

Pasantía de investigación como apoyo en la identificación de métodos de asignación de cuadrillas de trabajo a procesos constructivos mediante revisión de bases de datos.

Francy Yurley Noriega Sandoval

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Civil

Director:

Ray Andrés Ardila Cubillos

Msc. Civil Engineering

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2021

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo fruto del esfuerzo y la dedicación a mi madre, Evidalia Sandoval Vargas, quien ha sido el motor más importante toda mi vida, siempre ha estado conmigo apoyándome y guiándome desde el cielo.

A mi tía, Aura Stella Sandoval Vargas, quien ha sido como una madre desde el primer momento en que mi madre faltó, ella ha sido el motor principal, el apoyo más grande, quien me ha brindado todo su amor y apoyo incondicional, ha luchado por mí y por mis sueños.

A mi papá, Alberto Noriega Bermúdez, mi apoyo incondicional, quien siempre ha estado a mi lado y me ha motivado a cumplir cada meta, quien me ha brindado sus consejos, amor y sabiduría para dar siempre lo mejor de mí.

A mis hermanas, Erika Noriega y Yenny Guevara, quienes han sido esa motivación extra, ellas que me han enseñado que cada proceso toma su tiempo, pero tiene su recompensa, han estado para mí en cualquier situación brindándome su apoyo incondicional.

Finalmente, le dedico este trabajo a mi novio, amigo y compañero, con quien he compartido varios años de mi vida, en especial en este camino de preparación, quien me tendió su mano cuando más lo he necesitado y siempre ha creído en mi y en cada paso que doy.

Contenido

	Pág.
Introducción	9
1. Objetivos	11
1.1 Objetivo General.....	11
1.2 Objetivos Específicos	11
2. Metodología	12
2.1 Fase: Búsqueda	12
2.2 Fase: Filtración	14
2.3 Fase: Consolidación.....	16
2.4 Fase: Análisis de resultados.....	16
3. Resultados	17
3.1 Análisis de métricas estadísticas.....	20
3.2 Identificación y caracterización de métodos.....	28
3.2.1 Método de cartas de balance	28
3.2.2 Método de ábacos	32
3.2.3 Métodos de optimización	36
3.2.4 Métodos estadísticos.....	37
3.2.5 Ventajas y desventajas.....	37

3.3 Línea de tiempo 39

4. Conclusiones 41

5. Recomendaciones..... 42

Referencias Bibliográficas 43

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Datos históricos de las publicaciones relacionadas con el tema.....	10
Figura 2. Diagrama del proceso de la metodología.....	13
Figura 3. Proceso de selección de los documentos.	15
Figura 4. Gráfico de publicaciones seleccionadas	17
Figura 5. Composición de los productos de investigación.....	23
Figura 6. Conformación de los métodos	24
Figura 7. Clasificación de modelos	26
Figura 8. Ejemplo de carta de equilibrio	30
Figura 9. Clasificación de los métodos	30
Figura 10. Ábaco para el balanceo de cuadrillas.....	34
Figura 11. Triángulo de desperdicios.....	35
Figura 12. Cálculo analítico de desperdicio ayudante	35
Figura 13. Línea de tiempo de los métodos	40

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Muestra de la tabla de consolidación	16
Tabla 2. Resultado de las búsquedas.....	18
Tabla 3. Ecuaciones y fechas de búsqueda	18
Tabla 4. Resumen de la primera fase de filtración.....	19
Tabla 5. Resultado de los documentos aceptados	19
Tabla 6. Lista de variables identificadas	21
Tabla 7. Lista de objetivos	22

Resumen

Título: Pasantía de investigación como apoyo en la identificación de métodos de asignación de cuadrillas de trabajo a procesos constructivos mediante revisión de bases de datos*.

Autora. Francy Yurley Noriega Sandoval**

Palabras Clave: “Productividad” “Revisión sistemática” “Métodos de asignación” “Cuadrillas de trabajo” “Asignación” “Recursos”

La productividad en la industria de la construcción desempeña un papel sumamente importante debido a la capacidad que esta tiene de implementar mejoras, siendo así la productividad uno de los factores más importantes en la construcción esté no es abordado desde todos sus puntos, para darle un enfoque diferente, en este documento se realiza una revisión de literatura para identificar los métodos de la asignación de cuadrillas de trabajo como pasantía de investigación para servir como base de estudio a futuras investigaciones, el documento tiene en cuenta las diferentes interpretaciones de la palabra asignación haciendo un énfasis en la “conformación” de las cuadrillas de trabajo, el tema se aborda teniendo en cuenta que finalmente la conformación idónea de una cuadrilla puede afectar directamente la productividad y esto a su vez se ve reflejado en el tiempo y los costos de cada proyecto. Se identificaron factores claves de cada documento y se definieron los métodos identificados, se realizó una clasificación y una identificación de los métodos donde se observó la poca publicación de documentos respecto al tema, se abordaron los puntos claves de cada uno de los métodos, se presenta una línea de tiempo donde se han empleado y finalmente se dieron unas recomendaciones generales para los lectores.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ray Andrés Ardila Cubillos.

Abstract

Title: Research internship to support the identification of methods of assigning work crews to construction processes through database review *.

Author: Francy Yurley Noriega Sandoval**

Keywords: "Productivity" "Systematic review" "Allocation methods" "Work crews" "Allocation" "Resources"

Productivity in the construction industry plays an extremely important role due to its ability to implement improvements, productivity being one of the most important factors in construction is not addressed from all points, to give it a focus differently, in this document a literature review is carried out to identify the methods of assigning work crews as an internship to serve as a study base for future research, the document takes into account the different interpretations of the word assignment, emphasizing In the "conformation" of work crews, the issue is approached taking into account that finally the ideal conformation of a crew can directly affect productivity and this in turn is reflected in the time and costs of each project. Key factors of each document were identified and the identified methods were defined, a classification and identification of the methods where there is little publication of documents on the subject was carried out, the key points of each of the methods were addressed, it is presented a timeline where they have been used and finally gave some general recommendations for readers.

* Graduation project

** Faculty of Physicomechanical Engineering School of Civil Engineering. Director: Ray Andrés Ardila Cubillos.

Introducción

La industria de la construcción es considerada como una de las industrias que aportan significativamente a la generación de empleo, también es una de las industrias con la más alta participación de mano de obra (Productivity & Controlling, 2007). En Colombia ha generado un gran dinamismo y ha aumentado su relevancia debido al aporte importante que tiene esta para la economía (Bonilla et al., 2018). Existen diferentes factores que son relevantes en el crecimiento de la industria, entre estos se encuentran la productividad, entre otros.

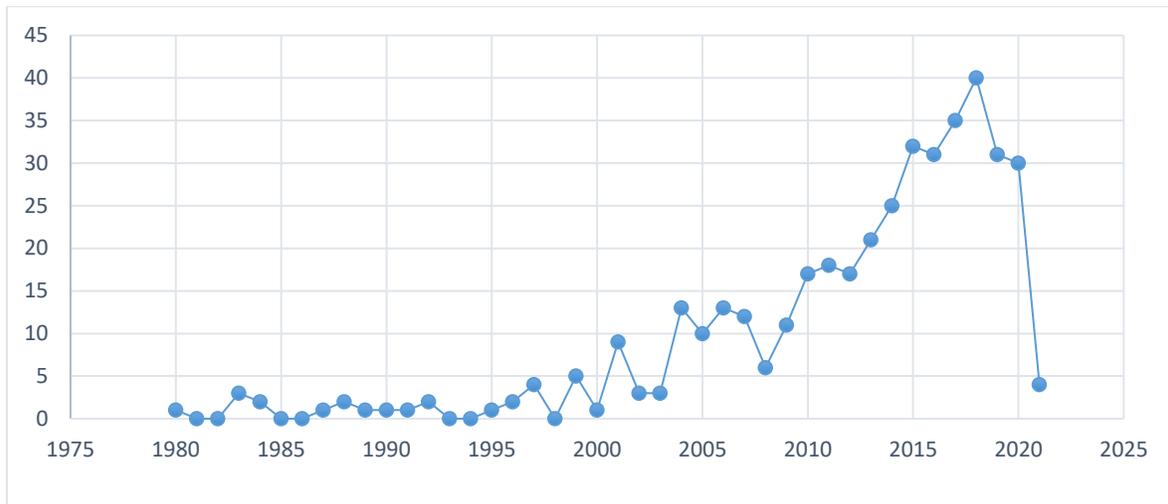
La productividad es evaluada comúnmente en diferentes medidas, principalmente se encuentran asociadas a los aportes que se originan de la fuerza laboral, a nivel global se ha podido evidenciar un bajo nivel de productividad. En Colombia la productividad no solo se rezagó, si no que a su vez se contrajo y presenta niveles de productividad mucho más bajos comparados con sus pares internacionales (Bonilla et al., 2018)

De acuerdo con CAMACOL hay indicios de informalidad al momento de la toma de decisiones en los procesos constructivos, específicamente en la determinación y conformación de las cuadrillas de trabajo, lo que puede afectar el comportamiento de la productividad en los proyectos de construcción.

Dada la relevancia de estos factores se presenta mediante una pasantía de investigación con el fin de apoyar al grupo de investigación INME y servir como base para posteriores estudios se realiza una búsqueda de literatura que permita entender el comportamiento de las investigaciones con respecto al tema, además de identificar los métodos existentes para problemática.

Figura 1.

Datos históricos de las publicaciones relacionadas con el tema



Nota. El gráfico representa la cantidad total de publicaciones halladas en las búsquedas iniciales.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Identificar los métodos existentes para la determinación de cuadrillas de trabajo óptimas en un proceso constructivo como apoyo de investigación al grupo INME, mediante una revisión de literatura científica.

1.2 Objetivos Específicos

Realizar una revisión de literatura en las bases de datos científicas respecto de los métodos de asignación y determinación de la cuadrilla de trabajo en procesos constructivos a nivel global y a nivel latino americano.

Identificar los métodos existentes para la asignación y determinación de cuadrillas de trabajo en procesos constructivos a nivel global y a nivel latino americano encontrados en las bases de datos científicas.

Caracterizar y analizar la evolución de los métodos de asignación y determinación de cuadrillas de trabajo de procesos constructivos identificados durante la revisión de las bases de datos.

2. Metodología

El estudio presentado a continuación se realizó mediante una revisión sistemática de literatura con el fin de identificar los métodos existentes para la asignación óptima de cuadrillas de trabajo en procesos constructivos, sin embargo, el enfoque que tuvo esta investigación se basó en los métodos de conformación de las cuadrillas, razón por la cual inicialmente se excluyeron los métodos de ruta crítica (CPM) y cadena crítica, debido a que estos son métodos que se enfocan en la secuenciación de actividades y el establecimiento de los menores tiempos de duración posible, la revisión se realizó mediante una metodología que se expone a continuación.

La metodología de este documento se dividió en cuatro fases:

- Fase 1: Búsqueda
- Fase 2: Filtración
- Fase 3: Consolidación
- Fase 4: Análisis de resultados

Cada una de las fases se expone a continuación:

2.1 Fase: Búsqueda

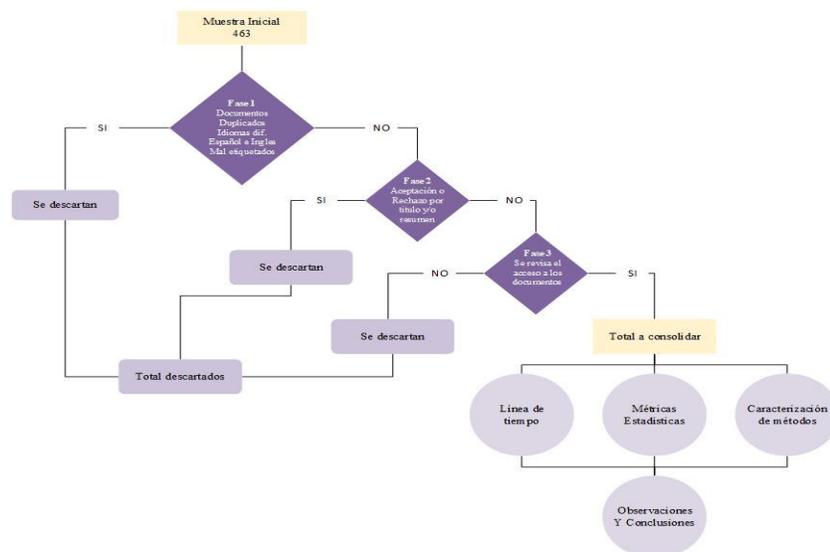
Se realizó una búsqueda de literatura publicada en diferentes bases de datos a las que se tuvo acceso por medio de la biblioteca virtual, para esta búsqueda se utilizaron palabras claves relacionadas con el tema a investigar.

Las herramientas de análisis bibliométricos utilizadas para esta investigación fueron SCOPUS, WEB OF SCIENCE, REDALYC, SCIELO, ASCE, Libros y marcos de referencia de gestión de proyectos, las cuales se consultaron a través de ecuaciones de búsqueda con conectores booleanos.

Las palabras claves que se relacionaron en la búsqueda se definieron según su significado e interpretación, se tuvieron en cuenta “Conformation”, “Allocation”, “Assignment”, “Composition”, “Crew”, “Crew job”, “Construction” y “Construction process”, sin embargo, en la utilización y combinación de estas palabras claves para obtener una búsqueda con mejores resultados y además resultados más acordes a las necesidades de la investigación se establecieron las siguientes ecuaciones:

Figura 2.

Diagrama del proceso de la metodología



Nota. La figura ilustra el proceso completo de la metodología.

Se optó por la utilización de la palabra “allocation” que en su traducción significaría “Asignación” en lugar de la palabra “conformation” ya que al revisar el contexto en el que se desarrolla las publicaciones en otros idiomas hacen referencia al tema de esta forma, los resultados de las búsquedas que arrojaban documentos con referencias al tema se encontraron principalmente con la utilización de esta, sin embargo es de suma importancia dejar claro que en el idioma castellano al utilizar el término “asignación” se hace referencia a la tarea de asignar un recurso a una actividad observándose desde el punto de vista de la construcción, mientras que la “conformación” hace énfasis en la forma de su configuración.

2.2 Fase: Filtración

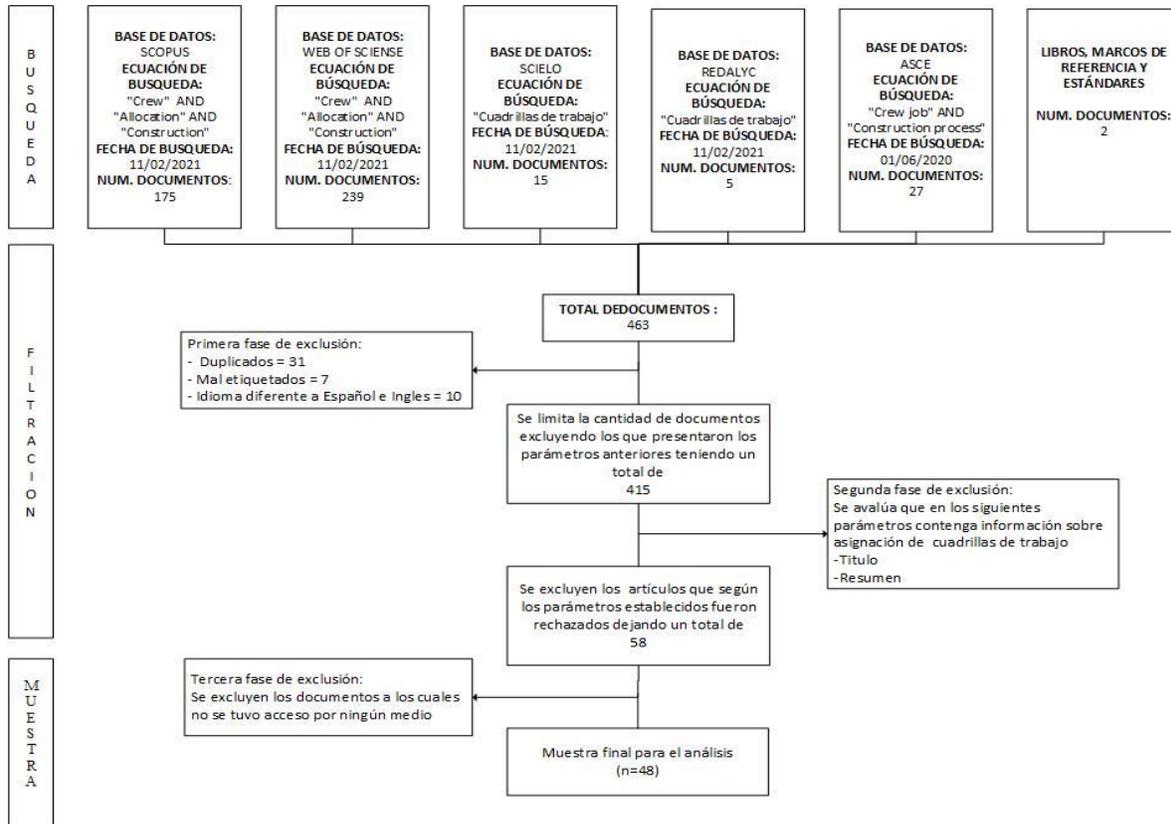
Esta segunda fase de filtración se realizó por medio de tres sub-fases que nos permitieron tener una muestra final para el análisis.

Para realizar la selección de los artículos se realizaron unos filtros y se implementaron unos criterios.

1 Se definieron tres criterios de exclusión los cuales fueron: (1) Exclusión por idiomas diferentes al inglés y al español. (2) Exclusión por documentos duplicados. (3) Exclusión por documentos que estaban mal etiquetados.

Figura 3.

Proceso de selección de los documentos.



Nota. La figura 3. Representa el proceso de filtración que se llevó a cabo durante la segunda fase de la investigación.

2 Esta es una fase de aceptación o rechazo de los artículos que consistió en leer, el título y el resumen de cada uno, y se establecieron dos criterios que fueron:

(1) El título contenga el tema de métodos para determinar la cuadrilla de trabajo en procesos constructivos.

(2) El Resumen contengan el tema de métodos para determinar la cuadrilla de trabajo en procesos constructivos.

La aceptación de los documentos se dio bajo las restricciones de estos criterios:

- Si cumple con el criterio 1 y el criterio 2, es aceptado.
- Si no cumple con el criterio 1 pero cumple con el criterio 2, es aceptado.
- Si cumple con el criterio 1 pero no con el criterio 2, es rechazado.
- Si no cumple con el criterio 1 y no cumple con el criterio 2, es rechazado.

3 Con los documentos finalmente seleccionados se procedieron a verificar a cuantos de estos se tenía acceso, ya fuese en línea, por descarga o solicitándolos.

2.3 Fase: Consolidación

Después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión mencionados anteriormente, se procedió a descargar los artículos y consolidarlos de manera óptima y ordenada, esto se hizo mediante una tabla que contenía las siguientes columnas: ID, Autor principal del documento; año de publicación; título del documento; recurso del título; tipo de documento; base de datos; idioma; resumen.

Tabla 1.

Muestra de la tabla de consolidación

ID	AUTHORS	YEAR	TITLE
SOURCE TITLE	DOCUMENT TYPE	SOURCE	LANGUAGE

Nota: La tabla 1 identifica los datos principales de los documentos que fueron analizados.

2.4 Fase: Análisis de resultados

El análisis de los resultados se presentará en tres fases.

1 Con el desarrollo de la investigación y los resultados obtenidos se realizaron las métricas estadísticas de los datos.

2 En la segunda fase se identificaron los métodos que se encontraron en la literatura y se procedió a caracterizarlos, analizarlos y evidenciar sus ventajas y desventajas.

3 Finalmente se realizó una línea de tiempo donde se evidenció la evolución de los métodos.

3. Resultados

Para el desarrollo de la investigación se tomó el resultado final del proceso de selección de los documentos, este proceso se puede encontrar en la **Figura 3**.

Figura 4.

Gráfico de publicaciones seleccionadas



Nota: El gráfico representa la tendencia de las publicaciones que finalmente fueron seleccionadas

Al realizar una lectura detallada y comprensiva de cada uno de los documentos, se analizaron diferentes elementos y componentes, los cuales se expondrán durante este capítulo.

Como se expuso en la metodología la primera fase consistió en realizar una búsqueda de literatura en bases de datos, de las cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 2.

Resultado de las búsquedas

BÚSQUEDAS	
REDALYC	5
SCIELO	15
ASCE	27
SCOPUS	175
WoS	239
TOTAL	461

Nota: La tabla muestra el resultado de las búsquedas por cada una de las bases de datos utilizadas.

Tabla 3.

Ecuaciones y fechas de búsqueda

Recurso	Ecuaciones de búsqueda	Fecha de búsqueda
REDALYC	"Cuadrillas de trabajo"	11/02/2021
SCIELO	"Cuadrillas de trabajo"	11/02/2021
ASCE	"Crew job" AND "Construction process"	01/06/2020
SCOPUS	"Crew" AND "Allocation" AND "Construction"	11/02/2021
WoS	"Crew" AND "Allocation" AND "Construction"	11/02/2021

Nota: La tabla 3 muestra las ecuaciones de búsqueda utilizadas, junto con su fecha de búsqueda.

De los resultados de las búsquedas se realizó un proceso de filtración obteniendo así:

Tabla 4.*Resumen de la primera fase de filtración*

EXCLUSIÓN	TOTAL	SCIELO	SCOPUS	WoS	ASCE	REDALYC
IDIOMA	10	5	3	2	0	0
NOMBRE	7	0	7	0	0	0
DUPLICADOS	31	0	12	16	0	3
TOTAL	48	5	22	18	0	3

Nota: Resultados de la primera fase de filtración, por cada una de las bases de datos.

Como se menciona en la metodología la segunda fase estaba conformada por tres sub-fases, la primera la mencionada anteriormente, en la segunda parte se realizó una filtración por aceptación o rechazo, en la que sus resultados fueron:

Tabla 5.*Resultado de los documentos aceptados*

Aceptados	57	14%
Rechazados	357	86%
Total	414	100%

Nota: Resultados totales de la segunda fase de filtración

En este punto se puede observar que solo el 14% de los documentos encontrados es aceptado, lo que significa que los documentos aceptados son los únicos que hacen alusión al tema de la investigación.

Finalmente, en este proceso de filtración se realiza una tercera sub-fase que consiste en descargar los documentos a los que se tiene acceso, dejándonos así con tan solo 47 documentos de los 57, es decir con el 82% de la muestra anterior, con esta muestra de 48 documentos procedemos hacer el análisis.

Con la muestra seleccionada de la fase anterior se consolidaron los datos y se obtuvo un gráfico que demuestra el comportamiento de las publicaciones con respecto al tema. Ver Figura 4.

3.1 Análisis de métricas estadísticas

Para el análisis de las métricas estadísticas se realizó una observación de los datos que teníamos y se definió que métricas implementar. (Rodríguez Franco, n.d.)

Los factores por considerar durante la lectura de los artículos fueron: variables; objetivo; producto de investigación; método; herramientas; tipo de modelo y técnica de estimación.

Una vez realizada dicha caracterización se procedió a identificar y clasificar las principales características o categorías encontradas en cada uno de los factores.

Inicialmente se identificaron las variables principales en cada uno de los documentos obteniendo así una lista de las que se tenían en cuenta, que se muestra en la tabla 6.

Se realizó además un análisis de frecuencia de éstas para poder observar la relevancia que tienen para cada uno de los autores. En la tabla 6 la primera categoría en la lista es el tipo de actividad (con el 10.71% de las variables), seguida por la duración de las actividades y la relación entre ellas, donde cada una contó con (8.93%) y la productividad y los recursos humanos tienen una frecuencia que abarca el (7.14%) cada una; éstas son las 5 variables más frecuentes que se tienen en cuenta, nada más éstas 5 abarcan el (42.86%) de la frecuencia, lo que indica que el resto de las variables, o sea las 19 restantes conjuntas abordan el (57.14%).

Tabla 6.*Lista de variables identificadas*

VARIABLES	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1 Tipo de actividad	6	10,7	10,71
2 Duración de actividades	5	8,9	19,64
3 Relaciones entre actividades	5	8,9	28,57
4 Productividad	4	7,1	35,71
5 Recursos humanos	4	7,1	42,86
6 Polivalencia	3	5,4	48,21
7 Recursos	3	5,4	53,57
8 Requisitos de las actividades	3	5,4	58,93
9 Cantidades	2	3,6	62,50
10 Capacidades	2	3,6	66,07
11 Condiciones del sitio	2	3,6	69,64
12 Experiencia	2	3,6	73,21
13 Habilidades	2	3,6	76,79
14 Jornadas	2	3,6	80,36
15 Rendimiento	2	3,6	83,93
16 Cargas de trabajo	1	1,8	85,71
17 Compatibilidad	1	1,8	87,50
18 Eficiencia	1	1,8	89,29
19 Interrupciones	1	1,8	91,07
20 Método de construcción	1	1,8	92,86
21 Necesidades de los trabajadores	1	1,8	94,64
22 Presupuesto	1	1,8	96,43
23 Recursos cerebrales	1	1,8	98,21
24 Tamaño de la tripulación	1	1,8	100,00
Total	56	100,00	

Nota: Lista de las variables identificadas durante el desarrollo, con su respectivo porcentaje de frecuencia de utilización.

Las variables anteriormente mencionadas se organizaron de forma que representaran en orden descendente la frecuencia con la que estas son utilizadas en los documentos.

En los documentos encontrados se pudo detallar que este problema se puede abordar desde diferentes puntos de vista, teniendo en cuenta el objetivo principal de la investigación; es así como

entonces hay investigaciones en donde su enfoque se da dependiendo de las variables que se presentan o de las variables que para cada investigador tiene mayor trascendencia en el desarrollo de esta.

Otro aspecto importante que se puede destacar son los objetivos en los que se basan estas investigaciones, es decir, existen documentos en donde la solución a esta problemática la abordan según el objetivo principal que tenga cada autor, después de una exhaustiva revisión de cada artículo se identificaron también los objetivos principales de estos documentos, estableciéndolos así en una lista, que se puede observar en la tabla 7.

Tabla 7.

Lista de objetivos

Objetivos	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Minimizar costos	12	25,53	25,53
Minimizar tiempo	9	19,15	44,68
Aumento de productividad	8	17,02	61,70
Capacitación	4	8,51	70,21
Minimizar utilización de recursos	4	8,51	78,72
Asignación optima	3	6,38	85,11
Equilibrio de cargas	2	4,26	89,36
Identificación de ideas	1	2,13	91,49
Máximizarse el flujo de trabajo	1	2,13	93,62
Minimizar la fluctuación de mano de obra	1	2,13	95,74
Optimización de espacios	1	2,13	97,87
Pronostico de demanda laboral	1	2,13	100,00
	47	100	

Nota: Lista de los objetivos identificados durante el desarrollo de la investigación, con su respectivo porcentaje de frecuencia.

Los objetivos anteriormente mencionados son de suma importancia pues de ellos depende principalmente la manera de abordar el desarrollo de los métodos, se observó que el (61.7%) abordaba tres tópicos principales, los cuales son: la disminución de los costos con (25.53%), la

disminución de los tiempos con (19.15%) y el aumento de la productividad con (17.02%), el (38.30%) restante busca optimizar alguno de los 9 objetivos adicionales que se identificaron, la importancia de los objetivos radica en que la investigación que se está abordando principalmente se basa en un problema de optimización, el cual siempre requiere de un objetivo.

La parte del análisis anteriormente mencionada es una revisión en forma general de los aspectos mencionados. Otro aspecto que se tuvo en cuenta fue el principal producto de investigación que ofrecía cada documento.

Además, después de analizar todos los productos de investigación se categorizaron en tres productos de investigación en forma general, los cuales fueron: modelos, simulaciones y factores de impacto. La mayoría de los documentos se basó en modelos teniendo así una composición del 66% (31 de 47), las simulaciones por otro lado hacen parte del 19% (9 de 47) y finalmente en los documentos donde se identificaron factores de impacto fue tan solo un 15% (7 de 47). Esta composición se puede observar en la **Figura 5**.

Figura 5.

Composición de los productos de investigación



Nota: El gráfico representa el porcentaje de composición de los productos de investigación identificados

Con los productos de investigación se definieron los métodos utilizados en cada uno de los documentos para la asignación óptima de una cuadrilla de trabajo.

Se pudo identificar que en los documentos analizados se establecían cuatro tipos de métodos, estos métodos son:

- Método de ábacos (Serpell B., 2002)
- Método de cartas de balance (Navas et al., 2012)
- Métodos estadísticos (Echavarría Sánchez et al., 2006)
- Métodos de optimización (Soto Torres, M. D., 2006).

Y una categoría donde no existían métodos establecidos.

La conformación de estos métodos se puede ver en la **figura 6**.

Figura 6.

Conformación de los métodos



Nota: El gráfico representa la cantidad de documentos para cada uno de los métodos establecidos.

Estos métodos son la clasificación general de los que se pudieron identificar en durante el análisis de los documentos, más adelante se abordara cada uno.

Con la clasificación de los métodos se realizó a su vez una identificación de las técnicas que se utilizan para la realización de los modelos que implementa cada método.

Las técnicas más usadas por los autores fueron:

PL (Programación Lineal)

PLE (Programación lineal entera)

PNL (Programación no lineal)

PD (Programación dinámica)

RL (Regresión logarítmica)

RE (Regresión estadística)

EML (Enteros mixtos lineales)

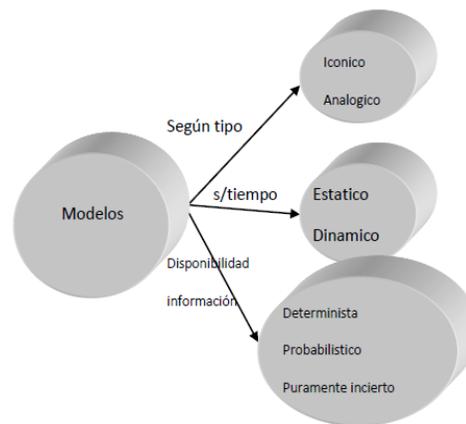
AG (Algoritmos genéticos)

Algoritmos metaheurísticos

Técnicas de juicio

Las técnicas mencionadas anteriormente hacen parte de una gran rama de técnicas que pueden usarse para resolver los diferentes modelos. (Egziabher & Edwards, 2013)

Teniendo en cuenta los modelos que se usaron en cada investigación se decidió establecer el tipo de modelo al que correspondía cada uno. Existe una amplia cantidad de modelos, estos pueden clasificarse según su tipo en: Icónicos y analógicos, según su variación en el tiempo: Estáticos o dinámicos y según la disponibilidad de la información: Determinístico y probabilístico. (Noguera, 2015)

Figura 7*Clasificación de modelos*

Nota. Tomada del libro Investigación de operaciones.

Para esta clasificación y por el tipo de modelo que brindaba cada documento se definió si el documento contaba con un modelo probabilístico o determinístico.

Los modelos que se clasifican como determinísticos, la toma de sus decisiones se basa en los buenos resultados que estos puedan generar. es decir, no tienen en cuenta el riesgo que pueden contraer al tomar cada decisión, depende también de la cantidad de información que la persona encargada de tomar una decisión tiene para controlar dichos factores de los que no considera el riesgo. (Noguera, 2015)

Por el contrario, en los modelos probabilísticos, la persona que se encarga de determinar la decisión más apropiada debe tener en cuenta y preocuparse tanto por el resultado como el riesgo que involucra el mismo. (Noguera, 2015)

Dados los conceptos anteriores, se definió en cuales documentos se utilizaban modelos probabilísticos y en cuales modelos determinísticos. De la muestra total de documentos se

estableció que 21 de 47 documentos usaron modelos determinísticos y los 26 restantes implementaron probabilísticos.

Finalmente se definieron las técnicas de estimación para cada uno de los documentos.

Las técnicas de estimación de construcción más prevalentes son análogas, paramétricas, bottom-up y tres puntos de estimación. (Edition et al., 2013), Sin embargo, las técnicas de estimación son frecuentemente más utilizadas en la estimación de los costos que de los recursos, en algunos casos la aplicación de ellas es limitada a los valores de los costos, razón por la que para este análisis solo nos enfocaremos en la estimación análoga y paramétrica.

Estimación Análoga

Estimación análoga, es comúnmente usada en las fases de diseño conceptual. Se caracteriza por utilizar información sobre los datos históricos de proyectos previos que cuentan con características similares. (Fundación Terram, 2015)

Estimación paramétrica

La estimación paramétrica busca relacionar la estadística utilizada en datos históricos junto con parámetros que se asocian a cada tipo de proyecto. (Edition et al., 2013)

Teniendo en cuenta los conceptos anteriores a la hora de realizar una asignación de la técnica de estimación, se obtuvo que el 57% de los documentos se estimó por medio de analogía y el 43% por medio de técnicas paramétricas.

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos de esta investigación teniendo en cuenta que el objetivo principal consistía en identificar los métodos de asignación de cuadrillas de trabajo en procesos constructivos.

De la revisión de literatura realizada durante toda la investigación se identificaron cuatro métodos de asignación de cuadrillas de trabajo, los cuales son:

Método de cartas de balance

Método de ábacos

Métodos estadísticos

Métodos de optimización

3.2 Identificación y caracterización de métodos

La caracterización de estos métodos se llevó a cabo identificando los componentes de cada uno, en el Anexo 1, se puede observar la figura en donde se relacionan cada uno de los artículos que se tuvo en cuenta para esta clasificación.

3.2.1 Método de cartas de balance

El método de las cartas de balance fue implementado en el sector de la construcción por Alfredo Serpell, en el libro de su autoría Administración de operaciones de construcción – 2ª Ed, el autor dedica un capítulo para el seguimiento y control de los procesos, es allí donde establece la implementación de este método en el sector de la construcción cuando hace énfasis en las técnicas de estudio de trabajo.

El documento establece que el tema de análisis de operaciones ha sido empleado por muchos años en la ingeniería industrial, esto con el objetivo de estudiar la eficiencia de las combinaciones entre hombre-maquina, sin embargo, el texto muestra su aplicabilidad en la industria de la construcción. (Serpell B., 2002)

Las cartas de balance permiten resolver las necesidades de resumir formalmente los procesos de una operación de construcción, en forma detallada, además permite realizar comentarios sobre el método utilizado y determinar la cantidad de obreros más adecuada para cada cuadrilla. (Serpell B., 2002)

El objetivo de esta técnica es analizar la eficiencia del método constructivo que se emplea, más que la eficiencia de los obreros, de tal forma que la realización de actividades sea de forma más inteligente sin que se trabaje más duro.

El método establece entonces que la manera de mejorar la eficiencia del grupo es realizando una reasignación de sus tareas entre sus miembros y/o modificando el tamaño del grupo que la conforma.

La carta de balance consiste en un gráfico de barras verticales, que en su sentido vertical se refleja el tiempo de la toma de la duración de las actividades y en su horizontal se reflejan los recursos que se utilizan en cada actividad.

Cada barra se subdivide en el tiempo que emplea cada uno de los recursos en las actividades en las que está presente, sin embargo, también se cuenta el tiempo en el que el recurso está ausente o el tiempo en el que el recurso está siendo improductivo. Teniendo en cuenta que todos los elementos de la cuadrilla se grafican puede obtenerse mediante una comparación los patrones comunes que indican los ciclos de trabajo.

El método propone también la siguiente secuencia:

- Realizar una revisión detallada del proceso que se seleccionó y buscar las diferentes formas de realizarlo, de tal modo que puedan compararse y revisar cual es más conveniente.
- Identificar de manera previa las cantidades de los recursos, de mano de obra como maquinaria, para el proceso que se seleccionó.
- Revisar detalladamente el diagrama de procesos.
- Tomar medidas y muestra de las operaciones y determinar cuales son las condiciones para realizar las actividades, es de preferencia realizar varios muestreos.
- Depurar la información, concluir y realizar discusiones sobre los resultados obtenidos del análisis del gráfico de barras, esto con el fin de determinar los cambios necesarios para mejorar los procesos.

En el texto realizan unas consideraciones para facilitar su cumplimiento.

Debe considerarse que existen diferentes métodos para cumplir con las tareas que conforman la actividad, por lo tanto, debe existir certeza de que, después de implementado el análisis de la carta de balance habrá sucesivas proposiciones de mejoras.

Otra recomendación consiste en el desarrollo de muestreos, y es que se recomienda desglosar el desarrollo de la actividad en tareas simples pero identificables por símbolos que las personas que están realizando el muestro reconozcan. De esta forma se puede observar y registrar cada tarea periódica casi en forma instantánea, se aconseja también una frecuencia de muestreo de un minuto por un periodo no menor de 30 minutos en total.

El texto también establece los resultados que se pueden obtener del muestro correspondiente a la carta de balance, siendo estos: El coeficiente de participación de cada recurso, El nivel de actividad real y el nivel de actividad relativa.

Los parámetros anteriores se calculan de la siguiente manera:

- Coeficiente de participación:

$$\frac{\textit{Tiempo que el recurso está presente}}{\textit{Tiempo total de la actividad}}$$

- Nivel de actividad real:

$$\frac{\textit{Tiempo que el recurso trabaja} * 100}{\textit{Tiempo que el recurso está presente}}$$

- Nivel de actividad relativo:

$$\frac{\textit{Tiempo que el recurso trabaja} * 100}{\textit{Tiempo total de la actividad}}$$

3.2.2 Método de ábacos

El método de ábacos se basa en valores de consumo de mano de obra que emplea una actividad específica, el método se trata a través de un modelo matemático.

Navas (Navas et al., 2012) afirma que, el contenido total del trabajo es el resultado de la suma del trabajo del oficial y del ayudante.

$$C_{total} = C_{of} + C_{ay} \quad (1)$$

Estos dos juntos, reflejan la conformación de una cuadrilla básica, donde cada recurso realiza únicamente tareas que corresponden a sus papeles propios de oficial y ayudante. Navas establece que, si la premisa anteriormente mencionada se cumple, entonces puede decirse que la relación entre los contenidos de trabajo de oficiales y ayudantes es equivalente a la relación entre la cantidad de oficiales y la cantidad de ayudante que conforman la cuadrilla. La relación es denominada Y_i .

Donde:

$$Y_i = C_{of} / C_{ay} \quad (2)$$

De las cuadrillas que pueden formarse, se emplea una ecuación (3) cuya relación es la que más se aproxime a la relación ideal Y_i .

$$Y_i = N^{of} / N^{ay} \quad (3)$$

Navas, establece un gráfico que denomina son las posibles conformaciones de cuadrillas desde $1_{of} * 1_{ay}$ hasta la que los autores consideraron máxima que es $7_{of} * 7_{ay}$. En las verticales van los puntos que corresponden a los oficiales y en las horizontales los ayudantes.

En la gráfica de oficiales y ayudantes, se trazan líneas semirrectas que representan la cantidad de los oficiales y de los ayudantes, en los puntos de intersección entre éstas se señalan las conformaciones de las cuadrillas que son representativas de las cuadrillas básicas y en los cruces donde no se señalan es porque indican conformaciones de cuadrillas que son múltiplos enteros de otras cuadrillas. Como ejemplo de esto, una cuadrilla de $[6_{of}] * [4_{Ay}]$ no se señalaría pues sería múltiplo de una cuadrilla de $[3_{of}] * [2_{ay}]$.

Este ábaco permite tener de forma rápida una lista de las cuadrillas que están susceptibles de ser seleccionadas.

El proceso para la selección es el siguiente.

- Se calcula inicialmente Y_i . Con la ecuación (2).
- Conocido Y_i , se traza una semirrecta de ecuación en el gráfico anteriormente mencionado.

$$Y = Y_i X \quad (4)$$

- Al trazarse la semirrecta en el grafico se observa que esta forma diferentes triángulos al interceptarse con la cuadrícula. Si el vértice opuesto a la hipotenusa de cada triangulo está señalado, esa será una conformación de cuadrilla posible a ser utilizada.

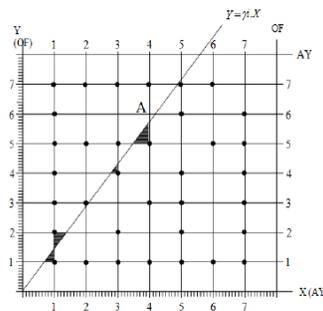
Estos triángulos anteriormente mencionados se denominan como “triángulos de desperdicio” ya que, uno de sus catetos es representativo de un exceso de horas- oficial o de horas-ayudante.

Al trazarse la semirrecta se puede observar que se generan dos tipos de triángulos, estos pueden observarse en la Figura 9, estos pueden generarse a la derecha o a la izquierda.

En el primer caso se forma un triángulo a la derecha cuyo cateto adyacente indica un desperdicio de hora- ayudante.

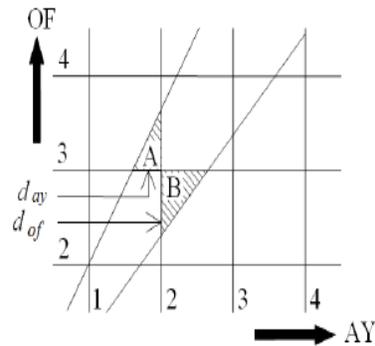
Figura 10.

Ábaco para el balanceo de cuadrillas



Nota. Tomado de Navas_2012

Si se analiza el segundo caso donde la semirrecta deje a su derecha el triángulo, cuyo cateto adyacente indica un desperdicio de hora-oficial.

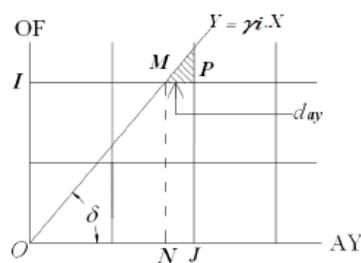
Figura 11.*Triángulo de desperdicios**Nota.* Tomado de Navas_2012

Calculo analítico de los desperdicios.

- Para el caso del desperdicio de ayudantes.

La conformación de la cuadrilla seleccionada es genérica, es decir, $[I(o) * J(ay)]$ y P es el punto representativo de la misma según se observa en la ecuación 5:

$$\text{Tan}(\delta) = \text{MN}/\text{ON} \quad (5)$$

Figura 12.*Cálculo analítico de desperdicio ayudante**Nota.* Tomado de Navas_2012

Siendo $\tan(\delta) = Y_i$; $MN = I$; $ON = J - \text{day}$

, reemplazándola en (5):

$$Y_i = I/(J - \text{day}) \quad (6)$$

$$J - \text{day} = I/Y_i$$

$$\text{day} = J - (I/Y_i) \quad (7)$$

3.2.3 Métodos de optimización

Un método de optimización se da cuando un problema puede ser expresado mediante términos matemáticos que buscan una solución óptima para un caso en particular [Métodos de optimización]. Este método contiene dos grandes clasificaciones que se desarrollan principalmente mediante herramientas matemáticas.

Existen dos grandes ramas que abordan los problemas principales de optimización, que son: La optimización lineal y La optimización multiobjetivo, como su nombre lo indica la diferencia principal entre estas dos radica en la cantidad de objetivos a optimizar, razón por la que cada una utiliza herramientas diferentes para cumplir con su finalidad (*Soto Torres, M. D. 2006*).

OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO

La optimización multiobjetivo es una parte de la optimización que se enfoca en problemas de decisión que contemplan múltiples factores a optimizar.

Según Marler y Arora, se llama optimización multiobjetivo (MOO) al proceso que se lleva a cabo con el fin de optimizar de manera ordenada y simultánea una cantidad definida de funciones. En estos casos no existe una solución única e idónea y global, sino más bien es un conjunto de

soluciones que buscan optimizar todos los objetivos de la mejor manera posible cumpliendo con ciertos requerimientos.

En este tipo de problemas pueden emplearse diferentes técnicas de solución, las cuales pueden clasificarse en dos grupos, el primero es un grupo de métodos que se basa en la utilización de modelos basados en programación matemática, y el segundo grupo son algoritmos o heurísticas de aproximación. Al mismo tiempo estos métodos pueden clasificarse también por la forma en que el decisor exprese sus preferencias.

3.2.4 Métodos estadísticos

La estadística como método se propone recopilar información, elaborar, presentar e interpretar datos numéricos. La estadística no puede definirse como una ciencia; sin embargo, es un método más o menos complejo y diferente porque establece de manera firme los procedimientos sucesivos y ordenados que deben seguirse en la investigación (Echavarría Sánchez et al., 2006).

Los métodos estadísticos también pueden definirse en dos grupos importantes que son: la estadística descriptiva y la estadística inferencial, el uso de estos depende directamente de la cantidad y tipo de variables que se vayan a analizar.

3.2.5 Ventajas y desventajas

Al revisar la caracterización de los métodos se pudo observar que hay métodos que son muy específicos y otros en los que son muy generalizados.

MÉTODO DE CARTA DE BALANCE.

Al realizarse un análisis conjunto entre cartas de balance y diagramas de procesos y flujo, se crea la posibilidad de acceder a un paquete de estudio real de la efectividad que se enfoque en el aumento de la productividad. Algunos de los principales beneficios que pueden percibirse son: (Serpell B., 2002):

- Mejora en la comprensión del desarrollo de la actividad por parte de los trabajadores.
- Mejor identificación y definición de las tareas asignadas a cada recurso
- La capacidad de implementar apoyos en la gestión de los directores
- Disminución de accidentes
- Disminución en los costos, al evitar retrasos.

Sin embargo, se puede evidenciar que en la implementación de este método en algunas ocasiones puede ser un poco tardía debido a que se implementa a medida que avanza la actividad, además, si no se realiza una buena medición de las muestras, puede afectar significativamente la forma en que se replanteen los recursos.

MÉTODO DE ÁBACOS

En la presentación del método de ábacos se pudo observar la facilidad de emplear este método, debido a la posibilidad que existe hoy en día de obtener planillas de cálculo significativas que facilitan el trabajo en el diseño de los cuadros que se proponen, permitiendo que puedan realizarse simulaciones rápidas que permitan adoptar los mejores resultados.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta las características de las actividades a realizar, pues este método puede dar como resultado conformaciones de cuadrillas muy grandes, que pueden ser óptimas pero su implementación es casi imposible debido a los espacios, finalmente la metodología que expone Navas brinda solamente un enfoque en la búsqueda de la cuadrilla óptima

haciendo necesario que posterior a este análisis se revisen todos los factores adicionales que se presenten en el caso para poder tomar una decisión final.

MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN

En los métodos de optimización analizados, se pudo observar que existen una amplia gama de ventajas y desventajas, pues la variación de estos hace que sea realmente difícil identificar los procesos que se llevan a cabo para implementarse, sin embargo, también se pudo observar que los métodos de optimización abarcan una cantidad significativa de problemas a optimizar y que varían dependiendo de los objetivos que los autores establecían, además de las limitaciones y parámetros que tenían en cuenta, por otro lado, fue difícil para el autor de este artículo identificar métodos de optimización específicos debido a que en la mayoría de los documentos solamente implementaban modelos, y tampoco alusión a los métodos que utilizaban para resolverlos.

MÉTODOS ESTADÍSTICOS

En los métodos estadísticos se pudo observar que se implementaban especialmente para obtener valores necesarios para realizar tomas de decisiones mediante algoritmos o herramientas metaheurísticas, dentro de las ventajas que este método puede ofrecer es la veracidad con la que son tratados sus datos, las técnicas de recolección y análisis que este implementa hace que los datos tengan un comportamiento lógico, sin embargo al igual que en algunos de los métodos mencionados anteriormente no se tienen en cuenta muchas variables y se enfoca en la medida de un solo objetivo.

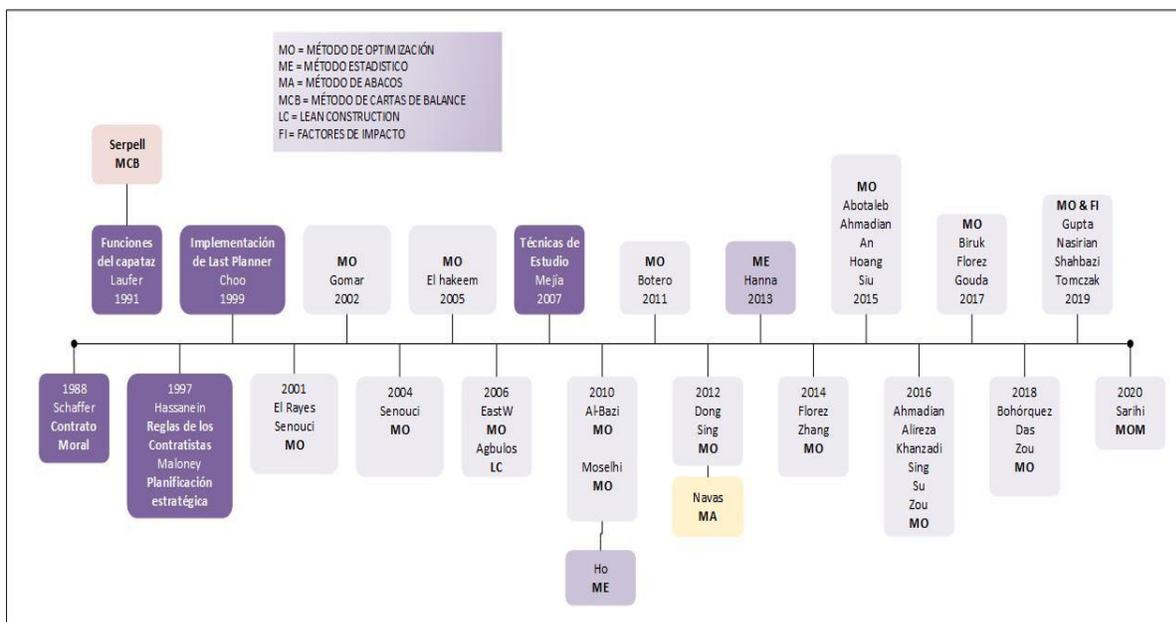
3.3 Línea de tiempo.

Con los resultados del análisis se pudo establecer una línea de tiempo y evolución de los métodos identificados. La línea de tiempo puede verse en LA Figura 12.

Se identificó que a medida que pasa el tiempo, el tema de aumentar la productividad ha ido tomando más relevancia teniendo en cuenta la forma como está puede aumentar significativamente los costos y los tiempos de entrega, por otro lado se observó que el tema de asignación de cuadrillas de trabajo, es un tema en el que se han ido implementando medidas desde diferentes puntos de vista, inicialmente se abordaba el tema con prácticas de factores o practicas morales, posteriormente empezaron a implementarse otras técnicas, en los últimos años la investigación sobre el tema ha incrementado considerablemente según se evidencia en la línea de tiempo.

Figura 13.

Línea de tiempo de los métodos



Nota. La figura representa una línea de tiempo donde se evidencia la utilización de cada método identificado.

4. Conclusiones

Dentro del análisis expuesto, se evidenció la escasez de publicaciones que corresponden al tema tratado, a pesar de que en la última década la cantidad de investigaciones al respecto a aumentado significativamente, es importante resaltar que sigue siendo muy escasa y no aborda el tema en específico.

Dentro de los documentos que se pudieron analizar se puede evidenciar la falta de métodos para la asignación óptima de cuadrillas de trabajo, puntualmente solo se identificaron dos métodos claros y establecidos que presentaban de forma lógica y clara el procedimiento a seguir para obtener estas cuadrillas, también se observó que la aplicación de métodos de optimización es bastante amplia, sin embargo, los métodos que se clasificaron como métodos de optimización se basan principalmente en darle solución a otras problemáticas, y no establecen procedimientos claros, ni siquiera a la hora de solucionar los modelos que estos implementan, razón por la que queda un vacío en la identificación clara de estos, por otro lado los métodos estadísticos presentaban un poco más clara su información, sin embargo, estos métodos se quedan un poco cortos a la hora de abordar la asignación de las cuadrillas, pues su implementación se enfoca más al tratamiento de los datos de forma lógica y ordenada.

Además de la identificación de los métodos dentro de los objetivos establecidos estaba la caracterización de los métodos y el análisis de la evolución de los mismos, se pudo evidenciar durante el desarrollo de la investigación que no existe un punto de partida similar entre ellos pues los que se establecieron abordan el tema desde puntos diferentes, por otro lado se trato de caracterizar los métodos encontrados señalando las características principales y las ventajas de

cada uno y evidenciando en la Figura 8. Las herramientas principales que usaban estos métodos para desarrollarse.

5. Recomendaciones

Este estudio es de tipo exploratorio, sus resultados son derivados de otras investigaciones por lo que se espera que a futuro el número de publicaciones referentes a la asignación óptima de cuadrillas de trabajo en procesos constructivos, aumenten , por lo menos al punto de volverse constantes y darle al tema la relevancia que en realidad tiene, puesto que al realizar una asignación óptima de los recursos se puede mejorar significativamente la productividad, lo que finalmente se ve repercutido en los costos y en los tiempo de entrega de los proyectos.

También se recomienda que este tema se aborde, por tipos de procesos y por la cantidad de recursos, así su implementación podría ser más sencilla y más fácil a la hora de encontrarse en obra, esto debido a que se pudo observar que los métodos identificados tienen una aplicación sumamente abierta y como se conoce en la industria de la construcción existen una gran cantidad de procesos constructivos y cada uno tiene características únicas.

Referencias Bibliográficas

- Abotaleb, I. S., Moussa, M. B., & Hussain, S. M. (2015). Optimization of allocating multi-skilled labor resources using genetic algorithms. *Proceedings, Annual Conference - Canadian Society for Civil Engineering*, 2(April), 849–858. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2367.4401>
- Agbulos, A., Mohamed, Y., Al-Hussein, M., AbouRizk, S., & Roesch, J. (2006). Application of Lean Concepts and Simulation Analysis to Improve Efficiency of Drainage Operations Maintenance Crews. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(3), 291–299. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2006\)132:3\(291\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:3(291))
- Ahmadian, A., Fini, F., Akbarnezhad, A., Rashidi, T. H., & Waller, S. T. (2017). *y estrategias de recursos humanos*.
- Ahmadian Fard Fini, A., Rashidi, T. H., Akbarnezhad, A., & Travis Waller, S. (2016). Incorporating Multiskilling and Learning in the Optimization of Crew Composition. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(5), 04015106. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001085](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001085)
- Al-Bazi, A., & Dawood, N. (2010). Developing Crew Allocation System for the Precast Industry Using Genetic Algorithms. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 25(8), 581–595. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2010.00666.x>
- An, S., Ji, S., Hyun, C., & Han, S. (2015). A model-based productivity improvement of reinforced concrete work in a multi-housing project. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(5), 1183–1192. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0302-7>
- Biruk, S., & Jaśkowski, P. (2017). Scheduling Linear Construction Projects. *Archives of Civil Engineering*, LXIII(1), 3–15.
- Bohórquez-Castellanos, J. J., Porrás-Díaz, H., Sánchez-Rivera, O. G., & Mariño-Espinel, M. C. (2018). Planificación de recursos humanos a partir de la simulación del proceso

- constructivo en modelos BIM 5D. *Entramado*, 14(1), 252–267. <https://doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27141>
- Bonilla, E. C., Ortega, K., Investigadores, B., Bonilla, G., Nicolás, B., Vargas Diseño, B., & Delgado, V. E. S. (2018). *Presidente Ejecutiva Sandra Forero Ramírez Vicepresidente de Desarrollo Sectorial*. <https://camacol.co/sites/default/files/documentosinteres/INFORME PRODUCTIVIDAD VF.pdf>
- Botero Botero, L. F., & Acevedo, H. (2011). Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones. *Ingeniería y Ciencia - Ing.Cienc.*, 7(13), 29–45. <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/ingciencia/article/view/399>
- CHO., Y. K., Leite, F., Behzadan, A., & Wang, C. (2019). *Computing in Civil Engineering 2019*. 105–113. <http://toc.proceedings.com/49478webtoc.pdf>
- Crew, W., Asce, M., Garza, J. M. De, Asce, M., Ozbek, M. E., & Dai, J. (2014). *Signi a largo plazo fi cancelar un curso de mejores prácticas de CII*. 19(Cii), 30–35.
- Crew, W., De La Garza, J. M., Ozbek, M. E., & Dai, J. (2014). Long-term significance of a CII best practices course. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 19(1), 30–35. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000175](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000175)
- Das, S., Bayat, A., Gay, L. F., & Matthews, J. (2018). Productivity Analysis of Lateral CIPP Rehabilitation Process Using Symphony Simulation Modeling . *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 9(1), 04017032. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ps.1949-1204.0000297](https://doi.org/10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000297)
- Dong, N., Fischer, M., Haddad, Z., & Levitt, R. (2013). A method to automate look-ahead schedule (LAS) generation for the finishing phase of construction projects. *Automation in Construction*, 35, 157–173. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.023>
- Dong, N., Ge, D., Fischer, M., & Haddad, Z. (2012). A genetic algorithm-based method for look-ahead scheduling in the finishing phase of construction projects. *Advanced Engineering Informatics*, 26(4), 737–748. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.03.004>

- East, E. W., & Liu, L. Y. (2006). Multiproject Planning and Resource Controls for Facility Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(12), 1294–1305. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2006\)132:12\(1294\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2006)132:12(1294))
- Echavarría Sánchez, H., Correa Londoño, G., Fernando, J., Díez, P., Juan, ;, Jaramillo, J. A., Alberto, J., & Restrepo, R. (2006). Abstract Evaluation of Statistical Methods Used in Final Projects and Thesis of the Facultad De Ciencias Agropecuarias, Over a Three-Year Period. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 59(2), 3465–3580.
- Edition, T., Estimating, A. R., Stakeholders, M., Control, I. C., Management, R., Oren, R., Randhawa, G., Account, C., & Account, C. (2013). Construction Extension to the PMBOK® guide. In *Matrix*.
- Egziabher, T. B. G., & Edwards, S. (2013). 済無No Title No Title. In *Africa's potential for the ecological intensification of agriculture* (Vol. 53, Issue 9).
- Elhakeem, A., & Hegazy, T. (2005). in Infrastructure Networks. *Engineering*, 131(February), 168–175.
- Florez, L. (2017). Crew Allocation System for the Masonry Industry. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 32(10), 874–889. <https://doi.org/10.1111/mice.12301>
- For, T., El-rayes, R. B. K., & Moselhi, O. (2001). *O Ptimizing R Esource U Tilization for R Epetitive. February*, 18–27.
- Fundación Terram. (2015). No Title空間像再生型立体映像の研究動向. *Nhk 技研*, 151, 10–17.
- Gomar, J. E., Haas, C. T., & Morton, D. P. (2002). Assignment and Allocation Optimization of Partially Multiskilled Workforce. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128(2), 103–109. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2002\)128:2\(103\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2002)128:2(103))
- Gouda, A., Hosny, O., & Nassar, K. (2017). Optimal crew routing for linear repetitive projects using graph theory. *Automation in Construction*, 81, 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.007>

- Gupta, M., Hasan, A., Jain, A. K., & Jha, K. N. (2019). Impact of crew composition on productivity and unit labour cost in construction projects - A case study. *Proceedings of 22nd International Conference on Advancement of Construction Management and Real Estate, CRIOCM 2017*, 533–539.
- Hanna, A. S., Shapira, A., El Asmar, M., & Taylor, C. S. (2013). Impact of crew scheduling on project performance. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 18(1), 35–44. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000121](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000121)
- Hassanein, A., & Melin, J. (1997). Crew Design Methodology for Construction Contractors. *Journal of Construction Engineering and Management*, 123(3), 203–207. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(1997\)123:3\(203\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(1997)123:3(203))
- Ho, P. H. K. (2010). Forecasting Construction Manpower Demand by Gray Model. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(12), 1299–1305. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000238](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000238)
- Hoang, N. D., Nguyen, Q. L., & Pham, Q. N. (2015). Optimizing Construction Project Labor Utilization Using Differential Evolution: A Comparative Study of Mutation Strategies. *Advances in Civil Engineering*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/108780>
- Hyun, B., Choo, J., Tommelein, I. D., Member, A., Ballard, G., & Zabelle, T. R. (1999). for W Ork P Ackage S Cheduling. *Engineering*, June, 151–161.
- Khazadi, M., Movahedian, A., & Bagherpour, M. (2016). Finding optimum resource allocation to optimizing construction project Time/Cost through combination of artificial agents CPM and GA. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60(2), 169–180. <https://doi.org/10.3311/PPci.7883>
- Laufer, B. A., & Shohet, I. M. (1991). *Span of control of construction foreman: situational analysis*. 117(1), 90–105.
- Moselhi, O., & Khan, Z. (2010). Analysis of labour productivity of formwork operations in building construction. *Construction Innovation*, 10(3), 286–303. <https://doi.org/10.1108/14714171011060088>

- Nasirian, A., Arashpour, M., Abbasi, B., & Akbarnezhad, A. (2019). Optimal Work Assignment to Multiskilled Resources in Prefabricated Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(4), 04019011. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001627](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001627)
- Navas, R. F., Ridl, M. R., & Torés, L. (2012). Mano de obra en la construcción : determinación de la cuadrilla óptima por medio de una herramienta de simulación Workforce in construction : determination of the optimal team through a simulation tool. *Ingeniería*, 16(2), 151–163.
- Noguera, A. I. Z. and M. dolores D. (2015). Portal de Promoción y Difusión Pública del Conocimiento Académico y Científico. In *Faces* (Vol. 44).
- Productivity, W., & Controlling, I. (2007). *S p o : t m r m o*, 2, 45–60.
- RODRIGUEZ FRANCO, J. (n.d.). Estadística Para Administración. 2014. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliocauladechsp/detail.action?docID=3227823&query=ESTADISTICA>
- Russell, M. M., Liu, M., Howell, G., & Hsiang, S. M. (2015a). Case studies of the allocation and reduction of time buffer through use of the last planner system. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(2), 1–10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000900](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000900)
- Russell, M. M., Liu, M., Howell, G., & Hsiang, S. M. (2015b). Case studies of the allocation and reduction of time buffer through use of the last planner system. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(2). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000900](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000900)
- Sarihi, M., Shahhosseini, V., & Banki, M. T. (2020). Multiskilled Project Management Workforce Assignment across Multiple Projects Regarding Competency. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(12), 04020134. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001938](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001938)
- Senouci, A. B., & Eldin, N. N. (2004). Use of Genetic Algorithms in Resource Scheduling of Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(6), 869–877. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(2004\)130:6\(869\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(2004)130:6(869))

- Serpell B., A. (2002). Administracion de operaciones de construccion. *Alfaomega*, 296. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Shahbazi, B., Akbarnezhad, A., Rey, D., Ahmadian Fard Fini, A., & Loosemore, M. (2019). Optimization of job allocation in construction organizations to maximize workers' career development opportunities. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(6), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001652](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001652)
- Sing, C., Love, P. E. D., & Tam, C. M. (2012). Multiplier Model for Forecasting Manpower Demand. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(10), 1161–1168. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000529](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000529)
- Sing, M. C. P., Love, P. E. D., Edwards, D. J., & Liu, J. (2016). Dynamic Modeling of Workforce Planning for Infrastructure Projects. *Journal of Management in Engineering*, 32(6), 04016019. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000463](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000463)
- Soto Torres, M. D. (2006). *Métodos de optimización*. Delta Publicaciones. <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co:4259/es/ereader/uis/170144?page=4>. (2006).
- Su, Y., & Lucko, G. (2016). Linear scheduling with multiple crews based on line-of-balance and productivity scheduling method with singularity functions. *Automation in Construction*, 70, 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.011>
- Tomczak, M. (2019). Modeling of the harmonization method for executing a multi-unit construction project. *Open Engineering*, 9(1), 282–291. <https://doi.org/10.1515/eng-2019-0036>
- Zhang, L., Zou, X., & Kan, Z. (2014). Improved Strategy for Resource Allocation in Repetitive Projects Considering the Learning Effect. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(11), 04014053. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0000896](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0000896)
- Zou, X., Fang, S.-C., Huang, Y.-S., & Zhang, L.-H. (2017). Mixed-Integer Linear Programming Approach for Scheduling Repetitive Projects with Time-Cost Trade-Off Consideration. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(3), 06016003. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000641](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000641)

Zou, X., Zhang, Q., & Zhang, L. (2018). Modeling and Solving the Deadline Satisfaction Problem in Line-of-Balance Scheduling. *Journal of Management in Engineering*, 34(1), 04017044. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000565](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000565)