



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ESTADO DEL ARTE PARA CUANTIFICAR EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD DE ACTIVIDADES RELACIONADAS CON ELEMENTOS
ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO.**

Autora
Nora Yurany Ramírez Giraldo

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Civil,
Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020



**ESTADO DEL ARTE PARA CUANTIFICAR EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE
ACTIVIDADES RELACIONADAS CON ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO
REFORZADO.**

Nora Yurany Ramírez Giraldo

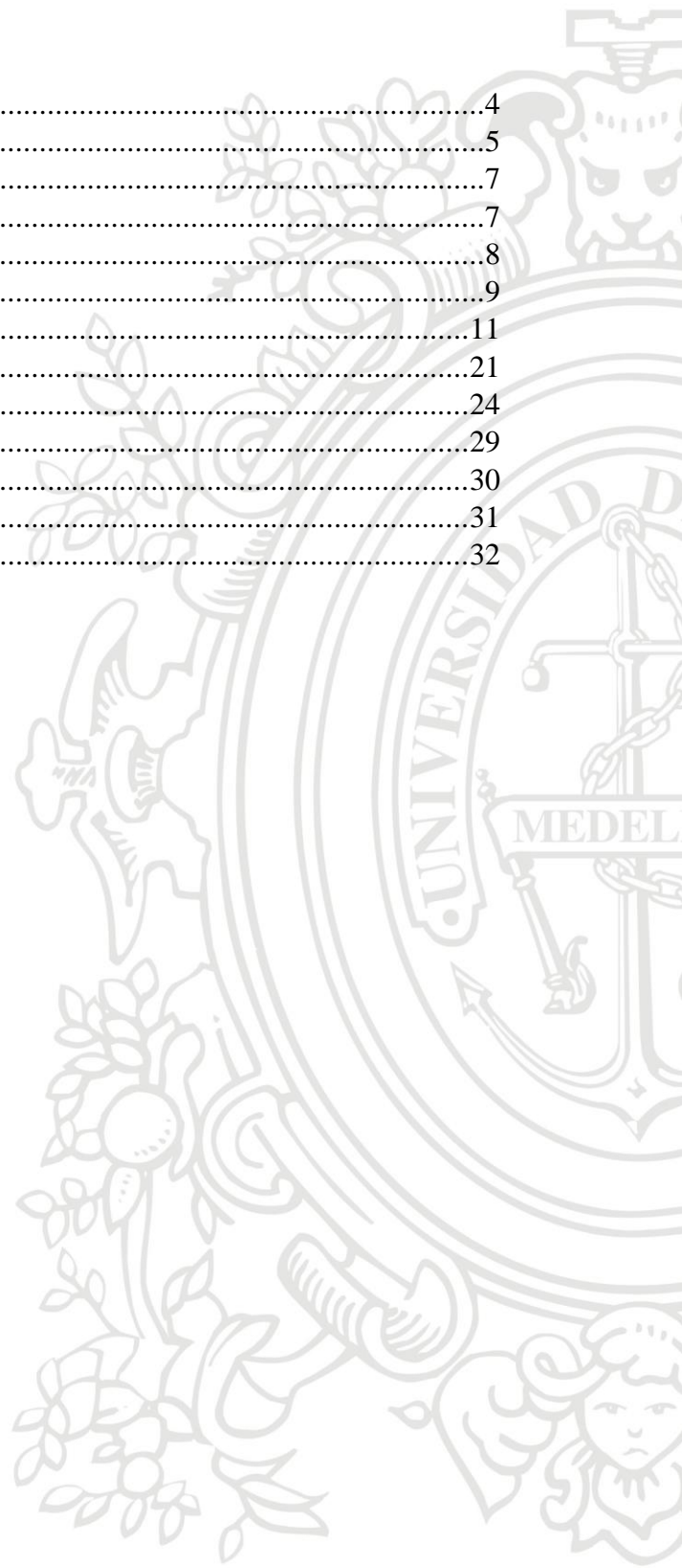
Informe del estado del arte y aplicación, como requisito para optar al
título de:
Ingeniera Civil

Asesora interna
Isabel Kristina Cardona Giraldo
Ingeniería civil – Msc. Ingeniería geotecnia

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de ingeniería Civil, Escuela
Ambiental.
Medellín, Colombia
2020.

Tabla de contenido

Resumen.....	4
1. Introducción	5
2. Objetivo general	7
2.1 Objetivos específicos.	7
3. Justificación.....	8
4. Sitio de estudio.....	9
5. Estado del Arte	11
6. Metodología	21
7. Resultados y análisis.....	24
8. Conclusiones	29
9. Discusión.....	30
Referencias Bibliográficas	31
Anexos	32



ESTADO DEL ARTE PARA CUANTIFICAR EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE ACTIVIDADES RELACIONADAS CON ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO.

Resumen

El estado del arte de esta investigación se basó en la recopilación de la información existente más relevante sobre el rendimiento de obra para elementos estructurales de hormigón, con el fin de realizar una comparación de las diferentes metodologías, factores de afectación en las obras y resultados obtenidos en los documentos recopilados, permitiendo efectuar un análisis de los mismos y dar conclusiones asertivas y congruentes, logrando determinar que no existe uniformidad en la toma de datos con respecto a las unidades y que los factores que deben considerarse son: todo los explicados por Botero (2002) como economía general, aspectos laborales, climas, actividad, equipamiento, supervisión, trabajadores y otros detectados en demás artículos como la productividad como indicador de gestión, número de trabajadores por actividad, disposición y ubicación del material al interior de la obra, logística en la ubicación de sanitarios, comederos y puntos de hidratación, los cuales son factores que repercuten en la productividad de la obra, también se realiza una comparación numérica de Rufasto (2014) y Ramírez y Portillo (2015) de los datos recopilados que fueron de las mismas actividades y que fueron posibles llevar a las mismas unidades, además se anexo la información correspondiente a la toma de datos que se recopilaron durante 3 meses de prácticas académica realizadas en campo, los datos se tomaron por 3 semanas a 3 cuadrillas que realizaron vigas aéreas en la construcción del proyecto CLIN desarrollado por Gomeco S.A.S ubicado en el municipio de Girardota –Antioquia, esto permitió determinar los rendimientos de obra para vigas aéreas y realizar una comparación con el resultado obtenido por Ramírez y Portillo (2015), en la comparación con Gomeco S.A.S se logró determinar que todos los procesos de rendimiento de obra en vigas aéreas en este lugar están por debajo de los rendimientos de Ramírez y Portillo (2015), presentando unos tiempos de acero y encofrado dos horas más lentos, mientras que en la fundida tardan 24 días más.

1. Introducción

En la actualidad la construcción cuenta con diferentes procesos constructivos los cuales requieren cuidado en cuanto al control de calidad y procedimiento, teniendo el rendimiento de obra como uno de los factores más importantes a la hora de realizar un proyecto, ya que en definitiva es como se definen los tiempos y por lo tanto la duración y costo de la obra, sin embargo este factor tan decisivo aun no es analizado de la manera que se requiere, pues en la mayoría de los proyectos este valor es tomado de bases de datos referentes como CONSTRUDATA u obras similares y no son analizados con los factores que inciden y afectan en cada obra, los cuales son únicos y particulares de la misma o afectan en mayor o menor medida, como por ejemplo, cualquier cambio en el clima, daño en el equipo o incluso estado del ánimo del trabajador afecte este rendimiento, además no se cuenta con una guía estructurada de que método y unidades se deben usar, lo que complica más la comparación de estos, esto hace que se tenga que cargar de manera exagerada los imprevistos a la hora de realizar los A.I.U de los proyectos.

Por lo tanto se analiza la información existente referente a rendimientos de obra, para posteriormente usar un método y comparar a manera de ejemplo con la recopilación de los datos tomados en campo en el proyecto de construcción del Centro Logístico e Industrial del Norte (CLIN) ubicado en Girardota - Antioquia realizado por la empresa Gomeco S.A.S, donde desarrolle 3 meses de prácticas académicas. Así pues en este informe de la revisión del estado del arte se compara cada uno de los aspectos que afectan la obra, que se analiza, que metodología usan, y que resultados obtienen y se aplicara a manera de ejemplo académico los datos recolectados en la empresa GOMEKO S.A.S. correspondientes a 3 cuadrillas (oficial +ayudante) por 3 semanas, a la construcción de vigas de amarre, que son las que permiten el confinamiento de los muros internos de la estructura a la hora de garantizar una vida, y comparar su rendimiento con la de los artículos y trabajos analizados, permitiendo una conclusión no solo basada en la experiencia de los demás, sino además propia.

Se Logró detectar una gran cantidad de variables que no son tenidos en cuenta en todos los trabajos como por ejemplo los factores de afectación que aunque son propios de una obra y afectan en diferente medida deberían ser tenidos en cuenta a la hora de realizar un rendimiento de obra, además se encontró que existen rangos de rendimiento en obras similares mas no un valor numérico exacto de este. Siendo el proyecto de Gomeco S.A.S un complejo de 72 bodegas desarrollado en un sistema constructivo nuevo presenta muchas diferencias en los resultados de rendimiento ya que en muchas ocasiones no tienen conocimientos básicos sobre cómo se realizan los procedimientos y aunque se les explica, no siempre lo hacen de la manera correcta porque puede presentar más dificultad a la hora de realizarlo o simplemente porque se les olvida, por esto requiere de una

revisión continua por parte de los ingenieros residentes, que permitan gestionar los materiales de manera oportuna y evaluar la calidad de su ejecución, ya que este no puede estar pendiente de un solo frente de trabajo se propone un análisis de rendimiento asertivo que permita monitorear estos aspectos sin requerir el 100% la presencia de un ingeniero. Y teniendo en cuenta que dentro de la construcción y procedimiento para llevar a cabo una obra se requieren del apoyo multidisciplinario.



2. Objetivo general

Revisión del estado del arte de rendimiento de obra en elementos estructurales de hormigón reforzado con el fin de compararlos con un caso de estudio.

2.1 Objetivos específicos.

- Identificar trabajos existentes realizados sobre rendimiento de obra principalmente en elementos estructurales de concreto reforzado.
- Analizar los trabajos más significativos y extraer la información más relevante, que permita realizar comparación entre ellos.
- Usar una metodología elegida de los trabajos anteriores para hallar rendimiento de obra, como base para desarrollar el ejemplo académico en Gomeco S.A.S
- Determinar los resultados obtenidos de los datos presentados en trabajos anteriores que se puedan relacionar y comparar con el ejemplo aplicativo de Gomeco S.A.S para dar conclusiones de rendimientos.

3. Justificación

El rendimiento de obra es uno de los factores que más influyen a la hora de realizar una presupuesto de obra, ya que la planeación de cuánto tiempo va a tardar su realización influye directamente en el costo de alquiler de maquinaria, mano de obra y tiempos de entrega de la misma, sin embargo a pesar de ser una pieza fundamental para la realización de los proyectos, no se le presta la importancia que se requiere, no se cuenta con una guía clara y estructurada de cómo se debe realizar la toma datos, que unidades se deben usar, que metodología llevar a cabo teniendo en cuenta que todos los factores que pueden afectar la obra no pueden ser unificados, ya que no existe una formula o software que permita calcular este usando todas las variables obtenidas en campo, por lo que hace que sus resultados no sean exactos, precisos y en muchos casos tampoco comparables.

La empresa GOMECO S.A.S. en su proyecto CLIN (centro industrial y logístico del norte) el cual consiste en la construcción de 72 bodegas con un modelo constructivo prefabricado único en el país, desea alcanzar los más altos estándares de calidad, para garantizar la satisfacción del cliente, sin embargo entre más grande es la obra más difícil es estar pendiente de todos los procedimientos y de sus trabajadores por esto se requiere de un método eficiente que permita analizar los diferentes frentes de trabajo desde el punto de vista de rendimiento y calidad, sin importar el tipo de contratación ya sea al contrato o al día.

4. Sitio de estudio

Gomeco S.A.S. es una empresa Colombiana, con sede principal en Medellín. Opera en Construcción de Edificios No Residenciales industria. La empresa fue fundada en 05 de febrero de 1997. Actualmente ejecuta el proyecto CLIN o el Centro Logístico Industrial del Norte, es el centro logístico más importante que se desarrolla en nuestra región, este tendrá 72 bodegas, 3 cafeterías, 1 hotel, 1 estación de servicio, patio de maniobras de 49 metros, parqueadero de visitantes y estará ubicado en el municipio de Girardota, Antioquia, nuevo polo de desarrollo industrial y comercial del valle de aburra. Las áreas de almacenamiento y producción cuentan un altura libre de 12 metros, muros cortafuego, red contra incendios, pisos en concreto reforzado allanado con resistencia de soporte de 4 toneladas por m², muros en fill-up (prefabricados en concreto) techo que proporciona iluminación y ventilación natural generando ahorro de energía y una mejor calidad del ambiente interior, puerta-camión de 5.3m de altura x 4.0 m de ancho.

En la Figura 1. Se presenta la ubicación del proyecto CLIN, el cual se ubica en las afueras del municipio de Girardota, entre la autopista Norte y el Rio Medellín.

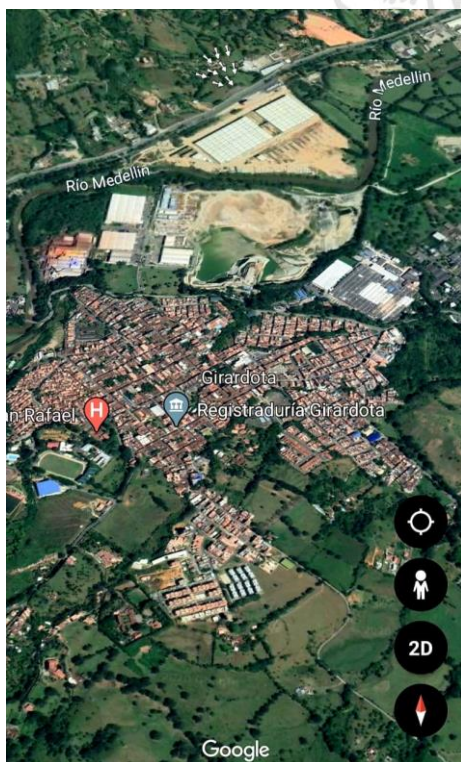


Figura 1. Ubicación proyecto CLIN
Fuente: Google Earth

A manera de ejemplo académico los datos recolectados en la empresa GOMECO S.A.S. tomados en la realización de 3 meses las practicas académicas en el proyecto CLIN, correspondientes a 3 cuadrillas conformadas de la siguiente manera: cuadrilla 1 y 2 por oficial y ayudante mientras la cuadrilla 3 por oficial y 2 ayudantes, dedicados a la construcción de vigas de amarre, recopilados en campo en formatos físicos por 3 semanas, se les analizara el rendimiento y se realizará el comparativo y análisis de estos con otra obra.



5. Estado del Arte

Botero (2002) en su artículo titulado “Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción” resultado de una investigación realizada por seis meses a las viviendas de interés social de Flores y Colores y Rosa de los vientos ubicados el departamento de Antioquia en san Antonio de Prado y el municipio de Copacabana respectivamente construidas en sistema de mampostería estructural, menciona que el rendimiento de mano de obra es definido como la cantidad de alguna actividad completamente ejecutada por una cuadrilla, normalmente se expresa como um/ hH (unidad de medida de la actividad (ml para vigas de amarre) por hora Hombre) y precisa que el rango de eficiencia va desde 10% como muy baja, al 100% como excelente, sin embargo el promedio de eficiencia en la productividad es de 61% al 80% por lo que se define 70% como la productividad normal en la mano de obra de los procesos constructivos en general. Además teniendo en cuenta que cada proyecto de construcción cumple con unas especificaciones diferentes, enumera algunos factores que afectan el rendimiento y calidad de la mano de obra, como son:

- **Economía general.** Se refiere a la economía de la nación, teniendo en cuenta volumen de construcción y situación de empleo, ya que si la economía es buena la productividad tiende a rebajar porque es más difícil encontrar personal calificado y la disponibilidad de insumos, mientras que si es normal la situación productiva mejora.
- **Aspectos laborales.** Depende de las condiciones laborales en que se realiza el proyecto, tipo de contrato, sindicalismos, incentivos, la justa remuneración, el ambiente de trabajo, la seguridad social e industrial.
- **Clima.** Estado de tiempo, temperatura, condiciones del suelo y cubierta.
- **Actividad.** Grado de dificultad, riesgo, discontinuidad, orden y aseo, actividades predecesoras, tipicidad y tajo
- **Equipamiento.** Depende de la calidad de las herramientas, la disponibilidad de los equipos, mantenimiento, suministros y elementos de protección.
- **Supervisión.** La calidad y experiencia del personal, criterios de aceptación, instrucciones, seguimiento y gestión de calidad.
- **Trabajador.** Situaciones personales, ritmo de trabajo, habilidades, conocimiento, desempeño y actitudes.

Botero (2002) realizo sus conclusiones a partir de un análisis estadístico que tuvo en cuenta la siguiente metodología:

1. Exportación de datos desde Microsoft Excel hacia statgraphics
2. Obtención de estadísticas básicas sobre el consumo de mano de obra, determinando la moda, desviación estándar, varianza, rango, kurtosis sesgo
3. Determinar si la muestra seleccionada se distribuye normalmente usando el criterio de kurtosis y sesgo con rangos por fuera de -2 y 2
4. Eliminación de datos extremos con desviación estándar de +1.5 para límite superior y -1.5 límite inferior
5. Determinación de las correcciones entre las variables dependientes e independientes con alta correlación dada por valores cercanos a 1 y -1.
6. Análisis de regresión lineal simple o múltiple.

Finalmente complementa este estudio con la creación del software "CONSUMOS" que permite predecir de acuerdo con la calificación de los factores de afección, el consumo individual de los obreros o de cuadrillas en 17 actividades de construcción en sistema de mampostería estructural, logrando los resultados obtenidos como estándar y modelos de regresión lineal.

De otro lado, Mejía y Hernández (2007) en su artículo titulado, "Seguimiento de la Productividad en obra: Técnicas de medición de rendimiento de mano de obra", el cual se centró en identificar, definir y aplicar la metodología de productividad como indicador de gestión para realizar el seguimiento y medición de la productividad de la mano de obra y mejorar su desempeño, define la productividad como un indicador significativo de gestión y control en las obras de construcción, donde una buena gestión debe partir de la planeación de las cuadrillas de trabajo, estableciendo metas que permitan lograr un buen desempeño, las falencias que el sector de la construcción representan llevo al autor a realizar un esquema del estudio de rendimientos como técnica de mejoramiento de la productividad. Figura 2.

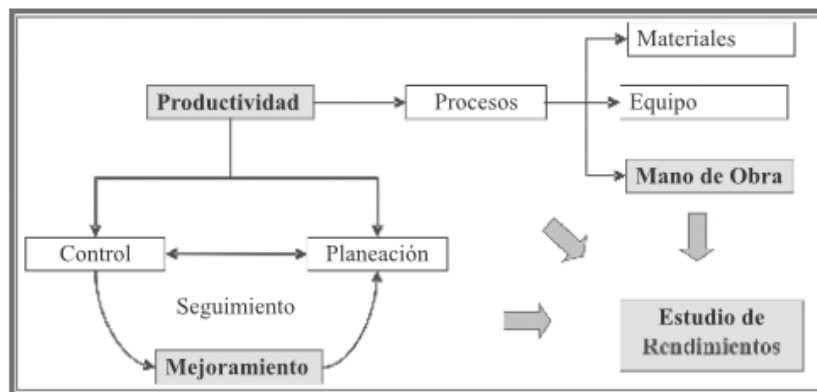


Figura 2. Esquema conceptual del estudio de rendimientos como técnica de mejoramiento de la productividad

Fuente: tomado de Mejía y Hernández (2007)

El cual permite el análisis de la productividad global, además evalúa el desempeño de los procesos, como la calidad, la seguridad, el costo, el tiempo, la planeación y el control. Estos recursos anteriormente mencionados deben estar definidos dentro de planes de mejora, para conseguir el uso eficiente y eficaz de calidad y seguridad.

La productividad entonces la define como la relación existente entre la calidad de obra generada con respecto a los recursos empleados, por lo que determinarla implica cuantificar el rendimiento de las cuadrillas, por lo tanto mejorar esta productividad implica mejorar el desempeño de cada proceso como son: planeación, seguimiento y medición, control y evaluación e implementación.

Usando la técnica de muestreo determina el nivel de confianza de los datos tomados, a su vez se discrimina si es una cuadrilla calificada (oficial-ayudante) o una cuadrilla representativa (personal con desempeño promedio), determinando la cuadrilla calificada como la cuadrilla tipo representativa de la eficiencia básica, y se le realiza seguimiento, teniendo en cuenta los valores de rendimiento que afectan cada cuadrilla y sus rangos de afección. Tabla 1

Tabla 1. Afectación de cada grupo

Grupo	Rango (%)
Economía - entorno	50 a 75
Clima	40 a 75
Obra - Organización	40 a 80
Equipo - dotación	55 a 75
Supervisión - control	50 a 75
Laborales - condiciones	40 a 80
Trabajador - habilidades	60 a 75

Fuente: tomado de Mejía y Hernández (2007)

Realizaron el estudio en un proyecto de urbanización, localizado en el municipio de Piedecuesta (Santander) con viviendas de 76 a 103 m², se analizaron las condiciones particulares del proyecto, distancia al almacén, forma de acarreo, limpieza de escombros y horarios laborados, realizando análisis de diferentes procesos constructivos (mampostería en bloque, piso cerámico, friso, estuco) y posteriormente comparando sus resultados con CONSTRUADATA.

Finalmente se logra determinar que el mejoramiento de la productividad debe ser evaluado de manera integral, determinado cada factor que influye en su proceso, incluyendo el tipo de contrato, ya que se encontró que la productividad de las cuadrillas por subcontrato, tienen indicadores de producción, entre 20% y 40%, mayor que las cuadrillas por administración, esto debido a la cultura, donde se deja en manos de los maestros y oficiales el tiempo y organización de las actividades, así pues se sugiere estudiar precisamente más sobre los factores de valoración.

Montero (2010) en su trabajo de grado para optar por el título de licenciatura en ingeniería en construcción en el instituto tecnológico de Costa Rica, titulado "Cuantificación del rendimiento y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en alturas", el cual se realiza en el condominio 6 - 30, complejo habitacional de más de 24.000m² de construcción, construido como una estructura monolítica, a cargo de la empresa hogares de Costa Rica, a la cual le apporto una herramienta importante para la programación y evaluación de los subcontratistas enfocados en áreas específicas y los cuales tienen a cargo el rendimiento del personal.

Esta estructura monolítica la analizaron principalmente en tres sistemas constructivos principales: Refuerzo de acero (figurado, transporte, almacenamiento, e instalación), sistema de formaleta (en este caso de

aluminio de la empresa Forsa S.A) y la colocación del concreto. Para la elaboración se usa un sistema de muestreo donde, se determina el objeto, se sistematiza y categoriza actividades, se diseñó el procedimiento de muestreo (estimación de cantidad de observaciones, selección de la longitud del muestreo, método de extracto de información y diseño de tabla de datos), posteriormente realizaron la recopilación de datos, procedimiento probabilístico y estadístico, y presentación de resultados (diagramas y su análisis, cuantificación de porcentajes de actividades y productividad y determinación de tiempos), contaron con 70 personas para el área de aceros, 27 personas para el encofrado y colado de acero.

Para la toma de datos sugieren registro fotográfico para evitar el deterioro del material físico, y evitar que los trabajadores se den cuenta de esta toma de información para que no cambien su ritmo de trabajo habitual, ya que el rendimiento es una relación entre el trabajo producido y el tiempo que requirió su elaboración, además se deben tener en cuenta los factores externos que afectan su productividad propios de cada obra. Obtiene un resumen de datos de tiempo por actividad propios de esta obra. Tabla 2

Tabla 2. Resumen de rendimiento y productividad por actividad

Actividad	Rendimiento		Productividad
Banco de Armadura	0,131 ton/hr	0,0076 hrs-h/ton	89,4%
Colocación de Acero en Muros	0,184 ton/hr	0,0054 hrs-h/ton	74,1%
Colocación de Acero en Losa	0,587 ton/hr	0,0017 hrs-h/ton	85,5%
Colocación de Formaleta	90,12 m ² /hr	0,0112 hrs-h/m ²	83,7%
Desencofrado	174,4 m ² /hr	0,0141 hrs-h/m ²	87,3%
Colocación de Concreto	13,52 m ³ /hr	0,0059 hrs-h/m ³	86,4%

Fuente: tomado de Montero (2010)

Esta tabla aporta información sobre los promedios de tiempo para cada actividad tomados en campo, posteriormente analizados para la obtención de rendimiento que superan la productividad del 60% ya que su promedio de productividad fue de 85,5%, se logró determinar que un factor que juega un papel importante es el espacio de trabajo, ya que a menor espacio de maniobra menor productividad, el salario e incentivos animan o desaniman al trabajador, por lo que su estado de ánimo afecta el proyecto, se recomienda llevar un inventario minucioso del acero, evitar desperdicios y disponer de áreas de depósito, además de contar con servicios sanitarios cerca de la cuadrilla, áreas de comedor y dispensadores de agua, a su vez deben tener claras las rutas de salida y entrada de las zonas de trabajo, la programación de la grúa, buenos sistemas de comunicación, información de

protocolos de seguridad y su dotación respectiva, buena iluminación en la zona de trabajo y tener claro los cronogramas y programación de la obra.

Para evaluar más a profundidad rendimientos miremos el ejemplo de Rufasto (2014) en su tesis para optar por el título profesional de ingeniero civil, titulada “Determinación de los rendimientos de mano de obra, en las partidas de concreto armado en la construcción del palacio municipal de la ciudad de San Ignacio, Cajamarca”, la cual se basa en una investigación realizada para determinar la mano de obra de elementos de concreto reforzado en la construcción del Palacio Municipal en Ciudad de San Ignacio, para esto realizó la toma de datos, hora de inicio, personal empleado, hora de Terminación y observación de procedimiento y cálculos de los datos a partir de la organización de los mismo, rendimiento y media aritmética. Finalmente obtuvo una tabla que permite ser comparada con las emitidas por la cámara peruana de la construcción CAPECO, Tabla 3.

Tabla 3. Comparativo de Rendimientos CAPECO – Palacio Municipal

PARTIDA	CAPECO (A,U)	PALACIO (A,U)	VARIACION	UND	%
Concreto en zapatas	3,84	5,91	2,07	H-h/M ³	35,07
Acero, en zapatas	0,064	0,08	0,01	H-h/kg	18,51
Encofrado de vigas de cimentación	1,5	1,6	0,10	H-h/M ²	6,25
Concreto en vigas de cimentación	4,8	6,63	1,83	H-h/M ³	27,56
Acero en vigas de cimentación	0,064	0,1	0,04	H-h/kg	37,12
Encofrado en columnas	1,5	1,55	0,05	H-h/M ²	3,23
Concreto en columnas	11,2	11,38	0,18	H-h/M ³	1,58
Acero en columnas	0,064	0,13	0,07	H-h/kg	49,58

Fuente: tomado de Rufasto (2014)

De esta tabla se lograron concluir que los valores de rendimiento de obra aportados por CAPECO son mayores en comparación al rendimiento real, lo que confirma la teoría inicial que estos datos no son acordes al medio real, ya que se presentan muchas variaciones propias de cada construcción.

Es importante mencionar a Remolina y Polaco (2014), en su artículo “estudio de rendimiento de obra para las actividades estructura y mampostería para un proyecto de construcción en el campus de la UPB”, ya que en este se genera una propuesta de metodología y análisis con base en supuestos de carácter práctico, se tiene como objeto de estudio el edificio J, construcción multipropósito de 7.749,71m² proyectada para funcionar como un sistema

estructural aperturado de concreto normalmente reforzado, conformado por vigas, columnas y placas de entrepiso aligeradas en una dirección, después de analizar la metodología más apropiada para la toma de datos in-situ para la construcción optaron por el uso de la metodología de estudio de rendimientos promedios, esta implicó la recolección diaria de información, y para esto diseñaron formatos donde se consolida de manera fácil la información, correspondientes a 5 matrices zapata, columna, vigas, muros de contención y mampostería, subdivididas en refuerzo, encofrado, fundida y desencofrado, en el caso de elementos en concreto reforzado donde el rendimiento total de cada actividad es la suma de los rendimientos de los procesos de la subdivisión.

Para llevar a cabo este análisis, tuvieron en cuenta que el rendimiento efectivo de la actividad está directamente relacionado con la cantidad de oficiales y ayudantes, para ello se basan en información de aproximaciones realizadas por Farnad et al, estudios realizados por L.F Martínez en la universidad católica de Chile, y en el análisis de seguimiento realizado por G. Mejía, lograron determinar un factor de ajuste de productividad (Fa) obteniendo la siguiente ecuación:

$$Fa = 1 - (0.1 * ((N^{\circ}ay/N^{\circ}of) - 1))$$
$$Rcb = Rcr * Ce * Fa \text{ (H/m}^3\text{)}$$

Donde:

N° ay= número de ayudantes de la cuadrilla real

N° of = número de oficiales de la cuadrilla real

Rcb = rendimiento por cuadrilla

Ce = cuadrillas equivalentes

Rcr = el rendimiento real

Una vez realizaron el procesamiento de los datos obtuvieron una tabla comparativa de los rendimientos reales por cada actividad y los rendimientos que sugiere CONSTRUDATA (producto de la firma Legis S.A, consolidada como revista especializada en el tema), presentado en la siguiente Tabla 4. Donde R es refuerzo, E es encofrado, f es fundida y D es desencofrado, los totales están dados en h/m³ para elementos de concreto y h/m² para mampostería

Tabla 4. Comparativo de Rendimientos

ACTIVIDAD	R	E	F	D	TOTAL	CONSTRUDATA	% Dif
Zapatatas	0,03	2,7		0,71	3,44	8,27	-58%
Columnas	3,47	2,54	2,18	1,03	9,22	10,29	-10%
Vigas	3,93	1,93	2,45	1,41	9,71	6,89	41%
Muros de Contención	0,42	1,36	0,52	0,71	3,01	10,68	-72%
Mampostería en Bloque H10					0,33	0,72	-54%
Mampostería en Ladrillo M29					0,55	1,06	-49%

Fuente: tomado de Remolina y Polaco (2014)

Finalmente lograron determinar que con excepción de la viga todos los rendimientos están por debajo de la base de datos, siendo el más cercano el correspondiente a la columna con una diferencia de 10%.

Además lograron llegar a la conclusión de que cada ayudante adicional aporta un 10% de descuento al tiempo de ejecución, y que la reducción máxima es del 30% ya que cuadrillas con más de 4 ayudantes entorpecen el procedimiento y genera un aumento en el tiempo de ejecución.

Una comparación que vale la pena mencionar es la realizada por Ramírez y Portillo (2015), en su trabajo de grado para optar por el título de ingeniero civil titulado, "Rendimiento de mano de obra en concreto (viga de cimentación, viga aérea y columnas) para la construcción de viviendas en el municipio del Espinal y Purificación Tolima", el análisis fue realizado con la obtención de base de datos de dos obras del Tolima, una en el municipio El Espinal y otra en Purificación, determinando el rendimiento estándar de las actividades estudiadas y realizar la comparación de dichos resultados en estas obras similares, se realiza un análisis de productividad donde se evidencia que está determinada por causas exógenas al trabajador, tales como: disponibilidad del material y equipos, procesos administrativos, programación de la obra y la responsabilidad del grupo de supervisión, y a su vez del desempeño laboral que es la capacidad que posee una persona para cumplir con las funciones que se le encargue, la capacidad de adaptación al cambio, la creatividad e innovación, la lealtad, sentido de pertenencia y trabajo en equipo son competencias que ayudan al desempeño del trabajador, sin embargo no garantizan que sea el óptimo.

El proyecto se ve sustentado en diferentes fuentes entre ellas un análisis que realiza para 6 viviendas de interés social del mismo tipo y modelo, además desarrolladas en la misma localidad con el mismo maestro de obra, y se logró evidenciar que ninguna de las 6 obras cumplieron con los mismos

rendimientos presentando todas varianzas en su diferentes actividades, creando más incertidumbre en una sintetizar de la información.

El método utilizado fue el de medición de tiempo de trabajo mediante observación directa, de vigas de cimentación, vigas aéreas y columnas, posteriormente se usa estadística básica, como la media, la varianza y la desviación para hallar la confiabilidad de los datos y obtención del rendimiento por actividad, desarrollando una tabla comparativa de las dos obras objeto de estudio. Tabla 5

Tabla 5. Comparativo de Rendimientos de obra El Espinal y Purificación

Actividad ejecutada	Rendimiento obtenido Espinal	Rendimiento obtenido purificación	Rendimiento de comparación
Viga de cimentación			
Amarre hierro	1,83 m/H-h	1,63 m/H-h	Espinal < purificación
	9,15 kg/H-h	11,41 kg/H-h	
Formaleta (madera)	1,95 m/H-h	1,81 m/H-h	Espinal > purificación
Fundida Concreto	0,20 m ³ /H-h	0,13 m ³ /H-h	Espinal < purificación
Columna			
Amarre hierro	0,61 m/H-h	0,55 m/H-h	Espinal < purificación
	1,95 kg/H-h	4,76 kg/H-h	
Formaleta	1,79 m/H-h (madera)	0,76 m/H-h (metálica)	Espinal > purificación
Fundida Concreto	0,05 m ³ /H-h	0,06 m ³ /H-h	Espinal < purificación
Viga aérea			
Amarre hierro	1,31 m/H-h	1,21 m/H-h	Espinal < purificación
	3,93 kg/H-h	7,10 kg/H-h	
Formaleta (metálica)	1,59 m/H-h	1,45 m/H-h	Espinal > purificación
Fundida Concreto	0,07 m ³ /H-h	0,08 m ³ /H-h	Espinal < purificación

Fuente: tomado de Ramírez y Portillo (2015).

Se obtuvo mayor rendimiento en el Espinal comparándolo con Purificación, esto debido a que Purificación al ser un municipio petrolero cuenta con

menor mano de obra para el sector de la construcción y a su vez con menos equipos especializados para la labor, demostrando la influencia tan alta que tienen todos los factores y varianzas de una obra.




6. Metodología

Para alcanzar los objetivos planteados fueron necesarias las siguientes actividades:

Para la recopilación de información se buscó en Google académico los siguientes referentes: rendimiento de obra, rendimiento de obra en elementos estructurales de hormigón, rendimiento de obra en vigas aéreas, donde se encontraron una serie de documentos que fueron leídos y analizados, de los cuales los siguientes documento: Botero(2002), Mejía y Hernández (2007), Montero (2010), Rufasto (2014), Remolina y Polanco (2014) y Ramírez y Portillo (2015) fueron los más relevantes, relacionados con el tema y por lo tanto los analizados y estudiados con mayor detenimiento. En el análisis de los documentos más significativos se tuvieron en cuenta factores como: qué tipo de documento es, quien lo desarrollo, en que año, donde se ubica, que tipo de obra se desarrolla, la metodología que implementaron, los factores que afectan el desarrollo de la misma tenidos en cuenta, los elementos de la construcción analizados y los resultados que obtenidos. Datos usados posteriormente para realizar una tabla comparativa teórica de la información analizada, ubicados de manera cronológica. Véase *Tabla 7. Metodología, factores que afectan y resultado de los diferentes textos analizados. y Anexo 1 Documentos.*

Recolección de datos: para esto fue importante realizar e implementar un formato de uso en campo que permitió llevar un control de cuantas personas trabajan en los frentes de trabajo, por cuanto tiempo, que percances tuvieron y cuanto lograban ejecutar diariamente, se realizaron mínimo dos recorridos diarios que permitan identificar el rendimiento diario de 3 frentes de trabajo correspondientes a 3 cuadrillas conformadas de la siguiente manera: cuadrilla 1 y 2 por oficial y ayudante mientras la cuadrilla 3 por oficial y 2 ayudantes, dedicados a la construcción de vigas aéreas, estos datos fueron recopilados por 3 semanas. Se presenta el formato usado para la recolección de estos datos, *tabla 6. Y véase Anexos 2,3, y 4. Datos en campo por diarios.*

Tabla 6. Formato toma de datos.

 RENDIMIENTO DE VIGAS AÉREAS PROYECTO CLIN					Semana #	
					Día	fecha
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Cuadrilla 1						
Cuadrilla 2						
Cuadrilla 3						

Fuente: Diseño propio

Revisión y ordenamiento de los datos: una vez revisados los datos se organizaron de manera que fuera más fácil la realización de los cálculos y se sumaron los valores en metros que realizaron cada cuadrilla en cada semana. Véase Anexo 5. Datos Organizados

Calcular el rendimiento de obra: para la obtención de este se inició convirtiendo las unidades que se encontraban inicialmente en metros:

$$\text{Armado de acero a h/kg} = h / (m * (\text{masa nominal}) * 3)$$

$$\text{Encofrada en h/m}$$

$$\text{Fundida en h/m}^3 = h / (m * m^2)$$

Donde:

h = 46 horas laboradas la semana 1 y 2, y 37 horas laboradas la semana 3.

kg = kilogramo

m = metros lineales medidos en campo

Masa nominal = 0,560kg/m para varilla 3/8".

3 = corresponde 2 varillas y los estribos que conforman la viga área, ya que los estribos que conforman la viga en un metro dan aproximadamente un metro más.

$$m^2 = \text{área de la viga de amarre } 0,15m * 0,10m$$

Posteriormente se obtuvo el promedio por cuadrilla, luego por hombre. Permitiendo obtener el rendimiento promedio de cada actividad para posteriormente ser comparado. Véase Anexo 6. Rendimiento promedio

Finalmente para la tabla comparativa de resultados fue necesario segregar los datos que en realidad fueran comparables, por tipo de elementos analizados y además se realizaron las conversiones pertinentes para obtener

las mismas unidades, del caso Gomeco s.a.s fue posible compararlo con datos hallados por Ramírez y potrillo (2015) para vigas aéreas únicamente, y comparar vigas de cimentación y columnas de Rufasto (2015) y Ramírez y potrillo (2015).



7. Resultados y análisis

A partir de la revisión del estado del arte del tema rendimiento de obra en elementos estructurales de hormigón, se obtiene la *Tabla 7*. donde se presentan metodologías, factores que afectan el rendimiento de una obra y resultados, siendo estas las 3 variables más importantes para el análisis.

Tabla 7. Metodología, factores que afectan y resultado de los diferentes textos analizados.

Doc	Metodología Implementada	Factores que afectan	Resultado
Botero, L. F. B. (2002)	<ul style="list-style-type: none"> Realizar medición de consumo. Registro en hoja electrónica. Exportación de datos de Excel hacia Statgraphics. Obtención de estadísticas básicas sobre el consumo de mano de obra (muestra promedio, mediana, moda, desviación estándar, varianza, rango, kurtosis, sesgo). Determinar si la muestra seleccionada se distribuye normalmente (kurtosis y sesgo con rangos de -2 y 2). Eliminación de datos extremos (límites de desviación estándar de -1.5 y 1.5) y se ajusta a la distribución gaussiana normal). Determinación de las correlaciones entre variable dependiente y variables independientes, con coeficientes cercanos a 1 y -1. Análisis de regresión simple o múltiple. Resultados de consumo estándar en actividades de construcción relacionados con la eficiencia. Software "CONSUMOS" Para el cálculo de consumo de mano de obra e actividades de consumo. 	<p>Economía general, aspectos laborales, clima, actividad, equipamiento, supervisión, trabajador</p>	<p>Ayudar a precisar los resultados obtenidos como consumo estándar y modelos de regresión lineal que consideran los factores de afectación, Creación software "CONSUMOS", que permite predecir de acuerdo a los factores de afectación, el consumo de cuadrillas en diecisiete actividades de construcción de sistema de mampostería estructural.</p>
Aguilar, G. M., & Hernández, T. C. (2007).	<ul style="list-style-type: none"> La productividad como indicador de gestión Observación directa, midiendo tiempos reales Muestreo del trabajo, para medir el nivel de la actividad de un proceso Validación de la técnica con indicadores respectivos Validación del trabajo por correlación del entorno, condiciones de la obra, trabajador y habilidad. Estudio de tiempos de procesos constructivos Análisis de datos Comparación datos con CONSTRUDATA 	<p>productividad como indicador de gestión- almacén, acarreo, horarios</p>	<p>Demuestra que establecer los rendimientos de las cuadrillas y los criterios de mejoramiento de la productividad, no solo basta con realizar estudios de tiempo, sino que además requiere realizar un estudio que indique las tareas involucradas en el proceso medido. Es necesario definir el alcance de los resultados para realizar las comparaciones con CONSTRUDATA</p>

Doc	Metodología Implementada	Factores que afectan	Resultado
Montero-Moreira, J. P. (2010).	<ul style="list-style-type: none"> • Muestreo del trabajo • Determinar formación de las cuadrillas • Análisis detallado de todas las actividades • Evaluación de porcentaje de productividad e improductividad de cada observación • Toma de datos por registro fotográfico y diagrama de actividades • Estimación del rendimiento de obra • Análisis de resultados 	Cantidad de personas, ubicación de trabajo y disposición y ubicación de los materiales	Análisis de productividad por actividad, con una productividad mínima de 74,1% rompe el paradigma del 60% estimado normalmente en la mano de obra.
Rufasto, I.J.C. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos • Revisión y ordenamiento de datos • Calculo de rendimientos, metreado/jornal • Calculo de la media aritmética • Análisis de resultados • Comparación con CAPECO base de datos Peruana 	Conformación de las cuadrillas	Comparativo con la base de datos CAPECO, los índices de rendimiento de mano de obra en la base son mayores a los obtenidos en campo.
Remolina Millán, A., & Polanco Sánchez, L. M. (2014)	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de rendimientos promedios • Diseño de formatos y tomada de datos • Procesamiento de información • Estimación de rendimientos y cálculo de la cuadrilla equivalente usando la ecuación R_{cb} • Define rango de eficiencia tipo como 70% • Discusiones y análisis de resultado • Conclusiones 	Conformación de las cuadrillas	Comparativo con la base de datos CONSTRUDATA, arrojando que todos los rendimientos exceptuando vigas están por debajo de lo sugerido en la base de datos.
Ramírez Herrera, C., & Portillo Aguirre, J. C. (2015).	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionalidad de los datos partiendo de bases estadísticas (la media, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación) • Recolección de datos en campo por observación directa • Formato para el registro rendimiento mano de obra • Tamaño de la muestra, aleatorio con margen de error del 5% y nivel de confianza del 99% y $z = 2.57$ • Procesamiento de datos y análisis de resultados • Tabla comparativa de las obras 	Mano de obra, organización y disposición de los materiales, equipos	Comparación de Ambos rendimiento, con un rendimiento mayor en Espinal.

Fuente: Diseño propio

Se puede observar que todos usan una metodología similar, donde se siguen unos pasos de argumentación teórica, toma de datos ya sea en formatos en campo o por registro fotográfico, estudios estadísticos para garantizar la confianza y veracidad de los datos, posteriormente el cálculo del rendimiento que aunque no existe una unificación en las unidades de medida de estos pueden ser convertidas en algunos casos, estos rendimientos son evaluados a su vez por los factores que afectan a la obra,

que si bien son propios de cada una, podrían elegirse factores que son repetitivos para todas, por ejemplo, todos los factores mencionados por Botero (2002) son de gran importancia, y aunque es uno de los más completos se puede sugerir anexándole en el factor trabajador, el número de trabajadores que conforman la cuadrilla, además tener en cuenta disposición y ubicación del material al interior de la obra, el horario laborado y la logística en ubicación de sanitarios, comedores y puntos de hidratación, que son factores que también afectan el desarrollo de la obra.

Se implementó la metodología para hallar el rendimiento de obra usada por Rufasto(2014), en el ejemplo de aplicación de Gomeco S.A.S, ya que por ser una aplicación superficial no tiene datos representativos en el tiempo y no es necesario realizar análisis estadísticos. Donde evidencia en el Anexo 2,3 y 4 los datos recolectados, en el Anexo 5, los datos organizados, en la Tabla 9. Los rendimientos promedios obtenidos.

Tabla 9. Rendimientos promedios obtenidos en Gomeco S.A.S

Actividad	Rendimiento Promedios Hombre				
	C1	C2	C3	Promedio	unidad
Armar acero	1,80	2,47	1,90	2,05	H-h/kg
Encofrar	2,48	5,27	1,90	3,22	H-h/m
Fundida	154,66	313,62	133,11	200,46	H-h/m ³

Fuente: datos propios

En esta tabla se puede evidenciar que la Cuadrilla dos (C2) presenta un rendimiento por hombre mucho menor que las otras dos cuadrillas, esto debido a el factor de ubicación y disposición del material, ya que este trabajaba en el piso 4 llamado en obra 7.30 por la altura en metros desde el nivel del piso acabado hasta el nivel del piso 4 acabado. Por lo tanto se deja este dato como parte de promedio ya que es un factor constante que afecta esta actividad a la hora de dar un rendimiento final.

Finamente se realiza un comparativo de resultado con otras obras en este caso con RUFASO (2014) Y Ramírez y Portillo (2015) que a su vez realizaron comparaciones con alguna base de datos referente del país de estudio o con una obra similar. Posteriormente se agregan los datos obtenidos en Gomeco S.A.S para vigas aéreas y comparadas con los datos dados por Ramírez y Portillo (2015) para esta misma actividad, Para entender los resultados obtenidos en cuanto a la comparación en factores numéricos se desarrolló la Tabla 9. Comparativo numérico.

Tabla 9. Comparativo numérico de Rufasto(2014), Ramírez y Portillo(2015) y Gomeco s.a.s.

Elemento	Actividad	Tabla 3 (Rufasto)			Tabla 5 (Ramírez y Portillo)			Anexo 6 (Propia)	Dif (días)	Dif (Horas)
		CAPECO	Palacio	promedio	Espinal	Purificación	promedio	Gomeco s.a.s		
viga de cimentacion	acero (H-h/kg)	0,06	0,10	0,08	0,11	0,09	0,10		0,00	-0,02
	Encofrado (H-h/m)	1,50	1,60	1,55	0,51	0,55	0,53		0,13	1,14
	Fundida (H-h/m³)	4,80	6,63	5,72	5,00	7,69	6,35		-0,08	-0,71
Columna	acero (H-h/kg)	0,06	0,13	0,10	0,51	0,21	0,36		-0,03	-0,30
	Encofrado (H-h/m)	1,55	1,55	1,55	1,27	1,32	1,29		0,03	0,29
	Fundida (H-h/m³)	11,20	11,38	11,29	20,00	16,67	18,33		-0,88	-7,92
viga aerea	acero (H-h/kg)				0,25	0,14	0,20	2,05	-0,23	-2,09
	Encofrado (H-h/m)				0,63	0,69	0,66	3,22	-0,32	-2,88
	Fundida (H-h/m³)				0,93	12,50	6,72	200,46	-24,22	-217,96

Fuente: Rufasto (2014), Ramírez y Portillo (2015) y datos propios

Para la obtención de esta tabla 9. Inicialmente se procedió a evaluar cada tabla de datos, analizando las unidades y elementos evaluados poder concluir cual era la unidad final más asertiva a la hora de la comparación y poder pasar a estas unidades, sin embargo algunas tablas no fueron posibles compararas, porque no se evaluaban los mismos elementos o porque no se contaba con información necesaria para la conversión de unidades.

Se lograron analizar 2 tablas la de Rufasto(2014) y Ramírez y portillo (2015), las cuales cuentan con comparaciones, permitiendo así 4 datos analizados, además se anexa los resultados del rendimiento calculado en el ejemplo aplicativo de Gomeco s.a.s, se realiza un diferenciador donde se puede evaluar la productividad de un promedio versus el otro en cuanto a tiempo.

A modo de ejemplo podemos observar que el dato entre Rufasto (2014) y Ramírez y Portillo(2015) más alejado está dado por una diferencia de casi 8 horas más rápido Rufasto (2014) que Ramírez y Portillo(2015) dato que corresponde a la fundida en columnas, mientras que en los datos de vigas aérea donde los rendimientos promedios obtenidos tabla 8. Para Gomeco S.A.S son mucho más lentos que los presentados por Ramírez y Portillo (2015), llegando hasta una diferencia de cerca de 24 días, retraso considerable de rendimientos el cual puede deberse a que en Ramírez y Portillo son viviendas

de máximo 2 pisos, mientras en Gomeco eran 4 pisos, donde en muchos casos los trabajadores debían subir desde el primer piso el material en el caso de acero, arena, agua, triturado y cemento.

Mientras en la encofrada que se cuenta con un valor diferenciador en horas se contó con el transporte del material en cada nivel correspondiente. Por lo que se evidencia claramente las afectaciones que presenta una mala supervisión vista desde el área logística y la disposición del material en el lugar requerido y tiempos de acarreo internos, además de la situación personal del trabajador acarreado por temas de pago por su labor.



8. Conclusiones

A partir de la revisión de las fuentes se logró identificar que aunque no se cuenta con información específica en el tema de rendimiento de obra en elementos estructurales de hormigón, se cuenta con trabajos relacionados en cuanto a rendimientos de obra que permiten realizar un estudio de los mismos, en el análisis de estos se logró concluir que estos cuenta con una metodología que cumplen ciertos patrones, desarrollando procedimientos similares, que podrían ser usados para cualquier tipo de rendimiento de obra que se requiera analizar, más sin embargo falta unificar los procesos metodológicos que permitan realizar una toma de datos en las mismas unidades y a su vez se pueda mirar la obra de una manera holística que permitan incluir porcentajes a los factores que afectan los rendimientos de la misma, además falta determinar qué actividades en cada elemento son importantes a la hora de evaluar, es decir si se evalúa una columna por actividades como armado de acero, encofrado, fundida y desencofrado como factores independientes o como un elemento conjuntos.

Al comparar los resultados obtenidos en cada uno de los documentos analizados se puede determinar también que no todos pueden ser comparados en cuanto a temas numéricos, ya que existen muchas variaciones en cuanto a las unidades en las que se presentan estos resultados, sin embargo fue posible comparar los datos de dos trabajos de grados entre si y uno de ellos con los datos obtenidos en Gomeco S.A.S, lo que permitió obtener una comparación de datos numéricos que deja en evidencia los altos porcentajes de variación y el peso que ejerce en ese resultado los factores de afectación, los cuales son propios de cada obra, y aunque existen muchos factores que afectan la obra, siendo el artículo de Botero (2002) el más completo aún faltan algunos factores que deberían considerarse como, número de trabajadores por actividad, disposición y ubicación del material al interior de la obra, logística en la ubicación de sanitarios, comederos y puntos de hidratación, factores que son de gran importancia en proyectos de gran envergadura como el caso de Gomeco S.A.S y que no fueron tenidos en cuenta en ningún de los proyectos analizados y que en cierta medida tuvieron que ver con el resultado obtenido en Gomeco S.A.S donde los rendimientos obtenidos en tiempos de acero y encofrado dos horas más lentos que Ramírez y Portillo, mientras que en la fundida tardan 24 días más.

Debido a los tiempos de rendimiento de obra obtenidos podemos concluir que analizar este como un factor de metros construidos en un tiempo determinado no es muy acertado, pues se deben incluir porcentajes de factores de afectación que pueden variar de acuerdo a cada obra.

9. Discusión

Teniendo en cuenta lo analizado se podríamos sugerir entonces, que: ¿es posible unificar las unidades de medida a la hora de realizar un rendimiento de obra, y determinar una carga porcentual a los valores de afectación, para llegar a definir una ecuación de rendimiento que incluya no solo las unidades base, sino también un porcentaje de factor de afectación, dado por la suma de los factores independientes.



Referencias Bibliográficas

Aguilar, G. M., & Hernández, T. C. (2007). *Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra*. Revista UIS ingenierías, 6(2), 45-59.

Botero, L. F. B. (2002). *Análisis de Rendimientos*. Revista Universidad EAFIT, 11.

EMIS.GOMECO. medio electrónico (Febrero 2020)
https://www.emis.com/php/company-profile/CO/Gomeco_SAS_es_4071053.html 21

Montero-Moreira, J. P. (2010). *Cuantificación del rendimiento y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en altura*.

Ramírez Herrera, C., & Portillo Aguirre, J. C. (2015). *Rendimiento de mano de obra en concreto (Viga de cimentación, viga aérea y columnas) para la construcción de viviendas en los municipios del Espinal y Purificación Tolima* (Doctoral dissertation).

Remolina Millán, A., & Polanco Sánchez, L. M. (2014). *Estudio de rendimientos para las actividades estructura y mampostería para un proyecto de construcción en el campus de la UPB*. Prospectiva, 12(2), 105-112.

Rufasto, I.J.C. (2014) *Determinación de los rendimientos de mano de obra, en las partidas de concreto armado en la construcción del palacio municipal de la ciudad de San Ignacio, Cajamarca*, Universidad Nacional de Cajamarca.


VENDER Bodega. Centro logístico industrial del norte. (Febrero 2018)
<https://www.venderbodega.com/centro-logistico-industrial-del-norte/>

Anexos


Anexo 1. Documentos analizados

#	1	2	3	4	5	6
Tipo de Documento y Título	Artículo: Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción	Trabajo de Investigación: Seguimiento de la Productividad en obra: Técnicas de medición de rendimiento de mano de obra	Trabajo para optar por el título de licenciatura en ingeniería en construcción: Cuantificación del rendimiento y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en alturas	Tesis para optar por el título de ingeniero civil: Determinación de los rendimientos de mano de obra, en las partidas de concreto armado en la construcción del palacio municipal de la ciudad de San Ignacio, Cajamarca	Artículo: Estudio de rendimiento de obra para las actividades estructura y mampostería para un proyecto de construcción en el campus de la UPB	Trabajo para optar por el título de Ingeniero Civil: Rendimiento de mano de obra en concreto (viga de cimentación, viga aérea y columnas) para la construcción de viviendas en el municipio del Espinal y Purificación Tolima
Autor	Luis Fernando Botero Botero	Guillermo Mejía Aguilar y Triny Carolina Hernández c	Juan Pablo Montero Moreira	Ivonne Jaqueline Rufasto Castillo	Aldemar Remolina Millán y Lina Maritza Polanco Sánchez	Carlos Ramírez herrera y Juan Camilo Portillo Aguirre
Año	2002	2007	2010	2014	2014	2015
Ubicación	Colombia - Antioquia	Colombia – Santander	Costa Rica	Peru – Cajamarca	Colombia - Bucaramanga	Colombia - Tolima
Tipo de Obra	viviendas de interés social, sistema de mampostería estructural	Proyecto de urbanización, sistema constructivo no especificado	Condominio 6 - 30, construcción monolítica	Palacio Municipal, sistema constructivo no especificado	Edificio J, campus universitario UPB, sistema estructural aporticado	Dos viviendas de interés social obras: Espinal y Purificación


Anexo 2. Datos en campo semana 1

 RENDIMIENTO DE VIGAS AÉREAS PROYECTO CLIN					Semana 1	
					Lunes	24/02/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejía	encofrar	m	14,8	138	1.30	
David Ramos						
Boris Sanchez	encofrar	m	13,52	138	7.30	
Cesar Padilla	vacear	m	11,82	138	7.30	sin quemar
Luis Barrios	desencofrar	m	16,8	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	12	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	14,4	cerramiento	piso	
	vacear	m	8,4	cerramiento	piso	
					Martes	25/02/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejía	vacear	m	20,53	138	1.30	
David Ramos						
Boris Sanchez	desencofrar	m	13,52	138	7.30	
Cesar Padilla	encofrar y vacear	m	13,59	138	7.30	sin quemar
Luis Barrios	desencofrar	m	8,4	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	11,8	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	16,8	cerramiento	piso	
	vacear	m	12	cerramiento	piso	quemada
					Miércoles	26/02/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejía	armar acero	m	11,93	138	4.20	
	econfrar	m	4	138	4.20	
David Ramos	vacear dovelas	und	12	138	4.20	
Boris Sanchez	desencofrar	m	13,58	138	7.30	traer material
	armar acero	m	12	141'	7.30	
Cesar Padilla	encofrar y vacear	m	7,18	138	7.30	sin quemar
Luis Barrios	desencofrar	m	12	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	14,4	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	16,8	cerramiento	piso	
	vacear	m	16,8	cerramiento	piso	quemada
					Jueves	27/02/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejía	econfrar	m	7,55	138	4.20	
David Ramos	vacear	m	11,55	138	4.20	
Boris Sanchez	desencofrar	m	13,58	141'	7.30	
	armar acero	m	4,5	141'	7.30	
Cesar Padilla	encofrar	m	15,4	141'	7.30	
Luis Barrios	desencofrar	m	16,8	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	14,4	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	12	cerramiento	piso	
	vacear	m	12	cerramiento	piso	quemada
					Viernes	28/02/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejía	desencofrar	m	11,93	138	4.20	
David Ramos	armar acero	m	31,48	114	1.30	estraviados estibos
Boris Sanchez	vacear	m	15,4	141'	7.30	traer agua y material
Cesar Padilla						
Luis Barrios	desencofrar	m	12	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	14,4	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	14,4	cerramiento	piso	
	vacear	m	14,4	cerramiento	piso	quemada
					Sábado	29/02/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejía	encofrar	m	7,32	114	1.30	
David Ramos						
Boris Sanchez	desencofrar	m	15,4	141'	7.30	
Cesar Padilla	resanar					
Luis Barrios	desencofrar	m	14,4	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	4,4	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	4,4	cerramiento	piso	
	vacear	m	4,4	cerramiento	piso	quemada

Anexo 3. Datos en campo semana 2

 RENDIMIENTO DE VIGAS AÉREAS PROYECTO CLIN					Semana 2	
					Lunes	2/03/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejia	vacear	m	7,32	114	1.30	
pozos	armar acero					
Boris Sanchez	encofrar	m	7,7	123'	7.30	pasaron herramientas
Cesar Padilla	armar acero	m	15,4	123'	7.30	
Luis Barrios	desencofrar	m	4,4	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	17,5	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	17,5	cerramiento	piso	
	vacear	m	17,5	cerramiento	piso	quemada
					Martes	3/03/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejia	encofrar	m	23,5	114	1.30	
David Ramos						
Boris Sanchez	encofrar	m	7,7	123'	7.30	
Cesar Padilla	vacear dovelas	Und	12	123'	7.30	
Luis Barrios	desencofrar	m	17,5	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	0	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	12,5	cerramiento	piso	
	vacear	m	12,5	cerramiento	piso	quemada
					Miercoles	4/03/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejia	armar acero	m	7,87	114	4.20	
	vacear	m	22,2	114	1.30	
David Ramos						
Boris Sanchez	vacear	m	7,7	123'	7.30	subiendo material
Cesar Padilla						
Luis Barrios	desencofrar	m	12,5	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	30	cerramiento	piso	fueron por material
	encofrar	m	0	cerramiento	piso	
	vacear	m	0	cerramiento	piso	
					Jueves	5/03/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejia	desencofrar	m	20,5	114	1.30	
David Ramos	encofrar y vacear	m	7,87	144	4.20	subiendo material
Boris Sanchez	vacear	m	7,7	123'	7.30	subiendo material
Cesar Padilla	vacear	m	1,61	122	7.30	
Luis Barrios	desencofrar	m	0	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	16,8	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	15	cerramiento	piso	
	vacear	m	15	cerramiento	piso	quemada
					Viernes	6/03/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejia	desencofrar	m	7,87	114	4.20	
	encofrar	m	7,6	114	7.30	
David Ramos	armar acero	m	20	114	7.30	
Boris Sanchez	vacear	m	1,61	121	7.30	
Cesar Padilla	encofrar, armar y vacear	m	3,22	119-120	7.30	subiendo material
Luis Barrios	desencofrar	m	15	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	25	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	25	cerramiento	piso	
	vacear	m	25	cerramiento	piso	quemada
					Sabado	7/03/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES
Miguel Mejia	vacear	m	7,6	114	7.30	quemada
David Ramos	vacear dovelas	und	3	114	7.30	
Boris Sanchez	desencofrar	m	4,83	119-120-121	7.30	
Cesar Padilla	resanar					
Luis Barrios	desencofrar	m	25	cerramiento	piso	
Alexander Acevedo	armar acero	m	17,5	cerramiento	piso	
Edgar Alvarez	encofrar	m	15	cerramiento	piso	
	vacear	m	15	cerramiento	piso	quemada

Anexo 4. Datos en campo semana 3

		RENDIMIENTO DE VIGAS AÉREAS PROYECTO CLIN				Semana 3	
						Lunes	9/03/2020
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES	
Miguel Mejia	armar y encofrar	m	4	114	7.30		
David Ramos	vacear	m	7,76	114	7.30		
Boris Sanchez	armar, encofrar y vacear	m	2,8	141	7.30	subir material sobre andamio y con cargador	
Cesar Padilla							
Luis Barrios	desencofrar	m	15	cerramiento	piso		
Alexander A cevedo	armar acero	m	0	cerramiento	piso		
	encofrar	m	15	cerramiento	piso		
	vacear	m	15	cerramiento	piso		
					Marles	10/03/2020	
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES	
Miguel Mejia	desencofrar	m	7,76	114	7.30		
	encofrar	m	11,4	114	7.30		
David Ramos	vacear	m	9	114	7.30	subiendo material	
Boris Sanchez	desencofrar	m	2,8	141	7.30		
	vacear	m	2	141	7.30		
Cesar Padilla	armar acero	m	36	139	7.30		
Luis Barrios	desencofrar	m	15	cerramiento	piso		
Alexander A cevedo	armar acero	m	0	cerramiento	piso		
	encofrar	m	17,5	cerramiento	piso		
	vacear	m	17,5	cerramiento	piso		
					Miercoles	11/03/2020	
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES	
Miguel Mejia	armar acero	m	16,32	114	7.30		
	encofrar	m	16,32	114	7.30		
David Ramos							
Boris Sanchez	vacear dovelas	und	3	137	7.30	subiendo material	
	desncofrar	m	2	141	7.30		
Cesar Padilla							
Luis Barrios						no trabajaro por la lluvia	
Alexander A cevedo						condicion climatica	
					Jueves	12/03/2020	
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES	
Miguel Mejia	vacear	m	11,9	114	7,3		
David Ramos						subiendo material	
Boris Sanchez	encofrar	m	5,4	137	7.30	subiendo material	
Cesar Padilla	vacear	m	5,4	137	7.30		
Luis Barrios						no trabajaro por la lluvia	
Alexander A cevedo						condicion climatica	
					Viernes	13/03/2020	
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES	
Cuadrilla 1	huelga						
Cuadrilla 2	huelga						
Cuadrilla 3	huelga						
					Sabado	14/03/2020	
PERSONAL	ACTIVIDAD	UND	CANT	BDG	NIVEL	OBSERVACIONES	
Miguel Mejia	vacear	m	7,6	114	7.30	quemada	
David Ramos	vacear dovelas	und	3	114	7.30		
Boris Sanchez	desencofrar	m	4,83	119-120-121	7.30		
Cesar Padilla	resanar						
Luis Barrios	desencofrar	m	25	cerramiento	piso		
Alexander A cevedo	armar acero	m	17,5	cerramiento	piso		
	encofrar	m	15	cerramiento	piso		
	vacear	m	15	cerramiento	piso	quemada	

Anexo 5. Datos organizados

SEMANA 1	Lunes				Martes				Miércoles				Jueves				Viernes				Sábado				Suma (m)				Conversión Unidades						
Actividad	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	Unidades		
Desencofrar (m)			17	16,8		13,5	8,4	21,9		13,6	12	25,6		13,6	17	30,4	11,9		12	23,9		15,4	14	29,8	12	56	80	148							
Armar acero (m)			12	12			12	11,8	11,9	12	14	38,3		4,5	14	18,9	31,5		14	45,9		4,4	4,4	43	17	71	131		0,63	1,66	0,38	2,67	h/kg		
Encofrar (m)	15	13,5	14	42,7		13,6	17	30,4	4	7,18	17	28	7,55	15,4	12	35			14	14,4	7,3	4,4	11,7	34	50	79	162	1,37	0,93	0,58	2,88	h/m			
Fundida (m)		11,8	8,4	20,2	20,5	13,6	12	46,1		7,18	17	24	11,6			12	23,6		15	14	29,8		4,4	4,4	32	48	68	148	95,59	63,90	45,10	204,59	h/m³		
Quemas (m)			8,4	8,4			12	12			17	16,8			12	12			14	14,4		4,4	4,4	0	0	68	68								
Vacear dovelas (und)				0				0	12			12				0				0				0	12	0	0								
								C2 trayendo material											C2 resane																
SEMANA 2	Lunes				Martes				Miércoles				Jueves				Viernes				Sábado				Suma (m)				Conversión Unidades						
Actividad	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	Unidades		
Desencofrar (m)			4,4	4,4			18	17,5			13	12,5	20,5		15	22,9	7,87		15	22,9		4,83	25	29,8	28	4,8	74	108							
Armar acero (m)		15,4	18	32,9				0	7,87		30	37,9			17	16,8	20	3,2	25	48,2		18	17,5	28	19	107	153	0,98	1,47	0,26	2,71	h/kg			
Encofrar (m)		7,7	18	25,2	23,5	7,7	13	43,7				0	7,87		15	22,9	7,6	3,2	25	35,8		15	15	39	19	85	143	1,18	2,47	0,54	4,19	h/m			
Fundida (m)	7,3		18	24,8		13	12,5	22,2	7,7		29,9	7,87	9,31	15	32,2		1,6	25	26,6	7,6		15	22,6	45	19	85	149	68,16	164,70	36,08	268,94	h/m³			
Quemas (m)			18	17,5		13	12,5				0			15	15			3,2	25	28,2		15	15	0	3,2	85	88								
Vacear dovelas (und)				0		12		12				0				0				0	3			3	3	12	0	15							
								C2 subiendo material 7.30																											
SEMANA 3	Lunes				Martes				Miércoles				Jueves				Viernes				Sábado				Suma (m)				Conversión Unidades						
Actividad	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	C1	C2	C3	Total	Unidades		
Desencofrar (m)			15	15	7,76	2,8	15	25,6		2		2				0						4,83	25	29,8	7,8	9,6	55	72							
Armar acero (m)	4	2,8		6,8		36		36	16,3			16,3				0						18	17,5	20	39	18	77	1,08	0,57	1,26	0,29	h/kg			
Encofrar (m)	4	2,8	15	21,8	11,4		18	28,9	16,3			16,3		5,4		5,4						15	15	32	8,2	48	87	1,17	4,51	0,78	6,46	h/m			
Fundida (m)	7,8	2,8	15	25,6	9	2	18	28,5				0	11,9	5,4		17,3						7,5	15	22,5	36	10	48	94	68,23	241,83	51,93	361,99	h/m³		
Quemas (m)		2,8	15	17,8			18	17,5				0				0						15	15	0	2,8	48	50								
Vacear dovelas (und)				0				0		3		3				0					3			3	3	3	0	6							

Anexo 6. Rendimientos Promedio

Actividad	Rendimiento Promedios Cuadrilla					Rendimiento Promedios Hombre				
	C1	C2	C3	Promedio	unidad	C1	C2	C3	Promedio	unidad
Armar acero	0,90	1,23	0,63	0,92	h/kg	1,80	2,47	1,90	2,05	H-h/kg
Encofrar	1,24	2,64	0,63	1,50	h/m	2,48	5,27	1,90	3,22	H-h/m
Fundida	77,33	156,81	44,37	92,84	h/m ³	154,66	313,62	133,11	200,46	H-h/m ³