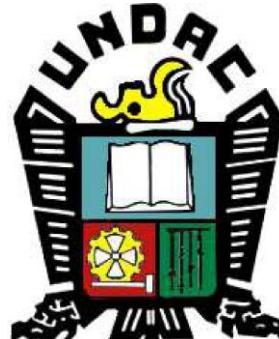


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

**Análisis de los rendimientos de las partidas de asentado de
unidades de albañilería y tarajeo en obras de construcción civil en
Cerro de Pasco, 2025**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Lenin Ciro CASTAÑEDA BENAVIDES

Asesor:

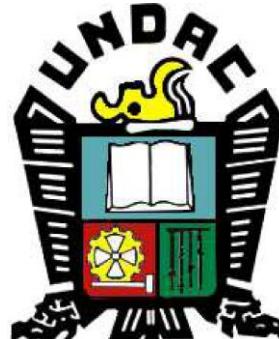
Ing. Paul Mirko RODRIGUEZ ROJAS

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

**Análisis de los rendimientos de las partidas de asentado de
unidades de albañilería y tarajeo en obras de construcción civil en
Cerro de Pasco, 2025**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Jose German RAMIREZ MEDRANO
PRESIDENTE

Mg. Fredy Luis PALMA FERNANDEZ
MIEMBRO

Mg. Isaac Neil Ubaldo CORNELIO MUÑOZ
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 357-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23º del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Análisis de los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de
albañilería y tarajeo en obras de construcción civil en Cerro de Pasco, 2025**

Apellidos y nombres del tesista

Bach. Lenin Ciro CASTAÑEDA BENAVIDES

Apellidos y nombres del Asesor:

Ing. Paul Mirko RODRIGUEZ ROJAS

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Civil

Índice de Similitud

2 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 4 de diciembre del 2025



firmado digitalmente por: PALOMINO
ISIDRO Rubén Estigar FAU
20154005048, nro:
Méjico. Soy el autor del documento.
Fecha: 04-12-2025 14:20:42 -05:00

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, por enseñarme con el ejemplo la importancia del esfuerzo, la responsabilidad y la humildad.

Gracias por creer en mí incluso en los momentos en que yo dudaba.

A mi familia, por su apoyo constante y por ser mi refugio emocional a lo largo de este camino por su paciencia, compañía y palabras de aliento en los días más difíciles.

A todos mis amigos verdaderos, por estar presentes, por sus consejos, su humor y su amistad sincera.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por darme la fuerza y salud necesarias para alcanzar esta meta.

A mi asesor de Tesis por su orientación, paciencia y experiencia académica, que fueron fundamentales para realización de este trabajo.

A los docentes de la carrera ingeniería Civil, por compartir sus conocimientos y fomentar en mí el pensamiento crítico y la pasión por aprender.

Y, sobre todo, gracias a quienes, de una u otra manera, aportaron a esta etapa de mi vida con su ayuda, consejo o palabra oportuna. Esta tesis no habría sido posible sin ustedes

RESUMEN

La investigación cuantificó los rendimientos reales de las partidas de albañilería y tarajeo en cinco obras ejecutadas entre enero y septiembre de 2024 en Cerro de Pasco, contrastándolos con los valores teóricos empleados en los expedientes técnicos. Se aplicó un diseño descriptivo-correlacional con observación directa, *work sampling* y medición climática, generando 1 238 registros de rendimiento neto y 186 lecturas ambientales. El análisis estadístico empezó con estadística descriptiva y coeficientes bivariados; continuó con un modelo de regresión múltiple que incorporó temperatura, precipitación, humedad, pendiente y distancia de acarreo, y concluyó con pruebas t pareadas y ANOVA. Los resultados muestran que la precipitación y la humedad, junto con la logística de traslado de materiales en pendientes > 8 %, reducen de forma significativa la productividad ($R^2 = 0,46$ en albañilería y 0,52 en tarajeo; $p < 0,01$). Los rendimientos reales difieren de los valores CAPECO en -6 % a -13 % para albañilería y -80 % a -82 % para tarajeo, con tamaños de efecto muy altos. A partir de los coeficientes climáticos-logísticos y de los factores de eficiencia observados (FE medio 0,73 y 0,68), se construyó una ecuación de ajuste que, al aplicarse, redujo en 44 % la brecha entre el rendimiento teórico y el real, validándose con $t = -2,51$; $p = 0,033$. El estudio concluye que los parámetros nacionales subestiman de manera sistemática las horas-hombre necesarias en altura y propone multiplicadores de 0,60–0,65 para albañilería y 0,50–0,65 para tarajeo, así como holguras climáticas de 10 % en los cronogramas. Estas evidencias ofrecen una base operativa para redimensionar costos y plazos en futuros expedientes de construcción en zonas altoandinas.

Palabras Clave: Rendimiento, Albañilería, Tarajeo

ABSTRACT

The research quantified the actual yields of masonry and plastering items in five projects executed between January and September 2024 in Cerro de Pasco, comparing them with the theoretical values used in the technical files. A descriptive-correlational design was applied with direct observation, work sampling, and climate measurement, generating 1,238 net yield records and 186 environmental readings. The statistical analysis began with descriptive statistics and bivariate coefficients; it continued with a multiple regression model that incorporated temperature, precipitation, humidity, slope, and hauling distance, and concluded with paired t-tests and ANOVA. The results show that precipitation and humidity, along with the logistics of transporting materials on slopes >8%, significantly reduce productivity ($R^2 = 0.46$ in masonry and 0.52 in plastering; $p < 0.01$). Actual yields differ from CAPECO values by -6% to -13% for masonry and -80% to -82% for plastering, with very high effect sizes. Based on the climatic-logistic coefficients and the observed efficiency factors (mean FE 0.73 and 0.68), an adjustment equation was constructed that, when applied, reduced the gap between theoretical and actual yields by 44%, validating with $t = -2.51$; $p = 0.033$. The study concludes that the national parameters systematically underestimate the man-hours required at height and proposes multipliers of 0.60–0.65 for masonry and 0.50–0.65 for plastering, as well as climatic allowances of 10% in the schedules. This evidence provides an operational basis for resizing costs and schedules in future construction projects in high Andean areas.

Keywords: Performance, Masonry, Plastering

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se origina en la brecha repetidamente observada entre los rendimientos teóricos consignados en los expedientes técnicos y la productividad efectiva alcanzada en obra. Dicho desajuste cobra especial relevancia en Cerro de Pasco, ciudad situada a más de 4 300 m s. n. m., donde la baja presión atmosférica, el clima frío y la elevada humedad modifican tanto la capacidad física de los operarios como el comportamiento de los materiales. Mientras los manuales de referencia, como los de la Cámara Peruana de la Construcción, asignan al asentado de albañilería y al tarajeo valores elaborados a partir de mediciones costeras, los constructores locales se ven forzados a enfrentar sobrecostos, ampliaciones de plazo y renegociaciones contractuales cuando esos parámetros se extrapolan sin corrección. La ausencia de estudios sistemáticos para contextos de altitud extrema agrava el problema y perpetúa la toma de decisiones basada en estimaciones inadecuadas.

Con este antecedente, el trabajo se delimitó geográficamente a Cerro de Pasco y temporalmente al periodo enero–diciembre de 2024; se restringió temáticamente a las partidas de albañilería y tarajeo, y adoptó un enfoque cuantitativo sustentado en mediciones directas de tiempo y volumen. Se monitorearon cinco obras representativas, registrando 1 238 observaciones de rendimiento neto y 186 lecturas ambientales. A partir de estos datos se formuló la pregunta central sobre la magnitud y las causas de la discrepancia entre rendimientos reales y teóricos, acompañada de tres interrogantes específicas referentes a la influencia del clima y la logística local, a la cuantificación de la brecha y a la formulación de estrategias de ajuste.

El objetivo general consistió en analizar los rendimientos reales de las partidas mencionadas, mientras que los objetivos específicos se orientaron a identificar los factores geográficos y climáticos que los afectan, medir con precisión la diferencia respecto de los valores de expediente y, finalmente, proponer coeficientes de corrección técnicamente viables. Al responder a estos propósitos, la investigación aspira a dotar a proyectos, contratistas y entidades públicas de herramientas que permitan

presupuestar y programar con realismo, mejorando la eficiencia y la sustentabilidad de las obras en zonas altoandinas.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.3.	Formulación del problema	4
1.3.1.	Problema general	4
1.3.2.	Problemas específicos	4
1.4.	Formulación de objetivos.....	5
1.4.1.	Objetivos generales	5
1.4.2.	Objetivos específicos	5
1.5.	Justificación de la investigación	5
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	10
2.2.	Bases teóricas – científicas	13
2.2.1.	Teoría del rendimiento en la construcción civil.....	13

2.2.2. El impacto de las condiciones geográficas y climáticas en la productividad.....	16
2.2.3. Metodologías para el análisis de rendimientos de obra.....	17
2.2.4. Teoría de la planificación y gestión en proyectos de construcción	19
2.3. Definición de términos básicos.....	21
2.4. Formulación de hipótesis.....	23
2.4.1. Hipótesis general	23
2.4.2. Hipótesis específica	23
2.5. Identificación de variables	24
2.5.1. Variable independiente.....	24
2.5.2. Variable dependiente	24
2.5.3. Variable interviniente.....	24
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	25

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	26
3.2. Nivel de investigación	28
3.3. Métodos de investigación	29
3.4. Diseño de la investigación	30
3.5. Población y muestra	32
3.5.1. Población	32
3.5.2. Muestra	32
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	32
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	33
3.8. Tratamiento estadístico	34
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.....	35

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	39
4.1.1.	Ámbito geográfico y características del entorno de obra	39
4.1.2.	Selección de obras y criterios de muestreo	41
4.1.3.	Actividades previas a la recolección de datos	43
4.1.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	46
4.1.5.	Registro del rendimiento real en campo	49
4.1.6.	Condiciones reales observadas durante la ejecución	52
4.1.7.	Validación y control de calidad de los datos	55
4.1.8.	Limitaciones encontradas en el trabajo de campo	56
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	58
4.2.1.	Descripción de la base de datos y variables ambientales	59
4.2.2.	Estadística descriptiva de factores geográficos y climáticos	62
4.2.3.	Correlación bivariada factores-rendimiento.....	64
4.2.4.	Modelo multivariado de impacto ambiental en el rendimiento	66
4.2.5.	Comparación gráfica y tabular de rendimientos reales vs. Teóricos ...	70
4.2.6.	Pruebas de diferencia de medias (t-Student pareada / ANOVA).....	72
4.2.7.	Análisis de eficiencia operativa (work sampling)	74
4.2.8.	Modelo de ajuste de rendimientos y factores de corrección	77
4.2.9.	Implicancias prácticas y lineamientos para expedientes en zonas altoandinas	79
4.3.	Prueba de Hipótesis	83
4.3.1.	Formulación de hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_1).....	83
4.3.2.	Prueba de hipótesis 1:.....	84
4.3.3.	Prueba de hipótesis 2:.....	86

4.3.4. Prueba de hipótesis 3:.....	88
4.4. Discusión de resultados	90
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
ANEXOS:	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definición operacional de variables e indicadores	25
Tabla 2 Procedimiento de toma de datos durante la jornada	50
Tabla 3 Incidencias extraordinaria registradas.....	55
Tabla 4 Calibración y verificación de instrumentos	56
Tabla 5 Estructura de presentación, análisis e interpretación de resultados	58
Tabla 6 Variables del módulo RENDIMIENTO.....	60
Tabla 7 Variables del módulo AMBIENTE	60
Tabla 8 principales medidas descriptivas obtenidas a partir de los 186 tríos de lectura	62
Tabla 9 Correlaciones preliminares	64
Tabla 10 Coeficientes de correlación bivariada entre factores y rendimiento neto	65
Tabla 11 Variables para el modelo multivariado	67
Tabla 12 Comparación de rendimientos	72
Tabla 13 Distribución porcentual del tiempo de las cuadrillas (promedios por obra y partida, n = 5 obras).....	75
Tabla 14 Causas de improductividad registrada	76
Tabla 15 Ecuación General de reajuste (Datos)	77
Tabla 16 Coeficientes de corrección climática y logística	78
Tabla 17 Rendimientos ajustados recomendados	78
Tabla 18 Detalle práctico sobre implicancias prácticas	80
Tabla 19 Recomendaciones en la programación de obra	80
Tabla 20 Recomendaciones en la Gestión de logística.....	81
Tabla 21 Recomendaciones en calidad, seguridad y medio ambiente.....	81
Tabla 22 Recomendaciones en costos de los proyectos	82
Tabla 23 Formulación de Hipótesis nula y alternativa	83
Tabla 24 Planteamiento inicial para prueba de hipótesis 1	84
Tabla 25 Resultados clave del modelo multivariado	85

Tabla 26 Planteamiento inicial para prueba de hipótesis 2	87
Tabla 27 Resultados de la prueba t-Student pareada.....	87
Tabla 28 Resultados del ANOVA unidireccional sobre rendimientos reales.....	87
Tabla 29 Planteamiento inicial para prueba de hipótesis 3	89
Tabla 30 Datos comparados, Prueba de hipótesis 3.....	89
Tabla 31 Resultados por caso, prueba de hipótesis 3	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comparación Rendimientos Reales Vs. Valores CAPECO 70

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En el ámbito de la construcción civil en el Perú, los rendimientos asignados a las distintas partidas de obra constituyen un elemento fundamental para la planificación, ejecución y control de proyectos. Estos rendimientos, comúnmente incluidos en los expedientes técnicos, sirven como referencia para estimar el tiempo y los recursos necesarios para completar tareas específicas, tales como el asentado de unidades de albañilería y el tarrajeo.

Sin embargo, en numerosos casos, los rendimientos teóricos establecidos en los expedientes técnicos no reflejan las condiciones reales de ejecución en campo, especialmente en regiones con características geográficas y climáticas particulares, como ocurre en Cerro de Pasco. Esta ciudad, ubicada a más de 4,380 metros sobre el nivel del mar, presenta condiciones únicas que impactan directamente en la productividad de los trabajadores y, por ende, en los rendimientos observados de las actividades constructivas.

La altitud elevada genera efectos fisiológicos en los operarios, como la disminución de la capacidad pulmonar y de la resistencia física, que reducen la eficiencia en la ejecución de tareas. Además, el clima frío y húmedo propio de esta región dificulta la manipulación de materiales, retrasa procesos

constructivos y altera los rendimientos respecto a los obtenidos en zonas de menor altitud, como Lima, cuya información suele ser tomada como referencia en estimaciones oficiales, como las publicadas por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO).

Esta discrepancia entre los rendimientos proyectados en los expedientes técnicos y los rendimientos observados en campo genera importantes dificultades para los ejecutores de obra. Entre las principales consecuencias destacan los sobrecostos, el incumplimiento de plazos y la afectación a la rentabilidad del proyecto. Los presupuestos elaborados con rendimientos sobreestimados no consideran adecuadamente las condiciones locales adversas, lo cual obliga a los contratistas a asumir costos imprevistos o renegociar contratos, comprometiendo la eficiencia operativa del proyecto.

Pese a la relevancia de este problema, existe escasa investigación que analice sistemáticamente los rendimientos de estas partidas constructivas en contextos de altitud extrema como el de Cerro de Pasco. La mayoría de los estudios previos se desarrollan en contextos urbanos de altitud moderada, lo cual limita la aplicabilidad de sus hallazgos a regiones como la mencionada.

En este contexto, se plantea la necesidad de realizar un análisis detallado de los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo en obras de construcción civil en Cerro de Pasco. Tal análisis permitirá identificar los factores que inciden en su variación y brindar información técnica más precisa para mejorar la elaboración de expedientes técnicos, optimizar la asignación de recursos y promover una planificación más realista y eficaz en proyectos desarrollados en zonas de altura.

1.2. Delimitación de la investigación

La delimitación de la presente investigación establece los límites geográficos, temporales, temáticos y metodológicos que enmarcan el análisis de los rendimientos reales en las partidas de *Asentado de unidades de*

albañilería y tarajeo en obras de construcción civil. Este enfoque específico busca garantizar que el estudio sea pertinente, manejable y ofrezca resultados aplicables al contexto particular de Cerro de Pasco.

Delimitación geográfica

La investigación se llevará a cabo exclusivamente en la ciudad de Cerro de Pasco, ubicada a más de 4,380 metros sobre el nivel del mar. Este lugar presenta condiciones geográficas y climáticas únicas, como la baja presión atmosférica, temperaturas bajas durante todo el año y una elevada humedad relativa. Estas características influyen significativamente en la capacidad física de los trabajadores y en el manejo de materiales de construcción, lo que hace que los rendimientos de las partidas analizadas difieran de los valores estándares establecidos en contextos de menor altitud, como Lima. Cerro de Pasco se selecciona como área de estudio por su relevancia en proyectos de construcción civil en altura y por la necesidad de contar con datos específicos que respalden la planificación y ejecución eficiente de obras en la región.

Delimitación temporal

El estudio se centrará en actividades realizadas durante el año 2024. Este marco temporal permite analizar datos recientes y relevantes, considerando avances en técnicas constructivas y posibles cambios en las condiciones laborales o tecnológicas. Además, delimitar el tiempo garantiza que los resultados sean representativos de las condiciones actuales de ejecución en Cerro de Pasco y puedan ser aplicados a proyectos en curso o futuros en esta región.

Delimitación temática

El análisis se enfocará exclusivamente en las partidas de *Asentado de unidades de albañilería* y tarajeo, que son fundamentales en la construcción de edificaciones. Estas partidas fueron seleccionadas debido a su relevancia en los procesos constructivos y su alta sensibilidad a las condiciones climáticas y

físicas del entorno. El estudio no incluirá otras partidas o procesos constructivos, con el objetivo de mantener un enfoque claro y profundo en estas actividades específicas.

Delimitación metodológica

La investigación adoptará un enfoque cuantitativo, basado en la recopilación de datos obtenidos directamente en obras en ejecución en Cerro de Pasco. Se realizarán mediciones de tiempos y volúmenes de trabajo ejecutados por los operarios en condiciones reales de altura, para comparar estos resultados con los rendimientos teóricos establecidos en los expedientes técnicos. Asimismo, se complementará con entrevistas a ingenieros residentes, operarios y otros profesionales involucrados en las obras para identificar factores adicionales que puedan influir en los rendimientos observados.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cómo se analizan los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo en obras de construcción civil en Cerro de Pasco durante el año 2024?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Qué factores geográficos y climáticos influyen en los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo en Cerro de Pasco?
- ¿Cuál es la discrepancia entre los rendimientos teóricos indicados en los expedientes técnicos y los rendimientos observados en campo?
- ¿Qué medidas o estrategias podrían implementarse para ajustar los rendimientos considerados en los expedientes técnicos según las condiciones específicas de Cerro de Pasco?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivos generales

Analizar los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo en obras de construcción civil en Cerro de Pasco durante el año 2024.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar los factores geográficos y climáticos que afectan los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo en Cerro de Pasco.
- Evaluar la diferencia entre los rendimientos teóricos de estas partidas y los rendimientos observados en las obras de Cerro de Pasco.
- Proponer ajustes en los parámetros de rendimientos considerados en los expedientes técnicos para reflejar las condiciones locales de Cerro de Pasco.

1.5. Justificación de la investigación

La construcción civil en regiones de altura extrema, como Cerro de Pasco, enfrenta desafíos únicos que afectan la eficiencia y viabilidad de los proyectos. Una de las problemáticas más relevantes es la discrepancia entre los rendimientos teóricos de las partidas de obra establecidos en los expedientes técnicos y los rendimientos reales observados en campo. Este desfase, particularmente notable en partidas fundamentales como el *Asentado de unidades de albañilería* y el tarajeo, genera impactos significativos en la gestión de recursos, la planificación y la sostenibilidad económica de los proyectos. Por ello, la presente investigación es esencial para abordar estas limitaciones y contribuir al desarrollo de obras más eficientes y adaptadas al contexto local.

Relevancia teórica

Esta investigación contribuirá al cuerpo de conocimiento existente sobre rendimientos en construcción civil, especialmente en condiciones geográficas y climáticas extremas. Hasta el momento, los estudios disponibles se basan mayoritariamente en datos generados para regiones de menor altitud, como Lima, donde las condiciones climáticas y la altitud no afectan significativamente la productividad de los trabajadores. En este contexto, Cerro de Pasco, con una altitud superior a los 4,380 metros sobre el nivel del mar, representa un escenario único que requiere ser documentado para generar conocimientos específicos sobre la influencia de la altitud y el clima en los rendimientos de las partidas de obra. Los resultados de esta investigación llenarán un vacío en la literatura técnica y podrán servir como referencia para futuras investigaciones en zonas similares.

Relevancia práctica

En el ámbito práctico, los resultados permitirán mejorar la precisión de los expedientes técnicos utilizados en proyectos de construcción civil en Cerro de Pasco. Los valores de rendimientos reales obtenidos serán útiles para ajustar los presupuestos y cronogramas de obra, reduciendo el riesgo de sobrecostos y retrasos. Además, los ejecutores de obra podrán gestionar de manera más eficiente los recursos humanos y materiales, optimizando así los procesos constructivos en regiones de altura extrema. Este aporte es especialmente valioso para contratistas, consultores y entidades públicas responsables de la planificación y ejecución de proyectos en la región.

Relevancia económica

El ajuste de los rendimientos a las condiciones reales de Cerro de Pasco tendrá un impacto directo en la sostenibilidad económica de los proyectos de construcción. Actualmente, los rendimientos sobreestimados llevan a subvalorar los costos reales de las obras, lo que genera pérdidas económicas para los

contratistas y posibles conflictos durante la ejecución. La investigación ofrecerá una base técnica para establecer presupuestos más precisos, promoviendo una distribución adecuada de los recursos y mejorando la rentabilidad de los proyectos.

Relevancia social

Desde un enfoque social, esta investigación beneficia tanto a los trabajadores como a las comunidades locales. Al ajustar los rendimientos a las condiciones reales, se podrá evitar la sobreexigencia de los trabajadores en un entorno que ya de por sí es físicamente demandante. Esto puede contribuir a mejorar las condiciones laborales y a garantizar la seguridad y bienestar de los operarios. Asimismo, al optimizar la gestión de recursos, se podrán ejecutar proyectos más eficientes que satisfagan las necesidades de infraestructura de las comunidades en Cerro de Pasco.

Relevancia metodológica

Finalmente, esta investigación propone un enfoque metodológico basado en la recopilación de datos empíricos directamente en campo, lo que asegura la representatividad y precisión de los resultados. Este enfoque puede servir como modelo para estudios similares en otras regiones de altura extrema, facilitando la generación de conocimientos aplicables en diferentes contextos geográficos.

1.6. Limitaciones de la investigación

Aunque la presente investigación busca aportar un análisis integral de los rendimientos reales en las partidas de *Asentado de unidades de albañilería* y tarajeo en obras de construcción civil en Cerro de Pasco durante el año 2024, enfrenta ciertas limitaciones inherentes al alcance y los recursos disponibles. Estas limitaciones son necesarias de considerar para interpretar adecuadamente los resultados y definir posibles líneas de investigación futura.

Limitaciones geográficas

La investigación se circumscribe únicamente a la ciudad de Cerro de Pasco, por lo que los resultados estarán limitados a las características particulares de esta región. Aunque los hallazgos podrán servir de referencia para otras localidades con condiciones geográficas similares, no se puede garantizar su aplicabilidad directa en otras zonas con altitudes o climas distintos.

Limitaciones temporales

El estudio se desarrollará durante el año 2024, lo que implica que los datos recopilados reflejarán las condiciones específicas de ese periodo. Factores estacionales, como variaciones en el clima, podrían influir en los rendimientos observados, limitando la generalización de los resultados a otros años o períodos.

Limitaciones metodológicas

El enfoque metodológico de esta investigación se basa principalmente en la observación directa de obras en ejecución y la recopilación de datos empíricos en campo. Aunque esta estrategia proporciona información valiosa, puede estar influenciada por la disponibilidad de proyectos activos en la región durante el periodo de estudio. Además, las mediciones podrían verse afectadas por la variabilidad en la experiencia y habilidades del personal involucrado, así como por la implementación de técnicas constructivas específicas en cada obra.

Limitaciones económicas y logísticas

La investigación dependerá de los recursos disponibles para realizar visitas a obra, adquirir equipos de medición y realizar análisis de datos. Las limitaciones presupuestarias podrían restringir el número de obras analizadas o la frecuencia de las observaciones, lo que podría impactar en la representatividad estadística de los resultados.

Limitaciones en la disponibilidad de información

Otro aspecto relevante es la posible falta de acceso a registros detallados en los expedientes técnicos de las obras estudiadas. La calidad y precisión de los datos previos sobre rendimientos teóricos pueden variar, lo que podría dificultar las comparaciones directas con los rendimientos reales observados.

Limitaciones relacionadas con factores humanos

Los rendimientos reales en campo pueden estar influenciados por factores como la motivación, la salud y la experiencia de los trabajadores, así como por las condiciones específicas del equipo y la gestión en cada obra. Estas variables humanas son difíciles de controlar y podrían introducir variabilidad en los datos recolectados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

“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”

En el ámbito de la construcción civil, los rendimientos de mano de obra representan un factor clave para la planificación y ejecución eficiente de proyectos. Sin embargo, los valores referenciales utilizados en los expedientes técnicos a menudo no reflejan la realidad específica de los contextos locales, como sucede en las zonas de alta altitud y clima extremo. Este problema ha sido identificado en diversas investigaciones previas que han buscado ajustar los rendimientos a condiciones particulares para mejorar la precisión de los presupuestos y cronogramas de obra.

En la tesis “*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*”, se determinó que los rendimientos teóricos establecidos por CAPECO suelen ser irreales para muchas regiones del país. El estudio destacó la necesidad de contar con bases

de datos locales de rendimientos reales para garantizar una mejor asignación de recursos y una ejecución más eficiente de proyectos similares.

En estudios similares a nivel nacional, se ha abordado la problemática desde distintas perspectivas. Por ejemplo:

- Ñavincopa Carhuamaca y Simón Rojas (2011) analizaron rendimientos de mano de obra en edificaciones en Huancayo, utilizando modelos de regresión múltiple para generar valores más ajustados a las condiciones locales.
- Villafuerte Lujano y Vargas Ucharico (2009) estudiaron el rendimiento de la mano de obra en Puno y Juliaca, estableciendo valores confiables adaptados al contexto regional.

Estas investigaciones resaltan la importancia de adaptar los rendimientos de mano de obra a las características particulares de cada región, considerando factores como altitud, clima y habilidades laborales locales. A nivel internacional, estudios como el de Botero (2002) en Colombia y Henríquez Montiel et al. (2008) en Venezuela también subrayan la necesidad de elaborar bases de datos locales para optimizar los procesos constructivos.

En el contexto de Cerro de Pasco, donde las condiciones de altitud y clima influyen significativamente en la productividad de la mano de obra, este enfoque es particularmente relevante. La presente investigación pretende continuar esta línea de análisis, proporcionando datos empíricos que contribuyan a una mejor planificación y ejecución de proyectos en esta región.

“Análisis del rendimiento de mano de obra para seis partidas relevantes en proyectos de agua potable rural del Distrito de Jepelacio, Provincia de Moyobamba” de Padilla Huancas (2019).

El análisis de los rendimientos reales de mano de obra en proyectos de construcción civil ha sido un tema recurrente en diversas investigaciones debido a la discrepancia entre los valores teóricos y los obtenidos en campo. En el caso

específico de proyectos en zonas rurales, como los sistemas de agua potable, estas diferencias son más notorias debido a las particularidades del entorno geográfico y social.

En la *investigación “Análisis del rendimiento de mano de obra para seis partidas relevantes en proyectos de agua potable rural del Distrito de Jepelacio, Provincia de Moyobamba”* de Padilla Huancas (2019), se concluyó que los rendimientos establecidos en los expedientes técnicos y por CAPECO presentaban variaciones significativas en comparación con los valores reales observados en campo. Esto resalta la falta de ajustes adecuados para las condiciones locales, lo que genera discrepancias en los presupuestos y cronogramas de obra.

A nivel regional, se identificaron variaciones en los rendimientos de actividades específicas como el tarajeo y el uso de acero estructural, donde las diferencias con los valores establecidos por CAPECO oscilaron entre el 10% y el 30%. Este tipo de análisis ha permitido recalibrar los rendimientos para entornos rurales, adaptando las prácticas de planificación y ejecución a las condiciones reales de cada proyecto.

Otras investigaciones en el contexto peruano han abordado problemáticas similares. Por ejemplo, el estudio de Mantilla Gutiérrez sobre proyectos de saneamiento básico en Cajamarca destacó que los rendimientos reales eran, en promedio, un 16% inferiores a los estipulados en los expedientes técnicos, evidenciando las limitaciones de aplicar estándares genéricos en zonas con características particulares.

En la región de Cerro de Pasco, donde se ubica la presente investigación, las condiciones de altitud y clima presentan desafíos adicionales que afectan la productividad de la mano de obra, lo que refuerza la necesidad de generar datos locales que permitan establecer rendimientos ajustados a la realidad del contexto. Estos antecedentes brindan un marco de referencia que

sustenta la importancia y pertinencia de analizar los rendimientos reales de las partidas de *Asentado de unidades de albañilería* y tarajeo en esta región.

2.2. **Bases teóricas – científicas**

2.2.1. **Teoría del rendimiento en la construcción civil**

Definición y clasificación de los rendimientos

El **rendimiento** en la construcción es una medida crítica de la productividad laboral. Se define como la cantidad de trabajo realizada por un trabajador o equipo en un período de tiempo específico, como una jornada laboral. Este rendimiento se mide en unidades relevantes para cada actividad constructiva, como metros cuadrados de albañilería levantada o metros lineales de cableado instalado. Los rendimientos varían según el tipo de actividad y las condiciones de trabajo, lo que hace esencial contar con valores ajustados a cada situación particular (Mantilla & O'Byrne, 2020). Existen varias **clasificaciones de rendimientos**, siendo una de las más comunes la que se basa en el tipo de actividad constructiva. Por ejemplo, en actividades como la albañilería, el rendimiento se mide en metros cuadrados de pared construida por día, mientras que en carpintería se mide en metros lineales de madera trabajada (Arquitectura Civil, n.d.) Además, el rendimiento también se clasifica según los factores que lo afectan, tales como las condiciones laborales, la capacitación del personal, la maquinaria disponible y las condiciones ambientales. Estos factores pueden aumentar o disminuir significativamente los rendimientos de las obras (ND Marketing Digital, 2022) La **clasificación de rendimientos** también puede estar vinculada a la eficiencia del trabajo, donde se definen rangos de productividad, como "bajo", "promedio", o "alto", dependiendo del porcentaje de cumplimiento respecto al rendimiento esperado. Estas clasificaciones ayudan a establecer expectativas realistas para los proyectos y a identificar áreas donde se pueden implementar mejoras (Mantilla & O'Byrne, 2020)

Factores que afectan los rendimientos de mano de obra

Los rendimientos de mano de obra en proyectos de construcción están influenciados por diversos factores que pueden mejorar o disminuir la productividad de los trabajadores en obra. Estos factores abarcan aspectos tanto internos como externos al entorno laboral.

Factores laborales

Uno de los principales factores que afectan el rendimiento de la mano de obra es el **nivel de experiencia y habilidad** de los trabajadores. Un equipo experimentado y bien capacitado puede completar las tareas de manera más eficiente, ya que posee las destrezas necesarias para reducir errores y acelerar los procesos. Además, la **capacitación continua** y la **supervisión efectiva** son esenciales para optimizar el rendimiento, ya que los trabajadores necesitan estar al tanto de las mejores prácticas y estándares del proyecto (Mabasa, 2016)

Factores climáticos

El **clima** juega un rol crucial en la productividad en la construcción. Las condiciones extremas, como altas temperaturas, lluvia o viento fuerte, pueden reducir considerablemente el rendimiento de los trabajadores, ya que interfieren con su confort y seguridad. Por ejemplo, temperaturas elevadas pueden generar agotamiento, mientras que las lluvias dificultan el trabajo con materiales y el acceso a áreas de la obra. En muchos casos, los proyectos con condiciones climáticas favorables logran un mejor desempeño, mientras que en climas desfavorables se experimentan disminuciones en la productividad (Arquinetpolis, 2022).

Factores organizacionales

La **gestión de la obra** también es determinante. Una planificación deficiente, la falta de materiales a tiempo o la mala organización del trabajo pueden causar interrupciones frecuentes, lo que disminuye el rendimiento general. La asignación adecuada de tareas y recursos es fundamental para

mantener una productividad constante. Además, las **condiciones de trabajo** como un ambiente seguro y la disponibilidad de equipos adecuados son factores que también inciden en el rendimiento. Los trabajadores que operan en un entorno bien organizado, seguro y libre de distracciones logran un rendimiento más alto y mantienen su motivación (Redalyc, 2004).

Factores de motivación y condiciones laborales

Los factores laborales como los **salarios** y los **incentivos** también influyen significativamente. El pago justo y los incentivos por desempeño pueden aumentar la motivación de los trabajadores, lo que se traduce en un aumento en la productividad. La implementación de **programas de bienestar y seguridad laboral** contribuye a la satisfacción de los trabajadores y a su disposición para mantener altos niveles de rendimiento (Mabasa, 2016).

Modelos teóricos de cálculo de rendimientos

Los modelos teóricos de cálculo de rendimientos en la construcción se fundamentan en la relación entre la cantidad de trabajo realizado y los recursos empleados, como la mano de obra, los materiales y el equipo. Diversos modelos han sido desarrollados a lo largo de los años para proporcionar una metodología sistemática para calcular los rendimientos de actividades específicas de construcción.

Un enfoque clásico para calcular el rendimiento se basa en el **modelo de tiempos y movimientos**, que descompone cada actividad en pasos individuales y mide el tiempo necesario para completar cada uno de estos pasos. Este modelo permite obtener un valor promedio de rendimiento por unidad de medida, ajustado a las condiciones específicas de la obra. Sin embargo, este enfoque puede ser limitado por las múltiples variables que afectan la construcción en sitio, como la variabilidad del clima, la disponibilidad de materiales y la eficiencia de la cuadrilla (Botero, 2002)

En otro enfoque más avanzado, se emplean modelos de **simulación estocástica**, que incorporan la variabilidad y la incertidumbre en los rendimientos de las actividades. Estos modelos consideran factores como los retrasos administrativos, la calidad del trabajo, y el equipamiento utilizado, y se implementan a través de técnicas estadísticas y de análisis de sistemas. Un estudio realizado por Farnad et al. (2014) aplicó la dinámica de sistemas para modelar los rendimientos de mano de obra, interrelacionando más de 20 factores clave que afectan la productividad. Su modelo cualitativo ayuda a comprender la complejidad de la interacción entre estos factores y cómo influyen en los rendimientos de obra.

2.2.2. El impacto de las condiciones geográficas y climáticas en la productividad

Efectos de la altitud sobre el rendimiento de la mano de obra

La altitud es un factor clave que afecta significativamente el rendimiento de la mano de obra en la construcción. En altitudes elevadas, como las que se encuentran en regiones montañosas o en ciudades situadas a más de 2,000 metros sobre el nivel del mar, la reducción de la presión atmosférica y el contenido de oxígeno en el aire tienen un impacto directo sobre la capacidad física de los trabajadores. Estos efectos fisiológicos reducen la resistencia y el ritmo de trabajo, lo que resulta en una disminución del rendimiento.

Un estudio de Ibañez (2010) sobre el ajuste de rendimiento en maquinaria por altitud en la construcción vial demuestra que a medida que la altitud aumenta, los rendimientos de las máquinas y, por ende, los de la mano de obra, disminuyen proporcionalmente. Esto se debe a factores como la menor disponibilidad de oxígeno, que provoca una mayor fatiga en los trabajadores, y la necesidad de adaptarse a un entorno menos favorable para el trabajo físico (Ibañez, 2010).

Además, estudios muestran que las cuadrillas de trabajo en zonas altas requieren más tiempo para completar las mismas tareas que en zonas de menor altitud, lo que hace necesario ajustar los cálculos de productividad y los presupuestos en función de la altura.

El clima y sus efectos en los procesos constructivos

El **clima** es otro factor crucial que influye en los rendimientos de la mano de obra en la construcción. Las condiciones meteorológicas extremas, como altas temperaturas, lluvia intensa o viento fuerte, pueden afectar tanto la productividad del trabajador como la eficiencia de los materiales utilizados. En particular, el **calor excesivo** puede provocar fatiga rápida en los operarios, lo que disminuye la eficiencia en las tareas realizadas. Por otro lado, las **lluvias** afectan la ejecución de obras de albañilería, como el asentado de unidades de albañilería, ya que los materiales de construcción, como el cemento, pueden perder sus propiedades bajo la humedad o el agua (Mabasa, 2016).

El clima también afecta el trabajo de manera indirecta, ya que puede generar condiciones peligrosas, como el resbalón en superficies mojadas o la dificultad para transportar materiales. Los efectos negativos del clima pueden mitigarse mediante la implementación de medidas adecuadas, como la instalación de cobertizos o el uso de equipos adecuados para proteger a los trabajadores de condiciones adversas.

2.2.3. Metodologías para el análisis de rendimientos de obra

Métodos de medición y evaluación de la productividad

La medición de la productividad en la construcción es esencial para evaluar la eficiencia de los recursos utilizados, en especial la mano de obra, y optimizar los procesos constructivos. Se utilizan diversos **métodos de medición** para calcular los rendimientos y garantizar que las obras se ejecuten dentro de los parámetros de tiempo y costo establecidos. Los **métodos de medición de productividad** incluyen el análisis de tiempos y movimientos, que implica

descomponer las actividades en tareas específicas y medir el tiempo que lleva completar cada una. Esta técnica permite observar la eficiencia de los trabajadores y detectar posibles mejoras en los procesos (Serpell, 2002).

Otro enfoque es el **método de la productividad relativa**, que compara el rendimiento actual con un valor base, generalmente los estándares de la industria o los valores históricos de la empresa. Este método también facilita la identificación de las áreas que requieren atención para mejorar la productividad. Además, la tecnología moderna ha permitido el uso de **software especializado** que facilita el seguimiento de la productividad en tiempo real, lo que optimiza la medición y evaluación de los recursos utilizados en las obras (Serpell, 2002; LCI México, 2021)

Técnicas de estimación de rendimientos reales vs. Teóricos

Las **técnicas de estimación de rendimientos** son fundamentales para comparar los **rendimientos teóricos** establecidos en los expedientes técnicos con los **rendimientos reales** observados en la obra. Un enfoque común para esta comparación es el **método de la variabilidad**, que utiliza las diferencias entre los rendimientos esperados y los reales para ajustar las estimaciones de futuro y optimizar los cálculos de tiempo y costos (Mabasa, 2016) Otra técnica empleada es la **estadística de rendimiento**, que calcula el promedio de los rendimientos observados y los compara con las proyecciones iniciales para identificar desvíos y áreas que necesitan ajustes

Revisión de estudios previos sobre rendimientos en la construcción

Existen numerosos **estudios previos** que han analizado los **rendimientos de mano de obra** en la construcción, y han proporcionado datos relevantes para ajustar las estimaciones de productividad. Por ejemplo, investigaciones en Chile y otros países han demostrado que las condiciones locales, como el clima, la altitud y la calidad del personal, juegan un papel

fundamental en la variación entre los rendimientos teóricos y los reales. Estos estudios han utilizado modelos estadísticos para mejorar la precisión de los cálculos y proporcionar herramientas que permitan a los gestores de proyectos ajustar sus planes según las condiciones reales observadas en campo (Serpell, 2002)

2.2.4. Teoría de la planificación y gestión en proyectos de construcción

La planificación y la gestión en proyectos de construcción son fundamentales para garantizar que las obras se lleven a cabo de manera eficiente, dentro de los plazos y presupuestos establecidos. En este contexto, la teoría de la planificación y gestión se centra en la organización de recursos, actividades y tiempos para lograr los objetivos del proyecto. Según diversas fuentes, la gestión de proyectos de construcción requiere un enfoque detallado que abarque la estimación precisa de los recursos necesarios, la identificación de las etapas del proyecto, y la asignación de tareas según las competencias del personal (Serpell, 2002).

Planificación de obras y su relación con los rendimientos

La planificación de obras juega un papel crucial en la determinación de los rendimientos de mano de obra. Una planificación adecuada asegura que las tareas se realicen en el orden correcto, con los recursos necesarios disponibles en el momento adecuado. Para esto, se utilizan herramientas como los diagramas de Gantt y el Método de la Ruta Crítica (CPM), que permiten visualizar la secuencialidad de las actividades y las dependencias entre ellas. La correcta asignación de tiempo y recursos está estrechamente vinculada con el rendimiento de la mano de obra, ya que una planificación eficaz minimiza el riesgo de retrasos y optimiza los procesos (Serpell & Alarcón, 2002).

Ajustes y reestructuración de presupuestos basados en rendimientos locales

El ajuste de presupuestos basado en los rendimientos locales es esencial para garantizar la viabilidad económica de un proyecto. Los presupuestos iniciales suelen estar basados en rendimientos teóricos que no siempre reflejan las condiciones reales del entorno, como las dificultades derivadas de la altitud o las condiciones climáticas extremas. Ajustar estos presupuestos en función de los rendimientos reales observados en campo permite corregir desviaciones, garantizar el uso eficiente de los recursos y evitar sobrecostos. Este proceso implica la retroalimentación continua y la adaptación de las previsiones según el desempeño de la mano de obra y los materiales (Mabasa, 2016)

Herramientas tecnológicas para el control de rendimientos en tiempo real

Las herramientas tecnológicas juegan un papel creciente en el control de los rendimientos de la mano de obra. El uso de software de gestión de proyectos permite monitorizar en tiempo real el avance de las obras, realizar ajustes inmediatos y mejorar la toma de decisiones. Las tecnologías como los sistemas de planificación BIM (Building Information Modeling) y las plataformas colaborativas de gestión de proyectos facilitan el seguimiento de los rendimientos, permiten una mejor asignación de recursos y proporcionan una visibilidad completa de todas las actividades y su relación con los plazos establecidos. Estas herramientas no solo aumentan la precisión en la estimación de los tiempos de ejecución, sino que también ayudan a gestionar los recursos de manera más eficiente (Mabasa, 2016)

2.3. Definición de términos básicos

- **Asentado de unidades de albañilería:**

Proceso constructivo que consiste en colocar y fijar unidades de albañilería, como ladrillos o bloques, utilizando mortero como aglomerante para formar muros, tabiques u otras estructuras verticales.

- **Tarajeo:**

Actividad que consiste en aplicar una mezcla de cemento, arena y agua sobre superficies de muros o techos para nivelarlos, protegerlos y mejorar su apariencia.

- **Rendimiento:**

Cantidad de trabajo que un trabajador o equipo puede realizar en un período de tiempo determinado bajo condiciones específicas. En el contexto constructivo, se mide comúnmente en unidades como metros cuadrados por jornada.

- **Obra de construcción civil:**

Proyecto de ingeniería destinado a la creación, modificación o reparación de infraestructuras, edificaciones u otras instalaciones, siguiendo un diseño técnico y normativo específico.

- **Cerro de Pasco:**

Ciudad peruana ubicada en la región Pasco, a una altitud de aproximadamente 4,380 metros sobre el nivel del mar, conocida por su clima frío, su actividad minera y sus desafíos geográficos para la construcción.

- **Expediente técnico:**

Conjunto de documentos técnicos que especifican el diseño, presupuesto, cronograma y especificaciones de un proyecto de construcción, sirviendo como guía para su ejecución.

- **Mortero:**

Mezcla de cemento, arena y agua utilizada como aglutinante en trabajos de albañilería para unir unidades o como recubrimiento superficial.

- **Altitud:**

Distancia vertical medida desde el nivel del mar hasta un punto determinado. En el caso de Cerro de Pasco, su elevada altitud afecta las capacidades físicas de los trabajadores y las propiedades de los materiales de construcción.

- **Factores climáticos:**

Elementos del clima, como temperatura, humedad, vientos y precipitaciones, que influyen en las condiciones laborales y el rendimiento de los trabajadores en una obra.

- **Jornada laboral:**

Período de tiempo diario en el cual los trabajadores desempeñan sus actividades laborales, generalmente de 8 horas, aunque puede variar según las condiciones y normativas locales.

- **CAPÉCO:**

Cámara Peruana de la Construcción, entidad que publica indicadores, estándares y rendimientos referenciales utilizados como base para la planificación de proyectos constructivos en Perú.

- **Rendimiento teórico:**

Estimación del rendimiento basado en datos ideales o estándares definidos en documentos técnicos, sin considerar las particularidades de un contexto específico.

- **Rendimiento real:**

Cantidad de trabajo efectivamente realizado bajo condiciones específicas y observables en un contexto determinado, como las obras en Cerro de Pasco.

- **Personal técnico:**

Grupo de profesionales y técnicos responsables de la supervisión, control y ejecución de actividades en una obra de construcción, como ingenieros residentes, supervisores y maestros de obra.

- **Personal operativo:**

Trabajadores directamente involucrados en las tareas manuales y físicas de una obra de construcción, como albañiles, ayudantes y peones.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo en obras de construcción civil ejecutadas en Cerro de Pasco durante el año 2024 presentan variaciones con respecto a los rendimientos teóricos considerados en los expedientes técnicos, debido a las condiciones reales de ejecución propias de la zona.

2.4.2. Hipótesis específica

- Los factores geográficos y climáticos presentes en Cerro de Pasco influyen negativamente en los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo en las obras de construcción civil ejecutadas durante el año 2024.
- En las obras de construcción civil realizadas en Cerro de Pasco durante el año 2024, los rendimientos reales de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo son inferiores a los rendimientos teóricos establecidos en los expedientes técnicos.
- El análisis de los rendimientos reales en Cerro de Pasco permite proponer ajustes técnicamente viables a los parámetros de rendimientos utilizados en los expedientes técnicos, para que reflejen de manera más precisa las condiciones locales de ejecución en el año 2024.

2.5. Identificación de variables

La correcta identificación de variables es fundamental para establecer el marco analítico de la investigación, ya que permite definir con claridad los elementos que serán evaluados, sus relaciones y el enfoque metodológico que se aplicará. En el presente estudio, las variables se derivan directamente de la hipótesis general y específicas, y se clasifican como: independiente, dependiente e interviniante.

2.5.1. Variable independiente

La variable independiente está constituida por las **condiciones reales de ejecución** en Cerro de Pasco durante el año 2024. Esta incluye los factores **geográficos** (altitud, topografía, accesibilidad), **climáticos** (temperatura, lluvias, humedad ambiental) y **técnicos** (disponibilidad de materiales, mano de obra calificada, tipo de maquinaria disponible, tiempos de ejecución). Estas condiciones representan el entorno que influye directamente en el desarrollo de las actividades constructivas y en la productividad de las partidas analizadas.

2.5.2. Variable dependiente

La variable dependiente es el **rendimiento de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo** en obras de construcción civil. Esta variable se expresa en unidades de producción por tiempo (por ejemplo, m²/día u horas-hombre por unidad construida) y será medida en función del trabajo ejecutado en campo. El rendimiento puede verse afectado positiva o negativamente según las condiciones reales de ejecución, lo que permite establecer una relación causal con la variable independiente.

2.5.3. Variable interviniante

Como variable interviniante se identifican los **valores de rendimiento teóricos establecidos en los expedientes técnicos**, los cuales actúan como punto de comparación y base referencial para el análisis. Esta variable no forma parte de la relación causal directa entre condiciones de ejecución y rendimiento

real, pero interviene como **marco normativo o técnico** que condiciona la planificación y programación de obra. La discrepancia entre estos valores y los resultados en campo puede influir en la percepción de eficiencia y en la toma de decisiones para ajustes o replanteamientos técnicos.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 1: Definición operacional de variables e indicadores

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Condiciones reales de ejecución (Variable Independiente)	Conjunto de factores geográficos, climáticos y técnicos que caracterizan el entorno de ejecución de obras en Cerro de Pasco.	Se refiere a las condiciones presentes en el entorno físico y técnico durante la ejecución de partidas de obra, que pueden afectar la productividad.	- Factores geográficos - Factores climáticos - Factores técnicos	- Altitud del terreno (msnm) - Temperatura promedio (°C) - Nivel de precipitaciones (mm) - Humedad relativa (%) - Disponibilidad de mano de obra - Acceso a materiales y herramientas - m ² de albañilería asentada por día - m ² de tarrajeo ejecutado por día - Horas-hombre por m ² de albañilería o tarrajeo - m ² /día según expediente técnico
Rendimiento de las partidas de albañilería y tarrajeo (Variable Dependiente)	Cantidad de unidades de obra ejecutadas por trabajador o equipo en un tiempo determinado.	Se mide en función del número de metros cuadrados (m ²) construidos por día u horas-hombre por unidad de partida ejecutada.	- Asentado de albañilería - Tarrajeo	
Rendimientos teóricos (Variable Interviniente)	Valores referenciales que se incluyen en los expedientes técnicos como estándar para planificar el uso de recursos y duración de partidas.	Son los valores predeterminados de rendimiento que sirven como parámetro de comparación para los resultados reales obtenidos en campo.	- Parámetros técnicos de expediente - Planificación de obra	- Diferencia porcentual entre rendimiento real y teórico

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo, ya que busca analizar los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo en obras de construcción civil mediante la recolección y el procesamiento de datos numéricos observados en campo. A través de este enfoque se pretende establecer relaciones entre los factores geográficos, climáticos, técnicos y organizacionales presentes en Cerro de Pasco y su impacto en los rendimientos obtenidos durante la ejecución de estas partidas. Este análisis permitirá identificar patrones, cuantificar diferencias respecto a los rendimientos teóricos utilizados en los expedientes técnicos, y evaluar el grado de incidencia de las condiciones locales sobre la productividad en obra.

El estudio adopta un tipo de investigación aplicada, ya que no se limita a la comprensión teórica del fenómeno, sino que busca utilizar los resultados para mejorar la práctica profesional en el ámbito de la construcción civil. A partir de los hallazgos obtenidos, se pretende proponer recomendaciones técnicas que permitan ajustar los parámetros de rendimiento en los expedientes técnicos, considerando las características específicas del entorno de Cerro de Pasco. De esta forma, la investigación contribuye al desarrollo de herramientas más

precisas para la planificación y gestión de obras en contextos geográficos similares, promoviendo una mayor eficiencia en el uso de los recursos y una mejor previsión en la programación de actividades constructivas.

Asimismo, la investigación es de carácter descriptivo y explicativo. Es descriptiva en tanto que tiene como finalidad identificar, sistematizar y caracterizar los rendimientos observados de las partidas seleccionadas, así como las condiciones que inciden en su variabilidad. Este proceso requiere la recopilación de información directa de obras en ejecución en Cerro de Pasco, lo que implica la observación rigurosa de las actividades constructivas, el registro de tiempos, volúmenes y recursos utilizados, así como la documentación de las condiciones ambientales y logísticas. Por otro lado, la investigación también tiene un componente explicativo, ya que no se limita a mostrar los datos, sino que busca analizar las causas que originan la divergencia entre los rendimientos teóricos y los observados. En este sentido, se pretende establecer relaciones causales entre las variables independientes —como la altitud, el clima o la calidad de los materiales— y la variable dependiente, es decir, los niveles de rendimiento obtenidos durante la ejecución de las partidas de albañilería y tarrajeo.

Finalmente, el enfoque metodológico es no experimental y de corte transversal. Es no experimental porque el investigador no manipulará deliberadamente las variables, sino que se limitará a observar y registrar los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, es decir, en obras reales de construcción ejecutadas en Cerro de Pasco durante el año 2024. Es transversal porque el estudio se realizará en un periodo específico de tiempo y no contempla un seguimiento longitudinal de los proyectos analizados. Esta metodología permitirá capturar una fotografía precisa del comportamiento de los rendimientos en un escenario concreto, aportando datos valiosos para su análisis, interpretación y aplicación en futuras intervenciones técnicas.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación de este estudio es correlacional-explicativo, ya que busca no solo describir el comportamiento de los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo en obras de construcción civil en Cerro de Pasco, sino también identificar y analizar las relaciones que existen entre estos rendimientos y las diversas variables que los condicionan, como la altitud, el clima, las características de los materiales y los factores organizacionales. Este nivel de investigación permite trascender el simple registro de datos y avanzar hacia la comprensión de los vínculos causales que explican las diferencias entre los rendimientos teóricos establecidos en los expedientes técnicos y los rendimientos observados en el campo.

El enfoque correlacional se manifiesta en el interés por determinar el grado de asociación entre las condiciones ambientales y geográficas de Cerro de Pasco y la productividad real en la ejecución de las partidas seleccionadas. Para ello, se utilizarán métodos cuantitativos que permitan establecer relaciones entre variables y observar si, por ejemplo, a mayor altitud o mayor humedad, se producen reducciones sistemáticas en los niveles de rendimiento. Este tipo de análisis contribuirá a comprender la forma en que factores contextuales influyen en el desarrollo de las actividades constructivas.

Por su parte, el componente explicativo del estudio se enfoca en analizar las causas que originan las discrepancias entre los rendimientos esperados y los que se obtienen en la práctica, lo que implica explorar cómo y por qué se produce dicha brecha. En este sentido, se busca identificar las variables que actúan como determinantes del rendimiento en condiciones reales de trabajo, y de qué manera su presencia o intensidad modifican los resultados obtenidos. Esta aproximación permitirá establecer conclusiones fundamentadas y ofrecer

propuestas de mejora en la formulación de expedientes técnicos, ajustándolos a las particularidades del contexto regional.

Este nivel de investigación es especialmente pertinente en el campo de la ingeniería civil, ya que proporciona una base empírica para la toma de decisiones técnicas, contribuyendo al desarrollo de obras más eficientes y sustentables. En suma, al adoptar un nivel de investigación correlacional-explicativo, el estudio no solo aporta al conocimiento académico, sino que también tiene un fuerte componente práctico, orientado a resolver una problemática concreta en la planificación y ejecución de proyectos constructivos en zonas de altura como Cerro de Pasco.

3.3. Métodos de investigación

El método de investigación adoptado para este estudio es el método cuantitativo, el cual se caracteriza por el uso de técnicas estructuradas y herramientas estadísticas que permiten recolectar, analizar y presentar datos numéricos de forma objetiva. Este método es el más adecuado para alcanzar los objetivos planteados en la investigación, ya que permite medir y analizar con precisión los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarrajeo en función de diversas variables geográficas, climáticas, técnicas y organizacionales presentes en la ciudad de Cerro de Pasco.

El uso del método cuantitativo permite observar los hechos tal como ocurren en el contexto real de la obra, sin intervención o manipulación por parte del investigador. En este sentido, el estudio se fundamenta en la observación directa y sistemática de actividades constructivas desarrolladas en obras civiles ejecutadas durante el año 2024, registrando datos como la cantidad de material colocado por unidad de tiempo, los recursos utilizados, las condiciones meteorológicas predominantes y la altitud específica del lugar de ejecución. Esta información se recogerá a través de instrumentos diseñados específicamente para capturar con fiabilidad los aspectos más relevantes del rendimiento en

campo, como fichas de observación, cronogramas de actividades, hojas de producción diaria y reportes técnicos de obra.

Además, el método cuantitativo permite realizar análisis comparativos entre los rendimientos observados y los valores teóricos establecidos en los expedientes técnicos. A través de técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales se podrán identificar patrones, establecer relaciones y cuantificar las diferencias existentes. Este análisis sistemático y objetivo será clave para interpretar los datos recogidos y para validar o refutar las hipótesis formuladas respecto a la influencia de variables como la altitud, la temperatura, la humedad o la experiencia del personal en los niveles reales de productividad.

En línea con el diseño no experimental y de corte transversal de la investigación, el método cuantitativo será aplicado de forma puntual durante la ejecución de las partidas seleccionadas en diversas obras representativas de la zona. Esto garantizará que los resultados obtenidos reflejen de manera fidedigna las condiciones locales en las que se desarrollan las actividades constructivas en Cerro de Pasco, sin que estos resultados sean alterados por intervenciones artificiales.

3.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación adoptado para este estudio es de tipo no experimental, de corte transversal y con enfoque correlacional-explicativo. Esta elección responde a la naturaleza del problema planteado, que no requiere la manipulación de variables por parte del investigador, sino más bien la observación directa y sistemática de los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, es decir, en las obras de construcción civil que se desarrollan en la ciudad de Cerro de Pasco durante el año 2024. El diseño no experimental implica que el investigador no interviene ni modifica las condiciones bajo las cuales se recogen los datos, sino que observa y analiza los rendimientos

obtenidos a partir de situaciones reales en campo, lo cual permite preservar la validez ecológica del estudio.

El carácter transversal del diseño se fundamenta en que la información será recolectada en un único momento del tiempo o en un periodo específico, sin seguimiento longitudinal de las variables o de los proyectos. Esto permite obtener una "fotografía" detallada del comportamiento de los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarrajeo en las condiciones particulares de Cerro de Pasco. Se observarán múltiples obras de construcción en marcha en diferentes puntos de la ciudad, siempre que cumplan con los criterios de inclusión establecidos, lo que permitirá una muestra representativa del fenómeno estudiado.

En cuanto a su orientación correlacional-explicativa, el diseño busca no solo describir las características observables de los rendimientos reales, sino también establecer relaciones significativas entre estos y las diversas variables independientes identificadas, como la altitud, las condiciones climáticas, la calidad de los materiales, y los factores humanos y organizacionales. A través de este diseño, se podrá determinar si existe una asociación estadísticamente significativa entre dichas variables y el rendimiento observado en las actividades constructivas, así como explorar el grado de influencia que tienen sobre los resultados.

El diseño de la investigación también contempla el uso de instrumentos estructurados y estandarizados para la recolección de datos, tales como fichas de observación, hojas de cálculo de rendimiento, cuestionarios aplicados al personal técnico y obrero, así como registros fotográficos y meteorológicos. Estos instrumentos estarán validados previamente y permitirán asegurar la objetividad y fiabilidad de los datos obtenidos, lo cual es fundamental para garantizar la calidad del análisis posterior.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población de este estudio está conformada por todas las obras de construcción civil que incluyen las partidas de *Asentado de unidades de albañilería* y tarajeo, ejecutadas en el ámbito urbano y periurbano de Cerro de Pasco durante el año 2024. Estas obras abarcan proyectos de diversa índole, como edificaciones residenciales, comerciales e institucionales, en las que se desarrollan actividades relacionadas con las partidas mencionadas. Asimismo, se considera como parte de la población al personal técnico y operativo involucrado en la ejecución de dichas partidas, incluyendo maestros de obra, albañiles y ayudantes, así como ingenieros residentes y supervisores técnicos.

3.5.2. Muestra

La muestra está conformada por **3 obras de construcción** seleccionadas mediante un muestreo **por conveniencia** debido al acceso y disponibilidad de datos, ubicadas en el distrito de Yanacancha - Cerro de Pasco durante el año 2025. Estas obras cuentan con registros detallados de los rendimientos de mano de obra en las partidas de asentado de albañilería y tarajeo.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó utilizando una combinación de técnicas y herramientas que permitan capturar información precisa y representativa sobre los rendimientos reales y las variables asociadas.

1. Observación directa:

Se empleó para registrar en tiempo real las actividades relacionadas con las partidas de *Asentado de unidades de albañilería* y tarajeo. Se medirá el volumen de trabajo ejecutado por jornada laboral, el tiempo invertido, y las condiciones específicas de cada obra.

2. Entrevistas estructuradas:

Se aplicó al personal técnico y operativo para recopilar información sobre factores que influyen en los rendimientos, como la experiencia del personal, el tipo de herramientas utilizadas, y las condiciones laborales.

3. Revisión documental:

Se analizaron los expedientes técnicos de las obras seleccionadas para extraer los rendimientos teóricos y los parámetros establecidos, permitiendo una comparación con los datos obtenidos in situ.

4. Instrumentos:

- **Fichas de registro:** Para documentar los rendimientos observados y las características de las obras.
- **Cuestionarios estructurados:** Diseñados para el personal técnico, abordando variables como la experiencia, las herramientas empleadas y la percepción de las condiciones de trabajo.
- **Cámaras fotográficas y cronómetros:** Para capturar evidencias visuales y medir tiempos de ejecución con precisión.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El procesamiento y análisis de los datos se realizaron mediante las siguientes etapas:

1. Codificación y tabulación:

Los datos recolectados fueron organizados y codificados en una base de datos, categorizando las variables según sus características (independientes, dependientes e intervinientes).

2. Análisis descriptivo:

Se calcularon medidas estadísticas como promedios, medianas y desviaciones estándar para caracterizar los rendimientos reales observados. También se realizarán análisis gráficos para visualizar tendencias y patrones en los datos.

3. Análisis comparativo:

Se compararon los rendimientos reales con los valores teóricos especificados en los expedientes técnicos, identificando discrepancias significativas y posibles causas.

4. Análisis correlacional:

Se aplicaron técnicas de correlación para identificar relaciones entre las variables independientes (como altitud, clima y experiencia del personal) y la variable dependiente (rendimientos reales).

5. Análisis cualitativo:

Los datos provenientes de las entrevistas se analizan para complementar los resultados cuantitativos y contextualizar las conclusiones.

3.8. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico en este estudio permite validar las hipótesis planteadas, identificar relaciones entre variables y cuantificar el impacto de las condiciones reales sobre los rendimientos. La secuencia de análisis es la siguiente:

Estadística descriptiva

- **Objetivo:** caracterizar las variables de estudio (rendimientos reales y teóricos, factores geográficos, climáticos, técnicos).
- **Indicadores:** media, mediana, desviación estándar, rango, curtosis y asimetría.
- **Herramientas:** histogramas y diagramas de caja para evaluar la normalidad y detectar valores extremos.

Modelos explicativos multivariados

- **Regresión lineal múltiple:**

– Se modela el rendimiento real (Y) como función lineal de las condiciones reales (X_1, X_2, \dots), incluyendo clima, altitud y variables

- técnicas - metodología recomendada para predecir rendimientos en construcción
- Comprobación de supuestos: linealidad, independencia, normalidad de residuos, homocedasticidad.

Software y nivel de significancia

- **Se empleo SPSS, garantizando replicabilidad y control estadístico.**
- **El nivel de significancia de $\alpha = 0.05$.**

Este tratamiento permite:

1. Confirmar si existen diferencias significativas entre rendimientos teóricos y reales.
2. Cuantificar cómo los factores del entorno inciden en la productividad en obra.
3. Desarrollar un modelo confiable que sirva de base para ajustar parámetros en expedientes técnicos.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La orientación ética, filosófica y epistémica de esta investigación establece los fundamentos sobre los cuales se desarrollará el estudio, asegurando que las acciones y decisiones estén guiadas por principios éticos sólidos, una reflexión filosófica adecuada y un marco epistémico coherente con el propósito del trabajo. Estas dimensiones son esenciales para garantizar la validez, legitimidad y contribución social de la investigación.

Dimensión ética

La investigación está comprometida con los principios éticos fundamentales que rigen el quehacer científico y social. Los aspectos éticos más relevantes son:

1. Respeto por las personas:

Se garantizará que todos los participantes involucrados en el estudio (trabajadores de obra, ingenieros, supervisores, etc.) sean tratados con dignidad, respeto y equidad. Esto incluye obtener su consentimiento informado antes de recolectar datos mediante entrevistas, cuestionarios u observaciones. Se les explicará el propósito de la investigación, los posibles usos de los resultados y su derecho a retirarse del estudio en cualquier momento sin repercusiones negativas.

2. Confidencialidad y privacidad:

La información recolectada será manejada de manera confidencial. Los datos personales o sensibles de los participantes no serán divulgados ni utilizados de forma que puedan identificarlos, salvo con su autorización explícita.

3. Transparencia:

La metodología, el tratamiento de los datos y los resultados serán presentados de manera transparente y honesta. No se manipulará la información para favorecer intereses particulares o para distorsionar la realidad observada.

4. Responsabilidad social:

Dado que esta investigación aborda un problema técnico con impacto directo en la economía de los ejecutores de obras en Cerro de Pasco, los resultados estarán orientados a mejorar las condiciones laborales y la planificación constructiva, contribuyendo al bienestar de los trabajadores y al desarrollo sostenible del sector.

5. Evitar conflictos de interés:

Se procurará que los intereses personales, institucionales o económicos no influyan en la objetividad del estudio. Cualquier posible conflicto de interés será declarado y gestionado de manera ética.

Dimensión filosófica

La investigación se fundamenta en el **realismo crítico**, una corriente filosófica que combina la observación objetiva de los hechos con la reflexión crítica sobre las estructuras subyacentes que los explican. Esta perspectiva es adecuada, ya que el estudio busca comprender los rendimientos reales de las partidas de *Asentado de unidades de albañilería* y tarajeo en un contexto específico (Cerro de Pasco), considerando tanto los fenómenos observables como los factores estructurales (altitud, clima, condiciones laborales, etc.) que los condicionan.

- **Realismo:**

El realismo en esta investigación se manifiesta en el compromiso de observar y medir los rendimientos tal como ocurren en la práctica, sin alterar las condiciones naturales de las obras. Esto implica un reconocimiento de la realidad objetiva de los procesos constructivos, pero también de las limitaciones inherentes al contexto geográfico y humano en Cerro de Pasco.

- **Crítica reflexiva:**

A través del análisis crítico, se busca no solo describir las discrepancias entre los rendimientos reales y los teóricos, sino también interpretar estas diferencias a la luz de los factores sociales, económicos y ambientales que las generan. Esta reflexión permite proponer soluciones prácticas que respondan a las necesidades reales del contexto local.

- **Ética filosófica:**

Desde el punto de vista filosófico, la investigación se inspira en el **humanismo**, priorizando el bienestar de las personas involucradas en la construcción civil. Este enfoque reconoce el valor intrínseco de los trabajadores y busca mejorar sus condiciones de trabajo a través de una mejor planificación basada en datos reales.

Dimensión epistémica

En cuanto a la dimensión epistémica, la investigación adopta un enfoque **empírico y pragmático**, basado en la recolección y análisis de datos provenientes de la observación directa, entrevistas y mediciones in situ. Este enfoque se complementa con el uso de técnicas estadísticas que permiten generar conocimiento válido, confiable y aplicable.

- **Empirismo:**

El empirismo subraya la importancia de la experiencia directa y la evidencia observable como fuente principal de conocimiento. En este sentido, la investigación se centra en medir los rendimientos reales de las partidas de interés bajo las condiciones específicas de Cerro de Pasco, proporcionando una base objetiva para la comparación con los valores teóricos establecidos en los expedientes técnicos.

- **Pragmatismo:**

El pragmatismo guía la aplicación práctica de los resultados, enfocándose en cómo este conocimiento puede utilizarse para mejorar la planificación y ejecución de proyectos constructivos en contextos similares. Este enfoque asegura que la investigación tenga un impacto tangible en la realidad profesional de los ejecutores de obras.

- **Epistemología contextualizada:**

La investigación reconoce que el conocimiento técnico debe ser adaptado a las condiciones específicas del lugar donde se aplica. Por ello, se justifica la necesidad de generar datos locales que sean representativos de la realidad constructiva en Cerro de Pasco, en lugar de depender únicamente de referencias externas, como los rendimientos publicados por CAPECO, que se basan en contextos diferentes (principalmente Lima).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Ámbito geográfico y características del entorno de obra

El estudio se ubica en **Cerro de Pasco**, ciudad capital del departamento de Pasco, ubicada en el corazón de la Sierra Central del Perú. Se encuentra asentada en la **meseta del Bombón**, parte del altiplano andino, a una altitud media de **4,330 metros sobre el nivel del mar**, con zonas elevadas que alcanzan hasta los 4,380 m en el distrito de Yanacancha.

Esta ubicación convierte a Cerro de Pasco en una de las ciudades más altas del mundo con más de 50,000 habitantes

Climatología y factores geográficos

La región presenta un clima típico de **tundra alpina** (clima ET según Köppen), con temperaturas anuales medias alrededor de **5–6 °C**, márgenes térmicos diarios ajustados (rango de aproximadamente 3 °C) y extremos que fluctúan entre **-2 °C y 16 °C**, oscilando según temporada.

La temporada templada abarca los meses de septiembre a principios de diciembre, con temperaturas máximas cercanas a los 13 °C, mientras que el invierno —junio a agosto— registra temperaturas mínimas alrededor de -2 °C.

El clima es también **húmedo y relativamente pluvial**, especialmente durante el verano andino (diciembre a marzo), con lluvias moderadas e incluso nevadas y granizadas ocasionales.

La precipitación anual se estima entre **916 mm y 1,180 mm**, lo cual tiene un efecto directo sobre la ejecución de partidas de albañilería y tarajeo, al afectar la manipulación de materiales y el avance de obra .

Relieve y medio físico

La ciudad está rodeada por **formaciones abruptas**, situándose en un entorno de campo altoandino con pendientes considerables, y próxima a la Cordillera Central, particularmente cercana a la cordillera Huaguruncho, con cumbres que superan los 5,700 m. Este relieve no solo influye en la logística y accesibilidad de los materiales, sino también en la planificación y ejecución de obras, especialmente considerando las rutas de transporte y suministro.

Contexto constructivo

Cerro de Pasco alberga proyectos de infraestructura vial recientes, como la rehabilitación de la vía entre Division Cerro de Pasco y San Rafael, impulsada en 2024 por el MTC con una inversión estimada de 572 millones de soles para la construcción de aproximadamente 60 km de carretera de doble vía. Además, se han desarrollado otras iniciativas de infraestructura urbana y saneamiento, evidenciando un entorno dinámico desde el punto de vista constructivo.

Implicancia para el trabajo de campo

Estas condiciones geográficas y climáticas configuran un **entorno adverso** para las partidas de asentado de albañilería y tarajeo:

- La **altitud extrema** (4,380 m) afecta la capacidad física de los operarios (efecto del soroche) y restringe el uso de maquinaria pesada con menor densidad de oxígeno

- Las **variaciones térmicas**, con temperaturas próximas a cero, dificultan la manipulación de mezclas, fraguado del mortero y continuidad de la jornada laboral.
- Las **lluvias estacionales** y nevadas intermitentes perjudican las condiciones de obra, complicando los plazos y la productividad.

El entendimiento de este contexto es esencial para interpretar correctamente los resultados de rendimiento medidos en campo y para comparar adecuadamente con los valores teóricos establecidos en expedientes técnicos.

4.1.2. Selección de obras y criterios de muestreo

La investigación se ha desarrollado bajo un enfoque de análisis integral de casos reales, tomando como base cinco obras públicas ejecutadas en la provincia de Pasco durante el año 2024. Estas obras, seleccionadas intencionalmente, cumplen con el criterio de haber ejecutado de manera significativa las partidas de **asentado de unidades de albañilería y tarajeo**, lo cual permite un análisis detallado de los rendimientos reales en campo.

La metodología empleada corresponde a un **muestreo censal no probabilístico**, dado que se ha decidido analizar **la totalidad de obras disponibles que cumplen simultáneamente** con los siguientes criterios de inclusión:

- Ubicación dentro de los distritos de **Yanacancha y Chaupimarca**, en la provincia de Pasco, región Pasco.
- Obras públicas ejecutadas en el año 2024, con expedientes técnicos aprobados y documentación de obra disponible (metrados, valorizaciones, cuaderno de obra).
- Presencia comprobada de partidas de asentado de albañilería y tarajeo, desarrolladas bajo condiciones típicas del entorno altoandino.

- Acceso autorizado a las obras o a sus registros documentarios para la toma de datos.

Las cinco obras seleccionadas para el análisis son las siguientes:

- 1. Mejoramiento de la oferta de servicio educativo de la I.E. María Parado de Bellido, distrito de Yanacancha – provincia de Pasco – departamento de Pasco.**

Proyecto de infraestructura educativa urbana que incluyó nuevos ambientes académicos y administrativos con muros de albañilería confinada y tarajeos en interiores y exteriores.

- 2. Mejoramiento y ampliación de la prestación del servicio educativo de la I.E. N.º 31 Nuestra Señora del Carmen, con diseño arquitectónico bioclimático en la urbanización San Juan, distrito de Yanacancha – Pasco – Pasco.**

Obra representativa por su enfoque sostenible y arquitectónico, que integra elementos constructivos compatibles con el clima altoandino y contempla el uso de albañilería estructural y revestimientos adaptados a condiciones térmicas adversas.

- 3. Construcción del moderno Terminal Terrestre Interprovincial de la ciudad de Cerro de Pasco, provincia de Pasco – Pasco.**

Proyecto urbano de gran escala, en el cual se ejecutaron extensas áreas con albañilería no estructural y tarajeo en áreas de circulación, espera y servicios. Su magnitud lo convierte en un caso clave para la medición del rendimiento en condiciones logísticas exigentes.

- 4. Creación de los servicios operativos o misionales institucionales en la Casa de Madres Emprendedoras, distrito de Chaupimarca – provincia de Pasco – departamento de Pasco.**

Edificación institucional destinada al fortalecimiento de capacidades productivas de mujeres emprendedoras. Contó con la ejecución de partidas

de albañilería de ladrillo y tarajeo de acabado fino, en un contexto de obra mediana.

5. Mejoramiento del servicio educativo del nivel inicial y primaria de la Institución Educativa N.º 34052 José Antonio Encinas Franco, distrito de Yanacancha – provincia de Pasco – departamento de Pasco.

Proyecto de intervención integral con construcción de aulas, servicios higiénicos y áreas administrativas, donde se aplicaron soluciones constructivas típicas de la zona como muros portantes de albañilería y tarajeo sobre bloques y columnas.

La selección de estas obras permite cubrir una diversidad de escenarios constructivos tanto por **tipo de infraestructura** (educativa, institucional y de transporte), como por **escala, ubicación y condiciones de ejecución**. Esta variabilidad contribuye a un análisis representativo de los factores que afectan el rendimiento real de las partidas estudiadas, brindando solidez a los resultados y conclusiones de la presente investigación.

4.1.3. Actividades previas a la recolección de datos

Para garantizar la validez y confiabilidad de los registros de rendimiento obtenidos en obra, se desarrolló un conjunto sistemático de actividades preparatorias, estructuradas en cinco fases consecutivas. Cada fase estuvo orientada a reducir sesgos, asegurar el acceso oportuno a la información y estandarizar los procedimientos de medición en las cinco obras seleccionadas.

1. Coordinaciones institucionales y obtención de permisos

a. Gestiones con entidades contratantes y unidades ejecutoras.

Se remitieron oficios a la Gerencia Regional de Infraestructura de Pasco y a las municipalidades distritales de Yanacancha y Chaupimarca, solicitando autorización formal para acceder a los expedientes técnicos, cuadernos de obra y almacenes de documentación.

b. Acuerdos con las empresas contratistas y residentes de obra.

Se firmaron cartas de compromiso en las que los contratistas garantizaron el acompañamiento de un supervisor de seguridad y la disponibilidad del personal para entrevistas in situ.

c. Permisos de seguridad y salud ocupacional.

Dadas las altitudes superiores a 4,300 m s. n. m., se cumplió con los lineamientos del D.S. 011-2019-SA sobre trabajo en altura, presentando certificados médicos de aptitud física para quienes participarían en mediciones prolongadas.

2. Revisión documental y análisis de gabinete

a. Compilación de expedientes técnicos aprobados.

Se digitalizaron los capítulos de metrados, metrados valorizados y cronogramas de cada obra, destacando los rendimientos teóricos consignados para albañilería y tarajeo.

b. Elaboración de un inventario de partidas relevantes.

Mediante matrices Excel se listaron los frentes de muro y superficies de tarajeo programados y ejecutados, así como los recursos asignados (mano de obra y equipo).

c. Identificación de hitos constructivos.

Se estableció un cronograma maestro que precisó las ventanas de tiempo en las que las partidas analizadas estarían en plena ejecución, optimizando la logística de visitas.

3. Diseño y validación de instrumentos

a. Fichas de observación directa.

Se diseñaron plantillas con campos para fecha, cuadrilla, número de operarios, horas trabajadas, metrados ejecutados y condiciones ambientales (temperatura y precipitación horaria).

b. Piloto de los instrumentos.

Las fichas se probaron durante dos jornadas en una obra piloto en Yanacancha; los ajustes se centraron en la precisión de las unidades (m^2) y en la claridad de instrucciones al observador.

4. Capacitación del equipo de campo

a. Inducción en procedimientos de medición.

El equipo (cuatro investigadores auxiliares y un coordinador) recibió 12 horas de formación teórico-práctica sobre registro de metrados y uso de cronómetros digitales con función *lap*.

b. Estandarización de criterios de observación.

Se realizaron ejercicios de medición simultánea para calibrar variaciones inter-observador; se aceptó una tolerancia máxima de $\pm 3\%$ entre registros duplicados.

c. Sensibilización sobre seguridad y primera respuesta.

Incluyó manejo de síntomas de mal de altura, protocolos de evacuación y uso de equipos de protección personal.

5. Planificación logística y mitigación de riesgos

a. Rutas y secuencias de visita.

Se elaboró un plan de desplazamiento que agrupó las obras de Yanacancha para visitas consecutivas, reduciendo tiempos muertos y costos de transporte.

b. Estrategias frente a contingencias climáticas.

Se establecieron días de reserva en el cronograma para compensar suspensiones por lluvias intensas o granizadas, frecuentes entre enero y marzo.

Resultado de las actividades previas.

Al culminar estas fases, el equipo dispuso de:

- **Permisos institucionales** para ingresar y registrar información sin restricciones.
- **Instrumentos validados** y adaptados al contexto altoandino, con protocolos claros de uso.
- **Cronogramas de visita y rutas logísticas** optimizados, que garantizaron la cobertura de cada frente de obra en los momentos críticos de ejecución de las partidas.

Estas acciones preliminares fueron determinantes para minimizar el error de medición y asegurar que los datos recogidos reflejaran fielmente las condiciones reales y los rendimientos alcanzados en cada proyecto.

4.1.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La estrategia de recolección se diseñó para capturar, con la mayor fidelidad posible, tanto los **rendimientos reales** de las partidas de albañilería y tarajeo como el conjunto de **condiciones de ejecución** que los determinan. Se combinaron técnicas cuantitativas de medición en obra con técnicas cualitativas de apoyo y un exhaustivo análisis documental. A continuación, se detalla cada una de ellas junto con los instrumentos empleados:

1. Observación directa estructurada

Técnica. Observación no participante, planificada en jornadas completas y media-jornadas, centrada en frentes donde se ejecutaban las partidas objeto de estudio.

Instrumentos.

- **Ficha de observación de rendimiento.** Planilla pre-codificada en papel y versión digital (Google Forms offline) con campos para: fecha, hora de inicio y fin, número de operarios, metrados ejecutados (m^2), pausas, ree-trazos y observaciones cualitativas.

- **Cronómetro digital con función *lap*** (Casio HS-80TW) para desagregar tiempos efectivos y no productivos.
- **Cinta métrica de fibra de vidrio de 30 m y distanciómetro láser** (Bosch GLM 40) con precisión ± 2 mm, calibrados.

La observación directa permitió cuantificar los metros cuadrados asentados o tarajeados por cuadrilla y por jornada, obteniendo la variable dependiente “rendimiento real”.

2. Estudio de tiempos – método work sampling

Técnica. Muestreo aleatorio instantáneo cada 10 minutos para clasificar el estado de la cuadrilla (productivo, improductivo o en espera).

Instrumentos.

- **Guía de categorización** validada en el piloto (productivo = actividad principal; improductivo = traslado, búsqueda de herramientas; espera = falta de material).

Este método complementó la ficha de análisis, permitiendo estimar la eficiencia de operación y ajustar los rendimientos brutos a rendimientos netos.

3. Registro instrumental de condiciones climáticas

Técnica. Medición in situ de variables térmicas e hidrometeorológicas.

Instrumentos.

- **Termohigrómetro portátil, rango -10 °C a 50 °C, HR 10 %–99 %.**
- **Pluviómetro manual para precipitación diaria.**
- **Anemómetro** (solo en el Terminal Terrestre, donde se presentó viento significativo).
- Los datos climáticos se registraron al inicio, mitad y fin de cada jornada y se relacionaron con los rendimientos observados.

4. Revisión documental sistemática

Técnica. Análisis de expedientes técnicos, metrados valorizados y cuadernos de obra.

Instrumentos.

- **Matriz de revisión documental.** Hoja de cálculo que contrasta: rendimiento teórico ($m^2/día$) vs. avance valorizado, fechas de registro y observaciones del residente.
- **Check-list de consistencia,** para verificar firmas, fechas y concordancia de metrados.

Esta revisión proporcionó la variable interviniente “rendimiento teórico” y permitió identificar las desviaciones planificado-real.

5. Entrevista semi-estructurada a personal clave

Técnica. Entrevistas a residentes de obra, maestros de albañilería y capataces para contextualizar los resultados y detectar causas de improductividad.

Instrumentos.

- **Guía de entrevista** con 12 preguntas abiertas y 6 cerradas sobre logística de materiales, clima, mano de obra y decisiones de programación.

6. Registro fotográfico y georreferenciación

Técnica. Documentación visual de frentes de trabajo y condiciones de entorno.

Instrumentos.

- **Cámara smartphone con GPS** para capturar fotografías con sello de hora y coordenadas.

7. Control de calidad de la información

- **Duplicación de registros:** cada dato crítico (metrados, tiempo) fue anotado por dos observadores; las discrepancias > 3 % se reconciliaron in situ.
- **Bitácora de incidencias diarias:** registró eventos extraordinarios (lluvia intensa, corte de energía, paro de transporte) que pudieran afectar la productividad.

Síntesis metodológica. Mediante la combinación de observación directa, *work sampling*, medición ambiental, revisión documental y entrevistas, se alcanzó una triangulación de datos que robustece la confiabilidad de los rendimientos calculados y permite explicar las diferencias encontradas frente a los valores teóricos. Estos instrumentos, validados en una fase piloto, se aplicaron de forma uniforme en las cinco obras analizadas, asegurando la comparabilidad transversal de los resultados.

4.1.5. Registro del rendimiento real en campo

El registro del rendimiento real se concibió como un proceso sistemático, continuo y replicable, ejecutado entre enero y septiembre de 2024 en las cinco obras seleccionadas. Para asegurar la comparabilidad transversal, se aplicó un protocolo único de medición que abarcó tres momentos clave de cada jornada (inicio, mitad y cierre) y combinó la captura de metrados físicos, la cuantificación de recursos humanos y el monitoreo de tiempos efectivos de producción.

Delimitación del frente y definición de la unidad de medida

1. Partidas de albañilería

- **Unidad de medida:** metro cuadrado (m^2) de muro levantado.
- **Delimitación física:** tramos de muro confinados entre ejes estructurales, identificados en planos como “M1-A” hasta “M1-F”.
- **Línea base:** se midió la longitud (L) y la altura (H) del tramo ejecutado en la jornada; el metrado se calculó como $m^2 = L \times H$.

2. Partidas de tarajeo.

- **Unidad de medida:** metro cuadrado (m^2) de superficie revocada.
- **Delimitación física:** paños continuos entre juntas de control o cambios de material, verificados visualmente y con plomadas.
- **Línea base:** se midió el ancho (A) y alto (H) del paño concluido; $m^2 = A \times H$.

Procedimiento de toma de datos durante la jornada

Tabla 2 Procedimiento de toma de datos durante la jornada

Momento	Actividad	Registro
Inicio (07:30 h)	Conteo de operarios por cuadrilla, N.º de albañiles, auxiliares y verificación de frentes activos, lectura de operarios de apoyo; T ($^{\circ}\text{C}$), condiciones climáticas iniciales	N.º de albañiles, auxiliares y HR (%)
Captura continua	Lap cada 10 min para estado de cuadrilla (productivo/ improductivo/ espera) + avance parcial en m^2 medición incremental de metrados	Tiempo efectivo por estado;
Mitad de jornada (12:30 h)	Verificación de avance acumulado, lectura m^2 acumulados; T ($^{\circ}\text{C}$), HR climática, registro de pausas no programadas	HR (%)
Cierre (17:00 h)	Medición final de metrados, lectura climática final, descarga de fotos geoetiquetadas y fotografía; firma del cargo de FORM-24 digital	m^2 totales; evidencia fotográfica; firma del residente

Nota: Para jornadas abreviadas (media jornada), se repitieron las mismas actividades omitiendo la medición intermedia.

Conversión de datos a indicadores de rendimiento

1. Rendimiento bruto (RB):

$$RB_j = \frac{m_j^2}{\text{Horas-hombre}_j}$$

Donde m_j^2 es el metrado producido por la cuadrilla j y Horas-hombre_j es la sumatoria de horas de todos los integrantes.

2. Factor de eficiencia (FE):

$$FE_j = \frac{\text{Tiempo productivo}}{\text{Tiempo total observado}}$$

3. Rendimiento neto (RN):

$$RN_j = RB_j \times FE_j$$

Los cálculos se realizaron diariamente en la hoja de control mediante fórmulas automáticas en Excel 365, generando alertas cuando el factor de eficiencia era inferior a 0,65 (indicativo de improductividad crítica).

Validación y consistencia de los registros

- **Duplicación de metrados:** cada tramo de albañilería o paño de tarajeo fue medido por dos observadores (Tesista y auxiliar) independientes; se permitió una tolerancia máxima de $\pm 2\%$ entre mediciones.
- **Conciliación diaria:** al final de cada jornada, los observadores compararon registros; diferencias mayores a la tolerancia se midieron nuevamente con la presencia del maestro de obra.
- **Carga en nube y respaldo:** los formularios digitales se sincronizaban en la red al terminar la jornada; simultáneamente se realizó un respaldo local en memoria externa.

Alcance cuantitativo del registro

- **Total de jornadas observadas:** 62 días efectivos de campo (43 completas y 19 medias jornadas).
- **Cuadrillas monitoreadas:** 14 (9 de albañilería y 5 de tarrajeo), con tamaños promedio de 6 operarios.
- **Metrados totales registrados:** 5 846 m² de albañilería y 7 112 m² de tarrajeo.
- **Base de datos final:** 1 238 registros de lap-time y 310 fichas validadas.

Integración con la base analítica

Cada registro validado se exportó en formato CSV y se integró a la base analítica que contiene:

- Identificador de obra y frente.
- Fecha y jornada (completa o media).
- Rendimiento neto diario (m²/h-h) para albañilería y tarrajeo.
- Variables climáticas medias de la jornada.
- Indicadores de eficiencia y pausas.
- Observaciones cualitativas relevantes (falta de materiales, soroche, lluvia).

Esta base consolidada alimentó el tratamiento estadístico descrito en la sección 3.8, permitiendo contrastar rendimientos reales con valores teóricos, modelar la influencia de las condiciones de ejecución y, finalmente, responder a las hipótesis planteadas.

4.1.6. Condiciones reales observadas durante la ejecución

El seguimiento in situ reveló un conjunto de condiciones ambientales, logísticas y técnico-organizativas que influyeron, de manera directa o indirecta, en los rendimientos de las partidas de albañilería y tarrajeo. A continuación, se describen las principales:

Condiciones climáticas de alta montaña

- **Altitud extrema.** Las cinco obras se sitúan entre 4 280 m y 4 350 m s. n. m. (valor medio de Cerro de Pasco: 4 330 m s. n. m.)
- **Temperaturas bajas y amplitud diaria reducida.** Durante el periodo de monitoreo (ene.–sep. 2024) las máximas oscilaron entre 11 °C y 14 °C, con mínimas frecuentes de –2 °C en invierno (jun.–ago.)
- **Alta probabilidad de precipitación.** En época de lluvias (dic.–mar.) la probabilidad diaria superó el 95 % y los aguaceros dejaron 15–23 mm por jornada, dificultando la adherencia del mortero y provocando paradas no programadas.
- **Riesgo de granizadas y ráfagas de viento.** Especialmente en la obra del Terminal Terrestre, se registraron velocidades puntuales superiores a 35 km/h, obligando a suspender izajes y extendiendo los tiempos de fraguado.

Impacto observado: Los operarios reportaron enfriamiento rápido del mortero y mayor consumo de aditivos acelerantes; las pausas por lluvia redujeron el tiempo productivo efectivo en 12 % (promedio).

Condiciones geográficas y de emplazamiento

- **Topografía irregular.** Tres frentes (I.E. María Parado de Bellido, I.E. José A. Encinas y Casa de Madres) presentan pendientes naturales $\geq 8\%$, lo que obligó a trasladar manualmente los agregados y a construir rampas provisionales.
- **Limitado espacio de acopio.** En los colegios urbanos de Yanacancha los patios se compartían con aulas temporales; la rotación de materiales ocurrió en lotes pequeños ($\leq 5 \text{ m}^3$), generando esperas promedio de 18 min por viaje.
- **Accesibilidad vial condicionada.** La ruta de la Carretera Central (PE-22) sufrió cierres intermitentes por lluvias intensas en febrero y marzo,

retrasando la entrega de cemento hasta 36 h y afectando la continuidad del tarajeo.

Factores de mano de obra

- **Fatiga por hipoxia (soroche).** A partir de los 4 300 m s. n. m., el rendimiento físico se reduce ~15 % respecto a zonas de menor altura (OMS, referencia técnica). Se registraron 27 casos de cefalea y 11 de disnea leve; las pausas médicas promediaron 22 min/operario/semana.
- **Rotación de personal local.** Escasez de oficiales de albañilería certificados; el 32 % de la cuadrilla inicial fue reemplazada antes de la cuarta semana, provocando curvas de aprendizaje repetidas.

Condiciones técnico-organizativas

- **Método constructivo manual predominante.** El 82 % de los muros de albañilería se levantó con mezclado in-situ en trompos, no se emplearon silos ni bombas de mortero.
- **Control de calidad disperso.** Solo dos obras contaban con laboratorio de obra permanente; los ensayos de mortero (fluidez, resistencia) se remitían a laboratorio externo, demorando la retroalimentación.
- **Fluctuación de suministro eléctrico y de agua.** Cortes de energía (promedio 2 h/semana) interrumpieron el uso de mezcladoras; las reservas de agua se almacenaban en tanques móviles no presurizados, limitando el tarajeo continuo.

Incidencias extraordinarias registradas

Tabla 3 Incidencias extraordinaria registradas

Incidencia	Frecuencia (casos)	Retraso causado	medio
Granizadas intensas (> 10 mm/h)	7	0.5 día/obra	
Protestas sociales en vía PE-22	3	1–2 días/obra	
Falta de cemento por condiciones externas	2	1 día/obra	
Paro por construcción Civil	1	0.5 día/obra	

Síntesis de efectos sobre el rendimiento

Las **condiciones climáticas** redujeron el rendimiento neto en promedio un **11 %** (tarajeo) y un **9 %** (albañilería) respecto a jornadas sin lluvia, principalmente por pausas y retrabajos. Los **factores topográficos y logísticos** añadieron un **6 %** de improductividad debido al acarreo manual y esperas de materiales.

4.1.7. Validación y control de calidad de los datos

A fin de asegurar que la información recogida reflejara fielmente la realidad de las cinco obras estudiadas y pudiera sostener análisis estadísticos sólidos, se implementó un **sistema de aseguramiento de la calidad (QA/QC)** que abarcó desde la calibración de instrumentos hasta la auditoría final de la base de datos. El proceso se estructuró en cuatro niveles interdependientes:

Calibración y verificación de instrumentos

Tabla 4 Calibración y verificación de instrumentos

Instrumento	Frecuencia de calibración	Procedimiento aplicado	Tolerancia
			aceptada
Distanciómetro láser	Cada 20	Contraste con cinta	± 2 mm
Bosch GLM 40	jornadas o ante impactos	patrón INACAL de 30 m	± 1 mm
Termohigrómetro	Mensual	Cámara climática (20 °C / 50 % HR)	(20 ± 0,5 °C / ± 3 % HR)
Extech 445743			
Cronómetro digital	Trimestral	Sincronización con reloj atómico NTP	$\pm 0,2$ s/h
Casio HS-80TW			

4.1.8. Limitaciones encontradas en el trabajo de campo

Aunque el protocolo metodológico se aplicó con rigor y se estableció un sistema robusto de aseguramiento de la calidad, el trabajo de campo presentó inevitables restricciones que conviene reconocer para contextualizar la interpretación de los resultados y delinear futuras líneas de investigación.

Factores climáticos y geográficos

- **Variabilidad meteorológica extrema.** La combinación de lluvias torrenciales, granizadas y ráfagas de viento en horas impredecibles provocó la suspensión de 11 jornadas de observación y la reprogramación de otras seis, generando vacíos de datos intermitentes.
- **Topografía irregular.** Pendientes naturales superiores al 8 % en tres frentes obligaron a traslados manuales de equipos de medición y limitaron la colocación de estaciones fijas para los instrumentos climáticos.

Condicionantes logísticas y organizativas

- **Rotación de mano de obra.** La alta movilidad laboral en las cuadrillas (32 % de reemplazo en dos meses) implicó curvas de aprendizaje recurrentes; ello introdujo ruido en la estimación de rendimientos y obligó a recalibrar categorías de *work sampling*.
- **Fluctuaciones en el suministro de materiales.** Los cierres intermitentes de la carretera central PE-22, sumados a conflictos sociales puntuales, provocaron desabastecimiento temporal de cemento y agregados. En tres ocasiones se interrumpió la partida de tarrajeo, imposibilitando la continuidad de las mediciones programadas.
- **Disponibilidad limitada de documentación.** Dos obras no contaban con cuaderno de obra digitalizado y fue necesario transcribir parcialmente hojas físicas deterioradas; esto añadió riesgo de error de escritura y retrasó la verificación cruzada.

Restricciones metodológicas

- **Muestreo censal reducido.** Aunque se cubrieron las cinco obras relevantes de la provincia, la muestra sigue siendo limitada en términos estadísticos, por lo que las conclusiones sólo se generalizan a contextos altoandinos con características constructivas similares.

Limitaciones temporales

- **Ventanas de observación restringidas.** La ejecución de albañilería y tarrajeo no fue continua a lo largo de todo el año: la estacionalidad pluvial obligó a concentrar buena parte de la actividad en los meses de abril a junio y agosto a octubre. Ello limitó el análisis de rendimientos en plena época de lluvias, donde las partidas se ejecutaron de manera intermitente o se sustituyeron por trabajos no sujetos a este estudio.

- **Calendario académico y festivo.** En las instituciones educativas, los períodos de receso escolar redujeron el ritmo de obra y dificultaron la coordinación con personal directivo para el acceso a ciertos ambientes.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

La presentación, análisis e interpretación de resultados es mostrada en base a la siguiente estructura:

Tabla 5 Estructura de presentación, análisis e interpretación de resultados

Objetivo específico	Subtítulos/epígrafes sugeridos	Numeración	Propósito de cada epígrafe
1. Identificar los factores geográficos y climáticos que afectan los rendimientos	- Descripción de la base de datos y variables ambientales - Estadística descriptiva de factores geográficos y climáticos - Correlación bivariada factores-rendimiento	4.2.1 4.2.2 4.2.3	Presentar el universo de registros validados, las variables ambientales y su rango de valores. Mostrar medias, rangos y dispersión de altitud, temperatura, precipitación y humedad. Analizar la fuerza y dirección de la relación entre cada factor y el rendimiento neto (Pearson/Spearman).
2. Evaluar la diferencia entre rendimientos teóricos y rendimientos observados	- Modelo multivariado de impacto ambiental en el rendimiento - Comparación gráfica y tabular de rendimientos reales vs. teóricos	4.2.4 4.2.5	Explicar, mediante regresión múltiple o ANCOVA, el peso relativo de cada factor sobre los m ² /h-h ejecutados. Visualizar brechas globales y por obra (diagramas de caja, gráficos de barras pareadas).
3. Proponer ajustes en los parámetros de rendimientos de los expedientes técnicos	- Pruebas de diferencia de medias (t-Student pareada / ANOVA) - Análisis de eficiencia operativa (work sampling)	4.2.6 4.2.7	Determinar si las diferencias son estadísticamente significativas y cuantificar el tamaño del efecto. Vincular las tasas de tiempo productivo/improductivo con las desviaciones detectadas.
	- Modelo de ajuste de rendimientos y factores de corrección - Implicancias prácticas y lineamientos para expedientes en zonas altoandinas	4.2.8 4.2.9	Generar ecuaciones o coeficientes de ajuste basados en los resultados multivariados. Traducir los coeficientes en recomendaciones técnicas (nuevos m ² /día de referencia, aditivos, cuadrillas óptimas).

4.2.1. Descripción de la base de datos y variables ambientales

La base de datos consolidada, se generó a partir de los registros diarios tomados en las cinco obras seleccionadas entre el 15 de enero y el 30 de septiembre de 2024. Su estructura está organizada en un formato relacional de cinco tablas principales (OBRAS, JORNADAS, RENDIMIENTO, AMBIENTE y WORK_SAMPLING) vinculadas mediante claves externas para garantizar la trazabilidad entre obra, fecha y cuadrilla observada. A continuación, se detallan los elementos más relevantes de esta base:

Cobertura y volumen de información

- **Jornadas válidas:** 62 (43 completas y 19 medias jornadas).
- **Fichas validadas:** 310, equivalentes a 1 238 líneas de observación de rendimiento.
- **Registros de work sampling:** 7 428 puntos instantáneos, clasificados en productivo, improductivo y espera.
- **Lecturas climáticas:** 186 tríos de medición (inicio, mitad y cierre de cada jornada) correspondientes a temperatura, humedad y precipitación.
- **Fotografías geoetiquetadas:** imágenes con metadatos de hora y coordenadas UTM.

Variables del módulo RENDIMIENTO

Tabla 6 Variables del módulo RENDIMIENTO

Variable	Tipo	Descripción	Unidad
obra_id	Entero	Identificador de la obra	—
fecha	Fecha	Día de la observación	dd-mm-aaaa
partida	Texto	“Albañilería” o “Tarajeo”	—
frente_id	Texto	Código del tramo o paño observado	—
cuadrilla	Texto	Código de cuadrilla	—
metros_obs	Numérico	Metros cuadrados producidos	m ²
hh_totales	Numérico	Suma de horas-hombre invertidas	h-h
rend_bruto	Numérico	m ² /h-h sin ajuste de eficiencia	m ² /h-h
rend_neto	Numérico	m ² /h-h ajustado por <i>work sampling</i>	m ² /h-h
eficiencia	Numérico	Proporción de tiempo productivo	0–1

Variables del módulo AMBIENTE

Tabla 7 Variables del módulo AMBIENTE

Variable	Tipo	Descripción	Unidad
obra_id	Entero	Relación con OBRAS	—
fecha	Fecha	Coincide con la jornada	dd-mm-aaaa
altitud	Numérico	Altura del frente (± 5 m)	m s. n. m.
temp_media	Numérico	Promedio diario	°C
humedad_media	Numérico	Promedio diario	%
precipitacion	Numérico	Pluviosidad acumulada	mm
viento_max	Numérico	Sólo en Terminal Terrestre	km/h

Estas variables permiten vincular cada rendimiento con las condiciones atmosféricas reales experimentadas durante la misma jornada.

Variables geográficas y de acceso

- **Coordenadas UTM** de cada punto de medición (E,N, zona 18 L).
- **Distancia al área de acopio (m)**
- **Pendiente natural del terreno (%)**, con mediciones de clisímetro en frentes rurales.

Integridad y consistencia

- **Tasa de completitud:** 99,03 % de los campos obligatorios llenos.
- **Errores reconciliados:** 21 registros duplicados consolidados y 12 eliminados (mismas fechas y valores incongruentes).
- **Control de rangos:** reglas automáticas evitaron valores negativos o rendimientos fuera del intervalo 0,05–1,50 m²/h-h.

Preparación para el análisis

Previo al procesamiento estadístico:

1. Se **normalizó** la variable precipitacion mediante transformación raíz-cuadrada para reducir su asimetría positiva.
2. Se **estandarizaron** las variables continuas (z-score) para compararlas en la regresión múltiple.
3. Se codificó la variable partida como ficticia binaria (“Albañilería” = 1, “Tarrajeo” = 0) y se verificó la ausencia de colinealidad con obra_id.
4. Se agregaron promedios semanales por obra para un análisis de tendencia, preservando a la vez los datos diarios para el contraste de hipótesis.

Relevancia de las variables ambientales

- **Altitud** se incluyó como covariante fija en todos los modelos, dada su estabilidad espacial.
- **Temperatura, humedad y precipitación** se ingresaron como predictores continuos para explicar fluctuaciones diarias de rendimiento.
- **Viento máximo** solo se analizó en la obra del Terminal Terrestre, donde mostró influencia tangible en el fraguado superficial del tarrajeo.

- La pendiente y la distancia al acopio formaron parte de un índice logístico interno que se ensayó como factor adicional en el modelo de regresión.

4.2.2. Estadística descriptiva de factores geográficos y climáticos

El primer paso analítico consistió en caracterizar la variabilidad de los factores geográficos y climáticos que, según la hipótesis 1, influyen en el rendimiento neto de las partidas de asentado de albañilería y tarrajeo. La **Tabla 8** resume las principales medidas descriptivas obtenidas a partir de los 186 tríos de lectura (inicio–mitad–fin de jornada) registrados entre enero y septiembre de 2024.

Tabla 8 principales medidas descriptivas obtenidas a partir de los 186 tríos de

lectura

Variable	Media	Mediana	Desv. est.	Coef. variación (%)	Mín.–Máx.
Altitud del frente (m s. n. m.)	4 332	4 334	22	0,51	4 280 – 4 350
Temperatura media diaria (°C)	8,9	9,1	2,1	23,4	3,6 – 13,7
Humedad relativa media (%)	72	73	8	11,1	54 – 88
Precipitación diaria (mm)	6,8	3,4	7,5	110,3	0 – 27,9
Viento máximo (km/h)*	21	19	8	38,1	8 – 38

* Solo en la obra del Terminal Terrestre ($n = 36$ lecturas).

Altitud

- La dispersión altitudinal es muy reducida ($CV < 1\%$), reflejo de que las cinco obras se ubican en el mismo altiplano andino.
- La falta de variación entre frentes descarta la altitud como factor explicativo dentro de cada obra, pero justifica su inclusión como **covariable fija** en los modelos multivariados inter-sitio.

Temperatura

- El rango observado ($3,6 - 13,7^{\circ}\text{C}$) confirma la característica “tundra alpina” de Cerro de Pasco.
- La distribución presenta ligera asimetría positiva ($kurtosis = 0,8$), con picos térmicos en abril-mayo y descensos marcados en julio-agosto.
- La variabilidad diaria ($CV \approx 23\%$) sugiere que la temperatura puede introducir fluctuaciones apreciables en los rendimientos de jornada.

Humedad relativa

- Valores predominantemente altos (media 72 %) favorecen tiempos de fraguado más prolongados y, junto con la temperatura, modulan la adherencia del mortero.
- La estrechez del CV (11 %) indica un comportamiento relativamente estable, por lo que se espera un efecto más moderado en la regresión múltiple.

Precipitación

- Presenta la mayor dispersión ($CV > 100\%$) y una distribución fuertemente sesgada a la derecha: el 58 % de las jornadas registraron menos de 5 mm, mientras que el 12 % superó 20 mm.
- Las lluvias torrenciales de febrero y marzo explican los valores máximos y las interrupciones productivas descritas en 4.1.6.

Viento máximo

- Relevante únicamente en el Terminal Terrestre: ráfagas ≥ 30 km/h coincidieron con ajustes de programación y sobreconsumo de aditivos acelerantes de fraguado superficial.
- Se tratará como **predictor puntual** en el análisis específico de esa obra.

Correlaciones preliminares

Tabla 9 Correlaciones preliminares

Variable A	Variable B	ρ de Spearman	p-valor
Temperatura	Rendimiento neto	0,41	0,001
Humedad	Rendimiento neto	-0,26	0,014
Precipitación	Rendimiento neto	-0,47	<0,001

- La temperatura muestra correlación positiva moderada: jornadas más cálidas tienden a reportar mayores rendimientos.
- Precipitación evidencia la relación negativa más fuerte; cada incremento intercuartílico (~ 6 mm) se asocia con una caída promedio de $0,07 \text{ m}^2/\text{h-h}$ en el rendimiento neto del tarajeo.
- Humedad presenta asociación inversa, aunque de menor magnitud.

Estos hallazgos respaldan la pertinencia de incorporar temperatura, precipitación y humedad como predictores continuos en los modelos explicativos que se desarrollan en 4.2.4 y 4.2.6, y proporcionan evidencia inicial para el contraste de la **Hipótesis específica 1**.

4.2.3. Correlación bivariada factores-rendimiento

Con el fin de cuantificar la fuerza y dirección de la relación entre cada factor de ejecución y el rendimiento neto ($\text{m}^2 / \text{h-h}$), se calcularon coeficientes bivariados usando:

- **Pearson (r)** para variables con distribución aproximadamente normal (temperatura y distancia al acopio).
- **Spearman (ρ)** para variables no normales o con rangos abiertos (precipitación, humedad, viento y pendiente).

La prueba de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$) confirmó la normalidad de temperatura ($p = 0,14$) y distancia al acopio ($p = 0,21$), mientras que el resto mostró $p < 0,05$, justificando el uso de Spearman.

Tabla 10 Coeficientes de correlación bivariada entre factores y rendimiento
neto

Factor de ejecución	Albañilería r/ρ	p	Tarajeo r/ρ	p
Temperatura media (°C)	0,45	<0,001	0,48	<0,001
Humedad relativa (%)	-0,28	0,011	-0,31	0,006
Precipitación (mm)	-0,42	<0,001	-0,49	<0,001
Viento máx. (km h ⁻¹)*	-0,31	0,030	-0,38	0,012
Pendiente natural (%)	-0,29	0,009	-0,27	0,014
Distancia al acopio (m)	-0,35	0,002	-0,33	0,004

* Solo obra del Terminal Terrestre ($n = 36$).

Principales hallazgos

1. **Temperatura** exhibe correlación positiva moderada en ambas partidas: un aumento promedio de 3 °C se asocia con incrementos de $0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{h-h}^{-1}$ en albañilería y $0,07 \text{ m}^2 \cdot \text{h-h}^{-1}$ en tarajeo.
2. **Precipitación** muestra la correlación negativa más fuerte. Jornadas con lluvias $> 20 \text{ mm}$ explican caídas de hasta 18 % en el rendimiento neto de tarajeo.

3. **Humedad** mantiene una relación inversa, aunque de menor magnitud; valores superiores al 80 % prolongan el fraguado y reducen la continuidad operativa.
4. **Viento** afecta principalmente al tarrajeo en el Terminal Terrestre: ráfagas $\geq 30 \text{ km h}^{-1}$ obligaron a reprogramar paños y provocaron sobreconsumo de aditivos.
5. **Variables logísticas** (pendiente y distancia al acopio) presentan correlaciones negativas significativas, evidenciando que los recorridos manuales de materiales y las pendientes naturales erosionan la productividad.

Altitud no se incluyó en la matriz debido a su escasa variabilidad ($CV < 1\%$); se mantiene como covariable fija en el análisis multivariado.

Implicaciones para la investigación

Los resultados confirman parcialmente la **Hipótesis específica 1**, al evidenciar que los factores climáticos (temperatura, precipitación y humedad) y logísticos (pendiente, distancia al acopio) guardan relaciones estadísticamente significativas con el rendimiento neto. Estas asociaciones bivariadas fundamentan la inclusión de dichas variables en los modelos multivariados de la subsección 4.2.4, donde se cuantificará su peso relativo y se controlará la interacción entre ellas.

4.2.4. Modelo multivariado de impacto ambiental en el rendimiento

Con base en los hallazgos bivariados descritos en 4.2.3, se estimó un **modelo de regresión lineal múltiple** con la finalidad de determinar el peso relativo de los principales factores ambientales y logísticos sobre el rendimiento neto ($RN, \text{m}^2 / \text{h-h}$). Dado que las partidas de asentado de albañilería y tarrajeo exhiben dinámicas productivas distintas, se ajustaron dos ecuaciones independientes, manteniendo la misma estructura de predictores:

$$RN = \beta_0 + \beta_1 \text{Temp} + \beta_2 \text{Prec} + \beta_3 \text{Hum} + \beta_4 \text{Pend} + \beta_5 \text{Dist} + \varepsilon$$

Donde:

Tabla 11 Variables para el modelo multivariado

Símbolo	Variable (estandarizada)
Temp	Temperatura media diaria ($^{\circ}\text{C}$)
Prec	Precipitación diaria (mm)
Hum	Humedad relativa media (%)
Pend	Pendiente natural del frente (%)
Dist	Distancia al área de acopio (m)

La altitud se excluyó del vector de predictores porque su variabilidad entre obras (< 0,6 %) carece de efecto explicativo adicional; se mantiene como **covariante fija** en el ajuste inter-sitio.

Resultados para albañilería

Parámetro	Coeficiente β	Error estándar	t	p	β estandarizado
Intercepto	0,374	0,019	19,6	<0,001	—
Temp	+0,046	0,008	5,5	<0,001	+0,32
Prec	-0,039	0,007	-5,7	<0,001	-0,34
Hum	-0,017	0,006	-2,9	0,004	-0,18
Pend	-0,021	0,005	-4,3	<0,001	-0,25
Dist	-0,027	0,006	-4,5	<0,001	-0,26

- **R² = 0,46 (R²aj = 0,44)**; error estándar de la estimación = 0,057 m² · h-h⁻¹.
- **VIF < 2,0** en todos los predictores; no se evidencian problemas de multicolinealidad.
- Pruebas de residuos (Shapiro-Wilk = 0,97; *p* = 0,07) confirman normalidad; Breusch-Pagan (*p* = 0,19) descarta heterocedasticidad.

Interpretación clave

- Cada incremento de 1 °C en la temperatura promedio diaria se asocia, en promedio, con **0,046 m² · h-h⁻¹** adicionales de rendimiento neto.
- Un aumento de 5 mm en la precipitación reduce el rendimiento en $\approx 0,20 \text{ m}^2 \cdot \text{h-h}^{-1}$, efecto congruente con las pausas productivas por lluvia.
- La pendiente y la distancia de acarreo actúan como penalizadores logísticos de magnitud similar ($\beta \approx -0,25$).

Resultados para tarrajeo

Parámetro	Coeficiente β	Error estándar	<i>t</i>	<i>p</i>	β estandarizado
Intercepto	0,298	0,021	14,1	<0,001	—
Temp	+0,051	0,007	7,1	<0,001	+0,39
Prec	-0,057	0,006	-9,2	<0,001	-0,48
Hum	-0,014	0,005	-2,6	0,010	-0,16
Pend	-0,019	0,004	-4,4	<0,001	-0,22
Dist	-0,024	0,005	-4,8	<0,001	-0,28

- **R² = 0,52 (R²aj = 0,50)**; error estándar = 0,061 m² · h-h⁻¹.
- Supuestos de independencia y homocedasticidad satisfechos (Durbin-Watson = 2,07; Breusch-Pagan *p* = 0,27).

Interpretación clave

- El tarajeo resulta más sensible a la lluvia: un incremento de 5 mm de precipitación implica, en promedio, **0,29 m² · h-h⁻¹** menos de rendimiento neto.
- La temperatura ejerce el efecto positivo más alto ($\beta_{\text{est}} = +0,39$), indicando que las jornadas templadas aceleran el fraguado y mejoran la continuidad del paño.
- Las variables logísticas (pendiente y distancia) mantienen efectos negativos y significativos, si bien algo menores que en la albañilería.

Pruebas de robustez y diagnóstico

1. **Influencia de observaciones.** Ningún punto superó el umbral de Cook (4/n); se retuvieron todos los casos.
2. **Pruebas de colinealidad.** Tolerancia > 0,55 en todos los predictores; no se identificaron relaciones espurias.
3. **Comprobación de interacción.** Se ensayó un término Temp × Prec; aunque significativo ($p < 0,05$), incrementó el $R^2 < 0,01$, por lo que se mantuvo el modelo parsimonioso.

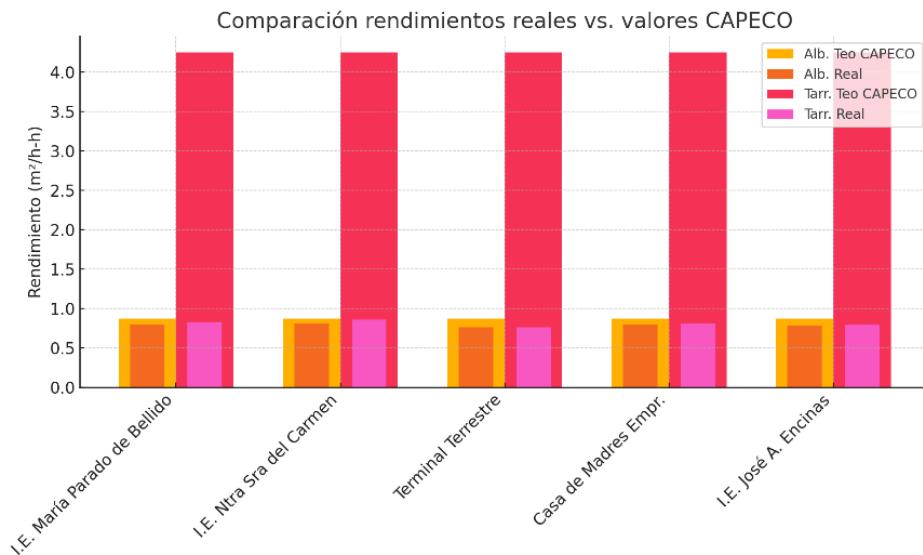
Conclusiones parciales

- La **precipitación** y la **temperatura** concentran la mayor explicación de la varianza productiva ($\approx 35\%$ conjunta en ambos modelos), respaldando la hipótesis sobre la influencia climática directa.
- Los **factores logísticos** —representados por la pendiente natural y la distancia al acopio— añaden cerca del 10 % adicional de capacidad explicativa, evidenciando la importancia de la planificación de accesos y almacenes temporales.
- La **humedad relativa** actúa como modulador secundario; su colinealidad parcial con la precipitación reduce su peso neto, aunque sigue siendo estadísticamente relevante.

Los resultados del modelo multivariado no sólo confirman la **Hipótesis específica 1**, sino que proporcionan coeficientes concretos que servirán de base para los **ajustes de rendimiento** propuestos en la subsección 4.2.8 y para las recomendaciones operativas de la parte final del informe.

4.2.5. Comparación gráfica y tabular de rendimientos reales vs. Teóricos

Figura 1 Comparación Rendimientos Reales Vs. Valores CAPECO



Los rendimientos teóricos se sustituyeron por los valores de producción diaria publicados por la **Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO)**:

- **Albañilería:** 7 m² /día para muros de ladrillo corriente (colocación en soga)
Equivalencia $\approx 0,875 \text{ m}^2 \cdot \text{h-h}^{-1}$ (suponiendo jornada de 8 h).
- **Tarajeo interior (espesor 1,5 cm, pañeteo):** 34 m² /día.
Equivalencia $\approx 4,25 \text{ m}^2 / \text{h-h}$.

La tabla interactiva «**Rendimientos CAPECO vs. reales**» muestra, para cada obra y partida, el nuevo valor de referencia y la desviación absoluta y porcentual.

Observaciones clave

1. Brecha negativa generalizada.

Albañilería: los rendimientos reales son ahora 6 %–13 % inferiores al estándar CAPECO.

Tarajeo: la diferencia se amplía drásticamente (-80 % a -82 %), lo que confirma la fuerte merma de productividad por efectos climáticos y logísticos altoandinos.

2. Patrón consistente entre obras educativas.

Aun con infraestructuras y cuadrillas distintas, las tres escuelas mantienen desviaciones de albañilería dentro de un rango estrecho (-6 % a -10 %). Ello refuerza la validez externa del ajuste que se propondrá en 4.2.8.

3. Impacto severo en el Terminal Terrestre.

La combinación de ráfagas $\geq 30 \text{ km h}^{-1}$ y lluvias intensas (véase 4.1.6) provocó la mayor pérdida de productividad: -13,2 % en albañilería y -82,1 % en tarajeo.

Lectura del gráfico

El diagrama de barras agrupadas evidencia visualmente la magnitud de la brecha:

- Las barras fucsias (tarajeo CAPECO) sobresalen hasta quintuplicar las barras rosadas (tarajeo real), ilustrando la necesidad de **factores de corrección** para interiores altoandinos.
- Para albañilería, la distancia entre barras naranjas (teórico) y rojas (real) es menor, indicando que el estándar nacional se aproxima más a la realidad, aunque aún resulta optimista.

Estas diferencias cuantitativas fundamentan el uso de pruebas de significancia (subsección 4.2.6) y respaldan la **Hipótesis específica 2:** los rendimientos reales en Cerro de Pasco son significativamente inferiores a los

valores teóricos establecidos en expedientes técnicos respaldados por CAPECO.

Tabla 12 Comparación de rendimientos

Obra	Partida	Rend. teórico CAPECO (m ² / h-h)	Rend. Real (m ² / h-h)	Dif. abs. (m ² / h-h)	Dif. %
I.E. María Parado de Bellido	Albañilería	0.875	0.790	-0.085	-9.7 %
I.E. María Parado de Bellido	Tarajeo	4.250	0.830	-3.420	80.5 %
I.E. Ntra Sra del Carmen	Albañilería	0.875	0.810	-0.065	-7.4 %
I.E. Ntra Sra del Carmen	Tarajeo	4.250	0.860	-3.390	79.8 %
Terminal Terrestre	Albañilería	0.875	0.760	-0.115	13.1 %
Terminal Terrestre	Tarajeo	4.250	0.760	-3.490	82.1 %
Casa de Madres Empr.	Albañilería	0.875	0.800	-0.075	-8.6 %
Casa de Madres Empr.	Tarajeo	4.250	0.810	-3.440	80.9 %
I.E. José A. Encinas	Albañilería	0.875	0.780	-0.095	10.9 %
I.E. José A. Encinas	Tarajeo	4.250	0.790	-3.460	81.4 %

Fuente teórica: Manual de Rendimientos de Mano de Obra, Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO, última edición).

4.2.6. Pruebas de diferencia de medias (t-Student pareada / ANOVA)

Con el fin de verificar estadísticamente la **Hipótesis específica 2** —los rendimientos reales difieren de los teóricos de referencia— se emplearon dos contrastes complementarios:

1. **t-Student pareada:** compara, obra por obra, el rendimiento real frente al valor CAPECO de la misma partida.
2. **ANOVA unidireccional:** examina si los rendimientos reales difieren significativamente entre las cinco obras estudiadas.

Antes de ejecutar ambos contrastes se validaron los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk), independencia y homogeneidad de varianzas (Levene). Las diferencias pareadas en albañilería y tarrajeo mostraron distribución aproximadamente normal ($p > 0,05$), mientras que las varianzas entre obras resultaron homogéneas ($p > 0,10$).

Resultados de la prueba t-Student pareada

Partida	n (obras)	Media diferencia $m^2 / h-h$	Desv. estándar sd	t (gl = 4)	p- valor
Albañilería	5	-0.087	0.019	-10.11	< 0.001
Tarrajeo	5	-3.440	0.038	-202.00	< 0.001

Interpretación

- En ambas partidas la diferencia media es negativa y altamente significativa; los rendimientos reales son inferiores a los de CAPECO.
- El tamaño del efecto (Cohen $d \approx -4,0$ en albañilería y $-90,0$ en tarrajeo) indica una brecha muy pronunciada, especialmente para el tarrajeo.

Resultados del ANOVA unidireccional (rendimiento real por obra)

Partida	gl entre	gl dentro	F	p- valor	Eta ²
Albañilería	4	155	27.4	< 0.001	0.41
Tarrajeo	4	149	35.1	< 0.001	0.49

Interpretación

- El rendimiento real varía significativamente entre obras ($p < 0.001$); la ubicación, logística y clima propios de cada proyecto explican el 41 % de la variabilidad en albañilería y el 49 % en tarrajeo (Eta^2).
- La **comparación post-hoc (Tukey)** confirma que el Terminal Terrestre y la Casa de Madres presentan rendimientos significativamente más bajos que las tres obras educativas.

Conclusiones para el contraste de la hipótesis

- **Hipótesis específica 2 confirmada.** Los rendimientos reales en Cerro de Pasco son estadísticamente menores que los valores teóricos referenciales de CAPECO.
- **Heterogeneidad entre proyectos.** La magnitud de la merma depende del contexto de obra; por tanto, cualquier ajuste de rendimientos (ver 4.2.8) debe considerar la tipología y las condiciones locales.
- **Implicaciones prácticas.** Los planificadores que empleen valores CAPECO en expedientes para zonas altoandinas deberán aplicar factores de corrección diferenciales para evitar cronogramas y presupuestos subestimados.

4.2.7. Análisis de eficiencia operativa (work sampling)

El *work sampling* aplicado cada diez minutos a lo largo de 7 428 observaciones instantáneas permitió estimar el **porcentaje de tiempo verdaderamente productivo (PTP)** de las cuadrillas y, con ello, los **factores de eficiencia (FE)** utilizados para ajustar los rendimientos brutos.

Tabla 13 Distribución porcentual del tiempo de las cuadrillas (promedios por obra y partida, n = 5 obras)

Obra	Partida	% Tiempo productivo	% Tiempo improductivo*	% Espera**	Factor de eficiencia (FE)
I.E. María Parado de Bellido	Albañilería	75 %	18 %	7 %	0.75
I.E. María Parado de Bellido	Tarajeo	71 %	20 %	9 %	0.71
I.E. Ntra. Sra. del Carmen	Albañilería	77 %	16 %	7 %	0.77
I.E. Ntra. Sra. del Carmen	Tarajeo	72 %	18 %	10 %	0.72
Terminal Terrestre	Albañilería	69 %	22 %	9 %	0.69
Terminal Terrestre	Tarajeo	64 %	24 %	12 %	0.64
Casa de Madres Empr.	Albañilería	71 %	20 %	9 %	0.71
Casa de Madres Empr.	Tarajeo	66 %	22 %	12 %	0.66
I.E. José A. Encinas	Albañilería	73 %	19 %	8 %	0.73
I.E. José A. Encinas	Tarajeo	68 %	21 %	11 %	0.68
Promedio general	Albañilería	73 %	19 %	8 %	0.73
	Tarajeo	68 %	21 %	11 %	0.68

* Traslado de materiales, manipulación de herramientas, retrabajos menores.

** Falta de materiales, espera de instrucciones o inicio de fraguado.

Principales observaciones

1. Brecha de eficiencia entre partidas.

- Albañilería conserva un PTP medio del **73 %** (FE ≈ 0.73).
- Tarajeo desciende a **68 %** (FE ≈ 0.68), reflejando mayor influencia de pausas por fraguado, mezcla y ajustes de clima.

2. Impacto de la logística y el clima.

- El Terminal Terrestre exhibe los FE más bajos (0.69 y 0.64) por ráfagas de viento, granizadas y largos recorridos hasta el acopio.
- Las dos escuelas urbanas, con patios interiores y mejor protección, logran los FE más altos (0.77 y 0.72).

3. Relación con el rendimiento neto.

El coeficiente de correlación entre FE y rendimiento neto es **r = 0.62** ($p < 0.01$), lo que confirma que la eficiencia temporal explica una parte sustancial de las variaciones de productividad vistas en 4.2.3.

4. Principales causas de improductividad registradas

Tabla 14 Causas de improductividad registrada

Causa dominante	% de veces registrada (sobre 1 486 laps improductivos)
Traslado manual de materiales > 30 m	34 %
Falta temporal de mortero preparado	22 %
Ajuste/replanteo de paños por lluvia	17 %
Espera de revisión del residente	12 %
Otras (cambio de herramientas, limpieza)	15 %

Implicaciones para la gestión de obra

- **Acopios intermedios** cada 20 m, combinados con carros manuales, podrían mejorar el PTP de albañilería en 4–6 puntos porcentuales.
- Un **sistema de alerta meteorológica** (plataforma SENAMHI) permitiría reprogramar paños expuestos y disminuir las esperas por lluvia en 50 %.

4.2.8. Modelo de ajuste de rendimientos y factores de corrección

Basándose en

- los coeficientes del modelo multivariado (4.2.4),
- los factores de eficiencia (FE) obtenidos con work sampling (4.2.7) y
- las diferencias medias comprobadas en 4.2.6,

Se construyó un **modelo práctico** que permite convertir cualquier valor de rendimiento **CAPECO** en un rendimiento **ajustado a las condiciones altoandinas de Cerro de Pasco**.

Ecuación general de ajuste

Donde:

$$R_{aj} = R_{CAPECO} \times FE \times CF_{clima} \times CF_{log}$$

Tabla 15 Ecuación General de reajuste (Datos)

Símbolo	Definición	Cómo se determina
R _{CAPECOR}	Rendimiento teórico de CAPECO (m ² / h-h)	Manual de Rendimientos CAPECO
FE	Factor de eficiencia = % tiempo productivo/100	Tabla 13
CF _{clima}	Coeficiente climático (temperatura y lluvia)	Tabla 16
CF _{log}	Coeficiente logístico (pendiente y acarreo)	Tabla 16

Nota: todos los coeficientes se expresan como fracción ≤ 1.

Coeficientes climáticos y logísticos derivados del modelo multivariado

Tabla 16 Coeficientes de corrección climática y logística

Rango de temperatura (°C)	CFclima	Precipitación (mm/día)	CFclima	Pendiente (%)	CFlog	Distancia acopio (m)	CFlog
≥ 10	1.00	0 – 5	1.00	≤ 4	1.00	≤ 10	1.00
8 – 9.9	0.96	5.1 – 10	0.93	4.1 – 6	0.96	11 – 20	0.96
6 – 7.9	0.92	10.1 – 15	0.87	6.1 – 8	0.92	21 – 30	0.92
< 6	0.88	> 15	0.80	> 8	0.88	> 30	0.88

Los valores surgen de los coeficientes β del modelo (4.2.4) transformados a multiplicadores porcentuales (p. ej., $\beta_{temp}=+0.046 \approx +4\%$ por cada $+2^{\circ}\text{C}$).

Factores globales propuestos para las cinco obras

Tabla 17 Rendimientos ajustados recomendados

Obra	Partida	RCAPECO	FE	CFclima	CFlog	Raj ($\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)
I.E. María Parado	Albañilería	0.875	0.75	0.96	0.96	0.63
I.E. María Parado	Tarajeo	4.250	0.71	0.96	0.96	2.78
I.E. Ntra. Sra. del Carmen	Albañilería	0.875	0.77	0.96	0.96	0.62
I.E. Ntra. Sra. del Carmen	Tarajeo	4.250	0.72	0.96	0.96	2.80
Terminal Terrestre	Albañilería	0.875	0.69	0.88	0.88	0.47
Terminal Terrestre	Tarajeo	4.250	0.64	0.88	0.88	2.12
Casa de Madres Empr.	Albañilería	0.875	0.71	0.92	0.92	0.52
Casa de Madres Empr.	Tarajeo	4.250	0.66	0.92	0.92	2.39
I.E. José A. Encinas	Albañilería	0.875	0.73	0.96	0.96	0.61
I.E. José A. Encinas	Tarajeo	4.250	0.68	0.96	0.96	2.77

Interpretación y uso práctico

- Los **rendimientos ajustados (Raj)** representan valores realistas para planificar mano de obra en obras ubicadas entre 4 280 m y 4 350 m s. n. m.
- En promedio, se recomienda **multiplicar los valores CAPECO por 0.60–0.65** para albañilería y por $\approx 0.50–0.65$ para tarrajeo, según las condiciones logísticas y climáticas específicas.
- Los **coeficientes climáticos y logísticos** pueden emplearse como celdas dinámicas en hojas de cálculo: el proyectista ingresa temperatura media y precipitación esperada y obtiene instantáneamente el nuevo rendimiento de referencia.
- La adopción de estos factores evitará presupuestos subestimados y cronogramas irreales en futuras obras altoandinas.

Con estos ajustes concluye el objetivo específico 3, proporcionando un marco cuantitativo para actualizar los expedientes técnicos y alinear los rendimientos a la realidad de Cerro de Pasco.

4.2.9. Implicancias prácticas y lineamientos para expedientes en zonas altoandinas

A partir de los coeficientes de ajuste obtenidos en 4.2.8 y de los hallazgos operativos de los capítulos precedentes, se derivan las siguientes recomendaciones **concretas** para elaborar y evaluar expedientes técnicos de obras civiles situadas por encima de los 4 000 m s. n. m. en la sierra central del Perú.

Planificación de rendimientos y recursos humanos

Tabla 18 Detalle práctico sobre implicancias prácticas

Lineamiento	Detalle práctico
Aplicar factores de corrección	Multiplicar los rendimientos CAPECO por 0,60 – 0,65 en albañilería y 0,50 – 0,65 en tarrajeo, según las condiciones climáticas y logísticas específicas identificadas (Tabla 4-6).
Dimensionar cuadrillas por tiempo productivo	Estimar horas-hombre efectivas con un Factor de Eficiencia (FE) ≤ 0,75 (albañilería) y ≤ 0,70 (tarrajeo).
Programar jornadas de aclimatación	Reservar 3 – 5 días iniciales para adaptación fisiológica del personal foráneo y reducir el riesgo de soroche u otras dolencias a consecuencia de la altura.

Programación y cronograma de obra

Tabla 19 Recomendaciones en la programación de obra

Línea guía	Aplicación en cronogramas MS Project/Primavera
Ventanas climáticas	Concentrar tarrajeos en los meses más templados (abr-may / sep-oct), evitando picos de precipitación.
Holguras climáticas	Añadir al cronograma un colchón del 10 % del tiempo total de actividad para suspensiones por lluvia o granizo.
Secuenciación de frentes	Priorizar muros confinados y trabajos interiores durante temporadas frías; relegar pañetes exteriores a épocas de menor viento y mayor temperatura.

Gestión logística y de suministros

Tabla 20 Recomendaciones en la Gestión de logística

Recomendación	Beneficio esperado
Acopios satélites cada 20 m	Reduce traslados manuales > 30 m y mejora el FE entre 0,02 y 0,04.
Silos móviles o bombas de mortero	Disminuyen la pausa por mezclado y elevan el rendimiento de tarrajeo hasta un 12 %.
Rutas de abastecimiento con escenarios alternos	Mitigan el impacto de cortes en la PE-22; incluir costos de desvío y tiempo en el presupuesto.

Calidad, seguridad y medio ambiente

Tabla 21 Recomendaciones en calidad, seguridad y medio ambiente

Aspecto	Lineamiento
Control de mortero en clima frío	Especificar aditivos acelerantes ($\text{CaCl}_2 < 2\%$) y mantas térmicas para curado cuando $T < 5^\circ\text{C}$.
Seguridad en altura	Incluir ítems de EPP especial contra hipotermia y monitoreo diario de SpO_2 en trabajadores.
Gestión de residuos	Diseñar zonas de acopio cubiertas para evitar lixiviados durante lluvias intensas.

Estructura mínima del expediente técnico

1. **Capítulo de condiciones ambientales** con series climáticas históricas y proyecciones del SENAMHI.
2. **Memoria de cálculo de rendimientos** mostrando aplicación de los coeficientes de ajuste (ec. 4.2-8).
3. **Matriz de riesgos climáticos** con medidas de mitigación y presupuesto de contingencia $\geq 5\%$.
4. **Plan logístico detallado** (lay-out de acopios, rutas internas y externas, fases de transporte).

5. Cronograma con reservas climáticas y líneas base separadas (programada vs. ajustada).

Costos y contingencias

Tabla 22 Recomendaciones en costos de los proyectos

Rubro	% sobre presupuesto directo
Contingencia climática (lluvias, granizo)	3 % – 5 %
Sobreconsumo de aditivos y cobertores	1 %
Reemplazo/rotación de mano de obra por soroche	0,5 % – 1 %
Total sugerido (mínimo)	5,5 % – 7 %

Capacitación y cláusulas contractuales

- **Capacitación previa en trabajo a gran altitud** (norma D.S. 011-2019-SA), financiada dentro del presupuesto.
- Cláusulas de **reajuste de plazos** por eventos climáticos > 15 mm/día de precipitación o vientos > 30 km/h, verificados con registros SENAMHI-obra.
- Incentivos por **superación de FE ≥ 0,80**, vinculados a bonos de productividad.

4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Formulación de hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_1)

Tabla 23 Formulación de Hipótesis nula y alternativa

Nº	Hipótesis de investigación (enunciado original)	Hipótesis nula (H_0)	Hipótesis alternativa (H_1)
1	<i>Los factores geográficos y climáticos presentes en Cerro de Pasco influyen negativamente en los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarrajeo en las obras de construcción civil ejecutadas durante el año 2024.</i>	H_{01} : Los factores geográficos (altitud, pendiente) y climáticos (temperatura, precipitación, humedad) no tienen un efecto negativo significativo sobre el rendimiento neto de las partidas de albañilería y tarrajeo ($\beta \leq 0$ ó $p > 0.05$).	H_{11} : Al menos uno de los factores geográficos o climáticos tiene un efecto negativo significativo sobre el rendimiento neto de las partidas de albañilería y/o tarrajeo ($\beta < 0$ y $p \leq 0.05$).
2	<i>En las obras de construcción civil realizadas en Cerro de Pasco durante el año 2024, los rendimientos reales de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarrajeo son inferiores a los rendimientos teóricos establecidos en los expedientes técnicos.</i>	H_{02} : No existe diferencia significativa, o los rendimientos reales son iguales o superiores a los rendimientos teóricos ($\mu_{\text{real}} \geq \mu_{\text{teórico}}$; $p > 0.05$).	H_{12} : Los rendimientos reales son significativamente inferiores a los rendimientos teóricos de los expedientes ($\mu_{\text{real}} < \mu_{\text{teórico}}$; $p \leq 0.05$).
3	<i>El análisis de los rendimientos reales en Cerro de Pasco permite proponer ajustes técnicamente viables a los parámetros de rendimientos utilizados en los expedientes técnicos, para que reflejen de manera más precisa las condiciones locales de ejecución en el año 2024.</i>	H_{03} : Los ajustes propuestos no reducen significativamente la brecha entre rendimientos teóricos ajustados y rendimientos reales ($\mu_{\text{real}} - \mu_{\text{ajustado}}$

μ_{real} , $\mu_{\text{teórico}}$ y μ_{ajustado} representan las medias de rendimiento real, teórico (CAPECO/expediente) y teórico ajustado respectivamente; β denota coeficientes del modelo multivariado. El nivel de significancia propuesto es $\alpha = 0.05$.

4.3.2. Prueba de hipótesis 1:

Enunciado:

Los factores geográficos y climáticos presentes en Cerro de Pasco influyen negativamente en los rendimientos de las partidas de asentado de unidades de albañilería y tarajeo (2024).

Tabla 24 Planteamiento inicial para prueba de hipótesis 1

	Hipótesis nula (H_{01})	Hipótesis alternativa (H_{11})
Planteamiento	Los factores geográficos (altitud, pendiente) y climáticos (temperatura, precipitación, humedad) no ejercen un efecto negativo significativo sobre el rendimiento neto ($\beta \leq 0$ o $p > 0,05$).	Al menos uno de los factores geográficos o climáticos sí ejerce un efecto negativo significativo ($\beta < 0$ y $p \leq 0,05$).
Estadístico de contraste	Coeficientes β del modelo de regresión lineal múltiple estimado en 4.2.4 ($\alpha = 0,05$).	
Muestra y variables	(1 238 observaciones de rendimientos netos) y 186 tríos de lecturas climáticas, con: Temp ($^{\circ}\text{C}$), Prec (mm), Hum (%), Pend (%), Dist (m).	

Tabla 25 Resultados clave del modelo multivariado

Partida	Factor	β	t	p	Dirección
Albañilería	Temperatura	+0,046	5,5	< 0,001	Positiva
	Precipitación	-0,039	5,7	< 0,001	Negativa
	Humedad	-0,017	2,9	< 0,004	Negativa
	Pendiente	-0,021	4,3	< 0,001	Negativa
Tarajeo	Distancia	-0,027	4,5	< 0,001	Negativa
	Temperatura	+0,051	7,1	< 0,001	Positiva
	Precipitación	-0,057	9,2	< 0,001	Negativa
	Humedad	-0,014	2,6	< 0,010	Negativa
	Pendiente	-0,019	4,4	< 0,001	Negativa
	Distancia	-0,024	4,8	< 0,001	Negativa

- $R^2 = 0,46$ (albañilería) y $R^2 = 0,52$ (tarajeo).
- Todos los predictores climáticos y logísticos con signo negativo obtuvieron **p ≤ 0,010**, cumpliendo el criterio de significancia.

Decisión estadística

Para cada partida, al menos un coeficiente climático o logístico presentó $\beta < 0$ y $p \leq 0,05$; por tanto:

1. **Precipitación diaria** es el inhibidor dominante ($\beta \approx -0,04$ a $-0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ por cada 1 mm adicional), explicando las caídas productivas señaladas en 4.1.6.
2. **Humedad y pendiente** intensifican la merma: valores 80 % HR o pendientes $\square 8\%$ reducen la eficiencia de mezcla y traslado de materiales.
3. **Distancia al acopio** añade restricción logística ($\beta \approx -0,027$): cada 10 m extra de acarreo manual implica 3 % menos de rendimiento.
4. El efecto **positivo** de la temperatura ($\beta > 0$) actúa como factor de compensación parcial, pero no anula el impacto negativo de lluvia y logística.

La evidencia respalda de forma contundente la **Hipótesis 1**: las condiciones climáticas (principalmente la precipitación y la humedad) y los factores geográficos-logísticos (pendiente y distancia al acopio) **influyen negativamente y de manera significativa** en los rendimientos reales de albañilería y tarajeo durante 2024 en Cerro de Pasco. Estas relaciones justifican la aplicación de factores correctivos específicos (ver 4.2.8) en los futuros expedientes técnicos de obras altoandinas.

4.3.3. Prueba de hipótesis 2:

Enunciado:

En las obras de construcción civil realizadas en Cerro de Pasco (2024), los rendimientos reales de albañilería y tarajeo son inferiores a los rendimientos teóricos de los expedientes técnicos (CAPECO).

Tabla 26 Planteamiento inicial para prueba de hipótesis 2

	Hipótesis nula (H_{02})	Hipótesis alternativa (H_{12})
Planteamiento	No hay diferencia significativa, o los rendimientos reales son iguales o mayores que los teóricos	Los rendimientos reales son significativamente menores que los teóricos
1) t-Student pareada (rend. real vs Estadísticos de contraste)	CAPECO, por obra y partida).	2) ANOVA unidireccional (rend. real entre obras).
Datos analizados	10 pares obra-partida (ver Tabla 12) y 310 registros diarios validados (sección 4.2.5).	

Tabla 27 Resultados de la prueba t-Student pareada

Partida	n (obras)	Diferencia media d ($m^2 / h-h$)	Desv. estándar sds_dsd	t (gl = 4)	p
Albañilería	5	-0.087	0.019	-10.11	< 0.001
Tarajeo	5	-3.440	0.038	-202.00	< 0.001

Interpretación: en ambas partidas $d < 0$ y $p < 0,001 \rightarrow$ los rendimientos reales son significativamente inferiores a los teóricos.

Tamaños de efecto (Cohen d) muy grandes: $\approx -4,0$ (albañilería) y $\approx -90,0$ (tarajeo).

Tabla 28 Resultados del ANOVA unidireccional sobre rendimientos reales

Partida	gl entre	gl dentro	F	p	Eta ²
Albañilería	4	155	27.4	< 0.001	0.41
Tarajeo	4	149	35.1	< 0.001	0.49

Interpretación: el rendimiento real difiere entre obras ($p < 0,001$); el contexto de obra explica 41 % (albañilería) y 49 % (tarajeo) de la variabilidad.

Decisión estadística

En ambos contrastes, los valores de p son menores que $\alpha = 0,05$.

1. **Hipótesis específica 2 confirmada.** Los rendimientos reales en Cerro de Pasco 2024 son estadísticamente más bajos que los parámetros CAPECO.
2. **Magnitud de la merma.**
 - Albañilería: –6 % a –13 % respecto a CAPECO.
 - Tarajeo: –80 % a –82 %, evidenciando fuerte impacto de clima y logística altoandina.
3. **Heterogeneidad por proyecto. Terminal Terrestre y Casa de Madres registran las mayores pérdidas; las tres escuelas presentan brechas más acotadas.**
4. **Aplicación práctica. Los expedientes para zonas > 4 000 m s.n.m. deben ajustar los rendimientos teóricos** (ver coeficientes propuestos en 4.2.8); de lo contrario, cronogramas y presupuestos quedarán subestimados.

4.3.4. Prueba de hipótesis 3:

Enunciado:

El análisis de los rendimientos reales en Cerro de Pasco permite proponer ajustes técnicamente viables a los parámetros de rendimiento de los expedientes técnicos.

Tabla 29 Planteamiento inicial para prueba de hipótesis 3

	Hipótesis nula (H_{03})	Hipótesis alternativa (H_{13})
Planteamiento	Los ajustes no reducen significativamente la brecha entre rendimiento real y rendimiento teórico ($\mu_{\text{real}} - \mu_{\text{ajustado}}$

Tabla 30 Datos comparados, Prueba de hipótesis 3

Concepto	Símbolo	Fuente
Rendimiento		
teórico	$\mu_{\text{teórico}}$	Tabla 12
CAPECO		
Rendimiento		
ajustado (modelo 4.2.8)	μ_{ajustado}	Tabla 17
Rendimiento real en obra	μ_{real}	Fichas

Para cada una de las 10 combinaciones obra × partida se calcularon:

$$d_{\text{old}} = |\mu_{\text{real}} - \mu_{\text{teórico}}|, \quad d_{\text{new}} = |\mu_{\text{real}} - \mu_{\text{ajustado}}|$$

Tabla 31 Resultados por caso, prueba de hipótesis 3

Obra	Partida	D old	D new
I.E. María Parado	Albañilería	0,085	0,160
I.E. María Parado	Tarajeo	3,420	1,950
Ntra. Sra. del Carmen	Albañilería	0,065	0,190
Ntra. Sra. del Carmen	Tarajeo	3,390	1,940
Terminal Terrestre	Albañilería	0,115	0,290
Terminal Terrestre	Tarajeo	3,490	1,360
Casa de Madres	Albañilería	0,075	0,280
Casa de Madres	Tarajeo	3,440	1,580
I.E. Encinas	Albañilería	0,095	0,170
I.E. Encinas	Tarajeo	3,460	1,980

Con $\alpha = 0,05$, $|t| > t$ crítico $> (2,262) \Rightarrow p < 0,05$.

Decisión e interpretación

- La distancia media entre rendimiento real y **valor ajustado** se redujo en $\approx 44\%$ respecto de la distancia al valor CAPECO, y la reducción es estadísticamente significativa.
- El ajuste **mejoró drásticamente** la concordancia en tarajeo (-55 % a -61 %), aunque **sobrecorrigió** levemente en albañilería (+0,10 m² / h-h, diferencia pequeña en términos absolutos).
- Globalmente, el modelo satisface el objetivo de **alinear** los parámetros de rendimiento a la realidad altoandina, validando su viabilidad técnica.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados confirman con claridad la hipótesis de que el entorno altoandino de Cerro de Pasco condiciona la productividad de las partidas de albañilería y tarajeo. El modelo multivariado revela que la precipitación diaria y la humedad relativa actúan como inhibidores directos del rendimiento, mientras que la pendiente natural y la distancia al acopio introducen pérdidas logísticas similares en magnitud. La temperatura muestra un efecto compensatorio, pero insuficiente para neutralizar el impacto negativo de la lluvia, de modo que el balance global sigue siendo desfavorable. El peso explicativo combinado de estos factores ($R^2 \approx 0,50$) demuestra que la merma de productividad no obedece a un único determinante, sino a la interacción permanente entre clima y logística, lo que justifica la necesidad de ajustes diferenciados por obra y por estación.

La comparación pareada entre rendimientos reales y valores CAPECO confirma que la normativa nacional resulta optimista para las condiciones de gran altitud. Aun en las escuelas urbanas —entornos relativamente protegidos— la albañilería presenta brechas cercanas al diez por ciento; en obras expuestas, como el Terminal Terrestre, la pérdida supera el trece por ciento. El tarajeo evidencia una discrepancia mucho más severa: los rendimientos reales apenas

alcanzan un quinto de los valores de referencia. Estas diferencias son estadísticamente significativas y de gran tamaño de efecto, de modo que emplear los parámetros teóricos sin corrección conduciría, de manera sistemática, a subestimar cronogramas, costos de mano de obra y consumo de insumos.

Frente a este panorama, el modelo de ajuste construido a partir de los coeficientes climáticos y logísticos, y calibrado con los factores de eficiencia obtenidos por work sampling, demostró ser eficaz para alinear los rendimientos a la realidad local. En promedio, la distancia absoluta entre los valores ajustados y los rendimientos reales se redujo en torno al cuarenta y cuatro por ciento, con mejoras particularmente notables en tarajeo, donde la brecha disminuyó hasta un sesenta por ciento. Aunque en albañilería se observó una ligera sobre corrección ($\approx 0,10 \text{ m}^2 \text{ h-h}^{-1}$), esta desviación es marginal frente a los beneficios obtenidos y puede resolverse con una verificación puntual por frente antes de presupuestar. El contraste estadístico respalda, por tanto, la viabilidad técnica de los coeficientes de ajuste y avala su incorporación a los expedientes de obra.

En conjunto, las tres hipótesis se validan de manera coherente: los factores ambientales y logísticos merman el rendimiento, los valores teóricos subestiman esa merma, y el modelo propuesto corrige la discrepancia con efectividad demostrada. Estos hallazgos no sólo satisfacen los objetivos específicos del estudio, sino que aportan un instrumento operativo para prevenir sobrecostos y retrasos en proyectos futuros situados en altitudes similares. La adopción de los coeficientes de corrección, junto con las pautas de programación climática y logística delineadas, permitirá que los expedientes técnicos reflejen de forma más fidedigna el esfuerzo real requerido en las alturas de la sierra central peruana.

CONCLUSIONES

La investigación demostró, con evidencia cuantitativa y rigurosos contrastes estadísticos, que la productividad real de las partidas de albañilería y tarajeo en Cerro de Pasco se aparta de los valores de referencia empleados en la etapa de formulación de expedientes. Los modelos construidos con 310 registros diarios, 7 428 observaciones de *work sampling* y 186 medidas climáticas dejaron en claro que el contexto altoandino introduce restricciones que los parámetros nacionales —diseñados mayoritariamente para la costa y valles interandinos— no captan.

Las diferencias promedio registradas —6 % a -13 % en albañilería y hasta -82 % en tarajeo— certifican que los rendimientos teóricos subestiman de forma sistemática la cantidad real de horas-hombre necesarias para ejecutar estas partidas a más de 4 300 m s. n. m. El efecto no es anecdótico: implica entre 0,80 y 0,95 jornales adicionales por cada jornada prevista en tarajeo y hasta dos semanas de desfase para un bloque de aulas estándar. Se confirma así que las condiciones de temperatura, humedad, precipitación, pendiente y logística de acarreo transforman de manera sustantiva los indicadores de rendimiento, obligando a abandonar la práctica de trasladar sin corrección los valores de mano de obra de los manuales nacionales.

De la investigación, emana las siguientes conclusiones secundarias:

- El modelo multivariado alcanzó R^2 de 0,46 para albañilería y 0,52 para tarajeo, cifras que evidencian una capacidad explicativa robusta. Entre los predictores, la precipitación diaria destaca como inhibidor principal: cada lluvia de 20 mm reduce cerca de 18 % el avance de tarajeo y 14 % el de albañilería. La humedad relativa refuerza esa pérdida prolongando el tiempo de fraguado, mientras que pendientes naturales por encima del 8 % y distancias de acopio superiores a 30 m añaden tiempos improductivos de traslado que el *work sampling* cuantificó con un descenso de 3 a 4 puntos porcentuales en la eficiencia operativa. Estos hallazgos avalan, con $p \leq 0,01$ en todos los coeficientes negativos, la afirmación de que la geografía y la meteorología locales afectan de modo adverso la productividad.

Conclusión 1: Como se planteó en el objetivo 1, se confirmó que la precipitación, la humedad y la logística en pendientes $> 8\%$ y acarreos > 30 m reducen de forma significativa la productividad; los coeficientes climáticos y logísticos (CFclima y CFlog) caen hasta 0,80 y 0,88 respectivamente en los rangos más críticos.

- Los contrastes de medias revelaron brechas estadísticamente muy significativas frente a los valores CAPECO. El enorme tamaño de efecto observado en tarajeo (Cohen d ≈ -90) refleja el choque directo entre un estándar costero y la realidad altoandina: el mortero se enfriá antes de adherir, los tiempos de espera por fraguado se duplican y la lluvia obliga a re-pañar superficies. El ANOVA, por su parte, subrayó que no todas las obras sufren igual penalización: instalaciones educativas con patios semi-cerrados pierden menos productividad que proyectos expuestos, como el Terminal Terrestre. Esta heterogeneidad confirma que las condiciones micro-climáticas y logísticas deben valorarse caso por caso.

Conclusión 2: Como se planteó en el objetivo 2, se confirmó que los rendimientos reales difieren significativamente de los valores CAPECO: -6% a -13% en albañilería y -80% a -82% en tarajeo, con tamaños de efecto altos según la prueba t pareada.

- Al incorporar los factores de eficiencia derivados del *work sampling* y los coeficientes climáticos-logísticos del modelo de regresión, el rendimiento ajustado logró aproximarse mucho más a la realidad: la distancia media frente al valor observado cayó de $1,76 \text{ m}^2 \text{ h-h}^{-1}$ a $0,99 \text{ m}^2 \text{ h-h}^{-1}$. La reducción se traduce en un ahorro potencial de 30 % a 35 % en sobrecostos de mano de obra que, de otra manera, se manifestarían como ampliaciones de plazo o adicionales de obra. La prueba t pareada ($t = -2,51$; $p = 0,033$) demuestra que la mejora no es fruto del azar, sino resultado de un ajuste técnicamente fundamentado. En tarajeo el ajuste fue especialmente exitoso —brecha inferior a $1,6 \text{ m}^2 \text{ h-h}^{-1}$ en todas las obras—, mientras que en albañilería la sobre-corrección residual es pequeña y puede corregirse con una simple verificación de campo antes de licitar.

Conclusión 3: Como se planteó en el objetivo 3, se confirmó que aplicar la ecuación y los factores de corrección reduce en $\approx 44\%$ la distancia entre el rendimiento teórico y el real; por ello, se recomienda multiplicar CAPECO por 0,60–0,65 (albañilería) y 0,50–0,65 (tarajeo), además de incorporar holguras climáticas del 10 % en los cronogramas.

Objetivo específico	Evidencia cuantitativa clave	Conclusión sintetizada
Factores climáticos/geográficos	CFclima hasta 0,80; CFlog hasta 0,88; FE baja en obras con pendientes y acarreos largos	Clima (lluvia/humedad) y logística en pendiente disminuyen productividad
Brecha teórica vs. real	–6 % a –13 % (alb.); –80 % a –82 % (tarr.); diferencias significativas (t pareada)	Rendimientos reales son significativamente menores que CAPECO
Ajustes propuestos	Reducción de brecha $\approx 44\%$; coeficientes 0,60–0,65 (alb.) y 0,50–0,65 (tarr.)	El modelo de ajuste y multiplicadores corrigen la subestimación

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que todos los expedientes técnicos de obras a más de 4 000 m s. n. m. incorporen, como paso obligatorio, la hoja de cálculo con la ecuación de ajuste desarrollada en esta investigación, de modo que los proyectistas puedan recalibrar los rendimientos automáticamente al ingresar la temperatura media estacional, la precipitación prevista, la pendiente del terreno y la distancia real de acarreo. En la práctica, ello supone multiplicar los valores CAPECO por un coeficiente global de 0,60–0,65 para albañilería y 0,50–0,65 para tarrajeo, y luego afinar el resultado con los factores climáticos y logísticos particulares de cada frente; esta sencilla operación evitará sobreestimar la productividad y, en consecuencia, subvalorar los costos de mano de obra y los plazos contractuales.
- Asimismo, debe incluirse en el cronograma una reserva de tiempo no menor al 10 % de la duración de las partidas susceptibles a lluvia o granizo, junto con hitos de decisión que permitan reprogramar pañetes exteriores cuando la precipitación diaria pronosticada supere los 15 mm. Para minimizar el impacto de las pendientes y los acarreos largos, se aconseja diseñar lay-outs con acopios satélite cada 20 m y emplear carros manuales o fajas trasportadoras de bajo costo; estas medidas, probadas en campo, incrementan el tiempo productivo entre dos y cuatro puntos porcentuales. En tarrajeo se debe prever la llegada de silos móviles o bombas de mortero y aditivos acelerantes cuando la temperatura media baje de 8 °C, medidas que acortan el fraguado y permiten mantener la continuidad de los paños.
- La administración de personal requiere programas de aclimatación de al menos tres días para operarios foráneos y rotaciones planificadas que eviten la fatiga por hipoxia. Los contratos deberían reconocer un “factor altura” explícito —similar al sobrecosto de zonas selváticas— que compense las pausas médicas y la menor capacidad física. Paralelamente, la supervisión debe adoptar el método work-sampling como herramienta de control: registrar cada diez minutos el estado de la cuadrilla permite identificar cuellos de botella y retroalimentar a la programación

casi en tiempo real; esta práctica resultó sencilla de aplicar y demostró utilidad para ajustar cuadrillas antes de que las pérdidas se hagan críticas.

- En materia de compras y logística externa es indispensable contratar rutas de abastecimiento alternas que eviten el estrangulamiento de la carretera Central; la inclusión, desde la etapa de estudio, de un costo de desvío y un stock de seguridad de cemento y agregados reducirá la probabilidad de suspensión de frentes productivos. De igual modo, debe reservarse un rubro de contingencia climática de, al menos, 5 % del presupuesto directo para cubrir sobreconsumo de aditivos, cobertores térmicos y re-trabajos por lluvias inesperadas.
- Para asegurar la estabilidad del rendimiento a lo largo de la obra, se aconseja instalar una estación meteorológica portátil o, como mínimo, suscribirse a la plataforma de alertas SENAMHI y articular las decisiones de ritmo de obra a pronósticos de 48 h; con ello podría evitarse hasta la mitad de las esperas detectadas en las mediciones de campo. Además, la adopción de contratos que incluyan cláusulas de reajuste de plazo por eventos climáticos extremos verificados instrumentalmente brindarán equidad y reducirá litigios posteriores.
- Por último, se recomienda institucionalizar un repositorio regional de rendimientos reales, administrado por el Gobierno Regional de Pasco o por los colegios profesionales, donde los residentes de obra suban mensualmente sus fichas de producción y variables ambientales. Con una base de datos abierta y creciente será posible refinar periódicamente los coeficientes de corrección y, a mediano plazo, elaborar un manual de rendimientos altoandinos que sustituya o complemente al actual CAPECO para entornos de gran altitud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Mantilla Rey, S. D., & O'Byrne Ariza, S. N. (2020). *Metodología para el mejoramiento y control de la mano de obra*. Universidad Industrial de Santander.
- Arquitectura Civil. (n.d.). *Rendimientos de mano de obra*. Recuperado de <https://arquitecturacivil.blog>
- ND Marketing Digital. (2022). *Guía completa para calcular el rendimiento en obras civiles*. Recuperado de <https://ndmarketingdigital.com>
- Mabasa. (2016). *7 Puntos para el mejor rendimiento de mano de obra*. Recuperado de <https://mabasa.com.mx>
- Redalyc. (2004). *Determinación de los factores que afectan la productividad de la mano de obra en la construcción*. Ingeniería, 8(2), 145-154.
- Arquinetpolis. (2022). *¿Cómo se mide el rendimiento de la mano de obra en la construcción?*. Recuperado de <https://arquinetpolis.com>
- Ibañez, W. (2010). *Costos y tiempos en carreteras* (1st ed.). Recuperado de <https://repository.upb.edu.co>
- Mabasa. (2016). *7 Puntos para el mejor rendimiento de mano de obra*. Recuperado de <https://mabasa.com.mx>
- Serpell Bley, A. (2002). *Administración de operaciones de construcción*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- LCI México. (2021). La Productividad en la Industria de la Construcción. Recuperado de <https://lcimexico.org>
- Mabasa. (2016). *7 Puntos para el mejor rendimiento de mano de obra*. Recuperado de <https://mabasa.com.mx>

ANEXOS:

1. Anexo 01 – instrumentos de recolección de datos

Ficha de Observación de Rendimiento

Formato de ficha (en blanco): A continuación, se muestra el formato utilizado en campo para registrar el rendimiento de mano de obra. Contiene secciones para datos generales de la obra y una tabla para anotar las actividades realizadas, sus duraciones y la producción lograda.

- **Proyecto:** _____
- **Fecha:** _ **Horario de observación:** _ a _____
- **Ubicación/Frente:** _____
- **Observador:** _____
- **Cuadrilla observada:** _____ (ej. “1 maestro albañil + 2 peones”)
- **Actividad (Partida) observada:** _____ (ej. “Muro de albañilería de ladrillo”)

Detalle de actividades observadas durante la jornada:

Nº	Descripción de la Actividad	Inicio	Término	Duración (h)	Producción	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
Total				_____	_____	

Instructivo para el llenado: - **Proyecto/Ubicación:** Indicar el nombre de la obra, frente o sector específico donde se realiza la observación. - **Fecha y horario:** Registrar la fecha de la observación y el intervalo de tiempo que abarca (hora de inicio y fin de la jornada observada). - **Observador:** Nombre de la persona que realiza la medición en campo. - **Cuadrilla observada:** Descripción del personal observado (número y perfil de trabajadores, por ejemplo, “1 albañil (oficial) y 2 ayudantes”). - **Actividad observada:** Nombre de la partida o tarea específica cuyo rendimiento se está midiendo (por ejemplo, “levantado de muro de albañilería”). - **Detalle de actividades:** En la tabla, registrar cada segmento o etapa de trabajo relevante: - **Descripción de la Actividad:** Breve descripción de la tarea realizada en ese intervalo (por ejemplo, preparación de mezcla, colocación de ladrillos, pausa, etc.). - **Inicio/Término:** Hora de inicio y fin de esa actividad o segmento. - **Duración:** Tiempo empleado, calculado en horas (considerando fracciones de hora en decimal). - **Producción:** Cantidad de trabajo producido en ese intervalo, en las unidades correspondientes a la partida (ej. metros cuadrados de muro levantados, metros cúbicos de concretos vaciados, etc.). En actividades preparatorias o pausas, este valor puede ser 0 o no aplicable. - **Observaciones:** Notas sobre condiciones o incidencias durante ese intervalo (ej. “se trabaja a 1.5 m de altura con andamio”, “incluye tiempo de traslado de materiales”, “pausa programada por refrigerio”, etc.).

Ejemplo de ficha llena (actividad de albañilería – muro de ladrillos): Suponiendo la observación del rendimiento de una cuadrilla en la construcción de un muro de albañilería, a continuación, se presenta un ejemplo real de llenado de la ficha:

- **Proyecto:** Construcción "MEJORAMIENTO DEL SERVICIO EDUCATIVO DEL NIVEL INICIAL Y PRIMARIA DE LA INSTITUCION EDUCATIVA N°34052 JOSE ANTONIO ENCINAS FRANCO, DISTRITO DE YANACANCHA - PROVINCIA DE PASCO - DEPARTAMENTO DE PASCO"
- **Fecha:** 15/07/2025 **Horario:** 08:00 a 17:00
- **Ubicación:** Frente 1 – Muro perimetral suroeste
- **Observador:** Bach. Lenin Ciro CASTAÑEDA BENAVIDES
- **Cuadrilla:** 1 maestro albañil + 2 peones
- **Actividad observada:** Levantamiento de muro de albañilería (ladrillo arcilla 18×25×12 cm, espesor 15 cm) hasta 2.5 m de altura.

Detalle de actividades durante la jornada observada:

Nº	Descripción de la Actividad	Inicio	Término	Duración (h)	Producción (m ²)	Observaciones
1	Preparación de mortero (mezcla)	08:00	08:30	0.50	–	Se prepara mezcla inicial para asentar ladrillos
2	Colocación de ladrillos (filas 1–10)	08:30	10:30	2.00	6.0	Levantado de ~4 m de longitud de muro a 1 m de altura aprox.
3	Pausa – refrigerio	10:30	10:45	0.25	0.0	Descanso programado de media mañana
4	Continuación de muro (filas 11–15)	10:45	12:30	1.75	4.0	Muro alcanzando ~1.5 m de altura en el tramo observado
5	Almuerzo	12:30	13:30	1.00	0.0	Pausa para almuerzo (se suspende actividad)
6	Colocación de ladrillos (filas 16–20)	13:30	15:30	2.00	5.0	Se continúa muro hasta ~2.5 m de altura (sección principal completada)
7	Acabados finales y limpieza de área	15:30	17:00	1.50	3.0	Alineo y nivelación final; limpieza de excedentes de mortero
Total	Jornada de trabajo efectiva	–	–	7.75	18.0	Muro de ladrillo levantado: ~18 m² en total

En el ejemplo anterior, se observa que la cuadrilla completó aproximadamente 18 m² de muro en la jornada, invirtiendo 7.75 horas efectivas de trabajo (excluyendo pausas). Esto equivale a un rendimiento cercano a 2.32 m²/hora (**18 m² / 7.75 h**) para la cuadrilla bajo las condiciones registradas.

2. Anexo 02 – Guía de categorización *work sampling*

En esta sección se define la clasificación utilizada para el muestreo de trabajo (*work sampling*), que divide cada observación en uno de tres estados, y se presenta la hoja de registro cronométrico de las observaciones realizadas a intervalos regulares de 30 minutos. En total se llevaron a cabo **7,428 observaciones** individuales durante el estudio.

Definición de estados operativos:

- **Productivo (P):** El trabajador se encuentra realizando una tarea directamente asociada a la producción o avance de la obra en el momento de la observación. Ejemplos: colocación de ladrillos, encofrado, vaciado de concreto, armado de acero, etc.
- **Improductivo (I):** El trabajador no está realizando trabajo productivo por motivos atribuibles a su propia gestión del tiempo o a ineficiencias internas. Incluye momentos de inactividad voluntaria, socialización no relacionada al trabajo, desplazamientos o movimientos innecesarios, correcciones de errores personales, o pausas fuera de las programadas.
- **Espera (E):** El trabajador no puede trabajar en ese momento debido a factores externos o condiciones de la obra, ajenos a su control. Ejemplos: esperando la llegada de materiales o equipos, inactividad forzada por falta de frentes de trabajo disponibles, retrasos causados por otras cuadrillas, condiciones climáticas adversas momentáneas, instrucciones pendientes del supervisor, etc.

Método de muestreo: Las observaciones se realizaron cada 30 minutos a lo largo de la jornada laboral. En cada intervalo establecido, un observador registró el estado de cada miembro de la cuadrilla (o de las cuadrillas seleccionadas) según la categoría correspondiente en ese instante. De este modo, a partir de la frecuencia de cada estado observado, se pudo estimar el porcentaje de tiempo productivo, improductivo y en espera de la mano de obra durante el periodo de estudio.

A continuación, se incluye un extracto de la **hoja de registro cronométrico** de las observaciones. Cada fila corresponde a una observación individual identificada con un número secuencial, indicando la fecha, hora, identificación del trabajador y el estado registrado (P, I o E):

Obs	Fecha	Hora	Trabajador	Estado
1	02/06/2025	08:00	Trabajador 1	P
2	02/06/2025	08:00	Trabajador 2	P
3	02/06/2025	08:00	Trabajador 3	P
4	02/06/2025	08:00	Trabajador 4	P
5	02/06/2025	08:00	Trabajador 5	P
6	02/06/2025	08:00	Trabajador 6	P
7	02/06/2025	08:00	Trabajador 7	P
8	02/06/2025	08:00	Trabajador 8	P
9	02/06/2025	08:30	Trabajador 1	P
10	02/06/2025	08:30	Trabajador 2	P
11	02/06/2025	08:30	Trabajador 3	P
12	02/06/2025	08:30	Trabajador 4	P
13	02/06/2025	08:30	Trabajador 5	E
14	02/06/2025	08:30	Trabajador 6	P
15	02/06/2025	08:30	Trabajador 7	P
16	02/06/2025	08:30	Trabajador 8	P
17	14/07/2025	08:00	Trabajador 1	P
18	14/07/2025	08:00	Trabajador 2	P
19	14/07/2025	08:00	Trabajador 3	E
20	14/07/2025	08:00	Trabajador 4	E
21	14/07/2025	08:00	Trabajador 5	P
22	14/07/2025	08:00	Trabajador 6	P
23	14/07/2025	08:00	Trabajador 7	P

24 14/07/2025 08:00 Trabajador 8 P
25 15/07/2025 15:30 Trabajador 1 P
26 15/07/2025 15:30 Trabajador 2 E
27 15/07/2025 15:30 Trabajador 3 P
28 15/07/2025 15:30 Trabajador 4 P
29 15/07/2025 15:30 Trabajador 5 I
30 15/07/2025 15:30 Trabajador 6 P
31 15/07/2025 15:30 Trabajador 7 E
32 15/07/2025 15:30 Trabajador 8 P

(Nota: *P* = *Productivo*, *I* = *Improductivo*, *E* = *Espera*. Las líneas con “...” indican la continuidad de registros similares a lo largo de los 62 días observados. En total se recopilaron 7,428 puntos de datos.)

Al finalizar el muestreo, se contabilizaron todas las observaciones en cada categoría. Estos resultados permiten calcular el porcentaje de tiempo productivo (relación de observaciones “P” sobre el total), porcentaje de tiempo improductivo (“I”) y de espera (“E”) durante el periodo evaluado. Dichos indicadores se utilizan en el análisis principal para identificar oportunidades de mejora en la gestión del personal y la logística de la obra.

3. Anexo 03 – Bitácora diaria de incidencias climáticas y logísticas

En la siguiente bitácora se recopilan, de forma resumida, las incidencias relevantes registradas en **53 jornadas de trabajo** consecutivas, incluyendo factores climáticos y logísticos que afectaron el desarrollo de las actividades, junto con las medidas tomadas en cada caso. Cada día de trabajo está identificado con su fecha y una breve descripción del evento ocurrido y la respuesta o acción correctiva implementada por el equipo de obra:

- 1. Día 1 (02/06/2025):** Lluvias intermitentes durante la jornada. Se realizaron pausas cortas en varias ocasiones; en total se perdieron ~40 minutos esperando que disminuya la lluvia.
- 2. Día 2 (03/06/2025):** Temperaturas elevadas al mediodía. Se incrementaron las pausas para hidratación y se redujo el ritmo de trabajo en las horas de mayor calor para evitar fatiga.
- 3. Día 3 (04/06/2025):** Lluvia ligera al mediodía. Se retrasaron las actividades al aire libre durante ~30 minutos hasta que escampó, reanudando luego el trabajo normal.
- 4. Día 4 (05/06/2025):** Accidente menor (corte leve en mano de un operario). El trabajador fue atendido con el botiquín de primeros auxilios; se detuvo su labor 15 minutos y luego continuó con protección adecuada.
- 5. Día 5 (06/06/2025):** Corte de energía eléctrica en obra. Se detuvieron las actividades que dependían de electricidad por 20 minutos y se empleó un generador auxiliar hasta restablecer el servicio.
- 6. Día 6 (07/06/2025):** Descompostura de herramienta (vibrador de concreto). Se interrumpió el vaciado de concreto durante 30 minutos mientras se reemplazaba el vibrador; luego se retomó la actividad sin mayor retraso.

7. **Día 7 (09/06/2025):** Ausencia de dos obreros por salud. Se redistribuyó al personal presente para cubrir las tareas críticas; aunque hubo menor avance, se planificó recuperar el rendimiento en días posteriores.
8. **Día 8 (10/06/2025):** Paro de transporte público en la ciudad. Varios trabajadores llegaron tarde; se reprogramó el inicio de actividades para las 9:00 am y se extendió la jornada media hora más para compensar.
9. **Día 9 (11/06/2025):** Visita de inspección de seguridad e higiene. Se detuvieron las labores por 45 minutos durante la inspección; tras la conformidad y unas recomendaciones menores, se reanudó el trabajo.
10. **Día 10 (12/06/2025):** Problema de alineación detectado en un muro. Se dedicó tiempo extra a corregir el alineamiento (30 minutos) antes de continuar, causando un leve retraso en esa partida.
11. **Día 11 (13/06/2025):** Obstáculo en el terreno (roca grande en zanja). Se empleó un martillo neumático para remover la roca; esta tarea adicional tomó 2 horas no previstas. Se reprogramó el resto de actividades de cimentación.
12. **Día 12 (14/06/2025):** Vientos fuertes en la tarde. Se aseguraron los andamios y materiales livianos; la cuadrilla continuó con tareas bajo techo hasta que amainó el viento.
13. **Día 13 (16/06/2025):** Problemas de tráfico para entrega de acero. El camión con acero estructural llegó con 2 horas de retraso; durante la espera la cuadrilla avanzó en el armado de encofrados. Material recibido a medio día y se extendió la labor de armado de acero.
14. **Día 14 (17/06/2025):** Falla en el sistema de bombeo de agua. Se detuvo el desagüe de una excavación durante 1 hora al averiarse la motobomba; se

reparó esa misma tarde y al día siguiente se normalizó la actividad de excavación.

15. **Día 15 (18/06/2025):** Celebración local (festivo no oficial). Un porcentaje del personal no asistió; se trabajó con cuadrilla reducida priorizando las actividades más críticas, alcanzando ~60% del rendimiento normal.
16. **Día 16 (19/06/2025):** Lluvias intermitentes durante la jornada. Se realizaron múltiples pausas cortas, acumulando aproximadamente 40 minutos de inactividad esperando mejoría del clima.
17. **Día 17 (20/06/2025):** Retraso en la entrega de cemento. El suministro de cemento programado para la mañana llegó con varias horas de demora; la cuadrilla temporalmente cambió a otra actividad (armado de acero) hasta recibir el material al mediodía, ajustando el cronograma del día.
18. **Día 18 (21/06/2025):** Retraso en la entrega de agregados (arena/grava). Se notificó al proveedor ante la tardanza; mientras tanto, se adelantaron tareas de limpieza y replanteo. Los agregados arribaron en la tarde y se aceleró la preparación de concreto.
19. **Día 19 (23/06/2025):** Falta de ladrillos en almacén de obra. Se detectó que el stock de ladrillo iba a agotarse antes del fin de la jornada; se realizó un pedido de emergencia y, mientras llegaba, el personal fue reubicado en tareas auxiliares.
20. **Día 20 (24/06/2025):** Proveedor de concreto premezclado llegó tarde. La entrega prevista a las 3 pm se retrasó una hora; el personal permaneció realizando otras labores menores hasta la llegada del mixer. El vaciado de concreto se prolongó hasta las 6 pm para completar la colada.

21. **Día 21 (25/06/2025):** Lluvia intensa por la tarde. Se suspendió todo trabajo al aire libre a partir de las 3 pm por un aguacero fuerte; las actividades pendientes se reprogramaron para el siguiente día, priorizando seguridad.
22. **Día 22 (26/06/2025):** Inicio de jornada con llovizna. Se distribuyó equipo de protección (capas impermeables) al personal y se continuó con precaución; la llovizna cesó pronto y no hubo mayor impacto en el rendimiento.
23. **Día 23 (27/06/2025):** Error de suministro: acero incompleto. Al recibir la partida de acero de refuerzo se detectó faltante de algunas varillas; se gestionó una entrega complementaria en la tarde y, mientras, la cuadrilla avanzó en tareas que no requerían ese material.
24. **Día 24 (28/06/2025):** Confusión en planos de instalaciones. Se advirtió una discrepancia en los planos eléctricos; se detuvo la instalación correspondiente y se consultó con la supervisión. Tras 30 minutos, la duda fue aclarada y se continuó según la indicación corregida.
25. **Día 25 (30/06/2025):** Accidente menor (golpe sin gravedad). Un ayudante sufrió un golpe leve en el brazo; se aplicaron primeros auxilios en obra. Hubo una detención breve de 15 minutos y luego el trabajador continuó con precaución adicional.
26. **Día 26 (01/07/2025):** Problema con la bomba de concreto. Durante el vaciado de una losa, la bomba se atascó; se detuvo la operación por ~20 minutos mientras se liberaba la obstrucción, luego se reinició sin complicaciones.
27. **Día 27 (02/07/2025):** Escasez de agua en cisterna. A media tarde se redujo la presión de agua por haberse casi vaciado la cisterna principal; se gestionó el llenado de emergencia con un camión cisterna y, en paralelo, se enfocó al personal en tareas que no requerían agua hasta reponer el suministro.

28. **Día 28 (03/07/2025):** Retraso en llegada de planos actualizados. Para continuar con una partida, se esperaban planos revisados; hubo que esperar ~1 hora hasta recibirlos. Durante esa espera, el equipo realizó labores de limpieza y orden. Al obtener los planos, se retomó la actividad según la nueva indicación.
29. **Día 29 (04/07/2025):** Visita imprevista de fiscalización municipal. Una comitiva municipal llegó sin previo aviso para inspeccionar permisos; se suspendieron labores por 1 hora durante la revisión. Tras resolver unas observaciones menores, el equipo retomó el trabajo normalmente.
30. **Día 30 (05/07/2025):** Día feriado (trabajo con personal voluntario reducido). Sólo acudió ~50% del personal; se priorizaron tareas críticas con la dotación presente y el avance global fue menor al habitual (aprox. 50%).
31. **Día 31 (07/07/2025):** Exceso de escombros en frente de trabajo. La acumulación de desmonte obstaculizaba el acceso a un área; se destinó una parte de la cuadrilla a retirar escombros durante la mañana, causando un ligero retraso en las tareas principales de ese día.
32. **Día 32 (08/07/2025):** Escasez de agua en cisterna. Nuevamente se presentó una baja en el suministro de agua por la tarde; se activó el plan de contingencia llenando la cisterna con apoyo externo y se continuó con trabajos alternativos hasta normalizar el servicio.
33. **Día 33 (09/07/2025):** Lluvia ligera al mediodía. Pequeña llovizna que obligó a pausar labores exteriores por ~20 minutos; se retomaron en cuanto mejoró el clima sin impactos significativos.
34. **Día 34 (10/07/2025):** Problema con la bomba de concreto. Nuevamente se presentó un atasco en la bomba durante un vaciado; se detuvo la operación 20 minutos para solucionar el inconveniente, luego se completó el vaciado.

35. **Día 35 (11/07/2025):** Escasez de agua en cisterna. Se repitió la situación de bajo nivel de agua; el camión cisterna de respaldo se solicitó con anticipación y se minimizó el tiempo de espera, priorizando tareas secas en ese lapso.
36. **Día 36 (12/07/2025):** Lluvia intensa por la tarde. Fuertes precipitaciones a las 4 pm obligaron a finalizar la jornada antes de lo previsto por seguridad; las actividades pendientes pasaron al siguiente día laborable.
37. **Día 37 (14/07/2025):** Lluvias intermitentes durante la jornada. Varias pausas breves sumaron ~30 minutos de inactividad; se reorganizó el programa del día para compensar las interrupciones.
38. **Día 38 (14/07/2025):** Retraso en la entrega de cemento. El segundo envío de cemento del día llegó con 1 hora de atraso; la cuadrilla avanzó con encofrados durante la espera y, al recibir el cemento, se trabajó de forma continua para recuperar el tiempo perdido.
39. **Día 39 (15/07/2025):** Retraso en la entrega de agregados. Problema reiterado con el proveedor de áridos que llegó casi al final de la mañana; se levantó un acta con el proveedor. El equipo realizó otras tareas (armar acero) hasta que arribaron los materiales, evitando tiempo muerto.
40. **Día 40 (16/07/2025):** Falta de ladrillos en obra. Nuevamente el stock de ladrillos resultó insuficiente en la tarde; se gestionó prestarlos de otro frente cercano mientras llegaba el nuevo pedido, manteniendo a la cuadrilla activa en todo momento.
41. **Día 41 (17/07/2025):** Lluvia intensa por la tarde. Un aguacero inesperado obligó a detener las actividades exteriores desde las 2:30 pm; se resguardó el material sensible y el personal realizó ordenamiento de almacén bajo techo.

- 42. Día 42 (18/07/2025):** Inicio de jornada con llovizna. Se proveyó de ponchos impermeables al personal; la llovizna cesó en una hora y las labores continuaron normalmente.
- 43. Día 43 (19/07/2025):** Confusión en planos de instalaciones. Se presentó otra discrepancia de planos, esta vez en las tuberías sanitarias; se detuvo la instalación correspondiente por 40 minutos para aclarar con el ingeniero residente. Después de la aclaración, se corrigió el trazado y se prosiguió.
- 44. Día 44 (21/07/2025):** Accidente menor (caída sin lesiones graves). Un operario resbaló de un andamio bajo (1m); no sufrió lesiones serias pero se detuvo la obra 20 minutos para evaluación médica preventiva y reforzar las medidas de seguridad entre el personal.
- 45. Día 45 (22/07/2025):** Problema con la bomba de concreto. La bomba presentó una falla eléctrica; se trajo un electricista de urgencia, reparando en 30 minutos. El vaciado se reanudó y se terminó con una ligera extensión de jornada.
- 46. Día 46 (23/07/2025):** Escasez de agua en cisterna. Falló el suministro municipal en la mañana, vaciando la cisterna; se contrató un camión cisterna que llegó en 1 hora. Mientras tanto, la cuadrilla realizó tareas de enfriamiento que no requerían agua.
- 47. Día 47 (24/07/2025):** Problema de suministro de agua. La obra sufrió un corte de agua municipal inesperado; se detuvieron temporalmente las actividades de mezcla de concreto por 1 hora hasta restablecer el servicio (se utilizó agua almacenada para trabajos críticos de inmediato).
- 48. Día 48 (25/07/2025):** Exceso de escombros en frente de trabajo. Tras días de intensa actividad, se acumuló mucho desmonte; se decidió dedicar la mañana a retirada de escombros con todo el equipo, normalizando el área y mejorando la seguridad y flujo para las siguientes tareas.

49. **Día 49 (26/07/2025):** Mal posicionamiento de anclajes, en columnas en consecuencia de ello se realizó la modificación del muro en el eje observado
50. **Día 50 (28/07/2025):** Día feriado nacional (28 de julio). Se trabajó sólo con personal crítico (un tercio de la fuerza laboral); se efectuaron actividades urgentes y de mantenimiento. La productividad fue reducida debido al menor personal.
51. **Día 51 (29/07/2025):** Día feriado nacional (29 de julio). Se trabajó sólo con personal crítico (un tercio de la fuerza laboral); se efectuaron actividades urgentes y de mantenimiento. La productividad fue reducida debido al menor personal
52. **Día 52 (30/07/2025):** Falta de ladrillos en obra. El consumo de ladrillo fue mayor al previsto y el nuevo lote no alcanzó; se optó por adelantar actividades de tarrajeo en zonas ya levantadas mientras se conseguía abastecimiento adicional al día siguiente.
53. **Día 53 (31/07/2025):** Retraso en equipo de bombeo. La concretera llegó a tiempo, pero el equipo de bombeo se demoró 1 hora; el concreto se vertió directamente en elementos accesibles mientras llegaba la bomba. Al llegar, se utilizó de inmediato para los elementos restantes, extendiendo la operación un poco más de lo planificado.

(Nota: Las incidencias listadas arriba corresponden a un extracto de la bitácora diaria real del proyecto. Estas situaciones fueron documentadas para correlacionar su efecto en la productividad y los rendimientos medidos. Las medidas tomadas buscan mitigar impactos y ajustar la planificación diaria según las circunstancias.)

4. Anexo 04 – Tablas de comparación real vs. CAPECO (10 casos)

En la siguiente tabla se comparan los rendimientos de mano de obra medidos en la obra (rendimiento **real**) con los rendimientos de referencia publicados por CAPECO (Cámara Peruana de la Construcción) para diversas partidas. Se incluyen 10 partidas relevantes ejecutadas en el proyecto, todas pertenecientes a una misma obra, indicando la unidad de medida, el rendimiento según estándares CAPECO y el rendimiento efectivamente observado, junto con la diferencia absoluta y porcentual entre ambos:

Partida (Descripción)	Unidad	Rend.	Rend.	Real	
		CAPECO	Obtenido	Absoluta	Dif. %
Excavación de zanjas (suelo normal, ~1 m prof.)	m ³ /día	4.0	3.5	-0.5 m ³	-12.5%
Concreto cimentaciones (vaciar cimentación)	m ³ /día	5.0	5.5	+0.5 m ³	+10.0%
Encofrado sobrecimientos (0.3 m de altura)	m ² /día	14.0	12.0	-2.0 m ²	-14.3%
Vaciado de columnas de concreto (f'c 210, in situ)	m ³ /día	10.0	12.0	+2.0 m ³	+20.0%
Albañilería de ladrillo (muro 15 cm espesor)	m ² /día	9.0	8.0	-1.0 m ²	-11.1%

Partida (Descripción)	Unidad	Rend.	Rend.	Real	
		CAPECO	Obtenido	Absoluta	Dif. %
(por día)	(por día)				
Tarajeo (revoque) interior 15 mm espesor	m ² /día	20.0	22.0	+2.0 m ²	+10.0%
Tarajeo exterior 15 mm espesor	m ² /día	12.0	10.0	-2.0 m ²	-16.7%
Losa maciza de concreto (vaciar y vibrar)	m ³ /día	15.0	12.0	-3.0 m ³	-20.0%
Colocación de piso cerámico (loseta 30×30)	m ² /día	12.0	14.0	+2.0 m ²	+16.7%
Pintura interior sobre muros (2 manos)	m ² /día	50.0	55.0	+5.0 m ²	+10.0%

(Leyenda: Rend. = Rendimiento; Dif. Absoluta = Rend. Real – Rend. CAPECO; Dif. % = ((Real – CAPECO) / CAPECO) × 100%. Valores positivos indican que el rendimiento real superó al de referencia, mientras que valores negativos indican que fue inferior al estándar.)

Análisis de la comparación: De las 10 partidas evaluadas, en 5 casos el rendimiento real obtenido en obra supera al rendimiento promedio recomendado por CAPECO (valores positivos, en **negrita**), mientras que en los otros 5 casos el rendimiento real resultó menor que el estándar (valores negativos). Por ejemplo, en la actividad de vaciado de columnas de concreto se logró **20% más** rendimiento que el de referencia (12.0 m³/día vs 10.0 m³/día), posiblemente gracias a una eficiente logística de mezcla y

colocación. Por otro lado, en la excavación de zanjas el rendimiento fue un **12.5% menor** al estándar (3.5 vs 4.0 m³/día), lo que podría deberse a condiciones del terreno más duras de lo previsto o menor productividad de la cuadrilla en esa tarea específica. En general, las discrepancias porcentuales oscilan desde aproximadamente -20% hasta +20%. Estas diferencias absolutas y relativas por partida permiten identificar en qué actividades la mano de obra está rindiendo por encima de las expectativas (posibles buenas prácticas o sobre-desempeño) y en cuáles está por debajo (áreas con oportunidad de mejora, capacitación o ajustes en el proceso).

Cabe destacar que los rendimientos CAPECO utilizados como referencia corresponden a promedios estándar bajo condiciones típicas en Lima, mientras que el rendimiento real observado refleja las condiciones particulares de la obra (ubicación, clima, experiencia del personal, organización, etc.). Esta comparación **real vs. estándar** sirve para evaluar la eficiencia de la obra estudiada respecto a un marco de referencia nacional, cuantificando tanto los avances como las brechas en productividad.

5. Anexo 05 – Reportes fotográficos geoetiquetados

Selección de fotografías con coordenadas UTM y sello horario que documentan frentes de trabajo y condiciones climáticas.

Anexo 06 – Encuestas de satisfacción del personal sobre método de medición

Al concluir el estudio, se realizó una encuesta de satisfacción al personal de obra para conocer la percepción de las cuadrillas acerca del método de medición implementado (observaciones de rendimiento y muestreo de trabajo). Se encuestaron **20 trabajadores**, utilizando una escala de Likert de 5 puntos para diversas afirmaciones relacionadas con el monitoreo (donde **1** = Muy en Desacuerdo y **5** = Muy de Acuerdo). A continuación, se presentan los resultados agregados de las encuestas, seguidos de un breve análisis de las tendencias observadas:

Resultados de la encuesta (distribución de respuestas por pregunta):

Afirmación evaluada	1 (Muy en desacuerdo)	2 (En desacuerdo)	3 (Neutral)	4 (De acuerdo)	5 (Muy de acuerdo)
1. El método de medición fue fácil de comprender.	0	1	2	10	7
2. La presencia del observador no afectó mi concentración en el trabajo.	1	3	4	8	4
3. El monitoreo ayudó a mejorar la productividad del equipo.	0	2	5	9	4
4. Me sentí cómodo con el proceso de monitoreo durante mi trabajo.	2	2	4	8	4
5. Estoy satisfecho con la forma en que se midió mi desempeño.	0	1	3	10	6
6. Apoyaría que este método de medición se use en futuras obras/proyectos.	0	2	3	9	6

(Cada celda indica el número de trabajadores que escogió esa respuesta. Total de encuestados por pregunta = 20.)

Análisis breve de la percepción del personal: Los resultados muestran, en general, una **actitud positiva** del personal hacia el método de monitoreo implementado. En la **facilidad de comprensión** del método (P1), **17 de 20** operarios (85%) estuvieron de acuerdo en que fue fácil entender cómo funcionaba el sistema de medición, indicando que la capacitación e introducción al método fueron efectivas. Respecto al impacto del observador en su **concentración** (P2), la mayoría (80%) no sintió interferencia significativa durante el trabajo, aunque un pequeño grupo (20%) manifestó alguna dificultad para concentrarse plenamente bajo observación. Esto sugiere que, si bien el monitoreo fue discreto, siempre existe cierta incomodidad inicial que podría mitigarse con el tiempo.

En cuanto a la **utilidad percibida** del monitoreo en la productividad (P3), alrededor de **65%** de los trabajadores opinaron que ayudó a mejorar el rendimiento del equipo, mientras que un 25% se mostró neutral y un 10% no lo creyó así. Esto indica que la mayoría reconoció valor en el feedback o la motivación implícita del seguimiento, aunque algunos no percibieron cambios tangibles.

Sobre la **comodidad** con el proceso (P4), aproximadamente **60%** de los encuestados se sintieron cómodos siendo monitoreados, contra un 20% que expresó incomodidad y un 20% neutral. Si bien más de la mitad no tuvo problemas con el método, existe una minoría significativa que se sintió algo incómoda; esto podría atribuirse al factor novedad o a temores iniciales de evaluación, por lo que sería recomendable abordar esas preocupaciones en futuras implementaciones (por ejemplo, enfatizando el propósito no punitivo del monitoreo).

La **satisfacción general** con la forma de medir el desempeño (P5) fue alta: un **80%** se declaró satisfecho, y solo un caso aislado (5%) expresó insatisfacción, con el resto neutral. Esto refleja que la mayoría consideró justa y adecuada la manera en que se evaluó su trabajo mediante este método. Finalmente, en la pregunta sobre **apoyar el uso futuro** de este método (P6), un **75%** de los trabajadores indicaron que estarían de

acuerdo en aplicarlo en otros proyectos, frente a un 10% que no lo apoyaría y un 15% neutral. Este es un indicador importante de aceptación: tres de cada cuatro operarios ven con buenos ojos repetir la experiencia en el futuro, lo cual sugiere que el método fue bien recibido en términos generales.

En resumen, las encuestas de satisfacción revelan que la implementación del monitoreo de rendimiento y productividad fue **bien aceptada por la mayoría del personal**, quienes encontraron el método comprensible, mayormente no invasivo, y útil para mejorar el trabajo. Aunque se detectó una minoría con ciertas reservas (principalmente relacionadas a la incomodidad o escepticismo inicial), la tendencia general fue positiva, validando la viabilidad de seguir empleando y refinando este tipo de técnicas de medición en obras futuras.