


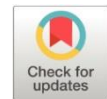


Propuesta de modelo matemático para calcular el rendimiento de mano de obra en mampostería de bloque. Caso: ciudad de Cuenca, parroquia Cañaribamba

Proposal of a mathematical model to calculate the performance of work command in block masonry. case: Cuenca city, Cañaribamba Parish

- ¹ Micaela Geovanna Coronel García  <https://orcid.org/0009-0004-8652-0329>
Maestría en Construcción con mención en Administración de la Construcción Sustentable, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
micaela.coronel.26@est.ucacue.edu.ec
- ² Carlos Julio Calle Castro  <https://orcid.org/0000-0002-6891-0030>
Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
cjcallec@ucacue.edu.ec
- ² Marco Ávila Calle  <https://orcid.org/0000-0002-2134-1432>
Maestría en Construcción con mención en Administración de la Construcción Sustentable, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador..
mavila@ucacue.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 15/12/2023

Revisado: 18/01/2024

Aceptado: 07/02/2024

Publicado: 05/03/2024

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i1.3.2938>

Cítese: Coronel García, M. G., Calle Castro, C. J., & Ávila Calle, M. (2024). Propuesta de modelo matemático para calcular el rendimiento de mano de obra en mampostería de bloque. Caso: ciudad de Cuenca, parroquia Cañaribamba. *ConcienciaDigital*, 7(1.3), 49-68. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v7i1.3.2938>



CONCIENCIA DIGITAL, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://concienciadigital.org>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec



Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons AttributionNonCommercialNoDerivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Palabras**claves:**

Rendimiento,
regresión lineal,
mano de obra,
mampostería.

Resumen

Introducción. La colocación de la mampostería de bloque emerge como una fase crítica en el proceso constructivo, donde la eficiencia y precisión influyen directamente en la duración y calidad del proyecto. Esta actividad, aunque aparentemente simple, conlleva una complejidad inherente que a menudo resulta en retrasos significativos en la ejecución de la obra. La necesidad de comprender y abordar los factores que contribuyen a estos retrasos es evidente, ya que su impacto no solo se refleja en términos de cronograma y presupuesto, sino también en la satisfacción del cliente. **Objetivo.** Proponer un modelo matemático para calcular el rendimiento de la mano de obra en la colocación de mampostería con bloques en la Parroquia Cañaribamba, Cuenca, Ecuador. **Metodología.** El diseño metodológico adoptado sigue una orientación relacional y descriptiva, involucrando la recopilación de datos de nueve obras mediante una ficha de observación que abarca tanto factores externos como internos. Utilizando estos datos, se llevó a cabo un análisis de regresión lineal mediante un programa estadístico. **Resultados.** Los resultados destacan que, individualmente, ningún factor analizado influye significativamente en el rendimiento laboral; sin embargo, la combinación de estos factores permite prever el rendimiento con una precisión del 93.3%. **Conclusión.** Se concluye que la regresión lineal emerge como una herramienta robusta para anticipar el rendimiento de cuadrillas de obreros en la Parroquia Cañaribamba, considerando la complejidad de factores tanto internos como externos en las obras. **Área de estudio general:** Ingeniería, Industria y Construcción **Área de estudio específica:** Administración de la Construcción

Keywords:

Performance,
linear
regression,
labor, masonry.

Abstract

Introduction. The placement of block masonry emerges as a critical phase in the construction process, where efficiency and accuracy directly influence the duration and quality of the project. This activity, although seemingly simple, carries an inherent complexity that often results in significant delays in the execution of the work. The need to understand and address the factors contributing to these delays is evident, as their impact is not only reflected in terms of schedule and budget, but also in client satisfaction. **Objective.** To propose a mathematical model to

calculate the labor performance in the placement of masonry with blocks in Cañaribamba Parish, Cuenca, Ecuador. **Methodology.** The methodological design adopted follows a relational and descriptive orientation, involving the collection of data from nine construction sites by means of an observation sheet that covers both external and internal factors. Using these data, a linear regression analysis was carried out using a statistical program. **Results.** The results highlight that, individually, none of the factors analyzed significantly influences job performance; however, the combination of these factors allows predicting performance with an accuracy of 93.3%. **Conclusion.** It is concluded that linear regression emerges as a robust tool to anticipate the performance of work crews in the Cañaribamba Parish, considering the complexity of both internal and external factors in the works.

Introducción

En la actualidad, el incremento de la competencia y las demandas cada vez más rigurosas en términos de calidad por parte de los consumidores han impulsado una evolución significativa en la gestión de proyectos constructivos (Jeremiah et al., 2019). Este desarrollo va más allá de simplemente lograr una ejecución de alta calidad, en la era moderna, la optimización de recursos se ha convertido en una prioridad para gerentes y administradores con el fin de generar valor y al mismo tiempo mitigar pérdidas potenciales en áreas clave como: tiempo, financiamiento y planificación en la industria de la construcción (Atencio et al., 2022).

Desde esta perspectiva, entre las herramientas esenciales a disposición de los administradores y gestores de construcción para la planificación y estimación de costos de operación, se encuentra el cálculo del rendimiento de la mano de obra. Este factor se establece como un determinante clave para lograr resultados gerenciales efectivos, asimismo, una precisa anticipación del rendimiento laboral es de suma importancia, ya que su aplicación incorrecta puede acarrear consecuencias desfavorables en términos de planificación, presupuesto, control de calidad y satisfacción del cliente (Ouyang et al., 2022).

En el mismo orden de ideas, en la industria de la construcción, existen varias actividades que se pueden considerar como: Actividades Críticas (AC), es decir, que tienen el potencial de generar grandes retrasos en obra si no son correctamente planificados y

ejecutados por personal eficiente (Yap et al., 2021). Entre estas AC se encuentra la colocación de mampostería de bloque que puede llegar a perjudicar los tiempos de ejecución de manera significativa si no son correctamente planificados (Xu et al., 2021). En el escenario dado, surgen algunas preguntas importantes: ¿Cuáles son los factores que ejercen un impacto perjudicial en el desempeño laboral de quienes intervienen en la colocación de mampostería de bloques? y ¿Es posible predecir el rendimiento de la mano de obra en la actividad de colocación de mampostería de bloque a través de un modelo matemático?

El objetivo principal de este estudio, es proponer un modelo matemático basado en la Regresión Lineal (RL), a través de la aplicación de instrumentos de recolección de datos en diferentes obras en la ciudad de Cuenca para identificar los factores que influyen de manera directa en el rendimiento de la mano de obra. La importancia de alcanzar este objetivo reside en su aporte al conocimiento integral dentro del ámbito de la construcción, particularmente en lo que respecta a los factores que influyen decisivamente en el desempeño de la mano de obra que se dedica a la colocación de bloques en la ciudad de Cuenca.

En este contexto, la utilización de una herramienta predictiva que incorpore los criterios antes mencionados conducirá a una mejor planificación de recursos y una mayor precisión en la proyección de los plazos de finalización del proyecto. El potencial de predecir el desempeño laboral utilizando estas características brinda a los gerentes la oportunidad de refinar sus estrategias con mayor precisión, reduciendo así posibles retrasos y maximizando la asignación de personas y recursos materiales. Es decir, el logro del objetivo planteado en esta investigación no sólo mejorará la progresión del conocimiento dentro del sector de la construcción, también proporcionará a los administradores un valioso instrumento para tomar decisiones bien informadas y formular planes estratégicos, maximizando así los resultados.

Esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Cuenca, específicamente en la Parroquia Cañaribamba, un sector que tiene las condiciones ideales para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación ya que se considera como un centro de expansión urbana continua y tiene varios proyectos de construcción en curso que incluyen a la colocación de mampostería de bloques como un eje central en la mayoría de proyectos.

La investigación se lleva a cabo en el contexto de nueve proyectos arquitectónicos distintos en la Parroquia Cañaribamba donde se están llevando a cabo las etapas iniciales de instalación de mampostería de bloques. Los proyectos antes mencionados fueron escogidos por estar ubicados en la zona de estudio en la fase de colocación de mampostería. La metodología de investigación empleada en este estudio es una combinación de líneas relacionales y descriptivas con un enfoque cuantitativo, que incorpora análisis estadístico y técnicas de regresión lineal. Este enfoque permitió

identificar tendencias entre variables cruciales y desarrollar modelos de predicción y recomendaciones destinadas a estandarizar y mejorar la eficiencia en los proyectos de construcción.

La Variable Dependiente (VD) de esta investigación es el Rendimiento de Mano de Obra (RMO) que se puede conceptualizar como el volumen de trabajo sobre unidad de tiempo (m²/hora) se obtiene mediante la recolección de datos obtenidos tanto de los trabajadores como de fuentes gubernamentales. Por otro lado, las Variables Independientes (VI) de esta investigación, son los factores que pueden influenciar en el RMO y fueron determinados a partir de la investigación de Cano y Duque (2000) tales como: el clima, tipo de actividad, equipamiento, supervisión y condiciones propias del trabajador. Los datos para la definición de las VI se determinarán a través de fichas de observación. El análisis de la interacción entre estas variables proporcionará información sobre los resultados de la colocación de bloques de mampostería en términos de rendimiento.

En el marco de lo expuesto, la presente investigación pretende calcular el rendimiento estándar en la colocación de la mampostería de bloque, para esto se realizaron análisis de correlación y se utilizó el método de regresión lineal para predecir o estimar dicho rendimiento en función de diferentes factores o variables explicativas. Se buscó proporcionar una herramienta que ayude a evaluar las probabilidades de alcanzar un alto rendimiento en los obreros en función de las variables independientes que afecta en el rendimiento de mano de obra de la colocación de la mampostería de bloque.

A continuación, se presenta el material teórico referencial que se utilizó para la elaboración de este documento que permitió caracterizar las variables bajo estudio:

Rendimiento de mano de obra

El RMO, se refiere a la capacidad de un trabajador o equipo para completar tareas en un período de tiempo específico. Esta medida, que frecuentemente se expresa en términos de producción por hora, día o semana, sirve como una evaluación básica de la efectividad y productividad de la fuerza laboral. Este indicador es más que un simple número; es fundamental para evaluar el desempeño y mejorar los procesos de trabajo. Al cuantificar la relación entre el trabajo completado y el tiempo invertido, las empresas pueden identificar áreas de fortaleza y oportunidades de optimización. Esto mejora la gestión de recursos y da como resultado mejores rendimientos laborales (Cock et al., 2022).

A lo mencionado, calcular el RMO es importante en la construcción por diversas razones. La primera ventaja es que permite a los directores de proyectos predecir cuánto trabajo pueden completar en un período de tiempo determinado, lo que facilita la planificación y programación del proyecto. En segundo lugar, al utilizar el cálculo del RMO para identificar cuellos de botella y puntos problemáticos en el proceso de construcción, los

administradores pueden tomar medidas para aumentar la productividad y la eficiencia. En tercer lugar, el cálculo del RMO puede ayudar a los gerentes a establecer metas alcanzables para el equipo de trabajo, aumentando el compromiso y la motivación de los empleados (Bartoschek y Kamenov, 2021).

Comprender los diversos factores que influyen en el RMO de la construcción tiene una importancia significativa, ya que permite a los gerentes de proyectos reconocer y resolver de manera efectiva cualquier inquietud que pueda estar impidiendo la productividad de los trabajadores. A través de una comprensión integral de los diversos factores que ejercen influencia en la productividad laboral, los gerentes de proyectos están capacitados para implementar medidas destinadas a mejorar la eficiencia de los trabajadores. Esto, a su vez, tiene el potencial de generar una reducción de costos y una elevación de la calidad general del trabajo. Además, mejorar el RMO puede conducir a una mayor ventaja competitiva para la empresa dentro del mercado y a una elevación de la satisfacción del cliente (Hamza et al., 2022).

Pero, ¿Cómo saber qué factores influyen el RMO? Para responder a este cuestionamiento, se puede utilizar algunos métodos de identificación de factores influyentes disponibles. En el caso de esta investigación se usa los criterios proporcionados por Cano y Duque (2000) quienes menciona dentro de su investigación que se puede determinar los factores anteriormente mencionados a través de 7 categorías que son:

1. En el ámbito de la economía existen diversos factores que influyen en la productividad. Estos factores abarcan la inflación, las tasas de interés, la disponibilidad de materiales y la competencia del mercado.
2. Dimensiones laborales: elementos relacionados con las condiciones de trabajo, abarcando aspectos como remuneración, seguridad social, capacitación y motivación.
3. El clima se refiere al conjunto de elementos ambientales que pueden afectar el desempeño de los trabajadores, abarcando factores como la temperatura, la humedad, las precipitaciones y la radiación solar.
4. Actividad: Factores relacionados con la actividad a realizar, incluido el nivel de dificultad, complejidad, duración e interconexión con otras actividades.
5. Equipo: Factores relativos a los equipos y herramientas empleados, abarcando aspectos como calidad, estado, suficiencia, mantenimiento y accesibilidad.
6. Supervisión: Este criterio abarca varios factores asociados con la supervisión y orientación brindada a las personas en su trabajo, incluida la calidad, cantidad, oportunidad y eficacia de la supervisión.
7. Los factores pertenecientes al trabajador abarcan varios aspectos, incluyendo su experiencia, nivel de habilidad, estado de salud, motivación y actitud.

Regresión lineal

La RL es una metodología estadística empleada para establecer un modelo matemático que representa la asociación entre una VD y una o más VI. El propósito de este método es hacer predicciones sobre el valor de la VD utilizando los valores de las VI. La RL se basa en el supuesto de que existe una asociación lineal entre las variables, lo que implica que las alteraciones en las VI van acompañadas de modificaciones proporcionales en la VD. El objetivo de la RL es identificar la línea de regresión óptima que minimice la diferencia entre los valores observados y los valores predichos. La línea de mejor ajuste se determina mediante la aplicación del método de mínimos cuadrados, cuyo objetivo es minimizar la suma de las diferencias al cuadrado entre los valores observados y los valores predichos (Maulud y Mohsin, 2020).

La utilización de la RL es un enfoque competente para evaluar la correlación entre una VD, como la productividad laboral, y múltiples variables independientes, como los factores que influyen en la productividad laboral. La utilización del análisis de regresión múltiple permite evaluar el impacto de VI individuales sobre la VD, al tiempo que tiene en cuenta la influencia potencial de otras variables independientes. Los coeficientes de regresión estandarizados se emplean para determinar el grado de influencia que cada factor ejerce sobre la productividad laboral (Hai y Tam, 2019).

La RL permite a los administradores hacer predicciones sobre valores de precisión futuros mediante la creación de un modelo de la relación entre variables. La importancia de esto radica en su capacidad para permitir a las organizaciones tomar decisiones bien informadas con respecto a la mejora de su eficacia gerencial. Por ejemplo, en el caso de que el análisis de regresión lineal indique una asociación significativa entre la precisión de la entrega de un proyecto y la gestión de objetivos, una organización puede implementar medidas para mejorar sus procedimientos de gestión de objetivos, lo que en consecuencia conducirá a una mejora en la precisión de la entrega de sus objetivos (Gata et al., 2019).

Metodología

Diseño

La presente investigación sigue un diseño metodológico enmarcado en la línea de investigación de tipo relacional - descriptivo que se centra en establecer patrones entre variables clave que afectan el rendimiento de la mano de obra en la colocación de mampostería de bloque, esto se desarrolló a través de análisis estadísticos basados en la regresión lineal, donde se pudo establecer modelos predictivos y recomendaciones para la predicción del posible rendimiento que se puede obtener de los obreros y la mejora de la eficiencia en este ámbito. Existen dos enfoques del problema: El primero; es el análisis

descriptivo mediante el cual se estudian las causas o factores que afectan al rendimiento real de mamposterías de bloque y las posibles situaciones que las potencian. El segundo; es el análisis relacional, objeto de estudio de este trabajo, cuya finalidad es analizar la correlación existente entre las VI y sus indicadores

El enfoque metodológico que se utilizó es el cuantitativo, puesto que los datos que se van a recolectar de las obras, así como su posterior análisis se van a realizar a través de un programa estadístico de información que permitió obtener relaciones numéricas entre las variables. Esta investigación utiliza 4 etapas metodológicas que se mencionan a continuación:

Definición de variables

Para realizar la recopilación de datos es importante iniciar con la operacionalización de las variables de estudio, de esta manera se puede definir de manera específica qué se pretende medir y como se planea realizar estas mediciones. En el caso específico de esta investigación, se mide una VD que es el RMO a través de diferentes VI identificados en la referenciación teórica y sus indicadores que están representados con una transposición numérica (valores equivalentes desde el 1-5) que se presentan a continuación en la tabla 1.

Tabla 1
Operacionalización de variables

VI	Indicadores	1	2	3	4	5
Clima	Tiempo	Tormenta	Aguacero	Llovizna	Nublado	Despejado
	Temperatura	Muy Caluroso/MuyFrio	N/A	Caluroso/Frio	N/A	Fresco
	Suelo	Pantanero	Charcos	Piso húmedo	Piso seco	Piso duro
	Cubierta	Sol	N/A	Normal	N/A	Sombra
	Dificultad	Difícil	N/A	Normal	N/A	Fácil
	Peligro	Peligrosa	Riesgosa	Normal	Moderado	Ningún peligro
Actividad	Interrupciones	≥ 1 hora	15≥60 min	5≥15 min	0≥5 min	Ninguna
	Orden y aseo	Difícil acceso	Escombros	Transitable	Poca suciedad	Aseo total y orden
	Actividades precedentes	Repetir	Mucho resane	Poco resane	Aceptable	Perfecta
	Tipicidad	De 1 a 5	De 5 a 10	De 10 a 15	De 15 a 20	Más de 20
Equipamiento	Tajo (Espacio de trabajo)	Muy estrecho	Estrecho	Normal	Amplio	Muy amplio
	Herramienta	Inadecuada	N/A	Adecuada	N/A	Especial
	Equipo	Inadecuada	N/A	Adecuada	N/A	Especial
	Mantenimiento	Nulo	N/A	Aceptable	N/A	Bueno
	Suministro	Nunca	N/A	A veces	N/A	Siempre
	Elemento de protección	Ninguno	N/A	Casi todos	N/A	Todos

Tabla 1

Operacionalización de variables (continuación)

VI	Indicadores	1	2	3	4	5
Clima	Tiempo	Tormenta	Aguacero	Llovizna	Nublado	Despejado
	Temperatura	Muy Caluroso/MuyFrio	N/A	Caluroso/Frio	N/A	Fresco
Supervisión	Dirección (criterios de aceptación)	Ninguno	Informales	Verbales	Verbales previos	Bajo escrito
	Instrucción	Ninguna	N/A	Verbal - requerida	N/A	Documento requerido
	Seguimiento	Sin revisión	N/A	Revisión eventual	N/A	Siempre
	Supervisor (Maestro)	Malo	N/A	Regular	N/A	Bueno
	Aseguramiento de Calidad	No existe	Esfuerzos aislados	Inventoría	En proceso	Certificado ISO
Trabajador	Situación personal	Neurótico	Triste	Normal	Buena	Excelente
	Ritmo de trabajo	Lento	N/A	Normal	N/A	Rápido
	Salud	Enfermo	N/A	Normal	N/A	Excelente
	Habilidad	Inexperto	N/A	Hábil	N/A	Experto
	Capacitación	Ninguna	Aprendiz	Requerida	Experto	Certificado
Laborales	Contrato	Administración	N/A	N/A	N/A	Subcontratación
	Sindicato	Si	N/A	N/A	N/A	No
	Incentivos	No	N/A	N/A	N/A	Si
	Salario	SMLV	N/A	N/A	N/A	≥SMLV
	Seguridad social	Si	N/A	N/A	N/A	No

Nota. Adaptado de Cano y Duque (2000)

Elaborado por: Autores

Diseño de formulario de recolección de datos

Se creó una ficha de observación que fue aplicada en nueve obras distintas que permitió recopilar información sobre las variables identificadas en la operacionalización de las variables. La ficha de observación estuvo conformada por 26 opciones de respuesta que están alineadas con los indicadores de cada VI.

Definición de universo y muestra

El universo de estudio de esta investigación se enfoca en los proyectos arquitectónicos en la fase de colocación de mampostería en Cuenca, Ecuador, con la población objetivo constituida por las 21 construcciones en ejecución ubicadas en la parroquia Cañaribamba. La determinación de la muestra se llevó a cabo mediante la aplicación de la técnica de muestreo por conveniencia, la cual implica la selección no aleatoria de elementos basada

en la accesibilidad y conveniencia del investigador, en contraposición a un método de selección aleatoria más riguroso (Hernández, 2021). En este contexto, se eligió una muestra de seis proyectos arquitectónicos en proceso de colocación de mampostería, excluyendo aquellos en los que dicha fase ya había sido concluida. Para la recolección de datos de los obreros en esta muestra se utilizó a la totalidad de la mano de obra, es decir: 49 obreros.

Análisis de los resultados

El análisis de los datos se inició con pruebas de normalidad para cada factor, utilizando un programa estadístico que aplicó la prueba de Shapiro-Wilk (SW). Esta prueba proporcionó un valor P, el cual indica la homogeneidad de los datos y se interpreta según un umbral estándar de 0.05. Si el valor P resultante de la prueba SW es superior a 0.05, se considera que el factor sigue una distribución normal. Por otro lado, si el valor P es menor a este umbral, se concluye que los datos no cumplen con los criterios de normalidad.

Tras el análisis de normalidad, se optó por un método de correlación entre los distintos factores presentes en la tabla 1 y el rendimiento de los obreros en cada obra. En este caso particular, se empleó el análisis de Kruskal-Wallis (KW), el cual no requiere supuestos de normalidad para establecer correlaciones. El análisis de KW evalúa el nivel de asociación a través de la prueba de chi-cuadrado (χ^2), los grados de libertad (gl) y el nivel de significancia (p), proporcionando así una medida robusta de la relación entre variables sin depender de la distribución de los datos.

Tras el análisis correlacional, se procede con la construcción del modelo matemático basado en una regresión lineal múltiple. Esta regresión se divide en dos etapas distintas. La primera etapa involucra la utilización de medidas de ajuste que revelan la efectividad del modelo. Esto se logra mediante el coeficiente de correlación lineal (R) en conjunto con el coeficiente de determinación (R^2), los cuales indican la fuerza y representatividad de las variables en el modelo.

Además, se han incorporado al análisis métricas esenciales como el AIC (Criterio de información de Akaike), el BIC (Criterio de información bayesiano) y el RMSE (Error cuadrático medio). El AIC y el BIC tienen funciones distintas: facilitan la comparación de modelos al tener en cuenta tanto la bondad del ajuste como la complejidad, mientras que el RMSE cuantifica la precisión del modelo midiendo las discrepancias entre los valores observados y anticipados.

En la segunda etapa de la regresión lineal, se calculan los coeficientes del modelo. Estos coeficientes se pueden clasificar en tres tipos principales, uno de los cuales es el Coeficiente Estimador (CE) que representa el vínculo entre las variables independientes

y dependientes. El coeficiente EE cuantifica la precisión de esta estimación, mientras que el coeficiente t evalúa el nivel de desviación de este valor respecto de cero. El coeficiente p cuantifica la probabilidad de observar esta conexión si no existe una relación genuina entre las variables

Resultados

La primera prueba utilizada en los datos recolectados fue Shapiro-Wilk para comprobar supuestos de normalidad, evidenciando valores $p \leq 0.001$ en todos los conjuntos de datos de los factores, por lo cual, no se tienen certeza o evidencia estadística que la información siga una distribución y homogeneidad normal. Ya que, la distribución no cumple con criterios de normalidad para realizar la correlación se usó el análisis de Kruskal-Wallis para los grupos de datos. Estos resultados se muestran en la tabla 2.

El análisis de Kruskal-Wallis arrojó hallazgos estadísticamente significativos para varios factores que impactan el desempeño laboral de los trabajadores. Los datos analizados demuestran una notable consistencia en su importancia estadística, como lo indican los valores altamente significativos de Chi-cuadrado (χ^2) ($p < .001$) en todas las categorías estudiadas. Varios factores, incluidas variables físicas como la temperatura, el suelo y la cobertura, así como elementos relacionados con el entorno laboral, como la gestión, la capacitación y la supervisión, impactaron significativamente la eficiencia del trabajo. Este análisis examina la relación entre diversos factores y la productividad en las obras arquitectónicas. Enfatiza la naturaleza compleja del desempeño laboral y proporciona una base sólida para implementar estrategias de mejora en entornos laborales similares.

Tabla 2

Resultados del análisis de Kruskal-Wallis para factores que afectan rendimiento laboral

Variable	χ^2	gl	p
Tiempo	24.4	5	< .001
Temperatura	29.9	5	< .001
Suelo	35.4	5	< .001
Cubierta	26.2	5	< .001
Dificultad	25.5	5	< .001
Peligro	38.1	5	< .001
Continuidad	31.4	5	< .001
Orden y aseo	31.5	5	< .001
Base de trabajo	33.6	5	< .001
Tipicidad	35.3	5	< .001
Tajo	36.5	5	< .001
Herramienta	29.1	5	< .001
Equipo	22.3	5	< .001

Tabla 2

Resultados del análisis de Kruskal-Wallis para factores que afectan rendimiento laboral (continuación)

Variable	χ^2	gl	p
Mantenimiento	22.5	5	< .001
Suministro	26.6	5	< .001
Elemento de protección	38.2	5	< .001
Dirección	38.0	5	< .001
Instrucción	33.3	5	< .001
Seguimiento	33.3	5	< .001
Calif. Maestro	27.5	5	< .001
Aserg. Calidad	33.3	5	< .001
Sit. Personal	27.5	5	< .001
Cansancio	21.2	5	< .001
Habilidad	38.0	5	< .001
Conocimiento	38.0	5	< .001
Capacitación	27.5	5	< .001

Luego de realizar el análisis de KW se procede con la conformación del modelo matemático basado en la regresión lineal múltiple. En este caso, el primer resultado evidenciado por el programa estadístico fueron las medidas de ajuste del modelo. Como se puede observar en la tabla 3. Los datos muestran una fuerte correlación ($R = 0,968$) y un alto nivel de previsibilidad (R^2 ajustado = 0,937), lo que sugiere que casi el 93,3% de la variación en el desempeño de la tarea puede atribuirse a estas variables. La presencia de valores negativos tanto en AIC (-99.1) como en BIC (-73.9) indica un ajuste muy favorable del modelo a los datos observados. Además, el valor bajo del error cuadrático medio (RMSE) de 0,0255 resalta la alta precisión del modelo para predecir el desempeño laboral utilizando estas características.

Tabla 3

Medidas de ajuste del modelo

Modelo	R	R² corregida	AIC	BIC	RMSE
<i>1</i>	<i>0.968</i>	<i>0.933</i>	<i>-99.1</i>	<i>-73.9</i>	<i>0.0255</i>

El segundo hallazgo destacado, derivado del análisis mediante regresión lineal, se centra en los coeficientes del modelo. Al examinar la Tabla 4, se observa que las variables independientes, evaluadas de forma individual, no exhiben una correlación significativa con el rendimiento de los obreros. Este resultado se sustenta en los valores p calculados, los cuales superan el umbral de 0.05. En consecuencia, se infiere que, a nivel individual,

estas variables no poseen una influencia estadísticamente significativa en el rendimiento laboral de los obreros en la actividad estudiada.

En relación con los estimadores, se destaca la presencia de dos direcciones distintas para VI, según lo establecido por el modelo. Se observa que las VI de suelo, cubierta, peligro, actividad precedente, tipicidad, tajo, suministro, seguimiento y supervisión muestran estimadores negativos, indicando una relación inversa con el rendimiento laboral. Es decir, un incremento en estas variables se asocia con una disminución en el rendimiento. Por otro lado, las restantes variables presentan estimadores positivos, señalando una relación proporcional directa con el rendimiento, donde un aumento en estas VI se relaciona con un incremento en el rendimiento laboral.

Tabla 4

Coeficientes del Modelo - Rendimiento

Predictor	Estimador	EE	t	p
Constante	1.7887	1.2793	1.398	0.185
Tiempo	0.0863	0.0849	1.016	0.328
Temperatura	0.1174	0.1100	1.067	0.305
Suelo	-0.6763	0.8077	-0.837	0.418
Cubierta	-0.2479	0.1385	-1.790	0.097
Dificultad	0.4917	0.6010	0.818	0.428
Peligro	-0.0212	0.1412	-0.150	0.883
Interrupciones	0.8660	0.9334	0.928	0.370
Orden y aseo	0.0400	0.0773	0.517	0.614
Actividades precedentes	-0.2083	0.1724	-1.208	0.248
Tipicidad	-0.1278	0.0635	-2.012	0.065
Tajo (Espacio de trabajo)	-0.5193	0.7314	-0.710	0.490
Herramienta	0.3254	0.2292	1.420	0.179
Equipo	0.1263	0.0933	1.354	0.199
Suministro	-0.0177	0.0542	-0.327	0.749
Seguimiento	-0.0256	0.0411	-0.624	0.543
Supervisor (Maestro)	-0.0312	0.0452	-0.689	0.503

Una vez se calcularon los coeficientes se procede a usar el coeficiente estimador para armar el modelo a través de la fórmula general de la regresión lineal múltiple, y queda de la siguiente manera:

$$Y = 1.7887 + 0.0863*tiempo + 0.1174*temperatura - 0.6763*suelo - 0.2479*cubierta + 0.4917*dificultad - 0.0212*peligro + 0.8660*Interrupciones + 0.0400*Orden y aseo - 0.2083*actividades precedentes - 0.1278*tipicidad - 0.5193*tajo + 0.3254*herramienta + 0.1263*equipo - 0.0177*suministro - 0.0256*seguimiento - 0.0312*supervisor$$

Con el propósito de validar la efectividad del modelo propuesto, se lleva a cabo una comparación entre los rendimientos promedio reales alcanzados por los obreros, el rendimiento teórico proporcionado por el Gad Autónomo Descentralizado (GAD) de Cuenca que es de 1.25 m²/hora y los rendimientos determinados mediante la aplicación de la fórmula de regresión lineal múltiple presentada previamente. Esta comparación se realizó para cada una de las obras analizadas y se presenta a continuación en la tabla 5. Como se evidencia en la tabla, las condiciones climáticas, la actividad laboral, el equipamiento disponible, la supervisión, las capacidades individuales del trabajador y las condiciones laborales variaron entre las distintas obras. Esta variabilidad se reflejó en los niveles de rendimiento obtenidos, los cuales no fueron uniformes en todos los casos.

En la obra 1, los rendimientos oscilaron entre 1,22 y 1,27 m²/hora, mientras que en la obra 2 la variación fue entre 1,20 y 1,27 m²/hora. Por otro lado, en la obra 3, los rendimientos variaron significativamente, entre 0,98 y 1,25 m²/hora, en la obra 4 la variación fue entre 0,99 y 1,10 m²/hora, en la obra 5 se observó una variación entre 1,01 y 1,15 m²/hora, en la obra 6, oscilaron entre 1,00 y 1,05 m²/hora. Por su parte, en la obra 7 la variación fue entre 1,06 y 1,27 m²/hora, en la obra 8 entre 1,22 y 1,27 m²/hora y en la obra 9 entre 1,10 y 1,27.

Estos datos revelan dos aspectos importantes. En primer lugar, que solo en 12 casos los rendimientos de los obreros alcanzaron o superaron el rendimiento teórico estipulado por el GAD de Cuenca, que es de 1,25 m²/hora, mientras que en los demás casos los rendimientos estuvieron por debajo de esta cifra. En segundo lugar, se observa que el rendimiento de los obreros no sigue una tendencia lineal, y que incluso dentro de una misma edificación pueden existir variaciones significativas en el rendimiento.

Tabla 5

Comparación de rendimientos de obreros en función de indicadores

Obra	Obrero	Tiempo	Temperatura	Suelo	Cubierta	Dificultad	Peligro	Interrupciones	Orden y aseo	Actividades precedentes	Tipicidad	Tajo (Espacio de trabajo)	Herramienta	Equipo	Suministro	Seguimiento	Supervisor (Maestro)	Rendimiento real	Datos de rendimiento calculado	Rendimiento del GAD de Cuenca
1	1	4	5	4	4	3	2	4	3	4	3	5	3	3	5	4	4	1,27	1,26	1,25

Tabla 5

Comparación de rendimientos de obreros en función de indicadores (continuación)

Obra	Obrero	Tiempo	Temperatura	Suelo	Cubierta	Dificultad	Peligro	Interrupciones	Orden y aseo	Actividades precedentes	Tipicidad	Tajo (Espacio de trabajo)	Herramienta	Equipo	Suministro	Seguimiento	Supervisor (Maestro)	Rendimiento real	Datos de rendimiento calculado	Rendimiento del GAD de Cuenca
2	2	5	4	4	5	2	3	5	3	5	3	5	3	4	5	4	4	1,22	1,25	1,25
	3	5	4	4	4	3	2	4	4	5	4	5	4	3	5	5	4	1,22	1,23	1,25
	4	4	4	5	4	2	3	5	3	5	3	4	3	4	4	4	5	1,25	1,25	1,25
	5	5	4	4	4	4	3	2	4	3	4	3	5	3	5	5	4	1,22	1,21	1,25
	6	4	4	5	5	5	3	2	4	3	4	3	4	4	4	4	4	1,27	1,21	1,25
	1	4	4	4	5	3	2	4	4	4	4	3	5	4	3	5	5	1,21	1,21	1,25
3	2	5	4	5	4	2	3	5	3	5	3	4	3	3	4	4	5	1,21	1,21	1,25
	3	5	4	4	4	3	2	4	3	4	3	5	3	3	5	5	4	1,20	1,21	1,25
	4	4	5	4	4	3	2	4	3	4	3	5	3	3	5	4	4	1,26	1,26	1,25
	5	5	4	4	4	4	3	2	4	4	5	4	5	4	3	5	5	1,25	1,23	1,25
	6	4	5	4	4	4	3	2	4	3	4	3	5	3	3	5	4	1,27	1,26	1,25
	1	5	4	4	5	2	3	5	3	5	3	5	3	4	5	4	4	1,25	1,25	1,25
4	2	3	4	3	3	2	1	3	2	3	2	4	2	2	4	4	3	1,07	1,06	1,25
	3	4	3	3	4	1	2	4	2	4	2	4	2	3	4	3	3	1,06	1,08	1,25
	4	4	3	3	3	2	1	3	3	4	3	4	3	2	4	4	3	1,07	1,06	1,25
	5	4	3	3	2	1	3	2	3	2	4	2	2	3	3	3	4	1,05	1,05	1,25
	6	3	3	4	4	2	1	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	0,98	1,03	1,25
	1	4	3	4	3	1	2	4	2	4	2	3	2	2	2	3	4	1,00	1,05	1,25
5	2	4	3	4	3	4	3	2	1	4	2	3	2	4	2	4	3	0,99	0,99	1,25
	3	4	3	3	4	1	2	4	2	4	2	4	2	3	4	3	4	1,05	1,05	1,25
	4	4	3	4	4	2	1	4	3	4	3	4	3	2	4	4	3	0,99	1,00	1,25
	5	3	3	4	4	2	1	4	2	4	2	4	3	3	4	4	4	1,10	1,10	1,25
	6	4	3	4	4	2	1	4	3	4	2	4	3	2	4	4	4	1,10	1,10	1,25
	1	4	3	3	4	1	2	4	2	4	2	4	2	3	4	3	3	1,15	1,08	1,25
5	2	4	3	4	3	1	2	4	2	4	2	3	2	2	2	3	4	1,10	1,05	1,25
	3	3	4	3	3	2	1	3	2	3	2	4	2	2	4	4	3	1,05	1,06	1,25
5	4	4	3	4	4	2	1	4	3	4	3	4	3	2	4	4	3	1,01	1,00	1,25

Tabla 5

Comparación de rendimientos de obreros en función de indicadores (continuación)

Obra	Obrero	Tiempo	Temperatura	Suelo	Cubierta	Dificultad	Peligro	Interrupciones	Orden y aseo	Actividades precedentes	Tipicidad	Tajo (Espacio de trabajo)	Herramienta	Equipo	Suministro	Seguimiento	Supervisor (Maestro)	Rendimiento real	Datos de rendimiento calculado	Rendimiento del GAD de Cuenca
6	5	4	3	4	4	2	1	4	3	4	3	4	3	2	4	4	3	1,01	1,00	1,25
	1	3	4	3	3	2	1	3	2	3	2	4	2	2	4	4	3	1,05	1,06	1,25
	2	4	3	3	3	2	1	3	3	4	3	4	3	2	4	4	3	1,05	1,06	1,25
	3	4	3	3	2	1	3	2	3	2	4	2	2	3	3	3	4	1,05	1,05	1,25
	4	3	3	4	4	2	1	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	1,00	1,03	1,25
	5	4	3	4	3	1	2	4	2	4	2	3	2	2	2	3	4	1,00	1,05	1,25
7	6	4	3	4	3	4	3	2	1	4	2	3	2	4	2	4	3	1,00	0,99	1,25
	1	5	4	4	4	3	2	4	4	5	4	5	4	3	5	5	4	1,25	1,23	1,25
	2	4	5	4	4	3	2	4	3	4	3	5	3	3	5	4	4	1,27	1,26	1,25
	3	5	4	4	5	2	3	5	3	5	3	5	3	4	5	4	4	1,25	1,25	1,25
	4	3	4	3	3	2	1	3	2	3	2	4	2	2	4	4	3	1,07	1,06	1,25
	5	4	3	3	4	1	2	4	2	4	2	4	2	3	4	3	3	1,06	1,08	1,25
8	6	4	3	3	3	2	1	3	3	4	3	4	3	2	4	4	3	1,07	1,06	1,25
	1	4	5	4	4	3	2	4	3	4	3	5	3	3	5	4	4	1,27	1,26	1,25
	2	5	4	4	5	2	3	5	3	5	3	5	3	4	5	4	4	1,22	1,22	1,25
	3	5	4	4	4	3	2	4	4	5	4	5	4	3	5	5	4	1,22	1,23	1,25
9	4	4	4	5	4	2	3	5	3	5	3	4	3	4	4	4	5	1,25	1,25	1,25
	1	5	4	4	4	3	2	4	3	4	3	5	3	3	5	5	4	1,22	1,21	1,25
	2	4	4	5	5	3	2	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	1,27	1,21	1,25
	3	4	4	4	5	3	2	4	4	4	3	5	4	3	5	5	5	1,21	1,21	1,25
	4	3	3	4	4	2	1	4	2	4	2	4	3	3	4	4	4	1,10	1,10	1,25

Para ilustrar de manera más efectiva las fluctuaciones en los rendimientos de los obreros, se presenta en la figura 1 una representación gráfica que compara los rendimientos reales de los obreros, el rendimiento teórico establecido por el GAD de Cuenca y el rendimiento calculado mediante el modelo matemático.

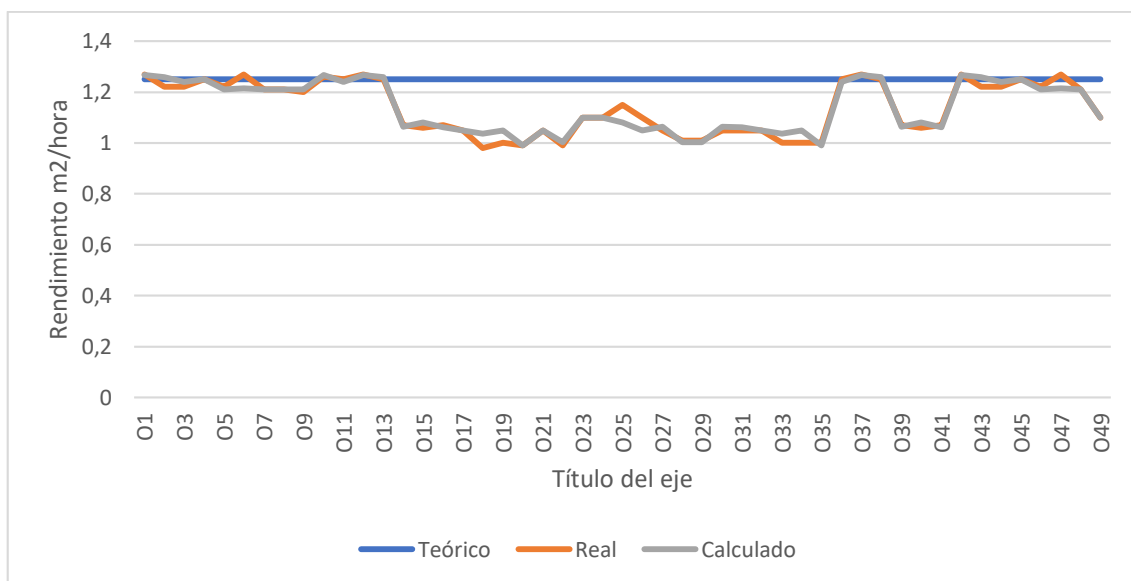
Como se puede observar, el rendimiento real de los trabajadores no sigue una tendencia lineal, sino que fluctúa notablemente y en muchas ocasiones se sitúa por debajo del

rendimiento esperado. Esto sugiere que, si un administrador de obra basa sus planificaciones únicamente en el rendimiento promedio teórico, es probable que se enfrenten a retrasos o incumplimientos en los plazos de entrega.

En contraste, el rendimiento calculado mediante el modelo matemático se ajusta de manera satisfactoria a estas variaciones. Esto proporciona un promedio más realista del rendimiento que se puede esperar, teniendo en cuenta las diversas condiciones tanto externas como internas que afectan a los trabajadores.

Figura 1

Comparación rendimientos promedios reales y teóricos de obra 1



Conclusiones

- Al explorar las correlaciones individuales entre las variables independientes en este estudio, se constató que ningún factor analizado ejerce, por sí solo, una influencia significativa en el rendimiento laboral. No obstante, la conjunción de estos factores permite prever el rendimiento de un trabajador con una precisión de hasta el 93.3% según el análisis estadístico realizado (R^2 corregido). La similitud entre el rendimiento teórico estimado y el rendimiento promedio real de los obreros respalda la efectividad de la regresión lineal para anticipar estos rendimientos en función de los diversos factores evaluados.
- El modelo matemático derivado de la regresión lineal, presentado en esta investigación, se revela como una herramienta potente para predecir el rendimiento de las cuadrillas de obreros en la Parroquia Cañaribamba, considerando tanto factores externos como internos de la obra. Esta aplicación

podría resultar en la optimización significativa de los tiempos de ejecución y la reducción de los costos asociados a retrasos e incumplimientos de plazos en proyectos de construcción. Este modelo se puede extrapolar a otras parroquias de Cuenca que tengan un contexto similar y condiciones semejantes a las presentadas en este documento.

Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses

Agradecimiento

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestrías en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente, y Tecnología(CAT), y Sistemas embebidos y visión artificial en ciencias, Arquitecturas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

Referencias bibliográficas

- Atencio, E., Bustos, G., y Mancini, M. (2022). Enterprise Architecture Approach for Project Management and Project-Based Organizations: A Review. *Sustainability*, 14. <https://doi.org/10.3390/su14169801>
- Bartoschek, P., y Kamenov, F. (2021). *Labor Productivity Influence in the Construction Industry* [masterThesis, Jonkoping University]. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1560486/FULLTEXT01.pdf>
- Cano R; Duque A. (2000). Trabajo de investigación. SENA-CAMACOL. Medellín.
- Cock, J., Prager, S., Meinke, H., y Echeverria, R. (2022). Labour productivity: The forgotten yield gap. *Agricultural Systems*, 201, 103452. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103452>
- Gata, W., Novitasari, H. B., Nurfalah, R., Hernawati, R., y Shidiq, M. J. (2019). Analysis of Regression Algorithm to Predict Administration, Production, and Delivery to Accuracy of Delivery of Products in Cosmetic Industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 662(7), 072006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/662/7/072006>
- Hai, D., y Tam, N. (2019). Application of the Regression Model for Evaluating Factors Affecting Construction Workers' Labor Productivity in Vietnam. *The Open*

Construction and Building Technology Journal, 13, 353-362.
<https://doi.org/10.2174/1874836801913010353>

Hamza, M., Shahid, S., Bin Hainin, M. R., y Nashwan, M. S. (2022). Construction labour productivity: Review of factors identified. *International Journal of Construction Management*, 22(3), 413-425.
<https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1627503>

Hernández González, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstractypid=S0864-21252021000300002yln=esynrm=isoytln=es

Jeremiah, M., Kabeyi, B., y Kabeyi, M. (2019). Evolution of Project Management, Monitoring and Evaluation, with Historical Events and Projects that Have Shaped the Development of Project Management as a Profession. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 8, 63-79.
<https://doi.org/10.21275/ART20202078>

Maulud, D., y Mohsin Abdulazeez, A. (2020). A Review on Linear Regression Comprehensive in Machine Learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 1, 140-147. <https://doi.org/10.38094/jastt1457>

Ouyang, T., Liu, F., y Huang, B. (2022). Dynamic econometric analysis on influencing factors of production efficiency in construction industry of Guangxi province in China. *Scientific Reports*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22374-y>

Xu, C., Liu, J., Li, S., Wu, Z., y Chen, Y. F. (2021). Optimal brick layout of masonry walls based on intelligent evolutionary algorithm and building information modeling. *Automation in Construction*, 129, 103824.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103824>

Yap, J. B. H., Goay, P. L., Woon, Y. B., y Skitmore, M. (2021). Revisiting critical delay factors for construction: Analysing projects in Malaysia. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 1717-1729. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.11.021>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.



Indexaciones

