

Revisión de las variables cualitativas que afectan los rendimientos de obra en función de las reglas basadas en un modelo alternativo de lógica difusa

Daniel Felipe Lamus Pérez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Homer Armando Buelvas Moya

Msc. en Ingeniería Estructural

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería Civil
Bucaramanga

2021

Agradecimientos

Al profesor Homer Buelvas, director del presente proyecto por su motivación, dedicación y apoyo durante el desarrollo de este artículo.

A mis compañeros y amigos, Eliana Fiallo, Nubia Rangel y Oscar Portilla, por su constante ayuda y voluntad incondicional.

Por último, a Dios y a mi familia, por estar siempre presentes en todos los instantes de mi vida y por ser la razón principal de mi inspiración.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	10
1.Objetivos	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos Específicos.....	13
2.Marco de referencia	14
2.1 Antecedentes en Colombia	14
2.2 Rendimiento de obra	15
2.3 Lógica Difusa (En inglés fuzzy logic)	16
2.4 Metodología del Proceso Analítico Jerárquico (Fuzzy analytic hierarchy process, AHP).....	18
2.4 Ahp difuso (Fuzzy analytic hierarchy process, FAHP)	20
3. Identificación de variables y actividades	22
3.1 Revisión de factores que afectan los rendimientos de obra en construcción de edificaciones en la región	22
3.2 Revisión de factores en literatura a nivel mundial.....	23
3.3 Definición de las variables.....	28
3.3 Actividades clave	30
3.Formulación de números difusos utilizando AHP (FAHP)	32
4.Formulación de las reglas difusas	36
6. Conclusiones	40
7. Recomendaciones	41

Referencias Bibliográficas	43
----------------------------------	----

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Escala fundamental de comparación por pares.....	19
Tabla 2. Porcentajes máximos de consistencia	20
Tabla 3. Índice aleatorio RI	20
Tabla 4. Escala fundamental de comparación difusa por pares	21
Tabla 5. Tabla de importancia de cada variable sobre otras en cada actividad	33
Tabla 6. Tabla del peso normalizado de cada variable sobre otras en cada actividad	34

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Funciones de membresía para una variable relacionada con temperatura.....	17
Figura 2. Etapas de selección de artículos clave.....	24
Figura 3. Análisis de coocurrencia de palabras por abstract.....	25
Figura 4. Workflow empleado para la agrupación de factores	26
Figura 5. Función de pertenencia para la variable “Caracterización de cuadrillas” en la actividad “Armado del acero”	35

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

Apéndice A. Consulta bibliográfica y resumen de factores.

Apéndice B. Rendimientos, números difusos y reglas difusas.

Resumen

Título: Revisión de las variables cualitativas que afectan los rendimientos de obra en función de las reglas basadas en un modelo alternativo de lógica difusa*

Autor: Daniel Felipe Lamus Pérez**

Palabras Clave: Gestión de proyectos de construcción, factores que afectan la productividad, variables que afectan la productividad, rendimientos de construcción, lógica difusa, números difusos, reglas difusas, proceso analítico jerárquico,

Descripción: Este estudio presenta una investigación bibliográfica sobre las principales variables que afectan los rendimientos de obra de proyectos de edificación, tomando como escenario principal algunos proyectos de Colombia, y posteriormente ampliando la búsqueda a nivel mundial. El resultado de una revisión bibliográfica del tema provee una clasificación de la temática más importante y hablada de las variables, estas son clasificadas en ocho grupos importantes, tales como, caracterización de cuadrillas, complejidad del proyecto, condiciones ambientales, disposición de materiales, experiencia del trabajador, herramientas y equipos, monitoreo y control, y percepción motivacional. Posteriormente esta información se trata y se describe con el objetivo de ser empleada en el planteamiento de números difusos que miden la afectación de estas sobre los rendimientos de obra, esto se aborda utilizando la teoría de conjuntos de la lógica difusa y empleando la teoría del proceso analítico jerárquico (AHP) para plantear una metodología para la determinación de las funciones de pertenencia asociadas a cada variable. Por último, con base a las lecciones aprendidas en la revisión bibliográfica, se plantea de manera empírica una lista de reglas difusas relacionadas a cada función de pertenencia con el propósito de sentar las bases para futuros estudios que definan las variables de salida en un sistema difuso y sirvan como base para estimaciones de costo, tiempo, y alcance de un proyecto.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Homer Armando Buelvas Moya. Msc. en Ingeniería Estructural.

Abstract

Title: Review of qualitative variables that affect work performance based on rules based on an alternative fuzzy logic model*

Auhtors: Daniel Felipe Lamus Pérez **

Key Words: Construction project management, factors that affect productivity, variables that affect performance, construction performance, fuzzy logic, fuzzy numbers, fuzzy rules, hierarchical analytical process.

Description: This study presents an investigation for the main variables that affect the performance of construction projects, some projects in Colombia are taken as the main stage, and then the search is expanded to the whole world. The result of a bibliographic review of the subject provides a classification of the most important and discussed topic of the variables, these are classified into eight important groups, such as, characterization of crews, complexity of the project, environmental conditions, disposition of materials, worker experience, tools and equipment, monitoring and control, and perception motivational. Subsequently, this information is treated and described with the aim of being used in the approach of fuzzy numbers that measure the effect of these variables on work performance, this is approached using the fuzzy analytical hierarchical process (AHP) to propose a methodology for determining the membership functions associated with each variable and the subsequent fuzzy rules. To lay the foundations for future studies that define the output variables in a fuzzy system and serve as the basis for estimates of the cost, time, and scope of a project.

* Degree Work

** Physicomechanical Engineering Faculty. School of civil engineering: Director: Homer Armando Buelvas Moya. Msc. Structural Engineering

Introducción

El sector de la construcción en Colombia, particularmente en el departamento de Santander, ha tenido un fuerte desarrollo económico y un alto impacto social en los últimos años, debido al fortalecimiento de los nuevos proyectos (Observatorio de Competitividad & Departamento de Estudios Económicos, 2020), la gestión de la construcción debe estar en constante búsqueda por mejorar los rendimientos de las actividades en ejecución, para poder cumplir con altas demandas y nuevos retos a los que se enfrenta.

Se ha observado que, para presupuestar y determinar duraciones en los proyectos, la información sobre los rendimientos y medición de la productividad se proyecta a partir de bases de datos, estudios o proyectos previos de otras regiones o ciudades. Según las condiciones y variables de cada uno, en especial de construcción de edificaciones, esta información se ha debido trabajar con algún grado de imprecisión al ser producto de modelos tradicionales probabilísticos, que en la mayoría de las ocasiones no comparten las mismas particularidades, dando como resultado inexactitudes y no confiabilidad en ciertas estimaciones del trabajo en obra (Botero Botero, 2002).

Aunque, existen varios programas de gestión y modelamiento que ayudan a la toma de decisiones y facilitan la elaboración de cronogramas y presupuestos apoyados en procesos de administración, aun se necesita de datos de ingreso y aún más, del criterio y experiencia de un profesional para evaluar variables y factores que no son cuantificables en la medición de la mano de obra, y que los métodos tradicionales no han logrado involucrar completamente en la etapa de planeación debido a su naturaleza incierta en lo que se refiere a las particularidades del proyecto.

De esta manera, cada vez aumenta el desconocimiento de la importancia de los factores que afectan la ejecución de un proyecto de construcción, aunque algunas empresas privadas tienen registro de esta información, no es de fácil acceso a estudiantes, empresas pequeñas y profesionales que están empezando a planificar proyectos. En pro a mejorar esta situación, en la ejecución de proyectos se necesita empezar a estudiar cuales son los factores que componen las variables cualitativas que afectan la ejecución y el rendimiento de la mano de obra (Mejía Aguilar & Hernández, 2007). Como información preliminar en Colombia se han identificado que estos factores pueden darse según el ambiente de desarrollo de obra, las características de esta y las propias del trabajador (Duque V. & Cano R., 2000) pero aún no se tiene mucha información en la investigación sobre cómo estos factores pueden afectar a la planeación de proyectos.

Se ha observado que estos factores son variables no determinísticas que pueden ser asociados números difusos o borrosos, que son conjunto de números con límites que no están muy bien definidos en un conjunto de datos, pero si pueden ser asociados a expresiones lingüísticas y que pueden depender de las condiciones propias de cada proyecto y de la experiencia de los profesionales, además de elementos externos posibles de revisar. De esta manera, se presenta esta investigación que responde a la siguiente pregunta, ¿cómo podemos plantear la información base para estimar rendimientos de mano de obra utilizando alternativamente variables cualitativas de la lógica difusa?

La respuesta a este interrogante se obtiene después de revisar meticulosamente la información sobre el tema en las bases de datos y seleccionar cuales son los factores de mayor afectación según varios autores, permitiendo establecer una lista de estos y así, poder desarrollar una definición de las variables que afectan a los proyectos de construcción de edificaciones en

conjunto con la lógica difusa para desarrollar un primer acercamiento al tema con el uso de esta herramienta.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Proponer una revisión de las variables cualitativas que afectan los rendimientos de obra en función de las reglas basadas en un modelo alternativo de lógica difusa.

1.2 Objetivos Específicos

Identificar las principales variables y las características que mediante revisión bibliográfica afectan el rendimiento de obra de proyectos de construcción de edificación.

Formular los valores de números difusos correspondientes a las principales variables que afectan el rendimiento de obra de proyectos de construcción de edificación.

Definir las reglas de lógica difusa correspondientes a las principales variables que afectan el rendimiento de obra de proyectos de construcción de edificación.

2. Marco de referencia

2.1 Antecedentes en Colombia

En Colombia la estimación de los factores que afectan el rendimiento de obra empezó hace 20 años con un el estudio del SENA-CAMACOL, en este se hizo la definición de los factores que afectaban los obras en Colombia y se proporcionó información preliminar de como medir los factores en obras por medio de la supervisión en campo y toma de datos (Duque V. & Cano R., 2000). En este estudio se facilitaron unos rangos y una metodología de medición con el objetivo de crear una base de datos de consumos según el registro de obra de los factores identificados, sin embargo, debido a ser de los primeros estudios, estuvo limitado a una sola actividad de obra donde se presentó alto número de dispersiones concluyendo que por el momento el grado de afectación aun no era cuantificable.

En años posteriores se trató de mejorar la metodología y se encontró que, para viviendas con alto número de repeticiones y continuidad en las cuadrillas altamente organizadas, era más sencillo esta determinación de factores. Al aplicar esta metodología de medición ya se empezaron a ver algunos factores como el grado de dificultad de la obra y las actividades, la motivación y experiencia de los trabajadores, entre otros (Botero Botero, 2002).

En otro estudio relacionado en el 2007, además de aplicar la misma metodología y obtener factores similares a los definidos en (Duque V. & Cano R., 2000), los autores también recomendaron que para mejorar la calidad de los datos se incluyera información sobre los procesos y tareas, información del entorno de trabajo y caracterización de las cuadrillas (Mejía Aguilar &

Hernández, 2007). En la última década se han realizado estudios en obras de construcción de edificaciones que además de tener en cuenta la medición sobre las actividades y el rendimiento desarrollan encuestas a profesionales e involucrados en el proceso para tener en cuenta la opinión de varios expertos en el tema y proponer nuevos factores a medir (Molina Fonseca & Páez Sarmiento, 2013) (Cabrera & Morales Bocanegra, 2016) y también, se proponen otras categorías buscando medir y agrupar estos factores según lo observado durante la ejecución del proyecto (Cuartas Varón, 2017).

2.2 Rendimiento de obra

El rendimiento de la mano de obra se refiere a la cuantificación en términos de horas-hombre u horas-cuadrilla, que se toma para ejecutar y terminar una determinada actividad de construcción (Hernández, 2007), con el objetivo de determinar, evaluar y medir el desempeño de la mano de obra durante el proceso constructivo. Cuando utiliza la información de rendimientos es importante conocer los detalles del tipo de cuadrilla a emplear, las horas laboradas por esta, la cantidad producida en obra y su costo total (Mejía Aguilar & Hernández, 2007).

En algunas bases de datos como Construdata (Construdata, 2020), el rendimiento se encuentra expresado en términos de Hora-cuadrilla (hc) donde las cuadrillas se clasifican según su especialización en obra, por ejemplo, la cuadrilla AA se encarga de las actividades de albañilería. No obstante, esta medida también se puede presentar en otras bases de datos, como en el INVIAS (INVIAS, 2021), como el inverso de la productividad. De esta forma, la productividad se refiere al trabajo o cantidad de obra producida por una cuadrilla u hombre, en un determinado periodo de tiempo (Mejía Aguilar & Hernández, 2007).

2.3 Lógica difusa (En inglés fuzzy logic)

La lógica difusa se basa en la teoría de conjuntos difusos publicada por el profesor Lotfi Zadeh en 1965 con el objetivo de describir matemáticamente expresiones imprecisas tomando como base la teoría de conjuntos clásicos (Tremante & Brea, 2014). Esto tiene su punto de partida en cómo cada persona percibe de manera diferente conceptos como alto, bajo, rápido, lento, grande, pequeño, etc. Tratar de definir algo que es relativo para cada persona, puede resultar difícil debido a la naturaleza del razonamiento humano, que algunas veces no es del todo determinista. La justificación de utilizar la lógica difusa para cuantificar el conocimiento y experiencia se presenta con las siguientes características (Casadesús & De Castro, 2018):

- **Incompletitud:** Casi nunca es posible establecer todas las variables del mundo real debido a su naturaleza poco determinista y aleatoria.
- **Ignorancia:** Aunque se logre conocer todas las variables y sus valores, puede resultar tedioso o costoso su maniobra, como alternativa más rentable se presenta una solución que tenga valores significativos como fundamento a posibles campos investigativos.
- **Error:** Se busca contar la presencia de errores humanos, razones y variación en los datos sujeto a cada persona.

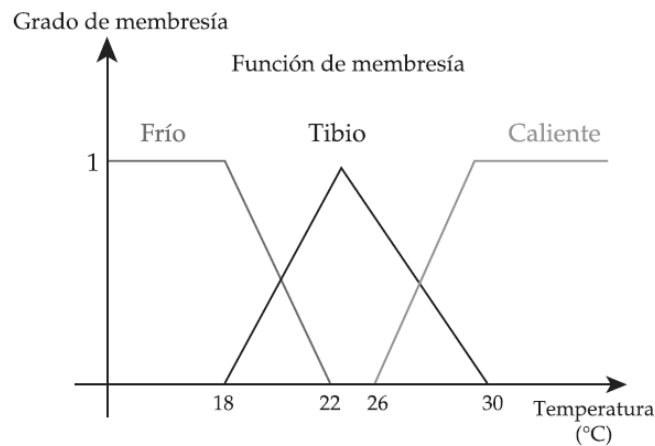
La lógica difusa sirve para cuantificar la incertidumbre que puede presentar ese “algo”. Se toma como una extensión de la lógica clásica que principalmente es un conjunto de lógicas multivaluadas que van más allá de valores de falso o verdadero y que tratan de elaborar resultados exactos a partir de datos imprecisos basados en el conocimiento y la experiencia de una persona

(Casadesús & De Castro, 2018). Debido a la realidad no determinística y la incertidumbre ya mencionada de esos datos se denomina el adjetivo difuso (Morales, 2002).

La agrupación de las definiciones imprecisas que no están determinadas debido a las expresiones lingüísticas, como por ejemplo caliente, tibio o frío, son llamadas “Conjuntos difusos” (Guzmán & Cataño, 2006), estas ofrecen un ofrecen un rango de posibilidades y condiciones, que dan un resultado diferente para cada persona. De esta forma en un conjunto difuso se evalúan las variables que pueden pertenecer a más de una clase y a su vez, se evalúa el rango de valores que estas pueden tomar como se muestra en el ejemplo de la figura 1 (Casadesús & De Castro, 2018).

Figura 1.

Funciones de membresía para una variable relacionada con temperatura



Nota: Para una temperatura de 29°C la imagen descrita en la Figura 1 facilita la comprensión para un conjunto difuso con su respectiva función de membresía (Guzmán y Castaño, 2006).

Un Conjunto Difuso está asociado a la unión de funciones que representan el aspecto lingüístico de una definición dentro de un rango de posibilidades numéricas que representan la

realidad, la forma de la función debe estar planteada según el problema que se quiere resolver (Guzmán & Cataño, 2006). Cada etiqueta lingüística se conoce como número difuso, que según la forma de su función evalúan la pertenencia de dicha etiqueta dentro del conjunto difuso. Estas evaluaciones se denominan grado de pertenencia, representado con números reales entre 0 y 1, donde los valores cercanos a 0 representan poca pertenencia a la etiqueta lingüística y 1 mucha pertenencia sobre esta. Un número difuso no se refiere a un único valor, debido a que, según la forma de la función y la composición del conjunto difuso, esta pertenencia se puede dar como un conjunto de posibles valores que representan la realidad.

Para el uso de funciones de pertenencia y de conjuntos difuso se deben utilizar expresiones numéricas de relación, conocidas como Reglas Difusas, las cuales por medio de conectores lógicos interpreta las etiquetas lingüísticas y sus proposiciones. Así, la definición de estas composiciones se da mediante operaciones matemáticas que tiene su origen en la interpretación lingüística humana (Casadesús & De Castro, 2018).

2.4 Metodología del proceso analítico jerárquico (Fuzzy analytic hierarchy process, AHP)

Los métodos de decisión son un proceso que desarrolla la solución más viable para seleccionar la mejor opción entre un conjunto de alternativas, utilizando atributos generales e involucrando alternativas óptimas con modelos de preferencia. El AHP presenta, una manera de evaluar las prioridades sobre un conjunto de datos o elementos según los juicios y conocimientos sobre el mismo. Por medio de un procedimiento se conectan las experiencias con los objetivos del estudio. El AHP, es una teoría que, con juicios y valores, utiliza escalas de razón para combinar datos entre lo científico y lo racional con lo intangible de esa experiencia humana (Moreno Jiménez, 2002).

En el AHP es importante seleccionar una lista de criterios y subcriterios bajo un objetivo en común para evaluar las alternativas en cada uno de ellos. La clave del método es utilizar una escala de comparación por pares, esto es fundamental ya que el razonamiento humano es bueno para hacer comparaciones entre los criterios o alternativas, según el autor del método, la escala del 1 al 9 presenta comprobaciones empíricas acertadas realizadas en situaciones reales diferentes (Piqueras, 2018).

Tabla 1.

Escala fundamental de comparación por pares

Valor	Definición
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia grande
7	Importancia muy grande
9	Importancia extrema
2, 4, 6, 8	Valores intermedios

Los valores y comparaciones se presentan dentro de una matriz de decisión, utilizando la escala de comparación por pares detallada en la tabla 1 (Piqueras, 2018). Estos valores deben ser recíprocos y consistentes entre sí. Esa consistencia se evalúa por medio de un índice de consistencia (CI), utilizando la ecuación 1, con λ_{max} siendo el promedio del producto de la matriz de decisiones con el vector promedio de pesos de la matriz normalizada, y n la dimensión de la matriz. Además, se evalúa la proporción de consistencia (CR) con la ecuación 2, considerando que no sea mayor al valor indicado en la tabla 2.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2)$$

Tabla 2.

Porcentajes máximos de consistencia

Tamaño de la matriz	Consistencia
3	5%
4	9%
5 o mayor	10%

Por último, para el cálculo de CR, se determina el índice aleatorio, en la tabla 3 se indica el valor de este dato para matrices de tamaño 7 a 10. En donde RI indica la consistencia de una matriz aleatoria (Piqueras, 2018).

Tabla 3.

Índice aleatorio RI

n	7	8	9	10
RI	1.32	1.41	1.45	1.49

2.4 AHP difuso (Fuzzy analytic hierarchy process, FAHP)

Cuando el número de características a comparar jerárquicamente es muy grande, es posible que al representar el conocimiento experto utilizando un solo número los juicios se vuelvan poco fiables o subjetivos (Kaganski et al., 2018). Por esta razón es conveniente la metodología del ahp difuso (Fahp) para agregar más coincidencias entre los atributos aplicados, y así, dar solución a esta imprecisión de juicios utilizando la teoría de conjuntos difusos.

El Fahp presenta una variable de calificación donde los ítems de la escala de Saaty se convierten en números difusos de forma triangular. La construcción de matrices con números difusos representa de mejor manera la jerarquía relativa que un factor tiene sobre otro, resaltando su naturaleza difusa (Yajure, 2015). En la tabla 4 se muestra la escala difusa triangular implementada en este estudio.

Tabla 4.

Escala fundamental de comparación difusa por pares

Números difusos	Definición
[1,1,1]	Igual importancia
[2,3,4]	Importancia moderada
[4,5,6]	Importancia grande
[6,7,8]	Importancia muy grande
[9,9,9]	Importancia extrema
[1,2,3], [3,4,5], [5,6,7], [7,8,9]	Valores intermedios

3. Identificación de variables y actividades

3.1 Revisión de factores que afectan los rendimientos de obra en construcción de edificaciones en la región

La identificación de variables que afectan los rendimientos de mano de obra en Colombia tiene una gran incidencia sobre la correcta planificación y ejecución de los proyectos. Es necesario conocer que agentes externos afectan a los proyectos de construcción de edificaciones en Colombia con el objetivo de tener una base para tomar decisiones de tipo cualitativo o lingüístico sobre los proyectos.

Se realizó una búsqueda con las palabras clave “variables que afectan el rendimiento de obra Bucaramanga”, donde se identificaron 7 documentos clave para la identificación de lecciones aprendidas sobre agentes externos o internos a un proyecto de edificaciones. De esos 7 documentos, se encontró que 5 de ellos aportan una lista o descripción de 35 variables medidos en campo o tomados por medio de encuestas realizadas a profesionales del sector relacionado a la construcción de edificaciones. Resaltando que los componentes que más inciden sobre el rendimiento son la experiencia de los trabajadores (Molina Fonseca & Páez Sarmiento, 2013) o las actividades no contributivas como las esperas, el desplazamiento y el ocio (Cabrera & Morales Bocanegra, 2016). Para ampliar la información sobre estos documentos ver el Apéndice A.

A pesar, que la búsqueda regional ofrece similitudes entre las variables objetivo, estos son una muestra muy pequeña y no representan un volumen suficiente para ser catalogados y así poder definir las variables a determinar. De esta manera, se decide ampliar y formalizar la búsqueda a

nivel global utilizando bases de datos y artículos científicos que sirvan como soporte a la investigación.

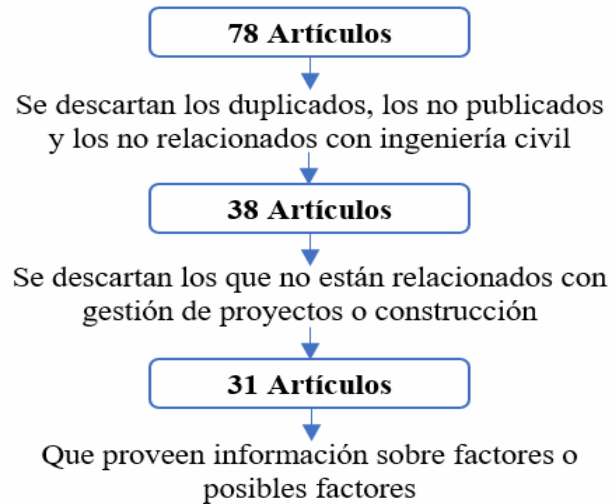
3.2 Revisión de factores en literatura a nivel mundial

Para identificar el panorama de las variables que afectan los rendimientos o la productividad en proyectos de construcción de edificaciones a nivel mundial, se elige una ventana de tiempo dentro de un intervalo de 20 años y se acota el tipo de documento a artículos o publicaciones académicas, esto se debe a que la información relacionada al tema puede ser reciente y se busca evitar llegar a artículos con información desactualizada u obsoleta.

Basado en los autores previamente consultados y en la temática relacionada se establece la siguiente ecuación de búsqueda: (*"Construction Management" OR "Construction projects"*) AND (*"Productivity factors" OR "Performance factors" OR "Efficiency factors" OR "Production factors"*). La ecuación de búsqueda se utilizó en las bases de datos indexadas en convenio con la biblioteca de la universidad, SCOPUS y WEB OF SCIENCE, y también se contó con las bases de datos libres SCIELO y DIALNET para obtener un mayor alcance. Después de reunir la información encontrada en las 4 bases de datos se encuentra un total de 78 artículos relacionados, con estos artículos se realizó un proceso de selección manual con el objetivo determinar cuáles documentos son útiles para consultar a detalle y considerar los que más aportan a la investigación. La selección se llevó a cabo por etapas, explicadas en la figura 2.

Figura 2.

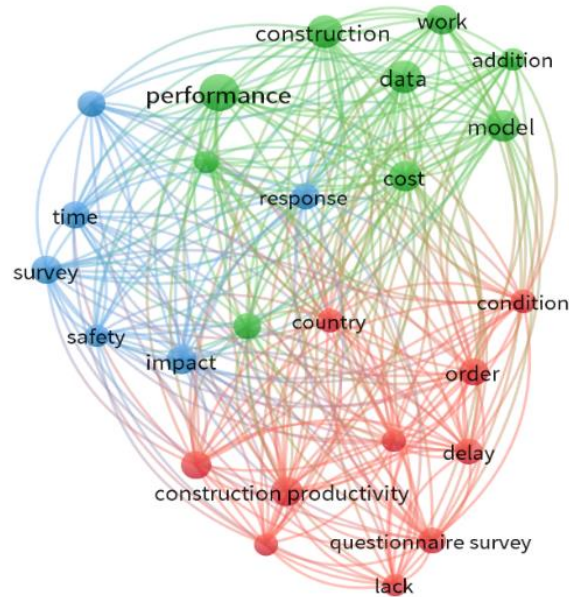
Etapas de selección de artículos clave



Se realiza un análisis bibliométrico utilizando el software de uso libre “Vosviewer”, el cual se presenta como una herramienta para analizar y visualizar la literatura científica relacionada con el tema. Este análisis se hace con el objetivo de validar la búsqueda y conocer qué es lo más investigado en este campo, como se observa en la Figura 3, se encuentran 3 conjuntos relacionados al tema, sobre los factores que afectan la productividad, sobre la gestión de proyectos y sobre las investigaciones del tema. También se espera encontrar variables en la productividad fuertemente relacionadas con retrasos, faltas, tiempo y costo.

Figura 3.

Análisis de coocurrencia de palabras por abstract



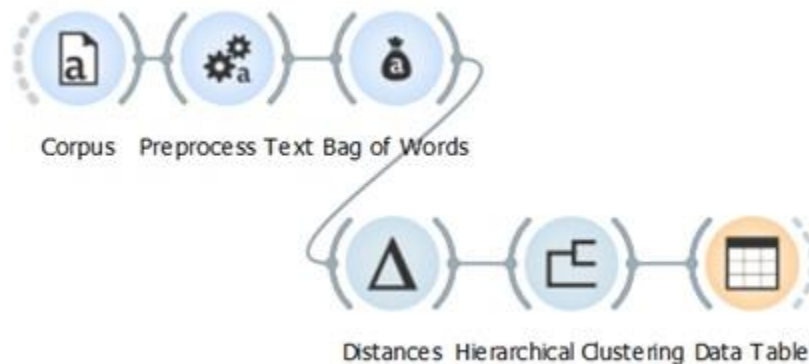
Después de leer a detalle los 31 artículos preseleccionados la muestra de artículos se reduce a 12, en estos artículos se encontraron principalmente encuestas a profesionales en el sector de la construcción y gestión de proyectos, además, entre todos los artículos se presenta un total de 3406 cuestionarios respondidos. También, en la mayoría de los factores evaluados se observan similitudes con las 35 variables hallados en documentación nacional y local.

Se observa, que la mayoría de los artículos seleccionados comparten una misma metodología para la ponderación de variables, denominadas como “Relative Important Index”, la cual consiste en calificar las respuestas obtenidas de los cuestionarios para identificar las 10 variables más importantes de cada artículo, donde se destaca la presencia componentes relacionados con la calidad en las herramientas, las habilidades de los trabajadores y la supervisión del proyecto (Rivas et al., 2011) (Dai et al., 2009). El detalle de esta búsqueda bibliográfica se puede encontrar en el Apéndice A.

Tras la agregación de datos en la revisión bibliográfica mundial y en la revisión previa regional, se obtuvo un resultado de 155 variables, que en total están relacionados con la medición de rendimientos en proyectos de construcción, donde se observa que algunos son similares entre sí y otros pertenecen a otras categorías. El detalle de los 155 factores agrupados según las variables se puede observar en el Apéndice A. Para facilitar la agrupación de estos factores relacionados entre sí, se utilizó el software de uso libre “Orange”, un programa informático que utiliza minería de datos para analizar información y facilitar su visualización. Así, por medio del widget de agrupamiento jerárquico (hierarchical clustering), se analizan las palabras clave de cada factor para agruparlos según la cercanía de unos con otros. En este proceso se carga la lista de palabras, se hace un proceso que elimina los conectores y los pronombres y luego se le da una identificación a cada factor según sus palabras clave, luego se calcula la agrupación jerárquica como tipos de objetos arbitrarios relacionados a través de una matriz de distancias entre sí, por último, se muestra un dendograma que organiza los factores según la cantidad de clasificaciones que mejor represente los “cluster” o grupos.

Figura 4.

Workflow empleado para la agrupación de factores



Después de obtener una lista de factores agrupados según sus similitudes y hacer un ajuste manual de algunos de ellos, se procede a definir un nombre representativo a cada agrupación de datos de variables. Resultando en la suma de la literatura local, nacional e internacional de la siguiente forma:

- Caracterización de cuadrillas (V1)
- Complejidad del proyecto (V2)
- Condiciones ambientales (V3)
- Disposición de materiales (V4)
- Experiencia del trabajador (V5)
- Herramientas y equipos (V6)
- Monitoreo y control (V7)
- Percepción Motivacional (V8)

Para facilitar el tratamiento de las variables en conjunto con los rendimientos de las actividades clave y basados en la información bibliográfica revisada se resaltan otras variables que pueden ser investigadas en trabajos posteriores, como son la “Contratación y gestión administrativa” e “Integración del Diseño y planeación”, esta decisión se hace tomando en cuenta que una manera de mejorar la productividad en la construcción se puede enfocar a través de mejoras en el sitio de trabajo y ejecución del mismo (Dai et al., 2009), es decir, en este documento se utilizan las ocho variables que permitan dar un enfoque a las variables relacionadas con la ejecución de un proyecto, debido a su facilidad de medición de productividad en campo.

3.3 Definición de las Variables

Las variables que afectan los rendimientos de un proyecto de construcción de edificación pueden ser asociadas por su nivel de influencia o afectación a en obra, definidos como números difusos dentro de conjuntos difusos típicos, por lo cual, se busca describir cualitativamente cada variable, apoyados en la información asociada a los mismos, antes de generar el número final.

Caracterización de cuadrillas: esta variable afecta los rendimientos principalmente por una inadecuada selección o rotación del equipo de trabajo en cada actividad, ocasionando mala coordinación con otros equipos o repitiendo actividades para poder ser aceptadas. Se ha encontrado que existe una influencia positiva en el rendimiento cuando las cuadrillas se dedican a hacer una actividad especializada (Hernández, 2007), por el contrario, cuando estas cuadrillas no tienen una buena definición, planeación o delimitación de espacios, la dispersión en el trabajo puede presentar un menor rendimiento (Rivas et al., 2011).

Complejidad del proyecto: la definición del proceso constructivo puede mejorar y optimizar el grado de dificultad de las actividades, del método de construcción y potenciar el uso de tecnologías en la construcción y por ende del desarrollo de la actividad o rendimiento, una mala evaluación de la complejidad del proyecto y ejecución de actividades puede presentar pérdidas de rendimiento al presentarse problemas con la aceptación de resultados y retrabajo (Cuartas Varón, 2017) (Mahamid, 2020).

Condiciones ambientales: El estado del clima puede incidir sobre los rendimientos de los trabajadores, las actividades y la gestión en el tiempo de estas (Gunduz & Abu-Hijleh, 2020). De esta misma manera, el tipo de terreno afectado por el clima y su calidad pueden afectar la manera en cómo se desarrollan las actividades, la maquinaria y herramientas a utilizar, la humedad del

ambiente producida por el terreno y el clima puede generar problemas al almacenar los equipos y materiales, produciendo pérdidas o retrasos por la disposición de estos (Cuartas Varón, 2017).

Disposición de materiales: En las encuestas realizadas en los últimos 30 años (Rivas et al., 2011) se ve frecuentemente que la disponibilidad, ubicación y calidad de los materiales puede influir sobre el rendimiento de las cuadrillas. Una buena preparación con materiales de óptima calidad ayuda a mejorar la ejecución del trabajo y su consumo (Cabrera & Morales Bocanegra, 2016). A su vez, varios estudios han informado que cualquier escasez e insuficiencia de material de construcción en el sitio afectará negativamente la productividad laboral (Gunduz & Abu-Hijleh, 2020).

Experiencia del trabajador: La mayoría de los autores (Molina Fonseca & Páez Sarmiento, 2013) (Cuartas Varón, 2017) se refieren continuamente a la mala capacitación o entrenamiento de los trabajadores a tal punto que puede afectar las habilidades de los trabajadores (Mahamid, 2020), además, si la experiencia poca, aumenta la probabilidad de un bajo rendimiento de las cuadrillas de trabajo (Gunduz & Abu-Hijleh, 2020). Es así, como la experiencia es una de las variables que tiene la mayor influencia sobre el trabajo. A mayor experiencia mayor rendimiento (Molina Fonseca & Páez Sarmiento, 2013). Cuando los trabajadores tienen talleres para mejorar sus habilidades; habilidades técnicas y habilidades gerenciales la productividad también puede presentar un aumento significativo (Mahamid, 2020).

Herramientas y equipos: Así como la variable de disposición de materiales, las herramientas y equipos ha sido fuertemente mencionada en la bibliografía (Rivas et al., 2011) con su relación con los rendimientos de obra, de esta manera, también pueden verse afectados por una mala ubicación, o por falta de disponibilidad de maquinaria pesada o herramienta menor, donde esta falta presenta bajas en la productividad y obstáculos para trabajar (Durdyev et al., 2018).

Monitoreo y control: Esta variable está fuertemente ligada al supervisor, su experiencia y sus habilidades, para lograr una buena optimización y monitoreo del tiempo, mejorar la comunicación entre las partes involucradas y llevar un seguimiento de los problemas e información relacionados con la obra y así mejorar el nivel de rendimiento con la toma de decisiones y aumentar la calidad de trabajo y calidad de acabados (Gunduz & Abu-Hijleh, 2020).

Percepción motivacional: El estado de ánimo y satisfacción de los trabajadores se puede ver afectado por un mal ambiente laboral, por las relaciones interpersonales o por mala gestión de tiempos de ocio y descanso. Las mejores condiciones del ambiente laboral hacen a los trabajadores más productivos (Gunduz & Abu-Hijleh, 2020). Sin embargo, problemas en los pagos, conlleva una pérdida de productividad, ya que los trabajadores interrumpen el flujo de trabajo, además, tener que rehacer tareas por problemas de comunicación con el supervisor y la planeación puede ser frustrante y desalentador, lo que se traduce en un desempeño en el rendimiento insatisfactorio (Jarkas, 2015).

3.3 Actividades clave

Cada variable asociada a afectar los rendimientos de proyectos de construcción de edificaciones puede incidir de manera directa o indirecta, dependiendo de la actividad en ejecución y si esta hace parte de la ruta crítica de un proyecto puede afectar la duración del proyecto, y si es importante en términos de costo, puede afectar el balance financiero del proyecto.

En 2018, un estudio de la universidad de los Andes (Barba Chavez, 2019) determinó que en los proyectos de construcción las actividades clave están relacionadas con las Columnas, la excavación y la placa de cimentación, estos datos fueron tomados a partir de la duración de un

proyecto tipo, cantidades, rendimientos, mano de obra y otros factores similares de tipo cuantitativo. Estas actividades son seleccionadas arbitrariamente para relacionar las variables de incidencia en rendimientos de obra de proyectos de edificaciones. Se puede detallar el siguiente listado, asociado con las actividades frecuentemente encontradas en bases de datos (CONSTRUDATA, 2020) (INVIAS, 2021).

Elementos de concreto.

- Armado del acero (C1)
- Construcción de columnas en concreto (C2)
- Construcción de vigas (C3)
- Construcción de placas en concreto (C4)

Excavación:

- Excavación de material propio del sector a máquina, incluido transporte de material (E1)

El estudio encontró que estas actividades tienen mayor trabajo y dificultad que otras tareas, además, su productividad es baja y es necesario encontrar mejoras en los esfuerzos para aumentar la productividad de estas. Estas actividades son posteriormente evaluadas con las variables dentro del método AHP para la formulación de los números difusos. Para más información de estas actividades y sus rendimientos seleccionados ver el Apéndice B.

4. Formulación de números difusos utilizando AHP (FAHP)

La revisión bibliográfica está relacionada con encuestas a los trabajadores para determinar qué factores o variables influyen sobre el rendimiento (Dai et al., 2009), algunos de estos también tienen mediciones de productividad de actividades en obra para comparar con estas encuestas (Cuartas Varón, 2017), sin embargo, las mediciones no presentan un análisis cualitativo y se basan en datos numéricos o nítidos que pueden resultar insuficientes si se toma solo un dato, por lo que plantear números o conjuntos difusos puede resultar objetivo en la práctica. Con base a esta poca información al respecto, se decide proponer una metodología para plantear valores lingüísticos para cada actividad relacionados al rendimiento.

Con el objetivo de formular los valores de números difusos correspondientes a las principales variables que afectan el rendimiento de cada una de las actividades de obra de proyectos de construcción de edificaciones anteriormente planteadas, se realiza una variación de la escala de Saaty, comparando todas las variables entre sí, usando la asignación de importancias para determinar la importancia jerárquica de estas variables sobre otras en cada actividad como se muestra en la tabla 5. Esto se realiza de acuerdo con la descripción cualitativa de cada una de las variables descritas en el capítulo 3, utilizando la tabla 1 anteriormente descrita en el capítulo 2. Además, esta asignación se hace de acuerdo con las lecciones aprendidas durante el desarrollo de la revisión bibliográfica.

Tabla 5.

Tabla de importancia de cada variable sobre otras en cada actividad

Variables	Actividad				
	C1	C2	C3	C4	E1
V1	9	9	8	8	3
V2	7	7	4	4	5
V3	3	5	5	6	7
V4	7	5	6	5	4
V5	6	7	3	6	8
V6	5	5	6	7	7
V7	5	6	4	5	5
V8	3	4	2	3	3

Con la importancia global de las variables asignada se forma una matriz consistente para cada actividad donde se compara en cada cruce de variables, cual tiene mayor afectación sobre el rendimiento de dicha actividad. En el apéndice B se observa mayor detalle de la matriz de decisión para cada una de las actividades.

De esta manera, se aplica el método AHP difuso a partir de las matrices del AHP, relacionando nuevamente a cada una de las variables en las actividades de construcción seleccionadas. Según el valor de la comparación dado en las matrices anteriormente descritas, se determina el numero difuso utilizando la tabla 3 descrita en el capítulo 2. Este paso se lleva a cabo con el objetivo de evitar que los valores de comparación sean poco fiables y subjetivos.

El proceso de FAHP da como resultado un peso normalizado de cada variable, donde la suma de estos pesos da un valor de 1. Este peso se utiliza para darle un significado a la influencia de la variable sobre cada actividad, por ello, algunas variables pueden tener mayor o menor incidencia según como la actividad se desarrolle. Como se observa en la tabla 6, la variable de “Caracterización de cuadrillas” V1 es la que tiene mayor influencia en todas las actividades de

elementos de concreto, debido a que en esta variable la medición de rendimiento se puede dar de mejor manera al tratarse de la composición de las cuadrillas, también como se dijo antes hay mayor afectación positiva en la productividad cuando las cuadrillas se dedican a hacer una actividad especializada (Hernández, 2007).

Tabla 6.

Tabla del peso normalizado de cada variable sobre otras en cada actividad

Variables	Actividad				
	C1	C2	C3	C4	E1
V1	0.34	0.34	0.34	0.30	0.04
V2	0.17	0.16	0.07	0.05	0.09
V3	0.03	0.06	0.11	0.13	0.20
V4	0.17	0.06	0.17	0.08	0.06
V5	0.11	0.16	0.04	0.13	0.03
V6	0.07	0.06	0.17	0.21	0.20
V7	0.07	0.11	0.07	0.08	0.09
V8	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04

Con la información obtenida de la aplicación del FAHP se plantea designar un numero difuso superior e inferior a los datos de rendimiento de obra con las bases de datos del Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2021), esto se realiza con el objetivo determinar una función de pertenencia a cada variable para cada actividad. El proceso se lleva a cabo ingresando el rendimiento de dicha actividad tomando los pesos normalizados de cada variable como se propone en las ecuaciones 3 y 4. Esto se hace con el objetivo de repartir los posibles valores que puede tomar un rendimiento para ser asignados a las etiquetas lingüísticas. Ya que, estos rendimientos mínimos y máximos se utilizan como dominio en la función de membresía de cada variable para

definir las etiquetas lingüísticas (Ponce & Rojas, 2019), “Buena influencia”, “Mala influencia” e “Influencia normal”, de la variable determinada sobre una actividad.

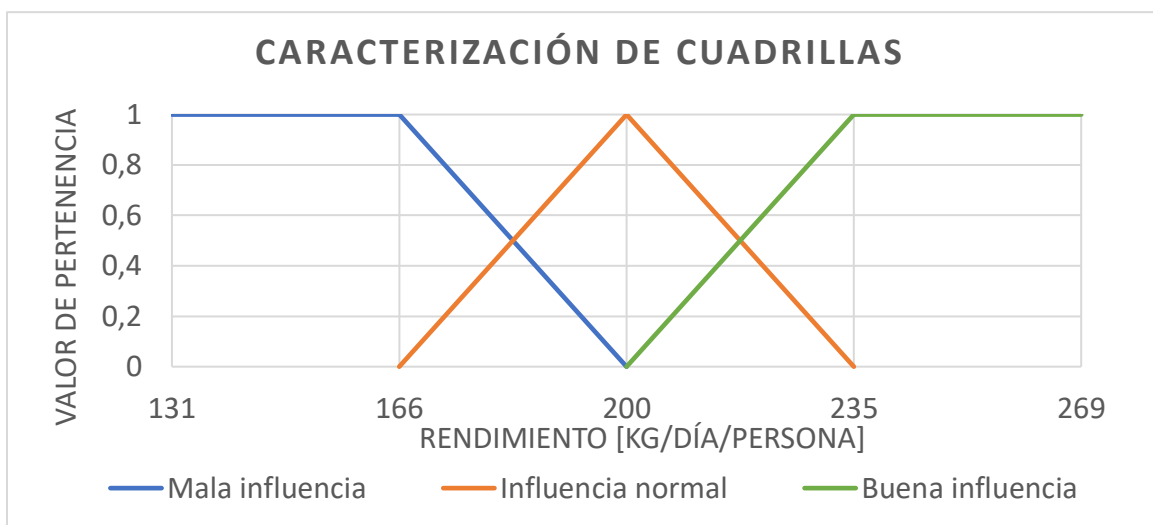
$$Rend.\min. = Rend. - Rend.* peso \quad (3)$$

$$Rend.\max. = Rend. + Rend.* peso \quad (4)$$

En la figura 5, se muestran las funciones de pertenencia de la variable “Caracterización de cuadrillas” en la actividad de “Armado del acero”. Donde para un rendimiento base de 200 (Kg/día/persona) (INVIAS, 2021), esta propuesta de números difusos, toma la distancia entre el rendimiento máximo y mínimo según las ecuaciones 3 y 4, y lo reparte en 4 partes iguales, de esta manera las dos partes extremas van a representar una pertenencia de 1 a las etiquetas “Mala influencia” y “Buena influencia”, y las dos partes del centro representan un rendimiento que tiene la pertenencia entre la etiqueta “Influencia normal” y “Buena influencia” o “Mala influencia”.

Figura 5.

Función de pertenencia para la variable “Caracterización de cuadrillas” en la actividad “Armado del acero”



Si se presentan valores que estén cercanos a 200 (Kg/día/persona), el rendimiento va a representar una mayor pertenencia a la etiqueta “Influencia normal”, esto se puede entender como una poca influencia de la variable “Caracterización de cuadrillas” sobre la actividad de “Armado del acero”. Esta función podría servir para establecer una variable de entrada de un proyecto, donde se tenga en cuenta la variable mencionada y no se sobreestime o subestime el rendimiento final de la actividad. Para más información de las funciones de las otras variables y actividades dirigirse al apéndice B.

Cabe resaltar que, algunas de las variables pueden presentar un peso muy pequeño sobre una actividad y el ingreso de un rendimiento sobre determinan un dominio de la función muy corto, esto podría interpretar como, si una variable tiene poca incidencia sobre una actividad, el rendimiento de esta no va a cambiar significativamente, sin embargo, se hace necesario estimar como su pequeña influencia puede afectar al rendimiento para poder tener en cuenta todas las variables de este estudio.

5. Formulación de las reglas difusas

De acuerdo con los procedimientos de la lógica difusa y la información definida de números difusos para el rendimiento de obra, se deben proponen unas reglas de lógica difusa enfocadas a operar las variables y aplicar posteriormente el método en otros estudios. Así, las reglas se comportan como una combinación que teóricamente tratan de responder a un problema o interpretar la salida que se requiere la formulación de sistema específico, de esta forma, las reglas difusas se hacen analizando las combinaciones de los expertos, donde se descartan las que no tienen sentido físico o no se ajustan al modelo (Ponce & Rojas, 2019).

Este capítulo propone una lista de posibles reglas según como una sola variable afecte al rendimiento. Además, teniendo en cuenta que todas las variables son de esta manera, las reglas Si-Entonces se arman de manera empírica tomando en cuenta las etiquetas lingüísticas previamente determinadas como “Buena influencia”, “Influencia normal” y “Buena influencia”. Debido a que esta es una propuesta de estudio, se presentan unas reglas para cada actividad con varias opciones de salidas. Los expertos en el tema si lo requieren pueden modificar la anexión de más conocimientos o experiencias a estos enunciados (Ponce & Rojas, 2019).

En la siguiente lista se muestra un ejemplo de estas reglas, tomando la actividad “Armado del acero”, para más información de las otras actividades, ver el apéndice B.

Caracterización de cuadrillas:

- Si “Caracterización de cuadrillas” es “Mala influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Mal armado del acero”
- Si “Caracterización de cuadrillas” es “Influencia Normal” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buen desarrollo de la actividad de acero”
- Si “Caracterización de cuadrillas” es “Buena influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buena especialización de cuadrillas de trabajo”

Complejidad del proyecto:

- Si “Complejidad del proyecto” es “Mala influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Mala elección del método de construcción o pérdidas de tiempo por retrabajo”
- Si “Complejidad del proyecto” es “Influencia Normal” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buena ejecución del armado del acero”
- Si “Complejidad del proyecto” es “Buena influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buena optimización y organización en el armado del acero”

Condiciones ambientales:

- Si “Condiciones ambientales” es “Mala influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Problemas en la instalación del acero por mal clima”
- Si “Condiciones ambientales” es “Influencia Normal” entonces “Afectación de rendimiento” es “Normal desarrollo del armado del acero”
- Si “Condiciones ambientales” es “Buena influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buen acabado e instalación del acero”

Disposición de materiales:

- Si “Disposición de materiales” es “Mala influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Oxidación del acero”
- Si “Disposición de materiales” es “Influencia Normal” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buen almacenamiento de materiales”
- Si “Disposición de materiales” es “Buena influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buena optimización y figuración del acero”

Experiencia del trabajador:

- Si “Experiencia del trabajador” es “Mala influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Perdidas por mala aceptación y retrabajo”
- Si “Experiencia del trabajador” es “Influencia Normal” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buen desarrollo de la actividad de acero”
- Si “Experiencia del trabajador” es “Buena influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buena especialización de cuadrillas de trabajo”

Herramientas y equipos:

- Si “Herramientas y equipos” es “Mala influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Perdidas por mal almacenamiento de herramientas menores”
- Si “Herramientas y equipos” es “Influencia Normal” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buen almacenamiento y disposición”
- Si “Herramientas y equipos” es “Buena influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buena optimización de turnos para uso de maquinaria para transportar el acero”

Monitoreo y control:

- Si “Monitoreo y control” es “Mala influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Perdidas por el rechazo en la figuración del acero”
- Si “Monitoreo y control” es “Influencia Normal” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buena instalación y aprobación de la actividad de acero”
- Si “Monitoreo y control” es “Buena influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buena toma de decisiones y ejecución de la actividad del acero”

Percepción motivacional:

- Si “Percepción motivacional” es “Mala influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Mal ambiente laboral o relaciones durante el armado del acero”
- Si “Percepción motivacional” es “Influencia Normal” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buena planeación y aprobación en la actividad del armado del acero”
- Si “Percepción motivacional” es “Buena influencia” entonces “Afectación de rendimiento” es “Buenos incentivos y distribución de tiempos de descanso”

Por último, si se está hablando puntualmente de la afectación del rendimiento, algunas variables pueden tener funciones de pertenencia o reglas similares con otras, sin embargo, en otras salidas estas no siempre tienen el mismo tratamiento, ya que cada una puede presentar posibles soluciones diferentes. Afectaciones de variables como “Caracterización de cuadrillas” o “experiencia del trabajador” también pueden servir para la determinación del tiempo gastado por una cuadrilla, mientras que variables como “Disposición de materiales” y “Herramientas y equipos” pueden ser de mayor utilidad para estimación de costos o alcance de las actividades.

6. Conclusiones

Se identificaron las principales variables y características mediante revisión bibliográfica que afectan el rendimiento de obra de proyectos de construcción de edificación, estas variables pueden variar dependiendo del tipo de obra y lugar del proyecto, sin embargo, al agruparse según sus similitudes y descripciones se pueden establecer unas variables clave para estudiar y extrapolar a diferentes casos de estudio. Las variables más representativas en los documentos encontrados son la “Disposición de materiales” y “Las herramientas y equipos”, sin embargo, a criterio personal las variables de Caracterización de cuadrillas” y “Monitorio y control” también deben recibir importancia en el seguimiento de la productividad y rendimientos de una actividad.

Se complementó la revisión bibliográfica con la búsqueda de los numero difusos para la determinación de rendimientos de obra, aunque la información disponible es reducida, se presenta una propuesta para formular los valores de números difusos correspondientes a las principales variables que afectan el rendimiento de obra de proyectos de construcción de edificación basados

en los resultados del método FAHP. Esta metodología recoge la experiencia y conocimientos de los profesionales en el sector y los lleva a un posible modelo que determina la afectación del rendimiento según la manera como se presentan las variables estudiadas en este.

Basados en la revisión bibliográfica y en las reglas de lógica difusa planteadas para modelos industriales y de procesos, se definen una propuesta de reglas de lógica difusa correspondientes a las principales variables que afectan el rendimiento actividades de excavación, armado de acero y construcción de elemento de concreto como vigas, columnas y placas de proyectos de construcción de edificación, estas variables pueden ser estudiadas y ajustadas en proyectos futuros que definan las funciones de membresía de sus salidas, y si la situación requiere la anexión de más conocimientos o experiencias también es posible la reinterpretación o acomodación de las mismas.

Por último, los números difusos y la información de reglas aquí planteadas son la base de futuros estudios en los cuales se pueda plantea y proponer un modelo de lógica difusa en el que los rendimientos sean la base para estimaciones de costo, tiempo, y alcance de un proyecto, ya sea en la tapa de planificación o seguimiento y control de este.

7. Recomendaciones

Con el objetivo de expandir la información sobre las variables en Colombia y en Bucaramanga, se recomienda hacer un estudio que incorpore las variables aquí presentadas y que, además, incluya más información de campo que determine rangos, ya sea numéricos o difusos de como cada variable puede comportarse para una actividad en específico. También se recomienda

un estudio que tenga como propósito plantear las salidas para un sistema difuso que involucre la metodología o las funciones de pertenencia de las variables acá estudiadas.

Se invita a seguir estudiando esta temática con el objetivo de hallar más soluciones y alternativas para mejorar la estimación de rendimientos el sector de la construcción en Colombia para mejorar la estimación y ejecución de proyectos y actividades de construcción, y así poder cumplir con las altas demandas y nuevos retos a los que se enfrenta esta área del conocimiento.

Referencias Bibliográficas

- Barba Chavez, D. A. (2019). *Caracterización técnica de actividades en obras de construcción* [Universidad de los Andes]. <https://doi.org/10.31819/9783964564405-toc>
- Botero Botero, L. F. (2002). Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. *Revista Universidad EAFIT*, 38(128), 9–21.
- Cabrera, A. G., & Morales Bocanegra, D. C. (2016). Análisis de la Productividad en la Construcción de Vivienda basada en Rendimientos de Mano de Obra Analysis of Productivity in Housing Construction Based on Labor Performance. *INGE CUC*, 12(1), 21–31. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5523780.pdf%0A>
- Casadesús, R., & De Castro, I. (2018). De la lógica difusa a la inteligencia artificial. Hacia un futuro transhumano. *Ars Brevis*, 47–82.
- CONSTRUDATA. (2020). *Revista Construdata* 197 (p. 50). Legis S. A.
- Cuartas Varón, L. F. (2017). *Determinación de las Variables que Afectan el Rendimiento de la Mano de Obra en la Construcción de Edificaciones en el Municipio de Armenia*. Universidad EAFIT.
- Dai, J., Goodrum, P. M., & Maloney, W. F. (2009). Construction Craft Workers' Perceptions of the Factors Affecting Their Productivity. *Journal of Construction Engineering and*

Management, 135(3), 217–226. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2009\)135:3\(217\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2009)135:3(217))

Duque V., G., & Cano R., A. (2000). *Rendimientos y Consumos de la Mano de Obra*.

Durdyev, S., Ismail, S., & Kandymov, N. (2018). Structural Equation Model of the Factors Affecting Construction Labor Productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 144(4), 04018007. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001452](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001452)

Gunduz, M., & Abu-Hijleh, A. (2020). Assessment of human productivity drivers for construction labor through importance rating and risk mapping. *Sustainability*, 12(20), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su12208614>

Guzmán, D., & Cataño, V. M. (2006). La lógica difusa en ingeniería: Principios, aplicaciones y futuro. *Ciencia y Tecnología: Revista de la Universidad de Costa Rica*, 24(2), 87–107.

Hernández, T. C. (2007). *Apoyo en el estudio sobre la medición de productividad y rendimientos, consumo de materiales, mano de obra y equios utilizados para la ejecución de actividades, basado en el análisis por precios unitarios*. Universidad Industrial de Santander.

INVIAS. (2021). *APUS Santander 2020-2*.

Jarkas, A. M. (2015). Factors influencing labour productivity in Bahrain's construction industry. *International Journal of Construction Management*, 15(1), 94–108. <https://doi.org/10.1080/15623599.2015.1012143>

- Kaganski, S., Majak, J., & Karjust, K. (2018). Fuzzy AHP as a tool for prioritization of key performance indicators. *Procedia CIRP*, 72, 1227–1232.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.097>
- Mahamid, I. (2020). Study of relationship between rework and labor productivity in Building Construction Projects. *Revista de la construcción*, 1, 30–41.
<https://doi.org/10.7764/rdlc.19.1.30-41>
- Mejía Aguilar, G., & Hernández, T. C. (2007). Seguimiento de la Productividad en Obra: Técnicas de Medición de Rendimientos de Mano de Obra. *UIS Ingenierías*, 6(2), 45–60.
- Molina Fonseca, P. A., & Páez Sarmiento, C. M. (2013). *Análisis de Rendimiento o Productividad de la Mano de Obra en la Construcción de Edificaciones en la Ciudad de Bucaramanga y su Area Metropolitana*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Morales, G. (2002). Introducción a la lógica difusa. *Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN*.
- Moreno Jiménez, J. M. (2002). *El proceso analítico jerárquico (AHP). Fundamentos, metodología y aplicaciones*.
- Observatorio de Competitividad, & Departamento de Estudios Económicos. (2020). *Balance Construcción Santander. I semestre 2020*. Cámara de comercio de Bucaramanga - Camacol

Santander.

Piqueras, V. Y. (2018). *Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)*.

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>

Ponce, C. V., & Rojas, B. (2019). Diseño de un Sistema Experto Difuso para la Determinación de la Densidad de Corriente en una Planta de Cromado. *Información tecnológica*, 30(2), 157–170. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000200157>

Rivas, R. A., Borcharding, J. D., González, V., & Alarcón, L. F. (2011). Analysis of Factors Influencing Productivity Using Craftsmen Questionnaires: Case Study in a Chilean Construction Company. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(4), 312–320. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000274](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000274)

Tremante, P., & Brea, E. (2014). Una Visión de la Teoría Difusa y los Sistemas Difusos enfocados al Control Difuso. *Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias*, 4(12), 122–137.

Yajure, C. (2015). Comparison of multicriteria methods AHP and Fuzzy AHP in selecting the best technology for the production of electricity from coal. *Scientia et Technica Año XX*, 20(3), 255–260.