacidad para mantener un ritmo de trabajo eficiente (Aliaga, 2019).

Además, los factores técnicos juegan un papel crucial en el rendimiento. La dificultad del proceso constructivo, la complejidad del diseño y la precisión requerida son elementos que pueden afectar el tiempo y los recursos necesarios para completar una tarea. Un diseño más complejo o un proceso que exige alta precisión puede resultar en un rendimiento inferior al esperado.

Por último, es esencial considerar la estructura de la jornada laboral, incluyendo si es diurna, nocturna o mixta. Las pausas para descanso, las comidas y las idas al baño también deben tenerse en cuenta, ya que estos momentos de interrupción pueden influir en el tiempo efectivo de trabajo disponible (Botero, 2002).

3.2.5 Calcular el rendimiento o consumo de mano de obra

Es fundamental considerar ambos conceptos, ya que el consumo de mano de obra se refiere a la cantidad de horas-hombre necesarias para completar una determinada cantidad de trabajo (por ejemplo, horas-hombre por metro cuadrado, h-h/m²). Esta métrica es útil para estimar el tiempo total que un equipo de trabajadores necesita para llevar a cabo una actividad, lo que resulta esencial para la estimación de costos de mano de obra y la planificación de recursos (Botero, 2002).

Al entender el consumo de mano de obra, los gerentes de proyectos pueden tomar decisiones más informadas sobre la asignación de personal y la programación de actividades, asegurando que se cumplan los plazos y se optimicen los recursos disponibles.

La Ecuación 8 especifica la forma de calcular el consumo de mano de obra real, si bien se podría descomponer más la ecuación esta ya incluye el factor de incremento.

$$\text{Consumo de mano de obra real } [hh/um] = \frac{\#O \cdot (t) + \#A \cdot (t) + \#P \cdot (t)}{um} \cdot (1 + fi) \quad [8]$$

Donde:

um: unidad de medida (m², m³, ml, und).

#O: número de operarios.

#A: número de ayudantes.

#P: número de peones.

t: tiempo transcurrido (h)

fi: factor de incremento (Ecuación 2).

El rendimiento de mano de obra se utiliza para definir la cantidad de trabajo que se puede realizar en una unidad de tiempo específica. Se expresa como unidades de trabajo por hora-hombre (por ejemplo, metros cúbicos por hora-hombre, m³/h-h). Esta medida es particularmente útil para la programación de actividades y la estimación de tiempos en los proyectos de construcción.

El rendimiento de la mano de obra, al ser la inversa de las unidades de consumo de mano de obra, se determina de manera sencilla aplicando esta inversa, como se muestra en la Ecuación 8. Dado que la

ecuación previa ya considera el factor de incremento, el rendimiento real de la mano de obra se calcula según lo indicado en la Ecuación 9.

$$\text{Rendimiento de mano de obra real [um/hh]} = \left(\frac{1}{\text{consumo mano de obra real}} \right) \quad [9]$$

3.2.6 Validar con análisis adicionales y pruebas piloto

Aunque es posible obtener resultados de rendimiento con pocas mediciones, se recomienda realizar múltiples mediciones de las actividades para identificar tendencias en los resultados. Además, es útil variar la composición de la cuadrilla y observar cómo esto afecta los resultados, lo que permite obtener estimaciones más precisas. Planificar dichas variantes en cuadrillas puede no ser realista, aunque cabe resaltar que durante las mediciones de rendimientos, sí se presentaron diferentes composiciones de cuadrillas en un mismo proceso.

A medida que se acumula más información, resulta beneficioso comparar dos mediciones de la misma actividad en proyectos diferentes. Esta comparación ayuda a comprender las variaciones entre los resultados y a identificar posibles similitudes, lo que enriquece la evaluación del rendimiento de la mano de obra y mejora la toma de decisiones en futuros proyectos.

3.2.7 Presentar la estimación final

Es recomendable, además de mostrar el resultado final, describir en detalle el proceso constructivo, las condiciones laborales y cualquier otro factor relevante que haya podido influir en los resultados. Esta información contextual es clave para interpretar correctamente los rendimientos y realizar comparaciones precisas.

Por ejemplo, si se está presentando el rendimiento de la colocación de ladrillos, es esencial especificar que el trabajo se llevó a cabo bajo condiciones climáticas favorables, con una cuadrilla conformada por tres operarios y un ayudante, logrando colocar 20 m² en 8 horas de trabajo efectivo. Estos detalles permiten comprender mejor el contexto en el que se obtuvo dicho rendimiento.

3.2.8 ¿Qué se debe medir en sitio?

Debido a la naturaleza de las actividades constructivas, algunas tareas pueden estimarse con precisión mediante mediciones frecuentes y directas, como el conteo de unidades en la "colocación de adoquines". Según Cuartas (2017), es útil establecer tiempos definidos para las actividades con el objetivo de calcular su rendimiento. Este enfoque es relativamente sencillo para tareas como colocación de cerámica, donde se puede contabilizar las unidades de cerámicas colocadas en un período determinad.

Sin embargo, en otras ocasiones cuando se están midiendo unidades de metros cuadrados o metros cúbicos, resulta más complejo calcular con exactitud la cantidad de trabajo ejecutado en cada medición, especialmente cuando los procesos no pueden descomponerse en unidades básicas. En estos casos, una estrategia más eficiente consiste en definir una cantidad fija o conocida de referencia por ejemplo 5 m² o 1 m³ y registrar el tiempo necesario para completarla. Esto evita interrupciones frecuentes que no solo dificultan mediciones continuas y precisas, si no también pueden afectar el flujo de trabajo y rendimiento de los trabajadores.

Un ejemplo de este enfoque es la estimación del rendimiento en trabajos como la pintura de paredes de mampostería. Si se establecen intervalos de medición cada 30 min, resulta poco realista que en cada medición se tengan cantidades en números como 5 m², 10 m², lo realista sería encontrar números como 4,75 m² o 9,1 m² medir con exactitud áreas parciales puede ser poco eficiente. En cambio, es más conveniente definir unidades estándar de 5 m², 10 m² o determinar la cantidad de la pared conociendo la altura y los metros lineales que tiene y registrar el tiempo que le toman a los trabajadores completar dichas cantidades, lo que facilita el análisis del rendimiento sin interrumpir la actividad.

3.2.9 ¿Cuándo se debe medir?

Para obtener resultados representativos en la medición del rendimiento de la mano de obra, es crucial realizar observaciones a lo largo de períodos prolongados, idealmente durante un día completo de trabajo, especialmente en actividades que se extienden por varios días. Esto se debe a que realizar mediciones en intervalos cortos puede generar resultados inconsistentes debido a la variabilidad inherente de los procesos constructivos.

Los rendimientos pueden fluctuar significativamente a lo largo del día debido a diversos factores, como la fatiga de los operarios, las condiciones climáticas, las interrupciones o la disponibilidad de materiales. Por ejemplo, en un momento del día el rendimiento puede ser alto, mientras que en otro puede disminuir considerablemente. Si solo se toman mediciones en intervalos breves, es probable que no se capture la verdadera variabilidad del proceso, lo que podría llevar a conclusiones erróneas sobre el rendimiento global de la actividad (Gundechea, 2012).

Dado que la construcción es un entorno dinámico y las condiciones cambian constantemente, no siempre es posible obtener mediciones precisas en todo momento. Por ello, se recomienda aplicar una estrategia de generalización basada en mediciones más largas, que promedien estas fluctuaciones y brinden un panorama más realista del desempeño en términos de productividad. Este enfoque reduce el impacto de las variaciones momentáneas y ofrece una visión más equilibrada del rendimiento, lo que facilita una planificación más precisa y confiable.

Teniendo en cuenta lo mencionado en los puntos anteriores, se ha decidido desarrollar una herramienta en Excel que sea fácil de usar para cualquier encargado de la empresa que necesite estimar rendimientos de mano de obra. La herramienta propuesta es la que se muestra en el Tabla 2.

Tabla 2. Herramienta 1 para estimación de rendimiento de mano de obra.

Proceso						
Fecha (dd/mm/yyyy)		Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)				fi
N° de operarios		Desayuno				
N° de Ayudantes		Baño				
N° de peones		Café				
Unidad de medición		Almuerzo				
Hora de inicio (hh:mm)	00:00:00	Otro				
Hora de fin (hh:mm)	00:00:00	Horas diarias de trabajo				
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad ()	Consumo real (h-h/)	Rendimiento real (/h-h)
0			00:00:00	-	-	-
1			00:00:00			
2			00:00:00			
3			00:00:00			
4			00:00:00			
5			00:00:00			
6			00:00:00			
7			00:00:00			
8			00:00:00			
9			00:00:00			
10			00:00:00			
Nombre del proyecto			Tiempo total (h)	Cantidad total de ()	Promedio	
Observaciones					Desviación estándar	
					Coeficiente de variación (%)	

3.2.10 Guía para utilizar la herramienta de medición

En esta sección se presenta una guía detallada para utilizar la herramienta de medición de rendimientos diseñada en Microsoft Excel. A continuación, se describen los pasos necesarios para su correcta implementación, asegurando que los usuarios puedan aplicar esta herramienta de manera práctica y eficiente en los procesos constructivos. Cabe resaltar que la herramienta está pensada para que los usuarios que la utilicen tengan un perfil de ingenieros.

Inicialmente lo primero que se debe realizar, es abrir el archivo de herramienta realizada en Microsoft Excel, como se muestra en la Figura 1 lo primero en desplegarse corresponde al menú en donde se le pregunta al usuario si es la primera vez que utiliza la herramienta para estimar rendimientos. Cabe resaltar que la herramienta está diseñada con botones por lo que para continuar se debe seleccionar alguna de las dos opciones.

Figura 1. Menú de inicio.



Siguiendo con lo anterior, dado que la primera vez los usuarios deben seleccionar "sí", por lo que posteriormente en la Figura 2 se muestra una guía para medir rendimientos de forma resumida lo que se describe en la sección 3.2.

Figura 2. Guía para medir rendimientos.



De acuerdo a la figura anterior, es importante destacar que se debe tener precaución con la cercanía que se encuentra de los trabajadores, para la medición de rendimientos. Un ejemplo real de una mala ubicación para evaluar trabajadores es la que se muestra en la Figura 3, note que un trabajador inclusive ve directamente a la cámara.

Figura 3. Precaución al medir rendimientos.



Continuando con la herramienta en Excel, posteriormente se describen más pasos en la Figura 4 a tomar en cuenta para la correcta recolección de información.

Figura 4. Guía para medir rendimientos.

GUÍA PARA MEDIR RENDIMIENTOS

REGRESAR **SIGUIENTE**

PASO 3. ESTABLEZCA UNIDADES CONOCIDAS DE LO QUE VA A MEDIR, ES DECIR, SI VA A MEDIR M² DE COLOCACIÓN DE CERÁMICA, DETERMINE EL ÁREA DE UNA CERÁMICA Y LUEGO REGISTRE EL TIEMPO QUE LE TOMAN A LOS TRABAJADORES PONER 1 UND, 5 O 10 UND ETC.

PASO 4. TENGA EN CUENTA QUE REALIZAR LECTURAS MUY SEGUIDAS REQUIERE DE UNA CONCENTRACIÓN ALTA Y MAYOR TIEMPO INVERTIDO.

Al finalizar la explicación sobre cómo medir rendimientos, la herramienta redirige al usuario a un nuevo menú como se aprecia en la Figura 5. En este menú, se puede elegir entre consultar registros históricos (realizados con la misma herramienta) o medir nuevos rendimientos. En el contexto de este trabajo final de

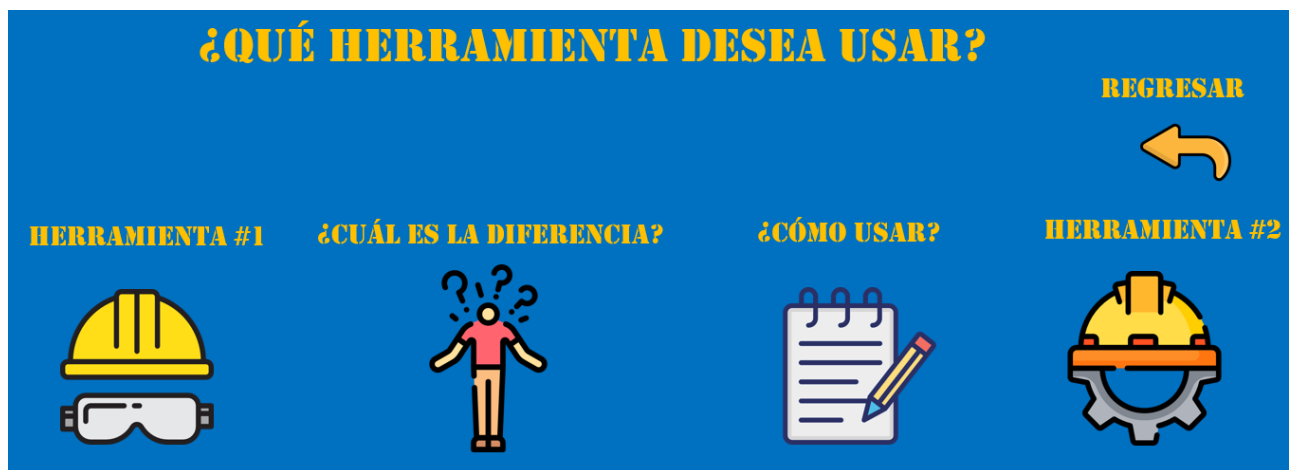
graduación, la herramienta cuenta con registros recopilados previamente. Sin embargo, para la mayoría de los nuevos usuarios, la opción recomendada sería seleccionar “medir rendimientos” inicialmente.

Figura 5. Registros históricos- Medir rendimientos.



Una vez se selecciona la opción “medir rendimientos”, se despliega una nueva ventana con un nuevo menú de herramientas de medición de rendimientos, en ambos extremos se presentan las herramientas #1 y #2 como se observa en la Figura 6, los nuevos usuarios deberán seleccionar primero la opción “¿Cuál es la diferencia?” en donde como su nombre lo indica, se explican los usos que tiene cada una.

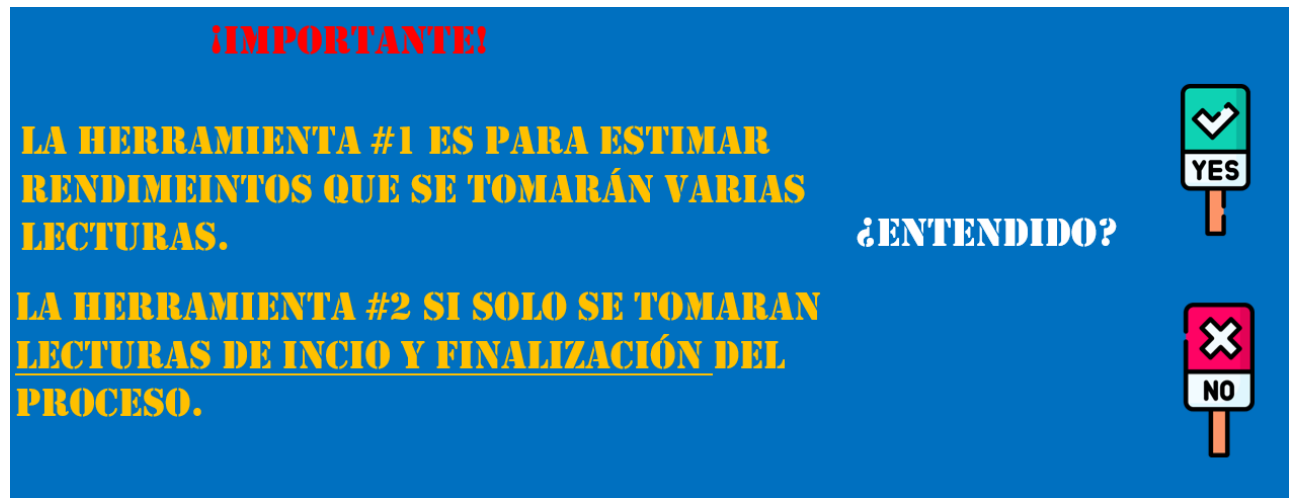
Figura 6. Menú de herramientas de medición.



Posteriormente al seleccionar el botón “¿Cuál es la diferencia?”, en la Figura 7 se muestra una breve explicación de las diferencias entre la herramienta #1 y la herramienta #2, tome en cuenta que se le pregunta

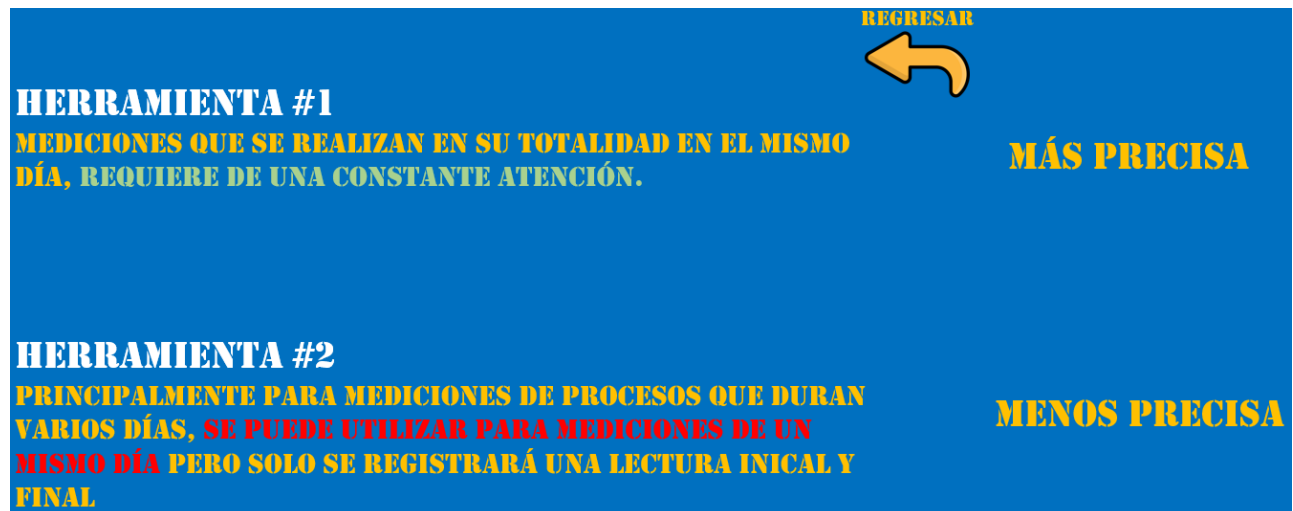
al usuario si le ha quedado clara la explicación, ya que si selecciona “no” el Excel lo llevará a otra ventana con aún más explicación.

Figura 7. Diferencia entre las herramientas #1 y #2.



De acuerdo a la figura anterior, si el usuario necesita más explicación sobre las diferencias entre las herramientas, se muestra una ventana como aprecia en la Figura 8 con una explicación más a fondo, esto para que los usuarios logren comprender verdaderamente las funciones de las herramientas para medir rendimientos.

Figura 8. Diferencia entre las herramientas #1 y #2 (mayor explicación).



Retrocediéndose al menú mostrado en la Figura 6, una vez el nuevo usuario comprende las diferencias de las herramientas #1 y #2, este debe seleccionar la opción “¿Cómo usar?”. Posteriormente, se muestra una nueva ventana donde se solicita al usuario observar cuál de las 2 posibles guías le interesa consultar como se muestra en la Figura 9, aunque cabe mencionar que es importante examinar ambas guías.

Figura 9. Cómo usar las herramientas #1 y #2.

¿CÓMO USAR LA HERRAMIENTA?

¡ATENCIÓN!
ANTES DE UTILIZAR LAS HERRAMIENTAS ES IMPORTANTE SABER CÓMO LLENAR LA INFORMACIÓN QUE SE SOLICITA

GUÍA HERRAMIENTA #1

GUÍA HERRAMIENTA #2

Según lo mencionado anteriormente, al seleccionar la opción "Guía herramienta #1", se abre una nueva ventana, como se ilustra en la Figura 10. Aunque inicialmente se presenta una gran cantidad de información, más adelante en el documento se detalla cada sección de manera más exhaustiva.

Figura 10. Guía para utilizar la herramienta #1.

CELDA DE COLOR

INFORMACIÓN
DATOS A INGRESAR
CÁLCULOS AUTOMÁTICOS

LAS CELDAS GRISES SON LAS ÚNICAS CELDAS DONDE SE INGRESAN DATOS

LAS CELDAS EN VERDE SON DE INFORMACIÓN E INSTRUCCIONES. NOTE QUE POSEEN ENTRE PARENTESIS EL FORMATO QUE SE DEBEN INGRESAR LOS DATOS

REGISTRE LA TEMPERATURA AMBIENTE CADA HORA DESDE EL INICIO DE LAS LECTURAS

Fecha	Temp Ambiente (C°)
25/10/2024	-
00:00	-
01:00	-
02:00	-
03:00	-
04:00	-
05:00	-
06:00	-
07:00	23
08:00	23
09:00	24
10:00	24
11:00	24
12:00	24
13:00	26
14:00	24
15:00	24
16:00	24
17:00	24
18:00	22
19:00	-
20:00	-
21:00	-
22:00	-
23:00	-

LA HERRAMIENTA ESTÁ DISEÑADA PARA MEDIR RENDIMIENTOS CON UNIDADES DE MEDICIÓN M³, M² Y UNO

EN ESTA SECCIÓN SE COLOCA LA HORA A LA QUE SE REGISTRAN LECTURAS

EJEMPLO

Estimación de rendimiento de mano de obra en colocación de cerámica, Casa Macario.

Proceso		Colocación de cerámica		
Fecha (dd/mm/yyyy)	25/10/2024	Unidad de medición	m ²	0,212
N° de operarios	1	Desayuno	0,25	
N° de Ayudantes	2	Baño	0,5	
N° de peones		Café		
		Almuerzo	1	
		Otro		
Unidad de medición	m ²	Horas diarias de trabajo	10	
Hora de inicio (hh:mm)	08:00:00			
Hora de fin (hh:mm)	16:00:00			
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Temp Ambiente (C°)	Consumo real (l/h-hm)	Rendimiento real (m ³ /h-h)
0	23	08:00:00	00:00:00	-
1	24	08:05:00	01:05:00	0,788
2	24	08:10:00	01:05:00	0,788
3	24	08:15:00	01:05:00	0,867
4	26	08:20:00	01:05:00	1,394
5	26	08:25:00	01:05:00	0,667
6	24	08:30:00	01:05:00	0,824
7	24	08:35:00	01:05:00	0,631
8	24	08:40:00	01:05:00	1,447
9	24	08:45:00	01:05:00	
10	24	08:50:00	01:05:00	
Nombre del proyecto		Casa Macario	Tempo total (h)	8,00
			Cantidad total de (m ³)	35,00
Observaciones		Día caluroso con sol intenso, trabajadores jóvenes con poca experiencia		
		Promedio	0,631	1,274
		Desviación est.	0,2564	0,2726
		Coefficiente de variación(%)	30,84	21,40

Inicialmente, es importante comprender el significado de cada color en las celdas y saber qué celdas deben completarse y cuáles no. Esto se detalla en el Cuadro 2 a continuación.

Cuadro 2 Convención de colores y tipos de celdas.

SIGNIFICADO DE CELDAS	
	: Información
	: Datos a ingresar
	: Cálculos automáticos

GUÍA PARA LA MEDICIÓN DE RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA EN LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE NAVES INDUSTRIALES PARA LA COMPAÑÍA DISEÑO CONSTRUCCIÓN Y MAQUINARIA S. A

38

Se debe ingresar el nombre del proceso constructivo en donde se vaya a realizar la medición de rendimiento, ingresar la fecha y por último definir la composición de la cuadrilla, a como se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Herramienta para la estimación de rendimiento paso 1

Proceso	
Fecha (dd/mm/yyyy)	
N° de operarios	
N° de Ayudantes	
N° de peones	

Como siguiente paso, se debe definir las unidades a utilizar para medir el rendimiento en, la herramienta aparece una lista desplegable como se observa en la Figura 11. Si bien, existen diversas formas y unidades para medir rendimientos, se ha definido una lista de las cuatro unidades más representativas y utilizadas el ámbito de la construcción.

Figura 11. Lista desplegable de unidades para medición paso 2

Unidad de medición	
Hora de inicio (hh:mm)	m ²
Hora de fin (hh:mm)	m ³
	ml
	Te und

Es necesario ingresar los tiempos dedicados a actividades alternas, expresados en horas, junto con el número de horas diarias de trabajo. Esto permite calcular el factor de incremento, como se muestra en la Tabla 4. Esta información puede ser consultada a otros ingenieros, maestros de obra o igualmente medidos.

Tabla 4. Herramienta para la estimación de rendimiento paso 3

Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi
Desayuno		
Baño		
Café		
Almuerzo		
Otro		
Horas diarias de trabajo		

Seguidamente, se debe registrar la temperatura ambiente de cada hora como se observa en la Tabla 5. Cabe resaltar que la herramienta posee más de una tabla para medir rendimientos de forma simultánea por lo que si se miden más de un proceso en un mismo día, de esta forma no es necesario volver a escribir con cada lectura la temperatura que corresponde, la herramienta se encarga de realizar el cálculo correspondiente automáticamente. Por último, es importante destacar que se debe registrar la temperatura ambiente cada hora.

Tabla 5. Herramienta para la estimación de rendimiento paso 4.

Fecha	
Hora (hh:mm)	Temp Ambiente (C°)
00:00	
01:00	
02:00	
03:00	
04:00	
05:00	
06:00	
07:00	
08:00	
09:00	
10:00	
11:00	
12:00	
13:00	
14:00	
15:00	
16:00	
17:00	
18:00	
19:00	
20:00	
21:00	
22:00	
23:00	

La recolección de datos en cada medición se realiza fila por fila. En la fila de “lectura 0” se registra la hora, mientras que en las mediciones posteriores se añaden también la cantidad de trabajo realizado, por ejemplo: 5 m², 1m³, 5ml o 1 und. El tiempo transcurrido se determina indirectamente al registrar las horas de cada medición, lo que hace más eficiente el proceso, ya que no se requiere un cronómetro específico. Esto se ilustra en la Tabla 6, optimizando la medición sin necesidad de interrupciones adicionales. Note que, además, la temperatura se coloca automáticamente acorde a la información suministrada en la Tabla 5. Es importante aclarar que la hora que se coloca en la lectura 0 corresponde a la hora de inicio del proceso, seguidamente las lecturas posteriores corresponden a tomas en el medio o durante la ejecución, pero se deben interpretar como lectura de hora de finalización.

Tabla 6. Herramienta para la estimación de rendimiento paso 5.

Nº de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad ()
0			00:00:00	-
1			00:00:00	
2			00:00:00	
3			00:00:00	
4			00:00:00	
5			00:00:00	
6			00:00:00	
7			00:00:00	
8			00:00:00	
9			00:00:00	
10			00:00:00	

Una vez finalizadas las mediciones indicadas en la figura anterior, se realiza el cálculo automático de los resultados de consumo y rendimiento real de mano de obra, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Herramienta para la estimación de rendimiento paso 6.

Consumo real (h-h/m²)	Rendimiento real (m²/h-h)
-	-

Más adelante en la tabla, se encuentra una sección dedicada a observaciones, donde se pueden anotar aspectos relevantes detectados durante la medición, como detalles específicos de la zona, si estaba soleado, nublado, si los trabajadores son experimentados, jóvenes, si están siendo supervisados, si hubo atrasos, equipo y herramientas, entre otros. Además, en esta sección se calculan los promedios de consumo y rendimiento real de mano de obra, junto con la desviación estándar y el coeficiente de variación, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Herramienta para la estimación de rendimiento paso 7

Nombre del proyecto		Tiempo total (h)	Cantidad total de ()	Promedio	
Observaciones				Desviación estándar	
				Coeficiente de variación (%)	

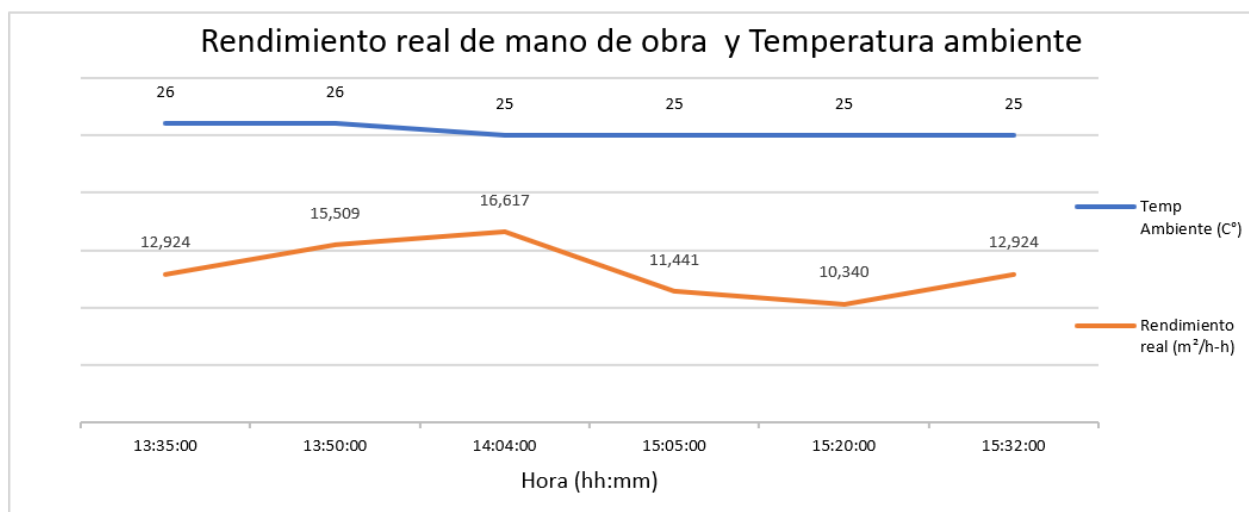
Una vez ingresada toda la información, la herramienta presenta una serie de botones en el costado derecho, como se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Botones de herramienta 1.



Seguidamente, el primer botón, titulado "GRAFICAR", permite generar un gráfico que muestra el rendimiento real de mano de obra junto con la temperatura ambiente y la hora en que se registraron las lecturas. a continuación, en la Figura 13 se muestra un ejemplo con información recopilada de una medición de colocación de fibra en paredes livianas.

Figura 13. Rendimiento real de mano de obra y temperatura ambiente de colocación de fibra en paredes livianas.



El segundo botón, en la Figura 12 llamado “ENVIAR A TABLA DE RENDIMIENTOS”, transfiere la información de la tabla a otra hoja, donde se almacena en una sola fila. Esto permite organizar y resumir los resultados de la estimación de rendimiento de mano de obra, facilitando la creación progresiva de un registro de rendimientos que puede ser utilizado para futuros análisis y aplicado con criterio en los presupuestos de la empresa. En la Tabla 9 se muestra un ejemplo de cómo se muestran los registros históricos en la herramienta de Microsoft Excel, sin embargo, la información sí corresponde a la recopilación de rendimientos medidos en las visitas a proyectos. De igual forma en la Figura 12 se encuentra otro botón denominado “IR A TABLA DE RENDIMIENTOS” que redirige a la hoja mencionada anteriormente.

El tercer botón, “GUARDAR PDF” mostrado en la Figura 12 permite generar un documento que recopila de manera organizada la información de la estimación de rendimientos de mano de obra. Al hacer clic en este botón, se creará un archivo PDF que incluirá tanto la tabla de estimación como un gráfico que muestra la relación entre el rendimiento y la temperatura ambiente. Este recurso facilitará el análisis de los datos y la comunicación de los resultados, permitiendo a los usuarios guardar y compartir la información de manera efectiva para futuras consultas.

Los botones “LIMPIAR TABLA” y “LIMPIAR TEMPERATURA” mostrados en la Figura 12, están diseñados para borrar los datos ingresados en la herramienta, permitiendo así la medición de nuevos rendimientos de manera eficiente. Se han separado en dos botones distintos para ofrecer mayor flexibilidad; por ejemplo, si se desea medir otro proceso en un mismo día, no será necesario reingresar los datos de temperatura, lo que optimiza el tiempo y mejora la experiencia del usuario.

Tabla 9. Rendimientos medidos en campo.

Proceso	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Nombre del proyecto	Operario	Ayudante	Peón	Cantidad	Unidad	Horas reales (h)	Consumo (hh/um)	Rendimiento (um/hh)	Observaciones	Desv Estándar Rendimiento
Colada de concreto	22/10/2024	22/10/2024	Walmart Santa Ana	1	3	0	7,84	m³	0,42	0,251	3,987	Soleado, colada de pedestales, incluye vibrado, el camión mezclador se acabó a la mitad (atraso), el camión mezclador deposita el concreto directamente en la formaleta de los pedestales	-
Colada de concreto	22/10/2024	22/10/2024	Walmart Santa Ana	1	2	0	2,24	m³	0,13	0,211	4,746	Soleado, colada de pedestales con camión mezclador, incluye vibrado, el concreto se coloca directamente en la formaleta de los pedestales	-
Colocación de bloques de mampostería	4/10/2024	-	Palí Ciudad Cortés	1	0	0	0,80	m²	1,83	1,794	0,564	Bloques de 15x20x40, soleado, por ratos tiene compañeros cerca pero el trabajador está trabajando solo, tiene experiencia, relativamente joven.	0,0724
Colocación de fibra paredes livianas	16/10/2024	-	CEDI Coyoil	1	1	0	61,00	m²	2,05	0,077	13,293	Trabajadores jóvenes bajo la supervisión del maestro en todo momento, altura de pared 3,05 metros, se utiliza una escalera	2,3826
Colocación de bloques de mampostería	4/10/2024	-	Palí Ciudad Cortés	1	3	0	6,56	m²	7,72	4,392	0,236	Bloques de 15x20x40, hace calor, sol intenso después de las 9, los trabajadores con poca supervisión, jóvenes.	0,0457

Proceso	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Nombre del proyecto	Operario	Ayudante	Peón	Cantidad	Unidad	Horas reales (h)	Consumo (hh/um)	Rendimiento (um/hh)	Observaciones	Desv Estándar Rendimiento
Colocación de fibra paredes livianas	16/10/2024	-	CEDI Coyol	1	1	0	106,75	m ²	4,45	0,097	10,469	Los trabajadores en un tiempo estaban trabajando sin la protección (la fibra causa picazón), se atrasaron yendo a buscar la protección, cercano a las 11:30 el maestro los empezó a presionar, altura de pared 3,05 metros, se utiliza una escalera	1,5495
Colocación de lámina Durock	16/10/2024	-	CEDI Coyol	2	1	0	41,68	m ²	3,98	0,357	2,854	El maestro comenta que los está presionando, está muy presente en todo momento, trabajadores no con mucha experiencia, utilizan una escalera y taladro, jóvenes	0,3872
Colocación de lámina Durock	16/10/2024	-	CEDI Coyol	1	1	0	17,86	m ²	3,45	0,444	2,297	Los trabajadores van a su ritmo, el maestro rara vez viene a supervisarlos utilizan una escalera y taladro	0,3766
Fabricación de concreto con batidora 2 sacos	16/10/2024	-	CEDI Coyol	1	2	0	1,80	m ³	1,05	2,065	0,487	Batidora de 0,45 m ³ mañana nublada, son 3 trabajadores, pero 1 no aporta mucho, la retroexcavadora que viene a recoger el concreto es rápida.	0,0409
Fabricación de concreto con batidora 2 sacos	2/10/2024	-	CEDI Coyol	1	2	0	3,15	m ³	2,63	2,959	0,344	Soleado, batidora de 0,45 m ³ , podrían ser más rápidos pero la retroexcavadora que viene a recoger el concreto se tarda en llegar, lo cual es un atraso externo	0,0477

Existen actividades que presentan dificultades para realizar múltiples mediciones durante su ejecución. Para estos casos, se ha desarrollado un método alternativo que consiste en una herramienta #2 donde solo se registran los datos de inicio y finalización de la actividad como se observa en la Tabla 10. Aunque este enfoque no es el más preciso debido a su naturaleza indirecta, sigue siendo útil para obtener una visión general de los rendimientos.

Tabla 10. Herramienta 2 para la medición de rendimiento.

Proceso					
Fecha y hora de inicio (dd/mm/año hh:mm)		Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)			fi
		Desayuno			
		Baño			
Fecha y hora de fin (dd/mm/año hh:mm)		Café			
Días no laborados		Almuerzo			
Unidades de medida		Otro			
N° de operarios		Horas diarias de trabajo			
N° de Ayudantes		Inicio de jornada (hh:mm)			
N° de peones		Final de jornada (hh:mm)			
N° de lecturas	Tiempo transcurrido (Días)	Horas reales trabajadas (h)	Cantidad de (m²)	Consumo de mano de obra real (h-h/m²)	Rendimiento de mano de obra real (m²/h-h)
1					
Nombre del proyecto:					
Observaciones:					

Este método permite recopilar datos de diversas actividades a la vez, lo que ofrece una visión más amplia del proyecto, aunque se pierde precisión en los resultados. Es especialmente útil para monitorear varios procesos sin interrumpir el flujo de trabajo. Las diferencias que presenta esta segunda herramienta, como anteriormente se ha dicho es pensada para actividades de varios días, pero de igual forma se puede utilizar en actividades de un solo día. Cabe resaltar, que se ha mantenido una misma simbología de celdas a la mencionada en el Cuadro 2. Además, se ha incluido un par de rubros de información adicional que se ingresan como lo son días no trabajados como se observa en la Figura 14, en donde hay una lista con diversas posibilidades a elegir, esto con el fin de que estos días no sean consideradas en las horas reales trabajadas.

Figura 14. Lista de días no laborales.

Días no laborados	Solo domingo
Unidades de med	Sábado, domingo
N° de operarios	Domingo, lunes
N° de Ayudante	Lunes, martes
N° de peones	Martes, miercoles
N° de lecturas	Miercoles, jueves
	Jueves, viernes
	Viernes, sábado
	Solo domingo

Otra diferencia de esta herramienta, es que se incluyen celdas para ingresar la hora de inicio y fin de la jornada, permitiendo calcular correctamente las horas trabajadas. Para comprender mejor la herramienta, a continuación, observe en la Tabla 11 se presenta un ejemplo de la herramienta #2, se presenta la medición preparación de fundaciones para colado de concreto, el proceso abarca la colocación de la formaleta y la colocación de armadura. El cálculo de la cantidad de metros lineales se definió mediante la suma de ejes (A,B,C) de longitudes de 24m y los ejes (1,2,3,4,5) de 12,8m por lo que el total de metros lineales corresponde a 136 ml.

Tabla 11. Herramienta 2 para la estimación de rendimiento para actividades con solo medición de inicio y finalización.

Proceso	Preparación de fundaciones para colado de concreto (formaleta y armadura)				
Fecha y hora de inicio (dd/mm/año hh:mm)	3/10/2024 07:00	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)			fi
		Desayuno	0,25		0,180
Fecha y hora de fin (dd/mm/año hh:mm)	11/10/2024 16:00	Baño	0,25		
		Café			
Días no laborados	Solo domingo	Almuerzo	1		
Unidades de medida	ml	Otro	0,33		
N° de operarios	2	Horas diarias de trabajo	12		
N° de Ayudantes	6	Inicio de jornada (hh:mm)	06:00:00		
N° de peones	2	Final de jornada (hh:mm)	18:00:00		
N° de lecturas	Tiempo transcurrido (Días)	Horas reales trabajadas (h)	Cantidad de (ml)	Consumo de mano de obra real (h-h/ml)	Rendimiento de mano de obra real (ml/h-h)
1	8,38	93,00	136	8,069	0,124
Nombre del proyecto:	Cedi Coyol				
Observaciones:	Diversos días que por la tarde se dejó de trabajar totalmente por las lluvias. El maestro comenta que la armadura es compleja.				

Como se puede apreciar en el ejemplo anterior, se obtiene un rendimiento real de mano de obra de 0,124 m²/h-h, pero se ha perdido información importante como las fluctuaciones de temperatura que sucedieron dichos días, o si la cuadrilla estuvo en todo momento con la misma cantidad de trabajadores, es decir si disminuyó o aumentó, observe que en la Figura 15 al momento de registrar la fotografía se encontraba la totalidad de la cuadrilla mencionada en la Tabla 10 . Además al tratarse de cuadrillas de 10 personas resulta poco realista identificar a cada trabajador por demás factores como edad, experiencia, y las herramientas que cada uno utiliza.

Figura 15. Registro fotográfico.



Anteriormente, se ha mencionado que esta herramienta 2 está pensada para actividades de larga duración. Sin embargo, la herramienta permite ser utilizada para actividades de corta duración que presentan dificultades para realizar diversas mediciones durante el proceso, como lo son por ejemplo las coladas de concreto donde solo se puede saber con exactitud la cantidad de m³ de concreto si se conocen las dimensiones del recipiente donde se coloca. Para el siguiente ejemplo observe en la Tabla 12, se presenta la medición de una colada de concreto de pedestales mediante un camión mezclador, cabe resaltar que el camión depositó directamente el concreto sobre la formaleta de los pedestales la cual tienen dimensiones de (5,6x2,8x0,5) m.

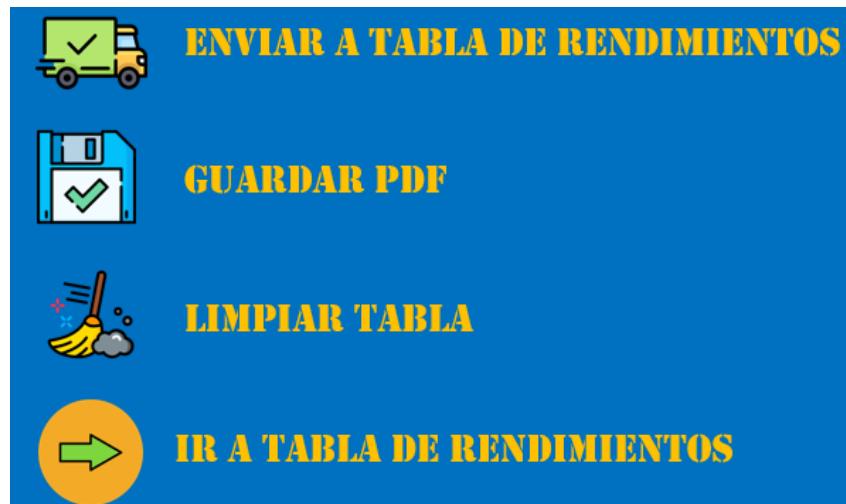
Tabla 12. Herramienta 2 para la estimación de rendimiento para actividades con solo medición de inicio y finalización.

Proceso	Colada de concreto directo con camión mezclador				
Fecha y hora de inicio (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 11:19	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)			fi
		Desayuno	0,25		0,180
Fecha y hora de fin (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 11:44	Baño	0,25		
		Café			
Días no laborados	Solo domingo	Almuerzo	1		
Unidades de medida	m³	Otro	0,33		
N° de operarios	1	Horas diarias de trabajo	12		
N° de Ayudantes	3	Inicio de jornada (hh:mm)	06:00:00		
N° de peones		Final de jornada (hh:mm)	18:00:00		
N° de lecturas	Tiempo transcurrido (Días)	Horas reales trabajadas (h)	Cantidad de (m³)	Consumo de mano de obra real (h-h/m³)	Rendimiento de mano de obra real (m³/h-h)
1	0,02	0,42	7,84	0,251	3,987
Nombre del proyecto:	Walmart Santa Ana				
Observaciones:	Soleado, colada de pedestales, incluye vibrado, el camión mezclador se acabó a la mitad (atraso), el concreto se coloca directamente desde el camión en la formaleta de los pedestales.				

Si bien se podría argumentar que es más fácil utilizar la herramienta 1 para la medición anterior, también es importante mencionar que al solo haber 2 mediciones (inicio y final) aspectos como la temperatura, el gráfico de rendimiento vs temperatura, coeficientes de variación pasan a segundo plano ya que con tan solo 2 mediciones no aportan verdaderamente información, es por esto que se decide utilizar la herramienta 2.

Por último, se incluyen botones con funciones similares a las ya mencionadas previamente para la herramienta 1, como sintetizar la información en la hoja “TABLA DE RENDIMIENTOS”, borrar los datos ingresados y guardar la tabla en un PDF mostrados en la Figura 16. No se añaden botones para graficar, ya que solo se realiza una lectura, lo que hace innecesario un gráfico o una tabla de temperatura, dado que este factor pierde relevancia en una única lectura.

Figura 16. Botones de herramienta 2.



3.3 Aplicación de la herramienta de medición para rendimientos de mano de obra

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la herramienta de medición de rendimientos en proyectos que la empresa DICOMA está realizando. Los proyectos visitados corresponden al centro de distribución (CEDI) de Walmart en el Coyol de Alajuela, Palí en Ciudad Cortés y Walmart Santa Ana.

3.3.1 Fabricación de concreto en batidora (0,45 m³)

Inicialmente se muestran las mediciones realizadas para la producción de concreto en batidora de 0,45 m³ (comúnmente conocida como 2 sacos).

A continuación, en la Tabla 13 se muestra la primera medición para la estimación de rendimiento de mano de obra en el proceso de fabricación de concreto con batidora, como datos importantes a destacar, se establece que cada batida representa la capacidad de la batidora la cual corresponde a 0,45 m³. La medición se realiza en horas de la mañana y se obtiene un rendimiento real de mano de obra de 0,344 m³/h-h con un coeficiente de variación del 13,86%.

Tabla 13. Medición de rendimiento de fabricación de concreto con batidora de 0,45 m³ (primera medición).

Proceso		Fabricación de concreto con batidora de 16 pies cúbicos				
Fecha (dd/mm/yyyy)		2/10/2024	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
N° de operarios	1	Desayuno		0,25	0,180	
N° de Ayudantes	2	Baño		0,25		
N° de peones		Café				
Unidad de medición	m³	Almuerzo		1		
Hora de inicio (hh:mm)	07:50:00	Otro		0,33		
Hora de fin (hh:mm)		10:28:00	Horas diarias de trabajo		12	
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad (m³)	Consumo real (h-h/m³)	Rendimiento real (m³/h-h)
0	23	07:50:00	00:00:00	-	-	-
1	24	08:15:00	00:25:00	0,45	3,278	0,305
2	24	08:38:00	00:23:00	0,45	3,015	0,332
3	24	08:58:00	00:20:00	0,45	2,622	0,381
4	25	09:19:00	00:21:00	0,45	2,753	0,363
5	25	09:38:00	00:19:00	0,45	2,491	0,401
6	25	09:59:00	00:21:00	0,45	2,753	0,363
7	25	10:28:00	00:29:00	0,45	3,802	0,263
8			00:00:00			
9			00:00:00			
10			00:00:00			
Nombre del proyecto	CEDI Coyol		Tiempo total (h)	Cantidad total de (m³)	Promedio	
			2,63	3,15	2,959	0,344
Observaciones	Nublado, podrían ser más rápidos pero la retroexcavadora que viene a recoger el concreto se tarda en llegar, lo cual es un atraso externo. Poca experiencia				Desviación estándar	
					0,4533	0,0477
					Coeficiente de variación (%)	
					15,32	13,86

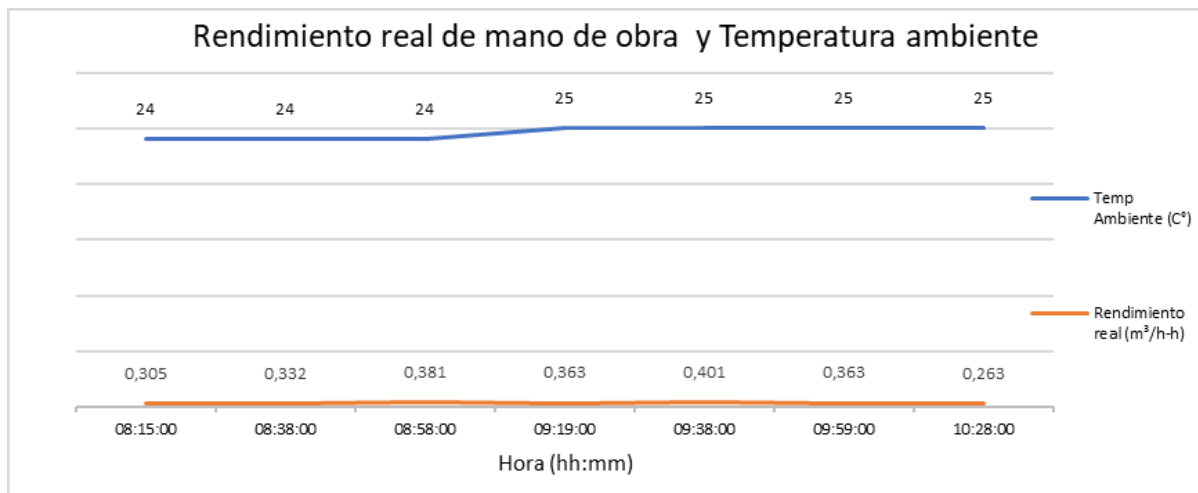
De igual forma en la Figura 17, se observan la composición de las cuadrillas, y las herramientas utilizadas corresponden a cubetas y palas, el equipo utilizado es una batidora de concreto con capacidad de 0,45 m³ o 2 sacos como se le conoce normalmente.

Figura 17. Fabricación de concreto con batidora 0,45 m³.



Seguidamente, en la Figura 18, se muestra un gráfico de la variación del rendimiento de mano de obra y la temperatura respecto a las diferentes horas del día en que se tomaron datos, cabe resaltar que el rendimiento al ser número pequeños, se dificulta observar gráficamente su variación a lo largo de la mañana.

Figura 18. Rendimiento de fabricación de concreto con batidora de 0,45 m³ (primera medición)



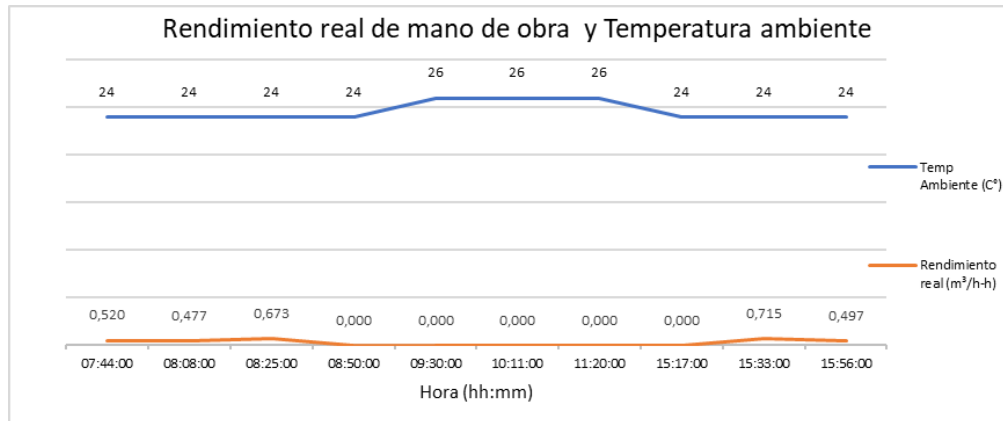
Como segunda medición de la producción de concreto en batidora, se observa en Tabla 14 un rendimiento real promedio de 0,576 m³/h-h con un coeficiente de variación del 18,99 %, con la diferencia que el trabajo se realizaba de forma alterna solo los casos que se necesitaba. Cabe resaltar que los trabajadores utilizan la misma capacidad de batidora de 0,45 m³ y herramientas como cubetas y palas.

Tabla 14 Medición de rendimiento de fabricación de concreto con batidora de 0,45 m³ (segunda medición).

Proceso		Fabricación de concreto con batidora de 2 sacos				
Fecha (dd/mm/yyyy)		3/10/2024	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
N° de operarios	1	Desayuno		0,25	0,180	
N° de Ayudantes	1	Baño		0,25		
N° de peones		Café				
Unidad de medición	m ³	Almuerzo		1		
Hora de inicio (hh:mm)	07:22:00	Otro		0,33		
Hora de fin (hh:mm)	15:56:00	Horas diarias de trabajo		12		
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad (m ³)	Consumo real (h-h/m ³)	Rendimiento real (m ³ /h-h)
0	24	07:22:00	00:00:00	-	-	-
1	24	07:44:00	00:22:00	0,45	1,923	0,520
2	24	08:08:00	00:24:00	0,45	2,098	0,477
3	24	08:25:00	00:17:00	0,45	1,486	0,673
4	24	08:50:00	00:25:00			
5	26	09:30:00	00:40:00			
6	26	10:11:00	00:41:00			
7	26	11:20:00	01:09:00			
8	24	15:17:00	03:57:00			
9	24	15:33:00	00:16:00	0,45	1,398	0,715
10	24	15:56:00	00:23:00	0,45	2,010	0,497
Nombre del proyecto	CEDI Coyol		Tiempo total (h)	Cantidad total de (m ³)	Promedio	
			8,57	2,25	1,783	0,576
Observaciones	Solo se produce en momentos que se necesita, parece ser que la producción es de un concreto pobre, en casos "ajustan" con manguera directamente en la batidora. Hay supervisión, tienen experiencia				Desviación estándar	
					0,3188	0,1094
					Coeficiente de variación (%)	
					17,88	18,99

Posteriormente, en la Figura 19, se muestra un gráfico de la variación del rendimiento de mano de obra y la temperatura respecto a las diferentes horas del día en que se tomaron datos, se observa que, durante las horas con más temperatura del día, no se produce concreto.

Figura 19. Rendimiento de fabricación de concreto con batidora de 0,45 m3 (segunda medición).



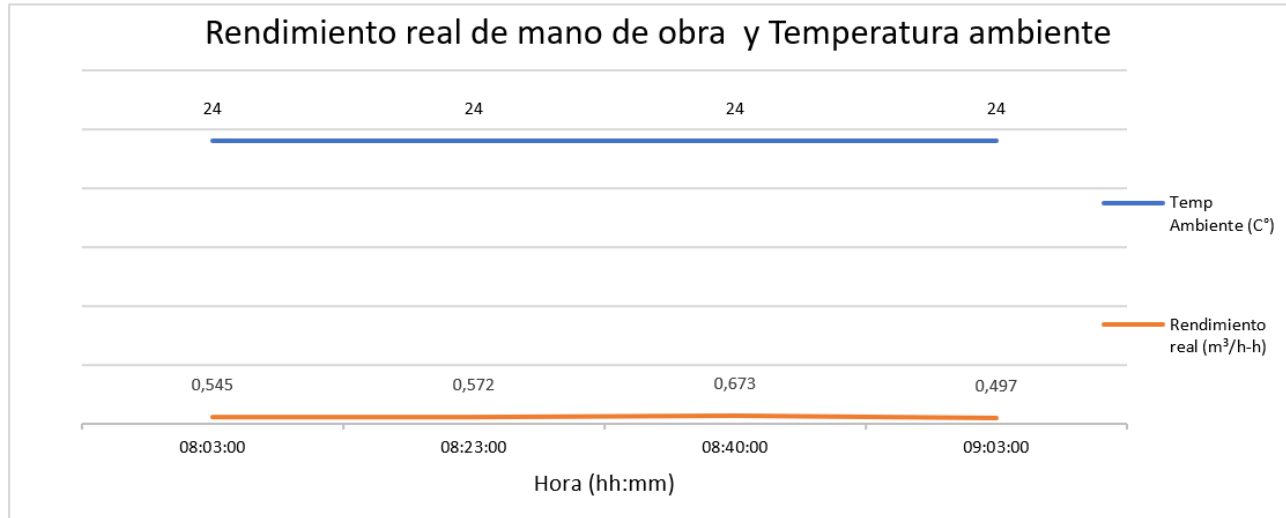
Como tercera medición de la producción de concreto en batidora, se observa en Tabla 15 un rendimiento real promedio de 0,572 m³/h-h con un coeficiente de variación del 12,97 %, los trabajadores son jóvenes, el clima está nublado y el maestro de obras cada cierto tiempo los supervisa. Se utiliza el mismo equipo y herramientas que en las mediciones anteriores.

Tabla 15 Medición de rendimiento de fabricación de concreto con batidora de 0,45 m3 (tercera medición).

Proceso		Fabricación de concreto con batidora 2 sacos				
Fecha (dd/mm/yyyy)		11/10/2024	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
N° de operarios		1	Desayuno		0,25	0,180
N° de Ayudantes		1	Baño		0,25	
N° de peones			Café			
Unidad de medición		m³	Almuerzo		1	
Hora de inicio (hh:mm)		07:42:00	Otro		0,33	
Hora de fin (hh:mm)		09:03:00	Horas diarias de trabajo		12	
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad (m³)	Consumo real (h-h/m³)	Rendimiento real (m³/h-h)
0	23	07:42:00	00:00:00	-	-	-
1	24	08:03:00	00:21:00	0,45	1,835	0,545
2	24	08:23:00	00:20:00	0,45	1,748	0,572
3	24	08:40:00	00:17:00	0,45	1,486	0,673
4	24	09:03:00	00:23:00	0,45	2,010	0,497
5			00:00:00			
6			00:00:00			
7			00:00:00			
8			00:00:00			
9			00:00:00			
10			00:00:00			
Nombre del proyecto	CEDI Coyol		Tiempo total (h)	Cantidad total de (m³)	Promedio	
			1,35	1,80	1,770	0,572
Observaciones	Mañana nublada, trabajadores jóvenes, ocasionalmente los supervisan, tienen experiencia.				Desviación estándar	
					0,2185	0,0742
					Coeficiente de variación (%)	
					12,35	12,97

Seguidamente, en la Figura 20 se presenta un gráfico que muestra cómo varía el rendimiento de la mano de obra y la temperatura, sin embargo, al ser la medición en un tiempo breve no se observa variación en la temperatura y el rendimiento es consistente.

Figura 20. Rendimiento de fabricación de concreto con batidora de 0,45 m³ (tercera medición).



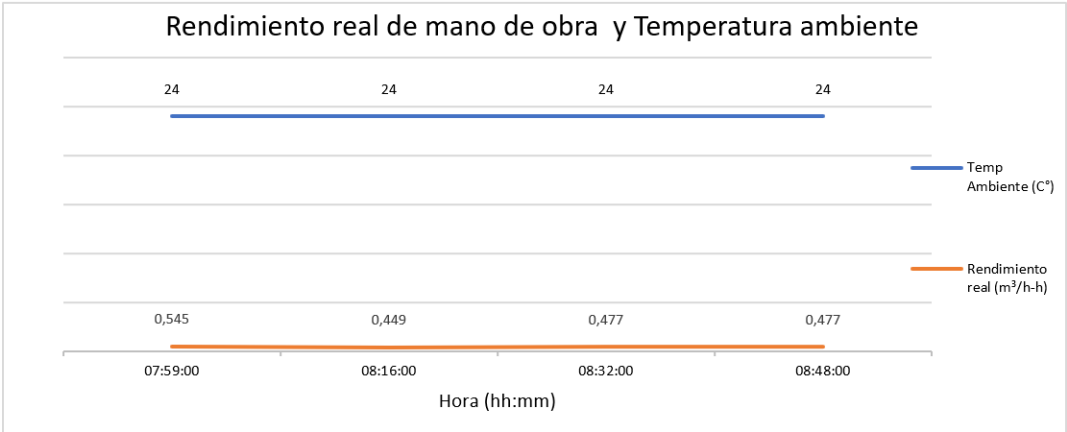
Como cuarta y última medición en la producción de concreto en batidora, en la Tabla 16 se obtiene un rendimiento real de 0,487 m³/h-h con un coeficiente de variación del 8,41%. La cuadrilla está conformada por 3 trabajadores, la retroexcavadora que recoge el concreto es rápida.

Tabla 16 Medición de rendimiento de fabricación de concreto con batidora de 0,45 m³ (cuarta medición).

Proceso		Fabricación de concreto con batidora 2 sacos				
Fecha (dd/mm/yyyy)		16/10/2024	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)			fi
N° de operarios		1	Desayuno	0,25	0,180	
N° de Ayudantes		2	Baño	0,25		
N° de peones			Café			
Unidad de medición		m ³	Almuerzo	1		
Hora de inicio (hh:mm)		07:45:00	Otro	0,33		
Hora de fin (hh:mm)		08:48:00	Horas diarias de trabajo	12		
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad (m ³)	Consumo real (h-h/m ³)	Rendimiento real (m ³ /h-h)
0	24	07:45:00	00:00:00	-	-	-
1	24	07:59:00	00:14:00	0,45	1,835	0,545
2	24	08:16:00	00:17:00	0,45	2,229	0,449
3	24	08:32:00	00:16:00	0,45	2,098	0,477
4	24	08:48:00	00:16:00	0,45	2,098	0,477
5			00:00:00			
6			00:00:00			
7			00:00:00			
8			00:00:00			
9			00:00:00			
10			00:00:00			
Nombre del proyecto	CEDI Coyol		Tiempo total (h)	Cantidad total de (m ³)	Promedio	
			1,05	1,80	2,065	0,487
Observaciones	Mañana nublada, son 3 trabajadores, pero 1 no aporta mucho, la retroexcavadora que viene a recoger el concreto es rápida.				Desviación estándar	
					0,1650	0,0409
					Coeficiente de variación (%)	
					7,99	8,41

De la misma forma, en la Figura 21 se encuentra la variación del rendimiento y la temperatura graficados en función de las horas del día que se realizan las lecturas, destacar que al ser un tiempo breve igual que en el gráfico anterior, se observan datos consistentes.

Figura 21. Rendimiento de fabricación de concreto con batidora de 0,45 m3 (cuarta medición).



3.3.2 Colocación de lámina durock

Como segundo rendimiento a medir, se establece la colocación de lámina durock, la para la construcción de paredes livianas. En la Tabla 17 se encuentra la primera medición realizada en donde se obtiene un rendimiento real de 2,297 m²/h-h con un coeficiente de variación de 16,39 %, importante destacar que este proceso es solamente la colocación de lámina, la estructura de la pared ya se había realizado previamente, la cantidad de m² se establece contabilizando la cantidad de láminas de (12mmX1,22mx2,44m) que se instalan mediante el uso de taladro, las paredes tienen una altura de 3,05 m, cuando la altura lo requiere se utilizan escaleras.

Tabla 17 Medición de rendimiento colocación de lámina durock (primera medición),

Proceso		Colocación de lámina Durock				
Fecha (dd/mm/yyyy)		16/10/2024	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
N° de operarios		1	Desayuno		0,25	0,180
N° de Ayudantes		1	Baño		0,25	
N° de peones			Café			
Unidad de medición		m²	Almuerzo		1	
Hora de inicio (hh:mm)		07:55:00	Otro		0,33	
Hora de fin (hh:mm)		11:22:00	Horas diarias de trabajo		12	
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad (m²)	Consumo real (h-h/m²)	
0	24	07:55:00	00:00:00	-	-	-
1	24	08:32:00	00:37:00	2,98	0,489	2,046
2	25	09:05:00	00:33:00	2,98	0,436	2,293
3	25	09:31:00	00:26:00	2,98	0,344	2,911
4	26	10:04:00	00:33:00	2,98	0,436	2,293
5	26	11:22:00	01:18:00	5,95	0,515	1,941
6			00:00:00			
7			00:00:00			
8			00:00:00			
9			00:00:00			
10			00:00:00			
Nombre del proyecto	CEDI Coyol		Tiempo total (h)	Cantidad total de (m²)	Promedio	
			3,45	17,86	0,444	2,297
Observaciones	Los trabajadores van a su ritmo, el maestro rara vez viene a supervisarlos, jóvenes, se mantienen a altura baja.				Desviación estándar	
					0,0658	0,3766
					Coeficiente de variación (%)	
					14,82	16,39

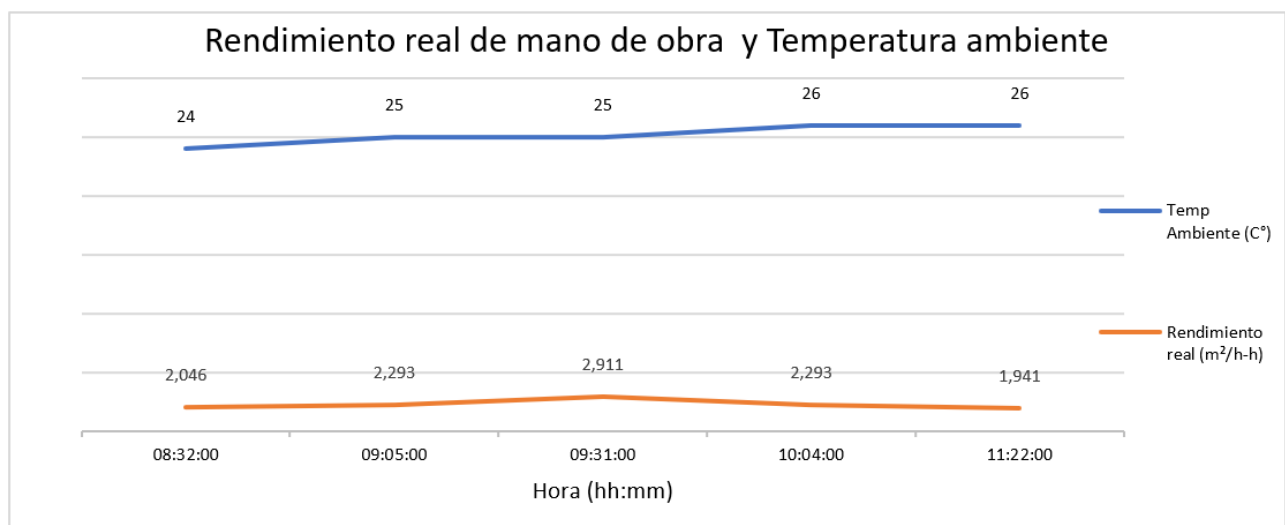
Seguidamente en la Figura 22, se muestran los trabajadores colocando las láminas de durock, utilizan taladro. Cabe resaltar que durante la medición solo colocaron las primeras láminas en contacto con el piso, por lo que no utilizaron escaleras o andamios, además la supervisión por parte del maestro de obras fue poca.

Figura 22. Colocación lámina Durock (primera medición).



Seguidamente, en la Figura 23 se muestra la variación del rendimiento real y la temperatura ambiente a lo largo de las horas de la mañana, destacar que, a diferencia de otros procesos, la colocación de láminas se realiza dentro de una nave industrial existente en donde las variaciones internas de la temperatura respecto al ambiente posiblemente no son significativas. Sin embargo, el rendimiento fue disminuyendo conforme se acercaba la hora del almuerzo.

Figura 23. Rendimiento de colocación lámina durock (primera medición).



Como segunda medición de colocación de lámina durock en la Tabla 18 muestra que se alcanza un rendimiento real promedio de 2,854 m²/h-h con un coeficiente de variación de 13,57 %. La medición se realiza con una cuadrilla conformada por 3 trabajadores bajo la supervisión del maestro de obras en todo momento. Se colocaron láminas de las mismas dimensiones a las mencionadas anteriormente de (12mmX1,22mx2,44m) y las paredes poseen una altura de 3,05 m. Se utiliza un para la instalación taladro y la utilización de escalera cuando la altura lo requiere.

Tabla 18 Medición de rendimiento colocación de lámina durock (segunda medición).

Proceso		Colocación de lámina Durock				
Fecha (dd/mm/yyyy)		16/10/2024	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
N° de operarios	2		Desayuno	0,25	0,180	
N° de Ayudantes	1		Baño	0,25		
N° de peones			Café			
Unidad de medición	m ²		Almuerzo	1		
Hora de inicio (hh:mm)	07:59:00		Otro	0,33		
Hora de fin (hh:mm)	11:58:00		Horas diarias de trabajo	12		
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad (m ²)	Consumo real (h-h/m ²)	Rendimiento real (m ² /h-h)
0	24	07:59:00	00:00:00	-	-	-
1	24	08:33:00	00:34:00	5,95	0,337	2,968
2	25	09:08:00	00:35:00	5,95	0,347	2,883
3	25	09:32:00	00:24:00	2,98	0,476	2,102
4	26	10:06:00	00:34:00	5,95	0,337	2,968
5	26	11:24:00	01:18:00	14,88	0,309	3,234
6	26	11:58:00	00:34:00	5,95	0,337	2,968
7			00:00:00			
8			00:00:00			
9			00:00:00			
10			00:00:00			
Nombre del proyecto	CEDI Coyol		Tiempo total (h)	Cantidad total de (m ²)	Promedio	
			3,98	41,68	0,357	2,854
Observaciones	El maestro comenta que los está presionando, está muy presente en todo momento, trabajadores no con mucha experiencia				Desviación estándar	
					0,0595	0,3872
					Coeficiente de variación (%)	
					16,65	13,57

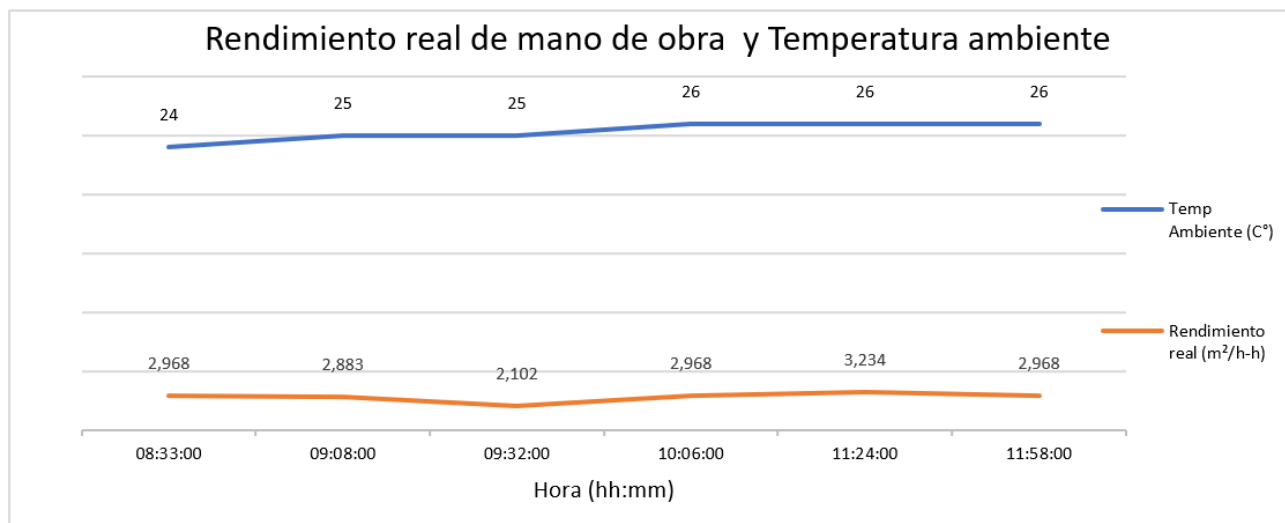
Seguidamente en la Figura 24, se muestra la supervisión constante que mantenían los trabajadores por parte del maestro de obras.

Figura 24. Colocación lámina durock (segunda medición).



Posteriormente, en la Figura 25 se muestra la variación del rendimiento real de la colocación de lámina durock y la temperatura ambiente a lo largo de las 8 y 11 horas de la mañana.

Figura 25. Rendimiento de colocación lámina durock (segunda medición)



3.3.3 Colocación de fibra en paredes livianas

Como tercera actividad a estimar su rendimiento, se establece la colocación de fibra en las paredes livianas la cual sirve como aislante térmico y acústico. Como primera medición del rendimiento en la Tabla 19 se muestra un rendimiento real promedio de 10,469 m²/h-h con un coeficiente de variación de 14,80 %, la cuadrilla está conformada por 2 trabajadores, para esta actividad ya que la altura de las paredes es de 3,05 metros se utiliza una escalera, la cantidad se calcula multiplicando dicha altura por metros lineales.

Tabla 19 Medición de rendimiento colocación de fibra en paredes livianas (primera medición).

Proceso		Colocación de fibra paredes livianas				
Fecha (dd/mm/yyyy)		16/10/2024	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
N° de operarios		1	Desayuno	0,25	0,180	
N° de Ayudantes		1	Baño	0,25		
N° de peones			Café			
Unidad de medición		m ²	Almuerzo	1		
Hora de inicio (hh:mm)		07:25:00	Otro	0,33		
Hora de fin (hh:mm)		11:52:00	Horas diarias de trabajo	12		
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad (m ²)	Consumo real (h-h/m ²)	Rendimiento real (m ² /h-h)
0	24	07:25:00	00:00:00	-	-	-
1	24	08:12:00	00:47:00	18,30	0,101	9,900
2	25	09:33:00	01:21:00	30,50	0,104	9,574
3	26	10:22:00	00:49:00	18,30	0,105	9,495
4	26	10:55:00	00:33:00	12,20	0,106	9,400
5	26	11:23:00	00:28:00	12,20	0,090	11,078
6	26	11:52:00	00:29:00	15,25	0,075	13,370
7			00:00:00			
8			00:00:00			
9			00:00:00			
10			00:00:00			
Nombre del proyecto	CEDI Coyol		Tiempo total (h)	Cantidad total de (m ²)	Promedio	
			4,45	106,75	0,097	10,469
Observaciones	Los trabajadores en un tiempo estaban trabajando sin la protección (la fibra causa picazón), se atrasaron yendo a buscar la protección, cercano a las 11:00 el maestro los empezó a presionar.				Desviación estándar	
					0,0124	1,5495
					Coeficiente de variación (%)	
					12,77	14,80

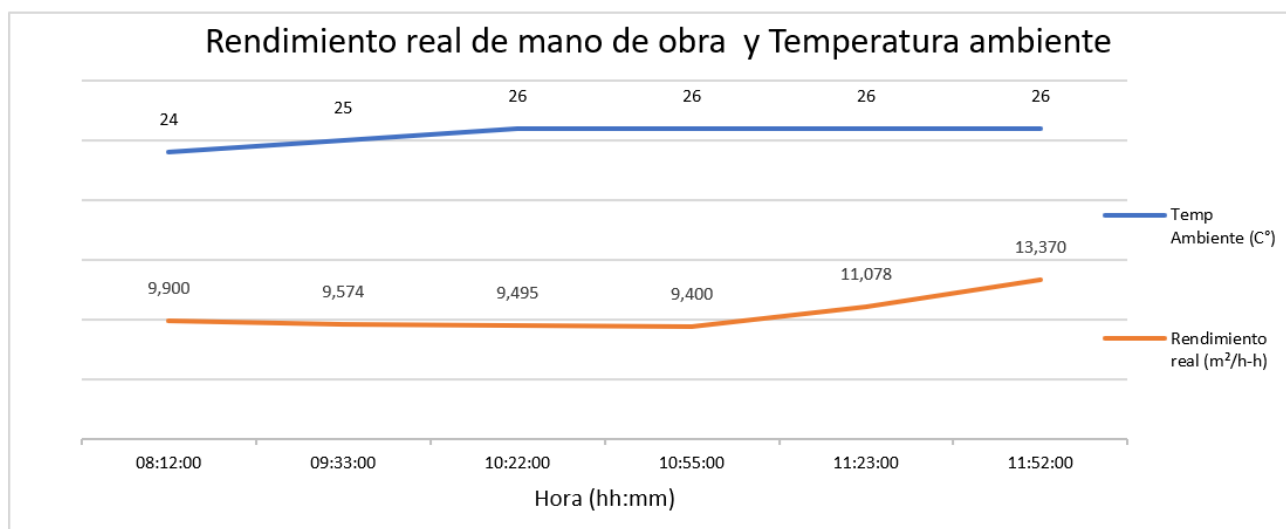
Posteriormente, en la Figura 26 se muestra los trabajadores colocando la fibra, note que estos llevan un traje de protección debido a que la fibra causa comezón a la piel. La pared posee una altura de 3,05 metros por lo que se utilizó una escalera.

Figura 26. Colocación fibra en paredes livianas (primera medición).



Seguidamente, en la Figura 27 se muestra la variación del rendimiento real de la mano de obra y la temperatura ambiente a la hora en que se toman las lecturas, destacar que los trabajadores no se encuentran bajo la supervisión del maestro de obras hasta después de las 11:00 en donde se evidencia un incremento.

Figura 27. Rendimiento de colocación de fibra en paredes livianas (primera medición).



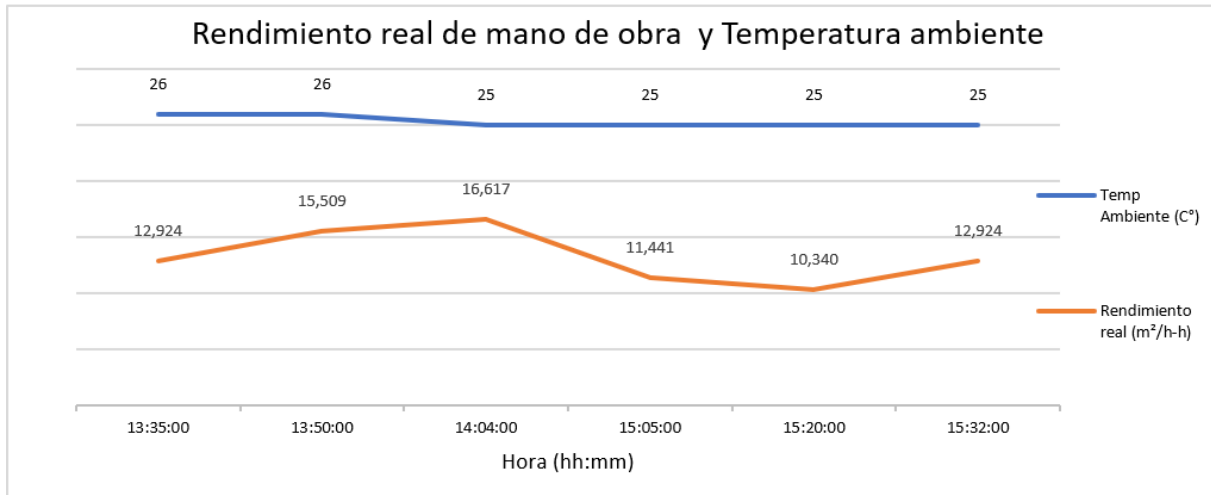
Para la segunda medición del rendimiento de colocación de fibra en paredes livianas, en la Tabla 20 se muestra que se evalúa una cuadrilla de 2 trabajadores supervisados en todo el tiempo por el maestro de obras en donde se calcula un rendimiento real promedio de 13,293 m²/h-h con un coeficiente de variación de 17,92 %.

Tabla 20 Medición de rendimiento colocación de fibra en paredes livianas (segunda medición).

Proceso		Colocación de fibra paredes livianas				
Fecha (dd/mm/yyyy)		16/10/2024	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
N° de operarios	1	Desayuno		0,25	0,180	
N° de Ayudantes	1	Baño		0,25		
N° de peones		Café				
Unidad de medición	m ²	Almuerzo		1		
Hora de inicio (hh:mm)	13:29:00	Otro		0,33		
Hora de fin (hh:mm)	15:32:00	Horas diarias de trabajo		12		
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad (m ²)	Consumo real (h-h/m ²)	Rendimiento real (m ² /h-h)
0	26	13:29:00	00:00:00	-	-	-
1	26	13:35:00	00:06:00	3,05	0,077	12,924
2	26	13:50:00	00:15:00	9,15	0,064	15,509
3	25	14:04:00	00:14:00	9,15	0,060	16,617
4	25	15:05:00	01:01:00	27,45	0,087	11,441
5	25	15:20:00	00:15:00	6,10	0,097	10,340
6	25	15:32:00	00:12:00	6,10	0,077	12,924
7			00:00:00			
8			00:00:00			
9			00:00:00			
10			00:00:00			
Nombre del proyecto	CEDI Coyol		Tiempo total (h)	Cantidad total de (m ²)	Promedio	
			2,05	61,00	0,077	13,293
Observaciones	Trabajadores bajo la supervisión del maestro en todo momento, con experiencia.				Desviación estándar	
					0,0137	2,3826
					Coeficiente de variación (%)	
					17,72	17,92

La Figura 28, muestra la variación del rendimiento real de la colocación de la fibra, se observa una mínima variación de la temperatura ambiente mientras que el rendimiento real varía considerablemente obteniendo como máxima registrada un 16,617 m²/h-h y mínima 10,340 m²/h-h.

Figura 28. Rendimiento de colocación de fibra en paredes livianas (segunda medición).



3.3.4 Colocación de bloques de mampostería

Para la siguiente actividad de colocación de bloques de mampostería de 15x20x40 cm, la medición se lleva a cabo en la construcción de un Palí en Ciudad Cortés, en donde como primera medición en la Tabla 21 se tiene una cuadrilla de 4 trabajadores principalmente jóvenes con poca supervisión, y un sol intenso. La altura final del muro es de 2 metros, pero durante la evaluación solo se registró el rendimiento de las primeras hiladas donde no necesitaron de escaleras o andamios. Se obtiene un rendimiento real promedio de 0,236 m²/h-h con un coeficiente de variación de 19,34%.

Tabla 21 Medición de rendimiento colocación de bloques de mampostería (primera medición).

Proceso		Colocación de bloques de mampostería				
Fecha (dd/mm/yyyy)		4/10/2024	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
N° de operarios	1	Desayuno		0,25	0,180	
N° de Ayudantes	3	Baño		0,25		
N° de peones		Café				
Unidad de medición	m ²	Almuerzo		1		
Hora de inicio (hh:mm)	07:22:00	Otro		0,33		
Hora de fin (hh:mm)	15:05:00	Horas diarias de trabajo		12		
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad (m ²)	Consumo real (h-h/m ²)	Rendimiento real (m ² /h-h)
0	24	07:22:00	00:00:00	-	-	-
1	26	08:31:00	01:09:00	1,28	4,240	0,236
2	26	08:38:00	00:07:00	0,16	3,441	0,291
3	29	09:15:00	00:37:00	0,72	4,042	0,247
4	31	10:44:00	01:29:00	1,20	5,834	0,171
5	31	11:50:00	01:06:00	0,88	5,900	0,170
6	32	13:11:00	01:21:00	0,00		
7	32	13:50:00	00:39:00	0,72	4,261	0,235
8	32	14:26:00	00:36:00	0,72	3,933	0,254
9	32	15:05:00	00:39:00	0,88	3,486	0,287
10			00:00:00			
Nombre del proyecto	Palí Ciudad Cortés		Tiempo total (h)	Cantidad total de (m ²)	Promedio	
			7,72	6,56	4,392	0,236
Observaciones	Hace calor, sol intenso después de las 9, los trabajadores son supervisados hasta después de almuerzo, jóvenes, poca experiencia.				Desviación estándar	
					0,9599	0,0457
					Coeficiente de variación (%)	
					21,85	19,34

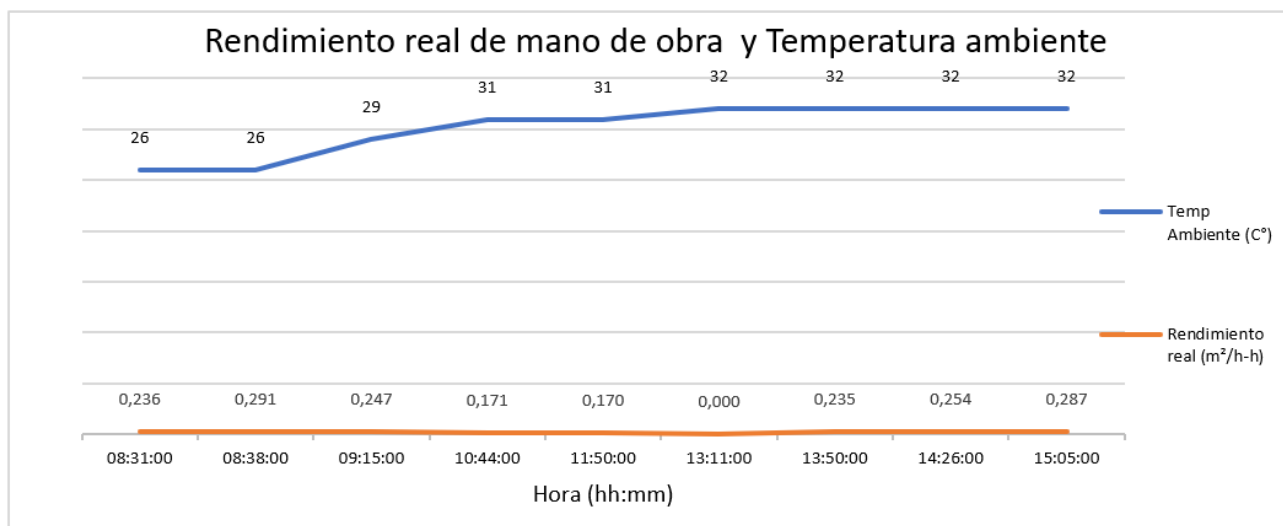
Seguidamente, como se observa en la Figura 29, dado que se encuentran colocando las primeras hiladas, no se utilizan andamios o escaleras, los trabajadores son jóvenes y hace calor en la zona.

Figura 29. Colocación de bloques de mampostería (primera medición).



Seguidamente en la Figura 30 se muestra la variación del rendimiento real de la colocación de bloques a lo largo de la mañana y parte de la tarde.

Figura 30. Rendimiento de colocación de bloques de mampostería (primera medición).



Como segunda medición del rendimiento en colocación de bloques, esta también se realiza en Ciudad Cortés, con el mismo tipo de bloque 15x20x40 cm, el mismo día que la primera medición, pero en otra zona del proyecto, en la Tabla 22 se muestra el trabajo realizado por un solo trabajador joven y con experiencia.

Se obtiene un rendimiento real promedio de 0,564 m²/h-h con un coeficiente de variación de 12,84%, destacar que si bien la cantidad se muestra en m² para medir la cantidad se realiza mediante la contabilización de unidad de bloques.

Tabla 22 Medición de rendimiento colocación de bloques de mampostería (segunda medición).

Proceso		Colocación de bloques de mampostería				
Fecha (dd/mm/yyyy)		4/10/2024	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
N° de operarios		1	Desayuno	0,25	0,180	
N° de Ayudantes			Baño	0,25		
N° de peones			Café			
Unidad de medición		m ²	Almuerzo	1		
Hora de inicio (hh:mm)		10:08:00	Otro	0,33		
Hora de fin (hh:mm)		11:58:00	Horas diarias de trabajo	12		
N° de lecturas	Temp Ambiente (C°)	Hora (hh:mm)	Tiempo transcurrido (hh:mm)	Cantidad (m ²)	Consumo real (h-h/m ²)	Rendimiento real (m ² /h-h)
0	31	10:08:00	00:00:00	-	-	-
1	31	10:21:00	00:13:00	0,16	1,598	0,626
2	31	10:42:00	00:21:00	0,24	1,721	0,581
3	31	11:24:00	00:42:00	0,40	2,065	0,484
4	31	11:58:00	00:34:00	0,00		
5			00:00:00			
6			00:00:00			
7			00:00:00			
8			00:00:00			
9			00:00:00			
10			00:00:00			
Nombre del proyecto	Palí Ciudad Cortés		Tiempo total (h)	Cantidad total de (m ²)	Promedio	
			1,83	0,80	1,794	0,564
Observaciones	Sol fuerte, por ratos tiene compañeros cerca pero el trabajador está trabajando solo, tiene experiencia, relativamente joven.				Desviación estándar	
					0,2421	0,0724
					Coeficiente de variación (%)	
					13,49	12,84

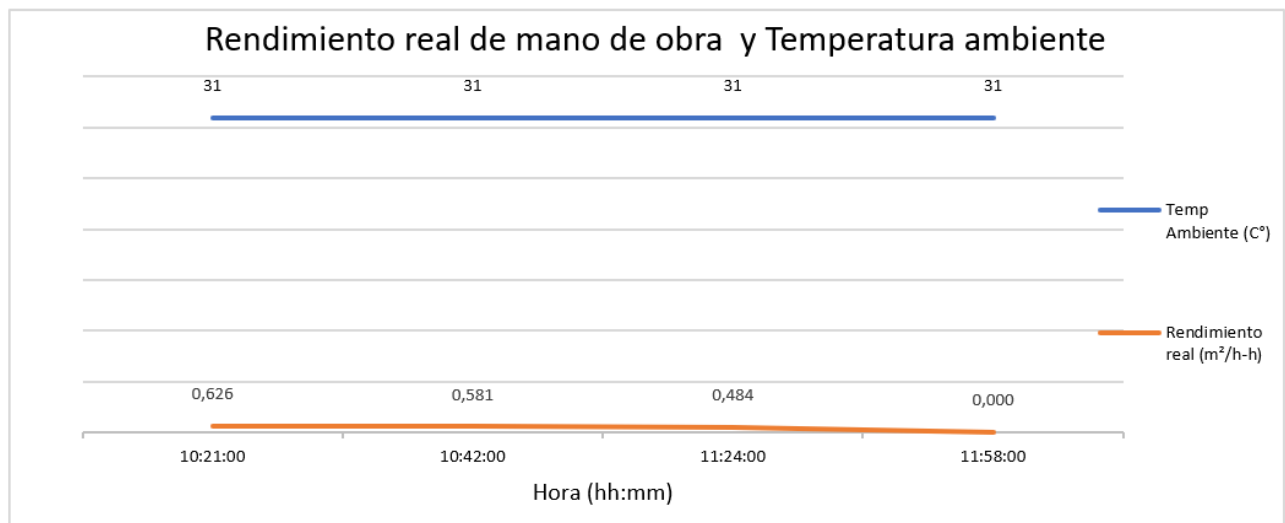
Cabe resaltar que en esta segunda medición tampoco se llegaron a alturas donde se requiriera de escalera o andamios (durante la medición), como se observa en la Figura 31, el trabajador de casco azul está trabajando solo, aunque tiene otro compañero cerca, este realiza otras labores.

Figura 31. Colocación de bloques de mampostería (segunda medición).



Por último, en la Figura 32 se muestra la variación del rendimiento real de mano de obra en la colocación de bloques de mampostería, destacar que el único trabajador que realizaba la actividad mantiene un ritmo de trabajo considerablemente más alto que el de la cuadrilla en la primera medición en la Tabla 21. Lo que indica que la experiencia influye ampliamente en el rendimiento.

Figura 32. Rendimiento de colocación de bloques de mampostería (segunda medición).



3.3.5 Colado de concreto con camión mezclador

Ahora bien, para la aplicación de la herramienta 2, esta se realiza en la construcción de un Walmart en Santa Ana, la primera medición en la Tabla 23 se realiza con una cuadrilla de 3 trabajadores, el día es soleado y se chorroa mediante un camión mezclador directamente sobre la formaleta del pedestal. Las dimensiones son 2,8x1,6x0,5 metros y se obtiene un rendimiento de mano de obra de 4,746 m³/h-h.

Tabla 23 Medición de rendimiento colado de concreto con camión mezclador (primera medición).

Proceso	Colada de concreto				
Fecha y hora de inicio (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 10:39	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)			fi
		Desayuno	0,25		0,180
Fecha y hora de fin (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 10:47	Baño	0,25		
		Café			
Días no laborados	Solo domingo	Almuerzo	1		
Unidades de medida	m³	Otro	0,33		
N° de operarios	1	Horas diarias de trabajo	12		
N° de Ayudantes	2	Inicio de jornada (hh:mm)	06:00:00		
N° de peones		Final de jornada (hh:mm)	18:00:00		
N° de lecturas	Tiempo transcurrido (Días)	Horas reales trabajadas (h)	Cantidad de (m³)	Consumo de mano de obra real (h-h/m³)	Rendimiento de mano de obra real (m³/h-h)
1	0,01	0,13	2,24	0,211	4,746
Nombre del proyecto:	Walmart Santa Ana				
Observaciones:	Soleado, colada de pedestales, incluye vibrado				

Seguidamente, para la segunda medición de rendimiento de colado de concreto con camión mezclador, la chorroa se lleva a cabo vertiendo directamente sobre la formaleta del pedestal con dimensiones de formaleta iguales al anterior (2,8x1,6x0,5) m, se mide el rendimiento de una cuadrilla de 3 trabajadores. De la Tabla 24 se obtiene un rendimiento real de 4,219 m³/h-h.

Tabla 24 Medición de rendimiento colado de concreto con camión mezclador (segunda medición).

Proceso	Colada de concreto				
Fecha y hora de inicio (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 10:50	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)			fi
		Desayuno	0,25		0,180
Fecha y hora de fin (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 10:59	Baño	0,25		
		Café			
Días no laborados	Solo domingo	Almuerzo	1		
Unidades de medida	m³	Otro	0,33		
N° de operarios	1	Horas diarias de trabajo	12		
N° de Ayudantes	2	Inicio de jornada (hh:mm)	06:00:00		
N° de peones		Final de jornada (hh:mm)	18:00:00		
N° de lecturas	Tiempo transcurrido (Días)	Horas reales trabajadas (h)	Cantidad de (m³)	Consumo de mano de obra real (h-h/m³)	Rendimiento de mano de obra real (m³/h-h)
1	0,01	0,15	2,24	0,237	4,219
Nombre del proyecto:	Walmart Santa Ana				
Observaciones:	Soleado, colada de pedestales, incluye vibrado				

Seguidamente, en la Figura 33, se observa el camión mezclador vertiendo el concreto en la formaleta del pedestal mientras los trabajadores ayudan a esparcir y vibrar el concreto.

Figura 33. Colado de concreto (segunda medición).



Posteriormente, se realiza una tercera medición de colada de concreto con camión mezclador de igual forma vertiendo directamente sobre la formaleta del pedestal con dimensiones de 2,8x1,6x0,5 metros, en la Tabla 25, se detalla una cuadrilla de 4 trabajadores de los cuales se obtiene un rendimiento de 4,068 m³/h-h.

Tabla 25 Medición de rendimiento colado de concreto con camión mezclador (tercera medición).

Proceso	Colada de concreto				
Fecha y hora de inicio (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 11:08	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
		Desayuno	0,25	0,180	
Fecha y hora de fin (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 11:15	Baño	0,25		
		Café			
Días no laborados	Solo domingo	Almuerzo	1		
Unidades de medida	m ³	Otro	0,33		
N° de operarios	1	Horas diarias de trabajo	12		
N° de Ayudantes	3	Inicio de jornada (hh:mm)	06:00:00		
N° de peones		Final de jornada (hh:mm)	18:00:00		
N° de lecturas	Tiempo transcurrido (Días)	Horas reales trabajadas (h)	Cantidad de (m ³)	Consumo de mano de obra real (h-h/m ³)	Rendimiento de mano de obra real (m ³ /h-h)
1	0,00	0,12	2,24	0,246	4,068
Nombre del proyecto:	Walmart Santa Ana				
Observaciones:	Soleado, colada de pedestales, incluye vibrado				

Seguidamente, se realiza una cuarta medición en el colado de un pedestal, de igual forma el camión mezclador vierte directamente sobre la formaleta. Importante destacar que la formaleta presenta mayores medidas, respectivamente 5,6x2,8x0,5 metros, a como se puede apreciar en la Tabla 26, se presenta el inconveniente que el camión se queda sin concreto a mitad del proceso y los trabajadores deben esperar a que otro camión llegue y se estacione para poder seguir colando. Se obtiene un rendimiento real menor que los anteriores con 3,987 m³/h-h.

Tabla 26 Medición de rendimiento colado de concreto con camión mezclador (cuarta medición).

Proceso	Colada de concreto				
Fecha y hora de inicio (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 11:19	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)		fi	
		Desayuno	0,25	0,180	
Fecha y hora de fin (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 11:44	Baño	0,25		
		Café			
Días no laborados	Solo domingo	Almuerzo	1		
Unidades de medida	m ³	Otro	0,33		
N° de operarios	1	Horas diarias de trabajo	12		
N° de Ayudantes	3	Inicio de jornada (hh:mm)	06:00:00		
N° de peones		Final de jornada (hh:mm)	18:00:00		
N° de lecturas	Tiempo transcurrido (Días)	Horas reales trabajadas (h)	Cantidad de (m ³)	Consumo de mano de obra real (h-h/m ³)	Rendimiento de mano de obra real (m ³ /h-h)
1	0,02	0,42	7,84	0,251	3,987
Nombre del proyecto:	Walmart Santa Ana				
Observaciones:	Soleado, colada de pedestales, incluye vibrado, el camión se acabó a la mitad (atraso)				

De igual forma, en la Figura 34 se observa el camión mezclador vertiendo el concreto directamente sobre la formaleta del pedestal, los trabajadores esparciendo y vibrando el concreto.

Figura 34. Colado de concreto (cuarta medición).



Para evaluar el rendimiento de manera más amplia, se analiza la colocación de lámina Durock en la construcción del Palí en Ciudad Cortés, registrando únicamente el inicio y el final de todo el proceso de instalación de la lámina, como se muestra en la Tabla 27. Cabe destacar que la cantidad es estimada, considerando que se dispone de 48 metros lineales de pared con una altura constante de 2,5 metros. La cuadrilla está conformada por dos parejas de trabajadores jóvenes, con mínima supervisión. Se obtiene un rendimiento real de 1,883 m²/h-h.

Tabla 27. Medición de rendimiento en colocación de lámina durock.

Proceso	Colocación de lámina durock				
Fecha y hora de inicio (dd/mm/año hh:mm)	22/10/2024 09:45	Tiempo transcurrido en actividades alternas (h)			fi
		Desayuno	0,25		0,180
Fecha y hora de fin (dd/mm/año hh:mm)	23/10/2024 11:15	Baño	0,25		
		Café			
Días no laborados	Solo domingo	Almuerzo	1		
Unidades de medida	m ²	Otro	0,33		
N° de operarios	2	Horas diarias de trabajo	12		
N° de Ayudantes	2	Inicio de jornada (hh:mm)	06:00:00		
N° de peones		Final de jornada (hh:mm)	18:00:00		
N° de lecturas	Tiempo transcurrido (Días)	Horas reales trabajadas (h)	Cantidad de (m ²)	Consumo de mano de obra real (h-h/m ²)	Rendimiento de mano de obra real (m ² /h-h)
1	1,06	13,50	120	0,531	1,883
Nombre del proyecto:	Palí Ciudad Cortés				
Observaciones:	Dos parejas, trabajadores jóvenes, poca supervisión, 48 ml x 2,5 altura				

Seguidamente, como se muestra en la Figura 35, los trabajadores utilizan escaleras y el uso de taladros para instalar las láminas de 12mmx122mx244m y el uso de taladros.

Figura 35. Colocación de lámina Durock Ciudad Cortés.



Un punto crucial en la estimación de rendimientos en procesos constructivos de este trabajo, radica en la falta de un análisis profundo que explique por qué el rendimiento de una misma actividad puede variar entre mediciones. Si bien previamente se han mencionado los factores que pueden influir en esta variabilidad, como la temperatura o la supervisión de los trabajadores, la aplicación de la herramienta se limita a determinar un número que representa el rendimiento, sin examinar las razones subyacentes que provocan dichas fluctuaciones. Un claro ejemplo es la diferencia de rendimientos entre la colocación de lámina durock en el proyecto CEDI Coyoil con un promedio general de las dos mediciones realizadas de 2,576 m²/h-h y la estimación de Palí Ciudad Cortés 1,883 m²/h-h.

Ampliando este análisis, es esencial destacar que la simple asignación de un valor numérico a un rendimiento no proporciona una visión clara del comportamiento real del proceso constructivo. El rendimiento no es un concepto estático; depende de un conjunto de variables que interactúan de manera dinámica en el contexto de cada obra. La variabilidad en las condiciones climáticas, por ejemplo, no solo afecta el rendimiento físico del trabajador, sino también la calidad del trabajo realizado. En climas con temperaturas altas, los trabajadores pueden experimentar fatiga física y mental, lo que disminuye tanto la productividad como la precisión en la ejecución de las tareas.

Según estudios realizados por la Organización Internacional del Trabajo (2019): *“La productividad laboral disminuye cuando la temperatura supera los 24 a 26 °C. Al alcanzar los 33 o 34 °C, con una intensidad de trabajo moderada, los trabajadores pierden un 50 por ciento de su capacidad”* (p.12). Si bien en los

proyectos visitados no se registraron temperaturas de 33-44 °C, estas son temperaturas fácilmente alcanzables en Guanacaste durante el verano, este año, por ejemplo, se ha registrado en la estación meteorológica de Filadelfia (Carrillo, Guanacaste) la temperatura de 41.0 °C (instituto meteorológico Nacional, 2024).

De igual manera, la experiencia de los trabajadores es un factor altamente influyente en el rendimiento. Durante las mediciones los trabajadores con poca experiencia en colocación de bloques de mampostería muestran promedios de 0,236 m²/h-h mientras que el trabajador con experiencia duplica el rendimiento con 0,564 m²/h-h. Esta gran diferencia entre rendimientos también se presenta en la fabricación de concreto en batidora de 0,45 m³ con trabajadores con poca experiencia promediando un rendimiento de 0,344 m³/h-h a comparación de los trabajadores con experiencia 0,576 m³/h-h.

Es importante subrayar que un enfoque efectivo para comprender verdaderamente el rendimiento en un proyecto constructivo requiere algo más que simplemente registrar el número de horas trabajadas o las cantidades producidas. Es necesario un análisis de productividad para incluir la identificación de tiempos productivos y no productivos. Los tiempos improductivos, que suelen incluir tiempos de espera, fallos en la planificación o incluso pausas no previstas, pueden distorsionar gravemente los cálculos de rendimiento. Estos tiempos no siempre son visibles a simple vista, pero impactan significativamente en la productividad global de un proyecto.

Otro aspecto a considerar es que los rendimientos bajo condiciones diferentes no representan necesariamente el mismo valor de productividad. Aunque los números puedan parecer similares en diferentes escenarios, el contexto en el cual se desarrollaron esos rendimientos cambia radicalmente la interpretación de los resultados. Por ejemplo, un equipo de trabajadores podría lograr el mismo número de metros cuadrados de colocación de bloques de mampostería en dos días diferentes, pero si en uno de los días hubo menos interrupciones o las condiciones climáticas fueron más favorables, el esfuerzo y las habilidades requeridas para obtener el mismo resultado no son iguales verdaderamente.

Finalmente, los verdaderos análisis de los procesos constructivos deben contemplar estos factores interrelacionados de manera más profunda, no solo para proporcionar una representación más realista del rendimiento, sino también para identificar áreas de mejora en la planificación y ejecución de las tareas. Así, la gestión de la construcción puede hacer ajustes proactivos que optimicen tanto los recursos humanos como los materiales, aumentando así la eficiencia y reduciendo los costos generales del proyecto.

Conclusiones y recomendaciones

A continuación, se presentan las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo. Estas reflejan los principales aprendizajes obtenidos y las propuestas para mejorar ciertos aspectos identificados a lo largo del análisis. Con base en la información recopilada, se busca aportar ideas que contribuyan al desarrollo y optimización de futuros proyectos.

Conclusiones

Se concluyó que, aunque en la organización se han realizado mediciones de rendimientos en el pasado, estos datos no se han utilizado de manera efectiva. Además, la dependencia significativa de rendimientos teóricos en los procesos constructivos, no reflejan las condiciones reales de los proyectos. Factores clave como la experiencia del personal y la supervisión no son considerados de forma sistemática, lo que limita la precisión en la planificación y presupuestación. En consecuencia, se concluye que la implementación de un sistema de medición estandarizado es esencial para proporcionar datos confiables y reducir discrepancias entre los costos estimados y reales, mejorando así la eficiencia en la gestión de los recursos.

La variación de la temperatura en las estimaciones realizadas, no presentaron incidencias significativas para definir que estas influyen directamente en el rendimiento de mano de obra.

La supervisión durante los procesos influye en el incremento de los rendimientos, siendo el caso de la colocación de las fibras en horas donde no se encontraban bajo supervisión, presentaron rendimientos de 9,49 m²/h-h mientras que posterior a la supervisión se registraron rendimientos de 13,37 m²/h-h.

Los trabajadores con experiencia presentaron rendimientos mayores siendo la colocación de bloques de mampostería por el trabajador experimentado, con un promedio de 0,564 m²/h-h mientras que los trabajadores sin experiencia promediaron un rendimiento menor con 0,236 m²/h-h. De igual forma para la fabricación de concreto en batidora, los trabajadores con experiencia promediaron un rendimiento de 0,576 m³/h-h mientras que los trabajadores con poca experiencia 0,344 m³/h-h.

Además, es necesario establecer métodos claros para cuantificar las cantidades con precisión. Es más eficiente definir una cantidad específica y medir el tiempo requerido para completarla, en lugar de realizar mediciones en intervalos regulares y luego ajustar las cantidades.

Finalmente, en los procesos constructivos donde se aplicó la herramienta¹, los resultados mostraron un coeficiente de variación inferior al 20%, lo que indica precisión y confiabilidad de los rendimientos estimados con la herramienta.

Recomendaciones

- Se recomienda a los ingenieros de proyectos realizar una evaluación periódica de los rendimientos en cada proyecto que se desarrolle.
- Se recomienda a los ingenieros de proyectos, realizar análisis de productividad en cada de proceso constructivo del cual se estimaron rendimientos, para verificar la veracidad de los resultados.
- Se recomienda al coordinador de presupuestos planificar reuniones con el ingeniero de proyectos para juntos analizar los resultados obtenidos de las mediciones, ya que el rendimiento por sí solo se presta para muchas interpretaciones.
- Se recomienda a los ingenieros de proyectos considerar mejoras en la herramienta propuesta para una posible actualización.
- Se recomienda a los ingenieros de proyectos realizar más estimaciones de rendimiento en cada proceso antes de definir un promedio general de un proceso constructivo, preferiblemente realizando estimaciones en diferentes proyectos con diferentes cuadrillas y ubicaciones.
- Se recomienda al gerente de presupuestos crear un plan de actualización de rendimientos estandarizados en la empresa para que esta tenga programado cada cuanto debe actualizar los rendimientos.
- No se recomienda que una sola medición abarque más allá de una jornada de trabajo, solo aplica, si la misma es continua.
- Se recomienda al momento de registrar los rendimientos, ser lo más descriptivo posible en cuanto a la descripción de la actividad, par que los resultados puedan utilizarse con seguridad.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, G., & Hernández, T. (2007). *Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6299721>
- Aliaga, J. (2019). *Análisis del rendimiento de mano de obra en el proyecto de sistema de captación de agua potable en el anexo de cruz de mayo del distrito de Andamarca, provincia de concepción – región Junín* [Universidad Peruana del Centro]. <https://repositorio.upecen.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14127/178/AN%C3%81LISIS%20DEL%20RENDIMIENTO%20DE%20MANO%20DE%20OBRA.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Botero, L. (2002). *Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción*. Universidad EAFIT, 128, repository.eafit.edu.co. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/dfc4bc9e-6373-44a8-884f-2ee91ccaf8b6/content>
- Cabrera, M. (2010). *Introducción a las fuentes de información* [Departamento de Comunicación Audiovisual, Documentación e Historia del Arte, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7580/introduccion%20a%20las%20fuentes%20de%20informaci%C3%83%C2%B3n.pdf>
- Cortés, M., & Iglesias, M. (2004). *Generalidades sobre Metodología de la Investigación* (1.^a ed.) [Universidad Autónoma del Carmen]. https://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia_investigacion.pdf
- Cuartas, L. (2017). *Determinación de las variables que afectan el rendimiento de la mano de obra en la construcción de edificaciones en el municipio de Armenia* [Master Tesis, Universidad EAFIT]. <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/12088>
- Fernández, A., Murillo, A., & Lima, N. (2023). *Análisis comparativo de los factores del rendimiento de la mano de obra en la construcción en el departamento de Cochabamba - Bolivia*. Universidad Privada del Valle Cochabamba-Bolivia. https://revistas.udes.edu.co/aibi/article/view/analisis_comparativo_de_los_factores_del_rendimiento_de_la_mano_/2814
- González, I., López, M., Del Campo, M., & Sáiz, R. (2003). *Condiciones de trabajo en el sector de la construcción*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/277789579_Condiciones_de_trabajo_en_el_sector_de_la_construccion#fullTextFileContent

- Gundecha, M. (2012). *Study of factors affecting labor productivity at a building construction project in the USA: web survey* [Tesis, Universidad Estatal de Dakota del Norte]. https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/22772/Gundecha_Mahesh.pdf?sequence=1
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, P., Méndez, S., & Mendoza, C. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Huang, A., Chapman, R., & Butry, D. (2009). Metrics and Tools for Measuring Construction Productivity: Technical and Empirical Considerations. En *U.S. Department Of Commerce National Institute Of Standards And Technology*. Office of Applied Economics Building and Fire Research Laboratory. <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication1101.pdf>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2024). *Altas temperaturas*. https://www.imn.ac.cr/web/imn/noticias/-/asset_publisher/d3dYbuSgq37O/content/contenido-noticias-20240307?redirect=https%3A%2F%2Fwww.imn.ac.cr%2Fweb%2Fimn%2Fnoticias%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_d3dYbuSgq37O%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_count%3D1
- Martínez, J. (2023). *Tipos de Investigación*. Con-Ciencia Serrana Boletín Científico de la Escuela Preparatoria Ixtlahuaco, 5(9), 34-35. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ixtlahuaco/article/download/10407/9953/>
- Martínez, L., Verbal, R., & Serpell, A. (1990). *Recomendaciones para aumentar la productividad en la construcción*. Revista Ingeniería de Construcción, 8. <https://revistaingenieriaconstruccion.uc.cl/index.php/ric/article/download/17505/14465/36701>
- Méndez, M. (2013). *La crisis económica en la vida de los trabajadores y trabajadoras de Castilla y León*. [Trabajo fin de grado, Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/4616/TFG-L%20217.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nieto, N. (2018). *Tipos de investigación*. Universidad Santo Domingo de Guzmán. https://core.ac.uk/outputs/250080756/?utm_source=pdf&utm_medium=banner&utm_campaign=pdf-decoration-v1
- Núñez, M. (2024). *Altas temperaturas que trae el cambio climático arriesgan salud del 70% de trabajadores en el mundo*. Seminario Universidad. <https://semanariouniversidad.com/pais/altas-temperaturas-que-trae-el-cambio-climatico-arriesgan-salud-del-70-de-trabajadores-en-el-mundo/>
- Organización Internacional del Trabajo. (2019). *Trabajar en un planeta más caliente* (1.a ed.) [Oficina internacional del Trabajo]. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/@publ/documents/publication/wcms_768707.pdf

- Ortiz, G., Paniagua, E., & Sandoval, M. (2009). *Costos de Construcción*. Cartago.
- Padilla, A. (2014). *Productividad y rendimiento de mano de obra para algunos procesos constructivos seleccionados en la ejecución del edificio ISLHA del ITCR* [Proyecto final de Graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica].
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6732/productividad_rendimiento_procesos_constructivos_islha.pdf?sequence=1
- Rivera-García, P. (1998). *Marco teórico, elemento fundamental en el proceso de investigación científica*. Zaragoza, España: UNAM, 5.
- Vargas, W. P. (2015). *Rendimientos Costa Rica*. Upla.
https://www.academia.edu/15745824/RENDIMIENTOS_COSTA_RICA
- VILLAR, JM. (2009). *Crisis económica actual. Sus orígenes. Características y medidas para salir de la crisis*. Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos, nº 3496, 19- 44.

Apéndices

Apéndice 1. Guía de entrevista

1. ¿Podría explicar cuáles son los tipos de proyectos de construcción que la empresa suele realizar?
2. ¿Cuál es la escala y la duración habitual de los proyectos en los que la empresa gestiona?
3. ¿Cuáles son procesos que tienden a diferir más entre lo que se presupuestó y lo que terminó costando?
4. ¿En los procesos que generan dificultades, cuales considera que tienden a ser las principales causas de que esto suceda?
5. ¿Cómo se han establecido los rendimientos que tienen actualmente?
6. ¿Alguna vez los han actualizado y si sí, con qué frecuencia se realiza esto?
7. ¿Los rendimientos los determinan indirectamente a base de los resultados que obtienen al final de los proyectos o designan a una persona a que los “mida” directamente?
8. ¿Cómo han hecho hasta el momento para recompensar estos atrasos o sobrecostos que generan estos procesos?
9. ¿Factores como el clima, localidad, hora o temperatura son tomados en cuenta para para la estimación de las actividades?

Apéndice 2. Ficha documental

Ficha documental	
Tipo de documento	Programa para presupuestos (Excel)
Ubicación o acceso al documento	Oficinas de la empresa Dicoma
Propósito del documento consultado	Examinar registros de rendimientos
Resumen de la información recopilada	
Se identifica que no hay una tabulación de rendimientos de mano de obra como tal, La hoja de presupuestos utiliza “rendimiento” pero son valores que se han supuesto y nunca medido propiamente.	
Pertinencia de la información para la investigación	
Más que relevancia de la información, se trata de entender cómo ha operado la empresa hasta el momento, especialmente en lo relacionado con los rendimientos de mano de obra.	

Apéndice 3. Ficha documental

Ficha documental	
Tipo de documento	Carpetas de proyectos ejecutados (drive)
Ubicación o acceso al documento	Oficinas de la empresa Dicoma.
Propósito del documento consultado	Identificar si se observa comentarios o conocimientos adquiridos en los proyectos.
Resumen de la información recopilada	
Se identifica que no existen registros referentes a los rendimientos de mano de obra, la carpeta y sus desgloses corresponden principalmente para llevar un orden de toda la documentación que realizan con el cliente y demás subcontratos. Existen registros de bitácora y cronograma en donde se explican qué se va a hacer en los próximos días o ese día en particular, pero no se detallan atrasos o adelantos en actividades y sus razones.	
Pertinencia de la información para la investigación	
Si bien no hay información que se obtiene directamente de estos documentos consultados para brindar apoyo a la investigación, permite comprender cómo se lleva a cabo y se recopila la información de los proyectos por parte de la empresa.	

Apéndice 4. Ficha bibliográfica

Ficha Bibliográfica	
Referencia	Aguilar, G. M., & C, T. C. H. (2007). <i>Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra</i> . Dialnet. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6299721
Propósito del documento consultado	Definir aspectos que se deben de tener al medir rendimientos de mano de obra.
Resumen de la información recopilada	
En el presente trabajo las siguientes características y parámetros a tomar en cuenta en la medición de rendimientos en campo: estudio de tiempos, muestreo de trabajo, validación de la técnica, características particulares de la obra y análisis de datos.	
Pertinencia de la información para la investigación	
La información de este documento resulta útil para la construcción de la guía para la estimación de rendimientos.	

Apéndice 5 Ficha bibliográfica

Ficha bibliográfica	
Referencia	Cuartas, L. (2017). <i>Determinación de las Variables que Afectan el Rendimiento de la Mano de Obra en la Construcción de Edificaciones en el Municipio de Armenia</i> . [Tesis de maestría, Universidad EAFIT]. https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/af1f49b5-4581-47d6-bb39-f73f95c449a9/content
Propósito del documento consultado	Determinar los factores clave para calcular los rendimientos de la mano de obra.
Resumen de la información recopilada	
Variables que identifican la generalidad de las actividades del proceso a medir en la obra • Cuadrilla • Programa SISO • Supervisión • Relación entre los trabajadores • Materiales • Complejidad de la obra • Condiciones del sitio	
Pertinencia de la información para la investigación	
Se identificaron una serie de aspectos que resultan útiles propiamente para la construcción de la herramienta para medir rendimientos, aunque principalmente son variables a considerar en análisis posteriores.	

Apéndice 6 Ficha bibliográfica

Ficha Bibliográfica	
Referencia	Aliaga, J. (2019). <i>ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA EN EL PROYECTO DE SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA POTABLE EN EL ANEXO DE CRUZ DE MAYO DEL DISTRITO DE ANDAMARCA, PROVINCIA DE CONCEPCIÓN – REGIÓN JUNÍN</i> [Universidad Peruana del Centro]. https://repositorio.upecen.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14127/178/AN%C3%81LISIS%20DEL%20RENDIMIENTO%20DE%20MANO%20DE%20OBR A.pdf?sequence=3&isAllowed=y
Propósito del documento consultado	Identificar aspectos a considerar para la estimación de rendimientos de mano de obra
Resumen de la información recopilada	
Método de recolección Información del personal de cada integrante de cuadrilla (altura, peso, edad, contextura) Información de la ubicación del proyecto (distrito, región, altitud, clima) Hora de inicio y final de la actividad, cantidad de trabajo realizado Comparan los resultados finales mediante gráfico de barras	
Pertinencia de la información para la investigación	
Se describe en profundidad tanto las características de los trabajadores como el entorno en el que se desenvuelven. Aunque contar con esta información más detallada puede ofrecer un análisis más completo, es necesario evaluar si es factible y realista obtener datos tan específicos sobre los trabajadores cada vez que se realicen mediciones de rendimiento.	