

Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos.

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN

Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos

Llevado a cabo por el estudiante:

Ramírez Salas Pablo César,

Carné: 2015116526

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador el jueves 25 de agosto de 2022 como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

En fe de lo anterior firman los siguientes integrantes del Tribunal evaluador:

GUSTAVO
ADOLFO
ROJAS MOYA
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por GUSTAVO
ADOLFO ROJAS MOYA
(FIRMA)
Fecha: 2022.08.26
15:36:24 -06'00'

Ing. Gustavo Rojas Moya, MSc.
Director de la Escuela

MIGUEL FRANCISCO
ARTAVIA
ALVARADO (FIRMA)

Firmado digitalmente por
MIGUEL FRANCISCO ARTAVIA
ALVARADO (FIRMA)
Fecha: 2022.08.26 09:08:27
-06'00'

Ing. Miguel Artavia Alvarado, MAP
Profesor Guía

LUIS GUSTAVO
ROJAS CHACON
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por LUIS GUSTAVO
ROJAS CHACON (FIRMA)
Fecha: 2022.08.26
11:47:01 -06'00'

Ing. Luis Gustavo Rojas Ch., MAP
Profesor Lector

MILTON ANTONIO
SANDOVAL
QUIROS (FIRMA)

Firmado digitalmente por
MILTON ANTONIO
SANDOVAL QUIROS (FIRMA)
Fecha: 2022.08.25 19:49:27
-06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MBA
Profesor Observador

Abstract

The following report is related to the theme of construction processes, specifically with the measurement and analysis of productivity.

The main objective was to propose a guide for the measurement and analysis of productivity in construction projects to be used as a general tool and that is adapted to the conditions of each project, compiling information on mechanisms used and factors involved, in addition to carrying out use of the subject in research, studies or graduation projects available and related to the subject. In the same way, the information obtained in the university career courses was taken as theoretical material, a theoretical investigation was also developed and the implementation of an interview with construction companies focused on knowing if detection was carried out and on the good practices of measurement and analysis. productivity that allows to have a point of comparison with the study of research carried out.

Thanks to the above, it will be determined to determine the mechanisms for measuring productivity and calculating yields, ways to identify the factors that reduce productivity, make a proposal for improvement through the presentation of good practices, managing to collect everything in a guide for the measurement, presentation, and interpretation of results.

Keywords:

Productivity, Construction processes, Performance.

Resumen

El siguiente informe está relacionado con la temática de los procesos constructivos, específicamente con la medición y análisis de la productividad.

El objetivo principal fue proponer una guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos para ser utilizada como herramienta de carácter general y que se adapte a las condiciones de cada proyecto recopilando información sobre mecanismos utilizados y factores involucrados, además llevar a cabo un aprovechamiento de la materia en investigaciones, estudios o proyectos de graduación disponibles y relacionados al tema. De igual manera se utilizó como material teórico la información obtenida en los cursos de la carrera universitaria, también se desarrolló una investigación teórica y la implementación de una entrevista a empresas constructoras enfocada en conocer si se realizan mediciones y sobre las buenas prácticas de medición y análisis de la productividad que permita tener un punto de comparación con el estudio de investigaciones realizadas.

Gracias a lo anterior se logró determinar los mecanismos de medición de la productividad y el cálculo de rendimientos, formas de identificar los factores que afectan la productividad, realizar una propuesta de mejora mediante la presentación de buenas prácticas, logrando recopilar todo en una guía para la medición, presentación e interpretación de resultados.

Palabras clave:

Productividad, Procesos constructivos, Rendimientos.

Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos.

Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos.

PABLO CÉSAR RAMÍREZ SALAS

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Junio del 2022

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	3
Marco Teórico	4
Metodología	14
Resultados	17
Análisis de los resultados.....	55
Conclusiones.....	63
Recomendaciones	64
Referencias.....	65
Apéndice	67

Prefacio

En la actualidad, en el sector construcción existe una preocupación por aumentar la efectividad en los procesos constructivos, al igual que desarrollar una optimización de recursos tanto antes y durante la ejecución de una obra o proyecto.

Para conocer realmente la efectividad en los procesos se requiere de un estudio de la productividad y así mediante observaciones, toma de datos y recolección de información se podrá descubrir los diferentes factores que provocan tiempos muertos o improductivos que atrasan la realización de estos, disminuyendo la eficiencia y eficacia durante la ejecución de las actividades que componen los procesos.

Por ello, el objetivo principal de este proyecto es proponer una guía de medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos para ser utilizada como herramienta de carácter general y que se adapte a las condiciones de cada proyecto realizando una recolección de la materia disponible sobre estudios y resultados relacionados a la medición de la productividad, al igual que una recolección de materia teórica y buenas prácticas relacionados al tema. Una vez realizado lo anterior se plantea desarrollar una comparación de los mecanismos utilizados, forma de obtención de datos y conclusiones desarrolladas, para así tener claro cómo desarrollar un correcto análisis de la productividad y poder generar una guía en donde se indiquen todos los pasos a seguir para desarrollar un correcto análisis, búsqueda de factores y brindar acciones correctivas o de mejoramiento para aumentar la efectividad en los proyectos constructivos, de igual forma también se presentará el procedimiento para el cálculo de rendimientos y diferentes plantillas para ser utilizadas para el desarrollo del análisis.

Agradecimientos

Agradezco a Dios que me dio salud y perseverancia para completar mi carrera universitaria, de igual manera quiero agradecer a mi familia por su apoyo incondicional, por creer en mí y brindarme su amor y compañía

A los profesores de la carrera de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica, principalmente a mi profesor guía el Ingeniero Miguel Artavia Alvarado por el apoyo y supervisión brindada durante el desarrollo de este proyecto.

Resumen ejecutivo

El proyecto llevado a cabo consistió en el desarrollo de una propuesta de una guía para la medición y análisis de la productividad para ser utilizada como herramienta de carácter general y que se adapte a las diferentes condiciones presentes en proyectos de construcción.

Para lograr cumplir con este objetivo primeramente se realizó una búsqueda de información relacionada al tema en investigaciones, artículos, estudios y proyectos de graduación elaborados, posteriormente se realizó una selección del material recolectado y se le brindó un enfoque más selectivo, se optó por realizar un aprovechamiento únicamente de material realizado en los proyectos de graduación de compañeros de la misma carrera presentadas en años anteriores e investigaciones o herramientas elaboradas por parte de la escuela de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica, limitando el proceder de la información para tener un punto de comparación y además notar la evolución que ha tenido la escuela en el tema con el pasar de los años.

Una vez llevado a cabo la selección de la información se realizó una recolección teórica con materia reunida de los cursos relacionados al tema que se imparten en la escuela, de igual manera se desarrolló una investigación y una entrevista a diferentes empresas constructoras sobre la teoría relacionada con la productividad, mecanismos de medición, factores involucrados y buenas prácticas. De este modo al tener una investigación teórica y otra puesta en práctica en los proyectos de graduación y en las empresas consultadas se realizó una comparación para visualizar los mecanismos utilizados y determinar cómo realizar un correcto análisis de la productividad.

Al tener claro lo anterior se desarrolló el documento de la guía como tal, con la información obtenida se descubrió que para realizar un correcto análisis se debe de llevar una serie de

pasos, para ello la parte relacionada al análisis de la productividad como tal se dividió en 7 secciones, las cuales fueron: Selección de actividades críticas, representación gráfica de los procesos constructivos, mecanismos para la medición de la productividad, presentación de resultados, factores que afectan la productividad y mejoramiento de la productividad. Dentro de la guía se incluyó una sección para el prefacio, una descripción de la productividad, así como los diferentes tiempos presentes en los procesos, herramientas de mejoramiento y una sección donde se explica cómo llevar a cabo el cálculo de los rendimientos, también en la sección de anexos se adjuntaron una serie de plantillas, listas de verificación, preguntas para formular entrevistas y otras propuestas para ser utilizadas como base para el correcto desarrollo del análisis en los proyectos del usuario. Dentro de lo recopilado presente en la guía destacan los pasos de recolección de información, confección de cuadros, clasificación y selección de actividades, realización de diferentes diagramas y utilización de herramientas para representación gráfica como por ejemplo el diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa, diagramas de flujo, ciclos de procesos. En el tema de los mecanismos para la medición se detalló las 3 técnicas recomendadas para el análisis, desde la creación de la plantilla para la medición, obtención de resultados hasta la clasificación de la actividad en estudio.

Por último, se presentó la forma de obtención de los factores que intervienen en los procesos que provocan una disminución de la efectividad y se presentó una propuesta de mejoramiento de los procesos mediante la implementación de buenas prácticas según los factores encontrados a la hora de implementar la guía, tanto en la mano de obra, materiales, herramientas y equipo, diseño de sitio y factores externos que intervienen.

Introducción

El costo de la mano de obra es un factor de importancia en todo proyecto constructivo y representa un alto porcentaje del costo total del proyecto, para el desarrollo de los diferentes procesos es necesario tomar en cuenta la productividad con la que se realizan y el rendimiento generado. Estos temas se han desarrollado en investigaciones científicas donde se muestra la existencia de una falta de planificación en las obras reflejándose durante la ejecución. En nuestro país se han llevado a cabo investigaciones y proyectos de graduación relacionados al tema, cuantificando el rendimiento y productividad mediante un análisis en los procesos constructivos.

El control de productividad en la construcción es un factor que debe ser tomado en cuenta y ver como prioridad el mejorar los tiempos de ejecución en los procesos constructivos ahorrando recursos y logrando disminuir los gastos innecesarios. Es necesario generar conciencia de la importancia de llevar un mayor control y procurar que los procesos se vuelvan óptimos para alcanzar la eficiencia y eficacia deseadas.

La mayoría de los estudios son desarrollados para procesos y tareas específicas, de este modo sería beneficioso la existencia de una herramienta que sea de carácter general que englobe la medición y presente una propuesta de mejora en los diferentes procesos, además que sea accesible y que ayude a la formación. Por lo general en los proyectos desarrollados por empresas reconocidas nacionalmente se invierten recursos para desarrollar estudios de este tipo, sin embargo, no son todas las empresas que cuentan con esta facilidad, no tienen la cultura de medición y evaluación, no cuentan con herramientas o simplemente no tienen conocimientos de cómo realizar las mediciones. El objetivo de este proyecto de graduación es realizar una propuesta de mejoramiento para la

medición de la productividad en los proyectos constructivos, en donde no solo se mostrarán la forma de medición sino también la forma de presentar y analizar los resultados, de igual manera se brindarán recomendaciones y actividades que ayuden a que la productividad sea mayor en estos procesos respondiendo a un estudio general independientemente del tamaño del proyecto, mediante el aprovechamiento de datos existentes productos de investigaciones realizadas en el tema.

Objetivos

Objetivo General

- ✓ Proponer una guía de medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos para ser utilizada como herramienta de carácter general y que se adapte a las condiciones de cada proyecto.

Objetivos Específicos

- ✓ Investigar la materia disponible sobre estudios y resultados relacionados a la medición de productividad para recopilar información sobre mecanismos utilizados y factores involucrados.
- ✓ Desarrollar una investigación teórica acerca de las buenas prácticas de medición y análisis de la productividad que permita tener un punto de comparación con el estudio de investigaciones realizadas.
- ✓ Diseñar una guía para la medición, presentación e interpretación de resultados según la recopilación de información.

Marco Teórico

El presente capítulo tiene como finalidad mostrar al lector definiciones y conceptos útiles para poder adentrarse en el cuerpo del proyecto de investigación, de esta manera ayudar al lector a comprender los conocimientos teóricos disponibles sobre el tema.

Primeramente, para poder lograr el objetivo principal de este proyecto se debe de tener claro el concepto de “Guía” y lo que engloba, este se define como “algo que orienta o dirige algo hacia un objetivo mostrando una secuencia de pasos con el propicito de que una empresa, organización o área consiga realizar una función determinada” (Real Academia Española, 2022). Entendiendo lo anterior es importante tener presente que se debe llevar una secuencia lógica y generar información que sea sencilla de comprender y de una forma puntual.

Para profundizar en el tema principal el cual corresponde a la medición y análisis de la productividad se debe comprender una serie de conceptos que están completamente relacionados entre sí, tal es el caso de proceso, calidad, eficiencia, eficacia y efectividad.

Proceso

El ser humano a lo largo de su existencia ha percibido una necesidad de diseñar procesos teniendo como objetivo el cumplimiento de los requerimientos planteados para el desarrollo de una actividad en específico.

Este término se da a entender como el “conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial dando lugar a la necesidad de crear o diseñar fases las cuales se deberán realizar sucesivamente para obtener lo deseado” (RAE, 2022), es decir corresponde a una secuencia de tareas que se desarrollan una seguida de otra para alcanzar un objetivo o fin concreto.

Proceso Constructivo

Una vez comprendido el concepto de proceso éste se puede ligar al sector constructivo siendo el “conjunto de fases, sucesivas o solapadas en el tiempo, pero con un enfoque a la materialización de una estructura ya sea una vivienda, edificio o propiamente el desarrollo de una obra de infraestructura involucrando temas de recursos humanos, equipos, materiales y tecnología”. (Leandro, 2018).

Según la publicación de Carro, R. y González, D (2015). la cual se basa en la administración de las operaciones existen diferentes tipos de procesos a nivel global dentro de los cuales algunos tipos pueden emplearse en el ambiente constructivo, entre estos se encuentran los procesos en línea, procesos intermitentes y procesos por proyecto.

Procesos en línea

Corresponden a los procesos que se desarrollan de manera lineal, es decir los recursos están ordenados siguiendo un orden establecido para la obtención del producto o actividad.

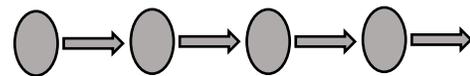


Figura 1. Proceso en línea.
Fuente: Elaboración propia.

Procesos intermitentes

Estos procesos hacen referencia a la producción de una actividad o producto mediante el ingreso de recursos de manera segregada es decir los procesos no siguen una línea establecida, pueden desarrollarse varias tareas simultánea o paralelamente para después conformar el producto deseado.

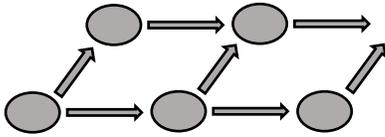


Figura 2. Proceso intermitente.

Fuente: Elaboración propia.

Procesos por proyecto o tarea

La finalidad de este tipo de proceso es trabajar en un solo flujo mediante la implementación de tareas realizadas paralela o linealmente, de esta manera permite el desarrollo de más actividades dentro de una misma tarea.

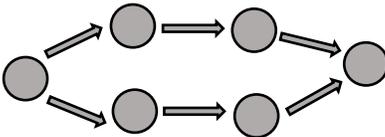


Figura 3. Proceso por proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Calidad

Este concepto es de carácter cualitativo y subjetivo, hace referencia a la “capacidad que posee un objeto o acción para satisfacer las necesidades ya sean implícitas o explícitas según una serie de parámetros de cumplimiento”. (RAE, 2022).

Al ser de tipo subjetivo como se mencionó anteriormente la calidad está directamente relacionada con las percepciones que posee cada individuo y su método para comparar una cosa con cualquier otra, siempre y cuando ambas cosas sean de una misma especie incluyendo criterios, medidas y requisitos para satisfacer las necesidades del usuario evitando la creación de defectos.

Eficiencia, Eficacia, Efectividad

La Eficiencia es la “capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado” (Leandro, 2018), es decir consiste

en alcanzar las metas establecidas. Este concepto consiste en lograr hacer bien las cosas teniendo una relación directa en el “cómo” se realizan.

Por su parte la eficacia consiste en la “capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera” (Leandro, 2018), este concepto está ligado directamente con la forma de realizar las acciones, específicamente en el intentar realizarlas de la mejor manera posible teniendo una relación con el “qué” cosas se realizan.

La efectividad se puede interpretar como la mezcla perfecta de los conceptos anteriores, es decir el “conseguir las metas con el uso de recursos mínimos” (Leandro, 2018), este concepto tiene una relación directa con el hacer bien las cosas correctas, para ello deben de aplicarse la eficiencia y la eficacia teniendo en cuenta el “qué” de la eficacia y el “cómo” de la eficiencia.

Productividad

La productividad hace referencia a la “eficiencia con que los recursos son utilizados para completar un producto o actividad en específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado” (Serpell, 1986). Este término engloba todos los conceptos anteriormente presentados. Es importante mencionar la relación que debe de haber entre el resultado que se obtuvo con los recursos utilizados, ya que entre más recursos se requieran y se utilicen para obtener un mismo resultado habrá una menor productividad, en cambio a menor recursos utilizados para la obtención de los resultados mayor será la productividad, lo anterior se puede representar con la siguiente relación entre resultados y recursos.

$$Productividad = \frac{Resultados\ logrados}{Recursos\ empleados}$$

Como se nota en la ecuación anterior la productividad es el resultado de la relación entre lo producido y lo invertido, también se puede observar que, para los resultados logrados, así como para los recursos utilizados la eficiencia, eficacia, efectividad, calidad y el lapso con que los recursos son administrados y aprovechados juegan cada uno un papel fundamental que debe ser considerados a la hora de realizar algún producto o actividad.

El siguiente esquema hace referencia a la relación que permite visualizar los posibles escenarios debido a la efectividad y eficiencia presentes para obtener los resultados o metas logradas mediante la utilización de recursos, en donde:

$$Eficiencia = \frac{Recurso\ estimado}{Recurso\ empleado} \times 100$$

$$Efectividad = \frac{Producción\ real}{Producción\ planeada} \times 100$$

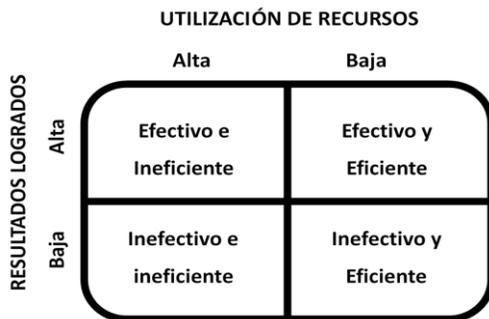


Figura 4. Utilización de recursos.
Fuente: Elaboración propia

Productividad de los recursos en los procesos constructivos

Los procesos constructivos están conformados principalmente por tres recursos, el recurso humano que está representado por la mano de obra, este recurso toma el papel principal debido a que siempre se requiere de la participación de las personas para hacer posible la ejecución de las obras. La productividad de la mano de obra mide las cantidades producidas con relación a las Horas Hombre empleadas en una determinada actividad.

$$Productividad\ M.O. = \frac{Producción}{Horas\ Hombre\ empleadas}$$

Otro recurso presente en los procesos constructivos es el recurso material, este contempla la materia prima necesaria para desarrollar los procesos. La productividad de los materiales mide las cantidades producidas con relación al material utilizado para una determinada actividad.

$$Productividad\ Mat = \frac{Unidades\ de\ construcción}{Cantidad\ de\ materiales}$$

Por último, se presenta el recurso de ejecución conformado por la maquinaria, equipo, herramientas que ayudan al desarrollo de las actividades para el desarrollo de los diferentes proyectos constructivos. Este recurso cuantifica la producción y las Horas Máquina que emplea cada equipo para realizar un determinado trabajo.

$$Productividad\ EQ = \frac{Producción}{Horas\ Maquina\ empleadas}$$

Utilizando las ecuaciones anteriores se puede determinar la productividad total de los recursos utilizados en los diferentes procesos constructivos cuantificando la mano de obra, equipos y materiales utilizados para realizar una determinada unidad de producción.

Tiempos en los procesos constructivos

Tiempo productivo

El tiempo productivo es el “lapso empleado por el trabajador en la producción de una unidad de producción, donde por medio de actividades humanas se producen bienes o servicios consumiendo la mínima cantidad de recursos y desarrollando una producción efectiva” (Botero y Álvarez, 2003). En el ámbito de la construcción estos tiempos contemplan las labores que aportan en forma directa al avance de la obra como por ejemplo la creación de los cimientos, colocación de bloques, entrepiso entre otros.

Tiempo improductivo

Este tipo de tiempo no le añade ningún valor al trabajo realizado por lo cual no genera ganancia económica, por lo contrario, “estos tiempos son consideradas como perdidas ya que no aportan nada en la ejecución del proyecto, este tipo de tiempo impide que se ejecuten los procesos de una forma eficaz” (Botero y Álvarez, 2003), por ejemplo, los tiempos de espera, ocio, descanso, entre otros.

Tiempo contributivo

El tiempo contributivo es “aquel tiempo que se invierte en la realización de una actividad pero que no genera nada a la actividad” (Botero y Álvarez, 2003), este tiempo es necesario para poder llevar a cabo la tarea al ser un tiempo que emplean los trabajadores realizando labores de apoyo necesarias para la ejecución de la actividad productiva, por ejemplo, el transporte, preparación, medición, limpieza, seguridad, entre otros.

Técnicas de medición de la productividad

Existen 2 tipos de técnicas para realizar la medición de la productividad en los procesos constructivos, existen las técnicas cualitativas las cuales se utilizan para la obtención de información sobre las causas que producen baja productividad en los proyectos de construcción tales como encuestas y entrevistas. Por otro lado, se encuentran las técnicas cuantitativas las cuales son métodos de investigación sistemáticos y estadísticos que recogen información como el caso de las técnicas Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance estas técnicas utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables mediante la realización de un muestreo de campo.

Algunas recomendaciones al llevar a cabo estas técnicas cuantitativas para que los resultados sean válidos y representativos son:

No realizar las observaciones:

- 30 minutos después de llegar y antes de salir
- 30 minutos antes y después de la merienda y el almuerzo

Para los métodos en general es importante indicar los siguientes datos, ya que estos son importantes dado que existen diferentes factores externos que pueden afectar la productividad y deben de ser indicados:

- Nombre de la actividad
- Fecha
- Hora de inicio

- Tamaño de la cuadrilla
- Temperatura
- Humedad
- Clima

Work Sampling

“Esta técnica consiste en realizar una serie de observaciones a un grupo de trabajadores por un tiempo determinado para así analizar las acciones realizadas durante el periodo de medición” (Leandro, 2018). Una vez realizadas las observaciones se pueden identificar las causas que producen que el proceso sea poco productivo o inclusive improductivo y si se requieren más personas dentro de la cuadrilla o por el contrario si se requiere en realidad menos personas de las asignadas para llevar a cabo la tarea. Además, resulta importante mencionar que al tratarse de muestreos aleatorios los resultados pueden no ser exactos o al no contar con suficientes observaciones las cifras pueden no ser significativas para realizar posteriormente un correcto análisis, por lo que se recomienda para el sector constructivo realizar un total de 385 observaciones para lograr obtener un 95% de confianza.

Este método tiene como base una teoría estadística de muestreo cuyo principal fin es observar de manera aleatoria un proceso constructivo en un lapso definido para analizar los datos en base a esas observaciones y dar a conocer que tan productivo fue el proceso realizado.

Five Minutes Rating

“Este método es considerado como un estudio de muestreo del trabajo, estos permiten evaluar de forma rápida el nivel de productividad de una cuadrilla de trabajadores que llevan a cabo un proceso en específico” (Leandro, 2018). Los resultados obtenidos son subjetivos porque dependen del criterio de cada observador, sin embargo, estas observaciones son válidas para crear una base para establecer criterios y conclusiones relacionadas a la productividad con la que se llevó a cabo el proceso.

Como lo indica su nombre este método se basa en mediciones en un lapso de 5 minutos, dichos lapsos pueden ser definidos en función de

la duración o la complejidad del proceso constructivo, por lo que el lapso del tiempo puede variar un poco e inclusive puede emplearse 10 minutos o más tiempo en cada observación.

Para el desarrollo de las observaciones es importante emplear algún método de descripción o identificación de los miembros de la cuadrilla de trabajo, esto con el fin de llevar un mejor orden a la hora de realizar las observaciones individuales y no mezclar datos obtenidos entre los trabajadores, pueden ser características físicas, color de la vestimenta o implementos de seguridad, entre otras.

Crew Balance

“Este método consiste en una representación de tiempos y movimientos, mediante un seguimiento simultáneo de cada miembro de la cuadrilla con el fin de observar cómo se lleva a cabo el proceso por cada miembro” (Leandro, 2018). para ello es necesario realizar observaciones y anotar los tiempos productivos, contributivos y tiempos no productivos de cada trabajador, permitiendo determinar niveles de eficiencia en el trabajo llevado a cabo mediante descripción de las actividades, tareas o técnicas empleadas. Por temas de facilidad se recomienda tomar nota en 5 principales categorías: trabajar, esperar, ausente, conversar y desplazamiento de materiales.

Una vez obtenidos los datos de las observaciones se procede a elaborar un gráfico de barras vertical donde se muestre las acciones de la cuadrilla en el tiempo de observación. En el eje horizontal se coloca a cada uno de los trabajadores de la cuadrilla y en el eje vertical se coloca la duración de cada una de las actividades del trabajador en el tiempo de observación.

Este método ayuda para realizar una comparación de las efectividades entre los miembros de una cuadrilla y los equipos necesarios para realizar un proceso mediante la toma de tiempos.

Herramientas para el análisis

Existen diferentes herramientas que mediante una representación gráfica permiten un mejor análisis de los datos relacionados a la productividad, entre estos destacan una herramienta que ayuda a analizar el grado de criticidad de los procesos, otra

herramienta que permite representar la cadena de actividades que se requieren para realizar un proceso y por último una herramienta que permite representar las causas y efectos relacionados a los factores que afectan la productividad.

Diagrama de Pareto

“El diagrama de Pareto es un tipo de gráfico de barras fue creado por un ingeniero, economista, sociólogo y filósofo italiano, este gráfico organiza los datos de forma descendente de izquierda a derecha y en función de su prioridad” (Leandro, 2018). Este diagrama se basa en la ley de Pareto la cual estipula que el 80% de las actividades que se realizan son triviales y solo suponen un 20% del resultado y a la inversa. Por tanto, es a las segundas a las que hay que dedicar un mayor esfuerzo, es decir al establecerse dos grupos de proporciones 80-20, el menor grupo correspondiente al 20% de las causas son los responsables del 80% de las consecuencias o, dicho de otra forma, el 80% de las consecuencias provienen del 20% de las causas.

Pasos para elaborar el diagrama de Pareto

1. Determinar el problema, situación o fenómeno a analizar.
2. Determinar el entorno, causas, elementos.
3. Recolección de Datos.
4. Ordenar de forma Descendente.
5. Realizar Cálculos, Calcular el % de participación, los acumulados y % acumulado.
6. Graficar Causas: En el eje X las causas, en el eje Y izquierdo la frecuencia de las causas.
7. Graficar curva de % Acumulada: En el eje Y derecho el acumulado de 0 a 100%.
8. Realizar una curva acumulada sobre las barras de frecuencia.
9. Dividir Gráfico: Trazar una recta vertical sobre el gráfico, que separe a la izquierda el 80% acumulado y el resto al lado derecho.
10. Analizar el Gráfico.

A continuación, se presenta una representación de un diagrama de Pareto:

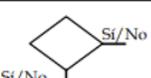
Símbolo	Significado	¿Para que se utiliza?
	Inicio / Fin	Indica el inicio y el final del diagrama de flujo.
	Operación / Actividad	Símbolo de proceso, representa la realización de una operación o actividad relativas a un procedimiento.
	Documento	Representa cualquier tipo de documento que entra, se utilice, se genere o salga del procedimiento.
	Datos	Indica la salida y entrada de datos.
	Almacenamiento / Archivo	Indica el depósito permanente de un documento o información dentro de un archivo.
	Decisión	Indica un punto dentro del flujo en que son posibles varios caminos alternativos.
	Líneas de flujo	Conecta los símbolos señalando el orden en que se deben realizar las distintas operaciones.
	Conector	Conector dentro de página. Representa la continuidad del diagrama dentro de la misma página. Enlaza dos pasos no consecutivos en una misma página.
	Conector de página	Representa la continuidad del diagrama en otra página. Representa una conexión o enlace con otra hoja diferente en la que continua el diagrama de flujo.

Figura 7. Simbología diagrama de flujo.
Fuente: Vela D. (2009)

Actividad	Símbolo	Descripción
Operación		Tarea elemental de transformación o utilización de recursos.
Traslado		Movimiento de recursos de una zona de trabajo a otra.
Demora		Representa la espera de un recurso.
Almacenamiento		Ubicación de recursos en espera en zonas planificadas para abastecimiento.
Inspección		Punto de inspección del trabajo confeccionado.

Figura 9. Simbología diagrama de recorrido.
Fuente: Serpell. (1990)

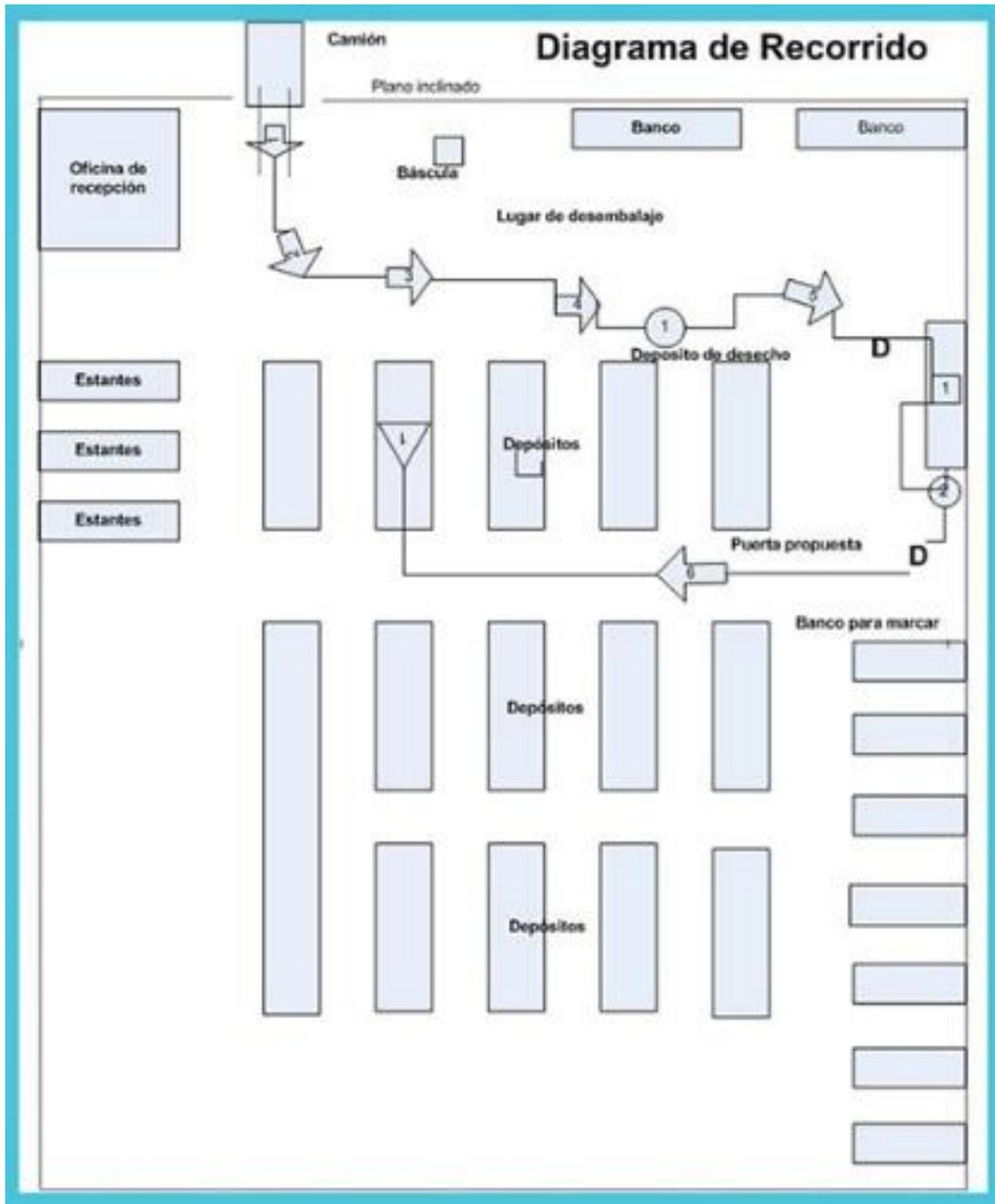


Figura 8. Representación diagrama de recorrido.
Fuente: Kanawaty (1996)

Diagrama de Ishikawa

El Diagrama Causa-Efecto es llamado usualmente “Diagrama de Ishikawa”, esta herramienta fue creada por Kaoru Ishikawa para el análisis de los problemas relacionados a la calidad en los procesos, “la finalidad de este diagrama es representar de forma gráfica y ordenada la relación entre un efecto o problema y todas las posibles causas que lo ocasionan” (Leandro, 2018), de esta manera sabiendo estas causas se podrán plantear acciones correctivas.

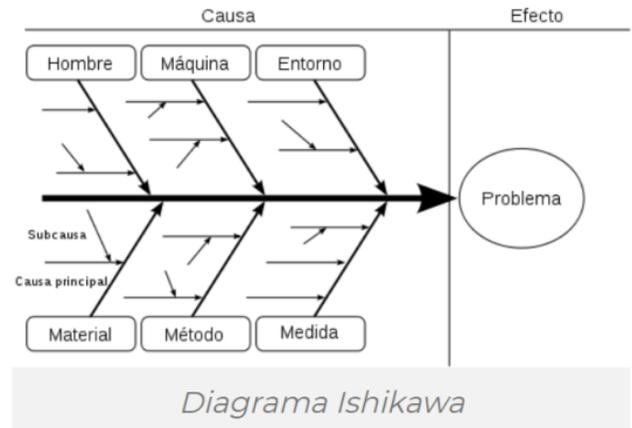


Figura 10. Representación diagrama de Ishikawa.

Fuente: Diaz G. (2021)

Mapas de flujo de valor

Según Ceupe (2021), los mapas de flujo de valor son una técnica de producción lean en donde se desarrollan actividades y representaciones para analizar, diseñar y gestionar el flujo de materiales e información. Esta representación al igual que las herramientas anteriores utiliza un sistema de símbolos estándar para representar diversos procesos de trabajo y flujos de información.

Esta herramienta la herramienta tiene como objetivo mostrar los lugares donde se puede mejorar el proceso a través de la visualización de los pasos que agregan valor como aquellos que crean desperdicio, para ello se debe de mostrar cada paso importante del flujo de trabajo y evaluar cómo este aporta en términos de valor, para posteriormente analizar el proceso a profundidad y realizar cambios y mejoras en la forma de realización de estos.

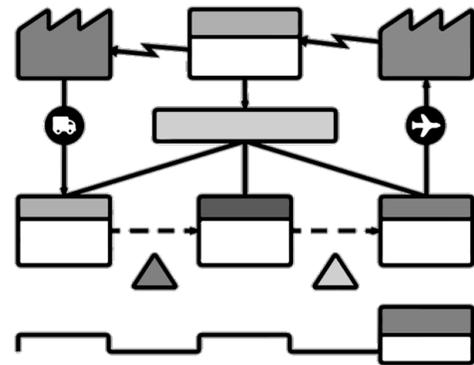


Figura 11. Representación Flujo de valor

Fuente: Ceupe (2021)

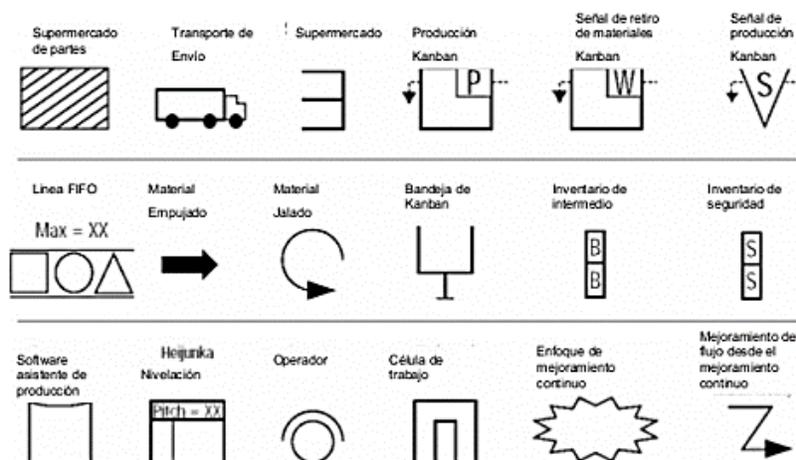


Figura 12. Simbología mapa flujo de valor

Fuente: Ceupe (2021)

Factores

Según la investigación realizada por Botero & Álvarez (2003) en la identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción los factores que perjudican la productividad en los procesos se resumen en 7 categorías principales: Economía General, Aspectos Laborales, Clima, Actividad, Equipamiento, Supervisión y Estado del trabajador.

La economía general está ligada con la abundancia de construcciones, buenas tendencias, resultados económicos y la dificultad para conseguir mano de obra calificada y competente.

Los aspectos laborales están relacionados al sentimiento de estabilidad laboral esto depende del tipo de contrato, incentivos, pagos injustos o inclusive falta de seguro social. Dentro de esta categoría el ambiente de trabajo creado a partir de la relación con los otros trabajadores influye de manera directa.

El clima es un factor que puede afectar negativamente la productividad, debido a las altas temperaturas, porcentaje de humedad alto, mal estado del tiempo, condiciones climáticas inexactas y las condiciones que presenta el tipo de suelo, estos factores toman un papel fundamental dentro de esta categoría.

En temas de la actividad a realizar la productividad tiene una relación con el grado de dificultad, posibles riesgos laborales, el orden y aseo en la zona de trabajo. Por otro lado, la supervisión constante durante la ejecución de los procesos juega un papel fundamental al igual que el chequeo del estado de los equipos y maquinarias de trabajo, ya que ante posibles fallas de la maquinaria y equipo por falta de constante mantenimiento podría verse afectada la productividad.

El estado del trabajador va ligado a posibles problemas personales que enfrenta el trabajador, también es importante considerar el alto ritmo de trabajo o la falta de habilidad o capacitación. Estos factores perjudican el estado del ánimo del trabajador y por ende afectan negativamente la efectividad y la productividad en la jornada laboral, por lo tanto, es importante estar atento ante posibles acciones o comportamiento de los trabajadores.

Rendimiento

El rendimiento es la “cantidad de obra de alguna actividad completamente ejecutada por una cuadrilla (conformada por uno o varios operarios de diferentes especialidades) por la unidad de medida de la actividad en Horas Hombre correspondiente al recurso humano” (Leandro, 2018), lo anterior hace referencia al tiempo que requiere un trabajador especializado o no, para realizar una labor determinada expresada en Horas hombre, Horas Operario, Horas Ayudante, Horas Peón, dependiendo del recurso que realice la actividad.

Cálculo del rendimiento

Paso 1: Cálculo Horas Hombre por actividad.

$$HH = t * \#operarios + t * \#ayudantes + t * \#peones + t * \# \dots$$

Donde:

t = tiempo en horas

Paso 2: Calculo de rendimiento.

$$Rm = \frac{HH}{C}$$

Donde:

Rm = rendimiento medio.

HH = Horas Hombre.

C = Cantidad de trabajo.

Paso 3: Calculo de rendimiento promedio

$$Rprom = \frac{\Sigma Rm}{n}$$

Donde:

Rprom = Rendimiento promedio.

ΣRm = Sumatorio rendimiento medio

n = Número de muestreos en campo realizados

Paso 4: Cálculo del factor del tiempo muerto

$$Tm = \frac{Tim}{(Hj - Tim)}$$

Donde:

Tm = Tiempo muerto

Tim = Tiempo improductivo

Hj= Duración de la jornada

Paso 5: Cálculo rendimiento final

$$RF = Rprom * (1 + Tm)$$

Metodología

En el siguiente capítulo se muestra la metodología empleada para el desarrollo de los objetivos planteados, en donde se explica el paso a paso de la forma en que se desarrollaron las actividades, el tipo de investigación, sujetos y fuentes de información, así como las técnicas de investigación utilizadas para la recolección y análisis de datos.

El proyecto realizado comprendió una investigación e interpretación de datos como objeto de estudio. Los objetivos planteados requerían buscar material, instrumentos y métodos para conocer la forma de obtención de datos en la medición de la productividad para realizar un respectivo análisis. Teniendo en cuenta lo anterior se realizó una recolección de datos y una propuesta de guía de implementación en estos temas solucionando aspectos como entendimiento, facilidad y agilidad.

Con el objetivo de investigar la materia disponible sobre estudios y resultados relacionados a la medición de productividad se implementó un enfoque cuantitativo, debido a la utilización de datos concisos obtenidos en la recolección y análisis. Para cumplir con este objetivo se realizó una recolección de información mediante el estudio y recopilación de investigaciones, artículos científicos, proyectos de graduación, tesis, estudios realizados en torno a la productividad en la construcción, tomando como base los principales antecedentes concernientes a mediciones y análisis de la productividad. Dentro de las investigaciones tomadas como referencia destacaron análisis de procesos constructivos, análisis de productividad, cuantificación de rendimientos, estudios de rendimientos y control de costos, análisis de rendimientos de mano de obra y equipos, mejoramientos de la productividad, mediciones y presentación de propuestas de mejoras, manuales de buenas prácticas a emplear, verificaciones de calidad en el desarrollo de los procesos constructivos, entre otros.

Realizando un estudio de lo anterior se obtuvo la información necesaria de cómo se

desarrollaron cálculos, cuales métodos fueron empleados, resultados obtenidos, análisis de estos y principales conclusiones. Además se detectó que para la realización del análisis de productividad se debe de seguir una serie de pasos iniciando por la selección de actividades mediante un estudio económico, realización de representaciones gráficas para mejorar la comprensión y representación de los procesos, mecanismos utilizados para medición y presentación de resultados, factores que afectan la productividad mediante la observación o emplear entrevistas a empleados y/o encargados, así como la aplicación de medidas correctivas para realizar un mejoramiento tanto en la productividad así como en los rendimientos en los proyectos constructivos.

En relación con la sistematización para el cumplimiento del primer objetivo se debió realizar un ordenamiento de la información recopilada esto con fin de verificar que la información obtenida cumpla con lo esperado, ya sean métodos de obtención de datos, mecanismos de análisis, factores que afecten la productividad o desventajas encontradas y de esta manera se desarrolló una interpretación crítica del material obtenido y se rechazó aquella información que no cumpla con lo deseado.

Para desarrollar el segundo objetivo específico de este proyecto el cual corresponde a realizar una investigación teórica acerca de las buenas prácticas de medición y análisis de la productividad que permita tener un punto de comparación con el estudio de investigaciones realizadas se trabajó con información teórica, para la cual se buscó la materia disponible en el tema que provenga de fuentes seguras o de autores reconocidos, los cuales han realizado investigaciones enfocadas en el tema, de esta manera el material recolectado tendrá un respaldo de credibilidad. También se utilizó la materia recolectada en los cursos de la carrera enfocados en el diseño de procesos constructivos, se logró tener acceso al material brindado por los diferentes

profesores que han enseñado la materia en los últimos 10 años. Toda la información anterior se analizó y gran cantidad de esta materia se presentó en el marco teórico de este documento, con el fin de ayudar al lector a comprender los conocimientos teóricos disponibles sobre el tema y que se tenga una idea de todo lo que está relacionado a la medición de la productividad, también se elaboró una verificación de los métodos utilizados mediante buenas prácticas en la obtención de datos y análisis de resultados de diferentes empresas constructoras consultadas mediante una entrevista realizada, ésta entrevista tuvo la finalidad de conocer aún más sobre la situación actual en las empresas en temas de medición e implementación de buenas prácticas que se deben de emplear a la hora de desarrollar un análisis de productividad, además de conocer específicamente si se realizan análisis dentro de las empresas, implementación de buenas prácticas empleadas dentro de cada empresa a la hora de llevar un control de la productividad, obtención de datos, mecanismos utilizados y análisis de resultados en el desarrollo de los procesos en los diferentes proyectos constructivos.

Las técnicas de recolección de para este objetivo abarcaron la implementación de la búsqueda de información teórica obtenida tanto en los apuntes de clases relacionadas al tema y el uso de entrevistas a diferentes empresas ya consolidadas, así como constructoras categorizadas como pequeñas empresas para conocerlo anteriormente mencionado, así como el conocimiento de algunos conceptos y herramientas, implementación de guías ya establecidas en la empresa, así como otros datos de importancia relacionados al tema.

En relación con la sistematización se llevó a cabo de una manera similar al objetivo anterior realizando un ordenamiento de la información obtenida, la cual contemplaba definiciones, métodos teóricos de obtención de datos, cálculos establecidos de rendimientos y factores que afecten la productividad. Al tener claro las bases teóricas se tuvo un fundamento para crear la propuesta de la guía. El análisis de datos en este objetivo fue de tipo comparativo, en donde se debió contrastar los métodos utilizados en las investigaciones consultadas y de donde se extrajo el material con los métodos establecidos teóricamente y de esta manera se establecieron los procedimientos adecuados y las demás

acciones correctivas a considerar ya sea a corto o mediano plazo para presentar una productividad alta.

Para cumplir y desarrollar el tercer objetivo específico del proyecto el cual consiste en diseñar la guía para la medición, presentación e interpretación de resultados según la recopilación de información el método de recolección de información se desarrolló mediante la comparación realizada de la información recopilada con la información teórica y la obtenida en las entrevistas, tomando en cuenta que para este punto se deben tener claro los métodos existentes, análisis de los datos obtenidos mediante la comprobación en las investigaciones o material recopilado y su correcto desarrollo de los análisis realizados.

Para elaborar esta guía se tomó en cuenta la forma de redacción, ya que ésta debe de ser entendible para el usuario y en donde no se generen dudas en los distintos pasos a seguir para desarrollar la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos, además se decidió presentar material teórico como definiciones de productividad, eficiencia y eficacia mediante la utilización de recursos y su comparativa con los resultados logrados, también se presentaron ecuaciones, tipos de tiempos presentes en los procesos constructivos, entre otras cosas.

Dentro de lo presentado en la guía se optó por emplear una serie de recomendaciones de tipo nota a lo largo de los pasos a seguir para desarrollar el análisis de la productividad, así como un ejemplo ficticio propuesto al inicio del documento, cuya finalidad es servir al usuario como ejemplo mediante la observación y comprensión del cómo realizar los diferentes pasos a seguir en sus propios proyectos.

Teniendo claro lo anterior el método empleado para la sistematización fue la unificación del material y sus debidos procedimientos, se procedió a crear la guía teniendo en cuenta todos los factores que se requieren para llevar a cabo la presentación de resultados, análisis de estos y afectaciones provocadas, así como presentar soluciones que ayuden a aumentar la productividad en los procesos constructivos.

Tipo de investigación

El tipo de investigación del presente proyecto se clasifica de carácter cualitativo tipo descriptivo, ya que el enfoque del proyecto consiste en la recolección de datos concisos, mecanismos, opiniones, técnicas empleadas entre otros datos.

Fuentes de Información

Para el caso de las fuentes de información utilizadas en la investigación destacan principalmente 2 tipos: las primarias y secundarias.

Las fuentes primarias también son conocidas como fuentes directas, ya que son las fuentes originales que brindan el aporte de la información relevante. En el caso del proyecto las fuentes directas corresponden al aprovechamiento de investigaciones, libros, bases de datos, estudios realizados, proyectos de graduación, todo lo anterior relacionado al tema de análisis y mejoramiento de la productividad. Además, dentro de la información primaria también destaca los datos obtenidos mediante la realización de entrevistas con el fin de verificar el conocimiento, implementación de buenas prácticas y mecanismos que se llevan a cabo dentro de las empresas consultadas.

Técnicas y herramientas para la recolección y análisis de datos

Revisión bibliográfica

Una revisión bibliográfica conlleva analizar y discutir artículos e informes, generalmente científicos y académicos, publicados en un área o tema en estudio. Para el caso del proyecto se desarrolló una investigación utilizando como base el aprovechamiento de la información encontradas en investigaciones, bases de datos, proyectos de graduación y estudios realizados en el tema y de la escuela de Ingeniería en Construcción.

Entrevistas

La entrevista en la investigación es uno de los métodos de recopilación de datos informativos. Este método permite recoger y analizar varios elementos: la opinión, la actitud, las representaciones de la persona entrevistada en un tema en específico. Las entrevistas pueden ser de tipo estructuradas o no estructuradas, siendo esta última conversaciones mantenidas con el propósito de recopilar datos sobre el estudio de investigación siendo poco rígidas en sus operaciones permitiendo a los participantes obtener y analizar resultados. Para el caso del proyecto se desarrollaron entrevistas a empresas ya consolidadas, así como a empresas pequeñas y en crecimiento encargadas de llevar a cabo proyectos de mediano y pequeño tamaño.

Método comparativo

El método comparativo de información de análisis de datos es una forma de generar o refutar teorías, mecanismos e hipótesis realizando comparaciones basadas en procedimientos, persiguiendo probar la validez de argumentos utilizando la ciencia y el estudio de semejanzas y diferencias. Este método fue de mucha importancia dentro de este proyecto ya que ayudó al análisis de la materia obtenida de las diferentes fuentes y permitió tener un panorama claro sobre los mecanismos idóneos que finalmente fueron utilizados para el desarrollo del objetivo general de este proyecto de graduación.

Resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos para cada objetivo planteado en el proyecto.

Al desarrollar el primer objetivo el cual consiste en investigar la materia disponible sobre estudios y resultados relacionados a la medición de productividad para recopilar información sobre mecanismos utilizados y factores involucrados se obtuvieron los siguientes resultados:

Según los estudios y análisis desarrollados en los proyectos de graduación e investigaciones consultadas se logró obtener información relevante del proceso que se emplea para la recolección de los datos y la forma en la que la información se analiza, cabe destacar que dentro de los documentos consultados existen análisis completos de productividad, cuantificación de rendimientos, propuestas de mejoramientos y análisis en procesos específicos.

Para llevar un control y lograr realizar una posterior comparación de lo aplicado con lo teóricamente establecido y así cumplir con el objetivo planteado se subdividió este objetivo en ocho secciones, esto con el fin de presentar el paso a paso del desarrollo del análisis de la productividad en los procesos constructivos llevados a cabo en los proyectos de graduación e investigaciones consultadas.

Las subdivisiones elaboradas son: selección de actividades críticas, representación gráfica de los procesos constructivos a analizar, mecanismos utilizados para la medición de la productividad, presentación de resultados, búsqueda de factores que afectan la productividad, representación gráfica de los factores, mejoramiento de la productividad, cálculo de rendimientos.

Dentro de cada subdivisión se presentan las diferentes figuras más representativas en relación con el tema en estudio, de esta manera se lleva a cabo una mejor visualización del cómo se desarrolla cada subtema en específico dentro de los diferentes proyectos e investigaciones que fueron tomadas como referencia.

Análisis de la productividad

Selección de actividades críticas

Para llevar a cabo la selección de las actividades que representan una mayor incidencia dentro de un proyecto tanto en el ámbito constructivo como en las actividades que generan un peso importante en el ámbito económico de los proyectos se realizaron diferentes análisis utilizando el diagrama de Pareto, este instrumento clasifica las actividades principales así como el peso de cada una sobre el presupuesto según su nivel de criticidad ya sea 1-2-3 o A-B-C, donde 1 o A es la mayor criticidad y C o 3 menor criticidad mostrando gráficamente la variación del costo según cada actividad y el porcentaje acumulado de cada una sobre el presupuesto general. Este diagrama tiene como finalidad ordenar las actividades en orden descendente de izquierda a derecha separados en forma de barras mostrando un orden de prioridades.

Dentro de los documentos consultados se presentaron algunos diagramas de Pareto en especial en las investigaciones que partieron desde el inicio de los proyectos, logrando visualizar las actividades críticas en las cuales debían enfocarse para realizar las observaciones y el cálculo de la productividad, en las otras investigaciones consultadas se realizaron los análisis de productividad en actividades específicas sin antes realizar un análisis de las actividades que representan una mayor criticidad, ya que en esos casos se concentraron propiamente en una o varias actividades en específico escogidas con anterioridad.

A continuación, se presentan los diagramas de Pareto elaborados dentro de los documentos consultados, cabe destacar que para desarrollar estos diagramas se requiere de un análisis económico previo:

CUADRO 2. COSTO TOTAL DE LAS ACTIVIDADES Y CLASIFICACIÓN A,B,C					
Actividad	Costo	Porcentaje	Acumulado	Tipo	
Columnas y muros estructurales	₡ 558.290.861,85	46,64	46,64	A	
Vigas de concreto	₡ 238.602.876,84	19,93	66,58	A	
Repello	₡ 173.081.322,44	14,46	81,04	B	
Entrepisos	₡ 149.071.087,77	12,45	93,49	B	
Paredes de mampostería de concreto y arcilla	₡ 77.860.550,93	6,51	100,00	C	
Total	₡ 1.196.906.699,83	100,00			

Figura 13. Análisis económico para edificio TIC'S
Fuente: Camacho D. (2016)

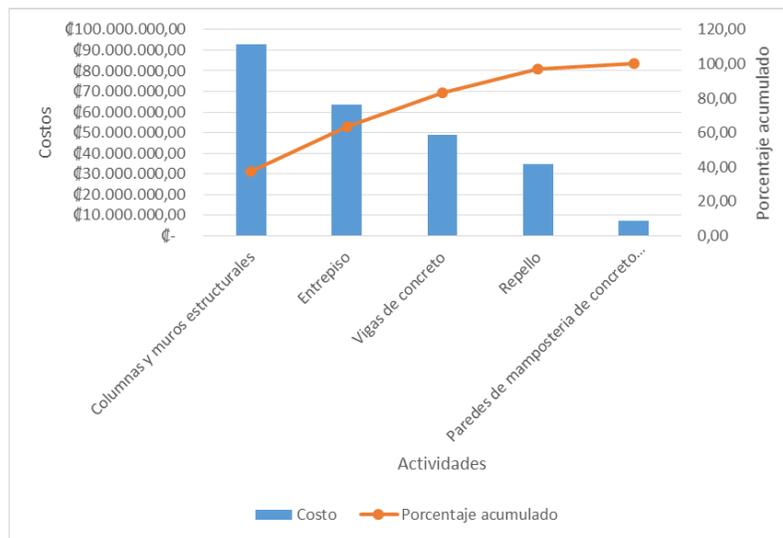


Figura 14. Diagrama de Pareto para edificio TIC'S
Fuente: Camacho D. (2016)

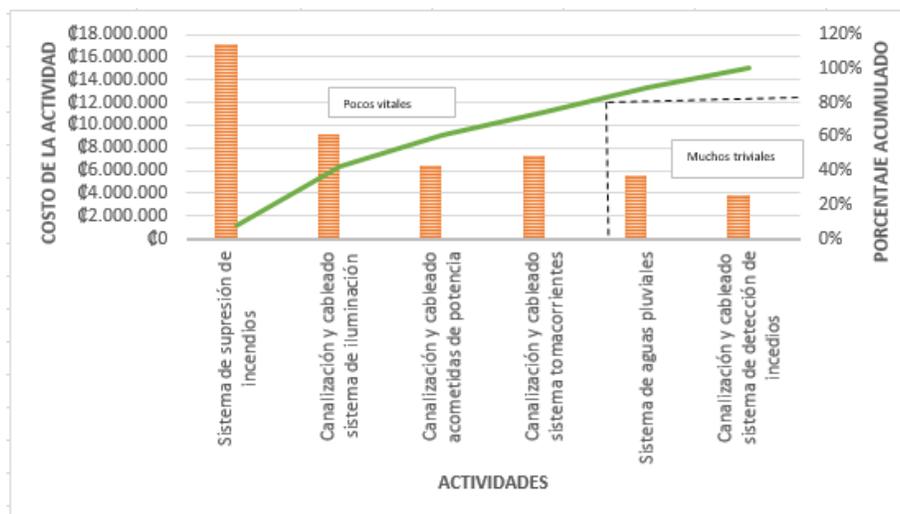


Figura 15. Diagrama de Pareto para torres UCR
Fuente: Rojas B. (2017)

CUADRO 1. SELECCIÓN DE ACTIVIDADES MEDIANTE PARETO	
Actividades	% en el presupuesto
PARQUEO	
Sistema de bombeo contra incendios	22,96%
Sistema de supresión de incendios	21,48%
Canalización y cableado sistema de iluminación	11,54%
Canalización y cableado acometidas de potencia	7,99%
Canalización y cableado sistema tomacorrientes	9,24%
Sistema de aguas pluviales	6,90%
Canalización y cableado sistema de detección de incendios	4,75%
Canalización y cableado sistema telecomunicaciones	4,64%
Paramrayos- Sistema de malla de tierras	4,61%
Sistema de bombeo de agua potable	4,03%
Sistema de aguas negras y ventilación	1,73%
Canalización y cableado sistema de control de iluminación	0,12%
Total	100,00%

Finalizadas
Lejanas de iniciar
Posibles Analizar

Figura 16. Selección de actividades para torres UCR
Fuente: Rojas B. (2017)

CUADRO 1. DETALLE DE LOS COSTOS DE LAS ACTIVIDADES EN ACERO DEL PROYECTO.							
Actividad	Demanda (kg)	Costo (€/kg)	Total (€)	Costo (%)	Costo acumulado (%)	Importancia	Criticidad
Muros	80582	€135	€10.878.615	26	26	1	A
Entrepisos	69955	€135	€9.443.990	23	49	2	A
Vigas	59198	€135	€7.991.765	19	68	1	A
Columnas	48779	€135	€6.585.121	16	84	1	B
Placas	27716	€135	€3.741.637	9	93	3	B
Pozos	20289	€135	€2.738.969	7	100	3	C
Total		€810	€41.380.097	100			

Figura 17. Análisis económico para proyecto IVY
Fuente: Montiel A. (2016)

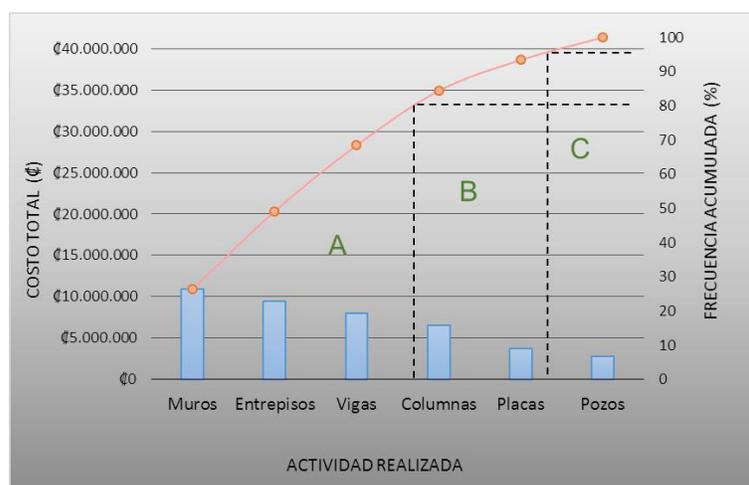


Figura 18. Diagrama de Pareto para proyecto IVY
Fuente: Montiel A. (2016)

Representación gráfica de los procesos constructivos a analizar

Ciclos de procesos

Una forma utilizada para representar los procesos constructivos de manera gráfica fue presentarla en manera de ciclos, estos permiten visualizar los pasos a seguir para completar un determinado proceso, de esta forma se muestra una cadena de actividades que están directamente relacionadas velando que el proceso se realice de manera satisfactoria. Al realizar esos ciclos se logra

entender y ver las tareas que conforman cada proceso, por ende, quedan en evidencia las tareas en donde se deben realizar las mediciones de la productividad, de esa manera se obtienen los datos de la productividad en cada tarea o actividad y realizando un promedio de estos valores se obtiene la productividad por proceso.

En las investigaciones y proyectos de graduación consultados en donde se ha realizado una representación gráfica de los procesos constructivos a analizar se elaboró un ciclo de procesos por cada actividad crítica encontrada con los diagramas de Pareto, a continuación, se presentan algunos de estos ciclos de procesos extraídos de los documentos para tomarlos como referencia.

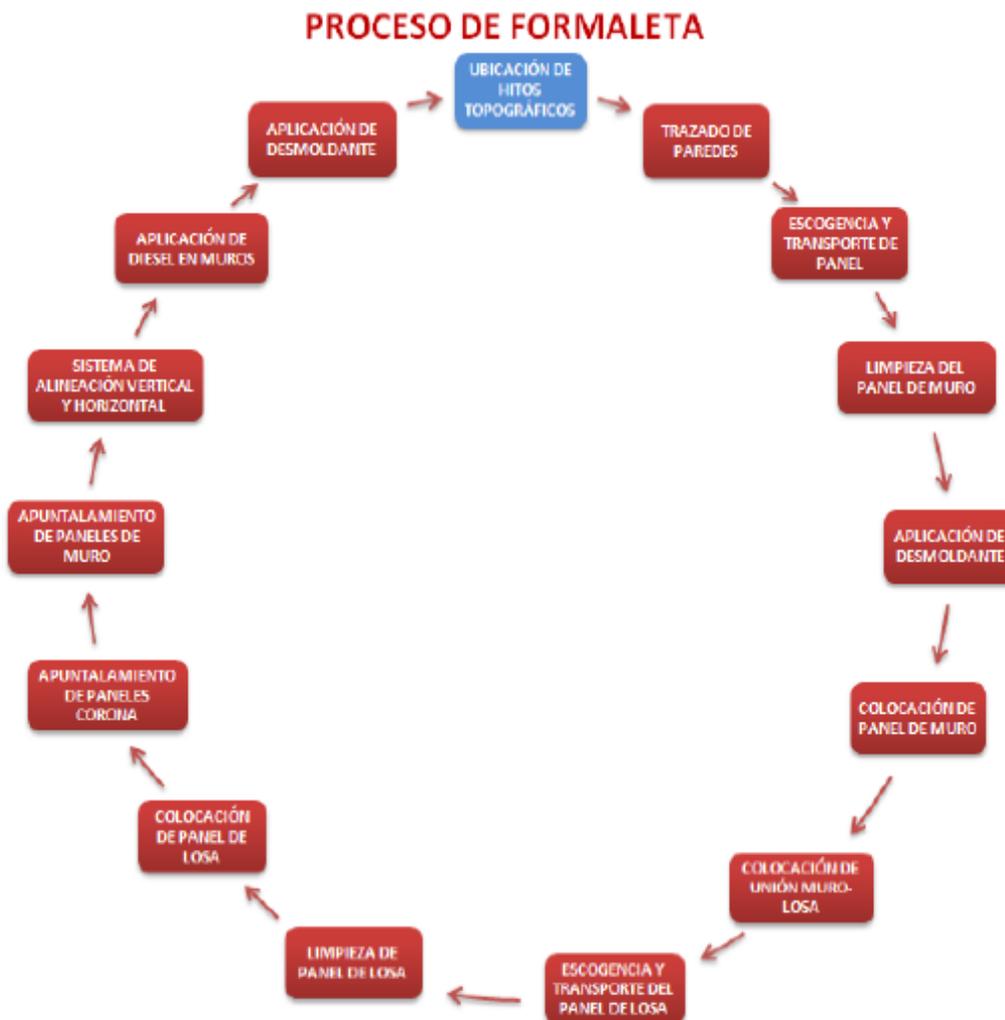


Figura 19. Ciclo de proceso para edificio modular
Fuente: Montero J. (2010)



Figura 20. Ciclo de proceso para torres UCR
Fuente: Rojas B. (2017)

Diagramas de flujo

Otra forma utilizada para llevar a cabo la representación de los procesos y sus respectivas actividades fue los diagramas de flujo, estos muestran la secuencia de las actividades que constituyen los procesos funcionando para la descripción de procesos como mecanismos de control, organización, evaluación o replanteo de secuencias. De igual manera que los ciclos de procesos en los diagramas de flujo se muestran las tareas necesarias para llevar desde el inicio hasta el fin un proceso constructivo dejando

también en evidencia las tareas en donde realizar las observaciones para la medición de la productividad, solo que esta vez se utilizan diferentes símbolos de entrada y salida, símbolos de decisiones, procesos, conectores, líneas de flujo y terminales para representarlos de una manera más ordenada y condicionando los procesos.

Igual que en la utilización de los ciclos de procesos se elaboró un diagrama de flujo por actividad que conforman los procesos críticos, a continuación, se presentan algunos de los diagramas de flujo utilizados en los documentos consultados para ser tomados como referencia.

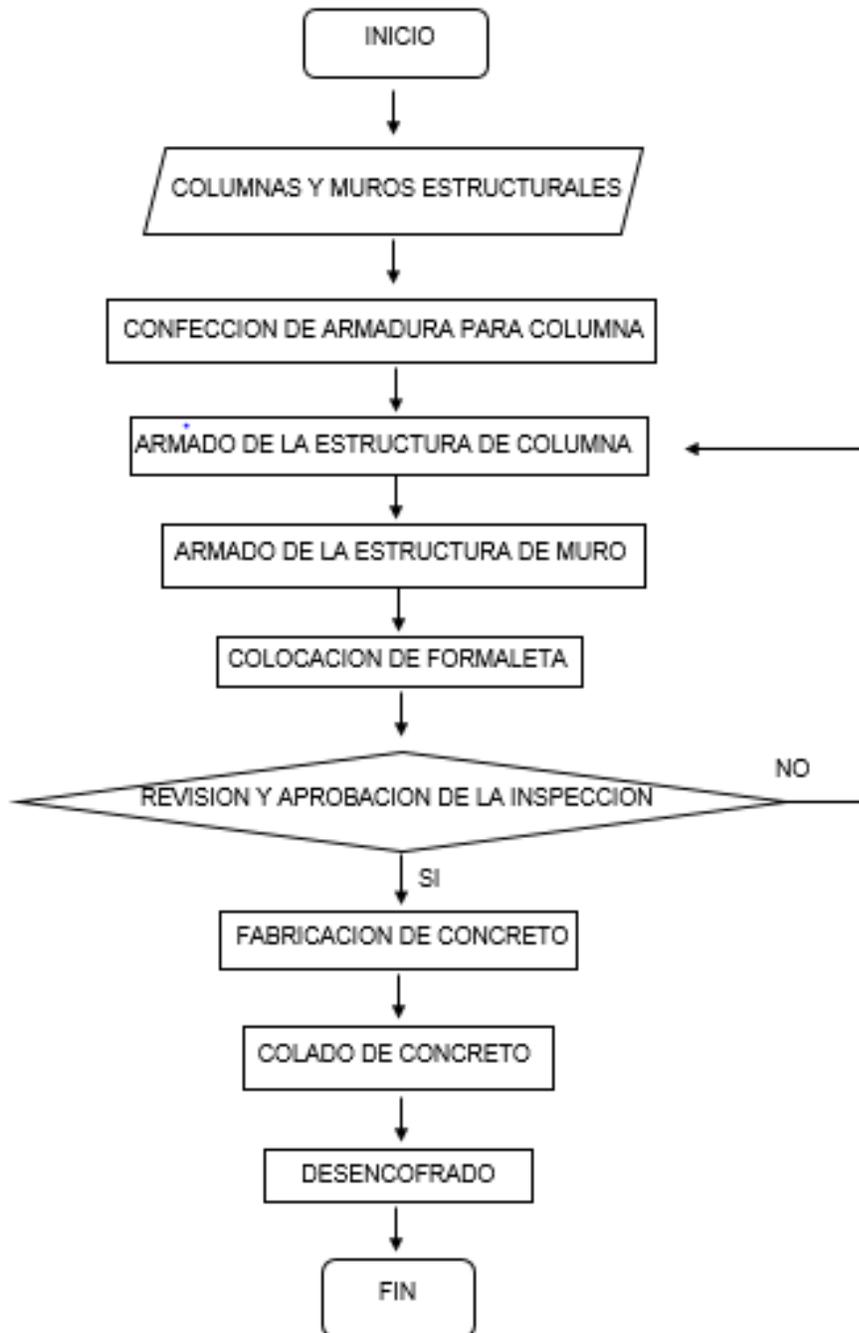


Figura 21. Diagrama de flujo para edificio TIC'S
 Fuente: Camacho D. (2016)

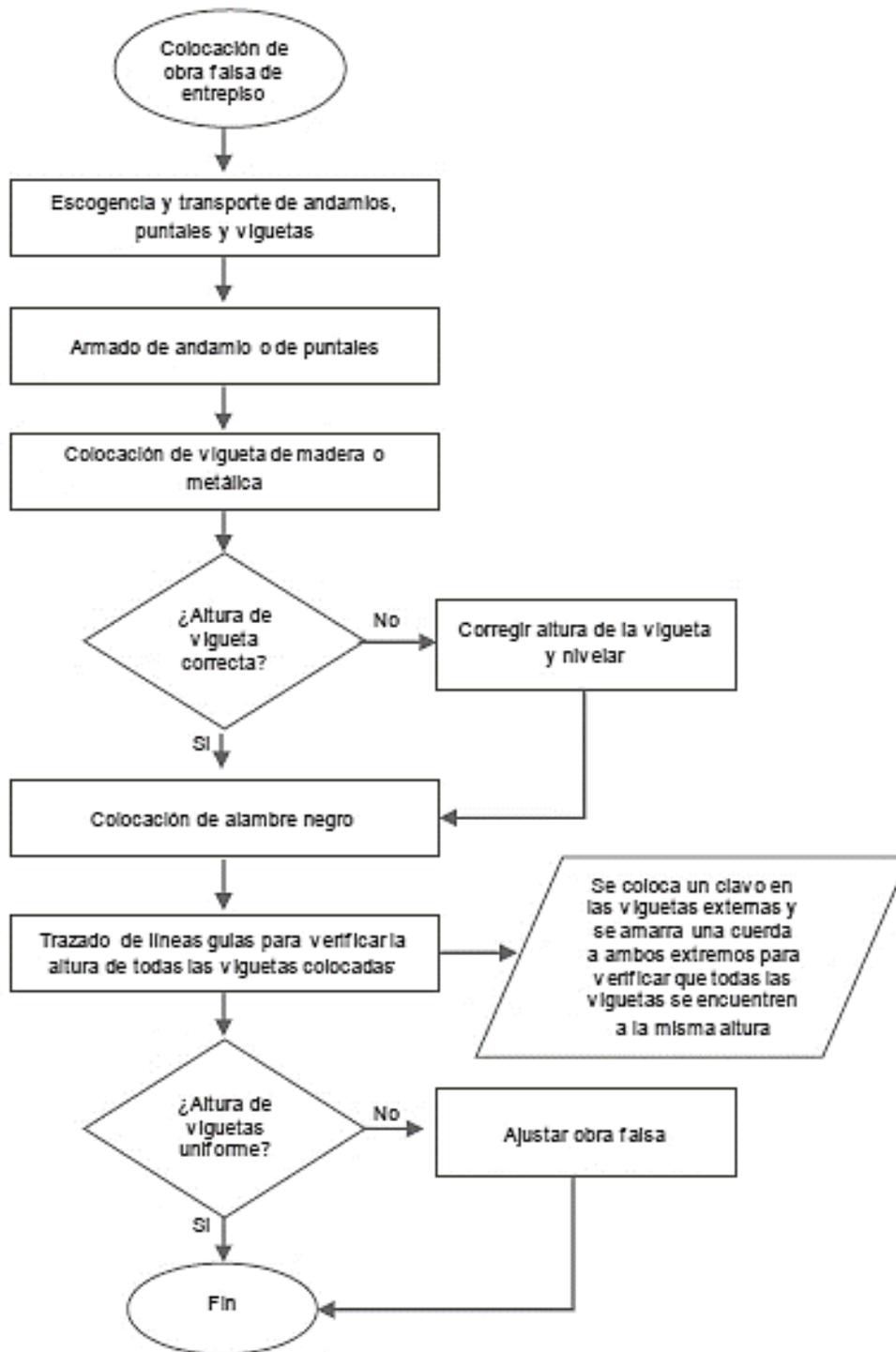


Figura 22. Diagrama de flujo para condominio vertical
Fuente: Acosta S. (2016)

Mecanismos utilizados para la medición de la productividad

Para desarrollar las mediciones se deben de establecer y dejar en evidencia la información necesaria acerca de las condiciones durante el periodo de medición, por ejemplo: actividad a realizar, proceso al que pertenece, fecha, hora, lugar, clima, temperatura, humedad, número de trabajadores en la cuadrilla, intervalos de medición, número de observaciones, equipo

utilizado, entre otros. Dentro de los documentos consultados en su mayoría se presentaban los datos anteriores y en los que no se presentan explícitamente se entiende que fueron anotados en las hojas de mediciones que se presentaron en los proyectos de graduación como apéndices y de los cuales no se tiene fácil acceso, a continuación, se presentan algunos ejemplos de los datos de importancia acerca de las condiciones a la hora en que fueron desarrolladas las mediciones además de las plantillas utilizadas para la toma de datos mediante las mediciones en campo.

Actividad:						
Proceso:						
Video:						
Fecha:						
Temperatura:						
Mediciones cada 15 segundos						
Hora:						
Observacion	Tiempo	Minuto	Trabajador 1 ()	Actividad que realiza	Trabajador 2 ()	Actividad que realiza
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Figura 23. Plantilla para medición para Edificio TIC'S
Fuente: Camacho D. (2016)

					
Proyecto: Condominio vertical Q-BO SkyHomes Ubicación: Rohrmoser, Pavas.		Muestreo: Día: Hora de inicio: Temperatura:			
Proceso: Nivel: Tramo: Torre:		Observaciones: Frecuencia:			
#	Hora	Trabajador 1	Trabajador 2	Trabajador 3	Trabajador 4

Figura 24. Plantilla para medición para Condominio Vertical
Fuente: Acosta S. (2016)

MUESTREO DE TRABAJO PARA M.O					
Proyecto: Torres de parqueo UCR		Fecha: _____			
Actividad: _____		Hora de inicio: _____			
Muestreo: _____		Temperatura (°C): _____			
Observaciones: _____		Frecuencia (s): 15			
# Muestra	Tiempo	Clasificación del trabajo	Actividad Operaria	Clasificación del trabajo	Actividad Ayudante
1	0:00:00				
2	0:00:15				
3	0:00:30				
4	0:00:45				
5	0:01:00				
6	0:01:15				
7	0:01:30				
8	0:01:45				
9	0:02:00				
10	0:02:15				
11	0:02:30				
12	0:02:45				
13	0:03:00				
14	0:03:15				

Figura 25. Plantilla para medición para proyecto torres UCR
Fuente: Rojas B. (2017)

 Evaluación de Productividad en Campo											
Proyecto: The IVY			Equipo			Descripción de trabajadores.					
Fecha:						Trab 1		Trab 6			
Actividad:						Trab 2		Trab 7			
Clima:						Trab 3		Trab 8			
Caud:						Trab 4		Trab 9			
Ubi:						Trab 5					
Técnica: Five minute rating			Simbología:								
			Trabajando ✓					No trabajando •			
Obs	Hora	Cant.	Trab 1	Trab 2	Trab 3	Trab 4	Trab 5	Trab 6	Trab 7	Trab 8	Trab 9
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
.											
.											
.											
Total											

Figura 26. Plantilla para medición para proyecto IVY
Fuente: Montiel A. (2016)

Fecha:	4/6/2019
Hora Inicio:	09:31
Hora Fin:	09:44
Intervalo de medición:	30 s
Temperatura:	33 °C
Cantidad de trabajadores observados:	5
Cantidad de observaciones por trabajador:	26

Figura 27. Información relevante para muro gaviones
Fuente: Hernández D. (2016)

CUADRO 12. INFORMACIÓN GENERAL MUESTREO 4			
# Trabajadores:	1 operario-1ayudante	Fecha:	08/03/2017
Actividad:	Canalización de sistemas de iluminación, tomas	Hora de inicio:	1:00 p.m.
Muestreo:	2	Hora final:	2:01 p.m.
Nivel	6.75	Temperatura (°C):	22
Observaciones:	488	Frecuencia de muestreo (s):	15

Figura 28. Información relevante para torres UCR
Fuente: Rojas B. (2016)

CUADRO 11. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 6.	
Fecha	15, marzo, 2016
Hora	10:10 a.m.
Lugar de medida	Edificio 3B
Clima	Soleado
Temperatura	26° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	369
Equipo utilizado	Tenazas Cinta métrica

Figura 29. Información relevante para proyecto IVY
Fuente: Montiel A. (2016)

Dentro de los mecanismos utilizados propiamente a la hora de realizar las mediciones destacan 3 mecanismos “Five minutes Rating”, “Work Sampling” y “Crew Balance”, sin embargo no todos fueron utilizados en todos los documentos consultados, siendo el método Five Minutes Rating el menos usado y el Crew Balance el más utilizado, de igual manera en algunos análisis se utilizaban varios métodos y al final se realizaba una comparación de los resultados para verificar las desviaciones entre los datos y ver cual método se ajusta de una mejor manera a la realidad y cual brinda resultados más confiables y detallados.

Método Five Minutes Rating

Solamente un análisis dentro de los consultados utilizó este método de medición, para ello dentro de cada medición realizada en las tareas que componen el proceso se verificó si en cada observación los trabajadores estaban trabajando o no, de este modo realizaron una rápida medición y obtuvieron los resultados de una manera ágil, sin embargo, no queda en evidencia la separación entre el trabajo productivo, contributivo y el no productivo.

A continuación, se presenta los resultados de algunas mediciones por este método dentro de los documentos consultados:



Figura 30. Five Minutes Rating para proyecto IVY
Fuente: Montiel A. (2016)

Método Work Sampling

Este método fue utilizado en 2 de los documentos consultados en donde se realizaron las observaciones de una forma igual que en el caso anterior con la diferencia que se anotaron algunas

observaciones y se presentaron los resultados de una manera promediada, en un caso se midió tanto el tiempo productivo, improductivo y el tiempo contributivo y en el otro caso únicamente se midió si se trabajaba o no con algunas observaciones.

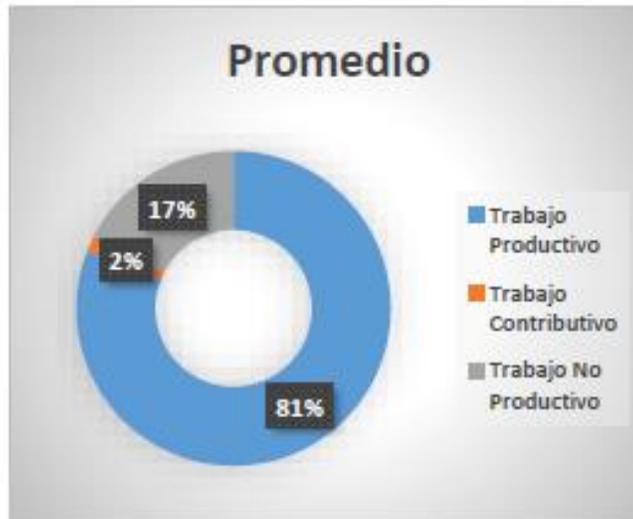


Figura 31. Work Sampling para muro gaviones
Fuente: Hernández D. (2019)

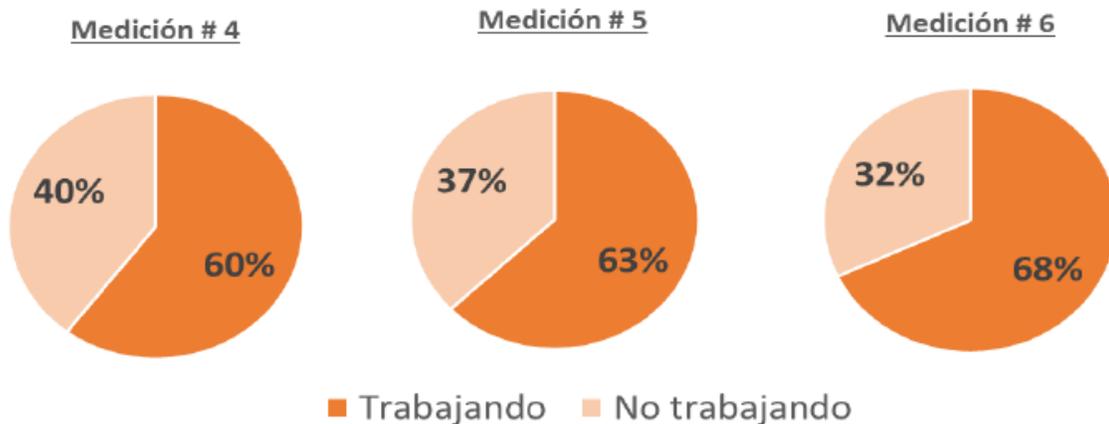


Figura 32. Work Sampling para proyecto IVY
Fuente: Montiel A. (2016)

Método Crew Balance

A continuación, se presentan algunos de los gráficos de las investigaciones consultadas que utilizaron esta técnica de medición, cabe destacar que se realizó un gráfico por cada actividad dentro de cada uno de los procesos en análisis. Este

método fue el más utilizado en los diferentes documentos consultados, esto muestra que esta forma de obtención de datos es la que brinda mayor confianza y brinda resultados más detallados para las personas que desarrollaron la medición es en seguida se presentan los gráficos de algunas de las productividades medidas:

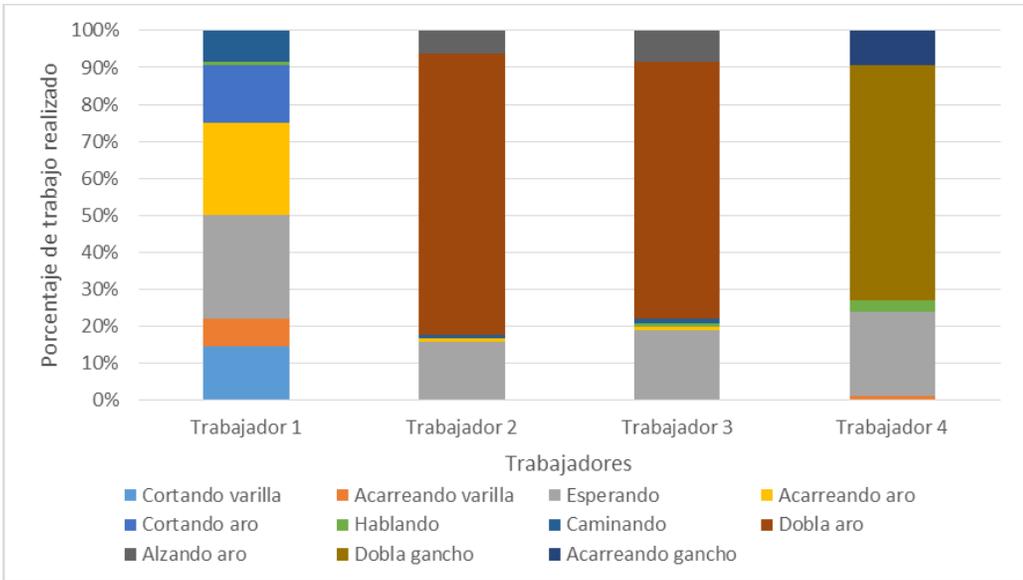


Figura 33. Crew Balance para Edificio TIC'S
Fuente: Camacho D. (2016)

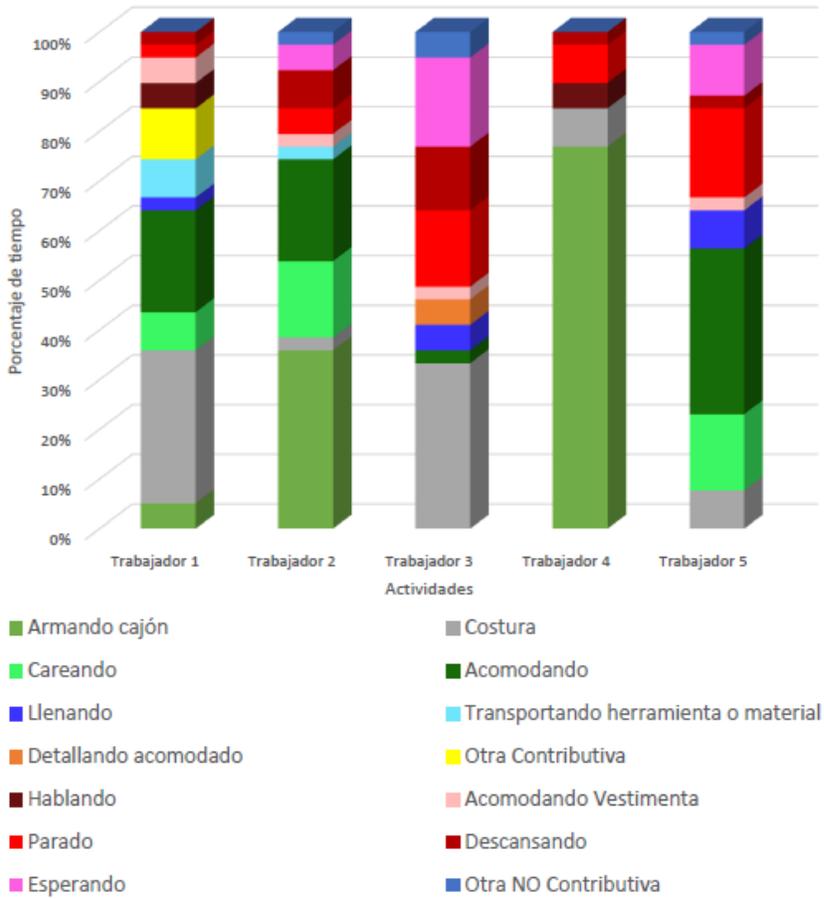


Figura 34. Crew Balance para muro gaviones
Fuente: Hernández D. (2019)

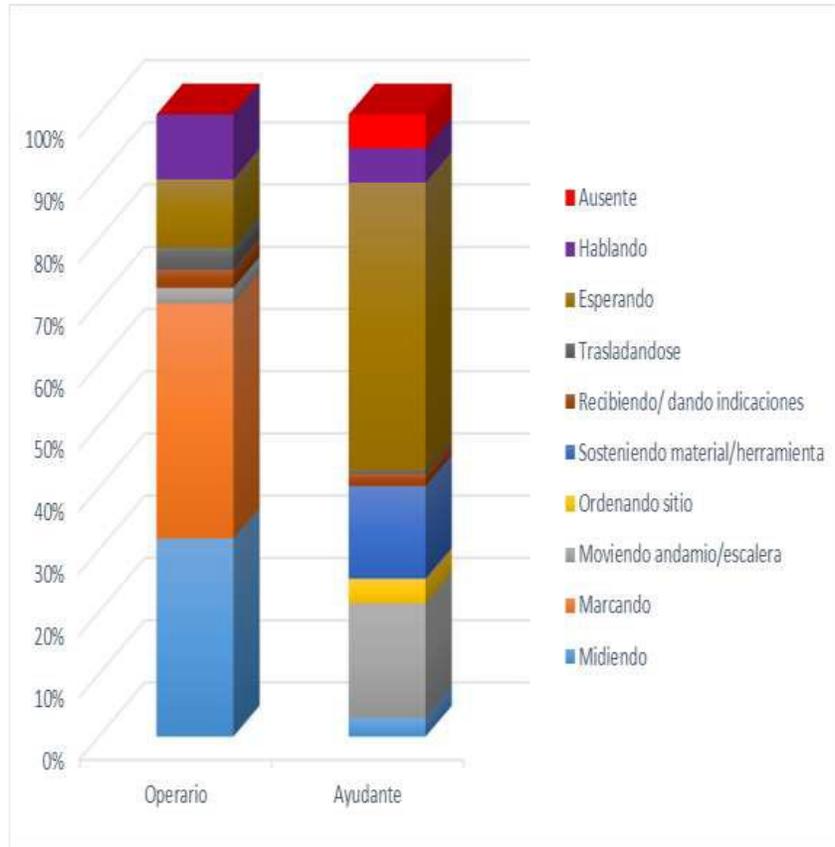


Figura 35. Crew Balance para proyecto torres UCR
Fuente: Rojas B. (2017)

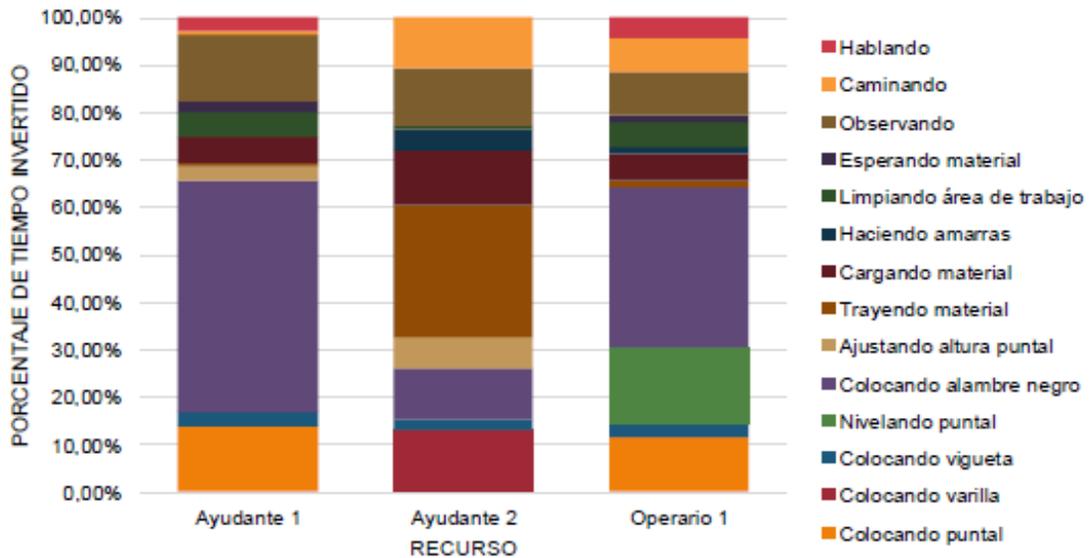


Figura 36. Crew Balance para Condominio Vertical
Fuente: Acosta S. (2016)

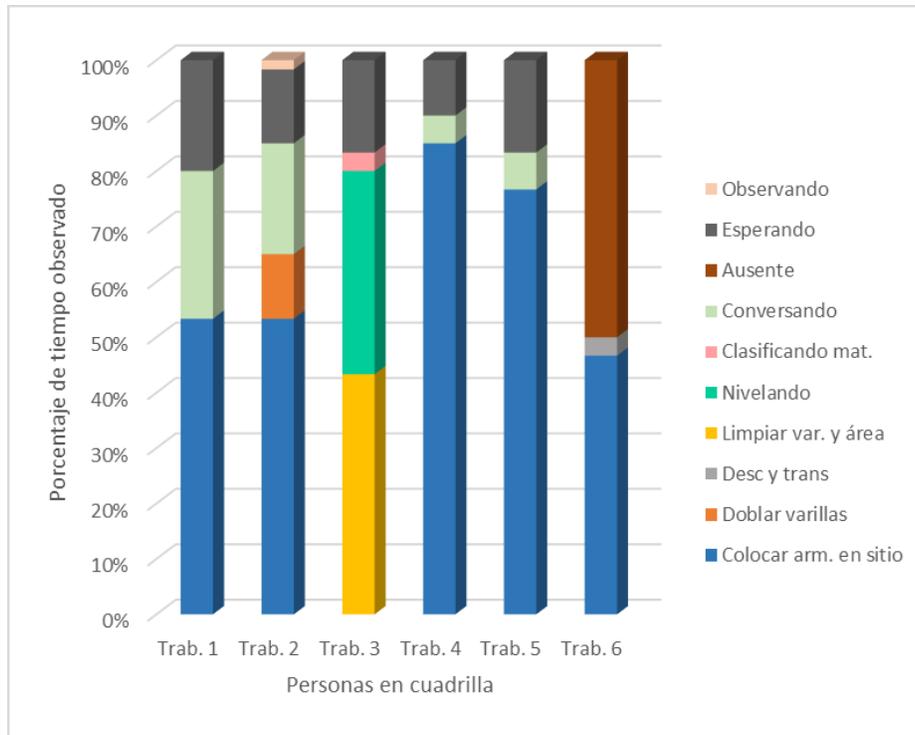


Figura 37. Crew Balance para proyecto IVY
Fuente: Montiel A. (2016)

Presentación de resultados

Una vez realizadas las mediciones según la respectiva metodología aplicada se debe proceder con la presentación de los resultados obtenidos, un método utilizado en las diferentes investigaciones consultadas es el uso de gráficos, ya sean de tipo barras o de tipo sectores, en estos gráficos se presentaron las diferentes productividades en las actividades

correspondientes a los procesos. Estos gráficos pueden mostrar la información promediada o individual según la forma en que se realizó la observación, a continuación, se presentan algunos ejemplos de cómo se presentaron los resultados de las observaciones en los documentos analizados, en donde por obvias razones los gráficos se resumen en el trabajo productivo, contributivo y no productivo de las diferentes actividades.

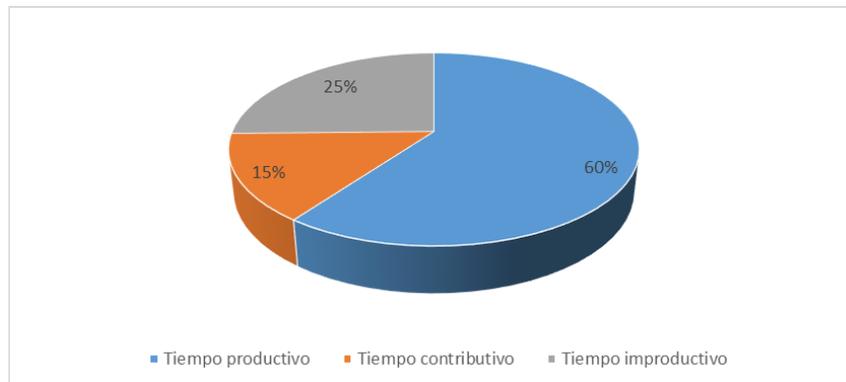


Figura 38. Resultados medición Edificio TIC'S
Fuente: Camacho D. (2016)

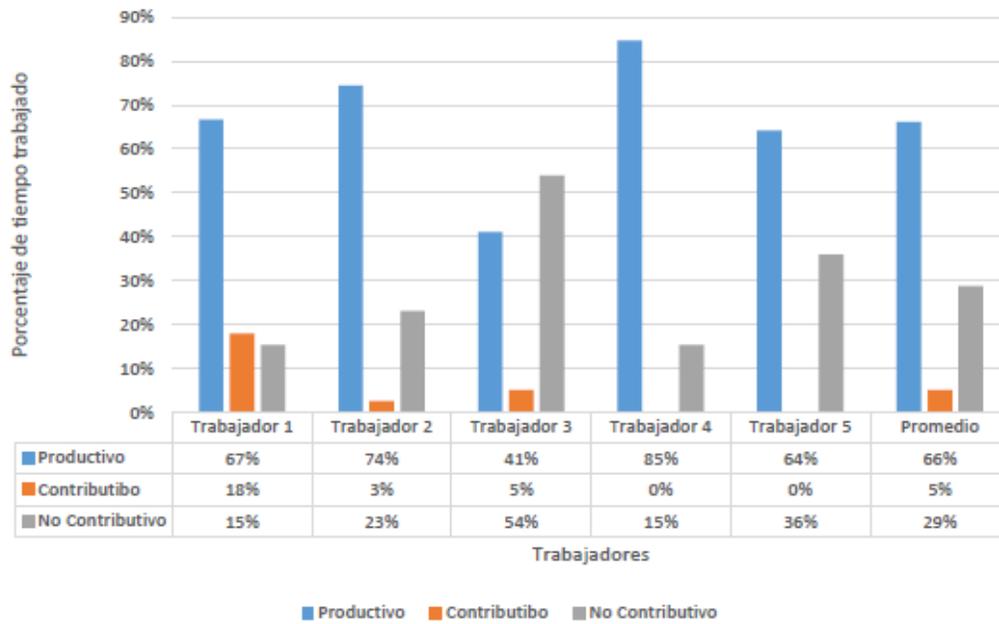


Figura 39. Resultados medición muro gaviones
Fuente: Hernández D. (2019)

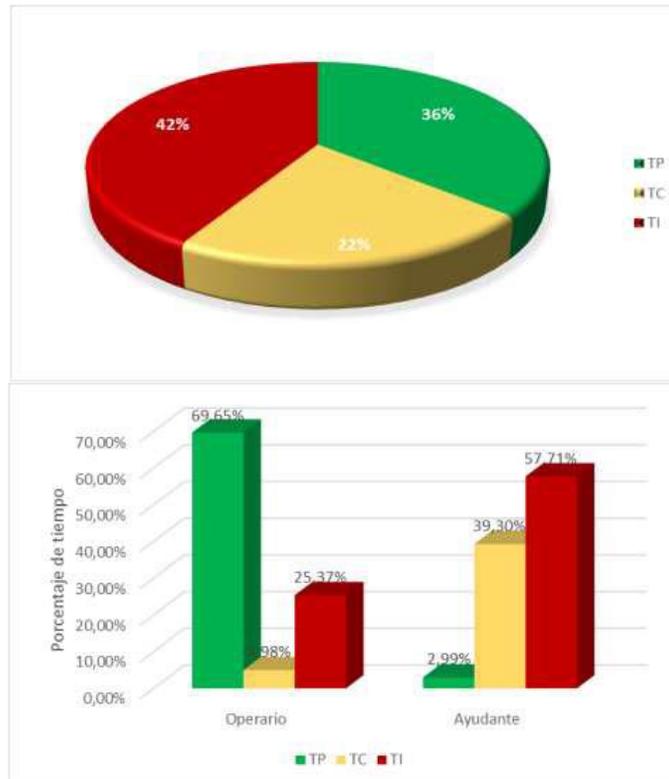


Figura 40. Resultados medición torres UCR
Fuente: Rojas B. (2017)

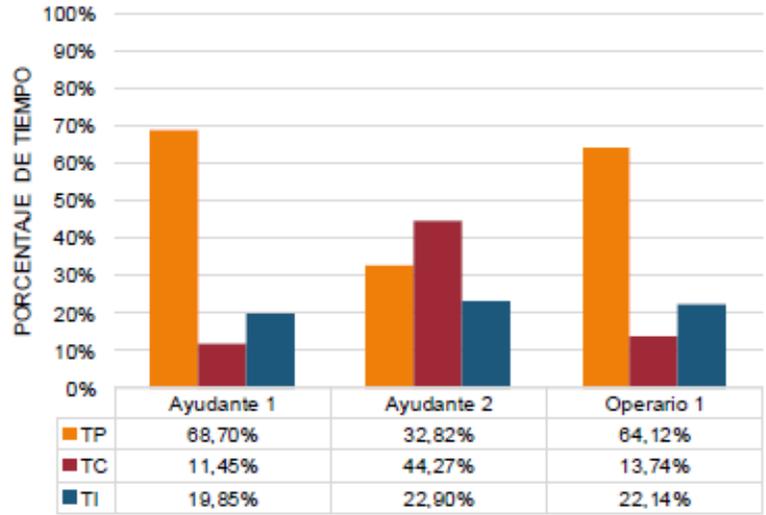


Figura 41. Resultados medición Condominio Vertical
Fuente: Acosta S. (2016)

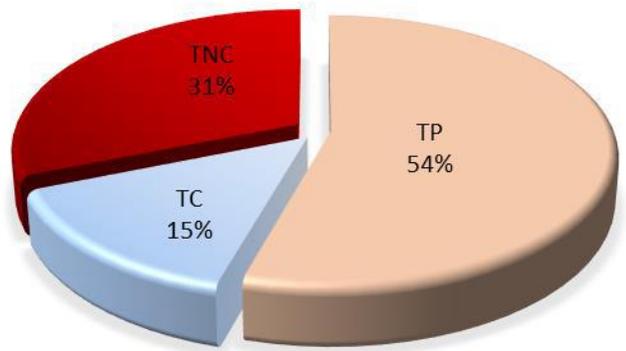


Figura 42. Resultados medición proyecto IVY
Fuente: Montiel A. (2016)

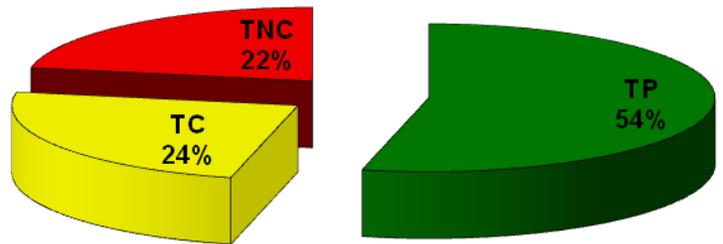


Figura 43. Resultados medición Centro distribución
Fuente: Mora J. (2012)

A la hora de analizar la forma en la que se presentaron los resultados se encontró también una forma diferente a la planteada originalmente para presentar el método de medición del Crew Balance, en donde no se aplicó el típico método del gráfico de barras por trabajador en el cual se mostraba todas las actividades llevadas a cabo durante la medición, sin embargo cabe destacar

que estas formas de presentar los resultados permiten también visualizar de muy buena manera los datos y permite llevar el control de las acciones llevadas a cabo por los miembros de la cuadrilla durante el periodo de medición, a continuación se presentan algunos ejemplos de estas formas de presentación de resultados anteriormente mencionadas:

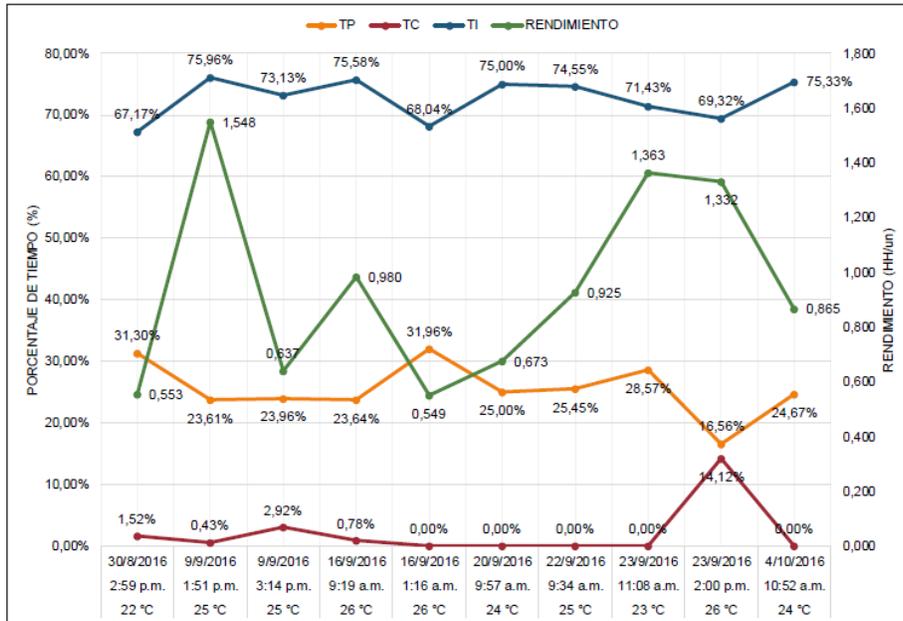


Figura 44. Resultados medición Condominio Vertical
Fuente: Acosta S. (2016)

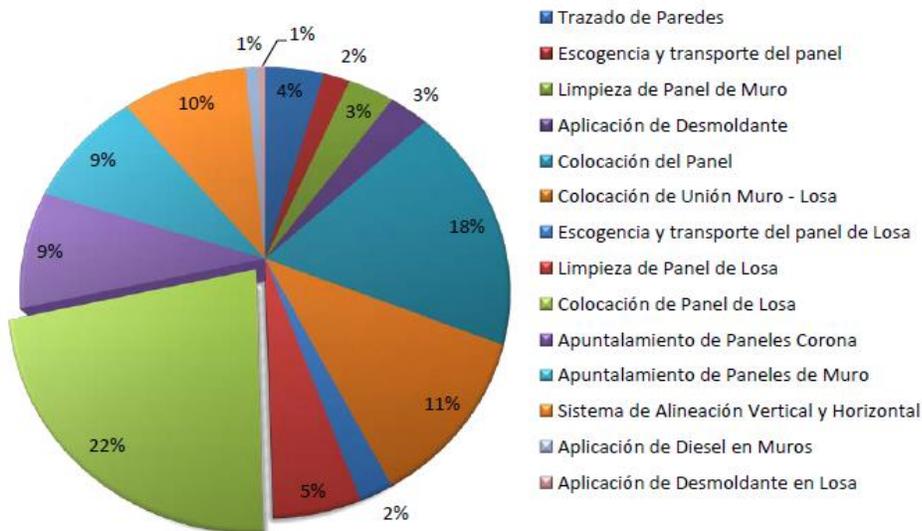


Figura 45. Resultados medición Edificio modular
Fuente: Montero J. (2010)

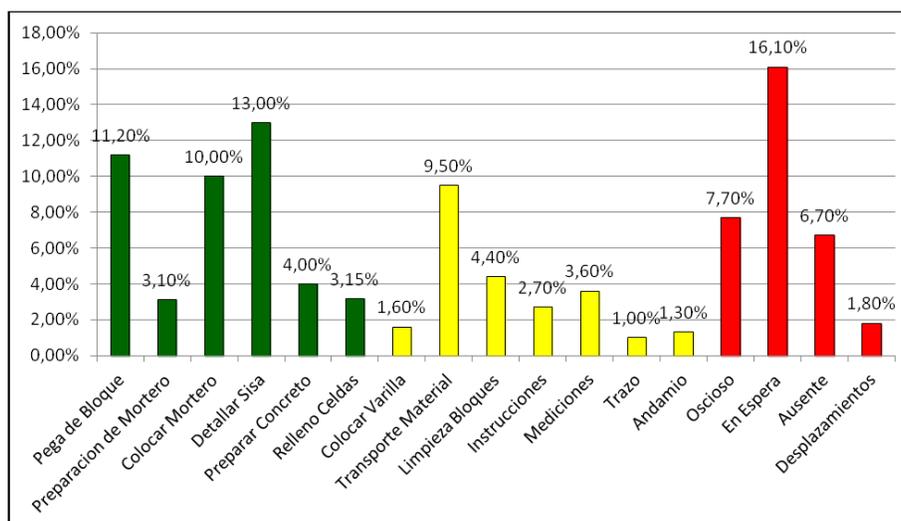


Figura 46. Resultados medición Centro distribución
Fuente: Mora J. (2012)

Para lograr un mejor control de los datos obtenidos en las investigaciones y conocer un valor medio de la productividad presente en los diferentes proyectos se optó por realizar una serie de tablas en las cuales se resume la información obtenida en las diferentes investigaciones, de igual manera se realizó un promedio de las actividades realizadas para tener una idea del valor de la productividad de las personas que conforman las cuadrillas a la hora de realizar los procesos. En estas tablas se muestran los porcentajes correspondientes al trabajo productivo, contributivo y no productivo por actividad en donde se realizaron las

observaciones, también se muestran los valores según corresponda el método empleado, de esta forma en algunas investigaciones relacionadas propiamente al análisis se puede observar y a la vez comparar los resultados obtenidos en cada método. Cabe mencionar que las tablas al igual que los gráficos son también una muy buena forma de presentar los resultados.

A continuación, se presentan las tablas resumen elaboradas:

Tabla 1. Resumen productividad Edificio TIC'S Camacho D. (2016)

	Productivo	Contributivo	No productivo	Productividad
Actividad 1	41%	14%	45%	55%
Actividad 2	33%	14%	53%	47%
Actividad 3	31%	14%	55%	45%
Actividad 4	35%	14%	51%	49%
Promedio	35%	14%	51%	49%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Resumen productividad Proyecto Pirrís
Navarro K. (2010)

Método	Actividad 2	Actividad 3	Actividad 4	Actividad 5	Promedio
Work Sampling	72%	51%	57%	77%	64%
Five Minute Rating	71%	52%	56%	77%	64%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Resumen productividad Edificio Modular Montero J. (2010)

	Productividad
Actividad 1	89%
Actividad 2	74%
Actividad 3	86%
Actividad 4	84%
Actividad 5	87%
Actividad 6	87%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Resumen productividad Muro Gaviones Hernández D. (2019)

	Método Crew Balance			Método Work Sampling		
	Productivo	Contributivo	No productivo	Productivo	Contributivo	No productivo
Nivel 1	55%	8%	38%	81%	2%	17%
Nivel 2	59%	15%	26%	74%	2%	24%
Nivel 3	71%	5%	24%	73%	4%	23%
Promedio	62%	9%	29%	76%	3%	21%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Resumen productividad Proyecto IVY Montiel A. (2016)

	Método Work Sampling		Método Five minutes Rating		Método Crew Balance		
	Productivo	No productivo	Productivo	No productivo	Productivo	Contributivo	No productivo
Actividad 1	66%	35%	68%	33%	58%	16%	26%
Actividad 2	75%	25%	76%	24%	56%	21%	23%
Actividad 3	65%	36%	68%	33%	60%	10%	30%
Promedio	68%	32%	70%	30%	58%	16%	26%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Resumen productividad Condominios verticales Acosta S. (2016)

	Método Crew Balance		
	Tiempo productivo	Tiempo contributivo	Tiempo no productivo
Actividad 1	42%	31%	27%
Actividad 2	24%	11%	65%
Actividad 3	25%	2%	73%
Actividad 4	26%	12%	62%
Actividad 5	21%	15%	63%
Actividad 6	38%	15%	48%
Promedio	29%	14%	56%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Resumen productividad Centro de distribución Mora J. (2012)

	Método Crew Balance		
	Tiempo productivo	Tiempo contributivo	Tiempo no productivo
Actividad 1	58%	17%	25%
Actividad 2	56%	21%	23%
Actividad 3	60%	10%	30%
Promedio	58%	16%	26%

Fuente: Elaboración propia

Factores que afectan la productividad

Los factores que afectan de manera directa a la productividad en los procesos constructivos en documentos consultados se determinaron por medio de 2 formas: Realizando observaciones y mediante la implementación encuestas tanto a trabajadores, así como a los ingenieros encargados.

Búsqueda de factores mediante la observación

A continuación, se presentan los resultados de la observación realizada en sitio del proyecto realizado por Susana Acosta en donde a la hora de realizar las observaciones para la medición de la productividad quedan en evidencia los factores que provocan atrasos o una afectación en la eficiencia y eficacia en la elaboración de las tareas de los trabajadores provocando una disminución en la productividad.

CUADRO 43. FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DETERMINADOS POR OBSERVACIÓN	
Número	Factor
1	Servicios sanitarios alejados
2	Lejanía de la bodega principal
3	Cansancio físico a falta de un ascensor
4	Atraso en entrega de materiales
5	Problemas de electricidad
6	Equipos dañados
7	Entrega de materiales erróneos
8	Falta de inspección previa de los elementos
9	Poca coordinación para uso de grúa entre maestros de obras
10	Poco espacio para trabajar
11	Desorden del sitio
12	Rotación de personal
13	Ocio

Figura 47. Factores mediante observación Condominio Vertical
Fuente: Acosta S. (2016)

Implementación de entrevistas

Otra forma eficaz para identificar factores que afecten la productividad es realizar entrevistas tanto a los trabajadores, maestros de obras o los ingenieros encargados, de esta manera se tiene otro punto de vista y se cuenta como más información y no solo mediante lo observado a la hora de realizar la medición de la productividad.

Dentro de las preguntas realizadas destacan las siguientes:

- ¿Conoce lo que significa el término productividad?
- ¿Considera que el diseño de sitio fue el apropiado?
- ¿La mano de obra contratada reúne las características deseadas?
- ¿Los subcontratistas alteran el avance de la obra?

- ¿Qué tan claras tienen las instrucciones antes de comenzar la actividad que realiza?
- ¿Cuentan con los materiales y equipo necesario?
- ¿Recibe los materiales a tiempo?
- ¿El tamaño de la cuadrilla lo considera como el óptimo?
- ¿Cómo es su espacio de trabajo?
- ¿Cómo considera las condiciones de seguridad del proyecto?
- ¿Se encuentran las áreas de uso común (baños, comedor, etc.) cerca del puesto de trabajo?
- ¿Recibe capacitación o algún tipo de indicación previa al iniciar alguna tarea sea nueva o no?
- ¿Recibe su salario a tiempo?
- ¿Cree usted que se desperdician materiales en la labor que realizan?

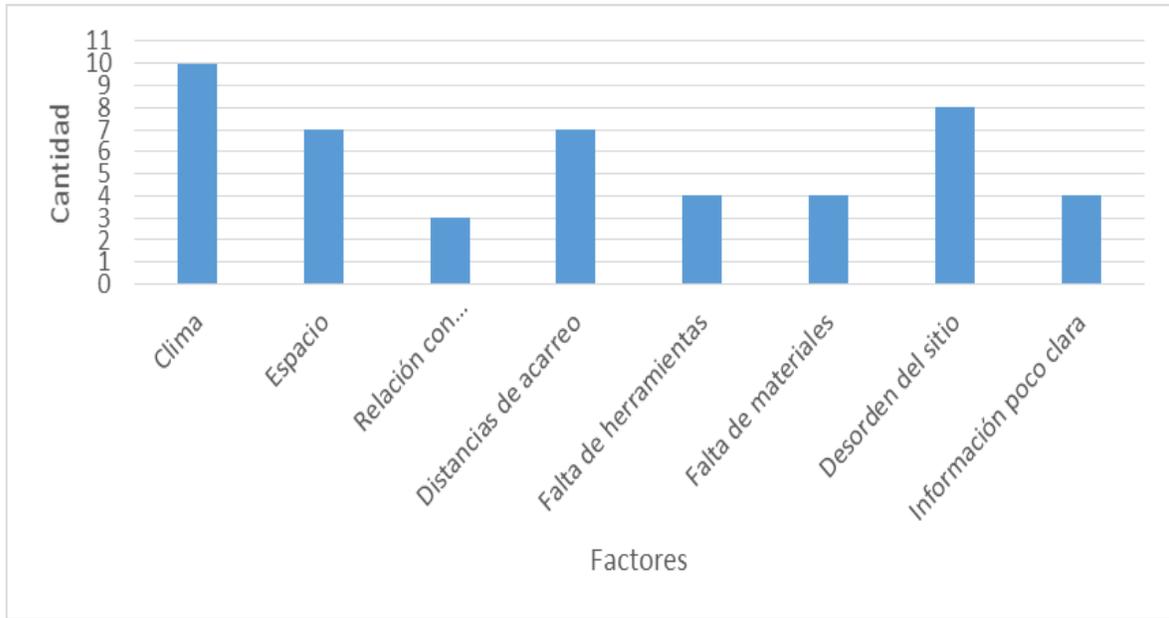


Figura 48. Resultados entrevista Edificio TIC'S
Fuente: Camacho D. (2016)

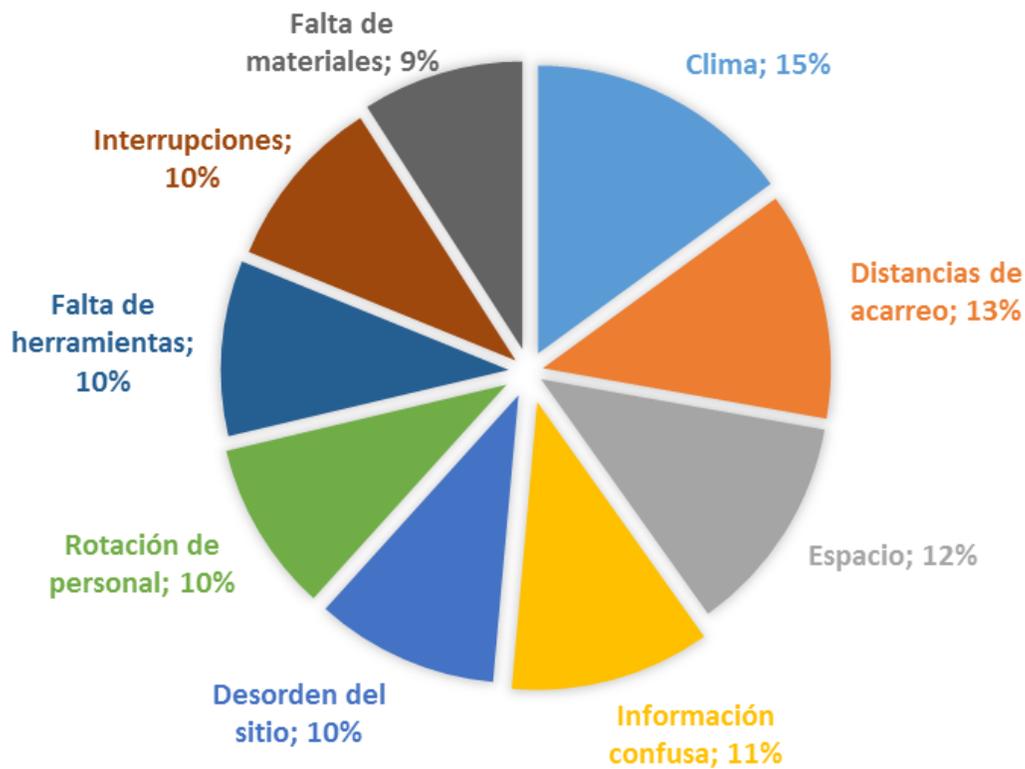


Figura 49. Resultados entrevista proyecto IVY
Fuente: Montiel A. (2016)

Representación gráfica de los factores

Una forma de representar los factores encontrados que afectan la productividad es el diagrama de Ishikawa, esta herramienta permite identificar problemas de efectividad y calidad

brindando una solución al representar de forma gráfica los factores que se involucran en la ejecución de un proceso, este diagrama también es conocido como el diagrama de causa-efecto, este diagrama fue utilizado en algunas de las investigaciones consultadas, a continuación, se presentan algunos ejemplos:



Figura 50. Diagrama Ishikawa Edificio TIC'S
Fuente: Camacho D. (2016)



Figura 51. Diagrama Ishikawa proyecto The IVY
Fuente: Montiel A. (2016)

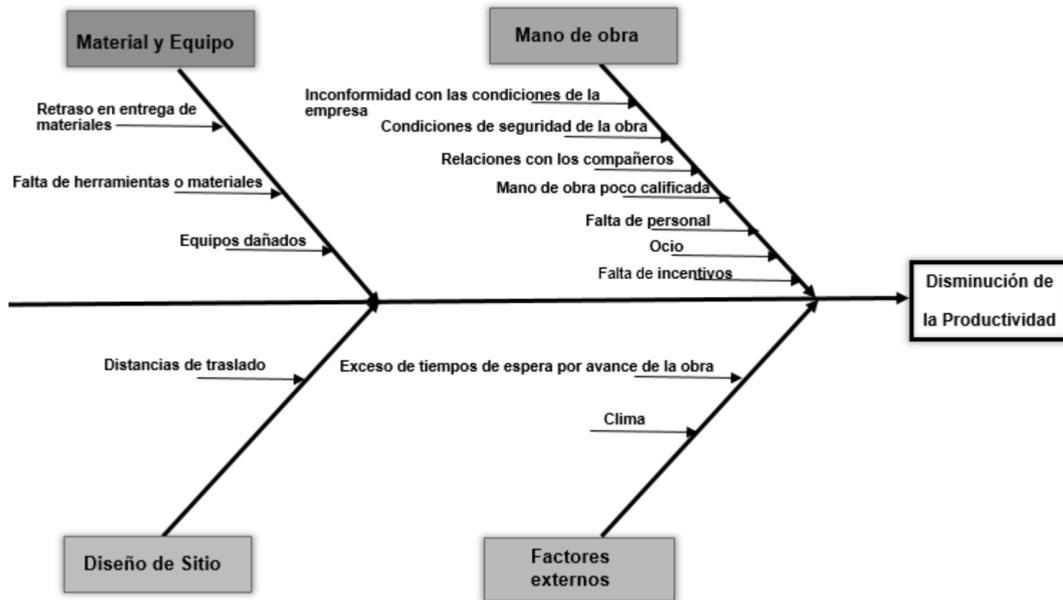


Figura 52. Diagrama Ishikawa torres UCR
Fuente: Rojas B. (2017)

Mejoramiento de la productividad

Una vez identificados los factores se debe realizar una propuesta de mejora mediante la implementación de acciones correctivas, dentro de las investigaciones consultadas destacan 2 proyectos de graduación en donde se realizaron estas propuestas de mejoras, en las listas con las soluciones presentadas destacan las siguientes propuestas:

- Asignación de supervisores de cuadrilla, que controlen las labores que se realizan con el fin de disminuir los errores debido a descuidos.
- Disminuir distancias de traslado.
- Limpieza constante del sitio de trabajo.
- Creación de servicios sanitarios cerca del sitio de trabajo.
- Traslado de la bodega principal a niveles superiores.
- Conformar cuadrillas de acuerdo con las necesidades del proceso.
- Realizar una inspección una vez finalizado el proceso constructivo para

que al inicio del próximo proceso no existan atrasos.

- Supervisar las actividades de los trabajadores para evitar tiempos improductivos a causa del ocio.
- Motivar y capacitar constantemente a los trabajadores para disminuir la rotación del personal.
- Coordinar la entrega de los materiales según la hora de inicio del proceso constructivo.
- Enviar especificaciones detalladas a la planta de prefabricados.
- Revisar periódicamente el estado de los equipos y contar con equipos de repuesto.
- Contar con perfectas condiciones de seguridad en la obra.

Estas propuestas fueron creadas teniendo como base los diagramas de Ishikawa desarrollados con la información obtenida en las observaciones y en las encuestas desarrolladas. También cada propuesta de mejora entra en las causas principales que se resumen en: materiales y equipo, diseño de sitio, mano de obra y factores externos.

Cálculo de rendimientos

Adicional a los objetivos planteados en este proyecto se planteó también corroborar si se desarrollaron cálculos de rendimientos y cómo realizaron la medición, esto con el fin de abarcar más en el área de la efectividad en los procesos constructivos. En algunos de las fuentes consultadas realizaron los cálculos correspondientes a los rendimientos de los trabajadores a la hora de realizar los procesos, cabe destacar que al realizar las observaciones

para el cálculo de la productividad estas mismas observaciones sirven para llevar los tiempos empleados para el desarrollo de estos y teniendo claro la cantidad de trabajo realizado se puede fácilmente obtener los resultados del rendimiento obtenido. También se logra observar la forma que se empleó para obtener los resultados, sin embargo, las otras simplemente brindan los resultados finales, en lo encontrado para el cálculo de los rendimientos se utilizó el número de trabajadores, las horas hombre utilizadas al igual que la cantidad de trabajo realizado.

CUADRO 12. RENDIMIENTOS DE LOS MUESTREOS REALIZADOS					
Medición	Fecha	# de Trabajadores	Horas hombre	Cantidad de trabajo (kg)	Rendimiento (HH/kg)
1	17/2/2016	4	1,553	33,550	0,046
2	24/2/2016	3	1,600	20,800	0,077
3	2/3/2016	3	2,050	24,520	0,084
Rendimiento promedio					0,069
Desviación estándar					0,020
Coeficiente de variación					0,289
Rendimiento final					0,076

Figura 53. Cálculo de Rendimientos Edificio TIC'S
Fuente: Camacho D. (2016)

Tabla 29. Promedios por sección de Refuerzo de Acero en Losa				
Sección	Cantidad de Acero de Losa	Tiempo Promedio Acero Losa	Rendimiento Promedio	Rendimiento Promedio
	Ton	hr	Ton/hr	hrs-h/ton
1	1.49	2.81	0.54	1.85
2	1.58	2.71	0.58	1.73
3	1.40	2.85	0.49	2.04
4	1.82	2.69	0.69	1.48
5	1.54	2.77	0.56	1.80
6	1.66	2.78	0.60	1.67

Figura 54. Cálculo de Rendimientos Edificio Modular
Fuente: Montero J. (2010)

	Consumo		Rendimiento
	Colocado de Geotextil (HH/ml) con f.i	Colocado de Geotextil (HH/ml) sin f.i	Colocado de Geotextil (ml/HH) con f.i
Nivel 1	0.218	0.190	4.601
Nivel 2	0.088	0.076	11.432
Nivel 3	0.146	0.128	6.830

Figura 55. Cálculo de Rendimientos Muro gaviones
Fuente: Hernández D. (2019)

CUADRO 15. RENDIMIENTO OBTENIDO EN EL TRAZO DE LÍNEA GUÍA PARA CANALIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TOMACORRIENTES E ILUMINACIÓN											
Muestreo	Nivel	Fecha	Hora de Inicio	Hora final	Tiempo total (h)	Cantidad de obra (ml)	Cantidad Operarios	Cantidad Ayudantes	Rendimiento (Horas Operario/ml)	Rendimiento (Horas Ayudante/ml)	Rendimiento (Horas Hombre/ml)
1	2.70	28/02/2017	10:00 a.m.	10:41 a.m.	0,680	35,80	1	1	0,019	0,019	0,038
2	2.70	28/02/2017	11:00 a.m.	11:40 a.m.	0,680	36,50	1	1	0,019	0,019	0,037
3	6.40	06/03/2017	12:55 a.m.	01:20 a.m.	0,416	35,00	1	0	0,012	0,000	0,012
4	5.40	06/03/2017	01:20 p.m.	01:45 p.m.	0,416	37,00	1	0	0,011	0,000	0,011
5	6.75	06/03/2017	01:50 a.m.	02:15 a.m.	0,416	38,00	1	0	0,011	0,000	0,011
6	6.75	06/03/2017	02:15 p.m.	02:50 p.m.	0,416	34,00	1	0	0,012	0,000	0,012
Rendimiento promedio (HH/ml)									0,0140	0,0189	0,0203
Desviación Estándar (HH/ml)									0,0014	0,0063	0,0051
Coeficiente de variación									10,13%	33,33%	24,86%
Factor de incremento									0,12	0,12	0,12
Rendimiento Final (HH/ml)									0,0157	0,0212	0,0228

Figura 56. Cálculo de Rendimientos Torres UCR
Fuente: Rojas B. (2017)

CUADRO 8. RENDIMIENTO PARA LA EXCAVACIÓN DE PLACAS							
Recurso (HH)	Recurso efectivo (HH)	Avance (m3)	Rendimiento AP (HH/m3)	% Actividad observado	Rendimiento proyectado (HH/m3)	Presupuesto (HH/m3)	HH Perdidas
7,00	3,18	78,80	0,09	85%	0,10	1,33	3,82

Figura 57. Cálculo de Rendimientos Centro de distribución
Fuente: Mora J. (2012)

Para cumplir con el segundo objetivo de este proyecto el cual consiste en desarrollar una investigación teórica acerca de las buenas prácticas de medición y análisis de la productividad que permita tener un punto de comparación con el estudio de investigaciones realizadas se desarrollaron las siguientes actividades.

Primeramente, se buscó la materia disponible en el tema que provenga de fuentes seguras o de autores reconocidos, los cuales han realizado investigaciones enfocadas en el tema, de esta manera el material recolectado tendrá un respaldo de credibilidad.

Según la teoría para el desarrollo del análisis de la productividad se debe tener claro los procesos a los cuales se les realizará el análisis, para ello se debe realizar un análisis económico previo en donde se muestre el valor de cada proceso relacionado con el costo total del proyecto, de esta manera se tendrá claro las actividades críticas dentro de los procesos que conforman cada proyecto constructivo, seguidamente para poder desarrollar la medición la teoría dicta que se debe de conocer todas las actividades que conforman cada proceso en estudio, para ello es necesario representar de una manera gráfica dichas actividades, una vez realizado lo anterior se procede a realizar la medición mediante el método de la observación, la teoría establece tres mecanismos para realizar dicha medición, estos corresponden a Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance.

Al finalizar con la medición y toma de datos mediante el o los mecanismos seleccionados se puede calcular el valor del porcentaje de productividad con que las actividades fueron llevadas a cabo, ya que es importante conocer la situación actual de la empresa en estudio y la efectividad con la que desarrollan las actividades. Posterior a esto y gracias a las observaciones se pueden identificar los factores que provocan que la productividad disminuya, esta acción se puede desarrollar a la hora de la observación o mediante la implementación de entrevistas a los diferentes trabajadores o ingenieros a cargo de la construcción. Dichos factores se pueden representar gráficamente para que sea visualizado con mayor facilidad para posteriormente darse a la tarea de encontrar solución a los diferentes problemas expuestos con el análisis mediante el planteamiento de

acciones correctivas a corto o mediano plazo que colaboren al mejoramiento de la productividad y así facilitar una propuesta de buenas prácticas a implantar.

La propuesta debe de ir totalmente enfocada a cada proyecto y debe ser carácter específico y brindar acciones correctivas coherentes y que se adapten de la mejor manera posible a cada empresa y proyecto, se pueden implementar listas de verificaciones u otras herramientas que ayuden a corregir posibles fuentes de disminución de la efectividad.

Como último punto una vez realizado el análisis de la productividad es beneficioso desarrollar los cálculos de rendimientos, estos van ligados con la cantidad de trabajo y las horas hombre empleadas para que se cumpla con el desarrollo de las diferentes actividades que conforman los procesos.

Implementación de entrevistas

Para conocer aún más sobre la situación actual en las empresas en temas de medición e implementación de buenas prácticas que se deben de emplear a la hora de desarrollar un análisis de productividad se optó por realizar una serie de preguntas en forma de una pequeña entrevista a diferentes empresas constructoras o relacionadas al sector constructivo, como primera fase se solicitó la colaboración a más de 25 empresas, sin embargo únicamente 11 empresas respondieron la solicitud y rellenaron amablemente las preguntas planteadas en el archivo compartido tanto en forma de formularios de Google, así como en archivo Word que se les facilitó.

Las preguntas están pensadas tanto para empresas ya consolidadas, así como para pequeñas y empresas en crecimiento que desarrollan en su mayoría proyectos de menor tamaño. La entrevista tiene como finalidad como se mencionó anteriormente conocer la situación actual de las empresas constructoras en temas relacionados con la medición y análisis de la productividad, específicamente en conocer si se realizan análisis dentro de las empresas, implementación de buenas prácticas empleadas dentro de cada empresa a la hora de llevar un control de la productividad, obtención de datos, mecanismos utilizados y análisis de resultados

en el desarrollo de los procesos en los diferentes proyectos constructivos.

A las diferentes empresas que participaron se les dejó en claro que los datos y resultados obtenidos únicamente se utilizarán como información primaria para el cumplimiento de los objetivos y se les resaltó que los resultados serán de dominio público, sin embargo, en ningún momento se presentarán los resultados ligados al nombre de alguna empresa, siendo esa información de carácter privado. También es importante mencionar que las preguntas que conforman el formulario son de carácter general y no se pretende realizar consultas detalladas, específicas o de información reservada.

Dentro de las preguntas se consultó primeramente si se desarrollan análisis de productividad, si se emplea una selección de actividades, si se tiene conocimiento de ciertas herramientas que ayudan a la selección de

actividades y búsqueda de factores, también se consultó sobre la representación gráfica utilizada para presentar las actividades que conforman cada proceso, la existencia de alguna plantilla establecida para la toma de datos mediante las observaciones, métodos utilizados para obtención de datos y si realizan alguna implementación de acciones correctivas. Por último, se consultó sobre si se cuenta con herramientas o guías donde se indique como realizar los análisis, sobre su importancia y beneficio, accesibilidad, facilidad para comprender y la adaptabilidad a los diferentes tipos de proyectos sin importar tamaño o la cantidad de actividades que la conforman, entre otras preguntas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la entrevista a las empresas constructoras anteriormente comentada:

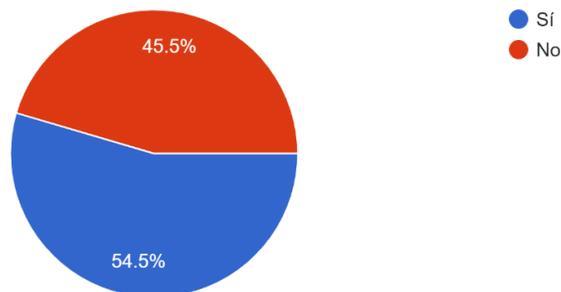
Entrevista Buenas prácticas empleadas para la medición y análisis de la productividad

Pregunta 1

El término productividad hace referencia a la eficiencia con que los recursos son utilizados para completar un producto o actividad en específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado.

¿Entendiendo el concepto anterior dentro de su empresa se realiza algún tipo de medición y análisis de la productividad?

Gráfico 1. Realización de mediciones de productividad



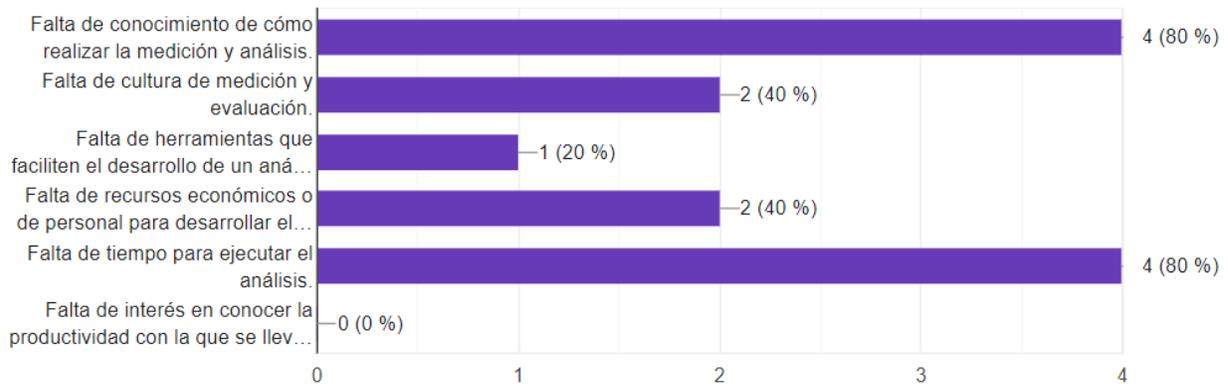
Fuente: Google Forms

Pregunta 2

¿Cuáles de los siguientes factores considera que intervienen para no desarrollar un estudio de la productividad en los proyectos constructivos?

- Falta de conocimiento de cómo realizar la medición y análisis.
- Falta de cultura de medición y evaluación.
- Falta de herramientas que faciliten el desarrollo de un análisis.
- Falta de recursos económicos o de personal para desarrollar el análisis.
- Falta de tiempo para ejecutar el análisis.
- Falta de interés en conocer la productividad con la que se llevan a cabo las actividades.
- Otros: _____

Gráfico 2. Factores que intervienen para no realizar mediciones

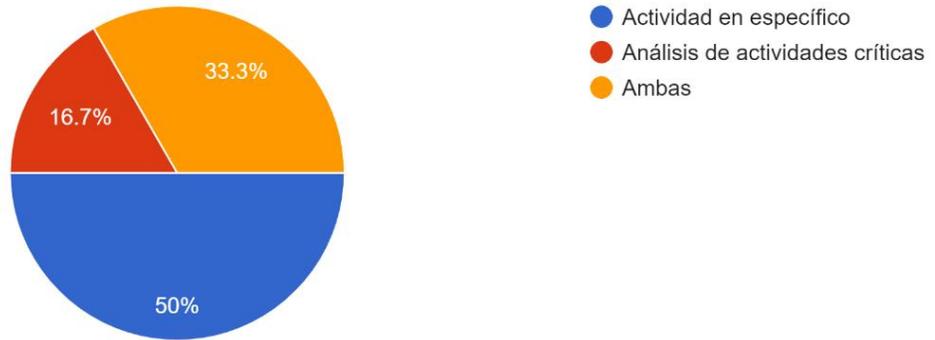


Fuente: Google Forms

Pregunta 3

¿Ha realizado el análisis de la productividad en una actividad o proceso en específico o ha desarrollado un análisis para seleccionar las actividades críticas que representan una mayor incidencia dentro de un proyecto?

Gráfico 3. Forma de realizar el análisis de la productividad

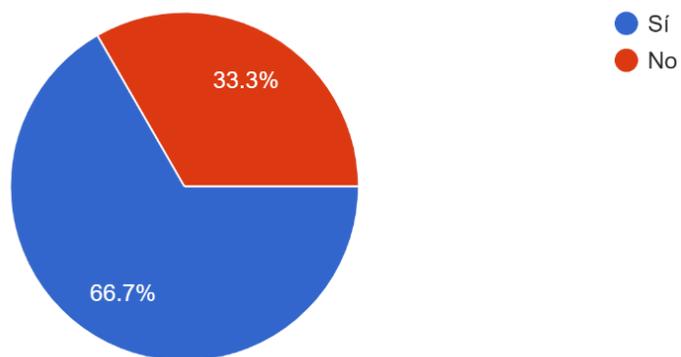


Fuente: Google Forms

Pregunta 4

¿Para llevar a cabo el análisis de la productividad desarrolla un análisis económico previo para conocer las posibles actividades críticas?

Gráfico 4. Implementación de análisis económico para selección de actividades

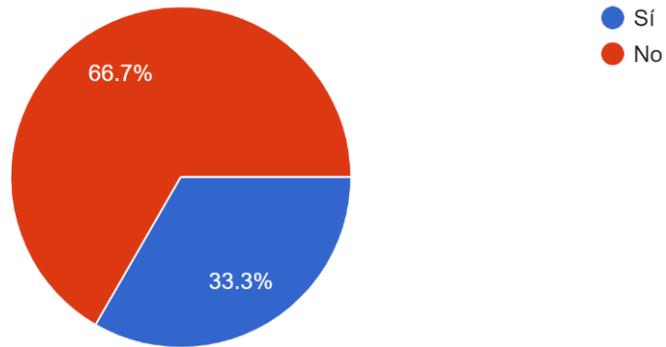


Fuente: Google Forms

Pregunta 5

¿Conoce la herramienta "Diagrama de Pareto"?

Gráfico 5. Conocimiento del diagrama de Pareto

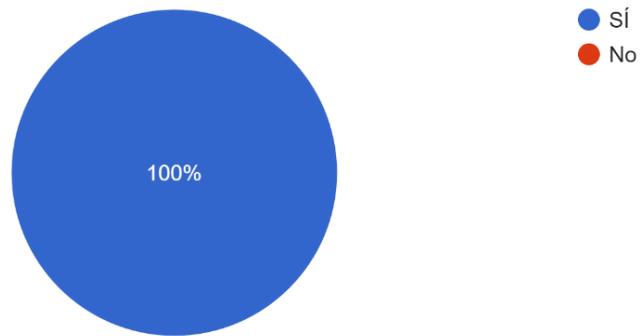


Fuente: Google Forms

Pregunta 6

¿Utiliza alguna representación gráfica ya sea ciclo de procesos o diagramas de flujo para representar las actividades que conforman cada proceso o la actividad crítica a analizar?

Gráfico 6. Utilización gráfica para representar procesos constructivos

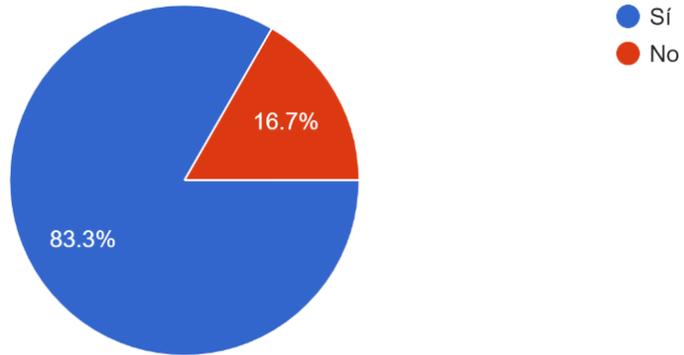


Fuente: Google Forms

Pregunta 7

¿Tiene alguna plantilla establecida para la obtención de los datos mediante la observación?

Gráfico 7. Utilización de plantillas para toma de datos

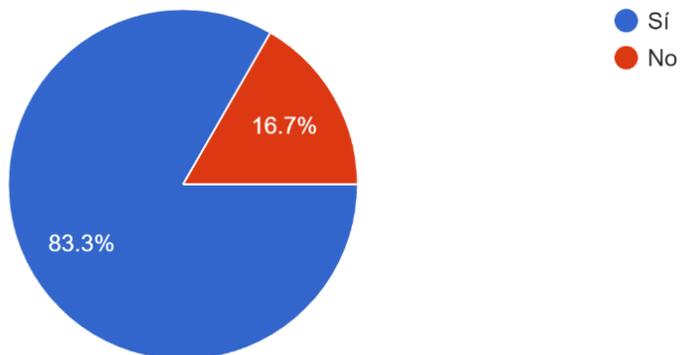


Fuente: Google Forms

Pregunta 8

¿A la hora de realizar la medición contempla y anota información relevante relacionada a la fecha, hora de inicio y final, intervalos de medición, clima, temperatura, cantidad de observaciones, frecuencia de muestreo?

Gráfico 8. Consideración de factores e información de importancia

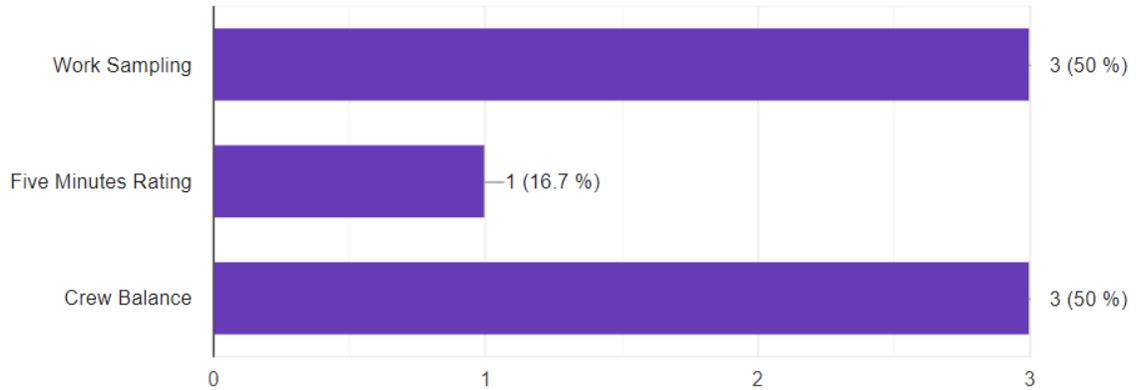


Fuente: Google Forms

Pregunta 9

¿Cuáles métodos para la obtención de datos utiliza?

Gráfico 9. Métodos empleados para obtención de datos

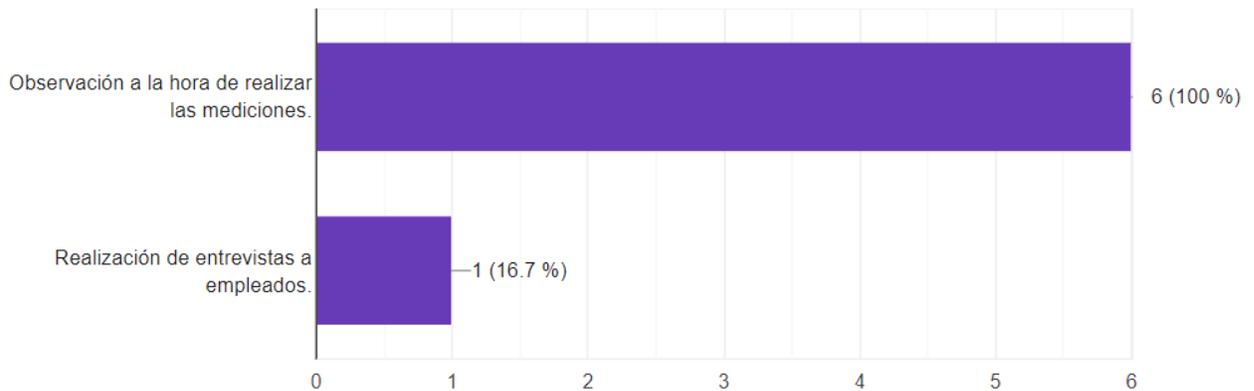


Fuente: Google Forms

Pregunta 10

¿Para la búsqueda de factores que afectan la productividad que actividades lleva a cabo?

Gráfico 10. Formas de Búsqueda de factores que afectan la productividad

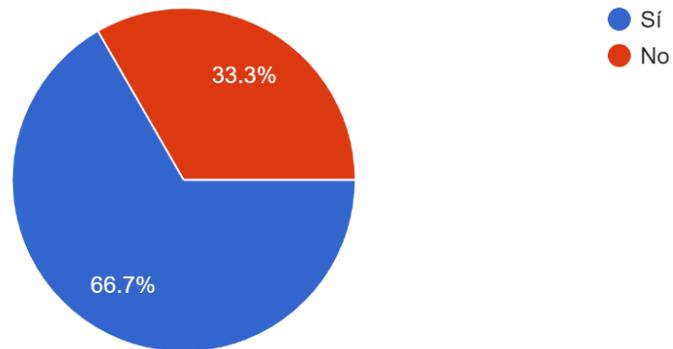


Fuente: Google Forms

Pregunta 11

¿Conoce que es el diagrama de Ishikawa?

Gráfico 11. Conocimiento del diagrama de Ishikawa

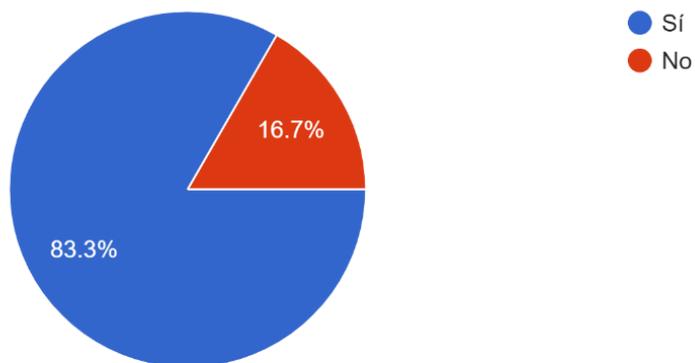


Fuente: Google Forms

Pregunta 12

¿Una vez terminado el análisis de la productividad y conociendo los factores que afectan la efectividad realiza un plan de mejora y toma medidas inmediatas?

Gráfico 12. Realización de plan de mejoras e implementación de medidas

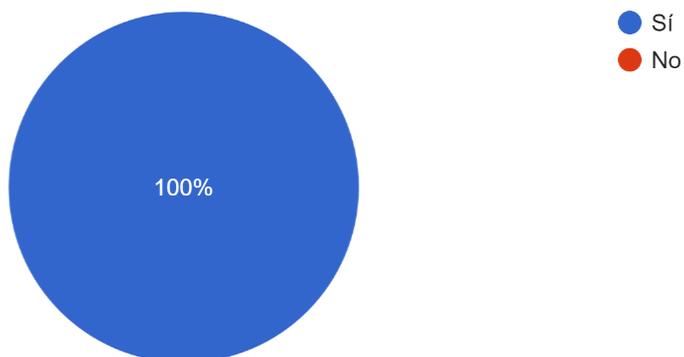


Fuente: Google Forms

Pregunta 13

¿Calcula rendimientos en sus proyectos?

Gráfico 13. Realización de cálculos de rendimientos

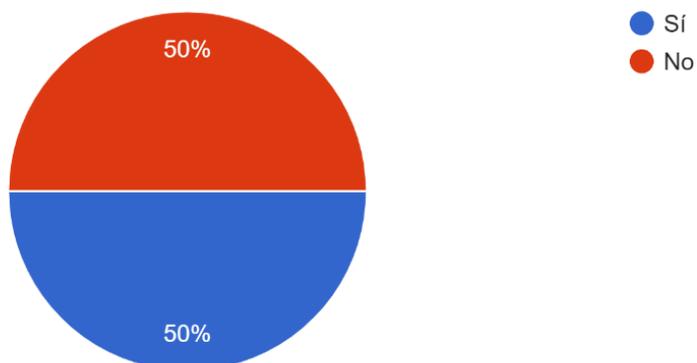


Fuente: Google Forms

Pregunta 14

¿Su empresa cuenta con una herramienta o guía en donde se indique como realizar el análisis de la productividad?

Gráfico 14. Implementación de herramientas o guías para el análisis de la productividad.

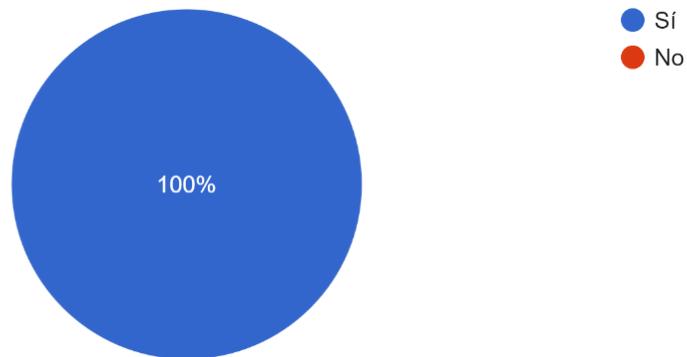


Fuente: Google Forms

Pregunta 15

¿Considera que al utilizar una guía que indique el paso a paso beneficia a la hora de realizar el análisis de la productividad?

Gráfico 15. Consideración de importancia de utilización de una guía

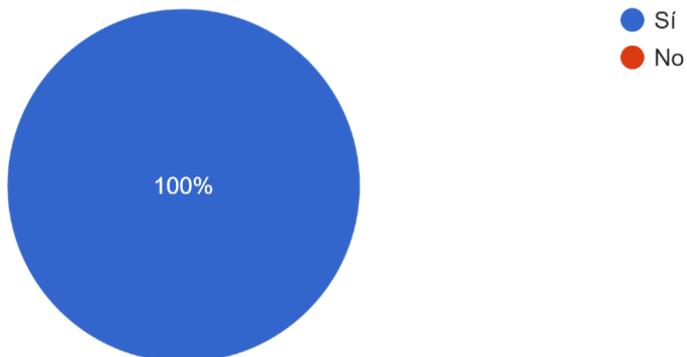


Fuente: Google Forms

Pregunta 16

¿Considera que sería beneficioso la existencia de una herramienta accesible que sea de carácter general en donde se explique los mecanismos de obtención de datos, medición y análisis y brinde una propuesta de mejora para los diferentes procesos?

Gráfico 16. Beneficio de la existencia de una herramienta para el análisis de la productividad

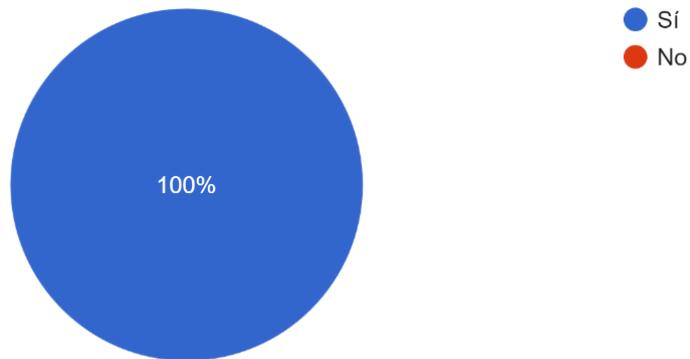


Fuente: Google Forms

Pregunta 17

¿Utilizaría una guía de medición y análisis de la productividad en donde se explica el paso a paso las acciones para desarrollar un análisis completo de la productividad?

Gráfico 17. Utilización de una guía de medición y análisis de la productividad

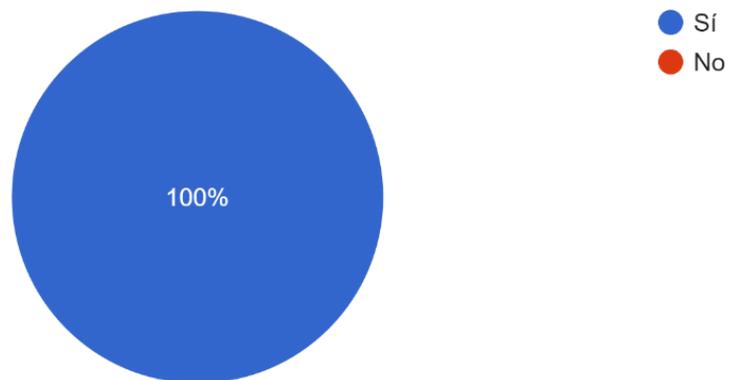


Fuente: Google Forms

Pregunta 18

¿Considera que sería beneficioso para el sector construcción el tener acceso fácil y ser de dominio público una herramienta que englobe todo lo necesario para desarrollar un análisis de productividad adaptándose a las diferentes condiciones de cada proyecto?

Gráfico 18. Consideración sobre herramienta publica, accesible y adaptable



Fuente: Google Forms

Comparación de mecanismos y herramientas.

Una vez llevado a cabo la presentación de los datos teóricos y elaborada la recolección de los datos puestos en práctica en los proyectos de graduación consultados y la realización de las entrevistas a distintas empresas constructoras se realizó una comparación de estos y además

se elaboró este cuadro comparativo en donde queda en evidencia las técnicas empleadas en cada proyecto consultado al igual que las partes teóricas establecidas para ejecutar un correcto análisis de la productividad, cabe destacar que en este cuadro también se contemplan las implementaciones de las herramientas que forman parte de los pasos a seguir para la correcta ejecución de tanto la medición como el análisis de los datos y la presentación de resultados.

Cuadro 1. Cuadro comparativo del material consultado con la materia teórica establecida.

	Teoría	Proyecto							
		Pirris	Edificio Modular	Centro de distribución	Edificio TIC'S	Condominio Vertical	The IVY	Torres UCR	Muro de Gaviones
Selección de actividades críticas.	Cuadros de información				X		X	X	
	Diagrama de Pareto				X		X	X	
	Clasificación y selección de las actividades				X		X	X	
Representación gráfica de los procesos constructivos.	Ciclos de procesos		X					X	
	Diagramas de flujo				X	X			
Mecanismos para la medición de la productividad.	Work Sampling	X	X	X			X		X
	Five Minutes Rating	X					X		
	Crew Balance				X	X	X	X	X
Factores que afectan la productividad.	Recolección mediante observación					x	X	x	X
	Implementación de entrevistas				X	X	X	X	
Representación gráfica de los factores.	Diagrama de Ishikawa				X	X	X	X	
Mejoramiento de la productividad.	Propuestas de buenas prácticas					X	X		X
Cálculo de rendimientos.		X	X	X		X			X

Fuente: Elaboración propia

Para el tercer objetivo del desarrollo de este proyecto, el cual consiste en diseñar una guía para la medición, presentación e interpretación de resultados según la recopilación de información se obtiene como resultado la "Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos".

Realizada la comparación de los datos recopilados en la investigación tanto teórica como práctica y teniendo claro los métodos que

mejor se adaptan y brindan mejores resultados en el análisis de la productividad en los procesos de los proyectos se desarrolló el diseño de la propuesta de la guía para la medición y análisis de la productividad.

En esta guía se presentó la forma para la selección de actividades críticas, representación gráfica de los procesos constructivos, mecanismos para la medición de la productividad, presentación de resultados,

factores que afectan la productividad y mejoramiento de la productividad. Dentro de lo recopilado presente en la guía destacan los pasos de recolección de información, confección de cuadros, clasificación y selección de actividades, realización de diferentes diagramas y utilización de herramientas para representación gráfica, además de la descripción de los 3 técnicas recomendadas para el análisis

y la forma de obtención de los factores que intervienen en los procesos que provocan una disminución de la efectividad.

Como archivo adjunto a este informe se puede encortar el documento de la guía como tal, contemplando todo lo anteriormente comentado, al igual que el archivo Excel con el ejemplo presentando.

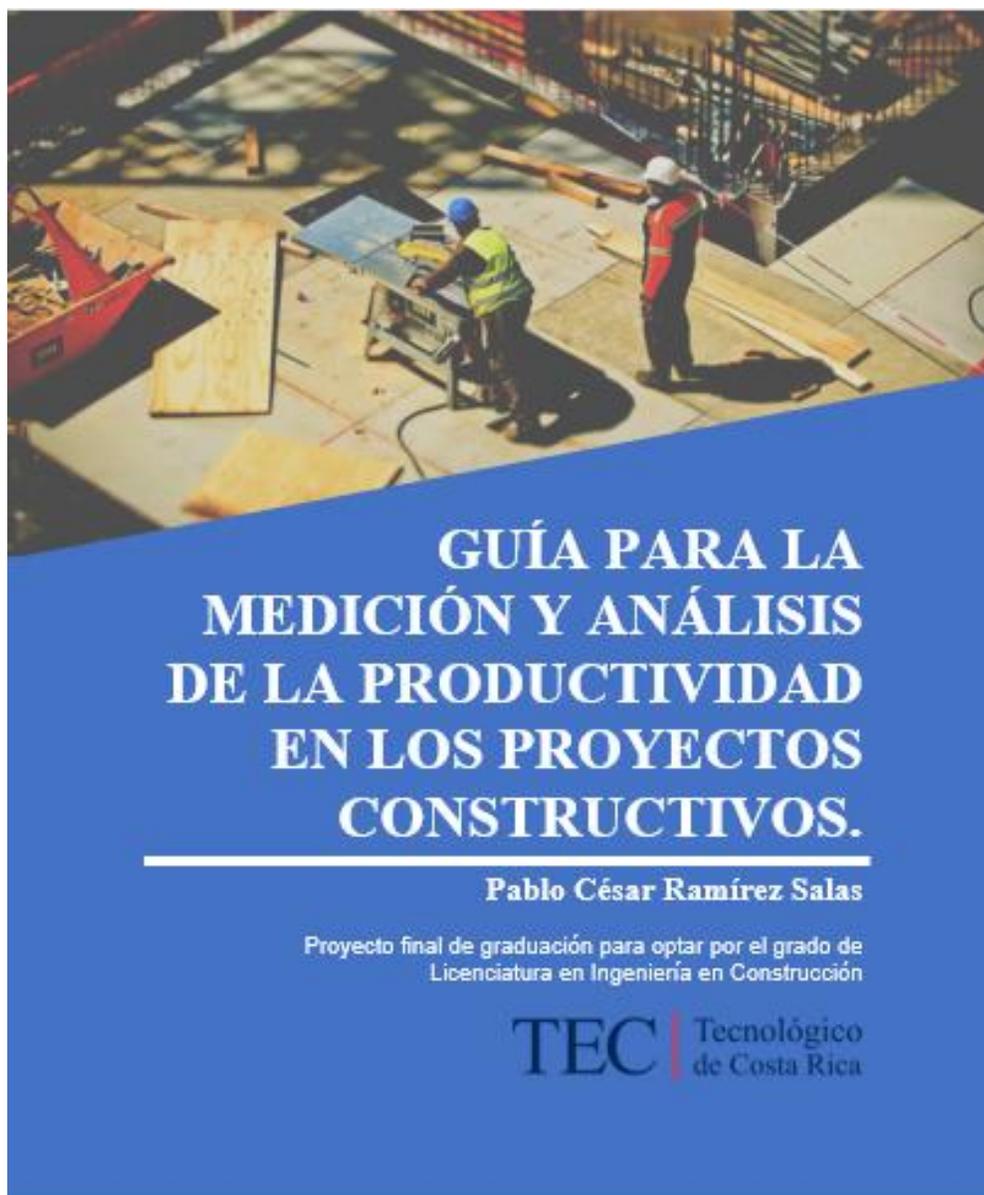


Figura 58. Portada del documento guía para la medición y análisis de la productividad.
Fuente: Elaboración propia

Análisis de los resultados

En el siguiente apartado se realiza el correspondiente análisis, interpretación y discusión de los resultados obtenidos con la realización de este proyecto.

Primeramente, el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados al inicio del proyecto se llevó a cabo en 4 etapas que a continuación son mencionadas:

- Recolección de información relacionada al tema en investigaciones, artículos, documentos y proyectos de graduación.
- Desarrollo de una investigación teórica y búsqueda de buenas prácticas en la medición y análisis.
- Comparación de los datos prácticos con los teóricos.
- Conformación de la guía en donde se muestran los pasos a seguir para desarrollar un adecuado análisis de la productividad en los proyectos constructivos.

Investigación de la materia disponible sobre estudios y resultados relacionados a la medición de productividad.

Para efectuar la recolección se realizó una búsqueda de información de varias fuentes siempre velando que la información encontrada fuera de carácter confiable y de una fuente segura, dentro del conjunto de información recolectada destacaban investigaciones enfocadas en temas de productividad y rendimiento, cuantificaciones de rendimientos, artículos con un enfoque a la afectación de la productividad en los costos de la construcción debido a la baja efectividad con la que se realizan los procesos, también se optó por

recolectar una serie de proyectos de graduación relacionados a los procesos y a la productividad en los proyectos constructivos utilizando la medición y análisis. Una vez realizada esa recolección de la materia relacionada al tema se hizo una selección del material excluyendo varias fuentes de las que se tenía información, ya que se tomó la decisión de realizar el proyecto con un enfoque y un aprovechamiento únicamente de material realizado en los proyectos de graduación de compañeros de la misma carrera presentadas en años anteriores e investigaciones o herramientas elaboradas por parte de la escuela de Ingeniería en construcción del Tecnológico de Costa Rica, limitando de esa manera el proceder de la información para tener un punto de comparación y además notar la evolución que ha tenido la escuela en el tema con el pasar de los años, cabe destacar que los documentos seleccionados están dentro de un rango de 10 años siendo del 2010 el trabajo consultado más antiguo y el 2019 el más reciente.

Una vez seleccionado el material se analizó y se verificó el cómo se llevó a cabo la medición y análisis de la productividad, se observó que no todos los análisis se desarrollaron de la misma manera ni siguiendo un solo orden, además en algunos casos se desarrollaba un análisis completo y en otros el análisis propiamente de la productividad se realizó de una forma no muy detallada porque se enfocaban más en el cálculo de rendimientos y la afectación en otros temas relacionados a la cuantificación y el control de los costos de las actividades.

En el material recolectado se analizó la forma empelada para la escogencia de las actividades en donde se desarrollaría el análisis, esto para los casos en donde no se tenía definido con anterioridad las actividades en donde realizar el procedimiento de la medición de la efectividad. Para este tema en algunas investigaciones se

implementó una selección de las actividades críticas que consistían en el uso de una herramienta de análisis para lograr descubrir las actividades que representaban un alto porcentaje del costo de proyecto como tal, por ende al elevar la efectividad en esos procesos se lograría disminuir tiempos que representan pérdidas para la empresa, en los proyectos donde se realizó esta selección se explica muy bien el procedimiento empleado para la obtención de dichas tareas críticas y su correspondiente clasificación mediante la herramienta mencionada.

Posterior a la selección de las actividades críticas de los procesos se verificó la forma utilizada para la representación gráfica de las tareas que conforman los procesos constructivos seleccionados, estas representaciones fueron elaboradas con el fin de visualizar las tareas que conforman cada proceso y de esa manera realizar las mediciones en cada una de ellas. Para hacer esas representaciones se utilizaron herramientas válidas que realmente ayudaron a presentar de una manera más vistosa los procesos, se utilizaron ciclos de procesos y diagramas de flujos, herramientas muy útiles a la hora de poder acomodar una cadena de actividades que contengan inclusive algunas restricciones, condiciones, datos de entrada, decisiones o conectores.

Para comprender cómo realizar el análisis se debe tener claro las técnicas utilizadas para la medición de la productividad, según la investigación efectuada en los proyectos elaborados se utilizaron 3 técnicas de medición conocidas: Work Sampling, Five minutes Rating y Crew Balance. Realizando un análisis en las técnicas escogidas se observó que no en todos los documentos se implementaban las tres técnicas, sino que lo más común fue utilizar únicamente el método de Crew Balance o una mezcla entre el Five Minutes Rating y el Crew Balance.

La presentación de resultados se llevó a cabo utilizando formas de representación gráfica de tipo circulares y de barras, en donde explicaban y relacionaban la productividad obtenida. También se dejó claro que los métodos de medición de la productividad sin importar cualquiera que sea son de carácter repetitivo, es decir que una vez llevado a cabo en una actividad se debe repetir hasta obtener los resultados de todas las tareas que conforman el proceso y una vez hecho esto se debe repetir en los diferentes procesos

seleccionados para implementar el análisis de la productividad.

Se detectó también el uso de la observación en la medición y la implementación de entrevistas para la búsqueda de factores y deficiencias que perjudican la eficiencia en los procesos, siendo las entrevistas el método más utilizado, estas se le aplicaron a la mano de obra y a los encargados de la construcción, así se obtuvo una mejor visión de los posibles factores que provocan una disminución de la eficiencia y eficacia en ambos lados, tanto el lado del trabajador, así como el del ingeniero o maestro de obras encargado.

En temas relacionados al análisis de resultados y mejoramiento de la productividad se desarrollaron una serie de recomendaciones a implementar para que los procesos se vuelvan óptimos, por lo general en los proyectos se encuentran problemas en la mano de obra, materiales y equipo, en el diseño de sitio y en los factores externos que perjudican la ejecución de las actividades que componen los procesos. En algunos casos se presentaron propuestas de reestructuración de los procesos y propuestas de diseño de sitio contemplando la información obtenida en el análisis de las tareas, condiciones del entorno y las condiciones del ambiente laboral presentes en la obra en construcción.

La mayoría de los trabajos consultados ejecutaron el cálculo de rendimientos, sin embargo, en algunos casos no se dejó en claro la fórmula que utilizaba ni la forma en que desarrollaron el cálculo, sino que solamente se presentaban datos en tablas y representados en gráficos.

Por último, la productividad promedio en los documentos consultados ronda el 69% del cual el 55% corresponde al trabajo productivo y un 14% al trabajo contributivo, realizando una comparación con la distribución ideal del trabajo en la construcción la cual consiste en un 60% de trabajo productivo, 15% trabajo contributivo y 25% trabajo improductivo permite visualizar que en la actualidad el desarrollo de los procesos en los proyectos constructivos tiene una disminución con el porcentaje establecido como ideal en términos de productividad por lo cual se deben de tomar las acciones necesarias para que este porcentaje se eleve a lo ideal e inclusive supere el porcentaje esperado logrando realizar procesos con una productividad elevada.

Desarrollo de la investigación teórica acerca de las buenas prácticas de medición y análisis de la productividad.

En la investigación teórica y la búsqueda de buenas prácticas para verificar mecanismos de medición y análisis desarrollados el principal insumo utilizado fue la materia recolectada en el curso de la carrera correspondiente al diseño de procesos constructivos, gracias a los apuntes realizados, así como las minutas de las clases conservadas se obtuvo suficiente materia para abarcar gran cantidad del marco teórico del proyecto que a su vez corresponde a un objetivo de este proyecto.

Al enfocar la materia a únicamente información relacionada con proyectos de graduación realizados en años anteriores e informes y herramientas desarrolladas por la escuela, además de investigar un poco más sobre la materia impartida en años anteriores y la materia que se da en la actualidad, se logró obtener un punto de comparación y a su vez notar la evolución del curso, la información y materia que se le brinda al estudiante.

Dentro de la información presentada como teoría necesaria para la realización del proyecto destacan las definiciones de proceso, los tipos de procesos en el ambiente constructivo, el término de calidad el cual engloba los términos como eficiencia, eficacia y efectividad.

En tema de las técnicas de medición se descubrió que teóricamente hay 2 formas de hacer la medición de la productividad, existe la manera cualitativa que apela a la utilización y obtención de información mediante encuestas o entrevistas y por otro lado se encuentra la manera cuantitativa en donde se hace uso de la estadística y recolección de información mediante tres principales métodos: Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance.

Posterior a buscar toda la información relacionada a estos 3 métodos se buscó información sobre las herramientas que ayudan al análisis de datos y que están relacionadas a rendimientos y efectividad entre las cuales se encontraron el diagrama de Pareto, el diagrama de Ishikawa y para representar las actividades los diagramas de flujo, así como los diagramas de recorrido y mapas de flujo de valor.

La última parte de la recolección de la materia teórica tuvo un enfoque en la búsqueda de los factores que afectan la productividad donde se descubrió la existencia de 7 principales categorías como economía global, aspectos laborales, clima, equipamiento, supervisión, estado del trabajador y la actividad a realizar, estas categorías se engloban en 4 grandes causas probables que son la mano de obra, materiales, equipo y herramientas, diseño de sitio y los factores externos que tienen un impacto directo en el desarrollo de la obra en construcción.

Comparación de los datos prácticos con los teóricos.

Para poder tener claro los conceptos y la forma de realizar un análisis de una manera adecuada se realizó un comparación entre la materia práctica presente en los diferentes proyectos de graduación consultados y la materia teórica recopilada.

En esta comparación se analizó la forma en la que se determinó las actividades en donde realizar los análisis, se implementaron estudios relacionados con los costos que representan cada proceso dentro del presupuesto total de la obra a desarrollar, al igual que la utilización de herramientas válidas como el diagrama de Pareto para la clasificación de actividades, posterior a esto se comparó la forma en la que fueron representadas las actividades de cada proceso en donde se notó una escasa utilización de los diagramas de flujo y de los ciclos de tareas las cuales son herramientas que como se describió en la parte teórica permiten llevar y visualizar las actividades de una mejor manera.

En relación con los mecanismos utilizados para la medición de la efectividad si se implementaron las técnicas establecidas en la teoría, ningún documento consultado utilizó otra técnica que no se trate del Work Sampling, Five Minutes Rating o del Crew Balance. La manera en la que se desarrolló la recolección de información, realización de observaciones, obtención de resultados y la clasificación respectiva se ejecutó de una manera totalmente ligada a la forma de llevar a cabo las técnicas de medición.

Donde sí existió un cambio en relación con lo teóricamente establecido fue con el mejoramiento de la productividad, en este caso las propuestas de mejoramiento y la implantación de

medidas por obvias razones estuvieron ligadas a cada proyecto donde se realizó el análisis, ya que según lo conseguido en la teoría brindan soluciones de manera muy general y no se centran en detalles que ocurren en los procesos.

Como último punto de comparación realizado fue el cálculo de los rendimientos en los diferentes documentos, se notó que algunos documentos se centraban en la medición de la productividad y al mismo tiempo en la toma de rendimientos tanto de la mano de obra como de los trabajadores y equipo. En otros documentos no se realizó de esa manera y no se le dio importancia inclusive no se describió la forma en la que se obtuvieron los resultados ni las fórmulas utilizadas.

En relación con la entrevista realizada a las diferentes empresas constructoras se realizó con el fin de conocer si desarrollan en los proyectos constructivos un análisis de productividad, además de conocer sobre mecanismos que utilizan y buenas prácticas que emplean, de esta manera se logró obtener información sobre lo que se realiza actualmente y no utilizar como fundamento para la creación de la guía únicamente la teoría establecida.

Se optó por realizar una serie de preguntas en forma de una pequeña entrevista a diferentes empresas constructoras o relacionadas al sector constructivo, se solicitó la colaboración a más de 25 empresas constructoras ubicadas en todo el territorio nacional, sin embargo, únicamente 11 empresas respondieron la solicitud y rellenaron el formulario con las respuestas a las preguntas planteadas.

Las preguntas se pensaron tanto para empresas ya consolidadas, así como para empresas pequeñas y en crecimiento que desarrollan en su mayoría proyectos de menor tamaño, como se mencionó anteriormente se deseaba conocer si desarrollaban análisis de productividad y como lo realizaban y en caso de no hacerlo conocer los factores que influían para no realizar dicho análisis, de igual manera se deseaba conocer si se utiliza alguna guía ya establecida dentro de la empresa o si se considera beneficioso la existencia de una que fuera de carácter accesible, de fácil entendimiento y que presente de manera completa el paso a paso para desarrollar el estudio de la productividad.

Se decidió conocer también sobre la situación actual de las empresas constructoras en temas relacionados con la medición, específicamente con las buenas prácticas

empleadas dentro de cada empresa a la hora de llevar un control de la productividad, obtención de datos, mecanismos utilizados, análisis de resultados y formas de mejoramiento en el desarrollo de los procesos en los diferentes proyectos constructivos.

A las diferentes empresas que participaron se les dejó en claro que los datos y resultados obtenidos únicamente se utilizaron como información primaria para el cumplimiento de los objetivos y se les resaltó que los resultados serán de dominio público, sin embargo, en ningún momento se presentarán los resultados ligados al nombre de alguna empresa. También es importante mencionar que las preguntas que conforman el formulario son de carácter general y no se pretendió realizar consultas detalladas, específicas o de información reservada.

En la pregunta 1 correspondiente a si se realiza mediciones y análisis de productividad de las 11 empresas consultadas 6 si realizan mediciones de productividad lo que representa un 54.5 %, esto deja en evidencia que no todas las empresas constructoras consultadas se preocupan realmente por conocer si los procesos constructivos dentro de sus proyectos son efectivos, es importante recordar que la mediciones de productividad son importantes porque cumplen la función de ser indicador de efectividad en un sistema o proceso, relacionado la eficiencia y eficacia permitiendo lograr con el cumplimiento del producto de la construcción de obras.

La pregunta 2 está ligada a las empresas que respondieron de manera negativa a la pregunta anterior, en esta pregunta se consultó acerca de los factores que se consideraban que interviene para no desarrollar el análisis de la productividad para lo cual se presentaron opciones como falta de conocimiento de cómo realizar la medición y análisis, falta de cultura de medición y evaluación, falta de herramientas que faciliten el desarrollo de un análisis, falta de recursos económicos o de personal para desarrollar el análisis, falta de tiempo para ejecutar el análisis, falta de interés en conocer la productividad con la que se llevan a cabo las actividades y también se dio la oportunidad de añadir otra opción de ser necesario. Para esta pregunta los resultados arrojaron que la principales causas según los consultados son la falta de conocimiento de cómo realizar el análisis y la falta de tiempo para ejecutar las mediciones con 4 votaciones cada una,

además cabe destacar que, si existe interés por conocer la productividad con la que se llevan a cabo las actividades sin embargo estos factores más la falta de cultura de medición, falta de recursos y herramientas influyen de manera negativa en este caso.

La pregunta 3 estuvo dirigida a las empresas que contestaron de manera positiva la pregunta 1 consultándoles si realizan el análisis de la productividad en una actividad o procesos en específico o si desarrollan un análisis de actividades críticas, como resultado se obtuvo que la mayoría de las empresas consultadas realizan el análisis de la productividad en actividades específicas, seguido de actividades críticas, para este punto los resultados hacen evidente que la mayoría de empresas aplican únicamente mediciones de productividad en procesos constructivos en específico e inclusive escogidos con anterioridad, dejando de un lado todo un análisis para verificar realmente donde exactamente recae más el peso de presentar una menor efectividad a la hora de realizar las tareas que conforman los procesos más críticos y que representan un mayor impacto económico en el proyecto constructivo.

A las empresas se les consultó en la pregunta 4 sobre el desarrollo e implementación de análisis económicos para seleccionar las posibles actividades críticas dando como resultado que el 66.7% si realiza este tipo de análisis.

Para este punto es importante saber si las empresas conocen herramientas que colaboran para la selección de actividades por lo que en la pregunta 5 se consultó sobre el conocimiento de la herramienta el diagrama de Pareto de las cuales un 66.7% no tenía conociendo, posterior a esta pregunta se consultó sobre la utilización de alguna representación gráfica para presentar las actividades que conforman cada proceso ya sea ciclos o diagramas de flujo dando como resultado que el 100% utiliza alguna representación para conocer las actividades en donde se deberá realizar las mediciones de productividad.

En la pregunta 7 y en la 8 se consultó sobre la utilización de plantillas establecidas dentro de la empresa para la toma de datos, al igual que la consideración de información relevante como fecha, hora, cantidad de observaciones, frecuencia de muestreo y factores que afectan como el clima, humedad y temperatura. Para este caso los resultados

mostraron en ambas preguntas que un 83.33% utiliza plantillas establecidas y a la hora de realizar las mediciones contemplan toda la información anterior, esto muestra que la mayoría de las empresas si cuentan con recursos ya establecidos para tal fin y además que se preocupan para que se presente toda la información relevante y de importancia a la hora de realizar las mediciones de la productividad en sus proyectos.

En el caso de la pregunta 9 se consultó propiamente que método se utiliza en las diferentes empresas para la obtención de datos y el cálculo de la productividad, de igual manera se presentaron las opciones más comunes y se añadió un espacio por si alguna empresa utiliza otro método diferente o alguna forma distinta para desarrollar la obtención de los datos dando como resultado que los métodos Work Sampling y el Crew Balance son los más utilizados con 3 votaciones cada uno y siendo el método Five Minutes Rating el menos utilizado con un voto, analizando esta pregunta y utilizando información que fue recogida en las entrevistas que se realizaron de forma personal o anotaciones que realizaban se nota que las empresas utilizan el método Work Sampling cuando se desea realizar un análisis más rápido para conocer únicamente datos y porcentajes y se utiliza el método Crew Balance cuando ya se requiere conocer información más detallada sabiendo que este método toma mucho más tiempo de observación y a análisis que el método anterior, también se comentó que en algunas ocasiones la productividad se media por el cumplimiento de tareas en el tiempo establecido, siendo esta otra forma establecida para la obtención de la efectividad.

En la pregunta 10 se consultó sobre la búsqueda de factores que afectan la efectividad en los procesos, esto se hizo con el fin de conocer si las empresas solo utilizan datos y visualizaciones obtenidos en las mediciones o si realmente se preocupan por conocer factores externos que pueden afectar de manera directa la productividad en los proyectos. Como resultado se obtuvo que únicamente 1 empresa de las consultadas realiza entrevistas a empleados lo cual deja en evidencia que las empresas consultadas están dejando a un lado datos de importancia que los trabajadores pueden comunicar y expresar y a su vez pueden beneficiar de manera directa el mejoramiento de la eficiencia, por otro lado, y por obvias razones todas las empresas consultadas utilizan la

observación durante la toma de datos en sus proyectos para la búsqueda de factores. Como forma de representación de estos factores se consultó en la pregunta 11 sobre el conocimiento de la herramienta del diagrama de Ishikawa la cual muestra de una manera muy ordenada los factores y permite visualizar mejor donde y que acciones tomar para eliminar o disminuir estos factores que afectan de manera directa la productividad, obteniendo como resultados que un 33.3% de las empresas consultadas no conocen esta herramienta.

Como es de conocimiento general el análisis además de brindar porcentajes también ayuda a visualizar los factores por lo que en la pregunta 12 se consultó sobre la realización de plan de mejora o toma de medidas inmediatas después de realizar la obtención de la eficiencia y conocer lo factores por lo que se tuvo como resultado que un 83.3% de las empresas consultadas se preocupa realmente por corregir inmediatamente los errores o malas acciones arrojadas con el análisis y desarrollan un estudio y presentación de un plan de mejora con acciones correctivas para que los factores que influyen negativamente desaparezcan o en su caso que causen menos impacto al desarrollar las actividades de los diferentes procesos que conforman el proyectos constructivo. Además de esta pregunta se quiso como pregunta adicional consultar sobre la medición de rendimientos de las diferentes cuadrillas presentes en los proyectos dando como resultado que el 100% de la empresas consultadas realiza dicho estudio.

Como pregunta totalmente ligada al objetivo final de este proyecto el cual consiste en desarrollar una guía para la medición y análisis de productividad en los proyectos constructivos se consultó en la pregunta 14 si las empresas cuentan con una guía o herramienta ya establecida dentro de la empresa en donde se indique como realizar el análisis paso a paso dando como resultado que un 50% de la empresas consultadas no tiene algún instrumento que indique como realizar las acciones necesarias para medir y analizar la productividad, esto da a pie que la finalidad de este proyecto cumpla con el objetivo de presentar un propuesta de guía para ser utilizada en la medición de la productividad en los proyectos constructivos de las diferentes empresas.

En las siguientes preguntas correspondientes a las 15,16,17 y 18 se abarcaron los temas sobre el

beneficio, la utilización, accesibilidad y funcionalidad de la existencia de una herramienta que englobe y presente de forma ordenada todo lo relacionado con el análisis de la productividad, para ello se hicieron las siguientes consultas: ¿Considera que al utilizar una guía que indique el paso a paso beneficia a la hora de realizar el análisis de la productividad?, ¿Utilizaría una guía de medición y análisis de la productividad en donde se explica el paso a paso las acciones para desarrollar un análisis completo de la productividad?, ¿Considera que sería beneficioso la existencia de una herramienta accesible que sea de carácter general en donde se explique los mecanismos de obtención de datos, medición y análisis y brinde una propuesta de mejora para los diferentes procesos?, ¿Considera que sería beneficioso para el sector construcción el tener acceso fácil y ser de dominio público una herramienta que englobe todo lo necesario para desarrollar un análisis de productividad adaptándose a las diferentes condiciones de cada proyecto?. Dando como resultado que en todas la preguntas anteriores las empresas constructoras consultadas estuvieran un 100% a favor y 100% de acuerdo con que la construcción y el uso de estas herramientas favorecerán de manera significativa al sector construcción, lo cual indica que en la actualidad existe una preocupación por aumentar la efectividad en los procesos constructivos, al igual que desarrollar una optimización de recursos tanto antes y durante la ejecución de una obra o proyecto.

Como información adicional a las repuestas presentes en las entrevistas algunas empresas de las consultadas dejaron en claro lo importante que es para ellos realizar mediciones y cumplir con estándares de calidad, también se mencionó que utilizan herramientas adicionales para la creación y distribución en sitio, además se mencionó sobre la utilización de diagramas de recorrido, mapas de flujo de valor, realización acciones correctivas en temas como seguridad laboral, distancias de acarreo y desplazamiento, mantener lo más posible el orden en sitio y por último se mencionó de la importancia de la capacitación, motivación e incentivos que hacen sentir al empleado de una mejor manera permitiendo laborar de una manera más productiva.

Diseño de la guía para la medición, presentación e interpretación de resultados.

Una vez realizada toda la comparación anterior se procedió a la creación de la guía para la medición y análisis de la productividad teniendo claro todas las partes, pasos a seguir y la correcta forma para desarrollarla.

Primeramente, se abarcaron términos introductorios como por ejemplo el caso del concepto de productividad, eficiencia, eficacia y efectividad, al igual que los tiempos presentes en los procesos constructivos el tiempo productivo, improductivo y el contributivo.

La guía se dividió en 3 secciones correspondientes a datos introductorios anteriormente presentados, análisis de la productividad y cálculo de rendimientos. La sección del análisis de la productividad la cual corresponde a la sección de mayor tamaño se subdividió en 6 subsecciones y a su vez cada subsección se dividió en una serie de paso a paso para desarrollar un correcto análisis de la productividad.

Las 6 subsecciones corresponden a:

- Selección de actividades críticas.
- Representación gráfica de los procesos constructivos.
- Mecanismos para la medición de la productividad.
- Presentación de resultados.
- Factores que afectan la productividad.
- Mejoramiento de la productividad.

Selección de actividades críticas.

Para la sección de la selección de actividades críticas se implementaron 5 pasos relacionados a la recolección de información, confección de cuadros informativos, realización de diagramas de representación, clasificación de las actividades por su importancia económica en la obra en ejecución y la selección de las actividades críticas. En estos pasos se detalló el procedimiento para llevar a cabo la selección de una manera muy simple y con un lenguaje entendible para cualquier persona, además se realizó una serie de ejemplos que

sirven para que el usuario tenga una idea de cómo realizar los pasos en sus propios proyectos.

Representación gráfica de los procesos constructivos.

Para la representación gráfica, los pasos son muy sencillos basta con seleccionar las tareas de cada proceso y crear la representación ya sea en forma de ciclos o utilizando diagramas de flujo, para ambos casos en la guía se explica cómo realizar cada uno y también se presentan algunos ejemplos para ser tomados en cuenta a la hora de que el usuario los realice en sus propios proyectos.

Mecanismos para la medición de la productividad.

Para los mecanismos los pasos presentados se parecen mucho entre sí solamente el método de Crew Balance tiene un paso de más perteneciente a la representación. Los pasos presentados fueron: la creación de la plantilla de medición, recolección de información, realización de las mediciones en campo, obtención de resultados, realización de gráficos de resultados y por último la clasificación de la actividad en análisis. En todas las técnicas se explicó detalladamente cómo proceder con las mediciones de principio a fin recordando que al finalizar con la clasificación de la actividad todo se repite hasta completar todas las tareas que conforma el proceso en estudio y posteriormente se realiza nuevamente un análisis de todas las tareas, pero en el otro proceso seleccionado como crítico en caso de existir.

Presentación de resultados.

En el caso de la presentación de resultados se presentaron recomendaciones de cómo dar a conocer los datos de una forma ordenada y que permita visualizar todos los datos obtenidos en la medición ya sea mediante una sola técnica o en caso de utilizar varias técnicas.

Factores que afectan la productividad.

La propuesta para encontrar los factores es la implementación de una lista de verificación, al igual que realizar una encuesta en donde se recolecta la información, se analiza y se crea una representación mediante el diagrama de Ishikawa, en esta sección se presentan el paso a paso de

cómo desarrollar ese diagrama al igual que en la sección de anexos se adjuntan una serie de preguntas que fueron elaboradas con el fin de ser utilizadas para la búsqueda de factores.

Mejoramiento de la productividad.

El mejoramiento de la productividad se realizó mediante la presentación de buenas prácticas obtenidas del manual de buenas prácticas para incrementar la productividad en los procesos de construcción elaborado por la Ing. Ana Gretel Leandro profesora pensionada de la escuela de Ingeniería en Construcción, de este manual se tomaron la mayor cantidad de buenas acciones a seguir para que la efectividad en los proyectos constructivos aumente haciendo un acomodo en las 4 causas probables desarrolladas en la guía.

Posterior a esto se presentaron algunas herramientas que favorecen al mejoramiento de la productividad tal es el caso del diseño de sitio, en donde se presentaron definiciones, las principales consideraciones a seguir para la realización adecuada, se indicó la información relevante que debe de contener un buen diseño de sitio, además de recomendaciones. Otra herramienta presentada fue el diagrama de recorrido, se presentaron definiciones, contenido de este, la simbología correspondiente, los pasos a seguir para desarrollar el diagrama además de recomendaciones y un ejemplo. Como última herramienta se presentó los mapas de flujo de valor, sus definiciones, implicaciones, pasos para construir el mapa, presentación de plantillas, simbología y un ejemplo para ser tomado como referencia.

Rendimientos

Como último punto desarrollado en la guía primeramente se dejó en evidencia que llevar a cabo las mediciones, observaciones, realizar un análisis y ejecutar un mejoramiento en las deficiencias, así como emplear las herramientas presentadas anteriormente es beneficioso, ya que estas pueden generar una alta eficiencia, eficacia y a su vez una buena efectividad en los diferentes proyectos.

Una vez entendido lo anterior se logró observar la correlación directa entre los rendimientos y productividad, la cual dicta que a

mayor rendimiento generado en el desarrollo de los procesos constructivos mayor será la productividad.

En esta sección del documento se dejó en claro que para obtener rendimientos adecuados se deben de tomar en cuenta la influencia que ejerce el desarrollar en los proyectos constructivos un buen diseño de sitio permitiendo obtener una buena distribución del espacio físico minimizando tiempos de traslados y esperas, además de promover seguridad al disponer de áreas de trabajo debidamente ordenadas, mismo caso ocurre con los mapas de flujo de valor, al realizar estos mapas se logra identificar aquellas actividades que no le agregan valor al proceso como tal, permitiendo ejecutar un diagnóstico del proceso y gracias a esto se promueven estrategias de mejoramiento en las áreas donde se necesiten mejoras.

Específicamente para el caso de los rendimientos los diagramas de recorrido juegan un papel fundamental, esta parte se evidenció también en esta sección mediante la explicación de la importancia del trazado de los movimientos de los trabajadores y/o de los materiales, permitiendo identificar las posibles áreas congestionadas, determinar los avances y retrocesos del proceso facilitando el desarrollo de una mejor distribución de la planta, mejorando métodos, eliminando o reduciendo los recorridos mediante la adecuada distribución en planta. El ejecutar este tipo de herramienta ayuda a agilizar el desarrollo de las tareas que conforman los procesos y por ende se logra que el trabajador tenga presente los recorridos a realizar, así como las zonas establecidas para la ejecución de las tareas, así como el orden a seguir. Conociendo todo lo anterior y llevando a cabo un desempeño eficiente se logra un alto rendimiento.

Por último se presentó la forma del cálculo de los rendimientos, también se presentaron los pasos establecidos tanto la recolección de la información, el cálculo del rendimiento por actividad, el cálculo del rendimiento promedio y los cálculos estadísticos que nos permiten ver que tan aislados están los datos entre sí mediante la desviación estándar y el coeficiente de variación, estos últimos cálculos estadísticos no son obligatorios desarrollarlos pero si ayudan a visualizar de una mejor manera la desviación de los datos con respecto al rendimiento promedio obtenido a la hora de desarrollar los procesos en las obras constructivas.

Conclusiones

- ✓ Se detectó que ejecutar un análisis económico previo para determinar las tareas que representan una mayor criticidad facilita de manera significativa la determinación de en cual o cuales actividades realizar el análisis de la productividad.
- ✓ Realizar diagramas de flujo correspondientes a la secuencia de tareas que conforman cada proceso favorece en la identificación de las tareas y dicta el orden a seguir al desarrollar las mediciones para su posterior análisis.
- ✓ El mecanismo práctico más utilizado, de mayor contenido y mejor presentación para el desarrollo de la toma de datos para la medición de la productividad corresponde al método Crew balance.
- ✓ La distribución de la productividad promedio de los trabajos consultados comparado con la distribución ideal refleja que en la actualidad los procesos se llevan a cabo con un porcentaje de productividad inferior al esperado.
- ✓ El mecanismo óptimo y el cual brinda mejores resultados en la búsqueda de factores que afectan la productividad es el desarrollo de una técnica cualitativa de medición mediante la observación y realización de entrevistas o encuestas.
- ✓ Según las respuestas de las entrevistas realizadas a las empresas constructoras se detectó la existencia de una preocupación por aumentar la efectividad en los procesos constructivos, a pesar de esto en los resultados analizados se visualiza que no todas las empresas desarrollan mediciones ni análisis de la productividad en sus proyectos constructivos.
- ✓ Se detectó, gracias a las entrevistas realizadas, que en su mayoría las empresas grandes ya consolidadas si realizan mediciones de productividad en sus proyectos y además de desarrollar una mejora continua en los procesos y poseer una herramienta ya establecida con el paso a paso para realizar todo lo relacionado con la medición de la productividad.
- ✓ Gracias a la entrevista realizada a las empresas constructoras se notó el acuerdo colectivo existente con la confección de herramientas que favorecen de manera significativa al sector construcción, unificando material, presentando los pasos a seguir, que sea accesible, público, funcional y que pueda ser utilizada sin importar el tipo o tamaño de proyecto.
- ✓ La guía para la medición, presentación e interpretación de resultados según la recopilación de información realizada, logra adaptarse a las diferentes condiciones presentes en los proyectos además se logró cumplir con el requerimiento de ser herramienta detalla de carácter general, de fácil entendimiento y acceso.
- ✓ El aumentar la productividad recae en desarrollar acciones correctivas e implementar buenas prácticas específicamente en 4 sectores presentes en los proyectos constructivos, estos son: mano de obra, diseño de sitio, factores externos (condiciones ambientales, condiciones del suelo, tamaño de la obra, ruido) y materiales, herramientas y equipo.

Recomendaciones

- Se recomienda tanto a las empresas constructoras consolidadas, así como a empresas en pleno crecimiento tomar conciencia de la importancia de desarrollar las tareas que conforman los proyectos con una alta productividad mediante la disminución de tiempos perdidos e implementación de medidas correctivas.
- Se recomienda a la persona o al profesional encargado del análisis de la productividad en los proyectos constructivos llevar a cabo el proceso de una forma ordenada velando por que los datos obtenidos tengan un carácter representativo, de igual forma presentar de manera clara los resultados obtenidos mediante gráficas, cuadros resumen y presentando una pequeña explicación de lo obtenido, permitiendo visualizar la clasificación en términos de eficiencia de la actividad en estudio.
- Se recomienda a las empresas constructoras y a los profesionales una vez obtenidos los resultados realizar acciones correctivas a corto y mediano plazo para corregir errores, permitiendo que la productividad durante la ejecución de los procesos aumente significativamente, también es recomendable conservar los resultados obtenidos en el tema, de manera que permita realizar una comparación de datos al desarrollar más mediciones y análisis de la productividad.
- Se recomienda al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica (CFIA) brindar capacitaciones relacionadas a la medición y la importancia de desarrollar proyectos con una alta productividad, también a modo de recomendación desarrollar y facilitar de manera pública un documento donde se indique como realizar el análisis adaptándose a las diferentes condiciones presentes en los proyectos de construcción.

Referencias

- Acosta S. (2016), Medición y mejoramiento de la productividad en la colocación de obra falsa, el montaje de elementos prefabricados y colado de entepiso del condominio vertical residencial Q-BO, recuperado de: Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Badano B. (2019), Guía para la medición de la productividad en la construcción, recuperado de: <http://biblioteca.camarco.org.ar/PDFS/Escuela%20de%20gestion/Guia%20para%20la%20medicion%20de%20la%20productividad.pdf>
- Barrantes R. (2013), Investigación: un camino al conocimiento, un enfoque cualitativo, cuantitativo y mixto / Rodrigo Barrantes Echeverría. – 1 reimpr. de la 2 edición- San José, CR
- Botero, L. F., & Álvarez, M. E. (23 de julio de 2004). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento). recuperado de: https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20Sistemas/9.pdf
- Carro R. y Gonzalez D.(2015), Administración de las Operaciones : actividades para el aprendizaje / - 1a ed. . - Mar del Plata : Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, 2015. Libro digital, PDF
- Camacho D. (2016), Análisis de procesos constructivos, medida de productividad y rendimientos en el edificio TIC'S del ITCR, Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Gómez A y Morales D. (2015), "Análisis de la productividad en la construcción de vivienda basada en rendimientos de mano de obra", INGE CUC, vol. 12, no. 1, pp. 21-31, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.02>, recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/304030307_Analisis_de_la_productividad_en_la_construccion_de_vivienda_basada_en_rendimientos_de_mano_de_obra.
- Hernández D. (2019), Estudio de Rendimientos y Control de Costos en la Construcción de Muros de Gaviones, Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Kanawaty G.(1996) Introducción al estudio del trabajo. PRODUCTIVIDAD, ESTUDIO DE TRABAJO Y FACTOR HUMANO.
- Leandro A. (2018). Apuntes curso diseño de procesos constructivos. Escuela de Ingeniería en construcción, Tecnológico de Costa Rica
- Leandro A. (2018), Manual de buenas prácticas para incrementar la productividad en procesos de construcción, Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.

- Montero J. (2010), Cuantificación del rendimiento y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en altura, Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Montiel A. (2016), Análisis de productividad en procesos de armadura en el proyecto The IVY de la empresa Edica Ltda, recuperado de: Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Monzón R. (2009), Estimación de pérdidas de productividad laboral en compensación de costos de un proyecto de construcción de la provincia de Llanquihue, Recuperado de:
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcim816e/doc/bmfcim816e.pdf>
- Mora J. (2012), Medición y mejoramiento de la productividad en la colocación de obra falsa, el montaje de elementos prefabricados y colado de entepiso del condominio vertical residencial Q-BO, recuperado de: Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Navarro K. (2010), Análisis de productividad y rendimientos de operaciones y procesos de obra gris de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, recuperado de: Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Real Academia Española. Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [versión 23.5 en línea]. <<https://dle.rae.es>>
- Rojas B. (2017), Análisis de la productividad y rendimiento de la mano de obra para algunas actividades constructivas del sistema electromecánico en Torres de Parqueo UCR, recuperado de: Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Serpell, A. (1986). Productividad en la construcción. Ingeniería de construcción/

Apéndice



GUÍA PARA LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN LOS PROYECTOS CONSTRUCTIVOS.

Pablo César Ramírez Salas

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

GUÍA PARA LA MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN LOS PROYECTOS CONSTRUCTIVOS.

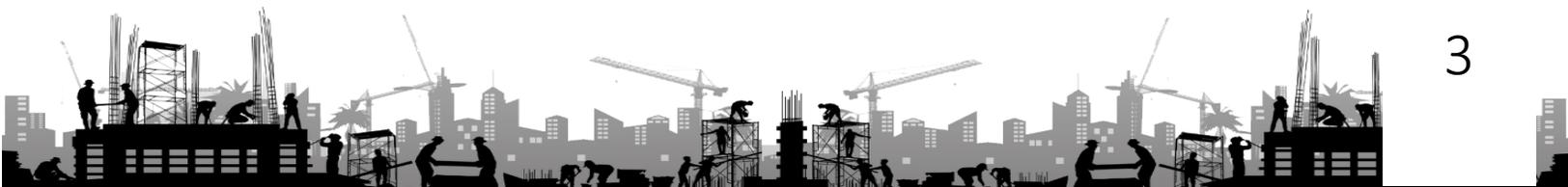
Pablo César Ramírez Salas



TEC | Tecnológico
de Costa Rica

Índice

Prefacio	4
Productividad	5
Análisis de la productividad	7
Selección de actividades críticas	9
Representación gráfica de los procesos constructivos	14
Mecanismos para la medición de la productividad	18
Técnicas cuantitativas para la medición de la productividad	19
Presentación de resultados	44
Factores que afectan la productividad	48
Mejoramiento de la productividad	52
Herramientas que favorecen al mejoramiento de la productividad	64
Cálculo de rendimientos	75
Cálculo de rendimientos	76
Referencias	80
Anexos	82

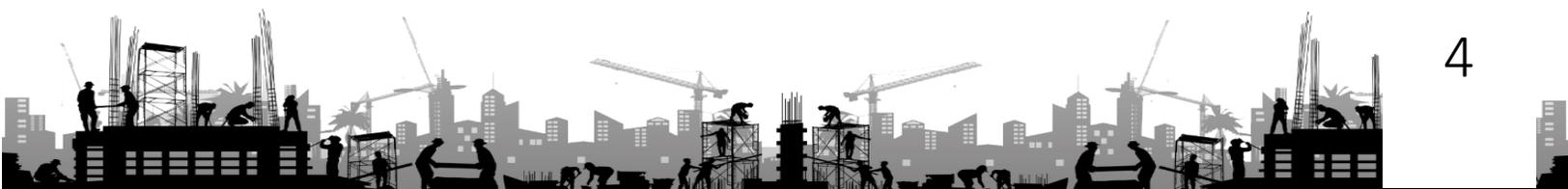


Prefacio

En la actualidad, en el sector construcción existe una preocupación por aumentar la efectividad en los procesos constructivos, al igual que desarrollar una optimización de recursos tanto antes y durante la ejecución de una obra o proyecto.

Para conocer realmente la efectividad en los procesos se requiere de un estudio de la productividad y así mediante observaciones, toma de datos y recolección de información se podrá descubrir los diferentes factores que provocan tiempos muertos o improductivos que atrasan la realización de estos, disminuyendo la eficiencia y eficacia durante la ejecución de las actividades que componen los procesos.

Por ello, el objetivo principal de este proyecto es proponer una guía de medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos para ser utilizada como herramienta de carácter general y que se adapte a las condiciones de cada proyecto, para ello se realizó una recolección de la materia disponible sobre estudios y resultados relacionados a la medición de la productividad, al igual que una recolección de materia teórica y buenas prácticas relacionados al tema, con esto se realizó una comparación de los mecanismos utilizados, forma de obtención de datos y conclusiones desarrolladas, para así tener claro cómo desarrollar un correcto análisis de la productividad y poder generar esta guía en donde se indican todos los pasos a seguir para desarrollar un correcto análisis de la productividad, búsqueda de factores y brindar acciones correctivas o de mejoramiento para aumentar la efectividad en los proyectos constructivos, de igual forma también se presenta el procedimiento para el cálculo de rendimientos y diferentes plantillas para ser utilizadas para el desarrollo del análisis.



Productividad

El término productividad hace referencia a “la eficiencia con que los recursos son utilizados para completar un producto o actividad en específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado” (Serpell, 1986). Es importante mencionar la relación que debe de haber entre el resultado que se obtuvo con los recursos utilizados, ya que entre más recursos se requieran y se utilicen para obtener un mismo resultado habrá una menor productividad, en cambio a menor recursos utilizados para la obtención de los resultados mayor será la productividad.

$$Productividad = \frac{Resultados\ logrados}{Recursos\ empleados}$$

La productividad es el resultado de la relación entre lo producido y lo invertido, también se puede observar que, para los resultados logrados, así como para los recursos utilizados la eficiencia, eficacia, efectividad, calidad y el lapso con que los recursos son administrados y aprovechados juegan cada uno un papel fundamental a la hora de realizar algún producto o actividad.

$$Eficiencia = \frac{Recurso\ estimado}{Recurso\ empleado} \times 100$$

$$Efectividad = \frac{Producción\ real}{Producción\ planeada} \times 100$$

		UTILIZACIÓN DE RECURSOS	
		Alta	Baja
RESULTADOS LOGRADOS	Alta	Efectivo e Ineficiente	Efectivo y Eficiente
	Baja	Inefectivo e ineficiente	Inefectivo y Eficiente

Figura 1: Utilización de recursos.
Fuente: Elaboración propia.



Tiempos en los procesos constructivos

Tiempo productivo



Figura 2: Representación tiempo productivo.
Fuente: Pngwing.

El tiempo productivo es el “lapso empleado en la elaboración de una unidad de producción, donde por medio de actividades humanas se realizan bienes o servicios, consumiendo la mínima cantidad de recursos” (Botero y Álvarez, 2003). Estos tiempos contemplan las labores que aportan en forma directa al avance de la obra.

Tiempo improductivo

“Este tipo de tiempo no le añade ningún valor al trabajo realizado, por lo cual no genera ingresos económicos” (Botero y Álvarez, 2003), estos tiempos son consideradas como tiempos perdidos porque no aportan nada en la ejecución del proyecto.



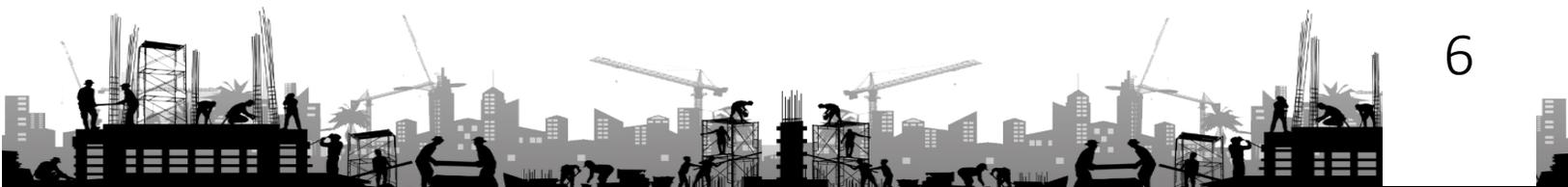
Figura 3: Representación tiempo no productivo.
Fuente: Pngwing.

Tiempo contributivo



Figura 4: Representación tiempo contributivo.
Fuente: Pngwing.

El tiempo contributivo es “aquel tiempo que se invierte en la realización de una actividad” (Botero y Álvarez, 2003), este tiempo es necesario para poder llevar a cabo las tareas, ya que se considera un tiempo que emplean los trabajadores realizando labores de apoyo necesarias para la ejecución de la actividad productiva.



Análisis de la productividad



Análisis de la productividad

Selección de actividades críticas

- Paso 1. Recolección de información.
- Paso 2. Confección cuadro de información.
- Paso 3. Realización del diagrama de Pareto.
- Paso 4. Clasificación de las actividades.
- Paso 5. Selección de las actividades críticas.

Representación gráfica de los procesos constructivos

- Paso 1. Selección de tareas.
- Paso 2. Creación representación gráfica.

Mecanismos para la medición de la productividad

- Paso 1. Creación de la plantilla.
- Paso 2. Recolección de información.
- Paso 3. Realización de observaciones.
- Paso 4. Obtención de resultados.
- Paso 5. Realización de gráfico de resultados.
- Paso 6. Clasificación de la actividad en análisis

Presentación de resultados

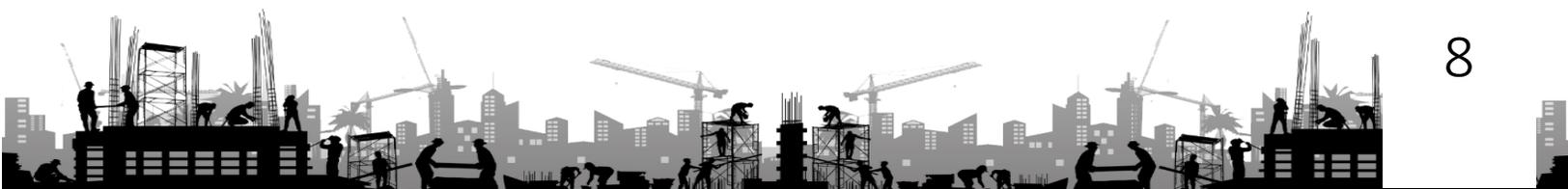
Factores que afectan la productividad

- Paso 1. Recolección de información.
- Paso 2. Representación de los factores

Mejoramiento de la productividad

Presentación de buenas prácticas

Herramientas para mejoramiento de la productividad



Selección de actividades críticas

Paso 1. Recolección de información.

Como primer paso para llevar a cabo la selección de actividades críticas se requiere desarrollar un análisis económico previo en donde es necesario obtener los datos e información relacionada al costo de cada actividad dentro del proyecto, es decir un desglose de costos totales, para ello es importante conocer los diferentes procesos que se llevan a cabo para la realización del proyecto en estudio, así como los costos globales que representa cada proceso.

Paso 2. Confección cuadro de información.

Una vez obtenida la información del paso anterior se procede a realizar un cuadro de información, donde la primera columna corresponde a las actividades en orden decreciente en relación al costo de las mismas, en una nueva columna se anota el costo que tienen las actividades, en otra columna el resultado del cálculo del porcentaje que representa ese costo con respecto al costo total del proyecto y por último en una nueva columna se anota el resultado del cálculo del porcentaje acumulado luego de cada actividad, a continuación se presenta de manera gráfica como realizar el cuadro de información:

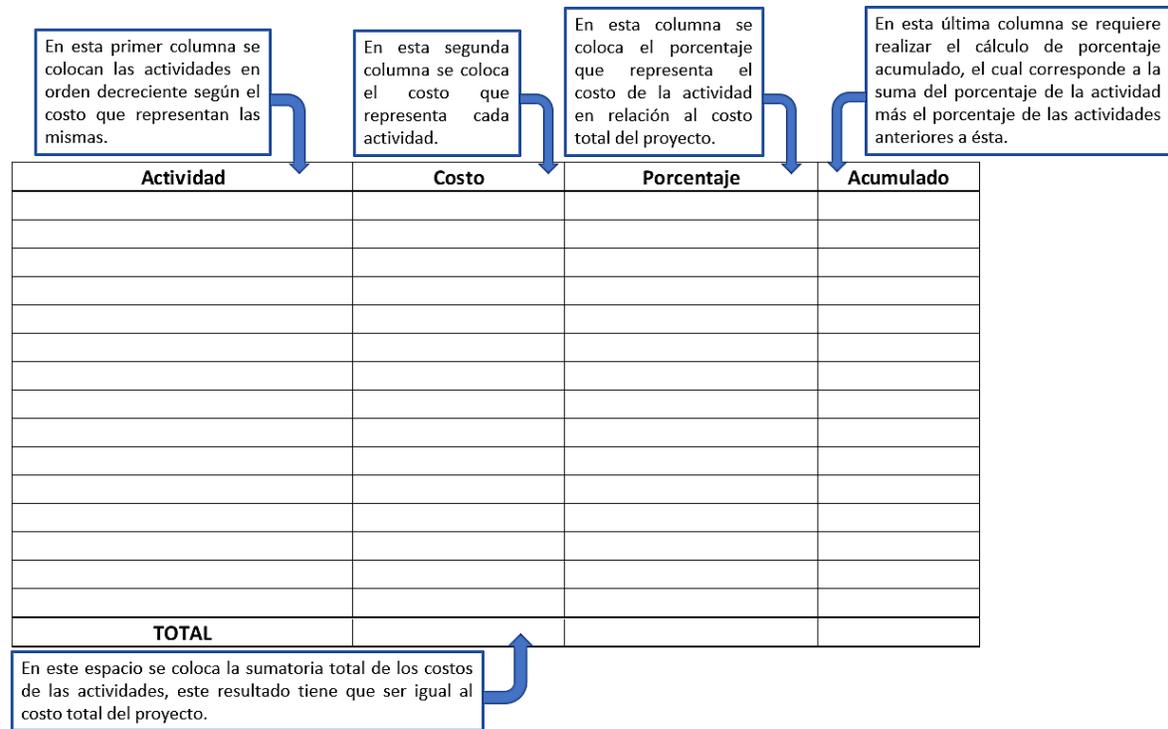
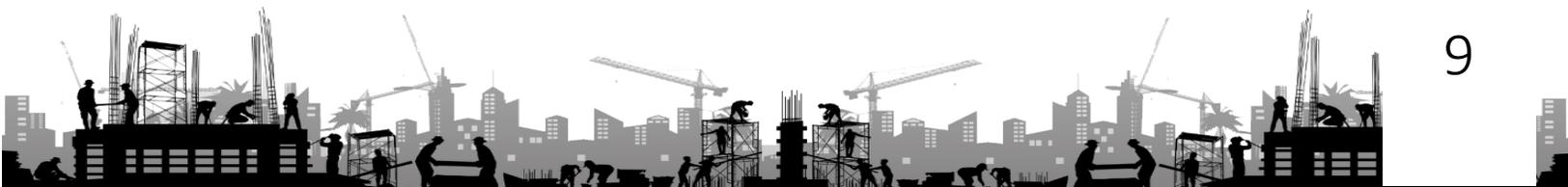


Figura 5: Representación gráfica para completar tabla de actividades.
Fuente: Elaboración propia.



Para comprender aún más sobre la confección de este cuadro se presenta a continuación un ejemplo de una tabla completada, cabe destacar que los datos correspondientes a los costos y las actividades presentes en esta tabla corresponden a un ejemplo ficticio creado, el cual se usará a lo largo del análisis, de tal modo que el usuario de esta guía pueda tomarlo como referencia a la hora de realizar el análisis en sus respectivos proyectos.

Tabla 1: Ejemplo cuadro de información actividades críticas.

Actividad	Costo	Porcentaje	Acumulado
Columnas y muros estructurales	¢536 450 260,85	37%	37%
Vigas de concreto	¢455 550 640,75	31%	68%
Cimientos	¢256 850 420,90	18%	86%
Entrepisos	¢146 520 145,35	10%	96%
Repellos	¢56 450 665,30	4%	100%
TOTAL	¢1 451 822 133,15	100%	

Fuente: Elaboración propia.

Paso 3. Realización del diagrama de Pareto.

Para desarrollar la selección de actividades críticas primeramente se debe realizar una clasificación de las actividades, esta clasificación se puede realizar mediante el uso de la herramienta del diagrama de Pareto. Este diagrama consiste en un gráfico tipo barras de columnas agrupadas que permite clasificar las actividades según el nivel de relevancia con respecto al costo del proyecto, de esa manera se analiza la información, se reconocen los puntos más críticos y así se da una prioridad para verificar problemas y brindar soluciones.

Para desarrollar el diagrama de Pareto se requiere de la información del cuadro confeccionado en el Paso 2. Este diagrama se conforma de 2 ejes verticales tanto el izquierdo, así como el derecho además de un eje horizontal, en el eje horizontal se colocan las actividades que conforman el proyecto, en el eje vertical izquierdo se colocan los valores de los costos de las actividades y en el eje vertical derecho se colocan los valores de los porcentajes acumulados calculados en el paso anterior.

A continuación, se presenta un ejemplo de la conformación del diagrama de Pareto utilizando los datos presentados en el punto anterior:

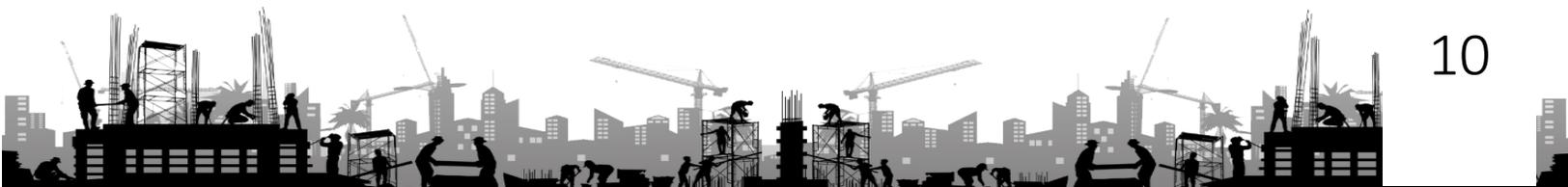
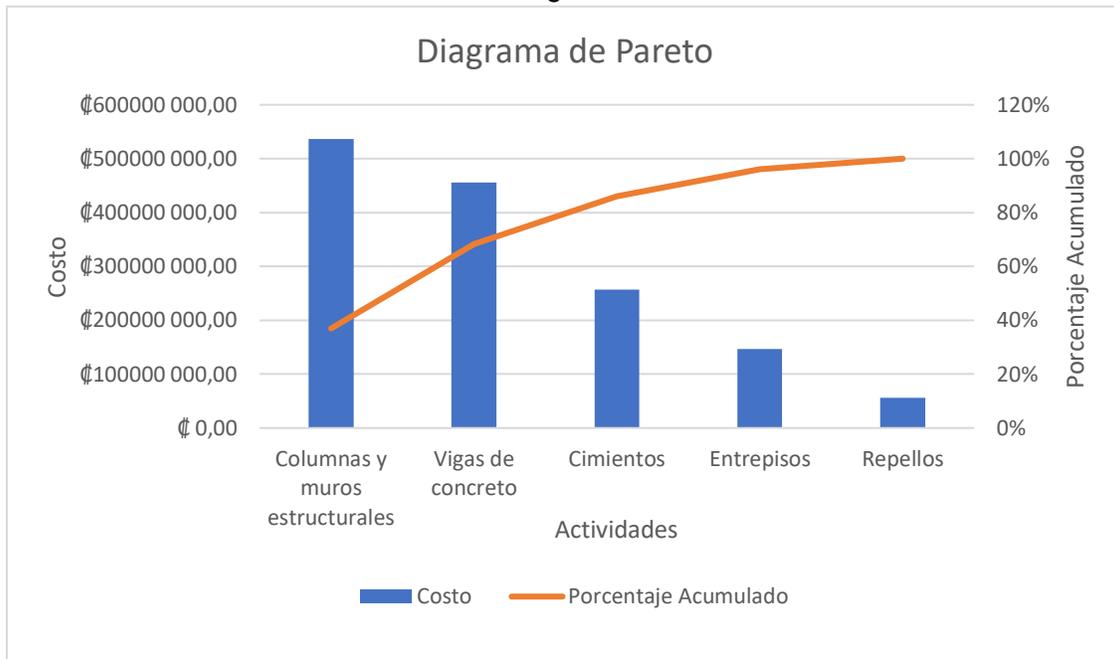


Gráfico 1: Diagrama de Pareto



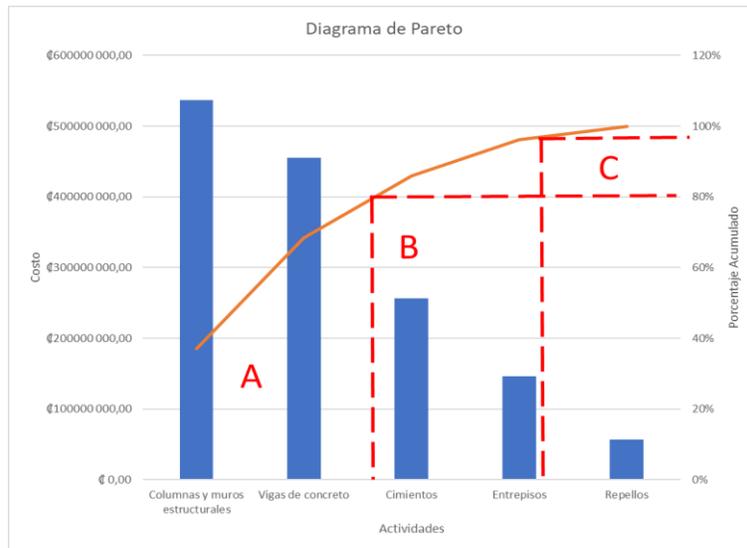
Fuente: Elaboración propia

Paso 4. Clasificación de las actividades.

Una vez realizado el diagrama se procede con la clasificación respectiva de las actividades mediante el uso del diagrama realizado en el Paso 3, esta clasificación hace uso de la regla 80/20, esta regla dicta que, en la mayoría de las situaciones, el 80% de los defectos de un producto se debe al 20% de las causas, por ende, para aplicar esta regla en el diagrama y así lograr visualizar las actividades críticas se debe crear una línea vertical que parta del eje de las actividades y que interseque la línea de los porcentajes acumulados en el valor del 80%, de esta manera las actividades que se localicen a la izquierda de la línea creada corresponderán a las actividades con una alta criticidad y las actividades que se localicen a la derecha serán las actividades con una criticidad más baja, también se puede crear una línea adicional que interseque en el 95% para clasificar las actividades de menor criticidad.

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo realizar dicha clasificación utilizando el diagrama de Pareto desarrollado en el paso anterior, siendo “A” el más crítico y “C” menos crítico.

Gráfico 2: Clasificación de actividades críticas



Fuente: Elaboración propia

Paso 5. Selección de las actividades críticas.

Una vez realizado el paso anterior se procede con la selección de las actividades de mayor criticidad en donde se llevarán a cabo el proceso de análisis de la productividad, estas actividades corresponden a las clasificadas como tipo “A”. Es recomendable añadir una nueva columna al cuadro creado en el Paso 2 donde se muestre la respectiva clasificación y la escogencia de las actividades críticas para realizar el análisis, a continuación, se muestra un ejemplo:

Tabla 2: Clasificación y selección de actividades críticas

Actividad	Costo	Porcentaje	Acumulado	Clasificación
Columnas y muros estructurales	₱536 450 260,85	37%	37%	A
Vigas de concreto	₱455 550 640,75	31%	68%	A
Cimientos	₱256 850 420,90	18%	86%	B
Entrepisos	₱146 520 145,35	10%	96%	B
Repellos	₱56 450 665,30	4%	100%	C
TOTAL	₱1 451 822 133,15	100%		

Fuente: Elaboración propia

Por ende y según los datos presentados anteriormente como ejemplos, las actividades en las cuales se debe realizar primordialmente el análisis de productividad para verificar, encontrar posibles problemas y así brindar soluciones son:

- Creación de columnas y muros estructurales.
- Creación de vigas de concreto.

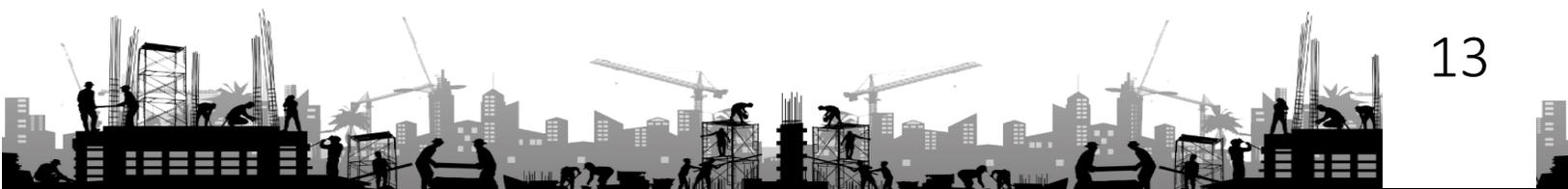
NOTAS:

Cabe resaltar que las actividades críticas encontradas anteriormente corresponden al resultado del paso a paso propuesto con los datos ficticios presentados al inicio y no corresponden a las actividades críticas de todos los proyectos. Los datos son presentados con el fin de que el usuario observe una representación y pueda comprender el cómo realizar la selección de las actividades críticas en sus propios proyectos.

Los pasos presentados tienen como finalidad encontrar las actividades críticas que representen un mayor grado de importancia en relación con el costo de proyecto, ya que entre mayor sea la productividad en estos procesos los cuales representan un alto porcentaje económico menor serán las pérdidas de eficiencia y de tiempo en los proyectos constructivos. Estos pasos pueden ser obviados si se desea realizar el análisis de la productividad en todos los procesos o si ya se tiene establecido las actividades específicas donde se va a realizar un análisis de productividad con anterioridad que no sean necesariamente las de mayor criticidad, estos pasos no son obligatorios, pero si forman parte de los pasos a seguir si se desea realizar un análisis donde se contemplen las actividades que tengan una mayor repercusión en el proyecto a desarrollar.

En la sección de anexos de este documento se presenta una plantilla que puede ser utilizada o tomada como referencia para desarrollar la selección de las actividades críticas en el proceso a analizar. Esta plantilla cuenta con las columnas definidas en los ejemplos de los diferentes pasos, tanto las actividades, los costos, porcentajes, porcentajes acumulados y el espacio para la clasificación respectiva.

El diagrama de Pareto se puede desarrollar mediante la herramienta Excel de Microsoft, este diagrama corresponde un gráfico de estadística. Al seleccionar los datos de las actividades, costo y porcentaje acumulado de los datos creados para el paso 2, en la sección de insertar gráfico de estadística en la opción Histograma, se debe de seleccionar la segunda opción, la cual corresponde al diagrama de Pareto.



Representación gráfica de los procesos constructivos

Paso 1. Selección de tareas.

Para llevar a cabo un correcto análisis de la productividad en los procesos constructivos es importante tener claro las tareas o actividades que conforman los procesos de mayor criticidad en donde se desarrollarán las mediciones para el análisis, para ello se debe hacer una representación gráfica que ayudará tanto a visualizar y presentar de una forma más ordenada las tareas que conforman los procesos.

Es necesario primeramente crear un listado de las tareas que se involucran en el desarrollo de los procesos seleccionados, para posteriormente representarlo ya sea en forma de ciclos o diagrama de flujo. A continuación, se presenta un ejemplo de algunas tareas involucradas en los procesos constructivos críticos seleccionados como ejemplo en la sección anterior:

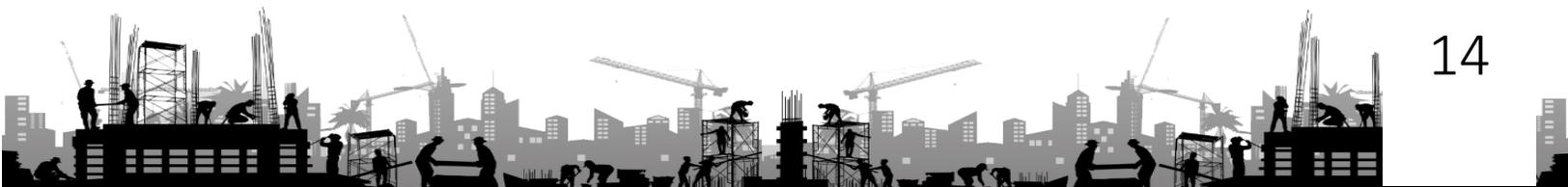
Tabla 3: Listado de tareas involucradas en los procesos

Actividad	Tareas involucradas
Columnas y muros estructurales	Confección armadura
	Armado de la estructura para Columna
	Armado de la estructura para Muros
	Colocación de formaleta
	Fabricación de concreto
	Colado de concreto
	Desencofrado
Vigas de concreto	Confección armadura
	Colocación formaleta base
	Armado de la estructura para viga
	Colocación formaleta lateral
	Fabricación de concreto
	Colado de concreto
	Desencofrado

Fuente: Elaboración propia

Paso 2. Creación representación gráfica.

Una vez realizado el paso anterior y teniendo claro las tareas que conforman los procesos en donde se realizarán las mediciones de la productividad se debe de crear la representación gráfica, para este paso existen varias formas para representar las tareas, sin embargo, los ciclos de procesos y los diagramas de flujo son los más recomendados dentro de los análisis de productividad, de estas dos formas de representación se debe escoger una para realizar las representaciones correspondientes.



A continuación, se muestra como elaborar cada tipo de representación.

Ciclos de procesos (Cadena de actividades)

El representar los procesos en forma de ciclos permite visualizar los pasos a seguir para completar un determinado proceso, de esta forma se muestra una cadena de actividades que están directamente relacionadas velando que el proceso se realice de forma satisfactoria siguiendo un orden lógico. Al crear estos ciclos se logra entender y ver las tareas que conforman cada proceso, por ende, quedan en evidencia las actividades en donde se deben realizar las mediciones de la productividad. A continuación, se presentan ejemplos de los ciclos de los procesos críticos seleccionados:

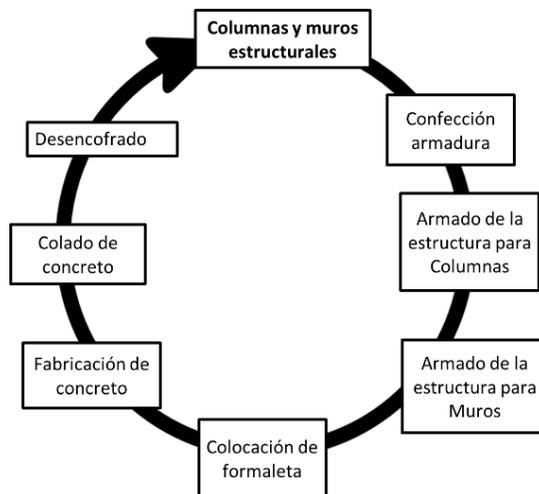


Figura 6: Ciclos de procesos para columnas y muros
Fuente: Elaboración propia

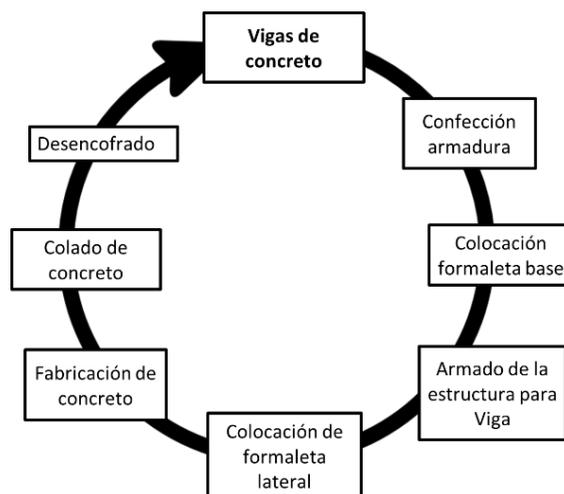


Figura 7: Ciclos de procesos para vigas de concreto
Fuente: Elaboración propia

Diagramas de Flujo

Los diagramas de flujo muestran la secuencia de las actividades que constituyen los procesos funcionando para la descripción de procesos como mecanismos de control, organización, evaluación o replanteo de secuencias. De igual manera que los ciclos, los diagramas de flujo muestran las tareas necesarias para llevar desde el inicio hasta el fin un proceso constructivo dejando también en evidencia las actividades en donde realizar las observaciones para la medición de la productividad, solo que estos diagramas utilizan diferentes símbolos de entrada y salida, símbolos de decisiones, procesos, conectores, líneas de flujo y terminales para representar de una manera más ordenada y crear una serie de condiciones en los procesos.

Para elaborar los diagramas de flujo se requiere conocer la simbología, componentes y la forma de unión de los términos que conforman estos diagramas:

SÍMBOLO	NOMBRE	ACCIÓN
	Terminal	Representa el inicio o el fin del diagrama de flujo.
	Entrada y salida	Representa los datos de entrada y los de salida.
	Decisión	Representa las comparaciones de dos o mas valores, tiene dos salidas de información falso o verdadero
	Proceso	Indica todas las acciones o cálculos que se ejecutaran con los datos de entrada u otros obtenidos.
	Líneas de flujo de información	Indican el sentido de la información obtenida y su uso posterior en algún proceso subsiguiente.
	Conector	Este símbolo permite identificar la continuación de la información si el diagrama es muy extenso.

Figura 8: Simbología diagrama de flujo
Fuente: Vela D. (2009)

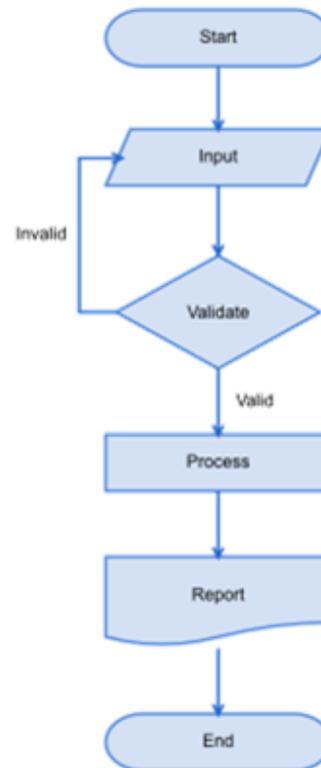


Figura 9: Ejemplo diagrama de flujo
Fuente: Vela D. (2009)

A continuación, se presentan los ejemplos de los diagramas de flujo relacionados a los procesos críticos seleccionados:

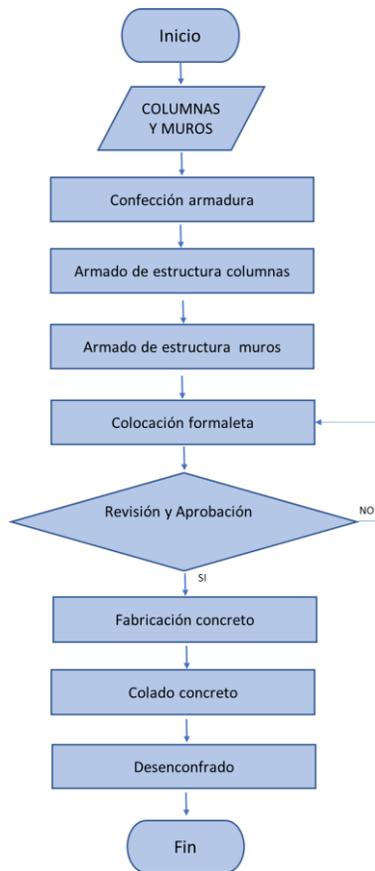


Figura 10: Diagrama de flujo columnas y muros
Fuente: Elaboración propia

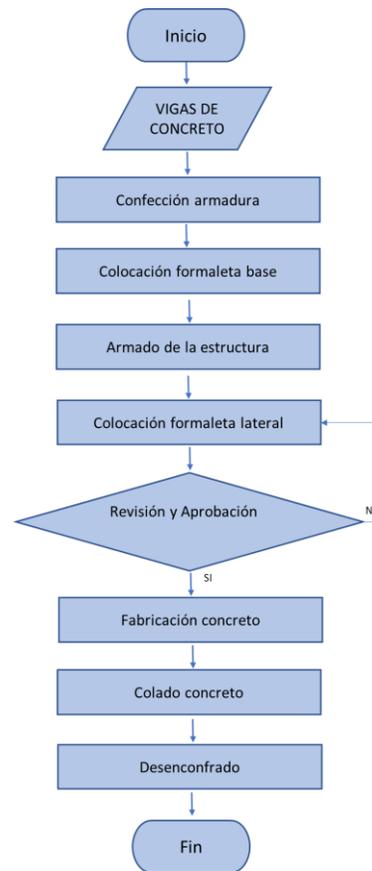


Figura 11: Diagrama de flujo vigas de concreto
Fuente: Elaboración propia

NOTA:

Tanto los ciclos de procesos, así como los diagramas de flujo anteriormente presentados están elaborados con los datos ficticios presentados al inicio y los cuales se han desarrollados en los pasos anteriores, las actividades presentes en las representaciones gráficas no son la única forma existente de subdividir los procesos en todos los proyectos, existen la posibilidad de que se le añadan más tareas, condiciones o inclusive que disminuyan la cantidad de tareas, esto depende de cada persona que desarrolle el análisis. Las representaciones gráficas son presentadas con el fin de que el usuario pueda observar y comprender el cómo realizar la representación de las actividades que conforman los procesos en sus propios proyectos.

Mecanismos para la medición de la productividad

Existen 2 tipos de técnicas para realizar la medición de la productividad, las técnicas cualitativas se utilizan para la obtención de información sobre las causas o factores que producen baja productividad en los proyectos de construcción tales como la observación, implementación de encuestas y entrevistas. Por otro lado, se encuentran las técnicas cuantitativas las cuales son métodos de investigación sistemáticos y estadísticos que recogen información como el caso de las técnicas Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance, estas técnicas utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables mediante la realización de un muestreo de campo.

Algunas recomendaciones al llevar a cabo estas técnicas cuantitativas para que los resultados sean válidos y representativos son:

No realizar las observaciones:

- 30 minutos después de llegar y antes de salir.
- 30 minutos antes y después de la merienda y el almuerzo.

Para los métodos en general se debe indicar los siguientes datos, ya que estos son importantes y forman parte de los diferentes factores externos que pueden afectar la productividad:

- Nombre de la actividad.
- Fecha.
- Hora de inicio.
- Ubicación
- Tamaño de la cuadrilla.
- Temperatura
- Humedad
- Clima.
- Frecuencia de muestreo

A continuación, se presenta los pasos a seguir para realizar cada tipo de técnica. En el proyecto se pueden realizar las 3 técnicas con el objetivo de obtener suficientes datos y posteriormente realizar una comparación entre datos, si esto no es posible también se puede escoger una de las 3 técnicas para realizar el análisis de la productividad, cabe destacar que los métodos Work Sampling y Five Minutes Rating brindan resultados muy generales por lo que se recomienda si solo se va a utilizar un método que este sea el Crew Balance porque este método es más completo y muestra los resultados de una forma específica.



Técnicas cuantitativas para la medición de la productividad

Work Sampling

Esta técnica consiste en realizar una serie de observaciones aleatorias a un grupo de trabajadores para así analizar las acciones realizadas durante el periodo de medición. Una vez realizadas las observaciones se pueden identificar las causas que producen que el proceso sea poco productivo o inclusive improductivo y si se requieren más personas dentro de la cuadrilla o por el contrario si se requiere en realidad menos personas de las asignadas para llevar a cabo la tarea.

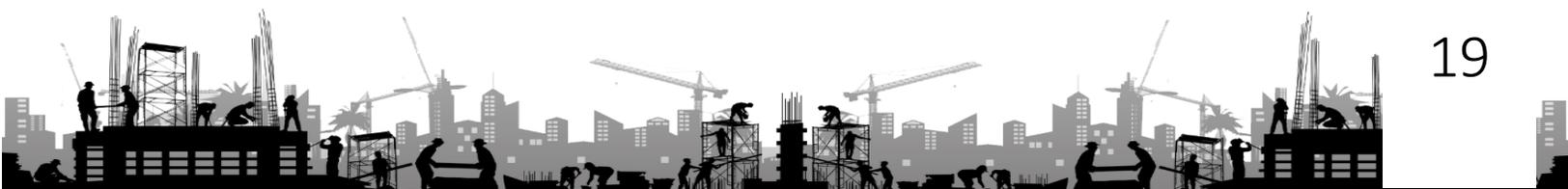
Resulta importante mencionar que al tratarse de muestreos aleatorios los resultados pueden no ser exactos o al no contar con suficientes observaciones las cifras pueden no ser significativas para realizar posteriormente un correcto análisis, por lo que “se recomienda para el sector constructivo realizar un total de 385 observaciones para lograr obtener un 95% de confianza”. (Serpell, 1986)

Este método tiene como base una teoría estadística de muestreo cuyo principal fin es observar de manera aleatoria un proceso constructivo en un lapso para analizar los datos en base a esas observaciones y dar a conocer que tan productivo fue el proceso realizado, cabe resaltar que en esta técnica se califica la productividad total de la cuadrilla y no la productividad individual de cada integrante, de esta manera los resultados representan a la cuadrilla como tal.

Paso 1. Creación de la plantilla

La plantilla en donde se anotan los resultados de la toma de los datos en las observaciones necesariamente debe de contener los siguientes aspectos:

- Nombre del proyecto
- Fecha
- Actividad a evaluar
- Técnica empleada
- Hora
- Clima
- Temperatura / Humedad
- Ubicación
- Tamaño de la cuadrilla
- Frecuencia de muestreo



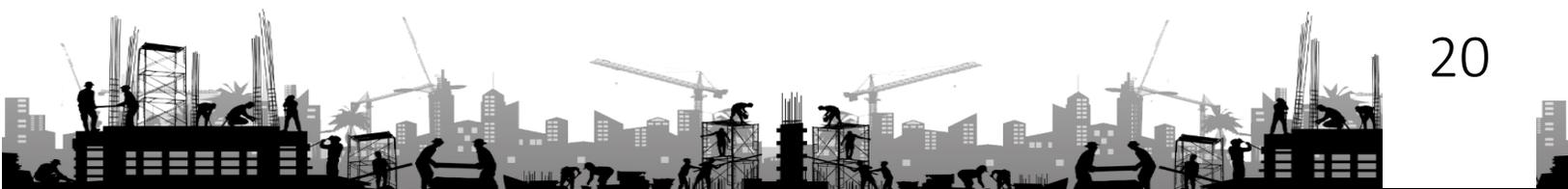
La finalidad de los datos anteriores es dejar en evidencia las condiciones con las que se realizó las observaciones, al igual que presentar los datos generales del proyecto. También como parte de estos datos se puede incluir una sección de instrumentos o equipo utilizado para la realización de la actividad con el fin de aportar más información influyente en la realización de las observaciones, sin embargo, no es estrictamente necesario.

Los datos presentados conforman la información general que corresponde al encabezado de la plantilla de medición, en la parte posterior se deben incluir al menos 4 columnas que corresponden al número de la observación, tiempo productivo, tiempo improductivo y por último una columna donde se anotan los comentarios, observaciones o cualquier otro detalle relacionado a la observación realizada. A continuación, se presenta un ejemplo de una plantilla de medición mediante este método:

Tabla 4: Plantilla método Work Sampling

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN CAMPO			
Datos Generales			
Nombre del proyecto:		Fecha:	Equipo utilizado
Actividad a evaluar:		Hora:	
Técnica empleada:		Clima:	
Ubicación del proyecto:		Temperatura:	
Tamaño de la cuadrilla:		Humedad:	
Frecuencia de muestreo:			
N° Observación	Trabajo productivo	Trabajo improductivo	Comentarios
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Fuente: Elaboración propia



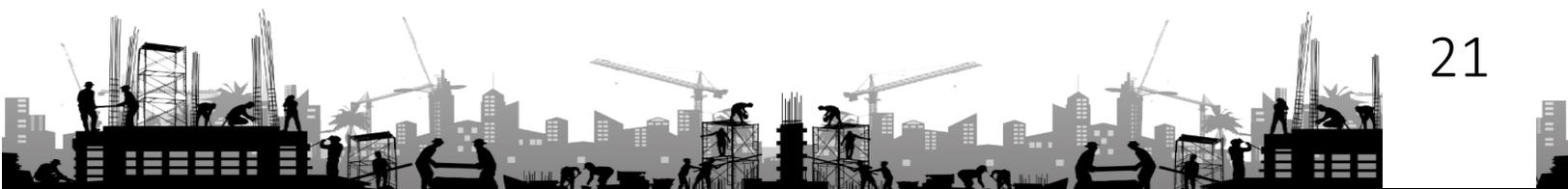
Paso 2. Realización de observaciones

Al tratarse de una técnica donde las observaciones son aleatorias y puede no tener un tiempo establecido para cada medición no es necesario recolectar la información mediante videos para después realizar las observaciones, sino estas se realizan, se clasifican y se anotan a la hora de la observación.

Para realizar las observaciones en esta técnica simplemente se debe prestar atención al trabajador o a la cuadrilla de trabajadores que estén llevando a cabo la actividad en análisis, de ahí se debe clasificar la acción en la tabla del paso anterior, si se está trabajando se clasifica como trabajo productivo y en caso de que no se vea que este llevando una acción para el desarrollo de la actividad se clasifica como trabajo improductivo porque la acción que realiza no aporta nada a la tarea, esta clasificación se debe realizar para cada observación realizada. En la sección de comentarios se debe colocar algún detalle en caso de que se considere necesario, esta parte se utiliza más para el caso del trabajo improductivo, ya que ahí se anotaría el porqué, la razón o la acción que desarrollan los trabajadores o el trabajador para considerarse como improductividad.

Como se mencionó en la explicación de la técnica es recomendable en el sector constructivo realizar un mínimo de 385 observaciones por actividad que conforme el proceso a evaluar para lograr obtener un 95% de confianza para que los resultados que arroje el análisis sean significativos, porque al tratarse de un muestreo aleatorio los resultados pueden presentar una desviación considerable.

A continuación, se presenta cómo completar la tabla correctamente y posterior a esto se presenta una tabla con datos de modo ejemplo, para ello se utilizó un ejemplo ficticio correspondiente a la confección de la armadura que a su vez corresponde a la primera actividad en estudio del proceso de construcción de columnas y muros, cabe destacar nuevamente que lo siguiente es un ejemplo propuesto y los datos presentados son ficticios y no corresponden a la realidad, se presentan con el fin de que sirvan como guía para ser utilizado en los proyectos de los usuarios de esta guía.



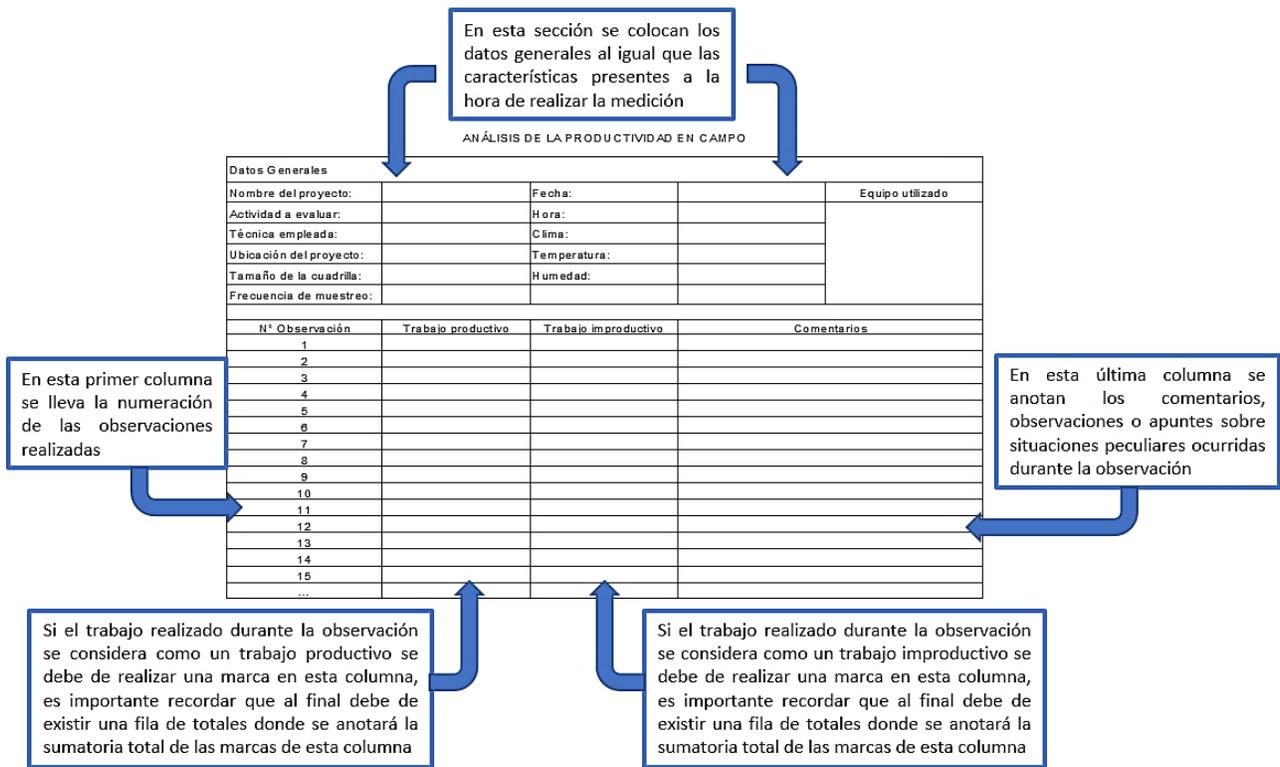
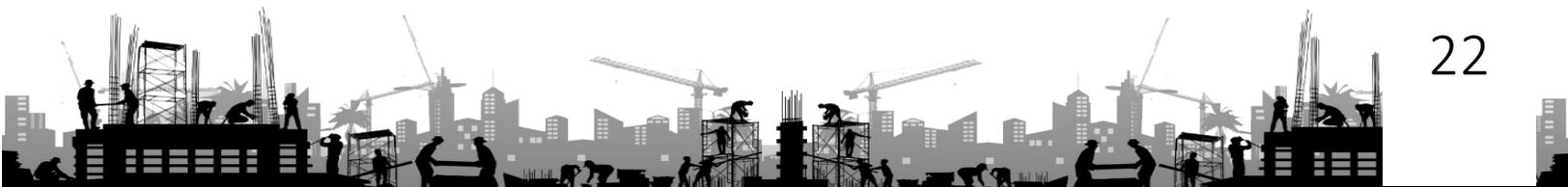


Figura 12: Representación gráfica para completar plantilla método Work Sampling
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: Ejemplo tabla completada método Work Sampling

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN CAMPO			
Datos Generales			
Nombre del proyecto:	Vivienda Familiar	Fecha:	10/1/2021
Actividad a evaluar:	Confección de la armadura	Hora:	10:30 a. m.
Técnica empleada:	Work Sampling	Clima:	Soleado
Ubicación del proyecto:	San José, Costa Rica	Temperatura:	25°
Tamaño de la cuadrilla:	2 trabajadores	Humedad:	30%
Frecuencia de muestreo:	15 segundos		
N° Observación	Trabajo productivo	Trabajo improductivo	Comentarios
1	x		
2	x		
3	x		
4		x	Se detuvieron para recibir material
5	x		
...			
385	x		
TOTAL	286	99	

Fuente: Elaboración propia



Paso 3. Obtención de resultados

Para obtener los resultados se debe realizar un recuento tanto de las observaciones que se clasificaron como productivas, así como las clasificadas como improductivas, una vez realizado el recuento de cada clasificación se debe realizar un promedio del valor de la sumatoria de cada clasificación entre el número total de mediciones realizadas para obtener el porcentaje que representa cada clasificación.

$$\text{Porcentaje trabajo productivo} = \frac{\Sigma \text{ Observaciones trabajo productivo}}{\text{Total de observaciones}}$$

$$\text{Porcentaje trabajo improductivo} = \frac{\Sigma \text{ Observaciones trabajo improductivo}}{\text{Total de observaciones}}$$

Siguiendo con los datos del ejemplo planteado el total de los porcentajes corresponden a:

$$\text{Porcentaje trabajo productivo} = \frac{286}{385} = 74\%$$

$$\text{Porcentaje trabajo improductivo} = \frac{99}{385} = 26\%$$

Paso 4. Realización de gráfico de resultados

Para representar la medición realizada y los resultados obtenidos se debe crear un gráfico circular donde se presenten el valor de los porcentajes obtenidos en el paso anterior, de esta manera resulta más sencillo visualizar los resultados para su posterior análisis.

A continuación, se presenta un ejemplo de la representación gráfica de los datos presentados en los pasos anteriores:

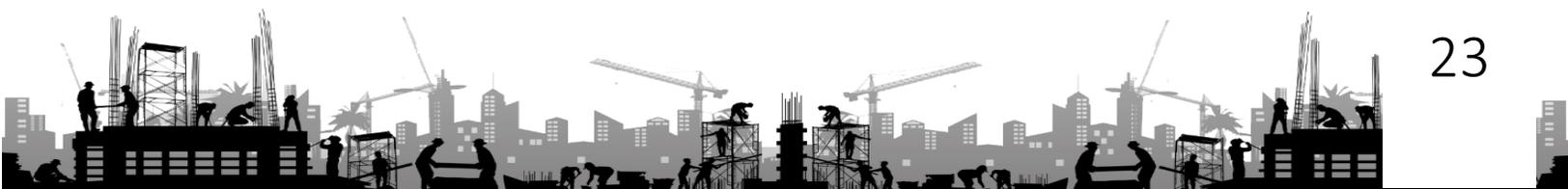
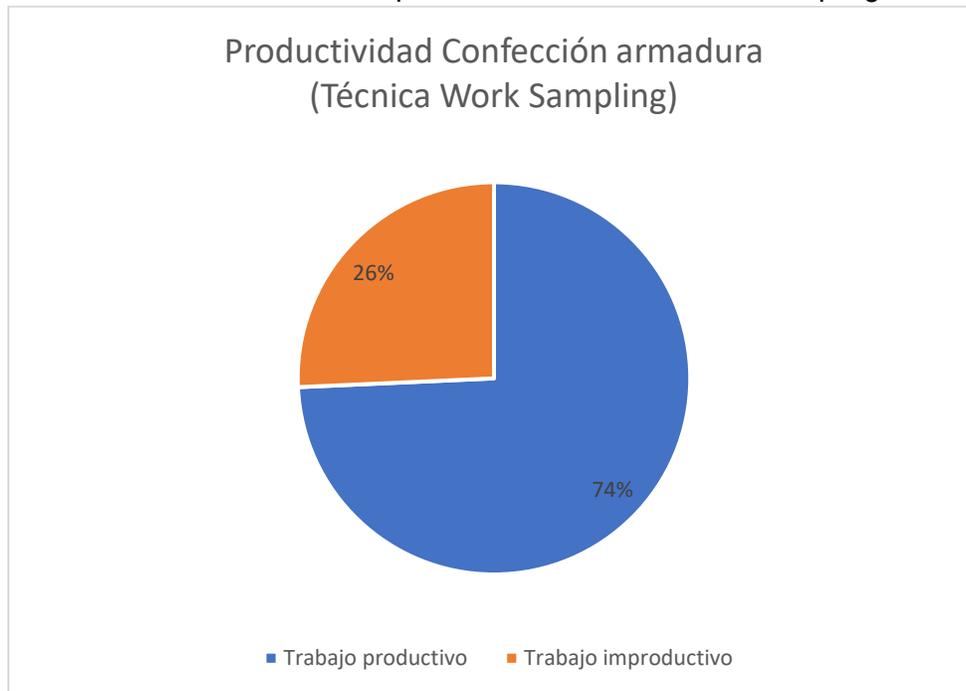


Gráfico 3: Resultados productividad método Work Sampling



Fuente: Elaboración propia

Paso 5. Clasificación de la actividad en análisis.

Como paso final se debe de clasificar la eficiencia de la actividad obtenida mediante las observaciones realizadas, utilizando la siguiente tabla:

Tabla 6: Clasificación de la productividad

Eficiencia en la productividad	Rango en porcentaje
Muy baja	10 % a 40 %
Baja	41 % a 60 %
Promedio o normal	61 % a 80 %
Muy buena	81 % a 90 %
Excelente	91 % a 100 %

Fuente: Leandro (2018)

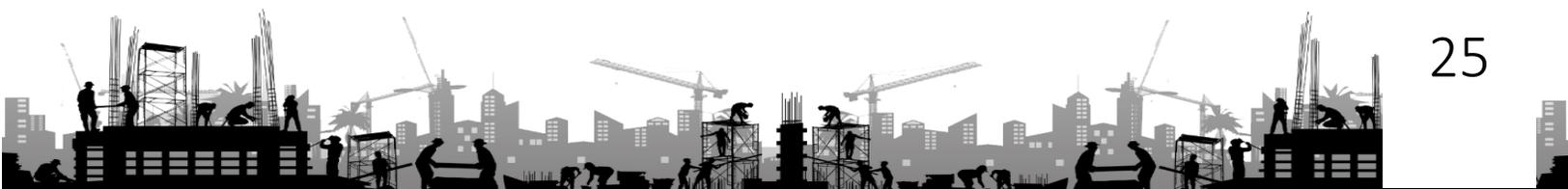
Para el caso ficticio en estudio la eficiencia en la productividad encontrada mediante la implementación de esta técnica corresponde a:

- Promedio o normal.

NOTAS:

Esta técnica es de carácter repetitivo para las actividades que conforman cada proceso que se desee analizar, por ende, una vez realizados todos los pasos anteriores se debe comenzar nuevamente con el Paso 2, solamente que esta vez se continua con la siguiente tarea que conforma el proceso. Es importante recordar que las tareas de los procesos fueron presentadas en los diagramas de flujo o ciclos elaborados, de esta manera se debe realizar todo el análisis nuevamente hasta completar cada una de las actividades, ya que a este punto se muestra solamente la eficiencia de la primer actividad que conforma un proceso y haría falta conocer la eficiencia de todas las tareas que lo conforman y a su vez realizar lo mismo en los demás procesos críticos seleccionados en las secciones anteriores del análisis de la productividad.

En la sección de anexos de este documento se presenta una plantilla que puede ser utilizada o tomada como referencia para desarrollar la medición de la productividad mediante la técnica Work Sampling. Esta plantilla cuenta con las columnas correspondientes al número de observaciones, trabajo productivo, trabajo improductivo, así como los comentarios o detalles y los datos generales del proyecto en análisis.



Five Minutes Rating

Este método es considerado como un estudio de muestreo del trabajo, estos permiten evaluar de forma rápida el nivel de productividad de una cuadrilla de trabajadores que llevan a cabo un proceso en específico. Los resultados obtenidos son subjetivos porque dependen del criterio de cada observador, sin embargo, estas observaciones son válidas para crear una base para establecer criterios y conclusiones relacionadas a la productividad con la que se llevó a cabo el proceso.

Como lo indica su nombre este método se basa en mediciones en un lapso de 5 minutos, dichos lapsos pueden ser definidos en función de la duración o la complejidad del proceso constructivo, por lo que el lapso puede variar un poco e inclusive puede emplearse más tiempo en cada observación.

Para el desarrollo de las observaciones es importante emplear algún método de descripción o identificación de los miembros de la cuadrilla de trabajo, esto con el fin de llevar un mejor orden a la hora de realizar las observaciones individuales y no mezclar datos obtenidos entre los trabajadores, pueden ser características físicas, color de la vestimenta o implementos de seguridad, entre otras.

Paso 1. Creación de la plantilla

La plantilla que se utiliza para la toma de los datos en las observaciones necesariamente debe de contener los siguientes datos:

- Nombre del proyecto
- Fecha
- Actividad a evaluar
- Técnica empleada
- Hora inicio
- Hora final
- Clima
- Temperatura / Humedad
- Ubicación
- Tamaño de la cuadrilla
- Equipo utilizado
- Frecuencia de muestreo

La finalidad de los datos anteriores es dejar en evidencia las condiciones con las que se realizó las observaciones, al igual que presentar los datos generales del proyecto. También como parte de estos datos se puede incluir una sección para la descripción de los trabajadores que conforman la cuadrilla de trabajo, porque en este método como se mencionó



en la descripción es importante diferenciar los trabajadores que componen la cuadrilla para controlar la productividad de cada uno.

Los datos anteriores conforman el encabezado de la plantilla de medición, en la parte posterior se deben incluir las columnas correspondientes al número de la observación, número de trabajadores presentes, hora de la medición, otra columna dividida en tres secciones correspondientes al tiempo productivo, contributivo y no productivo por cada trabajador de la cuadrilla y por último una columna donde se anotan los comentarios, observaciones o cualquier otro detalle relacionado a la observación realizada. A continuación, se presenta un ejemplo de una plantilla de medición de la productividad mediante este método:

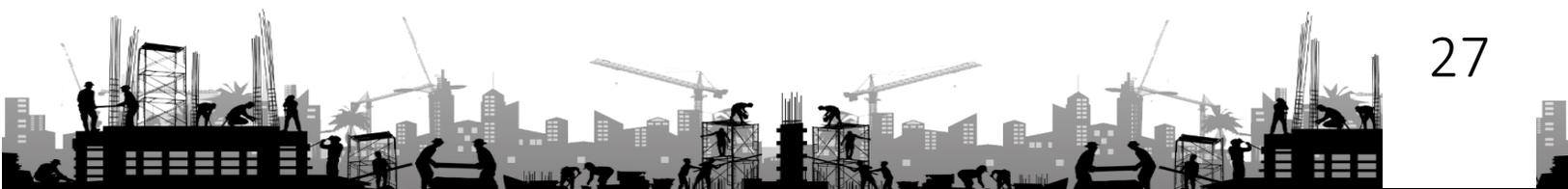
Tabla 7: Plantilla método Five Minutes Rating

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN CAMPO																		
Datos Generales																		
Nombre del proyecto:		Fecha:		Descripción de trabajadores										Equipo utilizado				
Actividad a evaluar:		Hora inicio:		Trabajador 1			Trabajador 2			Trabajador 3			Trabajador 4					
Técnica empleada:		Hora final:		Trabajador 2			Trabajador 3			Trabajador 4			Trabajador 5					
Ubicación del proyecto:		Clima:		Trabajador 3			Trabajador 4			Trabajador 5								
Tamaño de la cuadrilla:		Temperatura:		Trabajador 4			Trabajador 5											
Frecuencia de muestreo:		Humedad:		Trabajador 5														
N° Observación	Trabajadores presentes	Hora	Trabajador 1			Trabajador 2			Trabajador 3			Trabajador 4			Trabajador ...			Comentarios
			TP	TC	TI	TP	TC	TI	TP	TC	TI	TP	TC	TI	TP	TC	TI	
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		
11																		
12																		
13																		
14																		

Fuente: Elaboración propia

Paso 2. Recolección de información

Al tratarse de una técnica donde las observaciones se realizan con una frecuencia de muestreo establecido y hay presencia de varios trabajadores a los cuales se debe observar simultáneamente es recomendable realizar una recolección de información mediante videos de las actividades que conforman los procesos, crear esta evidencia tiene como fin facilitar la toma de observaciones y el análisis, ya que con esta herramienta se puede poner



en pausa, atrasar, adelantar y realizar otras acciones que permitan desarrollar un correcto análisis, de igual manera si se desea se puede omitir este paso y realizar las observaciones en campo, sin embargo es recomendable hacer esto en cuadrillas pequeñas, porque entre más trabajadores conformen la cuadrilla más costoso se vuelve realizar las observaciones simultáneas y se puede generar errores en las mediciones debido a que la frecuencia de medición es muy consecutiva.

Paso 3. Realización de observaciones

Al obtener una grabación en video como se mencionó en el paso anterior se procede a realizar las observaciones, en esta técnica se debe prestar atención a cada trabajador que conforma la cuadrilla, también se debe clasificar la acción, si está trabajando se clasifica como trabajo productivo (TP), si aporta con acciones no directas se clasifica como trabajo contributivo (TC) y en caso de que no se vea que este llevando una acción para el desarrollo de la actividad se clasifica como trabajo improductivo (TI), esto se realiza para cada trabajador de la cuadrilla simultáneamente según la frecuencia de muestreo, también es importante mencionar la cantidad de miembros de la cuadrilla al momento de la medición, esto tiene la finalidad descubrir si se requiere aumentar o disminuir el número de trabajadores en la cuadrilla.

En la sección de comentarios se debe colocar algún detalle en caso de que se considere necesario, esta parte se utiliza más para el caso del trabajo improductivo o situaciones externas que ocurran, se puede anotar el porqué, la razón o la acción que desarrollan los trabajadores o el trabajador para considerarse como improductividad. Otro punto importante es la descripción de los trabajadores que se debe de realizar, esta descripción se realiza para tener claro a cuál trabajador se está evaluando y así no se generar inconvenientes con las observaciones, esta descripción puede ser un tipo de vestimenta, algún accesorio que utilice, color de ropa, color de casco, características físicas entre otras.

Como se mencionó en secciones anteriores es recomendable en el sector constructivo realizar un mínimo de 385 observaciones por actividad que conforme el proceso a evaluar para lograr obtener un 95% de confianza para que los resultados que arroje el análisis sean significativos, porque al

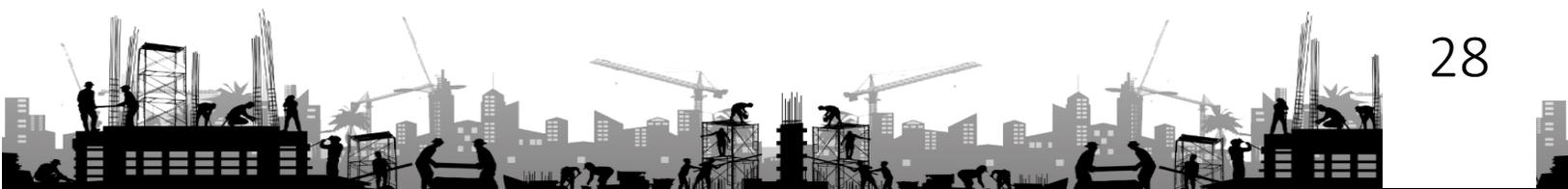


Tabla 8: Ejemplo tabla completada método Five Minutes Rating

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN CAMPO																		
Datos Generales																		
Nombre del proyecto:	Vivienda Familiar	Fecha:	10/1/2021	Descripción de trabajadores											Equipo utilizado			
Actividad a evaluar:	Confección armadura	Hora inicio:	10:00 a. m.	Trabajador 1			Casco azul											
Técnica empleada:	Five Minutes Rating	Hora final:	10:30 a. m.	Trabajador 2			Camisa cuadros											
Ubicación del proyecto:	San José, Costa Rica	Clima:	Nuvoso	Trabajador 3			Camisa manga larga											
Tamaño de la cuadrilla:	5 Trabajadores	Temperatura:	22°	Trabajador 4			Trabajador con bigote											
Frecuencia de muestreo:	15 segundos	Humedad:	30%	Trabajador 5			Trabajador pelo largo											
N° Observación	Trabajadores presentes	Hora	Trabajador 1			Trabajador 2			Trabajador 3			Trabajador 4			Trabajador 5			Comentarios
			TP	TC	TI	TP	TC	TI	TP	TC	TI	TP	TC	TI	TP	TC	TI	
1	5	10:00:15	X					X			X	X			X			
2	5	10:00:30	X				X				X	X			X			
3	5	10:00:45	X				X			X			X		X			
4	5	10:01:00		X		X			X				X		X			
5	5	10:01:15			X	X			X					X		X		
...																		
385	5	10:30:00																
TOTAL			193	122	70	189	103	93	286	63	36	236	46	103	302	46	37	

Fuente: Elaboración propia

Paso 4. Obtención de resultados

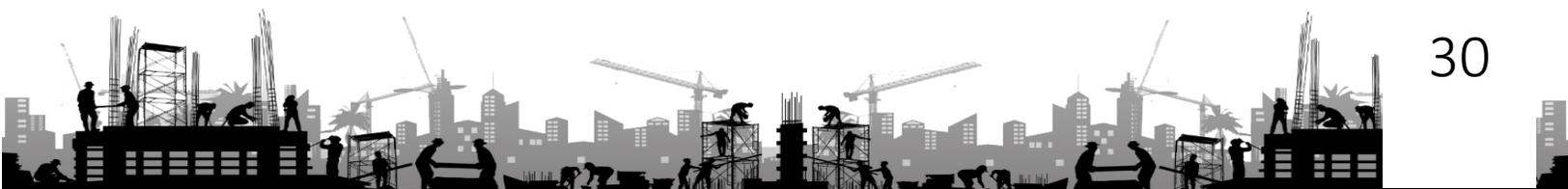
Para obtener los resultados se debe realizar un recuento tanto de las observaciones que se clasificaron como productivas, contributivas e improductivas por trabajador, una vez realizado el recuento de cada clasificación se debe realizar un promedio del valor de la sumatoria de cada clasificación entre el número total de mediciones realizadas, de esta forma se obtiene el porcentaje que representa cada clasificación.

$$\text{Porcentaje trabajo productivo} = \frac{\sum \text{Observaciones trabajo productivo}}{\text{Total de observaciones}}$$

$$\text{Porcentaje trabajo contributivo} = \frac{\sum \text{Observaciones trabajo contributivo}}{\text{Total de observaciones}}$$

$$\text{Porcentaje trabajo improductivo} = \frac{\sum \text{Observaciones trabajo improductivo}}{\text{Total de observaciones}}$$

Siguiendo con los datos del ejemplo planteado el total de los porcentajes de cada trabajador corresponden a:



Trabajador 1			Trabajador 2			Trabajador 3			Trabajador 4			Trabajador 5		
TP	TC	TI	TP	TC	TI	TP	TC	TI	TP	TC	TI	TP	TC	TI
50%	32%	18%	49%	27%	24%	74%	16%	9%	61%	12%	27%	78%	12%	10%

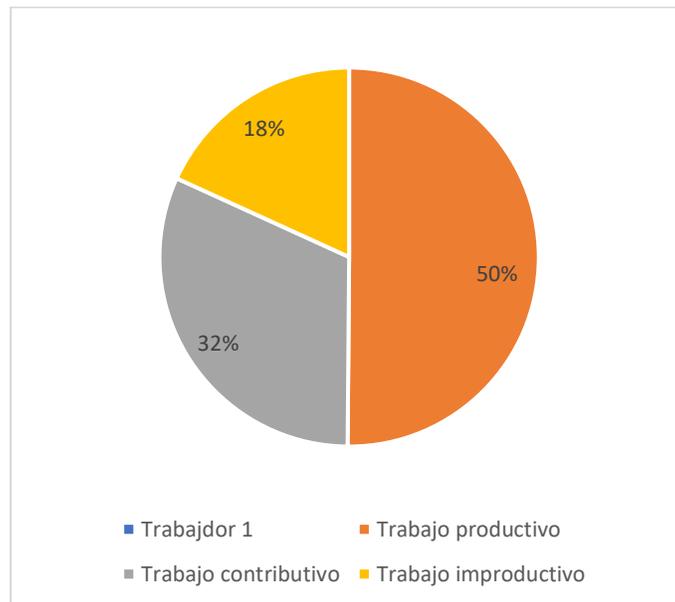
Figura 14: Resultados cálculo de porcentajes por trabajador método Five Minutes Rating
Fuente: Elaboración propia.

Paso 5. Realización de gráfico de resultados

Para representar la medición realizada y los resultados obtenidos se debe crear un gráfico circular por trabajador donde se representen el valor de los porcentajes obtenidos en el paso anterior, de esta manera resulta más sencillo visualizar los resultados para su posterior análisis. Si se desea se puede realizar otro gráfico que corresponda al promedio de los trabajadores y que represente la productividad promedio de la actividad en evaluación.

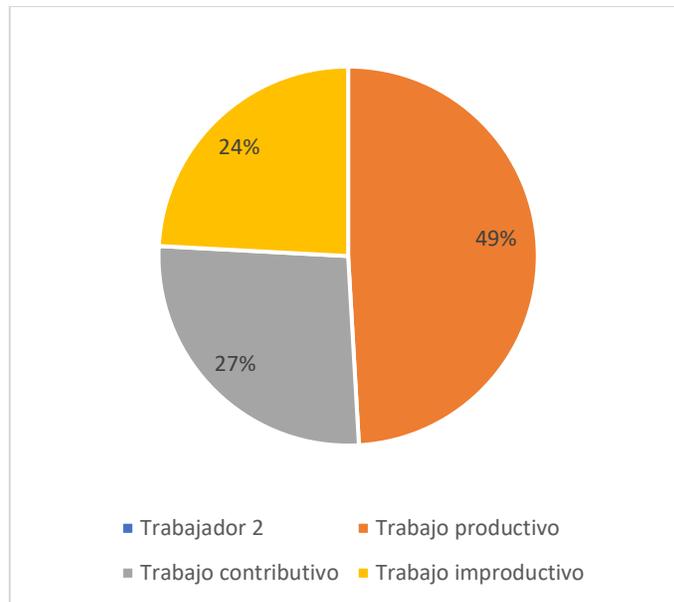
A continuación, se presenta un ejemplo de la representación gráfica de los datos presentados en los pasos anteriores:

Gráfico 4: Resultados productividad método Five Minutes Rating Trabajador 1



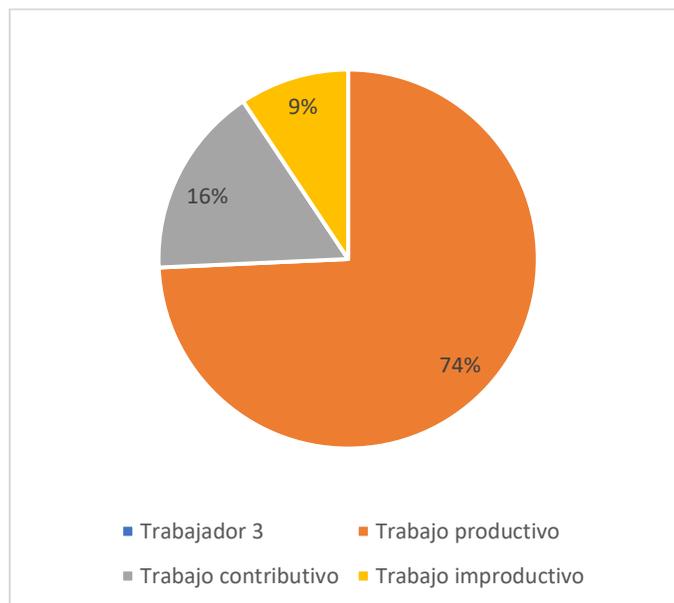
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5: Resultados productividad método Five Minutes Rating Trabajador 2



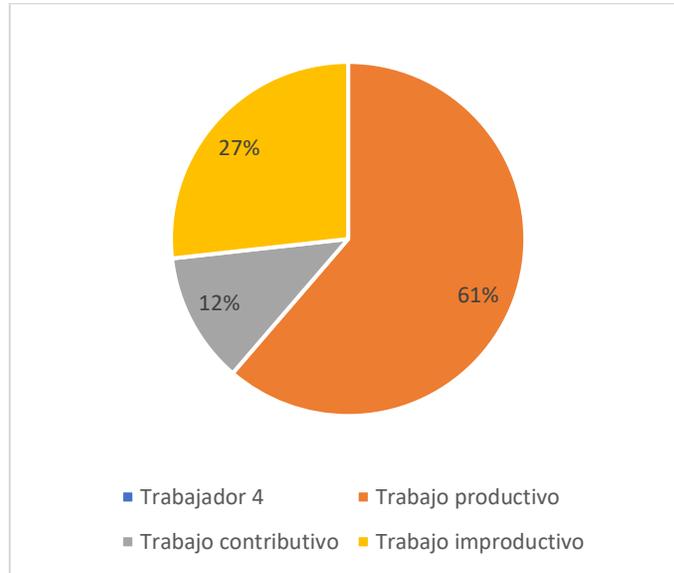
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6: Resultados productividad método Five Minutes Rating Trabajador 3



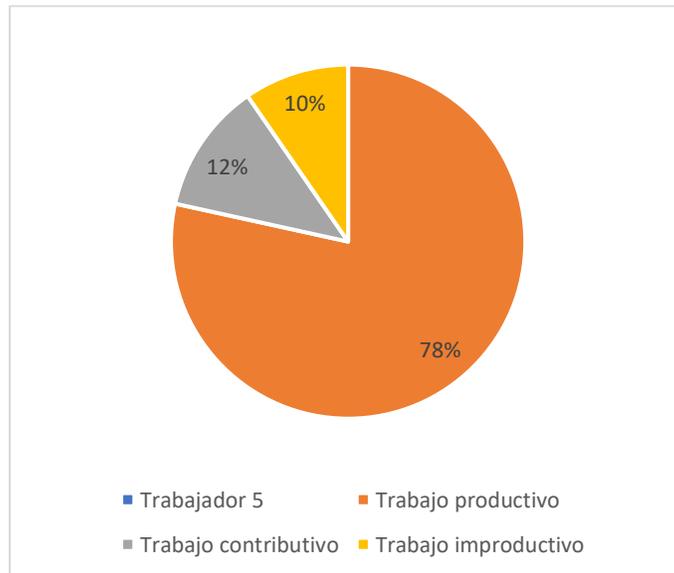
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7: Resultados productividad método Five Minutes Rating Trabajador 4



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8: Resultados productividad método Five Minutes Rating Trabajador 5



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9: Resultados productividad promedio método Five Minutes Rating



Fuente: Elaboración propia

Paso 6. Clasificación de la actividad en análisis

Como paso final se debe de clasificar la eficiencia de la actividad obtenida mediante las observaciones realizadas, utilizando la siguiente tabla:

Tabla 9: Clasificación de la productividad

Eficiencia en la productividad	Rango en porcentaje
Muy baja	10 % a 40 %
Baja	41 % a 60 %
Promedio o normal	61 % a 80 %
Muy buena	81 % a 90 %
Excelente	91 % a 100 %

Fuente: Leandro (2018)

Para el caso ficticio en estudio la eficiencia en la productividad encontrada mediante la implementación de esta técnica corresponde a:

- Trabajador 1, 3 y 5 Muy buena
- Trabajador 2 y 4 Promedio o normal

NOTAS:

Esta técnica es de carácter repetitivo para las actividades que conforman cada proceso que se desee analizar, por ende, una vez realizados todos los pasos anteriores se debe comenzar nuevamente con el Paso 3, solamente que esta vez se continua con la siguiente tarea que conforma el proceso. Es importante recordar que las tareas de los procesos fueron presentadas en los diagramas de flujo o ciclos elaborados, de esta manera se debe realizar todo el análisis nuevamente hasta completar todas las actividades, ya que a este punto se muestra solamente la eficiencia de una actividad de un proceso y haría falta conocer la eficiencia de todas las tareas que lo conforman y a su vez realizar lo mismo en los demás procesos críticos seleccionados en las secciones anteriores del análisis de la productividad.

En la sección de anexos de este documento se presenta una plantilla que puede ser utilizada o tomada como referencia para desarrollar la medición de la productividad mediante la técnica Five Minutes Rating. Esta plantilla cuenta con las columnas correspondientes al número de observaciones, trabajo productivo, trabajo improductivo, así como los comentarios o detalles y los datos generales del proyecto en análisis.



Crew Balance

Este método consiste en una representación de tiempos y movimientos, mediante un seguimiento simultáneo de cada miembro de la cuadrilla con el fin de observar cómo se lleva a cabo el proceso por cada miembro, para ello es necesario realizar observaciones y anotar los tiempos productivos, contributivos y no productivos de cada trabajador, permitiendo determinar niveles de eficiencia en el trabajo llevado a cabo mediante descripción de las actividades, tareas o técnicas empleadas.

Una vez obtenidos los datos de las observaciones se procede a elaborar un gráfico de barras vertical donde se muestre las acciones de la cuadrilla en el tiempo de observación. En el eje horizontal se coloca a cada uno de los trabajadores de la cuadrilla y en el eje vertical se coloca la duración de cada una de las actividades del trabajador en el tiempo de observación.

En resumen, este método ayuda para realizar una comparación de las efectividades entre los miembros de una cuadrilla y los equipos necesarios para realizar un proceso mediante la toma de tiempos.

Paso 1. Creación de la plantilla

La plantilla para la toma de los datos en las observaciones al igual que en las técnicas anteriores necesariamente debe de contener los siguientes datos:

- Nombre del proyecto
- Fecha
- Actividad a evaluar
- Técnica empleada
- Hora inicio
- Hora final
- Clima
- Temperatura / Humedad
- Ubicación
- Tamaño de la cuadrilla
- Frecuencia de muestreo

La finalidad de los datos anteriores es dejar en evidencia las condiciones con las que se realizó las observaciones, al igual que presentar los datos generales del proyecto. También como parte de estos datos se puede incluir una sección para la descripción de los trabajadores que conforman la cuadrilla de trabajo, es importante diferenciar los trabajadores que componen la cuadrilla para controlar la productividad de cada uno.



Para lograr tener un adecuado control de los datos es recomendable establecer por cada tipo de trabajo ya sea productivo, contributivo e improductivo un mínimo de 4 actividades, con la finalidad de realizar una posterior comparación entre los trabajadores de la cuadrilla en estas actividades en específico, esta parte puede formar parte del encabezado para dejar en evidencia las actividades a evaluar.

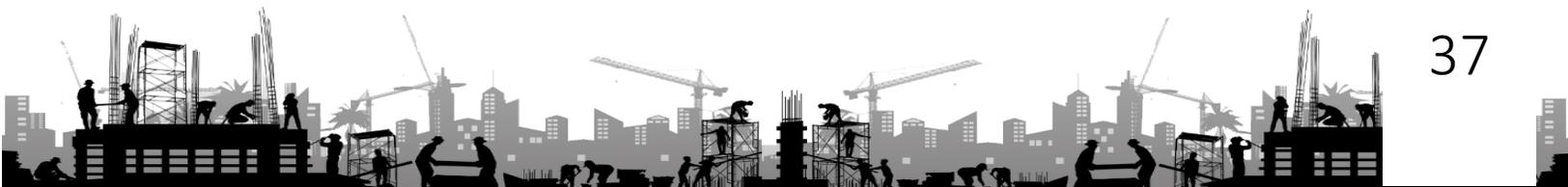
Los datos anteriores corresponden al encabezado de la plantilla de medición, en la parte posterior se deben incluir las columnas correspondientes al número de la observación, hora de medición, posterior a esto una columna por cada trabajador de la cuadrilla en donde se anotará la actividad desarrollada al momento de la medición y por último una columna donde se anotan los comentarios, observaciones o cualquier otro detalle relacionado a la observación realizada.

A continuación, se presenta un ejemplo de una plantilla de medición de la productividad mediante este método:

Tabla 10: Plantilla método Crew Balance

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN CAMPO							
Datos Generales							
Nombre del proyecto:		Fecha:		Descripción de trabajadores		Actividades	
Actividad a evaluar:		Hora inicio:		Trabajador 1		TP	TC
Técnica empleada:		Hora final:		Trabajador 2			TI
Ubicación del proyecto:		Clima:		Trabajador 3			
Tamaño de la cuadrilla:		Temperatura:		Trabajador 4			
Frecuencia de muestreo:		Humedad:		Trabajador 5			
N° Observación	Hora	Trabajador 1	Trabajador 2	Trabajador 3	Trabajador 4	Trabajador 5	Comentarios
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							

Fuente: Elaboración propia



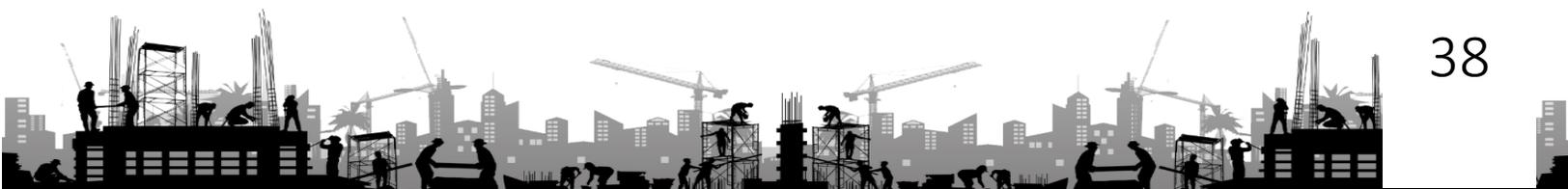
Paso 2. Recolección de información

Al tratarse de una técnica donde se mide a los miembros de la cuadrilla simultáneamente y las observaciones se realizan con una frecuencia de muestreo establecido es recomendable realizar una recolección de información mediante videos de las actividades que conforman los procesos.

Crear esta evidencia tiene como fin facilitar la toma de observaciones y el análisis, ya que con ayuda de alguna herramienta se puede poner en pausa, atrasar, adelantar y realizar otras acciones para anotar las observaciones y así desarrollar un correcto análisis, de igual manera si se desea se puede omitir este paso y realizar las observaciones en campo, sin embargo es recomendable hacer esto en cuadrillas pequeñas, porque entre más trabajadores conformen la cuadrilla más costoso se vuelve realizar las observaciones simultáneas y se puede generar errores en las mediciones debido a que la frecuencia de medición es muy consecutiva.

Paso 3. Realización de observaciones

Al obtener una grabación en video como se mencionó en el paso anterior se procede a realizar las observaciones, en esta técnica se debe prestar atención a cada trabajador que conforma la cuadrilla, en cada columna de los trabajadores se debe colocar la acción que realizan a la hora de la medición durante la frecuencia establecida, se debe tomar en cuenta las actividades definidas en el encabezado de la plantilla, ya que hay que limitarse a las actividades seleccionadas para poder tener un punto de comparación entre los trabajadores, por ejemplo: si el proceso en estudio es colocación de bloques algunas actividades relacionadas son colocación de concreto, corte de bloques, colocación de bloques, nivelación, acarreo, fabricación de concreto, desplazamiento, vibrado, conversar, estar ausente, descansar, observar. Dentro de las actividades anteriores hay actividades productivas, contributivas e improductivas, por lo general las actividades contributivas y las improductivas siempre se repiten entre las mediciones de las actividades de los procesos, sin embargo, por obvias razones las actividades productivas están relacionadas a la actividad en análisis y desarrollo.



En la sección de comentarios se debe colocar algún detalle en caso de que se considere necesario, esta parte se utiliza más para el caso del trabajo improductivo o situaciones externas que ocurran, se puede anotar el porqué, la razón o la acción que desarrollan los trabajadores o el trabajador para considerarse como improductividad. Otro punto importante es la descripción de los trabajadores que se debe de realizar, esta descripción se realiza para tener claro a cuál trabajador se está evaluando y así no se generen inconvenientes con las observaciones.

Como se mencionó en secciones anteriores es recomendable en el sector constructivo realizar un mínimo de 385 observaciones por actividad que conforme el proceso a evaluar para lograr obtener un 95% de confianza para que los resultados que arroje el análisis sean significativos, porque al tratarse de un muestreo aleatorio los resultados pueden presentar una desviación considerable.

A continuación, se presenta cómo completar la tabla correctamente:

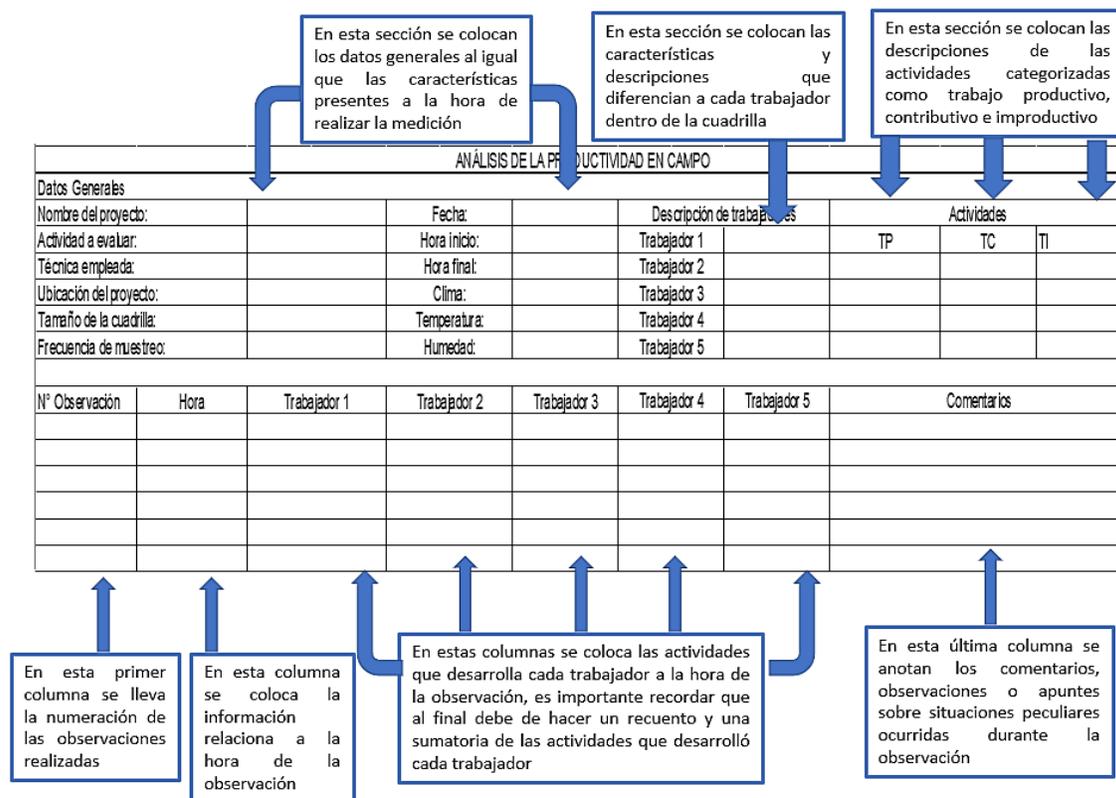


Figura 14: Representación gráfica para completar plantilla método Crew Balance
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta una tabla con datos de modo ejemplo, para ello se utilizó un ejemplo ficticio correspondiente a la colocación de bloques del proceso de construcción de columnas y muros, cabe destacar nuevamente que lo siguiente es un ejemplo propuesto y los datos presentados son ficticios y no corresponden a la realidad, se presentan con el fin de que sirvan como guía para ser utilizado en los proyectos de los usuarios de esta guía.

Tabla 11: Ejemplo tabla completada método Crew Balance

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN CAMPO								
Datos Generales								
Nombre del proyecto:	Vivienda Familiar	Fecha:	10/11/2021	Descripción de trabajadores		Actividades		
Actividad a evaluar:	Colocación de bloques	Hora inicio:	10:00 a. m.	Trabajador 1	Casco azul	TP	TC	TI
Técnica empleada:	Crew Balance	Hora final:	10:30 a. m.	Trabajador 2	Camisa cuadros	Colocación concreto	Acarreo	Conversar
Ubicación del proyecto:	San José, Costa Rica	Clima:	Soleado	Trabajador 3	Camisa Negra	Corte de bloques	Fabricación	Ausente
Tamaño de la cuadrilla:	5 Trabajadores	Temperatura:	25°	Trabajador 4	Trabajador pelo largo	Colocación bloques	Desplazamiento	Descansar
Frecuencia de muestreo:	15 segundos	Humedad:	30%	Trabajador 5	Trabajador con bigote	Nivelación		Observar
Nº Observación	Hora	Trabajador 1	Trabajador 2	Trabajador 3	Trabajador 4	Trabajador 5	Comentarios	
1	10:00:15	Fabricación de concreto	Fabricación de concreto	Acarreo	Corte de bloques	Colocación de bloques		
2	10:00:30	Conversar	Coversar	Acarreo	Corte de bloques	Colocación de bloques		
3	10:00:45	Observar	Acarreo	Acarreo	Corte de bloques	Colocación de bloques		
4	10:01:00	Acarreo	Colocación de bloques	Colocación de bloques	Descansar	Descansar		
5	10:01:15	Observar	Observar	Nivelación	Vibrado	Ausente		
..								
385	10:30:00	Colocación de bloques	Colocación de bloques	Colocación de bloques	Ausente	Descansar		

Fuente: Elaboración propia

Paso 4. Obtención de resultados

Una vez realizadas las observaciones se debe desarrollar un conteo de las actividades por trabajador recordando la clasificación realizada al principio de la medición y descritas en el encabezado de la plantilla en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI).

Para obtener los resultados una vez realizado el recuento de cada actividad se debe realizar un promedio del valor de la sumatoria de cada actividad entre el número total de mediciones realizadas, de esta forma se obtiene el porcentaje que representa cada actividad.

$$\text{Porcentaje actividad} = \frac{\sum \text{Observaciones actividad}}{\text{Total de observaciones}}$$



De igual manera se debe de calcular los valores correspondientes a las clasificaciones de actividades, para ello se deben sumar las acciones que conformen cada tipo de trabajo, ya sea productivo, contributivo y no productivo y calcular el promedio mediante la división del valor de la sumatoria de cada tipo de trabajo entre el número total de mediciones realizadas.

$$\text{Porcentaje trabajo productivo} = \frac{\Sigma \text{ actividades productivas}}{\text{Total de observaciones}}$$

$$\text{Porcentaje trabajo contributivo} = \frac{\Sigma \text{ actividades contributivas}}{\text{Total de observaciones}}$$

$$\text{Porcentaje trabajo improductivo} = \frac{\Sigma \text{ actividades improductivas}}{\text{Total de observaciones}}$$

Para un mejor análisis se puede realizar un cuadro resumen que contenga lo calculado anteriormente para cada trabajador que conforme la cuadrilla, tanto el número de observaciones correspondiente a cada actividad, así como el valor del porcentaje que representa y su respectiva clasificación.

A continuación, se presenta un ejemplo de este tipo de tabla resumen con los datos obtenidos según el ejemplo propuesto:

Tabla 12: Tabla resumen resultados por trabajador método Crew Balance

Clasificación	Actividad	Trabajador									
		1		2		3		4		5	
		N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
TP	Colocación concreto	86	22%	83	22%	86	22%	82	21%	84	22%
	Corte de bloques	32	8%	29	8%	26	7%	28	7%	38	10%
	Colocación bloques	92	24%	85	22%	86	22%	88	23%	90	23%
	Nivelación	63	16%	56	15%	57	15%	60	16%	53	14%
TC	Acarreo	20	5%	23	6%	28	7%	15	4%	11	3%
	Fabricación	10	3%	13	3%	4	1%	22	6%	2	1%
	Desplazamiento	30	8%	28	7%	28	7%	29	8%	31	8%
TI	Conversar	15	4%	19	5%	17	4%	21	5%	21	5%
	Ausente	12	3%	16	4%	14	4%	13	3%	18	5%
	Descansar	7	2%	11	3%	9	2%	8	2%	13	3%
	Observar	18	5%	22	6%	30	8%	19	5%	24	6%
TOTALES		385	100%	385	100%	385	100%	385	100%	385	100%

Fuente: Elaboración propia

Paso 5. Realización de gráfico de resultados

Para esta técnica la representación gráfica varía un poco en relación con las otras técnicas, para desarrollar el gráfico se requiere de la información generada en el paso anterior. Esta representación consiste en un gráfico de barras de columnas 100% apiladas en donde se muestre las acciones de cada trabajador de la cuadrilla en el tiempo de observación. En el eje horizontal se coloca a cada uno de los trabajadores de la cuadrilla y en el eje vertical se coloca en porcentajes la sumatoria de cada una de las actividades del trabajador durante el lapso de observación.

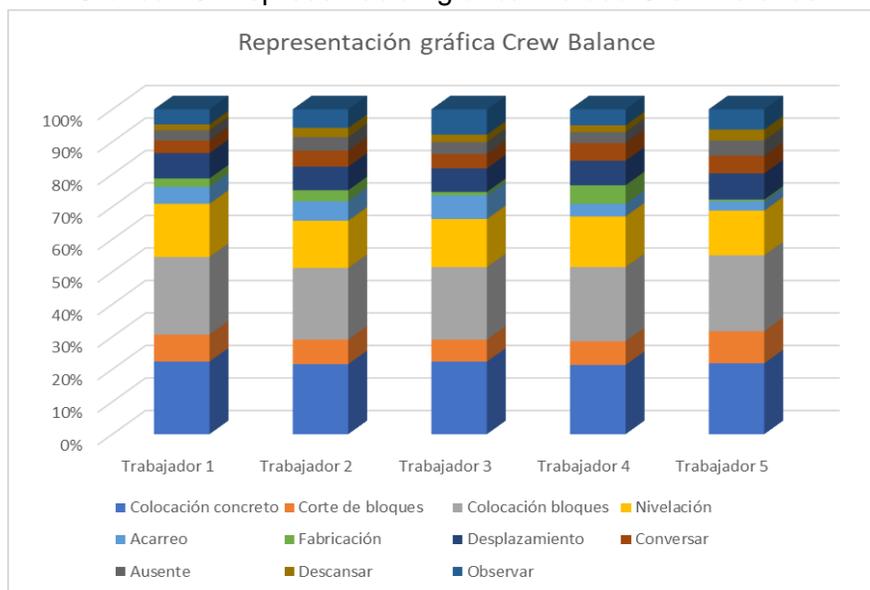
A continuación, se presenta un ejemplo de la tabla resumen de únicamente los porcentajes correspondientes a cada actividad por trabajador y su representación gráfica de los datos presentados en los pasos anteriores:

Tabla 13: Tabla resumen resultados por actividades método Crew Balance

Trabajadores	Actividades										
	Colocación concreto	Corte de bloques	Colocación bloques	Nivelación	Acarreo	Fabricación	Desplazamiento	Conversar	Ausente	Descansar	Observar
Trabajador 1	22%	8%	24%	16%	5%	3%	8%	4%	3%	2%	5%
Trabajador 2	22%	8%	22%	15%	6%	3%	7%	5%	4%	3%	6%
Trabajador 3	22%	7%	22%	15%	7%	1%	7%	4%	4%	2%	8%
Trabajador 4	21%	7%	23%	16%	4%	6%	8%	5%	3%	2%	5%
Trabajador 5	22%	10%	23%	14%	3%	1%	8%	5%	5%	3%	6%

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10: Representación gráfica método Crew Balance



Fuente: Elaboración propia

Paso 6. Clasificación de la actividad en análisis

Como paso final se debe realizar un último cuadro resumen en donde se muestren los porcentajes del tiempo productivo, contributivo y no productivo por trabajador, también se puede realizar un porcentaje promedio para clasificar tanto la eficiencia de cada trabajador, así como la eficiencia de la cuadrilla como tal, para realizar esta clasificación se utiliza lo siguiente:

Tabla 14: Resultados de la productividad

Trabajadores	Trabajo productivo	Trabajo contributivo	Trabajo improductivo
Trabajador 1	71%	16%	14%
Trabajador 2	66%	17%	18%
Trabajador 3	66%	16%	18%
Trabajador 4	67%	17%	16%
Trabajador 5	69%	11%	20%
Promedio	68%	15%	17%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Clasificación de la productividad

Eficiencia en la productividad	Rango en porcentaje
Muy baja	10 % a 40 %
Baja	41 % a 60 %
Promedio o normal	61 % a 80 %
Muy buena	81 % a 90 %
Excelente	91 % a 100 %

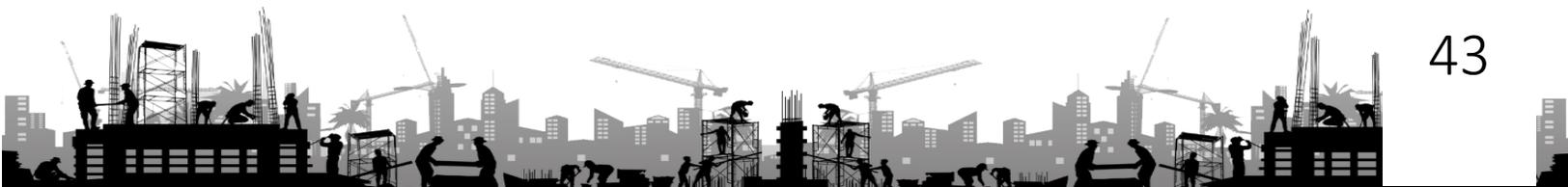
Fuente: Leandro (2018)

Para el caso ficticio en estudio la eficiencia en la productividad encontrada mediante la implementación de esta técnica corresponde a:

- Trabajador 1, 2, 3, 4: Muy buena
- Trabajador 5: Promedio o normal
- Cuadrilla: Muy buena

NOTAS:

Esta técnica es de carácter repetitivo para las actividades que conforman cada proceso que se desee analizar, por ende, una vez realizados todos los pasos anteriores se debe comenzar nuevamente con el Paso 3, solamente que esta vez se continua con la siguiente tarea que conforma el proceso. Es importante recordar que las tareas de los procesos fueron presentadas en los diagramas de flujo o ciclos elaborados, de esta manera se debe realizar todo el análisis nuevamente hasta completar todas las actividades, ya que a este punto se muestra solamente la eficiencia de una actividad de un proceso y haría falta conocer la eficiencia de todas las tareas que lo conforman y a su vez realizar lo mismo en los demás procesos críticos seleccionados en las secciones anteriores del análisis de la productividad. En la sección de anexos se presentan las diferentes plantillas que pueden ser utilizadas o tomadas como referencia para desarrollar la medición de la productividad mediante la técnica Crew Balance.

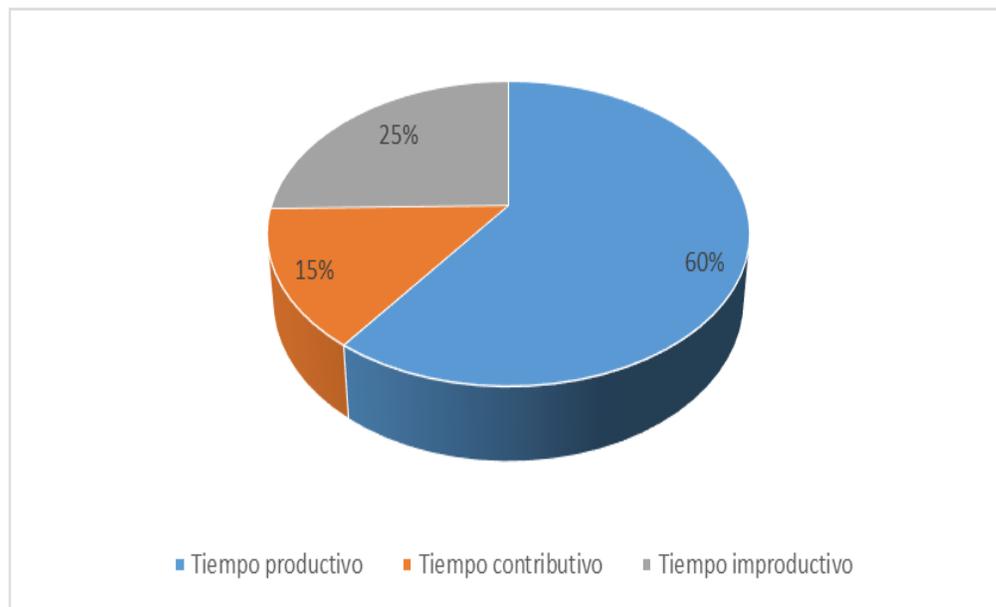


Presentación de resultados

Una vez realizadas las mediciones según la respectiva metodología aplicada se debe proceder con la presentación de los resultados obtenidos, para este punto se debió de haber realizado la recolección de información mediante el o los mecanismos escogidos para la medición de la productividad para todas las actividades que conforman cada proceso crítico escogido.

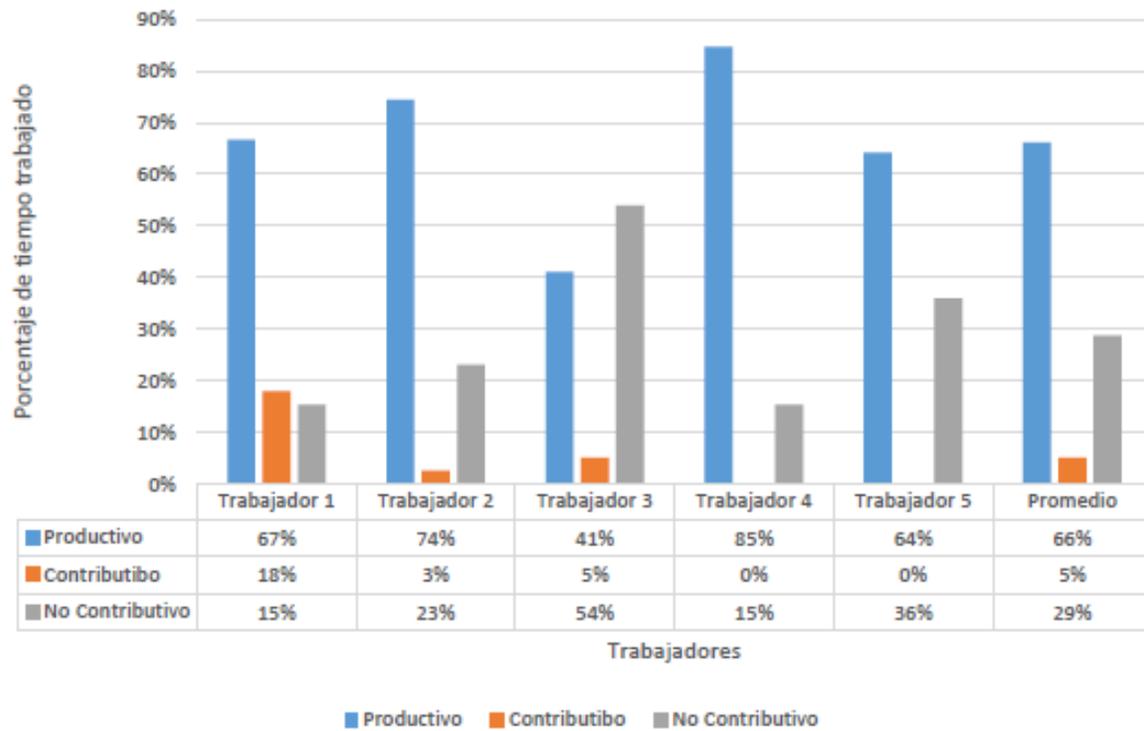
Un método utilizado en los diferentes análisis de productividades es el uso de gráficos, ya sean de tipo barras o de tipo sectores, en estos gráficos se presentan las diferentes productividades en las actividades correspondientes a los procesos en modo general o por integrantes de la cuadrilla. Estos gráficos pueden mostrar la información promediada o individual según la forma en que se realizó la observación, a continuación, se presentan algunos ejemplos de cómo se puede presentar los resultados de las observaciones.

Gráfico 10: Gráfico resultados método Crew Balance



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11: Gráfico resultados método Crew Balance por trabajador



Fuente: Elaboración propia

Como último punto del mecanismo de análisis se debe realizar un cuadro resumen donde se presenten los procesos críticos, tareas involucradas en estos procesos, los porcentajes correspondientes al trabajo productivo, contributivo e improductivo de cada mecanismo de medición utilizado, así como las productividades promedio según cada mecanismo y una productividad promedio global.

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo realizar este cuadro resumen, cabe destacar que lo siguiente es un ejemplo propuesto y los datos presentados son ficticios y no corresponden a la realidad, se presentan con el fin de que sirvan como guía para ser utilizado en los proyectos de los usuarios de esta guía.

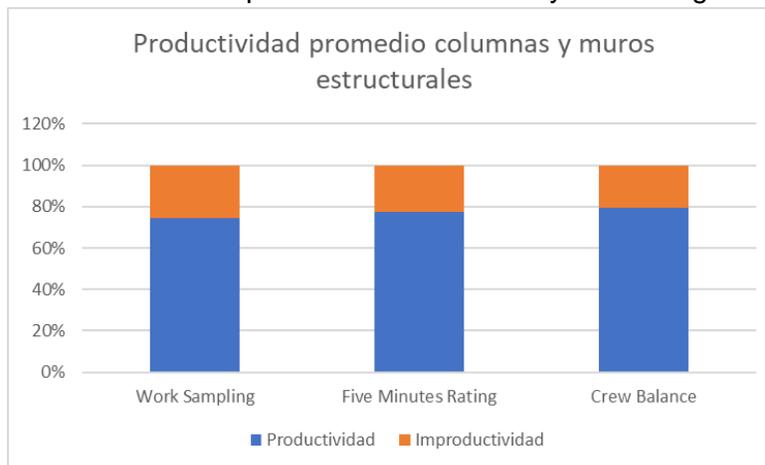
Tabla 16: Tabla resumen productividad en los diferentes métodos.

Proceso	Tareas involucradas	Mecanismos de medición								Productividad		
		Work Sampling		Five Minutes Rating			Crew Balance			Work Sampling	Five Minutes Rating	Crew Balance
		TP	TI	TP	TC	TI	TP	TC	TI			
Columnas y muros estructurales	Confección armadura	77%	23%	71%	11%	18%	72%	12%	16%	77%	82%	84%
	Armado de la estructura para Columna	75%	25%	66%	9%	25%	67%	10%	23%	75%	75%	77%
	Armado de la estructura para Muros	68%	32%	65%	7%	28%	66%	8%	26%	68%	72%	74%
	Colocación de formaleta	79%	21%	63%	6%	31%	64%	7%	29%	79%	69%	71%
	Fabricación de concreto	72%	28%	68%	10%	22%	69%	11%	20%	72%	78%	80%
	Colado de concreto	77%	23%	72%	12%	16%	73%	13%	14%	77%	84%	86%
	Desencofrado	73%	27%	70%	13%	17%	71%	14%	15%	73%	83%	85%
PRODUCTIVIDAD PROMEDIO		74%		78%			80%					
Vigas de concreto	Confección armadura	71%	29%	65%	17%	18%	66%	18%	16%	71%	82%	84%
	Colocación formaleta base	69%	31%	64%	16%	20%	65%	17%	18%	69%	80%	82%
	Armado de la estructura para viga	79%	21%	67%	8%	25%	68%	9%	23%	79%	75%	77%
	Colocación formaleta lateral	81%	19%	68%	6%	26%	69%	7%	24%	81%	74%	76%
	Fabricación de concreto	77%	23%	71%	11%	18%	72%	12%	16%	77%	82%	84%
	Colado de concreto	74%	26%	62%	15%	23%	63%	16%	21%	74%	77%	79%
	Desencofrado	73%	27%	64%	10%	26%	65%	11%	24%	73%	74%	76%
PRODUCTIVIDAD PROMEDIO		75%		78%			80%					
PRODUCTIVIDAD PROMEDIO GLOBAL										75%	78%	80%

Fuente: Elaboración propia

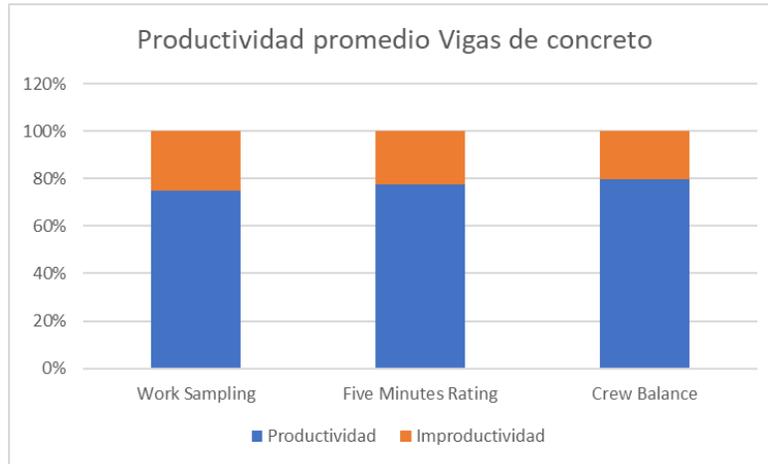
Como paso adicional una vez obtenidos los datos anteriores se puede realizar una representación gráfica de los resultados de la productividad promedio según el mecanismo utilizado en los diferentes procesos críticos seleccionados, así como un gráfico representativo de la productividad promedio global según el método. A continuación, se presentan los gráficos a modo ejemplo según los datos obtenidos en el ejercicio ficticio creado.

Gráfico 12: Productividad promedio en columnas y muros según el método



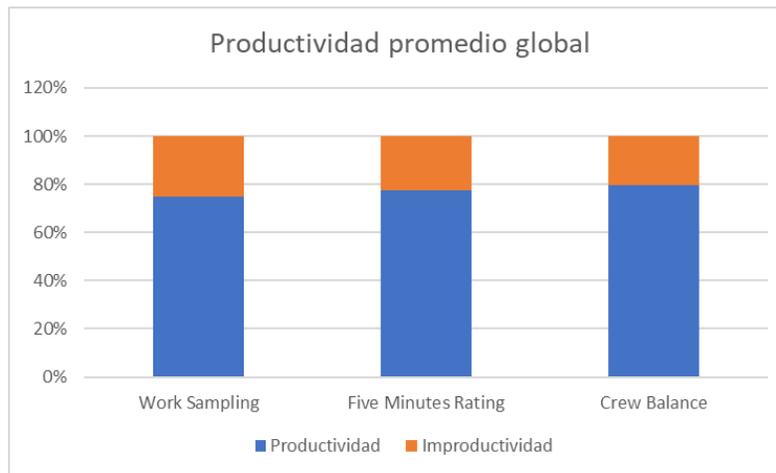
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13: Productividad promedio en columnas y muros según el método

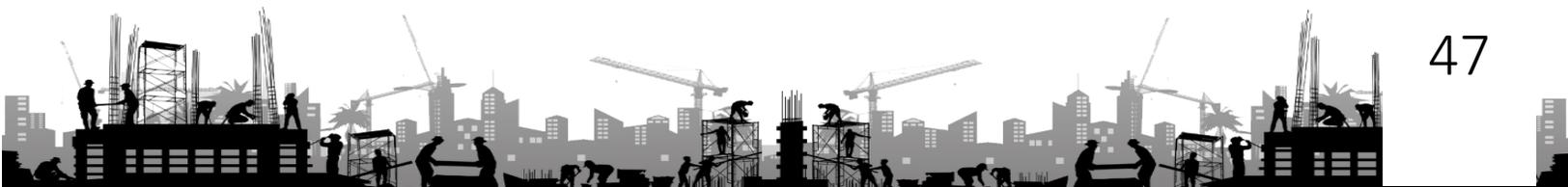


Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14: Productividad promedio en columnas y muros según el método



Fuente: Elaboración propia



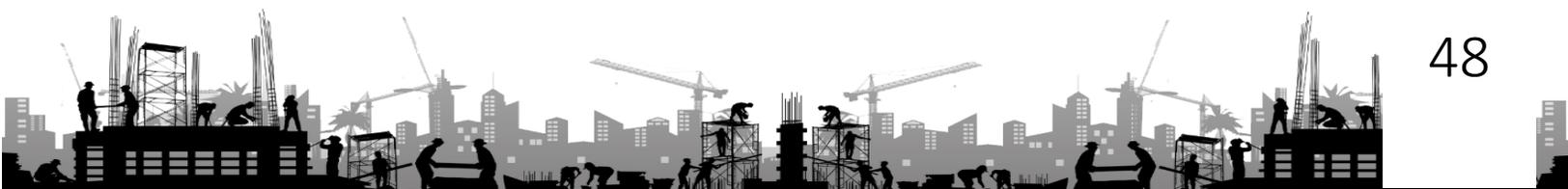
Factores que afectan la productividad

Una vez obtenidos los porcentajes correspondientes y clasificado la efectividad según el método empleado se procede a realizar un análisis de posibles factores que influyen en la realización de las actividades que conforman los procesos. Según la investigación realizada por Botero & Álvarez (2003) en la identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción los factores que perjudican la productividad en los procesos existen 7 categorías de factores que afectan la productividad tanto del proyecto en sí, así como las actitudes y aptitudes de los trabajadores a la hora de realizar las actividades: Economía general, aspectos laborales, clima, actividad, equipamiento, supervisión y estado del trabajador.

Para la búsqueda de factores que provoquen pérdidas de tiempo al inicio o inclusive antes de que inicie el proyecto se debe tomar en cuenta la abundancia de construcciones y estar pendiente si existe dificultades para conseguir mano de obra calificada y competente. Los aspectos laborales están relacionados al sentimiento de estabilidad laboral esto depende del tipo de contrato, incentivos, pagos injustos o inclusive falta de seguro social. Dentro de esta categoría se debe de tomar en cuenta el ambiente de trabajo creado a partir de la relación entre trabajadores.

El clima es un factor que puede afectar negativamente la productividad, debido a las altas temperaturas, porcentaje de humedad alto, mal estado del tiempo, condiciones climáticas inexactas y las condiciones que presenta el tipo de suelo. En temas de la actividad a realizar se debe tomar en cuenta el grado de dificultad, posibles riesgos laborales, el orden y aseo en la zona de trabajo. La supervisión y el chequeo del estado de los equipos y maquinarias de trabajo son importantes para disminuir la presencia de fallas por falta de constante revisión o mantenimiento.

El estado del trabajador va ligado a problemas personales que enfrenta el trabajador, también es importante considerar el alto ritmo de trabajo o la falta de habilidad o capacitación. Estos factores perjudican el estado del ánimo del trabajador y por ende afectan negativamente la efectividad y la productividad en la jornada laboral, por lo tanto, es importante estar atento ante posibles acciones o comportamiento de los trabajadores.



Paso 1. Recolección de información.

Para encontrar los factores que afectan la productividad en los procesos constructivos es necesario como primer punto identificar aquellas acciones, actitudes y aptitudes de los trabajadores consideradas como pérdidas durante la ejecución del proceso, también debe considerarse los factores externos que afectan y provocan pérdidas en la eficiencia a la hora de desarrollar las tareas.

Recolección de información por medio de la observación.

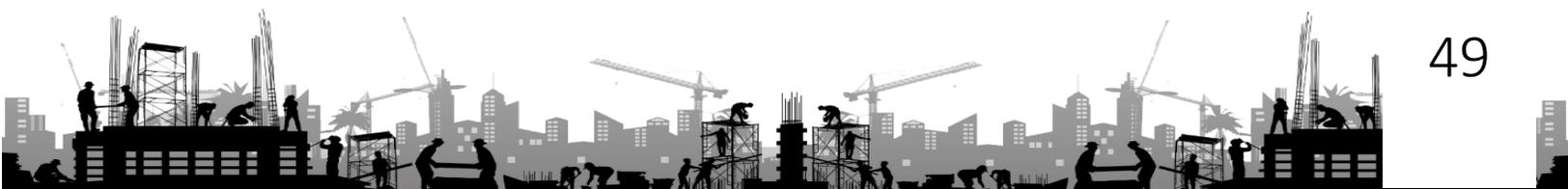
A la hora de realizar las observaciones de la productividad mediante los diferentes métodos presentados se puede realizar un listado de las acciones de los trabajadores o algún imprevisto que son tomados como tiempos improductivos en las mediciones, también se puede realizar una comprobación de los factores mediante una lista de verificación elaborada.

Implementación de entrevistas

Otra forma eficaz para identificar factores que afecten la productividad es realizar entrevistas tanto a los trabajadores, maestros de obras o los ingenieros encargados, de esta manera se tiene otro punto de vista y se cuenta como más información y no solo mediante lo observado a la hora de realizar la medición de la productividad.

Paso 2. Representación de los factores

Para representar los factores encontrados mediante las diferentes formas anteriormente mencionadas existe una herramienta que permite visualizar de una manera diferente y ordenada permitiendo realizar un buen modo de análisis, esta herramienta se llama el Diagrama Causa-Efecto, también es llamado el Diagrama de "Ishikawa", este fue creado por Kaoru Ishikawa para el análisis de los problemas relacionados a la calidad en los procesos, la finalidad de este diagrama es representar de forma gráfica y ordenada la relación entre un efecto o problema y todas las posibles causas que lo ocasionan, de esta forma al conocer las causas se podrán plantear acciones correctivas.



Pasos para el desarrollo del diagrama de Ishikawa

1. Definir el problema, situación o evento que se desea analizar.
2. Elaborar el esqueleto del diagrama. Este diagrama es reconocido por la forma de esqueleto de pescado que tiene, al lado derecho se ubica la cabeza del pescado en donde se coloca el problema definido en el paso anterior, posterior a esto se traza una recta hacia la izquierda que corresponde a la espina central y al final de esta se coloca la cola del esqueleto.
3. Buscar las causas probables. Las categorías de los factores presentados en la sección anterior serán representadas como causas probables y estas formarán una espina mayor que derivada de la espina central.
4. Colocación de las causas directas. Los factores encontrados mediante la observación o la implementación de encuestas corresponden a las causas principales estas se representan como línea que sale de la espina mayor, también existe la posibilidad que una causa directa esté relacionada a otra y esta se podrá colocar como una sub causa en el segundo nivel de causas mediante otra línea que sale de la causa principal.

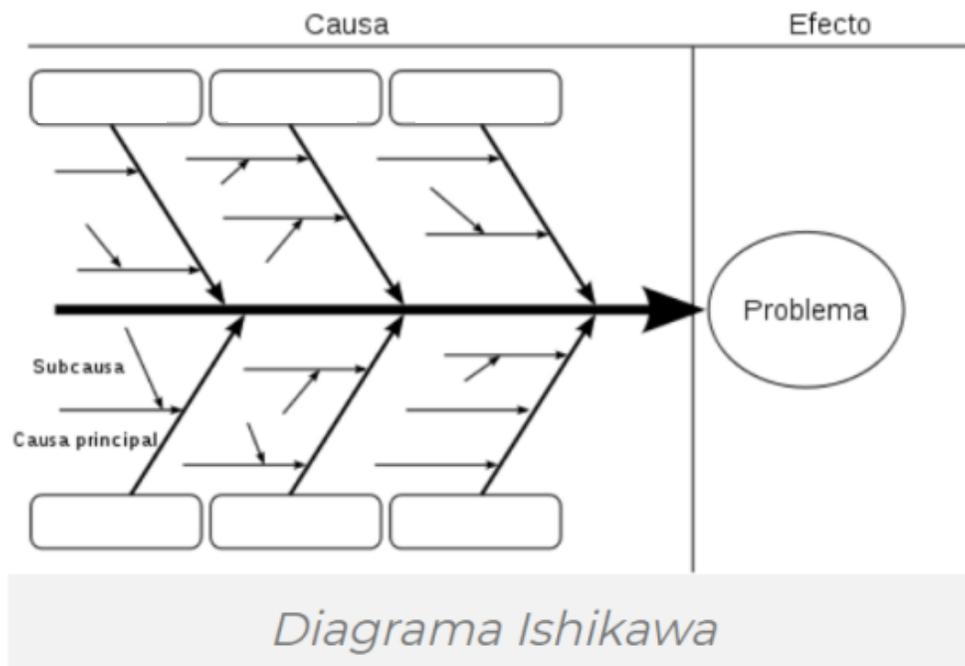


Figura 15: Plantilla diagrama de Ishikawa
Fuente: Elaboración propia.

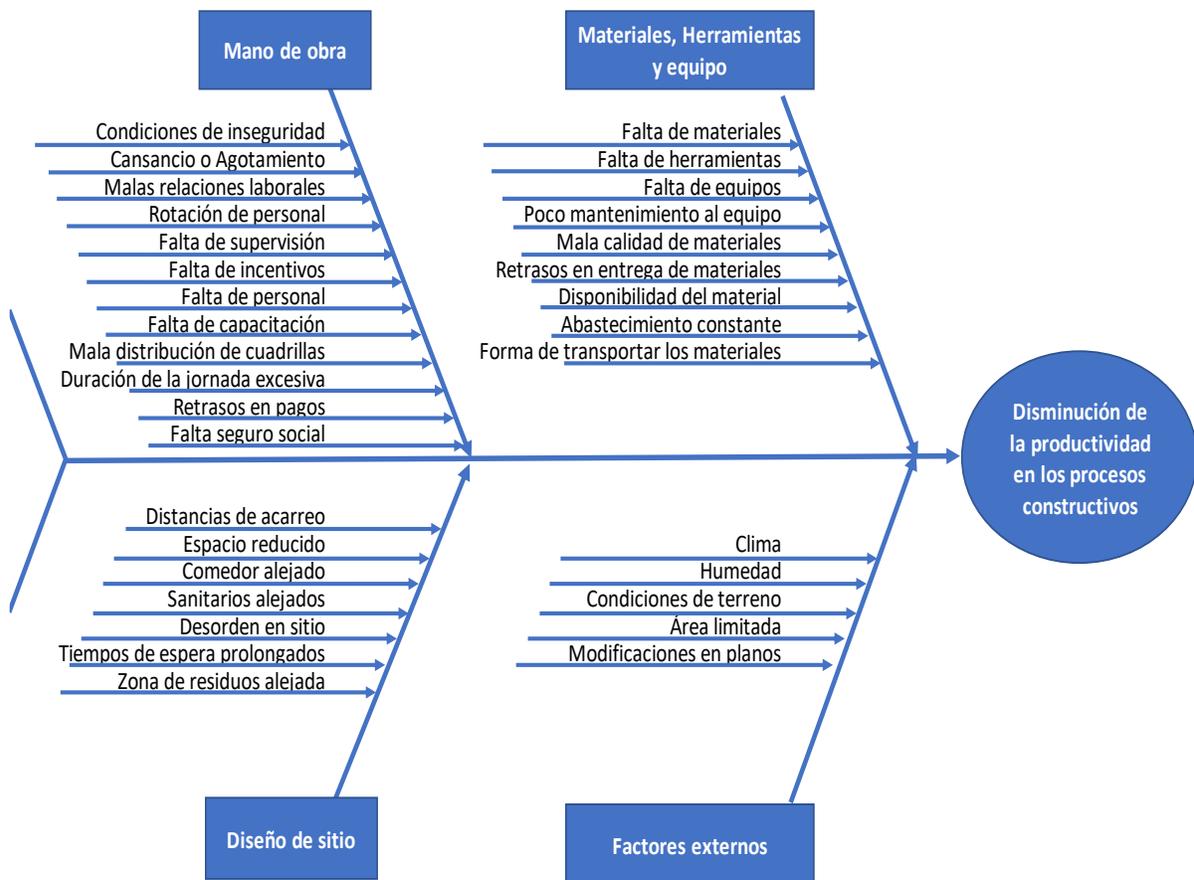


Figura 16: Ejemplo diagrama de Ishikawa
Fuente: Elaboración propia.

NOTAS:

El diagrama de Ishikawa presentado anteriormente está elaborado con factores que se pueden encontrar en todo proyecto y no necesariamente representa la realidad de todos los proyectos, existe la posibilidad de que se le añadan más factores o inclusive que disminuyan la cantidad, esto depende de los factores encontrados mediante la observación o implementación de encuestas. Las representaciones gráficas son presentadas con el fin de que el usuario pueda observar y comprender el cómo realizar el diagrama en sus propios proyectos.

En la sección de anexos de este documento se presenta una lista de verificación de factores con espacio para añadir más si se considera necesario, al igual que una serie de preguntas que pueden ser utilizadas en una encuesta para conocer factores presentes que afecten la productividad, estas se pueden utilizar o servir como guía para realizar las propias.

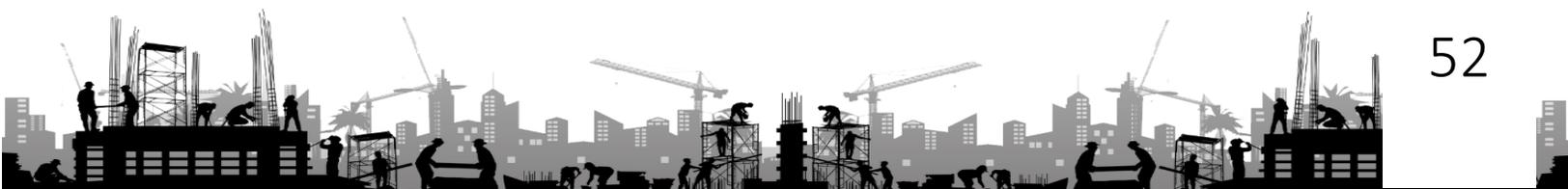
Mejoramiento de la productividad

Una vez conociendo los factores que afectan a la productividad en los procesos constructivos debido la realización de los diferentes pasos presentados anteriormente se procede a la presentación de acciones de mejoramiento y buenas prácticas para ser utilizadas como beneficio para los proyectos a desarrollar, de esta manera la efectividad en futuros proyectos aumentará y se podrá tener en cuenta la productividad con la que se desarrollan los procesos actualmente para la toma de decisiones.

En toda empresa es fundamental conocer cómo se encuentra actualmente en términos productivo, al igual que en el grado de efectividad con que desarrollen los procesos constructivos. Existen una serie de principios para incrementar la productividad entre estos destacan:

- Coordinación temprana entre distintos agentes involucrados en el proyecto.
- Planificación y concepción logística del proyecto.
- Estandarización de procesos, con etapas definidas y consistentes entre ellas.
- Realización de monitoreos y análisis en los procesos que conforman la obra.
- Medición clara y diseñada de acuerdo con las etapas de ejecución.
- Supervisión constante durante la ejecución.
- Minimización de atrasos.
- Aplicación de mejora continua permanente.

A continuación, se presentan una serie de buenas prácticas para contrarrestar los factores que disminuyen considerablemente la eficiencia y eficacia con que se realizan las diferentes actividades que conforman los procesos dentro de un proyecto constructivo, estas buenas prácticas se brindan como referencia para ser utilizadas si se desea, no son estrictamente necesarias llevar acabo todas, sin embargo se debe hacer el esfuerzo por cumplir y mantener estas acciones a la hora de realizar los procesos, para así evitar factores que provoquen que la productividad se vea afectada negativamente.



MANO DE OBRA

Condiciones de inseguridad

- Contar con un programa de seguridad y salud ocupacional adecuado para la obra, así como un encargado de esta área que realice una supervisión constante y diseñe un programa acorde a dicha obra.

Fatiga

- Velar por que el lugar de trabajo sea cuidadosamente concebido para que las actividades a realizar se desarrollen de manera segura y saludable, donde se incluyan las pausas necesarias para el descanso y la disminución de la fatiga acumulada.
- Brindar un espacio de esparcimiento a los trabajadores, donde puedan desarrollarse como individuos por fuera del trabajo, ya que esto puede proporcionar la oportunidad para la relajación, recreación, crecimiento personal.
- Aplicar las medidas de seguridad y protección de la salud de los trabajadores.
- Dotar del personal necesario para la realización de las tareas.
- Crear sistemas de rotación y horarios flexibles.

Distancia de traslado Hogar-Obra

- Considerar la distancia de traslado al lugar de trabajo, en caso de no contar con recurso humano de la zona.
- Realizar contratos privados de transporte colectivo con autobuseros de la zona en la cual se desarrolla el proyecto para que llegue a un punto céntrico.

Relaciones laborales problemáticas

- En caso de corroborarse algún tipo de acoso laboral, discriminación o inequidad de condiciones dentro de las relaciones laborales que se llevan a cabo, el empleador está en su obligación de llevar a fondo una investigación.
- Cuando exista alguna disputa entre alguno de los participantes del proyecto, el empleador debe implementar procedimientos para la resolución de conflictos.



Relación jefe-trabajador problemática

- Establecer una buena y respetuosa relación entre patrono y trabajador.
- Otorgar incentivos relacionados a la productividad y el desempeño.

Poca claridad de las especificaciones técnicas

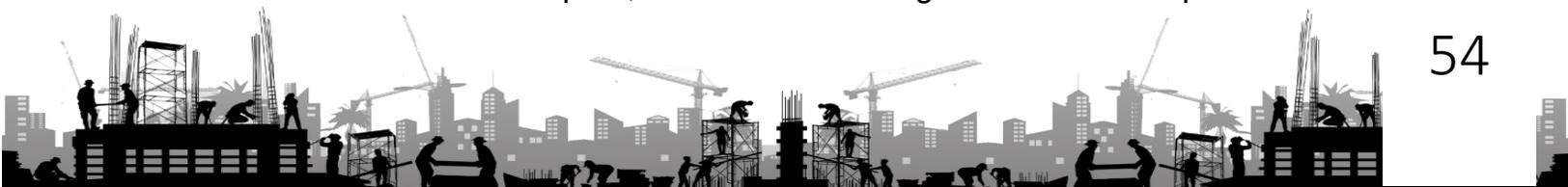
- Realizar planos de taller, menos específicos que los de diseño, que sean sencillos de interpretar para los trabajadores y que contengan detalles constructivos de cómo realizar las labores.
- Realizar una revisión de la documentación existente previo a la Construcción.

Tiempos muertos o de inactividad

- Establecer metas de productividad diarias, de manera que los trabajadores tengan que esforzarse y aprovechar al máximo el tiempo.
- Estipular términos que restrinjan el uso del teléfono celular dentro del área de desde el contrato.
- Supervisar de manera constante el trabajo realizado por los colaboradores.
- Otorgar incentivos o remuneraciones por un buen desempeño con el fin de aumentar la motivación y disminuir la ociosidad.
- Asegurarse de que el teléfono celular esté ajustado a bajo volumen o en silencio.
- Para maximizar la seguridad y rendimiento en el trabajo no deben contestarse el teléfono cuando se esté efectuando una tarea.
- Usar como técnica el aprendizaje a través de la práctica.
- Alentar el intercambio de experiencia entre los trabajadores.
- Diseñar correctamente los puestos de trabajo.
- Mejorar las condiciones y el medio ambiente de trabajo.

Problemas personales o de salud de los trabajadores

- Detectar si el trabajador está teniendo mal desempeño y hablar con él para determinar qué tipo de problema presenta, establecer si es una situación que se pueda solucionar con motivación o visita de un médico.
- Mantener una comunicación abierta con los colaboradores de la obra.
- Fomentar el respeto, la tolerancia e integración entre compañeros.



Falta de sistema de incentivos

- Plantear la retribución económica no como elemento exclusivo motivador sino como parte de un conjunto de elementos distintivos que permitan el desarrollo pleno de las personas.
- Brindar elementos motivadores como tales como: trabajo estable, posibilidades de promoción y jornada laboral cómoda
- Procurar un ambiente de trabajo en el que el trabajador se sienta parte importante del proyecto
- Promover técnicas de trabajo en equipo.

Impuntualidad

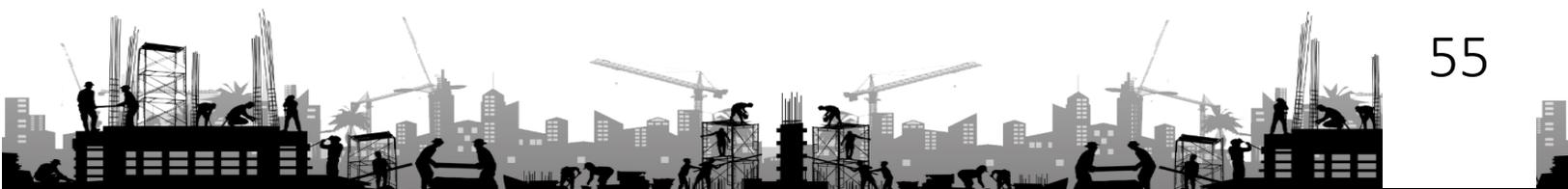
- Realizar actividades programadas para aumentar el sentido de responsabilidad entre los subordinados para el control de las acciones diarias.
- Aplicar sanciones ante el incumplimiento de lo pautado en el contrato referente a la puntualidad.

Ausentismo

- Generar espacios de diálogo específicos que permitan atender las situaciones referidas a algunos problemas personales que puedan tener los trabajadores.
- Establecer un mecanismo de control de ausencias.
- Implementar sanciones en caso de no ser justificadas las ausencias, inclusive aplicar medidas legales en caso de ameritarlo.

Características de la mano de obra

- Gestionar programas de capacitación periódicamente.
- Identificar líderes positivos en el proceso.
- Impartir clases magistrales y charlas utilizando recursos electrónicos con el fin de capacitar a los colaboradores dentro del proyecto.
- Impartir capacitación a los empleados es una de las formas de mejorar la atención a clientes, evitar errores costosos, mantener a la compañía en un nivel competitivo y, por supuesto, aumentar las ganancias de esta.



Tamaño inadecuado de cuadrilla

- Analizar el tipo de proyecto que se va a realizar, determinar adecuadamente las horas hombre, requeridas para las tareas, para así seleccionar un tamaño de cuadrilla adecuado.
- Establecer los tiempos de duración de una tarea y de acuerdo con las conformaciones usuales de equipos de trabajo (cuadrillas) compuestos por operarios y ayudantes, desarrollar una metodología para optar por la cuadrilla que produzca menor desperdicio de tiempo (cuadrilla óptima) en la ejecución del trabajo encomendado.
- Aplicar la metodología de balance de cuadrillas para distribuir equitativamente el trabajo entre los miembros de la cuadrilla.
- Medir productividad y rendimientos de los trabajadores para establecer tamaños adecuados de cuadrilla.

Cantidad de descansos y duración

- En caso de la realización de actividades complejas que requieren gran cantidad de esfuerzo por parte del trabajador, procurar establecer trabajo en jornadas.
- Establecer dentro de la planificación del proyecto las zonas de descanso y que estas estén lo más cerca posible de las áreas de trabajo para evitar pérdida en productividad o tiempo efectivo de los trabajadores debido a largos traslados a las zonas de descanso o comida
- Procurar que los trabajadores se alejen del sitio de trabajo durante los descansos para que logren reponer fuerzas.
- Acondicionar un área provista de asientos y protegida de los rayos del sol para los períodos de descanso.

Falta/retraso de inspección y supervisión

- Solicitar informes periódicos establecidos por la junta de residentes, así como informes diarios junto con la bitácora, donde se registre la actividad diaria de la obra (llegada de material, visitantes, condiciones climáticas, entre otros), con el objetivo de tener un control más estricto de la obra; se recomienda que, si el ingeniero no cumple con los informes establecidos, se le multe por incumplimiento de los deberes.



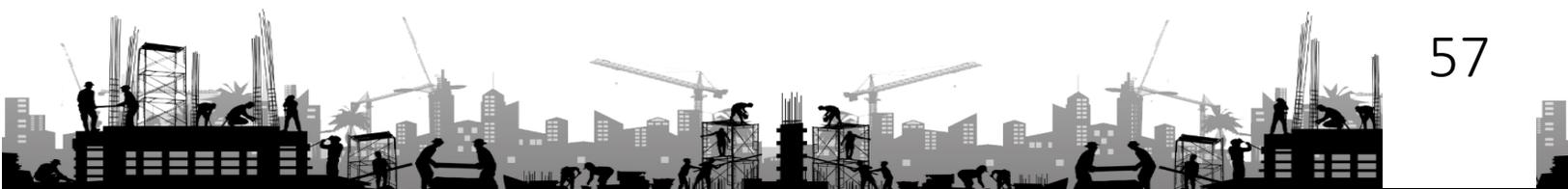
Motivación del trabajo

- Invertir más en elementos de retribución emocional buscando cumplir los objetivos de la empresa simultáneamente con los objetivos del trabajador, generando beneficios y mejorando las relaciones profesionales.
- Cumplir con salarios establecidos por la ley.
- No retrasar los pagos a los trabajadores, velar por el cumplimiento de los mismos.
- Realizar contratos bien elaborados.
- Proporcionar a los trabajadores seguro social.
- Planificar que la obra se lleve a cabo tomando en cuenta métodos y sistemas constructivos que sean seguros para los trabajadores
- Estipular reconocimientos ante el cumplimiento de deberes con méritos, fomenta un ambiente de atención entre los subordinados por medio de la identificación de las buenas prácticas.
- Establecer actividades de unión de grupo, reconocimientos por alcanzar hitos especiales según programación de la obra.
- Entregar reconocimientos como almuerzos, cenas o premios representativos, cuando se requieran esfuerzos adicionales por parte del personal.
- Implementar sistemas de comunicación directa para evitar malentendidos.

MATERIALES, HERRAMIENTAS Y EQUIPO

Calidad de los materiales

- Solicitar a los proveedores pruebas de laboratorio de los materiales que se van a utilizar en la construcción de esta manera se garantiza que los materiales que se utilizarán son de calidad.
- Contar con registros de proveedores que suplan servicios y materiales de calidad.
- Verificar que la calidad sea la establecida en especificaciones.
- Establecer sistemas de calificación de proveedores donde uno de los aspectos principales sea el control de la calidad de los trabajos realizados.
- Capacitar a la persona que recibe los materiales sobre aspectos de calidad.



Escasez de materiales, herramientas o equipos

- Colocar las bodegas de herramientas en lugares estratégicos de manera que sean fácilmente accesibles y cercanas a los lugares de trabajo.
- Cumplir con el pago a los proveedores de materiales y servicios.
- Asegurarse que se cuenta con los equipos y materiales necesarios.
- Comprar equipos y herramientas de calidad y de fácil mantenimiento.
- Brindar capacitaciones a los empleados sobre el uso correcto de los equipos y herramientas.

Falta de calidad de los elementos

- Seleccionar personal capacitado para que ejecute las labores correctamente.
- Comprar materiales de calidad comprobada.
- Utilizar equipos y herramientas de calidad.
- Establecer mecanismos de inspección como por ejemplo hojas de verificación.
- Verificar que exista un sistema de gestión de calidad que se cumpla.
- Establecer contratos con los proveedores que aseguren la calidad de equipos y materiales.

Calidad de herramientas y maquinaria

- Procurar que las herramientas se encuentren en buenas condiciones.
- Asignar las herramientas adecuadas al tipo de trabajo a realizar.
- Verificar que los usuarios y colaboradores cuenten con el conocimiento necesario para el manejo de maquinaria y equipo.
- Comprobar que el transporte de estas sea adecuado y seguro, protegiendo los filos y puntas y manteniéndolas ordenadas.
- Investigar y de ser posible implementar, de acuerdo con las posibilidades de la empresa, el uso de nuevas tecnologías en la ejecución de los procesos.
- Establecer planes de control de calidad que permitan evaluar si se logró la calidad esperada con las herramientas y equipos utilizados.
- Verificar que en obra se establezca un adecuado mantenimiento y almacenamientos de equipos y maquinaria.



Falta de mantenimiento del equipo de trabajo

- Establecer planes de mantenimiento preventivo y correctivo.
- Recopilar información relevante a los períodos de mantenimiento y la forma correcta de uso de los equipos para ejecutar las labores.
- Contratar personal o compañía competente para brindar el mantenimiento.
- Llevar registros de mantenimiento y servicio de todos los equipos.
- Poner en práctica un sistema que permita remover o etiquetar la maquinaria dañada o defectuosa.

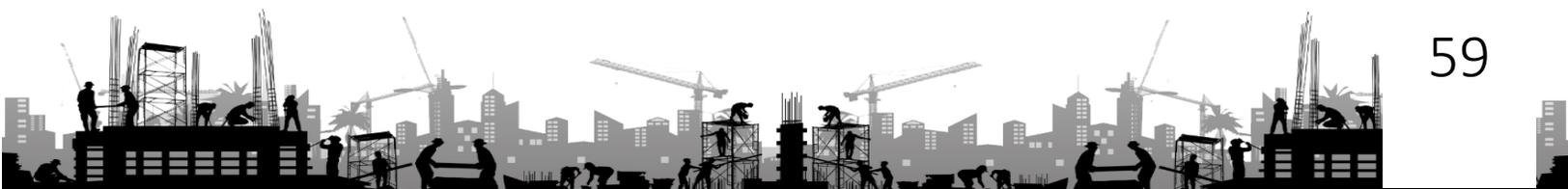
Grúa saturada por asignación de actividades

- Contar con un programa que tenga todas las actividades que requieren el uso de la grúa, se debe llevar un control de su operación para evitar atrasos principalmente, en actividades críticas en la programación.
- Asegurar que la grúa sea de la capacidad y tamaño requerida para el proyecto.
- Medir periódicamente el rendimiento y productividad de la grúa.

DISEÑO DE SITIO

Ubicación de bodega de equipos y materiales

- Procurar que el área de almacenamiento esté ubicada en un lugar donde se eviten riesgos de contaminación de materiales o de productos.
- Verificar que el espacio en el interior del almacén facilite el movimiento del personal y de los productos. Se debe procurar que las operaciones se desarrollen de manera unidireccional.
- Garantizar una iluminación que dé lugar a condiciones agradables de trabajo.
- Asegurar el fácil y rápido despacho de solicitudes de material y equipo.
- Garantizar que la ubicación de la bodega no incremente los tiempos por traslados y desplazamientos de los trabajadores.
- Establecer bodegas satélite cuando se requiera.



Espacios reducidos de trabajo

- Elaborar un diseño de sitio antes del inicio del proyecto
- Asignar espacios de trabajo a los subcontratistas de acuerdo con las prioridades del proyecto.
- Tratar de llevar al sitio los elementos ya construidos. Utilizar la prefabricación de elementos fuera del sitio de trabajo
- Tener los espacios de trabajo muy bien definidos para evitar aglomeraciones y desorden en el sitio.

Largas distancias de desplazamiento

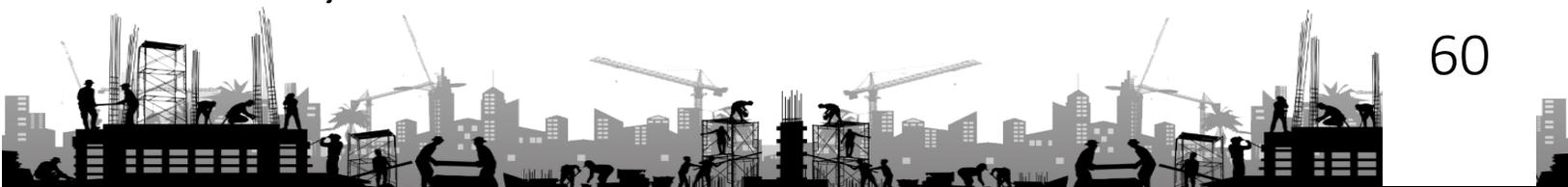
- Emplear el uso de grúas torre para la movilización agilizada de material.
- Crear espacios de almacenaje de herramientas, lo más cercano posible al lugar de ejecución de la actividad.
- Emplear el diagrama de hilos o diagramas de recorrido, para analizar y controlar los movimientos de materiales y trabajadores, con el fin de disminuirlos.
- Realizar diseño de puestos de trabajo.

Mal diseño del sitio

- Establecer accesos despejados que mejoren la circulación continua de los obreros para el trasiego de material.
- Asignar sectores de trabajo para subcontratistas en función del espacio y seguridad del sitio.
- Realizar trazados que favorezcan la efectividad del tiempo de construcción.

Desorden del sitio

- Mejorar las habilidades técnicas y gerenciales de los encargados del diseño de sitio, mediante capacitaciones a largo y corto plazo.
- Ser cuidadoso a la hora de programar la distribución de los recursos en el espacio, con el fin de evitar choques e interrupciones entre trabajadores.
- Implementar un diseño de sitio en función del alcance del proyecto, complejidad, ubicación, composición del equipo y estrategia de ejecución.



Acceso restringido al sitio

- Considerar dentro de la planificación, las condiciones del camino y acceso en las distintas épocas climáticas.
- Asegurar que los trabajadores puedan tener los medios de acceso al sitio de trabajo.
- Planificar las entregas de materiales para que no se den atrasos por condiciones adversas en el sitio de trabajo.

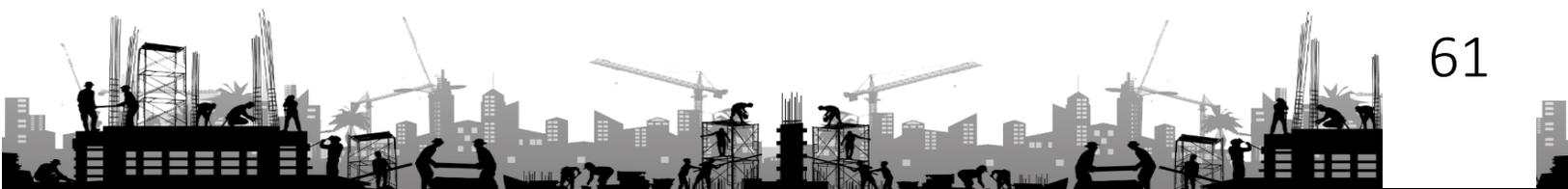
Falta de servicios básicos (comedor, sanitarios)

- Brindar acceso a vestidores y baños, a no más de 7m del sitio de trabajo y a su vez considerar su mantenimiento.
- Proporcionar la cantidad de servicios sanitarios, duchas y lavamanos de acuerdo con la cantidad de trabajadores; espacio para primeros auxilios, comedor y áreas para los tiempos de descanso.
- Proporcionar agua potable, el acceso a ella no debe ser difícil para ningún trabajador.
- Acondicionar sitios donde los trabajadores puedan guardar sus pertenencias.
- Asegurar que el comedor cumpla con las normas higiénicas básicas.

FACTORES EXTERNOS

Condiciones del suelo

- Prever las condiciones bajo las cuales se desarrollará la obra.
- Recolectar información referente al lugar de emplazamiento.
- Realizar los estudios de suelo correspondientes.
- Tener un plan de acción inmediato en caso de condiciones críticas, tales como: lluvia excesiva que produzca erosión, observación de agrietamientos peligrosos o deslizamientos.
- Procurar establecer drenajes alrededor del sitio para evitar inundaciones en caso de lluvia.
- Procurar que no haya desperdicio de agua, para que no se den condiciones de suelo difíciles.



Condiciones Ambientales.

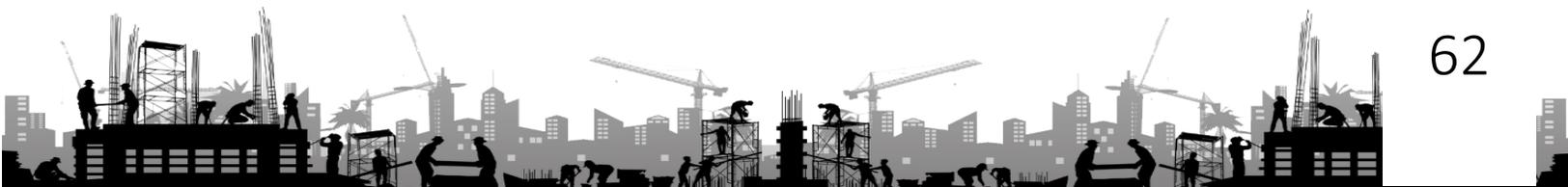
- Seleccionar métodos y constructivos y materiales que no se vean afectados por condiciones climáticas desfavorables.
- Considerar que en la construcción se utilicen equipos que no se vean afectados por cambios climáticos tales como grúas, andamios, escaleras
- Evitar la realización de procesos bajo la lluvia.
- Planificar que la obra se construya tomando en cuenta cambios climáticos para evitar atrasos.
- Otorgar descansos frecuentes, especialmente durante la temporada de verano, o en condiciones de temperatura alta.
- Establecer períodos de aclimatación para los colaboradores que no sean originarios de la zona.
- Asegurarse que los trabajadores utilicen ropa adecuada para las labores que ejecutan con el fin de protegerse de la radiación solar.

Tamaño de la obra

- Contar con una planificación que permita distribuir la construcción en etapas y que el diseño de sitio de estructuras temporales considere, movimientos de maquinaria y personal que permita acercarse al nivel óptimo de productividad.
- Planificar y asignar los recursos necesarios en cada proceso de tal manera que no haya faltantes de equipo, ni material.
- Aplicar herramientas técnicas como el análisis de recorrido para evitar tiempos muertos por transportes y desplazamiento.
- Realizar un diseño de obras temporales bien planificado.

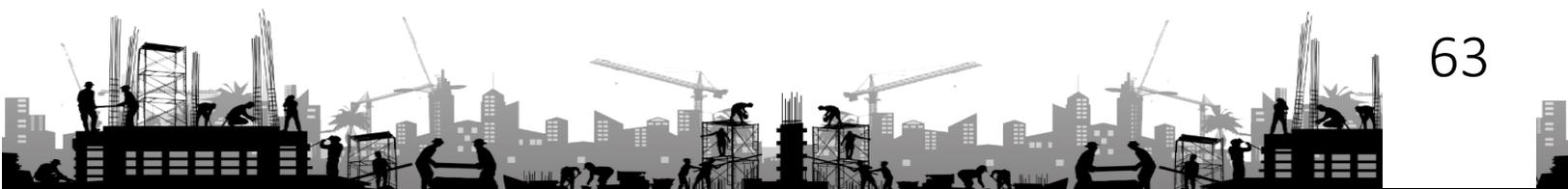
Ruido

- Medir el nivel de ruido a los cuales son sometidos los trabajadores.
- Emplear las medidas personales de protección auditiva.
- Contar con la disponibilidad de equipos de protección, así como de opciones para capacitar al trabajador.
- Asegurarse que se cumple con un reglamento de seguridad en la obra.
- Revisar y adecuar la protección a los valores de ruido que se presentan en las diversas operaciones.



Cortes de servicios básicos (electricidad y agua)

- Tomar provisiones como plantas eléctricas y tanques de agua dentro del presupuesto y en el planeamiento de la obra.
- Considerar el tamaño del equipo que se emplea en la obra, características de soporte del suelo, visibilidad y espacio para desarrollar las maniobras.
- Disminuir la cantidad de cruces de caminos dentro de la obra, procurar el acceso adecuado a los lugares de destino.
- Demarcar la ruta y las zonas donde se puede o no colocar material.



Herramientas que favorecen al mejoramiento de la productividad

Diseño de Sitio

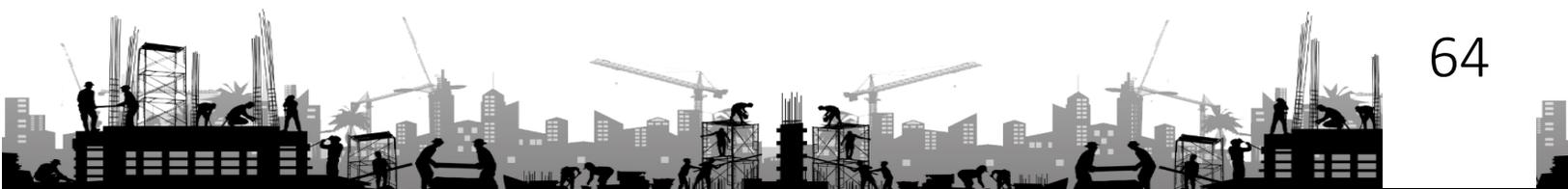
El diseño de sitio se refiere a la distribución del espacio físico del cual se dispone para ejecutar el proyecto, es importante recordar que se debe hacer el diseño para cada proyecto particular, sin embargo, existen consideraciones que se deben contemplar durante la ejecución de las obras procurando maximizar la eficiencia de las operaciones, promoviendo la productividad de los trabajadores, para cumplir con tiempos establecidos y velar por la reducción de los costos.

Para todo diseño de sitio es importante minimizar el tiempo de traslados y esperas, además de promover un ambiente de seguridad disponiendo de áreas de trabajo debidamente ordenadas, también se debe de estimular la confianza de los trabajadores para que trabajen con seguridad y calidad, por último, fomentar que el trabajo de las diferentes cuadrillas, tanto del contratista como de los subcontratistas se desarrolle sin interrupciones, esto con el fin de evitar que haya interferencias.

Para el diseño de sitio se puede utilizar varias herramientas, un ejemplo es la aplicación de la tecnología al obtener imágenes de un dron, este puede recolectar imágenes superiores a la obra permitiendo visualizar todos los espacios disponibles, también se tener presente que los factores externos pueden influir e interferir en el diseño de sitio.

A continuación, se presentan las consideraciones a seguir para la realización de un adecuado diseño de sitio:

- Debe Permitir la comunicación y alto nivel de flujo de información, esto ayudando también a agilizar procesos.
- Debe Facilitar la coordinación entre los diferentes participantes, colaboradores o peones, proveedores, ingenieros, consultores, clientes.
- Debe Considerar el flujo de personas, equipos y materiales.
- Debe Asegurar el trabajo con seguridad de los trabajadores.
- Debe Estimar la productividad de equipos y trabajadores.

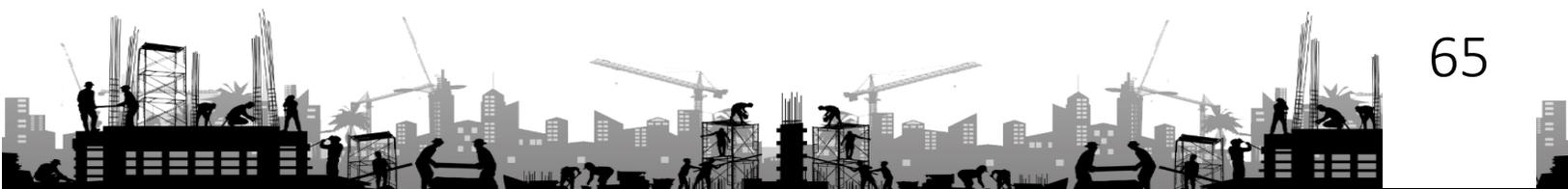


- Debe promover la disminución de la cantidad de desechos por materiales dañados en la manipulación y transporte de estos.
- Debe permitir el desplazamiento de los trabajadores en el menor tiempo posible.
- Debe contener los servicios básicos necesarios que permitan un trabajo productivo y de calidad en un ambiente sano y seguro.

Un buen diseño de sitio debe incluir lo siguiente:

- El tamaño o ubicación de instalaciones temporales dentro de los límites del sitio de construcción
- Áreas de almacenamiento, talleres de fabricación
- Área de oficinas
- Área de almacenamiento de materiales (grandes y pequeños)
- Zonas de carga y descarga
- Área de movimiento de equipo y maquinaria
- Zona de carga de desechos
- Talleres de mantenimiento
- Facilidades para trabajadores, vestidores, comedor, área de limpieza personal, área de baños y servicios sanitarios
- No debe permitirse choques en los procesos de manufactura, debe haber un flujo

Dentro de las consideraciones para el diseño de sitio también se debe de tomar en cuenta la programación y planificación de la entrega de materiales en obra de esta manera evitar que sean colocados en un área de drenaje o cerca del borde de excavación, que los ubiquen demasiado lejos del área de trabajo o que los apilen demasiado alejados de la grúa y que se localicen fuera del radio de acción de la grúa. También se debe de evitar que los materiales sean descargados en cualquier lugar, ya que pueden impedir la fluidez del tráfico en todo el sitio de trabajo, además se debe de coordinar la entrega de estos en la obra, porque si los materiales son llevados con mucho tiempo de antelación o mucho tiempo después pueden llegar a influir con las tareas.



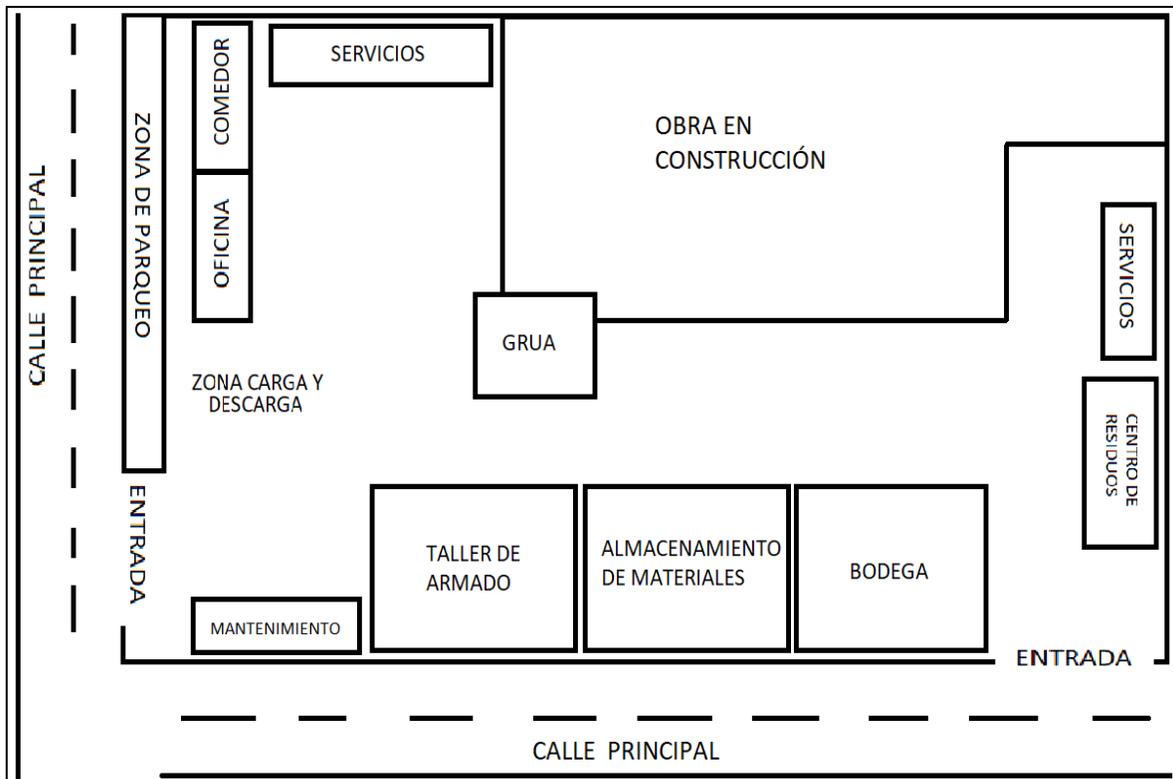


Figura 17: Ejemplo Diseño de sitio proyecto constructivo
Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de recorrido

El diagrama de recorrido es una representación gráfica de los movimientos que se realizan en área donde se desarrollan las actividades de los diferentes procesos que conforman el proyecto constructivo, en estos diagramas se desarrolla un trazado de los movimientos de los trabajadores y/o de los materiales. Este diagrama se emplea para establecer el recorrido de un solo producto o proceso, en él se tiene en cuenta las operaciones, inspecciones, demoras, transporte y almacenamiento.

La finalidad de este diagrama es permitir identificar las posibles áreas congestionadas, determinar los avances y retrocesos del proceso y facilitar el desarrollo de una mejor distribución de la planta, mejorando métodos, eliminando o reduciendo los recorridos mediante la adecuada distribución en planta.

¿Qué debe llevar un diagrama de recorrido?

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1.-Distribución de la planta. | Disposición física de las instalaciones. |
| 2.- Manejo de materiales. | Medios para trasladar los materiales. |
| 3.- Comunicaciones. | Sistemas para transmitir información. |
| 4.- Servicios. | Disposición de elementos como luz, gas, etc. |
| 5.- Edificios. | Estructuras que acogen a las instalaciones. |

Para crear estos diagramas es importante conocer la simbología que se utiliza, en donde existen símbolos definidos para las diferentes actividades como operación, traslado, demora, almacenamiento e inspección. A continuación, se presenta la simbología correspondiente a los diagramas de recorrido, seguidamente de los pasos a seguir para la conformación de estos:

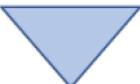
Actividad	Símbolo	Descripción
Operación		Tarea elemental de transformación o utilización de recursos.
Traslado		Movimiento de recursos de una zona de trabajo a otra.
Demora		Representa la espera de un recurso.
Almacenamiento		Ubicación de recursos en espera en zonas planificadas para abastecimiento.
Inspección		Punto de inspección del trabajo confeccionado.

Figura 18: Simbología diagrama de recorrido
Fuente: Serpell(1990)

Pasos para desarrollar un diagrama de recorrido:

Paso 1: Selección del proceso.

Se deberá determinar el proceso al cual se desea analizar y qué expectativas o datos se desea conocer, también es importante conocer quién va a utilizar este diagrama.

Paso 2: Definición del punto inicial y final.

Se debe dejar en claro el punto de partida y el objetivo final para elaborar el recorrido correspondiente de la ejecución del proceso.

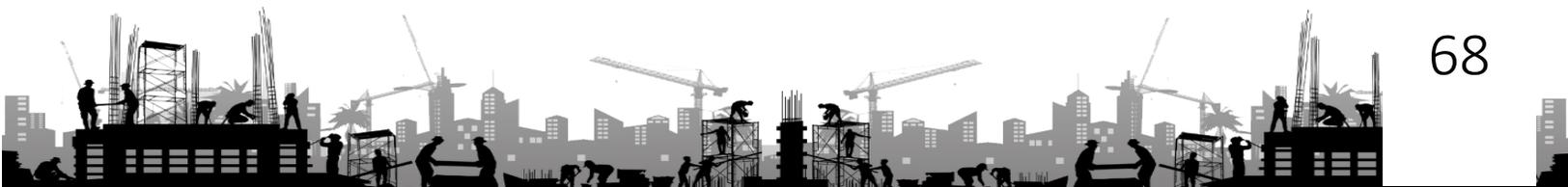
Paso 3: Recolección de información.

Se debe de realizar una recopilación de información para garantizar que el diagrama de recorrido sea lo más preciso posible, como primer punto se procede a describir qué actividades están involucradas en cada etapa y la persona encargada de realizar estas tareas, también se debe de tomar en cuenta las líneas de tiempo del proceso, las desviaciones, los posibles cuellos de botella y las posibles mejoras.

Paso 5: Elaboración del diseño del recorrido.

Para este paso se debe de realizar el esquema de la disposición de las instalaciones en donde se mostrarán las ubicaciones y las áreas de la planta o sitio de trabajo. Seguidamente se debe de realizar la localización de actividades, en esta parte se debe de identificar para cada una de las actividades del procesos el lugar o área donde se llevarán a cabo mediante el símbolo y número correspondiente.

Una vez elaborado lo anterior se procede a trazar la ruta de secuencia de actividades, esta ruta muestra el camino que deben de seguir los operarios, materiales o equipos, esta ruta se traza con líneas y la dirección se debe indicar por medio de flechas, las cuales deberán de apuntar en la dirección del recorrido. Algunas consideraciones que se deben de tomar en cuenta al trazar las líneas de la ruta son:



- Si el movimiento regresa sobre la misma ruta o se repite en la misma dirección, es necesario que se utilicen líneas separadas para cada desplazamiento.
- Si el mismo diagrama se registra el recorrido de dos o más elementos, es necesario utilizar líneas de color diferente para hacer evidente su recorrido.
- Si se desea representar el método actual y un método propuesto, es necesario utilizar líneas de color diferente para hacer evidente la propuesta.

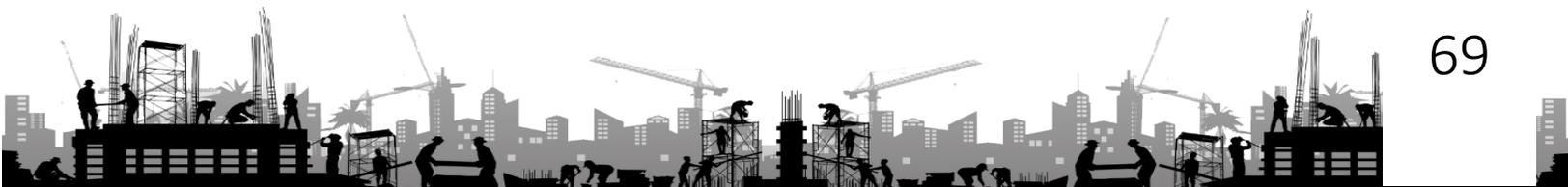
Paso 6: Contenido del diagrama.

El contenido del diagrama debe de mostrar el encabezado que indique cual es recorrido establecido, un título que indique cual es el proceso que se está analizando y una nomenclatura referente a las instalaciones del sitio.

A continuación, se presenta un ejemplo:

Proceso: Construcción de columnas y muros
Descripción
Actividad 1: Confección armadura
Recorrido 1
Actividad 2: Armado de estructuras columnas
Actividad 3: Armado de estructuras muros
Recorrido 2
Actividad 4: Selección formaleta
Recorrido 3
Actividad 5: Colocación formaleta
Recorrido 4
Actividad 6: Inspección
Recorrido 5
Actividad 5 : Fabricación concreto
Recorrido 6
Actividad 8: Colado de concreto

Figura 19: Datos de importancia para creación de diagrama de recorrido
Elaboración propia



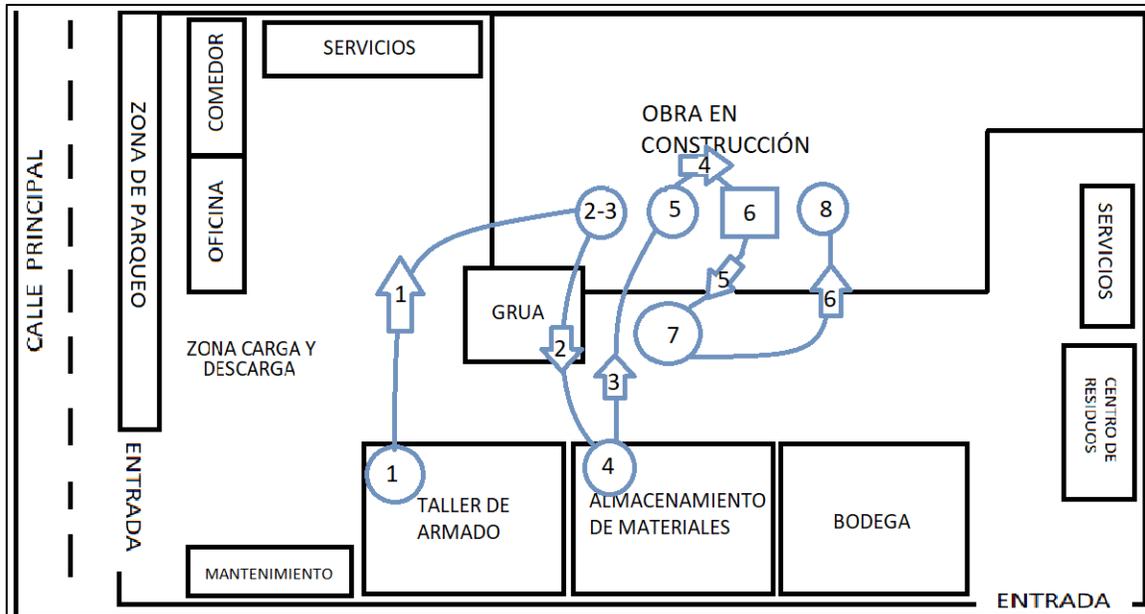


Figura 20: Ejemplo Diagrama de recorrido
Fuente: Elaboración propia

Mapa de flujo de valor

Los mapas de flujo de valor son herramientas que se utilizan para conocer a profundidad los procesos, tanto dentro de la organización, así como en la cadena de abastecimiento. El principal objetivo es identificar ampliamente las actividades que no agregan valor al proceso, del mismo modo permiten conocer el tiempo asociado a dichas actividades.

En la actualidad el mapeo de valor se ha convertido en una actividad esencial ante la formulación de planes de mejora, de tal manera que forma parte del diagnóstico del proceso y de la proposición de estrategias de mejoramiento son una forma de analizar el estado actual de tu trabajo y desarrollar un estado futuro más eficiente, al visualizar cómo se trabaja permitiendo descubrir qué áreas necesitan mejoras.

El mapa de flujo de valor (VSM) implica cuatro pasos básicos:

- Generar un mapa del proceso actual
- Encontrar y eliminar los desperdicios
- Generar un mapa del proceso mejorado que se utilizará en el futuro
- Implementar el proceso que se utilizará en el futuro

Pasos para construir un Mapa de Flujo de Valor

Paso 1: Construcción inicial del mapa

La construcción del mapa inicia colocando el símbolo del cliente en la esquina superior derecha del plano. Luego se conecta el flujo de información (manual o electrónica) por medio del cual se relaciona la demanda del cliente (pronóstico y pedidos reales) con el control de la producción. Acto seguido, se relaciona el control de la producción con los requerimientos enviados al proveedor con las previsiones del material, conectando el flujo de información por medio del cual se relaciona la necesidad de materiales con los proveedores.

Paso 2: Representación del transporte

El siguiente paso consiste en representar el transporte desde los proveedores hacia la empresa.

Paso 3: Secuencia de operaciones

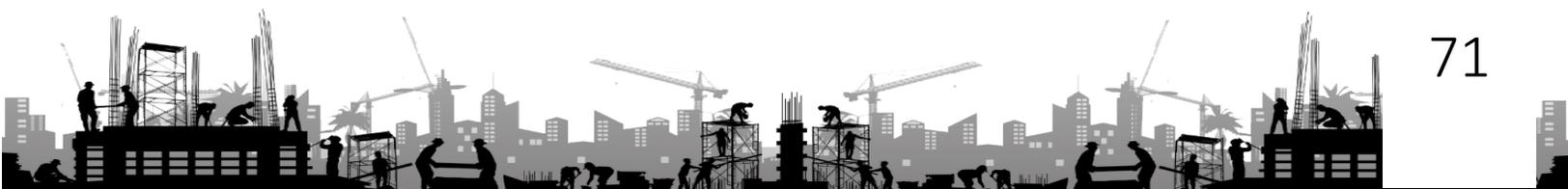
Se procede a dibujar la secuencia de las operaciones estableciendo el tiempo de cada operación, el tiempo de cambio de producto, la disponibilidad de los equipos, el tiempo disponible y los inventarios en proceso.

Paso 4: Representación programa de producción

Se concreta la representación del programa de producción que indica la cantidad que debe procesar cada operación, así como el flujo de información (manual o electrónica) que relaciona estas operaciones. Además, se representa el transporte desde la fábrica hacia los clientes.

Paso 5: Escalera de tiempos

Se desarrolla la representación mediante una escalera los tiempos de ciclo de cada operación (valor agregado) en la parte de abajo de los escalones; y el tiempo que no agrega valor en los escalones superiores. Los inventarios deben registrarse en función del tiempo y forman parte de lo que no agrega valor en el proceso, para ello se procede a dividir la cantidad de cada inventario entre la cantidad diaria requerida por el cliente.



Paso 6: Cálculo de Takt

Por último, se realiza el cálculo del tiempo takt el cual consiste en la división del tiempo disponible entre la demanda diaria

Tiempo takt = Tiempo disponible (s) / Demanda diaria (unidad)

Con esto se puede observar que existen procesos por mejorar e inventarios por reducir.

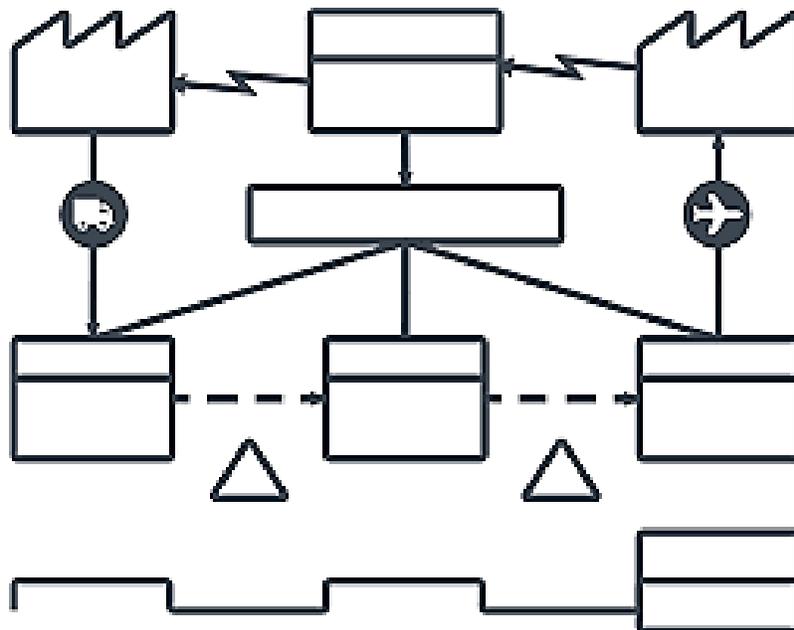


Figura 21: Plantilla mapa de flujo de valor

Fuente: Lucidchart

	Fuentes externas: Este símbolo representa clientes y proveedores.
	Flecha de traslado (Flujo de materiales externo): Este símbolo representa el traslado de materias primas y producto terminado. De proveedor a planta o de planta a cliente.
	Transporte mediante camión de carga.
	Transporte mediante tren.
	Transporte mediante avión.
	Proceso.
	Información: Pronóstico, plan de producción, programación.
	Casillero de datos con indicadores del proceso.
	Flecha de empuje para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante un sistema push. Significa que el proceso produce algo con independencia de la demanda real.
	Flecha de arrastre para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante un sistema pull. Este es un flujo de material que se origina en el cliente.
	Flecha para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante una secuencia: «primeras entradas, primeras salidas»
	Inventario: De materia prima, producto en proceso, producto terminado. Debe indicarse tanto la cantidad como la duración estimada.
	Información transmitida de forma manual.
	Información transmitida de forma electrónica.
	Relámpago Kaizen: Este símbolo representa los puntos dónde deben realizarse eventos de mejora enfocados en implementar la herramienta de Lean Manufacturing expresada.
	Kanban de producción.
	Kanban de transporte.
	Nivelación de la carga: Herramienta que se emplea para interceptar lotes de Kanbans y nivelar el volumen de la producción.
	Línea de tiempo: Muestra los tiempos de ciclo de las actividades que agregan valor, y los tiempos de las actividades que no agregan valor.
	Personal: La cifra que aparece junto a este símbolo indica el número de personas necesarias para realizar el proceso. Este símbolo se usa en los cuadros de proceso
	Supermercado: Se trata de un inventario supervisado, donde un proceso anterior se encarga de gestionar los niveles de existencias.
	Control «ir a ver»: Se hace referencia a un ajuste no planificado de la producción basado en un recuento de inventario.

Figura 22: Simbología mapa de flujo de valor

Fuente: Elaboración Propia

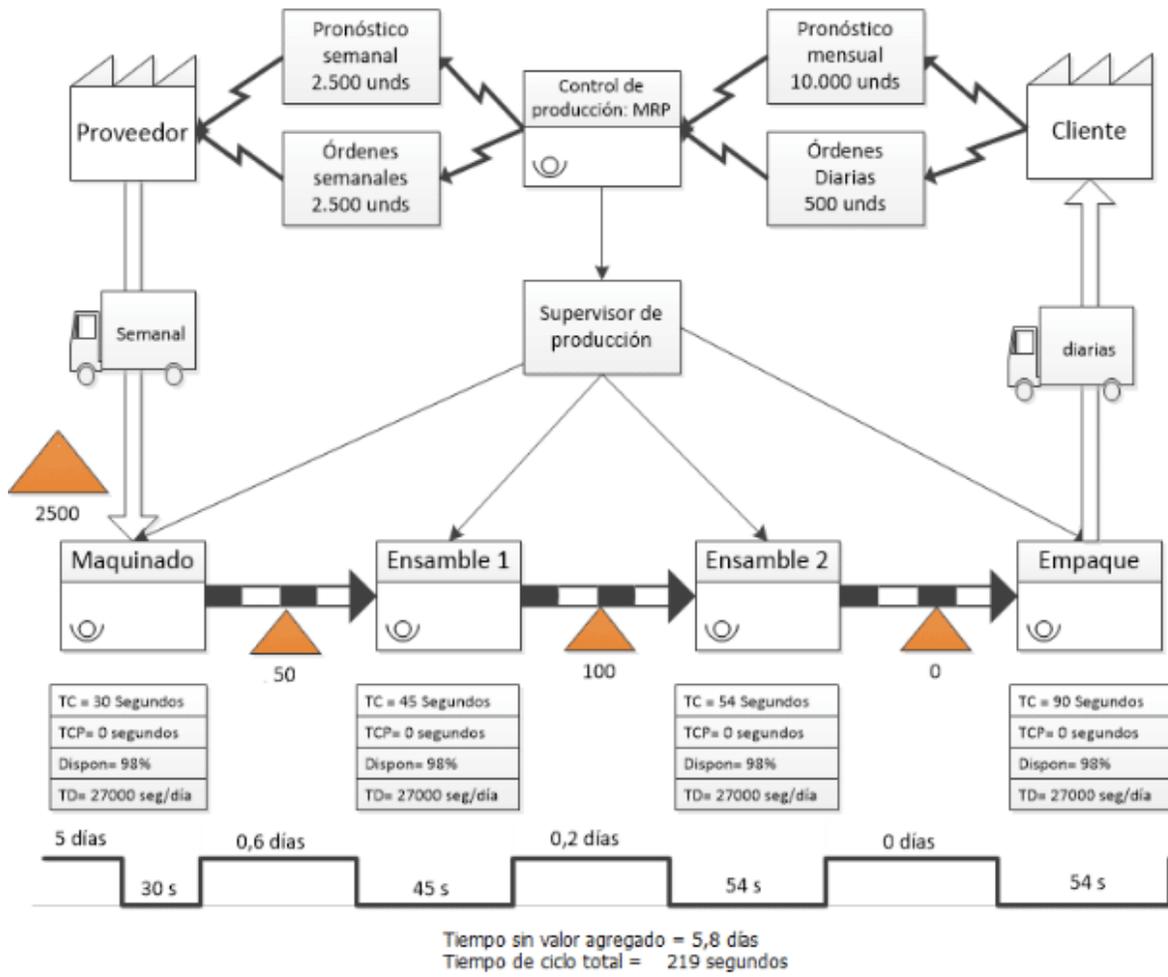
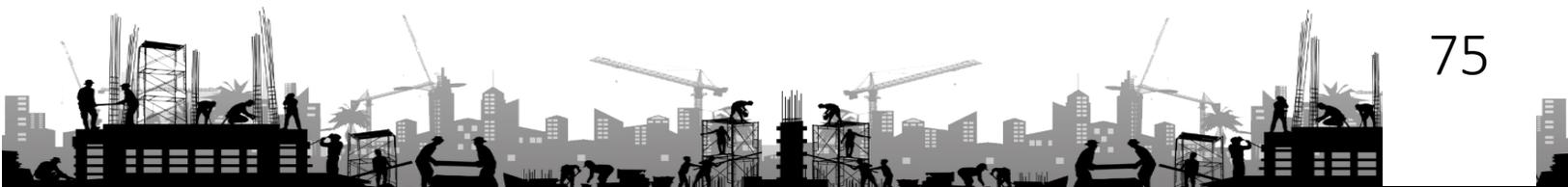
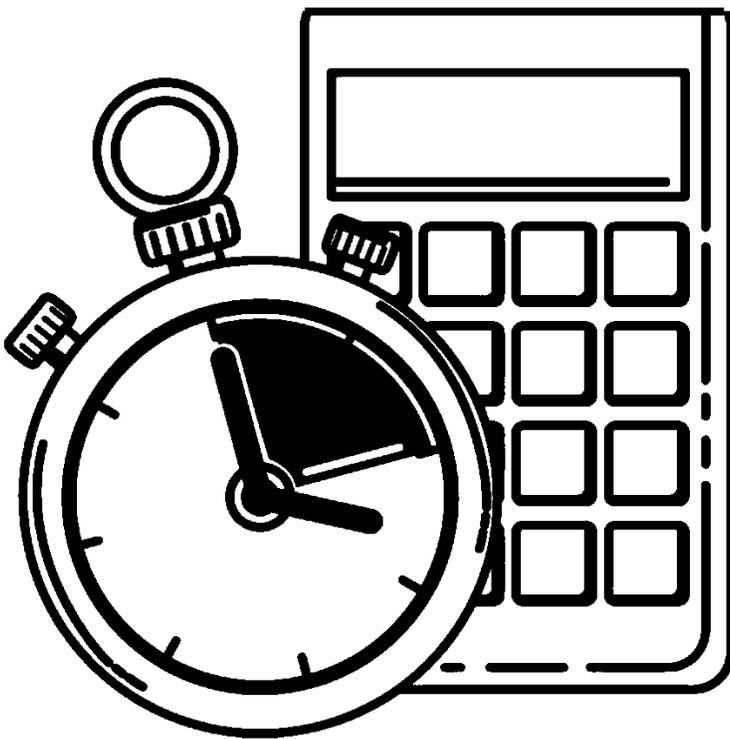


Figura 23: Ejemplo mapa de flujo de valor
Fuente: (Salazar B, 2019)

Cálculo de rendimientos



Cálculo de rendimientos

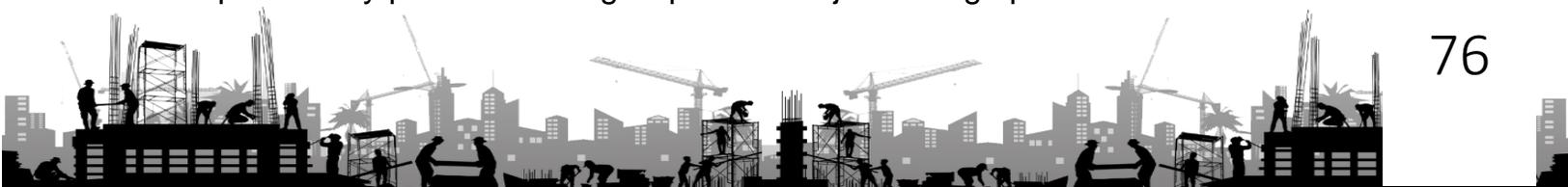
Esta sección del documento no está establecida como objetivo específico del proyecto, sin embargo, se tomó la decisión de incluir esta sección para brindar al usuario de esta guía la información necesaria de cómo realizar los cálculos de los rendimientos, tema que va de la mano con la productividad.

Es de suma importancia dejar en evidencia que llevar a cabo las mediciones, observaciones, realizar un análisis y ejecutar un mejoramiento en las deficiencias, así como emplear las herramientas presentadas anteriormente es beneficioso, ya que estas pueden generar una alta eficiencia, eficacia y a su vez una buena efectividad en los diferentes proyectos.

Existe una correlación directa entre los rendimientos y productividad, la cual dicta que a mayor rendimiento generado en el desarrollo de los procesos constructivos mayor será la productividad.

Es necesario mencionar que para obtener rendimientos adecuados se deben de tomar en cuenta la influencia que ejerce el desarrollar en los proyectos constructivos un buen diseño de sitio permitiendo obtener una buena distribución del espacio físico minimizando tiempos de traslados y esperas, además de promover seguridad al disponer de áreas de trabajo debidamente ordenadas, mismo caso ocurre con los mapas de flujo de valor, al realizar estos mapas se logra identificar aquellas actividades que no le agregan valor al proceso como tal, permitiendo ejecutar un diagnóstico del proceso y gracias a esto se promueven estrategias de mejoramiento en las áreas donde se necesiten mejoras permitiendo un mejor rendimiento.

Específicamente para el caso de los rendimientos los diagramas de recorrido juegan un papel fundamental, ya que es importante realizar el trazado de los movimientos de los trabajadores y/o de los materiales, permitiendo identificar las posibles áreas congestionadas, determinar los avances y retrocesos del proceso facilitando el desarrollo de una mejor distribución de la planta, mejorando métodos, eliminando o reduciendo los recorridos mediante la adecuada distribución en planta. El ejecutar este tipo de herramienta ayuda a agilizar el desarrollo de las tareas que conforman los procesos y por ende se logra que el trabajador tenga presente los recorridos



a realizar, así como las zonas establecidas para la ejecución de las tareas y el orden a seguir. Conociendo todo lo anterior y llevando a cabo un desempeño eficiente se logra un alto rendimiento.

El rendimiento es la cantidad de obra de alguna actividad completamente ejecutada por una cuadrilla de trabajadores por la unidad de medida en Horas Hombre correspondiente al recurso humano, lo anterior hace referencia al tiempo que requiere un trabajador especializado o no, para realizar una labor determinada expresada en horas hombre, horas operario, horas ayudante, horas peón, dependiendo del recurso que realice la actividad.

Paso 1: Recolección de información.

Para realizar el cálculo del rendimiento es necesario realizar diferentes mediciones en las actividades, contemplando el número de trabajadores, la cantidad de horas empleadas y la cantidad de trabajo realizado, de esta manera se obtienen los recursos necesarios para realizar el cálculo.

Paso 2: Calculo de rendimiento.

$$Rm = \frac{HH}{C}$$

Donde:

Rm = rendimiento medio.

HH = Horas Hombre.

C = Cantidad de trabajo.

Paso 3: Cálculo de rendimiento promedio.

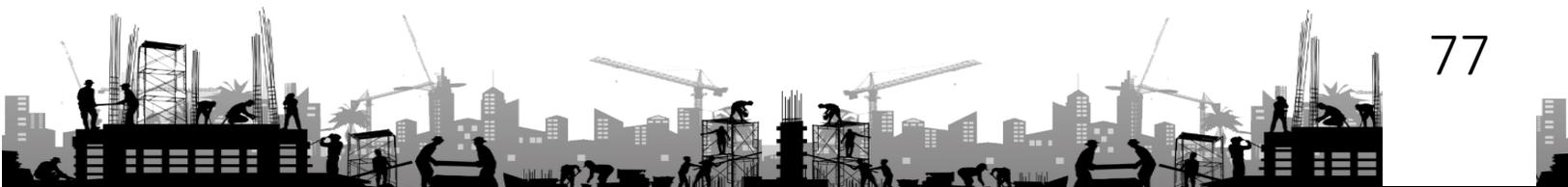
$$Rprom = \frac{\Sigma Rm}{n}$$

Donde:

Rprom = Rendimiento promedio.

ΣRm = Sumatorio rendimiento medio

n = Número de muestreos en campo realizados



Paso 4: Cálculos estadísticos

Para presentar datos adicionales al rendimiento final se deben contemplar las variables en la estadística, es necesario realizar el cálculo de la desviación estándar de los datos, así como el coeficiente de variación para conocer los datos estadísticos relacionados al rendimiento.

Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - X_{prom})^2}{N}}$$

Donde:

X = Variable

N = Número de Observaciones

X_{prom} = Media de la variable

X_i = Observación i de la variable.

Coeficiente de variación

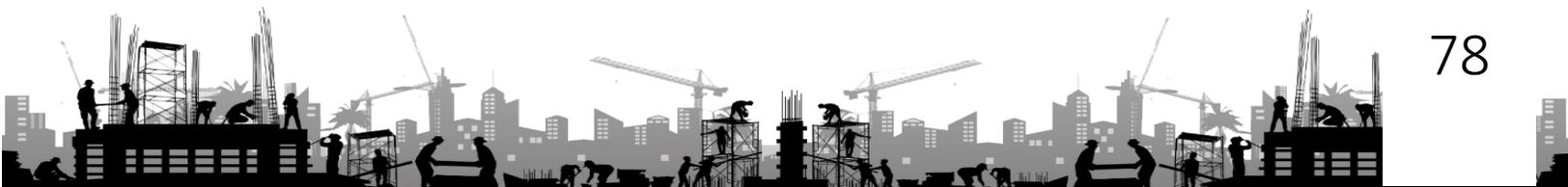
$$CV = \frac{\sigma}{\mu} * 100\%$$

Donde:

CV = Coeficiente de variación

σ = Desviación estándar

μ = Media aritmética

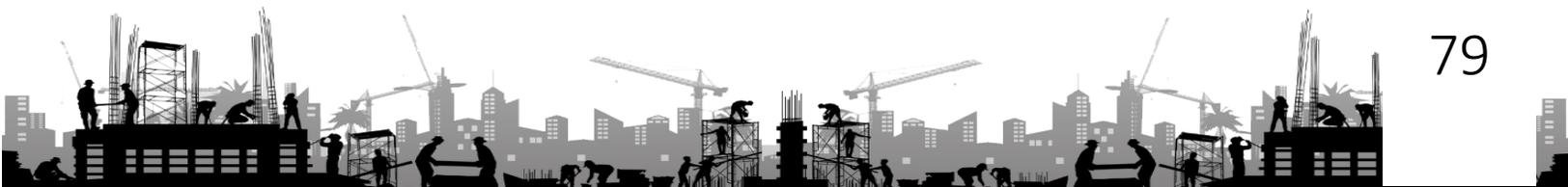


A continuación, se presenta una plantilla propuesta para el cálculo de rendimientos y sus respectivas variables estadísticas.

Tabla 17: Plantilla para el cálculo de rendimientos

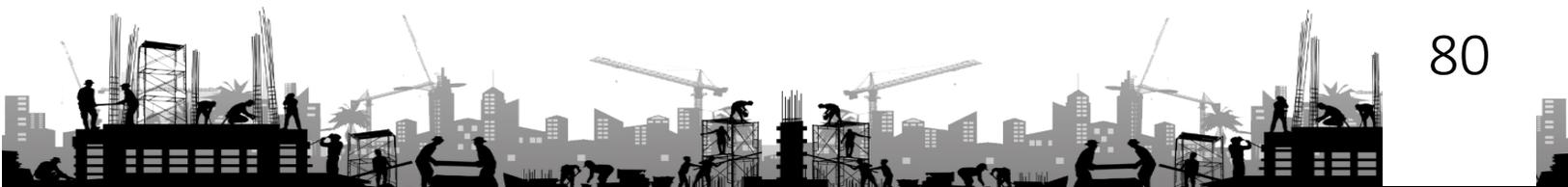
Obtención de rendimientos								
Medición	Fecha	N° Trabajadores	Horas empleadas	Unidad	Cantidad de trabajo	Unidad	Rendimiento	Unidad
Rendimiento Promedio								
Desviación estándar								
Coeficiente de variación								
Rendimiento Final								

Fuente: Elaboración propia



Referencias

- Acosta S. (2016), Medición y mejoramiento de la productividad en la colocación de obra falsa, el montaje de elementos prefabricados y colado de entepiso del condominio vertical residencial Q-BO, recuperado de: Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Badano B. (2019), Guía para la medición de la productividad en la construcción, recuperado de: <http://biblioteca.camarco.org.ar/PDFS/Escuela%20de%20gestion/Guia%20para%20la%20medicion%20de%20la%20productividad.pdf>
- Barrantes R. (2013), Investigación: un camino al conocimiento, un enfoque cualitativo, cuantitativo y mixto / Rodrigo Barrantes Echeverria. – 1 reimp.de la 2 edición- San José, CR
- Botero, L. F., & Álvarez, M. E. (23 de julio de 2004). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento). recuperado de: https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20Sistemas/9.pdf
- Carro R. y Gonzalez D.(2015), Administración de las Operaciones : actividades para el aprendizaje / - 1a ed. . - Mar del Plata : Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, 2015. Libro digital, PDF
- Camacho D. (2016), Análisis de procesos constructivos, medida de productividad y rendimientos en el edificio TIC'S del ITCR, Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Gómez A y Morales D. (2015), "Análisis de la productividad en la construcción de vivienda basada en rendimientos de mano de obra", INGE CUC, vol. 12, no. 1, pp. 21-31, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.02>, recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/304030307_Analisis_de_la_productividad_en_la_construccion_de_vivienda_basada_en_rendimientos_de_mano_de_obra.
- Hernández D. (2019), Estudio de Rendimientos y Control de Costos en la Construcción de Muros de Gaviones, Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Kanawaty G.(1996) Introducción al estudio del trabajo. PRODUCTIVIDAD, ESTUDIO DE TRABAJO Y FACTOR HUMANO.
- Leandro A. (2018). Apuntes curso diseño de procesos constructivos. Escuela de ingeniería en construcción, Tecnológico de Costa Rica
- Leandro A. (2018), Manual de buenas prácticas para incrementar la productividad en procesos de construcción, Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Montero J. (2010), Cuantificación del rendimiento y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en altura, Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Montiel A. (2016), Análisis de productividad en procesos de armadura en el proyecto The IVY de la empresa Edica Ltda, recuperado de: Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.



- Monzón R. (2009), Estimación de pérdidas de productividad laboral en compensación de costos de un proyecto de construcción de la provincia de Llanquihue, Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcim816e/doc/bmfcim816e.pdf>
- Mora J. (2012), Medición y mejoramiento de la productividad en la colocación de obra falsa, el montaje de elementos prefabricados y colado de entrepiso del condominio vertical residencial Q-BO, recuperado de: Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Navarro K. (2010), Análisis de productividad y rendimientos de operaciones y procesos de obra gris de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, recuperado de: Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Real Academia Española. Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., [versión 23.5 en línea]. <<https://dle.rae.es>>
- Rojas B. (2017), Análisis de la productividad y rendimiento de la mano de obra para algunas actividades constructivas del sistema electromecánico en Torres de Parqueo UCR, recuperado de: Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Serpell, A. (1986). Productividad en la construcción. Ingeniería de construcción/ INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN (No.1): pp.53-59.
- Vela D. (2009), Guía para la elaboración diagramas de flujo, Ministerios de planificación nacional y política económica.



Anexos



Tabla 22: Plantilla para cálculos de sumatorias de porcentajes de productividad

Clasificación	Actividad	Trabajador									
		1		2		3		4		5	
		N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%
TP											
TC											
TI											
TOTALES											

Trabajadores	Actividades										
	Colocación concreto	Corte de bloques	Colocación bloques	Nivelación	Acarreo	Fabricación	Desplazamiento	Conversar	Ausente	Descansar	Observar
Trabajador 1											
Trabajador 2											
Trabajador 3											
Trabajador 4											
Trabajador 5											

Trabajadores	Trabajo productivo	Trabajo contributivo	Trabajo improductivo
Trabajador 1			
Trabajador 2			
Trabajador 3			
Trabajador 4			
Trabajador 5			
Promedio			

Fuente: Elaboración propia



ENTREVISTA A TRABAJADORES E INGENIEROS PARA BUSQUEDA DE FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD

TRABAJADORES

- ¿Sabe que es la productividad?
- ¿Considera que usted es efectivo al desarrollar las tareas?
- ¿Considera que la seguridad es la óptima?
- ¿Se le facilitan los instrumentos de seguridad?
- ¿Se siente cansado, agotado o fatigado por el trabajo?
- ¿Vive muy lejos del sitio de trabajo?
- ¿Cómo llega al sitio de trabajo?
- ¿Tiene una buena relación con los demás trabajadores?
- ¿La relación con su patrono es buena?
- ¿La claridad con que dan las instrucciones es buena?
- ¿Existe mucha rotación de personal?
- ¿Ha trabajado antes en obras de construcción?
- ¿Cuánto tiempo ha trabajado en obras de construcción?
- ¿Tiene algún problema de salud?
- ¿Recibe supervisión cuando realiza el trabajo?
- ¿Recibe incentivos?
- ¿Recibe capacitaciones?
- ¿Considera que realizan una buena distribución de cuadrillas?



- ¿Considera adecuado la duración de la jornada?
- ¿Tiene contrato laboral?
- ¿Recibe el salario completo y a tiempo?
- ¿Tiene seguro social?
- ¿Se siente motivado a la hora de realizar las tareas?
- ¿Es puntual a la hora de entrada?
- ¿Recibe descansos?
- ¿Considera los tiempos de descanso y alimentación idóneos?
- ¿Ha faltado material?
- ¿Han faltado herramientas?
- ¿Ha faltado algún equipo?
- ¿Ha existido retrasos con materiales?
- ¿Considera de buena calidad las herramientas y equipo que utiliza?
- ¿Ha existido saturación de la grúa?
- ¿Considera que las distancias de acarreo son buenas?
- ¿Considera que el espacio de trabajo es reducido?
- ¿Considera que la ubicación de los sanitarios es la correcta?
- ¿Considera que la ubicación del comedor es buena?
- ¿Existe desorden en el sitio?
- ¿Ha faltado alguna vez los servicios básicos?
- ¿Considera que las distancias de desplazamientos son las correctas?
- ¿Considera que la ubicación de la bodega es la correcta?
- ¿Existe desorden en la bodega?
- ¿La obra se ha suspendido por malas condiciones climáticas?
- ¿Existe ruido excesivo en el sitio de trabajo?



INGENIEROS

- ¿Considera que la productividad en el proyecto es la adecuada?
- ¿Considera que los rendimientos y efectividad es la adecuada?
- ¿Brinda seguridad a sus empleados?
- ¿Supervisa la obra constantemente?
- ¿Brinda incentivos a sus empleados?
- ¿Existe un plan de seguridad o de contingencia ante accidentes?
- ¿Se le brinda mantenimiento al equipo?
- ¿Se verifica la calidad de los materiales?
- ¿Considera el abastecimiento de materiales es el adecuado?
- ¿Considera que el diseño de sitio es adecuado?
- ¿Se realizan inspecciones una vez realizados los procesos?



