

**Herramienta digital para el registro y cálculo de la productividad de mano de obra en proyectos de edificaciones**

# ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

## CONSTANCIA de PRESENTACIÓN PÚBLICA del TRABAJO FINAL de GRADUACIÓN

### Herramienta digital para el registro y cálculo de la productividad de mano de obra en proyectos de edificaciones


Llevado a cabo por la estudiante:

Barrantes Solano Jacqueline

Carné: 2017007298

Trabajo Final de Graduación presentado públicamente ante el Tribunal Evaluador el miércoles 18 de marzo de 2025 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:

 Firmado digitalmente por  
JOSE ANDRES ARAYA  
OBANDO (FIRMA)  
Fecha: 2025.03.19 14:31:05  
-06'00'

Dr. Ing. José Andrés Araya Obando  
Director de la Escuela

ARTURO JOSE  
GAMBOA SOLIS  
(FIRMA) Firmado digitalmente por  
ARTURO JOSE GAMBOA SOLIS  
(FIRMA)  
Fecha: 2025.03.19 09:05:23  
-06'00'

Ing. Arturo Gamboa Solís, MAP  
Profesor Guía

MILTON ANTONIO  
SANDOVAL QUIROS  
(FIRMA) Firmado digitalmente por MILTON  
ANTONIO SANDOVAL QUIROS (FIRMA)  
Fecha: 2025.03.19 08:59:24 -06'00'

Ing. Milton Sandoval Quirós, MAE  
Profesor Lector

WILLIAM ALONSO  
POVEDA  
MONTROYA  
(FIRMA) Firmado digitalmente  
por WILLIAM ALONSO  
POVEDA MONTROYA  
(FIRMA)  
Fecha: 2025.03.19  
11:14:56 -06'00'

Ing. Alonso Poveda Montoya, MSc.  
Profesor Observador

# Resumen

Este proyecto de investigación tuvo como objetivo desarrollar una herramienta digital para registrar y calcular la productividad de la mano de obra en proyectos de edificaciones. Para esto, se identificaron inicialmente los elementos esenciales de la herramienta tras una revisión del proyecto "Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022" y también se aplicó un cuestionario a profesionales en el ámbito de la construcción.

La herramienta digital se creó utilizando el editor de código Visual Studio Code y otras tecnologías de desarrollo web. Esta página web permite a los usuarios interactuar de manera simple sin requerir el uso de aplicaciones externas para obtener los productos. Para comprobar la eficiencia de la herramienta, se seleccionó el proyecto "Hermosita", ubicado en Playa Hermosa de Garabito, donde se recopilaron tiempos de productividad.

Por último, se elaboró una guía de uso complementaria a la herramienta digital con información básica, para realizar las mediciones de productividad de mano de obra. El resultado de esta investigación es una herramienta digital que facilita el proceso de captura de datos en sitio, optimizando así la gestión de datos de productividad en proyectos de edificaciones.

**Palabras clave:** Herramienta digital, productividad, mano de obra, construcción, Work Sampling, Crew Balance, Five Minutes Rating.

# Abstract

This research project aimed to develop a digital application to record and calculate labor productivity in building projects. To achieve this, the essential elements of the tool were initially identified through a review of the project "Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022" and by providing a questionnaire to professionals in the construction field.

The digital tool was created using Visual Studio Code and modern web development technologies. Its design includes an intuitive web page that allows users to interact easily and efficiently without requiring external applications to calculate productivity and performance in projects. To test the tool's efficiency, the "Hermosita" project, located in Playa Hermosa, Garabito, was selected, where productivity times were collected.

Lastly, a complementary user guide for the digital tool was created with basic information on how to carry out labor productivity measurements. The result of this investigation is a digital tool that simplifies the gathering of data on site, optimizing productivity data management in building projects.

**Key words:** Digital application, productivity, building, Work Sampling, Crew Balance, Five Minutes Rating.

# **Herramienta digital para el registro y cálculo de la productividad de mano de obra en proyectos de edificaciones**

JACQUELINE BARRANTES SOLANO

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

Marzo de 2025

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Lista de abreviaturas .....	2
Resumen Ejecutivo .....	3
Introducción.....	6
Objetivos .....	9
Alcance .....	10
Limitaciones .....	11
Agradecimientos .....	13
Capítulo 1: Marco teórico .....	14
1.1    Proyectos en obra gris de edificaciones .....	14
1.2    Productividad .....	15
1.2.1    Muestreo del trabajo .....	16
1.3    Productividad de mano de obra.....	17
1.4    Tiempos de trabajo para la medición de productividad .....	18
1.5    Técnicas para medición de productividad .....	19
1.5.1    Work Sampling .....	19
1.5.2    Five Minutes Rating .....	20
1.5.3    Crew Balance.....	21
1.6    Rendimientos .....	23
1.7    Tecnologías de desarrollo web .....	25
1.7.1    Interfaz gráfica de usuario .....	25
1.7.2    Servidor.....	26
1.7.3    Base de datos .....	27
1.8    Guía de uso .....	27
Capítulo 2: Metodología .....	28
2.1    Tipo de investigación .....	28
2.2    Categorías de investigación .....	29
2.3    Sujetos de información .....	30
2.4    Fuentes de información .....	32
2.4.1    Fuentes primarias .....	32
2.4.2    Fuentes secundarias.....	33

2.5	Técnicas e instrumentos de recolección .....	33
2.5.1	Observación .....	33
2.5.2	Cuestionario .....	34
2.5.3	Revisión documental.....	34
2.6	Análisis y procesamiento de la información .....	35
2.6.1	Presentación de resultados .....	35
2.6.2	Descripción del proceso de análisis.....	36
Capítulo 3: Resultados y análisis .....		41
3.1	Identificación de elementos de la herramienta digital .....	41
3.1.1	Revisión de la Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos.....	43
3.1.2	Implementación de cuestionario de productividad.....	54
3.2	Elaboración de la herramienta digital .....	60
3.2.1	Producción de la herramienta .....	63
3.2.2	Ejecución de la herramienta .....	72
3.3	Comprobación de la efectividad de la herramienta digital.....	73
3.3.1	Primera prueba .....	75
3.3.2	Segunda prueba.....	83
3.3.3	Tercera prueba .....	84
3.3.4	Cuarta prueba .....	89
3.3.5	Quinta prueba .....	94
3.3.6	Sexta prueba.....	96
3.3.7	Séptima prueba .....	100
3.4	Guía de uso de la herramienta digital.....	105
Conclusiones y recomendaciones .....		107
Conclusiones .....		107
Recomendaciones .....		108
Referencias .....		110
Apéndices.....		115
Anexos .....		152

# Lista de abreviaturas

**CCC:** Cámara Costarricense de la Construcción.

**CCS:** *Cascading Style Sheets*

**CFIA:** Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos

**HTML:** *Hypertext Markup Language*

**HTTP:** *Hypertext Transfer Protocol*

**ICE:** Instituto Costarricense de Electricidad

**ODM:** *Object Data Modeling*

**URI:** *Unified Reference Identifier*

**WFC:** *Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance.*

**WWW:** *World Wide Web*

# Resumen Ejecutivo

En la industria de la construcción, el recurso humano es el elemento más importante y también el más estudiado, por lo que las empresas constructoras con el fin de conocer su comportamiento, fortalezas, oportunidades de mejoras, y demás características recurren a emplear diferentes métodos para optimizar su productividad. Una de las técnicas empleadas para monitorear la productividad de mano de obra en una construcción, es el proceso de captura de tiempos de trabajo en sitio, este procedimiento suele ser complejo para quienes lleven esta actividad a cabo, debido a que es muy usual que las empresas no posean un proceso de captura de datos previamente establecido en el que se le indique al profesional las consideraciones para llevar este proceso a cabo.

Por otra parte, al realizar una investigación sobre el sector de la construcción en Costa Rica, se encontró que, a diferencia de países como Estados Unidos y Chile, en el país no hay documentación estandarizada acerca de los indicadores de productividad, por lo que es complicado evaluar el comportamiento de la construcción. Además, la información que recopilan algunas empresas constructoras es de uso privado, y no existe una base de datos en la que pueda adjuntarse parte de la información obtenida a través de las mediciones de productividad, para que las instituciones competentes puedan tener referencia de los datos.

En este proyecto de graduación se propuso crear una aplicación web en la que se pueda registrar y calcular información recolectada en sitio, a partir de mediciones de tiempos de productividad de mano de obra utilizando los métodos de medición Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance. Se diseñó la herramienta digital llamada Calculador WFC versión 1.0.0 en formato web de tal forma que los usuarios puedan acceder a la aplicación tanto en computadoras como en dispositivos móviles, ya que la mayoría de las herramientas creadas para medición de productividad de mano de obra son para uso específico de algunas empresas y son elaboradas en formatos “.xlsx”, limitando su uso a los dispositivos que cuenten con la licencia de este programa únicamente.

Para llevar este proyecto de investigación a cabo, en el primer objetivo inicialmente se realizó una comparación bibliográfica de los métodos de medición de productividad más utilizados en los proyectos de investigación de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por lo que se delimitó a incluir en la herramienta digital los métodos Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance.

Posteriormente, se realizó una revisión de la información contenida en la “Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022” del estudiante del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Pablo César Ramírez Salas. La información obtenida de esta guía fueron los elementos que contendría la herramienta digital, adaptando el proceso de captura de datos que Ramírez propuso en hojas de Excel a una herramienta digital web. También, se implementó un cuestionario sobre productividad con el fin de identificar características propias del proceso de medición de productividad de mano de obra, importancia de la creación de la herramienta y otros elementos que debería contener; este se distribuyó a 20 profesionales (ingenieros civiles, maestros de obras, ingenieros y técnicos en salud y seguridad ocupacional) de la rama de la construcción, de los cuales únicamente se obtuvo respuesta de 16 profesionales.

Dentro de la información recuperada de la guía se determinó que la mayoría de las empresas no poseen herramientas o procedimientos establecidos para la medición de productividad, que en el proceso de captura de datos y análisis se debe incluir la participación de profesionales como maestros de obras, personal de seguridad ocupacional, gerentes, ingenieros y demás personas afines al proceso. También que aparte de la captura de datos de productividad se debe incluir otros aspectos como fecha y hora, frecuencia de muestreo, clima, actividad a evaluar, etc. Por otra parte, se estableció la importancia de reconocer los diferentes métodos de medición de productividad y las categorías de medición de tiempos, además, con ayuda de los encuestados se determinaron algunas opciones de las actividades que se podrían evaluar para comprobar la efectividad de la herramienta.

Una vez identificados los elementos e información que contendría la herramienta, se inició el desarrollo de la aplicación Calculador Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance (WFC). Este proceso contó con dos fases: una llamada producción en la que se crea la herramienta a partir del editor de código Visual Studio Code y demás tecnologías para definir la interfaz, el servidor y la base de datos; y la segunda fase llamada ejecución en la que se realizan las pruebas iniciales. En la primera fase, se definió el flujo y estructura de los datos de la herramienta, utilizando esta información se crea la interfaz y las funciones iniciales. Los elementos que representan los tres métodos de productividad seleccionados se componen de datos iniciales, observaciones, comentarios de las observaciones, resultados representados por gráficos y cálculo estadístico del rendimiento. Posteriormente, se creó la base de datos de MongoDB y se realizó la conexión con el servidor, se procedió a desarrollar los módulos para cada método de la herramienta, así como los gráficos. En la segunda fase, se pone a prueba la aplicación con información ficticia para determinar el alcance y restricciones de la herramienta. En esta sección se incluyeron características omitidas, manejo de errores y demás información concerniente. Una vez confirmado el funcionamiento básico de la herramienta se publicó por medio de Render.

Para el desarrollo del tercer objetivo se realizaron mediciones de tiempos de productividad de mano de obra en un proyecto constructivo en etapa de obra gris llamado “Hermosita”. Esta edificación catalogada como

un club de playa, se ubica en Playa Hermosa de Garabito, cuenta con espacio para un restaurante, baños públicos, piscina, terraza, 4 habitaciones, y como parte de una ampliación se construirán 3 habitaciones más. La obra gris del proyecto actualmente está por encima del 80% para la primera etapa, y las actividades de acabados como colocación de cielos, cerámica, pintura de paredes, etc, apenas están al 15%; por lo que fue posible medir tanto obra gris como acabados, demostrando que la aplicación no está limitada únicamente a actividades de obra gris como se tenía planteado inicialmente.

Se realizaron únicamente 7 mediciones de productividad llevadas a cabo en diferentes días, actividades y condiciones, con el fin de abarcar la mayor cantidad de observaciones en un tiempo limitado. El fin de estas pruebas fue identificar errores en los elementos de la herramienta digital, no analizar la productividad del proyecto constructivo seleccionado; por lo que este proyecto de investigación no puede ser utilizado como referencia para análisis de productividad. A partir de las pruebas elaboradas se identificó que en la herramienta digital los productos se visualizan correctamente en una interfaz interactiva, que los datos iniciales y capturas de productividad pueden digitarse sin inconvenientes, que es posible descargar con efectividad el producto de PDF, etc. Además, a partir de la muestra representativa empleada se determinó que puede medirse productividad de mano de obra en cualquier actividad de un proyecto constructivo sin importar la etapa en la que se encuentre la obra.

Por último, el cuarto objetivo consta de elaborar una guía de uso de la herramienta digital, esto debido a que se debe esclarecer al usuario como utilizar la herramienta, ya que únicamente quien la elaboró puede reconocer fácilmente que datos se pueden colocar, los métodos incorporados en la herramienta, los alcances y limitaciones, etc.

Este proyecto de investigación propone contribuir con el objetivo de desarrollo sostenible 8.2 en el cual consiste en “lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra”. (TEC, 2022)

# Introducción

Si se busca las palabras claves “Productividad” y “Construcción” en el Repositorio del Tecnológico de Costa Rica, se encuentra que al menos 38 tesis están relacionadas con los temas de mejoramiento de la productividad, Lean Construction, gestión de proyectos, etc. Muchas de estas investigaciones se han realizado en colaboración con empresas constructoras nacionales de renombre, como EDIFICAR, EDICA y Volio y Trejos; todas estas empresas con amplia trayectoria comprenden la importancia de mejorar, constantemente la productividad en sus proyectos, por lo que optan por buscar estudiantes del TEC para implementar nuevas ideas. En su constante búsqueda de innovación estas empresas confeccionan sus propias herramientas para medir productividad y poseen registro de las mediciones realizadas en los proyectos. Sin embargo, la información que poseen estas empresas es de uso privado y es resguardada para no ser distribuida a otras instituciones o a la competencia.

Cerdas menciona que para el año 2009 en Costa Rica únicamente dos empresas constructoras monitoreaban la productividad bajo diferentes métodos, en la actualidad no se tiene la cantidad específica de las empresas que han adoptado esta cultura de medición, pero se ha demostrado que cada año son más las empresas que están interesadas en obtener mejoras en sus procesos constructivos (2009). Este autor también menciona que en Costa Rica no hay registros de niveles de productividad disponibles al público y la Cámara Costarricense de la Construcción no dispone de indicadores de productividad, por lo cual es complicado evaluar la evolución del comportamiento de la mano de obra en la construcción. La importancia de fomentar la cultura de medición de productividad de mano de obra radica en que permite tomar los indicadores de productividad como referencia para buscar alternativas de mejoras en los procesos constructivos (2009, p.9).

Según el Informe económico del sector construcción de agosto 2024 de la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC), la base para el desarrollo de diversos sectores económicos como la manufactura, comercio, actividades inmobiliarias, entre otros, es el sector de la construcción (2024, p.3). Debido a que el comportamiento del crecimiento de la construcción es ascendente principalmente en las zonas de Guanacaste y Pacífico Central es imperativo controlar los niveles de productividad en las obras.

Como parte de la solución para que en Costa Rica se implemente un registro de productividad nacional, se propuso esta herramienta digital que permitirá a las instituciones como el CFIA y la CCC tener un punto de

partida para crear herramientas colaborativas estandarizadas que sean gratuitas y de acceso al público en general, a las que todas las empresas puedan tener acceso para almacenar sus registros de productividad de forma segura y eficaz. Es de gran importancia que todas las empresas constructoras, ya sean de menor o mayor escala, puedan monitorear los niveles de productividad, y que en un futuro se puedan incluir los datos obtenidos en una base de datos nacional. Estos datos de productividad aparte de poder utilizarse para mejorar los procesos constructivos también podrían emplearse para estimar presupuestos de actividades en la planificación de un proyecto evitando sobrecostos, pérdidas por desperdicio de materiales, etc.

Por otra parte, una de las técnicas empleadas para monitorear la productividad de mano de obra en una construcción es el proceso de captura de tiempos productivos en sitio. Este procedimiento suele ser complejo para quienes lleven esta actividad a cabo, debido a que es muy usual que las empresas no posean un proceso de captura de datos previamente establecido en el que se le indique al profesional las diferencias entre los métodos de captura, consideraciones que se deben tomar en cuenta para las mediciones, los datos que se pueden obtener, etc.; contribuyendo a entorpecer el aprendizaje de esta actividad. Por lo cual, como complemento a la herramienta digital, se incluyó una guía de uso indicando definiciones básicas de productividad, diferencias entre los métodos de productividad, instrucciones de la herramienta, y sus respectivas restricciones.

Como parte de los antecedentes el proyecto de investigación del 2010 "Implementación de una metodología para medir rendimiento en la construcción de líneas de distribución eléctrica" la estudiante del Tecnológico de Costa Rica, Delgado Quirós, propuso aplicar de forma práctica la metodología existente de rendimientos de líneas de distribución mediante el desarrollo de una aplicación para calcular el rendimiento de mano de obra y maquinaria dirigido a las actividades de los proyectos de líneas de distribución. Otro de los propósitos de la creación de la herramienta fue conformar una base de datos que incluyera rendimientos y costos de la construcción de líneas eléctricas con el fin de funcionar como guía para proyectos con características similares. Para utilizar esta aplicación los trabajadores del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) deben instalar la aplicación en sus ordenadores, y la información contenida en la base de datos de la aplicación debe ser actualizada constantemente.

Delgado basó su trabajo de investigación en una tesis existente de líneas de distribución eléctrica para crear la aplicación digital. Desarrolló la aplicación digital mediante Visual Basic 6.0, que actualmente no posee soporte por parte de los desarrolladores ya que está discontinuada. Destacando que dirigió su investigación a una institución en específico que es el ICE, en la cual probó la aplicación con el registro de información que la empresa le brindó.

Este proyecto de investigación también se basa en la tesis de otro autor, Ramírez, de la cual se obtuvo la información teórica de los formularios de hojas de análisis de productividad; la diferencia es que en esta investigación no se realizó análisis ni actualizaciones al producto antecesor, como sí lo realizó Delgado. También cabe mencionar que para esta investigación se utilizó el editor de código Visual Studio Code, que pertenece al mismo desarrollador que Visual Basic 6.0, siendo una herramienta moderna que recibe actualizaciones constantemente. Los datos de medición de productividad para realizar las pruebas fueron obtenidos en campo directamente, en un solo proyecto constructivo, por lo que los datos de productividad son más limitados.

Por su parte, Figueroa (2022) en su proyecto de graduación “Herramienta para la gestión de información de equipos en varias actividades del proyecto de la Rotonda de la Bandera para la empresa El Almendro”, realizó una investigación aplicada, donde utilizó como instrumentos de recolección de datos la entrevista semiestructurada, la revisión bibliográfica y la observación participante para generar una herramienta que mejore la recolección de información, control de calidad y gestión de equipos permitiendo la obtención de su rendimiento y productividad; como resultado de su investigación se obtuvo una herramienta versátil, sencilla, veloz y eficiente, la cual generó una disminución en el tiempo invertido en el trabajo de recolección y gestión de información del personal. Figueroa menciona que su herramienta de recolección de información está basada en Microsoft Forms y Microsoft Excel, que son programas de fácil acceso y manipulación, y que realizar esta herramienta en programas como Python que requieren de cierto grado de conocimiento en programación limita su uso.

Como se mencionó anteriormente, aunque Figueroa también confeccionó una herramienta para registrar y calcular productividad y rendimiento, esta se enfocó en la productividad de los equipos como maquinaria pesada, no en la mano de obra. También desarrolló su herramienta mediante la aplicación de Excel, por lo que la elaboración difiere del método utilizado para esta investigación. En el caso de este proyecto, únicamente se requiere conocimientos en programación si se desea incluir nuevas secciones o modificar la herramienta, por lo que esta característica no limita su uso por parte de los usuarios.

Ramírez-Salas (2022) en su proyecto de graduación “Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos”, tuvo como objetivo brindar la información básica para medir y analizar la productividad y, que esta sea adaptable a las condiciones de distintos proyectos. El método de investigación que implementó es de carácter cualitativo tipo descriptivo, empleando entrevistas en distintas empresas constructoras para complementar la información obtenida a través de una revisión bibliográfica y también el método comparativo para analizar los datos obtenidos por diferentes fuentes. Una de sus conclusiones más importantes fue que las empresas requieren de una herramienta que les permita unificar el material, que sea accesible, público, funcional y que se pueda utilizar sin importar el tipo o tamaño del proyecto.

Por último, este proyecto de investigación contribuye con el objetivo de desarrollo sostenible 8.2, el cual consiste en “lograr niveles más elevados de productividad económica mediante la diversificación, la modernización tecnológica y la innovación, entre otras cosas centrándose en los sectores con gran valor añadido y un uso intensivo de la mano de obra”. (TEC, 2022) El eje central de este objetivo es la productividad económica, con el fin de que las empresas puedan aumentar sus ganancias y contratar más mano de obra calificada; por lo que este proyecto de investigación en específico podría implementarse en las empresas pertenecientes al ámbito de la construcción y mediante la modernización tecnológica monitorear la productividad en obra para conocer las deficiencias que deben corregirse, gestionar el rendimiento de los recursos, implementar innovaciones en los procesos constructivos, entre otros.

## Objetivos

El objetivo general de este proyecto de investigación es generar una herramienta digital para el registro y cálculo de la productividad de mano de obra en proyectos constructivos de edificaciones. A continuación, se desglosan los objetivos específicos de este proyecto:

- Identificar los elementos requeridos para la medición de la productividad de mano de obra en proyectos de edificaciones, en conjunto con actores clave con experiencia, utilizando la Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022.
- Construir los componentes de una herramienta digital para la optimización del proceso de registro y cálculo por medio de la generación de productos (gráficos, tablas y resúmenes de resultados) a partir de las mediciones de productividad de mano de obra.
- Comprobar la efectividad de la herramienta digital mediante la captura de tiempos de productividad en sitio en un proyecto de construcción en etapa de obra gris.
- Elaborar una guía de uso de la herramienta digital para la medición de la productividad en proyectos de edificaciones.

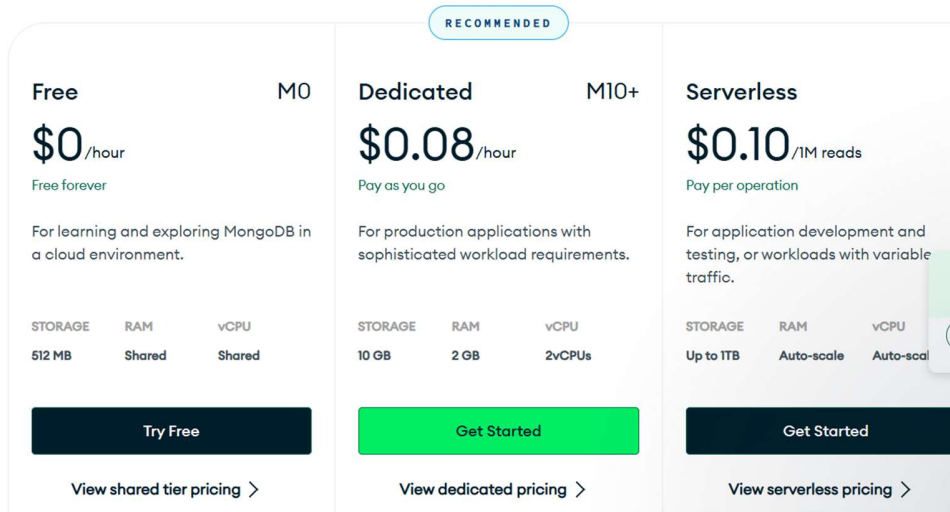
# Alcance

- La herramienta digital se concentra únicamente en la medición de productividad de obra gris en edificaciones, quedando excluidos megaproyectos, puentes, carreteras, etc., debido a que el proceso de captura es diferente.
- La herramienta digital únicamente genera productos como gráficos, tablas, resúmenes; que permiten a los usuarios tomar decisiones basados en los datos obtenidos. Sin embargo, la aplicación no genera análisis o recomendaciones para mejorar la productividad en el proyecto estudiado.
- Para identificar los elementos que presenta la herramienta digital se utilizan algunas secciones de la Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022, únicamente se realiza una revisión y no un análisis sobre la información contenida en este documento.
- El objetivo de las pruebas realizadas a la herramienta digital es identificar errores o mejoras que podría presentar la herramienta, por lo que los análisis de productividad minuciosos sobre los resultados obtenidos quedan excluidos.
- La guía de uso de la herramienta digital únicamente presenta información del procedimiento para utilizar la herramienta, y no muestra el proceso para medir productividad como tal, por lo que se debe consultar otras fuentes para este fin.
- La información correspondiente a herramientas de análisis de datos de productividad mediante representación gráfica como diagramas y mapas de flujo quedan excluidas del proyecto de investigación, ya que el propósito tanto del proyecto de investigación como de la herramienta digital es registrar y calcular la información, no analizarla.
- Se efectúan mediciones de productividad de mano de obra suficientes para comprobar la efectividad de la herramienta en el proyecto de edificación en etapa de obra gris seleccionado.
- La herramienta digital requiere de conexión a internet y un dispositivo con un navegador incluido, no se desarrolla una versión offline para descargar en el dispositivo.

# Limitaciones

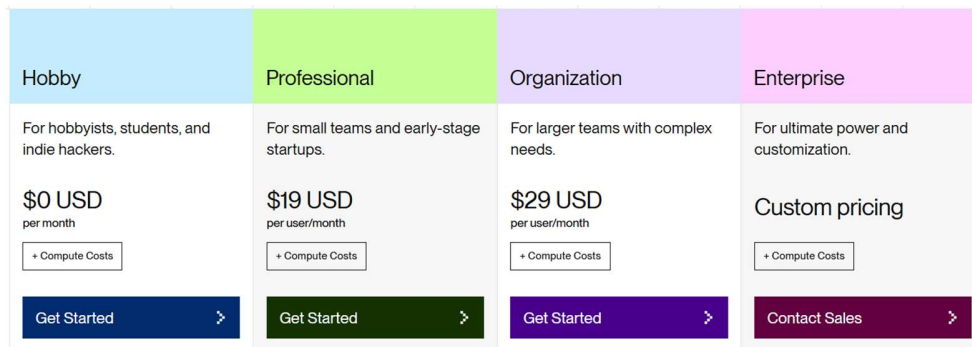
- En la hoja de análisis, en el espacio de datos iniciales, la ubicación del proyecto debe ser ingresada directamente por el usuario. Las aplicaciones como “Geolocation API” de Google que permiten mostrar la ubicación con coordenadas de forma interactiva con el usuario, requieren de un plan de pago mensual, por lo cual se descartó esta opción.
- La licencia de la nube Atlas para MongoDB utilizada en la herramienta digital es gratuita, y presenta varias limitaciones como un rendimiento inferior y una capacidad de almacenamiento mínima, por lo que, al consultar un volumen importante de datos, se pueden producir atrasos al intentar recuperar estos datos. Las licencias disponibles para Atlas se pueden observar en la figura 1.
- El plan de hosting Render utilizado en la herramienta digital es gratuito y de bajo rendimiento, por lo cual al intentar ingresar a la aplicación esta tiene un tiempo de espera para cargar los datos proyectados en la página. Existen otras licencias para este hosting, pero al ser de pago quedaron descartadas para emplearlas, las licencias que ofrece Render pueden observarse en la figura 2.
- Para comprobar la eficiencia de la herramienta digital únicamente se realizaron 7 pruebas en total debido al tiempo asignado en el cronograma de trabajo; aclarando que no es una muestra suficiente para determinar si la herramienta es efectiva en su totalidad, únicamente cumple con la verificación del alcance proyectado.
- El proyecto constructivo seleccionado estaba a más del 80% de avance, por lo que las actividades de obra gris fueron pocas y se decidió medir productividad en acabados también.
- La interfaz de la herramienta digital permite añadir tareas y trabajadores “ilimitadamente”, sin embargo, la cantidad que se puede agregar varía dependiendo el tamaño de la pantalla del dispositivo y eventualmente la visualización será ilegible.
- En los métodos de Five Minutes Rating y Crew Balance no se pueden eliminar tareas ni trabajadores una vez ingresados, por lo que en caso de equivocarse se deberá borrar la hoja de análisis completa y crear una nueva.
- Las hojas de análisis creadas en la herramienta digital, no se pueden buscar por nombre o descripción ni filtrar, por lo que en caso de crearse muchas tareas será difícil encontrar una en específico.
- En la herramienta digital no existe un inicio de sesión para los usuarios y por ende tampoco existen perfiles; esto quiere decir que no hay privacidad en las hojas de análisis y pueden ser accedidas por cualquier persona que utilice la herramienta.

**Figura 1.** Licencias que ofrece la base de datos MongoDB para Atlas.



Fuente. *Compare Atlas plans*, por MongoDB, 2024. (<https://www.mongodb.com/pricing>)

**Figura 2.** Licencias que ofrece Render para el servicio de hosting.



Fuente. *Predictable pricing that scales with you*, por Render, 2024. (<https://render.com/pricing>)

# Agradecimientos

Primeramente, quiero agradecer a Dios por ser mi guía durante todo este tiempo, y demostrarme que a pesar de las dificultades que podemos presentar en la vida, siempre hay una manera de seguir adelante. Este proyecto de investigación se lo dedico a mi madre, Marisol, que ha sido la única persona que ha creído en mí desde que empecé mi formación académica, es la que siempre me ha apoyado y motivado a seguir adelante y graduarme de la Universidad. A mí papá Roberto, gracias por acompañarme en este proceso, sé que él es la persona más orgullosa de la profesional en la que me he convertido. También esta tesis tiene una dedicación especial a mis tíos Marcos y Maribel, que fueron las personas que me ayudaron en mis inicios de la Universidad. A mi tío Jorge, que desde siempre ha cuidado de mi mamá y mis hermanos también, le agradecemos todo el apoyo brindado, esperamos algún día devolverle el favor. A toda mi familia que me apoyó con un granito de arena en los momentos que más lo necesité, en especial a mis abuelos y a mi hermano José, que me orientó en este proceso de la tesis. Por último, agradezco a mi tutor Arturo por la toda la ayuda brindada en este proceso, y al profesor Milton, que Dios los bendiga por todo el apoyo y la confianza brindada hacia mi persona.

# Capítulo 1: Marco teórico

En esta sección se desarrolla la teoría necesaria para fundamentar los objetivos específicos propuestos para la elaboración del proyecto, la metodología planteada, análisis de resultados y las conclusiones obtenidas.

## 1.1 Proyectos en obra gris de edificaciones

Una definición concisa de un proyecto constructivo según Garza Contreras (2018, p. 8) es “el conjunto de actividades necesarias y enlazadas entre sí para la edificación de un objeto arquitectónico”. Jaramillo Salazar menciona que todo proyecto de construcción es único y que su éxito se mide a partir de tres parámetros principales que son duración, costo y calidad. Debido a la complejidad que conllevan los proyectos constructivos es necesaria la creación y compilación de registros históricos de la empresa que sea aprovechable para evaluar los procesos constructivos a futuro (2003, p.66). Además, Serpell menciona que existen diferentes tipos de proyectos de construcción de diversas magnitudes y se pueden clasificar como edificaciones, obras civiles, caminos, industriales. Los proyectos constructivos clasificados como edificación son aquellos que poseen fines habitacionales, educacionales, comerciales, sociales y de recreación, de salud, etc (2002, p.17).

Por otra parte, los proyectos constructivos se elaboran en diversas etapas, Garza define la obra gris como “la relación y el orden de las actividades necesarias para la materialización de una edificación”. Este autor también menciona que debajo de los elementos que un inmueble expone se encuentra lo que da materialidad al edificio, el núcleo sólido que lo hace y lo sostiene, una compleja y vital trama de materiales, piezas, decisiones, herramientas, experiencia, tiempo, presupuestos, personas, documentos, etc. Esta etapa se identifica desde el momento en el que el arquitecto y el cliente visitan el sitio por primera vez, hasta los días en los que se limpia el edificio para recibir los acabados y mobiliario (2018).

Como menciona este autor se considera como obra gris las actividades compuestas por la delimitación e identificación del predio, limpieza de terreno, trazo de ejes y niveles, armazón con varillas de acero, encofrado, elaboración de mortero y concreto, mampostería, excavación y rellenos, subsistemas estructurales, limpieza de

obra; pruebas y revisión de las redes eléctricas, hidráulicas y de gas, etc. Aunque en algunos países se dividen estas actividades en obra negra y obra gris, para efectos de este proyecto como es común en Costa Rica, se utilizará únicamente el término de obra gris.

## 1.2 Productividad

La construcción de una obra es básicamente un proceso productivo en el cual se debe planificar, organizar, dirigir, coordinar y controlar todas las actividades del sistema (Serpell, 2002, p.19). Según Mejía Aguilar y Hernández C la productividad se define como “un indicador de efectividad en un sistema o proceso, donde relaciona la eficacia y la eficiencia dentro de un efecto sinérgico”; la eficacia siendo la valoración de un producto con alcance definido bajo estándares de calidad y ejecutado en un período determinado de tiempo, y la eficiencia está compuesta por el aprovechamiento de los recursos empleados para elaborar un producto con el menor costo. La productividad se puede identificar como la relación que existe entre la cantidad de producto generado respecto a los recursos empleados, como se muestra en la siguiente ecuación (2007, pp.47):

$$productividad = \frac{producto}{recursos} \quad (1)$$

Serpell menciona que la productividad está asociada a un proceso de transformación, en el cual ingresan recursos para elaborar un producto o dar un servicio; en la rama de la construcción este recurso podría ser material, mano de obra o maquinaria y equipos (2002, p.31). La productividad “representa la relación entre la producción y los insumos asociados al proceso”. Estos autores mencionan que la productividad puede obtenerse de diferentes formas según su enfoque y finalidad, por ejemplo, a nivel económico o laboral. En el caso de esta investigación, la productividad obtenida en términos laborales o de producción puede calcularse como “unidades instaladas entre total de horas hombre” (Ardila Cubillos y Mejía Aguilar, pp.529-530).

El Ingeniero Cruelles Ruiz se refiere a la medición de productividad como la “aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador cualificado en llevar a cabo una tarea definida...” También menciona que existen distintas técnicas para la medición del trabajo las cuales se presentan a continuación (2012, Sistemas de medición de tiempos, párr. 4-5):

- **Estimación:** observación directa de la tarea que va a ser objeto de estudio realizada por un técnico con experiencia. Es utilizada en mediciones poco repetitivas y en procesos de trabajo en los que no resulte rentable un procedimiento más exhaustivo y costoso.

- **Datos históricos:** datos obtenidos en trabajos similares o como consecuencia de la comparación con otros tiempos ya conocidos. Se usa cuando los métodos están claros, el producto que se fabrica no varía, no se han producido cambios tecnológicos y se tiene gran cantidad de datos sobre los procesos.
- **Tablas de datos normalizados:** son tablas de datos creadas en la empresa a partir de situaciones típicas que se han ido recopilando a lo largo de su historia.
- **Sistemas de tiempos predeterminados (MTM):** se limita a la observación de los tiempos de ejecución de las operaciones y al registro de los gestos necesarios para realizarlos sin el uso de ninguna toma de tiempos. Se representan a partir de tablas en las que se cuantifican el tiempo de ejecución de cada gesto, según el tipo y características para obtener los tiempos totales para cada operación compleja.
- **Medida de los tiempos por muestreo:** se realiza durante un cierto periodo de tiempo un gran número de observaciones instantáneas de determinados elementos de trabajo, ya sea en grupo o individualmente, para determinar si cumplen o no cierta condición.
- **Sistema Bedaux:** se dividen todas las tareas que se ejecutan en una sección o puesto de trabajo en operaciones. Se toman los tiempos de cada operación con cronómetro, corrigiendo el tiempo obtenido mediante la apreciación de actividad.

Para el caso de esta investigación la técnica para medición del trabajo empleada es la medida de tiempos por muestreo que se desarrollará en el siguiente apartado.

## 1.2.1 Muestreo del trabajo

Para enfatizar un poco más en esta técnica anteriormente mencionada, el autor Serpell indica que “la técnica de muestreo del trabajo es un método de medición del nivel de actividad de un proyecto u operación”. Esta técnica permite medir el porcentaje de tiempo que la mano de obra y los equipos ocupan en ciertas categorías predeterminadas de actividades; se caracteriza debido a que se puede realizar un análisis cuantitativo, se aplica a mano de obra o equipos y las observaciones son aleatorias. Con esta técnica se pueden identificar las áreas en las que hay problemas o que requieren una investigación adicional y también se pueden establecer metas reales para el mejoramiento. Entre algunas de las ventajas que el muestreo del trabajo ofrece es que es simple, económica, fácil de utilizar y es estadísticamente confiable; mientras que su principal desventaja es que no permite reconocer las causas de improductividad, por lo que sólo debe utilizarse como una herramienta preliminar (2002, pp. 173-175).

Serpell menciona que para llevar a cabo un plan de muestreo del trabajo, inicialmente debe definirse un objetivo que refleje lo que se desea lograr con la información obtenida, luego se debe seleccionar las categorías de trabajo (trabajo productivo, contributivo y no contributivo), se debe definir el proceso de toma de datos que se puede realizar con un recorrido de la obra o de los sectores a muestrear, o también con una observación desde una posición fija; una vez realizadas las mediciones se procede a analizar los datos y se realiza una validación estadística para determinar el grado de confianza y el rango de error de la muestra obtenida (2002, pp. 174-178).

## 1.3 Productividad de mano de obra

La mano de obra es un recurso activo que se requiere en un proceso constructivo y que determina su duración de forma directa; por lo que su productividad se ve definida por la cantidad de obra que un hombre o cuadrilla puede ejecutar en un período de tiempo definido. Las cuadrillas hacen referencia a una configuración típica de operarios y ayudantes, que debe definirse únicamente con la cantidad de personal estrictamente necesario para realizar una actividad de forma óptima. Ahora bien, dependiendo del tipo de recurso que se vaya a analizar ya sea por obrero o cuadrilla, la productividad se puede determinar más específicamente de la siguiente forma (Mejía Aguilar y Hernández C, 2007, pp. 47):

$$productividad_{mano\ obra} = \frac{cantidad\ de\ obra}{hora - obrero} \quad (2)$$

$$productividad_{mano\ obra} = \frac{cantidad\ de\ obra}{hora - cuadrilla} \quad (3)$$

El tamaño y composición de una cuadrilla varía dependiendo la actividad que se va a ejecutar, esto se puede obtener mediante experiencia en la conformación de cuadrillas o en relación con base de datos provenientes de la empresa (Ardila-Cubillos y Mejía-Aguilar, s.f., pp. 528-530).

Para que un proyecto logre un buen desempeño mediante una gestión óptima, éste se debe fundamentar a partir de “la planeación de las cuadrillas de trabajo”, y además se debe establecer en la empresa metas de productividad. Como se mencionó anteriormente, para determinar la productividad de la mano de obra se debe cuantificar el rendimiento de las cuadrillas de trabajo, para obtener este rendimiento se debe definir inicialmente la configuración de la cuadrilla, las horas laboradas, el costo de la cuadrilla y la cantidad de obra que se va a ejecutar (Mejía Aguilar y Hernández C, 2007, p.47).

# 1.4 Tiempos de trabajo para la medición de productividad

Según el TMB Consulting Group (2012, según cita de Rojas López et al, 2016, pp. 8-9) a partir de observaciones cortas de actividades que realiza un trabajador, éstas se pueden clasificar en tres grupos de trabajo. El trabajo productivo se define como el tiempo necesario que emplea un trabajador en producir alguna unidad de construcción, como la colocación de refuerzo, vaciado de concreto, pintado de muro, etc. El trabajo contributivo es el tiempo que se requiere para realizar actividades complementarias y necesarias para que se tenga el producto, como limpieza de superficies, obras falsas para losas, transporte de elementos, lectura de planos, recepción o entrega de instrucciones, etc. Por último, el trabajo no productivo son las actividades que realizan los obreros y no generan valor al producto final y son consideradas como pérdidas, por ejemplo, las esperas, ocio, reprocesos, descansos, etc. Por lo que mediante la medición de tiempos se busca la eficiencia del trabajo productivo minimizando los trabajos contributivos y eliminando los tiempos de los trabajos no contributivos.

Para complementar las definiciones anteriormente mencionadas otro autor menciona que el tiempo productivo se define como 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”, son las labores que aportan directamente al avance de obra. El tiempo contributivo es el tiempo que se invierte en la realización de una actividad pero que no genera nada a la actividad, sin embargo, este tiempo es necesario para poder llevar a cabo la tarea, se realizan actividades de apoyo para la ejecución de la tarea productiva. El tiempo improductivo no añade ningún valor al trabajo realizado sin generar ganancia económica, son considerados como pérdidas (Ramírez, 2022, pp. 6-7).

En el ámbito de la construcción los porcentajes de trabajo no productivo representan aproximadamente un 40% de la duración de la actividad, este porcentaje se considera como una pérdida que no aporta valor al proyecto y que únicamente gasta recursos y tiempo (Gómez Cabrera y Morales Bocanegra, 2016, p. 23). Por otro lado, Serpell menciona que la composición normal del contenido de trabajo dividido en productivo, contributivo y no contributivo se encuentra en el rango de 20-40 % para cada una de estas categorías. Sin embargo, en los proyectos en los que se han aplicado sistemas de mejoramiento de productividad se ha demostrado que los porcentajes de productividad bajo ciertas condiciones pueden llegar a ser mayores, por lo que se pueden establecer valores óptimos para estas categorías divididos de la siguiente forma: trabajo productivo con un valor de 60%, trabajo contributivo con un valor de 25%, trabajo no productivo con un valor de 15% (2002).

Cabe aclarar que estos porcentajes anteriormente mencionados pueden tomarse como referencia para que las empresas definan una meta de productividad estándar y evaluar la efectividad de los procesos constructivos en los proyectos. Para obtenerse estos porcentajes únicamente debe sumarse las observaciones de cada tiempo de trabajo y dividir las entre las observaciones totales realizadas, como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Trabajo productivo (\%)} = \frac{\sum \text{Observaciones trabajo productivo}}{\text{Total de observaciones}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Trabajo contributivo (\%)} = \frac{\sum \text{Observaciones trabajo contributivo}}{\text{Total de observaciones}} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{Trabajo improductivo (\%)} = \frac{\sum \text{Observaciones trabajo improductivo}}{\text{Total de observaciones}} \times 100 \quad (6)$$

## 1.5 Técnicas para medición de productividad

En este apartado se presentan las técnicas más utilizadas para la medición de productividad de mano de obra en campo, las cuales permiten estimar la eficiencia de una actividad realizada en sitio. En algunos documentos también se considera el Field Rating como una técnica para medir productividad, sin embargo, únicamente se desarrollarán los métodos de *Work Sampling*, *Five Minutes Rating* y *Crew Balance*.

### 1.5.1 Work Sampling

El método de *Work Sampling*, en español, muestreo de trabajo, “estima el porcentaje de tiempo en el que un trabajador es productivo en relación con el tiempo total que la persona está involucrada en una operación”. Este método tiene como objetivo principal realizar observaciones durante un tiempo limitado a una actividad en específico, con la cuál a partir de las observaciones obtenidas se determina su productividad. Como el tiempo

de la medición es limitado, se utiliza la teoría estadística aplicada a una muestra pequeña de trabajadores que representan la cuadrilla con un límite de confianza en torno a la población (Dozzi y Abourikz, 1993, pp. 5-7).

Cabe destacar que para que esta técnica se lleve a cabo efectivamente, se deben realizar como mínimo 384 observaciones, por lo que, a partir de la teoría del muestreo estadístico, se obtiene un error de muestreo de 5% con un nivel de confianza del 95%. Estos autores también mencionan que esta técnica únicamente mide indirectamente la productividad, tomando como ejemplo que, en el caso de un carpintero, es complicado medir productividad a partir de cuantos golpes de martillo son necesarios para clavar un clavo; por lo que, los datos obtenidos con esta técnica no se pueden usar para medir la eficiencia laboral real, pero si contribuye a determinar las razones en las variaciones de las tasas de producción. En la figura 3 se muestra un ejemplo de una plantilla estándar para el método de Work Sampling.

Figura 3. Ejemplo de plantilla para método Work Sampling.

Work Sampling Sheet			
Project:			
Date:		Observer:	
Notes:			
Observation No.	Productive (Direct work)	Semi-Productive (Support work)	Non-Productive (Delay)
1	√		
2		√	
3	√		
4			√
5			√
6			√
7		√	
8	√		
9	√		
Total	4	2	3
Percentage	45%	22%	33%

Fuente. Fuente. Dozzi, S. P. & AbouRizk, S. M. (1993)

## 1.5.2 Five Minutes Rating

La técnica de *Five Minutes Rating*, en español calificación de cinco minutos, permite realizar observaciones individuales en una cuadrilla o grupo de trabajo determinado durante un breve periodo de tiempo brindando información sobre la efectividad del equipo identificando las áreas donde se requiere más observación.

Inicialmente se selecciona los trabajadores de la cuadrilla que participarán en la medición, identificándolos adecuadamente a partir de características físicas o atuendos que estén utilizando. En el formulario de medición, las observaciones se marcan cada 5 minutos, en los cuales durante más de la mitad del intervalo se identifica si el individuo observado ha estado activo y se coloca la subactividad que esté realizando, en caso contrario el espacio del intervalo queda en blanco. Como se muestra en la figura 4 se suma las observaciones efectivas en cada subactividad, y se divide entre el total de observaciones realizadas con esto se obtiene el porcentaje de productividad de la actividad (Dozzi & Abourikz, 1993, p. 7).

**Figura 4.** Ejemplo de plantilla para método Five Minutes Rating.

Time	Spreader	Screeder	Grader	Bull-Floater
9:50	x	x	x	
9:55	x	x	x	
10:00				x
10:05	x	x	x	x
10:10	x		x	
10:15	x	x		x
10:20	x	x	x	x
10:25		x		x
Effective observations	6	6	5	5
Total observations = 32		Effectiveness = 22/32		
Observed effective = 22		5-Minute Rating = 68%		

Fuente. Dozzi & AbouRizk. (1993)

### 1.5.3 Crew Balance

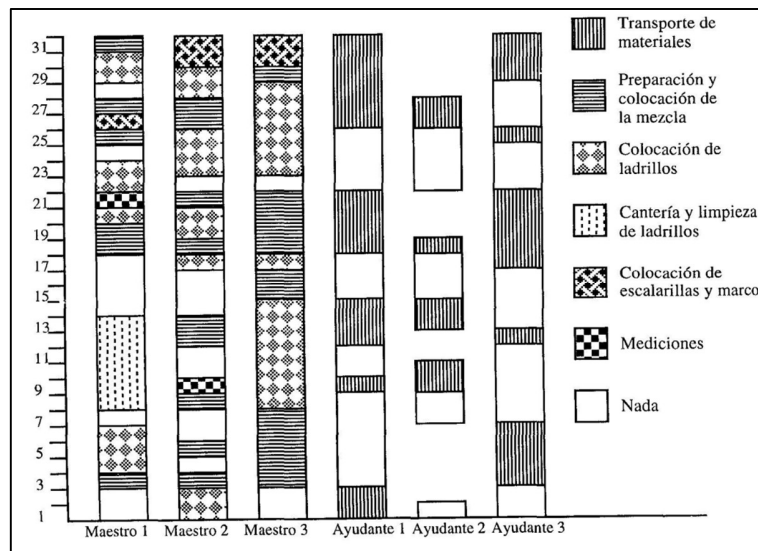
Esta técnica es conocida en español como “carta de balance” y permite describir el proceso de una operación de construcción, realizar comentarios, determinar la cantidad de obreros óptima para una cuadrilla y obtener información para realizar análisis de rendimientos. El objetivo principal es analizar la eficiencia del método constructivo empleado para conseguir que los obreros trabajen de una forma más inteligente. Esta técnica también contribuye a reducir la transición al estado régimen de las cuadrillas, que en simples palabras significa que tradicionalmente en las obras ocurre un fenómeno llamado curva de aprendizaje, el cual implica que el ritmo de trabajo aumentará conforme pase más tiempo el trabajador en una actividad, ya que en su mayoría el personal que más abunda en una construcción son ayudantes y peones que aún no son expertos en su campo

de trabajo y requieren de tiempo y habilidades para llevar a cabo las tareas en un menor tiempo (Serpell, 2002, p.183-184).

La carta de balance se compone de un gráfico de barras verticales con una ordenada (vertical) conformada por el tiempo y una abscisa (horizontal) con los recursos que se están valorando en la actividad (hombre, máquina, equipo, etc). En esta técnica se colocan las subactividades contributivas e improductivas también, con el objetivo de “analizar la eficiencia del método constructivo empleado”. Con el fin de mejorar la eficiencia en la actividad, con base en los resultados obtenidos, se toman medidas como reasignar tareas, modificar el tamaño de la cuadrilla, reducir los tiempos improductivos, aumentar el nivel de rendimiento, etc (Serpell y Verbal, 1990, pp.1-2).

Serpell menciona que para llevar a cabo esta técnica se debe tomar en cuenta algunas consideraciones, una vez seleccionado el proceso constructivo a analizar y obtenidos los primeros resultados del análisis con esta técnica, se deben proponer mejoras constantemente; también es recomendable desglosar la operación en tareas simples representadas por símbolos que las personas que van a realizar el muestreo identifiquen fácilmente. Todo esto debido a que se debe procurar observar y registrar cada actividad periódicamente, con una frecuencia de muestreo recomendada de un minuto con un mínimo de 30 observaciones; resaltando que en un solo muestreo es complicado observar el trabajo consecutivo de más de ocho personas (2002, p. 185). A continuación, en la figura 5 se presenta un ejemplo de la representación de la técnica de carta de balance:

**Figura 5.** Representación de carta de balance con personal de albañiles.



Fuente. Serpell B, 2002, p. 186

## 1.6 Rendimientos

El rendimiento de mano de obra se define como “el tiempo que emplea un obrero o una cuadrilla para ejecutar completamente una determinada actividad de construcción” (Remolina-Millán y Polanco-Sánchez, 2014, p.106). Para cuantificarlo se utilizan mediciones directas en obra sujetas a las condiciones de trabajo de cada individuo observado. Por otra parte, estos autores mencionan que el rendimiento se puede expresar como “unidades de tiempo sobre unidades de cantidad de obra ejecutada” o también se puede obtener como la “relación entre la cantidad de trabajo realizado por una cuadrilla sobre el tiempo en horas consumido para realizar dicho trabajo”, la elección del procedimiento para obtener el rendimiento depende del propósito o finalidad con el que se realizan las mediciones.

En el documento “Costos de Construcción” ampliamente utilizado como referencia en cálculo de rendimientos para trabajos de investigación, se presentan las siguientes fórmulas (Sandoval, Ortiz & Paniagua, 2009):

$$R = \frac{t * n}{V} \quad (7)$$

Donde:

R: Rendimiento en horas-hombre / unidad

t: Tiempo de duración de la actividad

n: Número de obreros que participaron en dicha actividad y que pertenecen a una misma categoría

V: Volumen de trabajo realizado

Para obtener datos de confianza, se recomienda que los valores de rendimientos obtenidos que estén muy lejos al promedio se eliminen del proceso estadístico que se menciona en los siguientes pasos. Después de obtener el rendimiento de cada trabajador, se procede a obtener la media aritmética ( $R_0$ ) mediante la siguiente fórmula:

$$R_0 = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \quad (8)$$

Ruiz Espejo (2017) define la desviación estándar ( $\sigma$ ) de la muestra como “la raíz cuadrada de la varianza de una población o de una variable aleatoria que la representa” y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{\sqrt{(R_1 - R_0)^2 + (R_2 - R_0)^2 + \dots + (R_n - R_0)^2}}{n} \quad (9)$$

El Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia (2008) indica que la manera en la que se mide el error muestral es mediante el coeficiente de variación, que se define como “indicador del grado de aproximación con el que se estiman las características del universo” el cual mide la magnitud de la variabilidad de la distribución muestral del estimador. Este porcentaje se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$C.V = \frac{\sigma}{R_0} * 100 \quad (10)$$

Esta organización también menciona que este coeficiente es “una calificación que permite a los usuarios evaluar la calidad estadística de las estimaciones”, y que dependiendo el porcentaje varía su significado como se muestra a continuación:

<b>Tabla 1. Connotación del coeficiente de variación.</b>	
<b>Rango de Coeficiente de Variación (%)</b>	<b>Connotación</b>
0-7	Precisa
8-14	Precisión aceptable
15-20	Precisión regular
>20	Poco precisa (sólo para fines descriptivos)

Fuente. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Colombia. (2008)

# 1.7 Tecnologías de desarrollo web

En la creación de una página web participan tres componentes esenciales, la interfaz, el servidor y una base de datos, por lo que en esta sección se menciona la definición y las tecnologías de cada una. A continuación, se presenta el cuadro 1 con un resumen de las tecnologías empleadas para el desarrollo de la herramienta digital Calculador WFC.

<b>Cuadro 1. Resumen de las tecnologías utilizadas la herramienta digital.</b>			
<b>Tecnología</b>	<b>Versión</b>	<b>Función</b>	<b>Elemento de la plataforma</b>
HTML	5	Estructura esencial de la página web. Define el contenido, diseño y organización de la página web.	Interfaz Web
CSS	3	Mejora el aspecto visual de la página web.	Interfaz Web
JavaScript	-	Facilita el comportamiento dinámico e interactivo en las páginas web. Lenguaje del servidor.	Interfaz Web
Node.js	20.16.0	Entorno de ejecución que contiene el servidor.	Servidor
MongoDB	7.0.14	Motor de la base de datos.	Base de datos
Render	-	Servicio de hosting del servidor.	Servidor
MongoDB Atlas	-	Servicio hosting de la base de datos. AWS/ Sao Paulo.	Base de datos
Visual Studio Code	1.94.2	Editor de código.	Entorno de desarrollo
Github	-	Control de versiones	Control de versiones

## 1.7.1 Interfaz gráfica de usuario

Como menciona Scolari (2018) cuando se habla de interfaz en relación con hardware, se define como la parte física de una computadora que posibilita la correcta conexión con otro aparato permitiendo el intercambio de información. Mientras que la interfaz de superficie es la que se muestra en la pantalla, la cual presenta ventanas, íconos, menús y cursores que remite a otras interfaces en las que el usuario suele estar familiarizado. Por ejemplo, para dispositivos electrónicos como computadoras, televisores, aires acondicionados, entre otros, el botón para encender o apagar el dispositivo posee el mismo símbolo para todos estos aparatos, por lo cual no importa el idioma o sitio en el que esté el usuario, este símbolo le será fácil de reconocer. En otras palabras, como menciona este autor, la interfaz, es la “resultante de una confluencia de opciones, cara visible de elementos y botones con los que interactúa directamente el usuario”.

La tecnología World Wide Web (WWW), que es la red de informática de alcance mundial, se basa en otras tres tecnologías, HTTP (Hypertext Transfer Protocol), URI (Unified Reference Identifier) y HTML (Hypertext Markup Language). HTML5 es un conjunto de tecnologías que se recogen bajo un mismo estándar y que multiplica en gran medida el desarrollo web, este estándar permite utilizar elementos dinámicos y multimedia, en forma de “etiquetas” que reconfigura el contenido web (Tabarés Gutiérrez, 2015).

Franganillo menciona que con este lenguaje los navegadores facilitan la entrada y validación de datos que poseen restricciones, por lo que datos como colores, fechas, horas, términos de búsqueda, etc, se descargan directamente en el navegador (2011, pp.261-263). Según Bos (2024) CCS (Cascading Style Sheets) es un mecanismo sencillo que permite añadir estilo como fuente, color, espaciado, etc. CSS define la presentación y el formato de documentos web escritos en HTML, por lo que para la creación de la interfaz de páginas web es necesario utilizar HTML5 y CSS3 en conjunto.

JavaScript es un “lenguaje de programación que se utiliza principalmente para crear páginas web dinámicas”. Las páginas de web dinámicas incorporan efectos, texto que aparece y desaparece, animaciones, ventanas con avisos, etc. El autor también menciona que los programas escritos con este lenguaje se pueden probar en el navegador sin procesos intermedios (Eguíluz, 2008, p.5).

## 1.7.2 Servidor

Un servidor es un equipo informático, virtual o físico, que brinda un servicio en la red, y da información a otros servidores y usuarios (Marchionni, 2011, p.23). Un servidor web es un software encargado de atender las peticiones realizadas por los clientes desde sus navegadores. Los servidores web se mantienen en funcionamiento constante, y utilizan el protocolo HTTP para transferir páginas HTML al cliente (Niño, 2010, p.42).

Node.js es “un entorno de ejecución de JavaScript gratuito, de código abierto y multiplataforma que permite a los desarrolladores crear servidores, aplicaciones web, herramientas en línea de comandos y scripts”. El entorno de ejecución también se conoce como motor de aplicación, Node.js fue diseñado para ser compatible con el lenguaje de JavaScript, permitiendo que se utilice tanto en el navegador como en el servidor (Node.js, s.f). EJS es un paquete para Node.js que permite crear plantillas dinámicas al utilizar el lenguaje JavaScript en documentos HTML, permitiendo generar listas, títulos y otros elementos dinámicamente trabajando en conjunto con Express (EJS, s.f.).

Express es un paquete, al que comúnmente se le refiere cómo una infraestructura de aplicaciones web, para Node.js mínimo y flexible que proporciona un conjunto sólido de características para las aplicaciones web y móviles, en la cual se pueden manejar solicitudes enviadas desde el navegador y enviar respuestas a estas solicitudes (Express.js, s.f.). Mongoose es una biblioteca ODM (Object Data Modeling) para MongoDB. Para utilizar esta biblioteca es necesario tener instalado MongoDB y Node.js, esta biblioteca permite colaborar en el modelado de datos, imposición de esquemas, validación de modelos y manipulación general de datos (Hall, 2022). Render es una plataforma basada en la nube que permite publicar y alojar aplicaciones de varios tipos, cómo sitios estáticos, servidores web, y bases de datos. Render integra nativamente tecnologías cómo el entorno de ejecución Node.js (Fazt Web, 2023).

### **1.7.3 Base de datos**

Una base de datos es una recopilación de datos sistemática almacenada electrónicamente. Puede contener cualquier tipo de datos, incluidos palabras, números, imágenes, vídeos y archivos (AWS, 2024). MongoDB es una “base de datos de documentos que ofrece una gran estabilidad y flexibilidad, y un modelo de consultas e indexación avanzado”. Entre algunas de las características de esta base de datos gratuita se encuentran que almacena datos en documentos flexibles, con variación de campos entre documentos y la estructura de datos puede cambiarse con el tiempo. También el modelo de documento es asignado a los objetos en el código de la aplicación; la alta disponibilidad, escalabilidad horizontal y distribución geográfica están integradas y son fáciles de utilizar. MongoDB Atlas es una multi-nube de MongoDB que permite desplegar, ejecutar y escalar una base de datos (MongoDB, s.f.).

## **1.8 Guía de uso**

Una guía de uso o manual de usuario es un documento de comunicación técnica que permite comprender el funcionamiento de un producto o servicio a través de instrucciones en forma ordenada y concisa. En este tipo de documentos el autor prioriza utilizar un lenguaje ameno y simple que le permita al usuario abarcar la información de forma eficaz; suelen estar escritos en diversos idiomas, incluyendo información como textos, imágenes, diagramas, esquemas, etc. Estos documentos tradicionalmente se componen de una introducción, índice, información del producto o servicio, sección de limitaciones y solución de posibles problemas que pueden presentarse, datos de contacto, glosario, entre otros (Pérez, 2021).

# Capítulo 2: Metodología

En este capítulo se desarrolla la metodología de investigación utilizada para la elaboración del proyecto de graduación, indicando la clasificación del tipo de investigación, la definición de categorías empleadas, los sujetos y fuentes de información, técnicas e instrumentos de recolección de información.

## 2.1 Tipo de investigación

Según Ugalde-Binda y Balbastre-Benavent el propósito del proceso investigativo es “generar conocimiento a través de la resolución del problema establecido al inicio del estudio”; en donde la metodología de investigación se define como todas las decisiones que el investigador debe tomar para alcanzar sus objetivos, incluyendo aspectos como el diseño de la investigación, estrategia, muestra, métodos de recolección de datos, técnicas para análisis de información, etc. Los autores también mencionan que existen tres tipos de investigaciones: cuantitativa, cualitativa y mixta (2022, p. 180).

La investigación cualitativa se caracteriza por la comprensión de los hechos mediante métodos cualitativos con el fin de proporcionar un mayor nivel de comprensión de los motivos y creencias que están detrás de las acciones de las personas, caso contrario, la investigación cuantitativa se caracteriza por buscar el conocimiento de las causas mediante métodos como cuestionarios, inventarios y estudios demográficos que permiten el análisis estadístico (Zapparoli, 2003, p. 194). Una característica de la investigación cualitativa es su “poder exploratorio y propiedades explicativas”, en otras palabras, con la investigación cualitativa se puede abarcar un panorama más amplio profundizando en campos poco explorados con la capacidad de generar teorías, no solamente comprobar teorías ya propuestas (Ugalde-Binda y Balbastre-Benavent, 2022, p. 181-182).

Según Hernández Sampieri et al. (2014, p. 7) “los estudios cualitativos pueden desarrollar preguntas e hipótesis antes, durante o después de la recolección y el análisis de datos”. Algunas de las características propias del enfoque cualitativo es que se basa en métodos de recolección de datos no estandarizados, no se

manipula o estimula la realidad, se propone interactuar con los sujetos estudiados, los datos se analizan al mismo tiempo que se recolectan, la mayoría de los datos no son numéricos y las conclusiones se obtendrán según opinión propia, etc. Estos autores también mencionan que entre algunas de las técnicas que se utilizan para la recolección de datos está la observación no estructurada, entrevistas abiertas, revisión de documentos, discusión en grupo, evaluación de experiencias personales, registro de historias de vida, etc.

Con base en la información y características mencionadas anteriormente este proyecto de investigación se enmarca en el enfoque cualitativo; debido a que se utilizaron técnicas de recolección de información como cuestionarios aplicados a profesionales relacionados al ámbito de la construcción, observación no participante implementada a cuadrillas de trabajo del proyecto de obra gris en evaluación y la revisión de fuentes bibliográficas.

## **2.2 Categorías de investigación**

Según Strauss y Corbin las categorías son conceptos derivados de los datos, que representan fenómenos. Una categoría se define a partir de dos factores: propiedad y dimensión. Las propiedades son las características generales, específicas o atributos de una categoría; mientras que las dimensiones, representan la localización de una propiedad dentro de un rango. Definir una categoría con sus propiedades y dimensiones permite formular patrones con sus respectivas variaciones, estos patrones se forman cuando un grupo de propiedades se alinea a lo largo de varias dimensiones (2002, pp. 128-129).

Estos autores también mencionan que las categorías pueden dividirse en subcategorías, las cuales permiten hacer más específica a una categoría; integrando distinta información como, por ejemplo, cuándo, dónde, por qué y cómo es probable que ocurra un fenómeno. Cabe aclarar que las subcategorías también poseen propiedades y dimensiones. Por otro lado, el tema principal de una investigación es representado por una "categoría central", la cual debe relacionarse con todos los conceptos o categorías de la investigación y explicar al lector "de qué trata la investigación" (2002). Por lo que teniendo en cuenta las definiciones anteriores, la categoría central de esta investigación específicamente es la productividad de mano de obra, formada por las subcategorías de Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance, que son los métodos de productividad de mano de obra evaluados en esta investigación. También existe otra categoría que es el rendimiento enfocado en la mano de obra, que se obtiene después de realizar las capturas de datos de productividad.

## 2.3 Sujetos de información

Inicialmente se recolectó información a partir de un cuestionario presentado a profesionales relacionados al área de la construcción, con el cual se identificaron los elementos requeridos para la medición de la productividad de mano de obra que son indispensables para registrar, analizar y calcular la productividad de un proyecto constructivo.

Para comprobar la efectividad de la herramienta digital elaborada, se realizaron mediciones de tiempos de productividad en un proyecto de construcción en etapa de obra gris. Para llevar a cabo estas mediciones, el tamaño de muestra utilizado fue de 2 a 6 personas, esto debido a que se tomaban mediciones en intervalos de 1 minuto, por lo que monitorear a más de 6 personas a la vez es una tarea compleja. La determinación del tamaño de la muestra para el cuestionario se cataloga como dirigida, debido a que los sujetos de información estaban previamente definidos de acuerdo con los perfiles y características de los profesionales del ámbito de la construcción, estos sujetos se muestran en el cuadro 2, cabe aclarar que las preguntas y respuestas del cuestionario realizado se encuentran en el apéndice 1.

Los sujetos seleccionados para la elaboración del cuestionario cumplen con una gran diversidad de perfiles debido a que se incluyeron ingenieros civiles, ingenieros en construcción, maestros de obras, arquitectos, ingenieros y técnicos en salud ocupacional. Esto debido a que tradicionalmente para este tipo de investigaciones suele utilizarse información únicamente procedente de los ingenieros y gerentes de los proyectos, sin embargo, los maestros de obras son los que más involucrados están en todas las actividades de los procesos constructivos y logran identificar acertadamente las deficiencias en estos procesos. También se incluyeron profesionales pertenecientes al ámbito de salud ocupacional, ya que, gran parte de los tiempos improductivos son ocasionados por deficiencias e inexistencias de medidas de seguridad, como por ejemplo si la actividad es en altura, es indispensable utilizar el arnés y suele ser común que en proyectos privados y de menor escala no se les exija este tipo de equipos.

Por otra parte, el rango de experiencia en el ámbito constructivo de los encuestados es amplio debido a que la perspectiva de un recién graduado y de un gerente de proyecto suele ser considerablemente variable, por lo que se optó por considerar la mayor variabilidad de perspectivas requeridas. Dentro de las empresas constructoras seleccionadas se incluyeron empresas ampliamente reconocidas como Eliseo Vargas hasta empresas de menor escala que permitan capturar la mayor cantidad de información posible. A continuación, se presenta el cuadro 2 en el que se incluye la información más importante de los sujetos y empresas seleccionadas.

<b>Cuadro 2. Sujetos, empresas e información por suministrar.</b>				
<b>Sujeto de información</b>	<b>Título Profesional</b>	<b>Experiencia (años)</b>	<b>Empresa</b>	<b>Información por suministrar</b>
Cristopher Cruz Rosales.	Ingeniería en Construcción	8	Code Development Group	Respuestas del cuestionario realizado.
Gerardo Rodríguez Blanco	Ingeniería en Construcción	23	Code Development Group	Respuestas del cuestionario realizado.
Carlos Roberto González Herrera.	Ingeniería en Construcción	2	Independiente	Respuestas del cuestionario realizado.
Alfonso Calderón León.	Ingeniería Civil	27	C y C Ingeniería	Respuestas del cuestionario realizado.
José David Rangel Villafuerte.	Maestro de Obras	37	Constructora Rangel y Villafuerte S.A.	Respuestas del cuestionario realizado. Información general del proyecto constructivo Hermosita.
Ariel Martínez Gutiérrez	Arquitectura	9	Independiente.	Respuestas del cuestionario realizado.
Andrés Esteban Batista Cascante.	Ingeniería Civil	6	Eliseo Vargas Constructora.	Respuestas del cuestionario realizado.
Marvin Eduardo Castro Angulo.	Maestro de Obras	35	Eliseo Vargas Constructora.	Respuestas del cuestionario realizado.
Dalthon Vinicio Álvarez González.	Ingeniería en Construcción	2	Eliseo Vargas Constructora.	Respuestas del cuestionario realizado.
Sara Vanessa Baltodano Morales.	Ingeniera en Salud Ocupacional	5	Eliseo Vargas Constructora.	Respuestas del cuestionario realizado.
Tarick Barrantes Angulo.	Arquitectura	24	TAB Arquitectura y Construcción.	Respuestas del cuestionario realizado. Información general del proyecto constructivo Hermosita.
Pamela Córdoba Granados.	Técnico en salud ocupacional e higienista ambiental	3	Electromecánica CR.	Respuestas del cuestionario realizado.

Por otra parte, toda la información obtenida de carácter general fue brindada por el Arquitecto Tarick Barrantes. En el anexo 1 se encuentra un documento redactado por el arquitecto donde se indica los días en los que se realizaron mediciones de productividad y las actividades correspondientes. Cabe aclarar que las actividades disponibles para medir productividad en el proyecto Hermosita fueron indicadas por el maestro de obras del proyecto, José David Rangel.

## 2.4 Fuentes de información

Según Torres et al. (s.f.) las fuentes de información son “todos aquellos medios de los cuales procede la información, que satisfacen las necesidades de conocimiento de una situación o problema presentado, que posteriormente será utilizado para lograr los objetivos esperados”. Estas fuentes se pueden clasificar como primarias o secundarias según su origen. Cuando los datos provienen directamente de la población o muestra de la población se clasifica en fuente primaria; mientras que cuando provienen de datos pre-elaborados la fuente se clasificaría como secundaria, tal como es el caso de anuarios estadísticos, Internet, medios de comunicación, etc.

En el caso de fuentes primarias, estas pueden catalogarse como observación directa o indirecta; en las observaciones directas el investigador toma directamente los datos de la población sin utilizar cuestionarios o entrevistas y en las observaciones indirectas se utilizan cuestionarios, entrevistas y demás técnicas para recolección de información las cuales se definen más adelante. Por lo que, en resumen, si la información no ha sido procesada o modificada por otros sujetos, y viene de una fuente primaria o es información de primera mano, entonces la fuente se clasifica como primaria.

Las principales fuentes de información de esta investigación se utilizan principalmente en el objetivo 1 con la recolección de información a partir de los cuestionarios realizados a los profesionales de la construcción, y también en el objetivo 3, en el cual se realizan las mediciones de tiempos productivos de mano de obra en el proyecto constructivo. Las fuentes primarias y secundarias utilizadas para la elaboración de esta investigación se mencionan a continuación.

### 2.4.1 Fuentes primarias

- Resultado del cuestionario realizado al ingeniero Christopher Cruz Rosales, de la empresa Code Development Group.
- Resultado del cuestionario realizado al ingeniero independiente Carlos Roberto Gonzáles Herrera.
- Resultado del cuestionario realizado al ingeniero Andrés Esteban Batista Cascante, de la empresa Eliseo Vargas Constructora.
- Resultado del cuestionario realizado al arquitecto Tarick Barrantes Angulo, de la empresa TAB Arquitectura y Construcción.
- Resultado del cuestionario realizado a la Ing. Sara Vanessa Baltodano Morales, de la empresa Eliseo Vargas Constructora.

- Resultado del cuestionario realizado al Maestro de Obras David José Rangel Villafuerte propietario de la Constructora Rangel y Villafuerte S.A.
- Resultado del cuestionario realizado al Ing. Alfonso Calderón León Gerente de la empresa constructora C y C Ingeniería.
- Observaciones, notas de campo y mediciones de productividad de las cuadrillas del proyecto constructivo Hermosita.

## **2.4.2 Fuentes secundarias**

- Documentos de internet con información confiable obtenidos en buscadores como Google Académico, Redalyc, Dialnet, etc.
- Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022.
- Documentos con información confiable obtenidos en las bases de datos electrónicas suscritas del Sistema de Bibliotecas del Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Documentos en formato digital como tesis, informes de investigación y publicaciones académicas del Repositorio del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

# **2.5 Técnicas e instrumentos de recolección**

A continuación, se mencionan las técnicas e instrumentos que se utilizaron para la ejecución del proyecto de investigación, incluyendo definiciones y la justificación de las técnicas seleccionadas.

## **2.5.1 Observación**

Como menciona Hernández Sampieri et al. (2014, pp. 399-403) la observación de tipo cualitativa “implica adentrarnos profundamente en situaciones sociales y mantener un papel activo, así como una reflexión permanente. Estar atento a los detalles, sucesos, eventos e interacciones.” Entre algunas características de

esta técnica se encuentra: explorar y describir ambientes, comprender procesos y experiencias, identificar problemas sociales y generar hipótesis para estudios futuros.

Para llevar a cabo las observaciones inicialmente debe definirse el papel del observador, el cual puede clasificarse como: no participación, participación pasiva, participación moderada, participación activa o participación completa. Para el caso de esta investigación la técnica utilizada fue la observación pasiva y el instrumento utilizado en la medición de tiempos de productividad fue propiamente la herramienta digital elaborada, el acceso a esta herramienta se encuentra más adelante en la sección 2.6.2.2.

## **2.5.2 Cuestionario**

Según Guerrero-Bejarano el cuestionario es un instrumento utilizado para “obtener la opinión de grupos numerosos que podrían colaborar invirtiendo tiempo mínimo”. En general se recomienda que este no se extienda a más de 30 preguntas, debe ser planificado y diseñado con meticulosidad para obtener la información necesaria, se compone de preguntas de tipo cerrada, abierta y de opción múltiple. (2016, p.7)

En el caso de esta investigación, se realizó un cuestionario a 20 profesionales relacionados al ámbito de la construcción, las preguntas fueron de tipo opción múltiple, se realizaron 16 preguntas en total. El cuestionario se aplicó de forma digital mediante la aplicación “Google Forms” y en su mayoría se envió por WhatsApp. Las preguntas y respuestas de este cuestionario se encuentran en el apéndice 1.

## **2.5.3 Revisión documental.**

Los documentos, materiales, registros y artefactos son una fuente muy valiosa de datos cualitativos que permiten ayudar a comprender el fenómeno central de estudio y conocer los antecedentes de un ambiente, vivencias o situaciones que se producen en él. Estos elementos pueden ser cartas, diarios personales, fotografías, grabaciones de audio y video, expresiones artísticas, archivos, etc. (Hernández Sampieri et al, 2014, p. 415).

Para el caso de esta investigación, inicialmente se efectuó una revisión documental a la “Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022”, con el fin de identificar los elementos para elaborar la herramienta digital propuesta. Para realizar las mediciones de tiempos de

productividad en sitio, se emplearon instrumentos como fotografías y grabaciones de video con el fin de respaldar la información obtenida, incluyendo la fecha y hora en las que se midieron.

## **2.6 Análisis y procesamiento de la información**

A continuación, se presentan las herramientas para llevar a cabo las técnicas e instrumentos de medición mencionados en la sección anterior. También una descripción del proceso de análisis y productos esperados obtenidos a partir de la ejecución de los objetivos planteados para esta investigación.

### **2.6.1 Presentación de resultados**

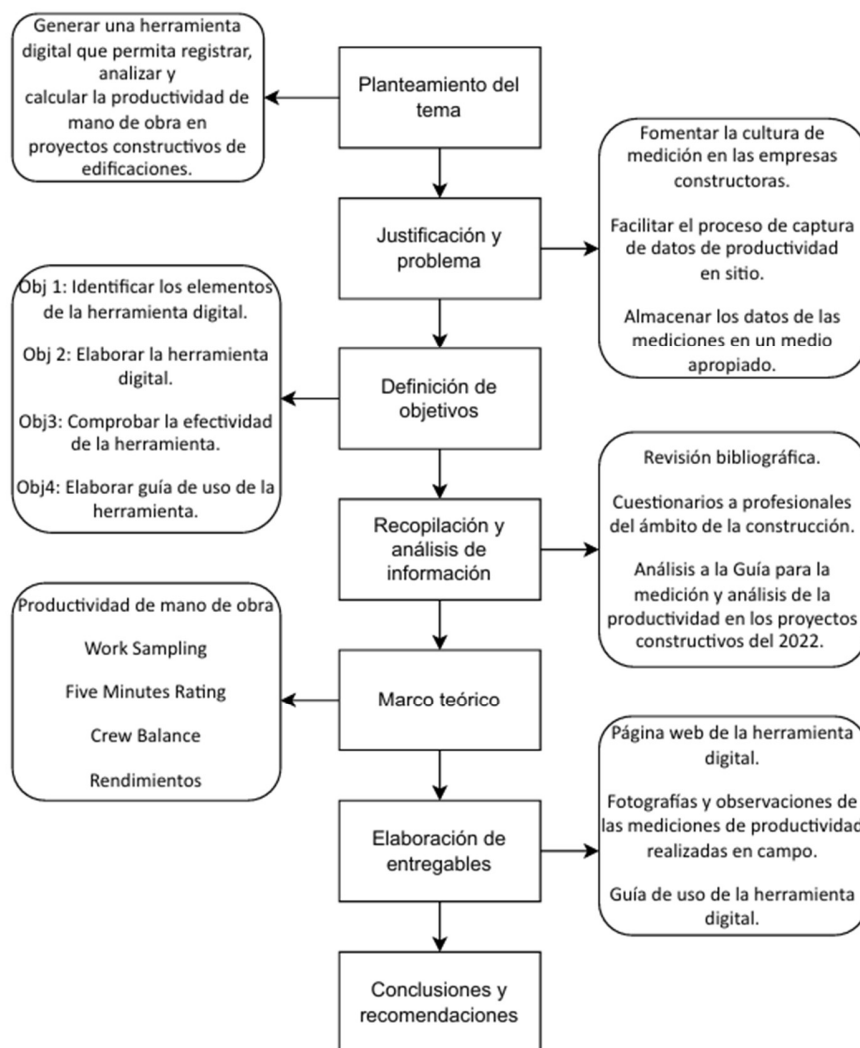
A continuación se indica las formas en que se van a presentar los resultados:

- Gráficos de barras: A partir de la información obtenida de los cuestionarios realizados por Google Forms se graficó el resultado de cada pregunta en un gráfico de barras horizontal, con el fin de comparar y analizar la opinión de los colaboradores consultados.
- Gráficos pastel: Los porcentajes de productividad obtenidos en campo mediante las mediciones realizadas y clasificadas en tiempos productivos, contributivos y no productivos, se representaron por medio de gráficos tipo pastel. Este tipo de gráfico se empleó en los tres métodos de medición de productividad propuestos.
- Cálculos de probabilidad y estadística: Se utilizaron fórmulas de probabilidad y estadística para obtener los porcentajes de productividad y clasificar la actividad según su productividad. También se utilizaron estas fórmulas para calcular el rendimiento. Todas estas fórmulas se encuentran implícitas en la herramienta digital.
- Tablas y cuadros: Para esta investigación las tablas se utilizaron cuando la información contenida en su mayoría es numérica, y el contenido de los cuadros es principalmente texto.

## 2.6.2 Descripción del proceso de análisis

En este apartado se desarrolla el proceso de la metodología empleada para el proyecto de investigación, se dividió la metodología en los objetivos del proyecto para diferenciar cada etapa más fácilmente. Para representar este proceso en la figura 6 se muestra un flujograma con el resumen de todas las etapas del proyecto.

Figura 6. Diagrama de la metodología de investigación del proyecto.



### **2.6.2.1 Elementos de la herramienta digital**

En primera instancia, con la finalidad de recopilar información necesaria para definir las técnicas de medición de productividad de mano de obra más utilizadas por los estudiantes y profesionales se realizó una revisión bibliográfica de los proyectos de investigación del Tecnológico de Costa Rica que incluían algún método para medir productividad de mano de obra. La información teórica utilizada para la confección de la herramienta digital se tomó del proyecto de investigación “Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022”, de Pablo Ramírez estudiante del TEC. Se revisó la información contenida en el documento con el fin de seleccionar los elementos que debía incluir la herramienta digital para funcionar correctamente. Inicialmente se clasificó la información contenida en la guía delimitando los conceptos de las secciones que competen a la herramienta digital, se incluyeron los tres métodos de medición de productividad utilizados por este autor correspondientes a Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance. Existen otros métodos para medición de productividad como el Field Rating, pero la información encontrada en internet es limitada y no se encontraron proyectos de investigación del TEC en los que se utilizara algún otro método de medición para incluirlo en la herramienta.

Las plantillas de medición de productividad utilizadas por este autor también sirvieron de base para la creación de las hojas de análisis de la herramienta utilizando la información concerniente a los datos iniciales que se deberían incluir en las observaciones como la fecha, hora, lugar, etc. Para la presentación de resultados, la mayoría de las referencias bibliográficas consultadas utilizan gráficos tipo pastel para representar los porcentajes de tiempos productivos de los métodos Work Sampling y Five Minutes Rating; y para el caso de Crew Balance tradicionalmente se utiliza un gráfico de columnas 100% apiladas, pero también pueden utilizarse otros tipos de gráficos como el tipo pastel, siempre y cuando se cumpla con los requisitos del método que es representar todas las actividades que fueron parte de la tarea observada.

Por otra parte, como otra técnica de recolección de información se implementó un cuestionario por medio de la herramienta Google Forms, este constó de 16 preguntas ligadas al tema de productividad, procurando incluir en la investigación a empresas consolidadas ampliamente en el sector laboral y empresas pequeñas con proyectos a menor escala. Este cuestionario se suministró a 20 profesionales con experiencia en proyectos constructivos, incluidos ingenieros civiles, gerentes de proyectos constructivos, contratistas, maestros de obras, ingenieros y técnicos en seguridad y salud ocupacional, arquitectos, asistentes de ingeniería, etc. De las 20 personas a las que se les solicitó completar el formulario, únicamente se recolectaron 16 respuestas en total, la información de las personas encuestadas se encuentra en la sección 2.3 de este proyecto de investigación. La información recolectada en el cuestionario se utilizó como complemento de la investigación realizada para seleccionar los elementos que incluiría la herramienta digital.

### **2.6.2.2 Elaboración de la herramienta digital**

Inicialmente se buscó en internet información para desarrollar páginas web, dentro del material académico disponible se encontró Udemy; que es una plataforma que permite comprar miles de cursos en línea de diferentes categorías como desarrollo web, música, finanzas, diseño, marketing, etc. Por lo que se adquirió el curso llamado “The Web Developer Bootcamp 2024”, en el cual se puede aprender sobre el desarrollo de aplicaciones web incluyendo tecnologías como HTML, CSS, JavaScript, Node, MongoDB, etc. Las tecnologías escogidas para el desarrollo de la aplicación fueron basadas en las tecnologías que este curso implementaba. El desarrollo colectivo de la herramienta se realizó en el editor de código Visual Studio Code.

Se determinaron los requerimientos básicos de la aplicación web a partir de los formularios de productividad creados por Ramírez (2022), por ejemplo, los datos que se requerían almacenar, mostrar y calcular. Los tipos de datos requeridos para la aplicación se definieron anticipadamente, como por ejemplo que el coeficiente de variación sería un número de tipo decimal y la humedad sería un número entero. Para el desarrollo del servidor se utilizó Node.js y el paquete Express para manejar las solicitudes HTTP. Se creó el servidor con una configuración inicial básica que permitiera verificar el correcto funcionamiento de este.

Posteriormente se determinó el flujo de datos para tener una visualización del funcionamiento de la aplicación. Para el desarrollo de la interfaz se utilizó HTML5, CSS3 y JavaScript en conjunto debido a que es el estándar para el desarrollo de aplicaciones web. A partir del flujo y tipo de datos definidos previamente, se creó una interfaz básica que funcionara como un punto de partida. Para permitir contenido dinámico en la interfaz se utilizó EJS. Con los tipos de datos se crea la base de datos en MongoDB, y para permitir la comunicación de esta con el servidor se utilizó el paquete Mongoose. Se realizaron pruebas iniciales con datos ficticios para validar el correcto funcionamiento de la base de datos y la integridad de los datos. Se procede a programar los módulos de la herramienta y todas sus funciones. Por último, utilizando Render y MongoDB Atlas, se publicó la herramienta. En el siguiente enlace permite el acceso gratuito y público a la herramienta digital:

<https://proyecto-jacqui-2.onrender.com/analisis>

### **2.6.2.3 Comprobación de la herramienta digital**

Para llevar a cabo el tercer objetivo, se seleccionó el proyecto constructivo Hermosita, que se encuentra ubicado en Playa Hermosa, Garabito. Inicialmente se realizó una visita a campo para comprobar que el edificio aún estuviera en la etapa de obra gris, el arquitecto encargado de la construcción del proyecto mencionó que el

proyecto se está construyendo por etapas, la primer etapa que era la obra gris del área más grande del proyecto estaba comenzando con los acabados, sin embargo, el dueño del proyecto decidió incluir tres habitaciones más en la planta de arriba, por lo que se pudieron medir algunas actividades de obra gris como repello de paredes, colocación de formaleta en columnas y vigas, colado de elementos estructurales, etc. Debido a que en el proyecto constructivo se encontraban actividades tanto de obra gris como acabados, se realizaron mediciones de productividad en las actividades más importantes que se encontraran en ejecución los días de medición en sitio, con el fin de extender el alcance de la herramienta a acabados también.

Las técnicas de recolección de información para este objetivo fueron la observación de los tiempos de productividad en sitio, las fotografías y grabaciones de video. Para recopilar la información de las observaciones se utilizó la herramienta digital desarrollada, y para el caso de las fotografías y grabaciones de video se utilizó la aplicación de cámara del dispositivo móvil en el que se registró la información en sitio. A partir de cada visita realizada en sitio, se llevaron a cabo las pruebas necesarias para comprobar el funcionamiento de la herramienta, con el fin de identificar todas las correcciones que debían realizarse en la interfaz.

Debido al tiempo disponible para la ejecución del proyecto de investigación únicamente se realizaron 7 pruebas en total. La información recolectada en campo mediante la herramienta digital se encuentra en el apéndice 2, se implementaron tablas con un resumen de esta información en este objetivo, con el fin de que no se omita información importante durante el análisis de las pruebas. La veracidad de las visitas a sitio puede verificarse en el anexo 1, que corresponde a un documento elaborado por el arquitecto del proyecto con el registro de las visitas a sitio.

#### **2.6.2.4 Guía de uso de la herramienta**

Para completar los entregables del proyecto propuesto, el último objetivo consta de elaborar una guía de uso de la herramienta digital para la medición de la productividad de obra gris en proyectos de edificaciones. Después de comprobar que la herramienta es efectiva y modificar los últimos cambios, se procedió a elaborar la guía de uso de la herramienta digital, esto con el fin de que el usuario conozca el alcance y las restricciones que posee la página web.

A partir de la sección 1.9 en el marco teórico, se determinó la estructura de la guía en la que inicialmente se creó el índice del documento y la introducción. Se dedicaron algunas páginas a la teoría básica que el usuario debe conocer antes de utilizar la herramienta. Las instrucciones de la guía se redactaron por secciones con sus respectivas indicaciones y ejemplos con el fin de aclarar que datos pueden utilizarse y en que formato se digitan. Por último, se agregaron algunas restricciones que posee la herramienta y el manejo de errores.

El contenido teórico de la guía se definió a partir del cuestionario realizado en el primer objetivo, específicamente se tomó la información de las preguntas 1, 6, 8, 9, 10 y 13; las preguntas y respuestas se encuentran en el apéndice 1, mientras que el análisis de estas se encuentra en la sección 3.1.2. A partir de esta información se decidió agregar a la guía una sección para explicar la definición y características de cada método de medición de productividad, la diferencia entre los tiempos de trabajo, y los porcentajes ideales de productividad.

# Capítulo 3: Resultados y análisis

En este capítulo se presentan los resultados y análisis obtenidos a partir de la metodología planteada anteriormente. Se dividió el capítulo en cuatro secciones generales correspondientes a los objetivos delimitados en la introducción.

## 3.1 Identificación de elementos de la herramienta digital

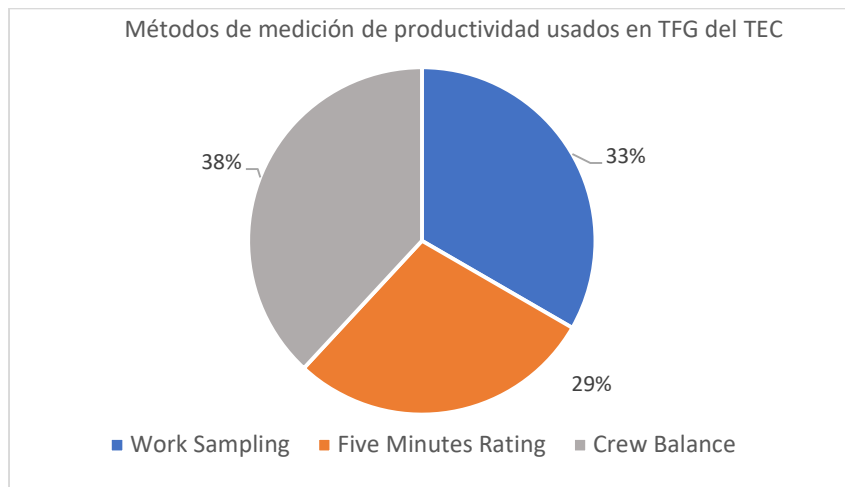
Para el desarrollo del primer objetivo de esta investigación, el cual fue identificar los elementos que incluiría la herramienta digital, inicialmente se realizó una revisión bibliográfica de las técnicas de medición de productividad más utilizadas con el fin de delimitar las que se incluirían en la herramienta. Para esto se utilizó un cuadro comparativo donde se incluyeron los primeros 15 proyectos de investigación que aparecieron en el Repositorio del TEC cuando se busca el texto “Productividad AND Construcción”, con el fin de identificar los métodos de medición de productividad más utilizados, este cuadro con la comparación se muestra a continuación:

**Cuadro 3.** Comparación de la teoría consultada en proyectos de investigación del TEC.

Proyectos de investigación	Work Sampling	Five Minutes Rating	Crew Balance	Otros	Año
Núcleo integrado de diseño industrial			X		2016
Guía para la medición y análisis de productividad	X	X	X		2022
Estimación productividad y costos Macoma S.A					2018
Propuesta para Scala de Edica Ltda.		X			2023
Estimación rendimiento y productividad Municipalidad de Buenos Aires					2019
Desarrollo propuesta Grupo Constructora JDD Ltda.		X			2022
Herramienta Rotonda de la Bandera		X			2022
Propuesta mejoramiento Volio y Trejos	X	X	X		2018
Análisis rendimiento y productividad Country Day School	X		X		2016
Propuesta de mejoramiento losas postensadas.	X	X	X		2014
Estudio productividad Nuevo Edificio de Residencias del TEC	X				2016
Estudio productividad y rendimientos Grúa Torre	X		X		2007
Estudio de rendimientos Muros de Gaviones	X		X		2019
Medición y análisis de productividad Centro de Distribución 54000 m2.				SINA y AP	2012
Medición y mejoramiento Condominio Vertical Residencial Q-BO			X		2016

A partir del cuadro anterior, se encontró que únicamente 3 trabajos de investigación de los 15 totales evaluados emplearon las 3 técnicas, y que otros 3 trabajos emplearon Work Sampling y Crew Balance en conjunto. Por otro lado, un trabajo de investigación en específico no utilizó un método para medición de productividad como tal, si no, que utilizó dos herramientas para la medición de productividad llamadas SINA y AP. Para representar de manera más sencilla la información mencionada en el cuadro anterior, se elaboró un gráfico tipo pastel para identificar los porcentajes en los que estos métodos fueron empleados, la figura se muestra a continuación.

**Figura 7.** Métodos de medición de productividad de mano de obra utilizados en proyectos de investigación del TEC

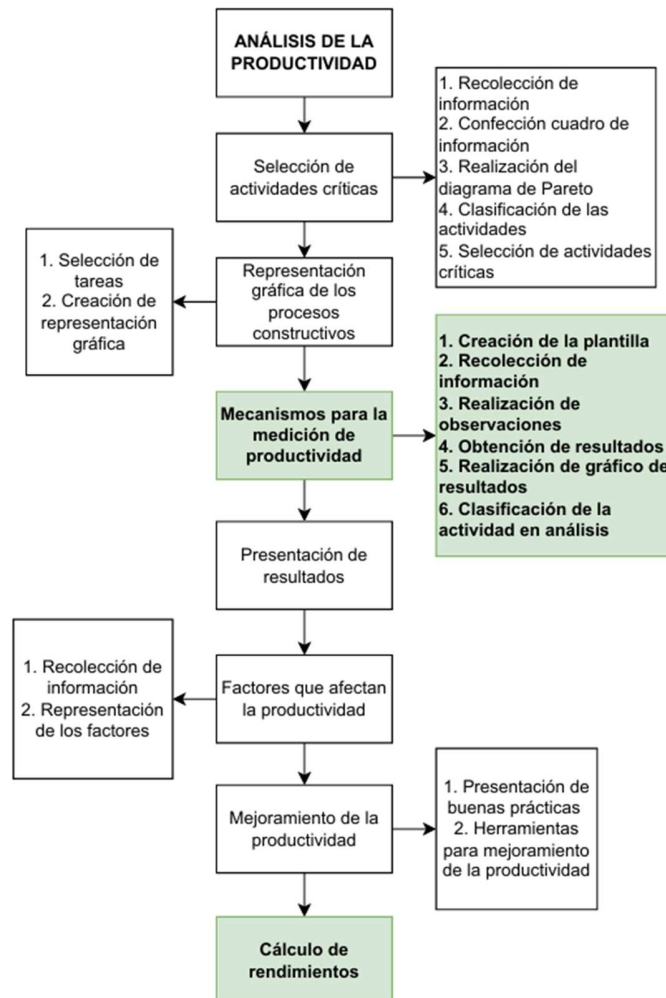


Como se puede apreciar en la figura 7, el método más empleado es Crew Balance con un 38%, esto siendo lo esperado debido a que es el método del que más información se puede obtener en los procesos constructivos, seguido por Work Sampling con 33% y Five Minutes Rating con 29%. Por lo que a partir de la información presentada anteriormente se determinó crear la herramienta digital con los tres métodos de medición de productividad más utilizados según el cuadro 3, debido a que no difiere en gran cantidad la utilización de los métodos comparados entre sí.

### **3.1.1 Revisión de la Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos.**

Continuando con el desarrollo del primer objetivo, para determinar el flujo de datos que presentaría cada método de medición se utilizó como referencia la “Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022”, de Pablo Ramírez estudiante del TEC, la guía en específico se encuentra desde la página 75 hasta la 167 del proyecto de investigación de Ramírez. Para representar la información contenida en esta guía de forma lógica y sencilla se realizó el siguiente diagrama en la figura 8.

**Figura 8.** Diagrama del contenido en la Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022.



Antes de revisar la información contenida en el diagrama, cabe aclarar que los cuadros color verde indican que la información se incluirá en el desarrollo de la herramienta digital y que los cuadros en blanco forman parte de la guía de Ramírez, pero no es información concerniente al alcance de este proyecto. La guía contiene diferentes secciones, en la cual inicialmente se mencionan conceptos relacionados a la productividad y tiempos en los procesos constructivos. La primera sección es de selección de actividades críticas en donde se indica que debe realizarse un análisis económico previo en cuadros de información, luego clasificar las actividades a partir de un diagrama de Pareto, y finalmente seleccionar las actividades críticas. La segunda sección se compone de la representación gráfica de los procesos constructivos, los cuales pueden representarse mediante diagramas de flujo o ciclos de procesos.

La tercera sección, es la base central de este proyecto de investigación, ya que la mayoría de la información contenida aquí forma parte de la Herramienta Digital propuesta "Calculador WFC". En los mecanismos para la medición de productividad, inicialmente se mencionan casos en los que se deben utilizar los diferentes métodos de medición y recomendaciones para llevar a cabo las mediciones como no realizarlas 30 minutos antes o después de los descansos o tiempos de comida, no realizarlas 30 minutos después de iniciar labores y 30 minutos antes de la salida.

Se menciona también que para cualquier tipo de medición debe colocarse las condiciones iniciales del proyecto, tales como actividad a realizar, proceso al que pertenece, fecha, hora, lugar, clima, temperatura, humedad, número de trabajadores en la cuadrilla a observar, intervalos de medición, número de observaciones, equipo utilizado, etc. Todas estas condiciones iniciales se implementaron en la herramienta, la única que no posee un espacio asignado es equipo utilizado, pero si se desea puede agregarse en algún momento de la observación como un comentario, puede ser en la primera observación o en la última, por ejemplo.

Ahora bien, a partir de la página 19 de la guía, se encuentran las técnicas cuantitativas para la medición de productividad. Se inicia con la técnica Work Sampling, en la cual Ramírez menciona que este método se utiliza para identificar causas de improductividad en un proceso constructivo o si es necesario modificar el número de integrantes en la cuadrilla. También menciona que este método únicamente puede emplearse para valorar la productividad de una cuadrilla en general, y no se puede evaluar a un trabajador individualmente. En este método las observaciones no están determinadas por el tiempo sino por la clasificación de una acción, en total se realizan como mínimo 385 observaciones.

El primer punto de esta sección es la creación de plantillas, por lo que a continuación se presenta la plantilla correspondiente a este método elaborada por Ramírez (2022), estas plantillas fueron subrayadas para clasificar y determinar de forma más fácil los elementos que contiene cada una e implementarlos en la herramienta digital propuesta, como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Plantilla de Work Sampling.

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN CAMPO			
<b>Datos Generales</b>			
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			

**CANTIDAD DE OBSERVACIONES**

**INGRESO DE OBSERVACIONES DE TIEMPOS DE TRABAJO**

Fuente. Ramírez Salas. (2022)

En la Plantilla de Work Sampling se observa que contiene casillas para colocar los datos iniciales de las condiciones del proyecto a medir, una casilla para colocar el equipo utilizado, una columna para colocar el número de las observaciones realizadas, una columna para colocar en la casilla con una “X” si la observación es productiva o improductiva y finalmente una columna para comentarios; en este caso las observaciones contributivas se toman únicamente como improductivas, ya que este método no permite clasificar las observaciones contributivas. En la casilla de comentarios tradicionalmente se coloca información como los factores y causas de improductividad.

Luego de colocar la información inicial de la medición y realizar las observaciones en la plantilla, se procede a obtener los resultados de este método, se obtienen los porcentajes de trabajo productivo e improductivo, posteriormente se representan estos porcentajes en un gráfico tipo pastel, y por último se clasifica

la eficiencia de la actividad. Todo este proceso en la herramienta digital propuesta se realiza de la misma forma, sin embargo, no se tomó en cuenta la tabla que utiliza Ramírez para clasificar eficiencia en las actividades.

En segunda instancia, Ramírez menciona que el método de Five Minutes Rating utiliza una frecuencia promedio de 5 minutos, con el fin de evaluar rápidamente el nivel de productividad de una cuadrilla y que debe mantenerse un mínimo de 385 observaciones. Si se intenta seguir ambas recomendaciones al mismo tiempo se tardaría muchas horas en completar el procedimiento, dependiendo la actividad que se esté evaluando es muy probable que finalice antes de completar las 385 observaciones, por lo que la frecuencia y la cantidad de observaciones pueden ser modificadas. Los resultados del método se obtienen mediante porcentajes de cada tiempo de trabajo para cada trabajador representados en gráficos pastel, y por último se elabora un gráfico pastel de la cuadrilla en general. En la figura 10 se muestra la plantilla de Five Minutes Rating elaborada por Ramírez.

Figura 10. Plantilla de Five Minutes Rating.

The diagram illustrates the 'ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN CAMPO' template. It features a central table with several sections and four callout boxes indicating data entry points:

- INGRESO DE DATOS INICIALES** (Initial Data Entry): Points to the 'Datos Generales' section of the top table.
- DESCRIPCIÓN DE TRABAJADORES** (Worker Description): Points to the 'Descripción de trabajadores' section of the top table.
- CANTIDAD DE OBSERVACIONES Y TRABAJADORES HORA DE CADA OBSERVACIÓN** (Number of observations and workers per hour): Points to the 'Trabajadores presentes' and 'Hora' columns of the main observation table.
- INGRESO DE OBSERVACIONES DE CADA TRABAJADOR** (Worker-specific observations): Points to the grid of columns for individual workers (Trabajador 1, 2, 3, 4, ...).

The main table structure is as follows:

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

Fuente. Ramírez Salas. (2022)

La plantilla anterior incluye un espacio para ingresar los datos iniciales, un espacio para colocar la descripción de cada trabajador, un espacio para colocar el equipo, columnas para colocar la cantidad de observaciones, la hora y los trabajadores presentes en el momento de cada observación, por último cuenta con columnas para indicar con una "X" si la acción que realiza cada trabajador es productiva, contributiva o improductiva, incluyendo una columna de comentarios para ingresar posibles razones de improductividad.

En última instancia, en el método Crew Balance, Ramírez menciona que este permite mantener simultáneamente observación sobre todos los miembros de la cuadrilla, anotando los tiempos productivos, contributivos y no productivos de cada trabajador de la cuadrilla en una misma hoja o plantilla. Al igual que en el método anterior se coloca inicialmente los datos del proyecto, para la realización de observaciones, este autor menciona que es recomendable utilizar videos para recuperar todos los movimientos de los trabajadores durante la medición. Por otro lado, no menciona un límite de la cantidad de trabajadores que pueden observarse al mismo tiempo en una medición, solo recomienda utilizar cuadrillas pequeñas por la complejidad que implica el método mismo.

Otro aspecto importante que menciona es que hay que limitarse a las actividades definidas en el encabezado de la plantilla, sin embargo, las actividades durante la medición de una tarea suelen ir apareciendo conforme se realiza la medición y suele utilizarse abreviaturas cuando se están implementando tablas de Excel en campo, ya que, dependiendo de la frecuencia de muestreo definida, puede volverse sumamente complejo este proceso. Para este método, Ramírez también recomienda realizar como mínimo 385 observaciones, este factor debería de investigarse ampliamente debido a que, si se establece que la frecuencia de muestreo es de 1 minuto, se tardaría más de 6 horas en llevarse a cabo el total de las mediciones, donde claramente se vería interrumpida por los descansos y tiempos de comida. Por otra parte, en caso de que la cuadrilla sea de 6 personas y la frecuencia establecida de 15 segundos, sería muy complicado mantener una observación constante sobre todos los involucrados si no se cuenta con respaldo fotográfico, aclarando que no es obligatorio de emplear cuando se realizan las observaciones.

Como se mencionó en la sección 1.5.3 de esta investigación, no se recomienda observar a más de 8 personas al mismo tiempo y deben realizarse como mínimo 30 observaciones con una frecuencia de 1 minuto. Por lo que, la forma en realizar las observaciones variará dependiendo las recomendaciones que deseen seguirse y también conforme la experiencia que se obtenga a partir de las mediciones de productividad de mano de obra que se vayan realizando. En la figura 11 se presenta la plantilla de este método elaborada por Ramírez.

Figura 11. Plantilla de Crew Balance.

**ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN CAMPO**

INGRESO DE DATOS INICIALES				DESCRIPCIÓN DE TRABAJADORES		DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DE LA MEDICIÓN		
Datos Generales				Descripción de trabajadores		Actividades		
Nombre del proyecto:		Fecha:		Trabajador 1		TP	TC	TI
Actividad a evaluar:		Hora inicio:		Trabajador 2				
Técnica empleada:		Hora final:		Trabajador 3				
Ubicación del proyecto:		Clima:		Trabajador 4				
Tamaño de la cuadrilla:		Temperatura:		Trabajador 5				
Frecuencia de muestreo:		Humedad:						

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							

<b>CANTIDAD DE OBSERVACIONES HORA DE CADA OBSERVACIÓN</b>	<b>INGRESO DE OBSERVACIONES DE CADA TRABAJADOR</b>
---	--

Fuente. Ramírez Salas. (2022)

Al igual que en los métodos anteriores, la plantilla de la figura 11 posee un espacio para colocar los datos iniciales de la medición, contiene un espacio para colocar la descripción de los trabajadores, otro espacio para colocar la descripción de actividades de la medición, que este espacio podría ser utilizado para referenciar abreviaturas y utilizarlas cuando se está llenando la plantilla con las observaciones, por ejemplo la actividad “Descanso” podría abreviarse como “DE” y la actividad “Desplazamientos Largos” como “DL”; este método suele ser ampliamente utilizado en las empresas que requieren realizar mediciones de productividad constantemente.

Continuando con la plantilla, también posee una columna para ingresar la cantidad de observaciones y la hora en la que se realizaron, por último, la plantilla también posee columnas para ingresar la actividad que realiza cada trabajador con su respectiva casilla de comentarios, por ejemplo, hidratación, descanso, traslado de material, armado de columnas, colado de losa, etc.

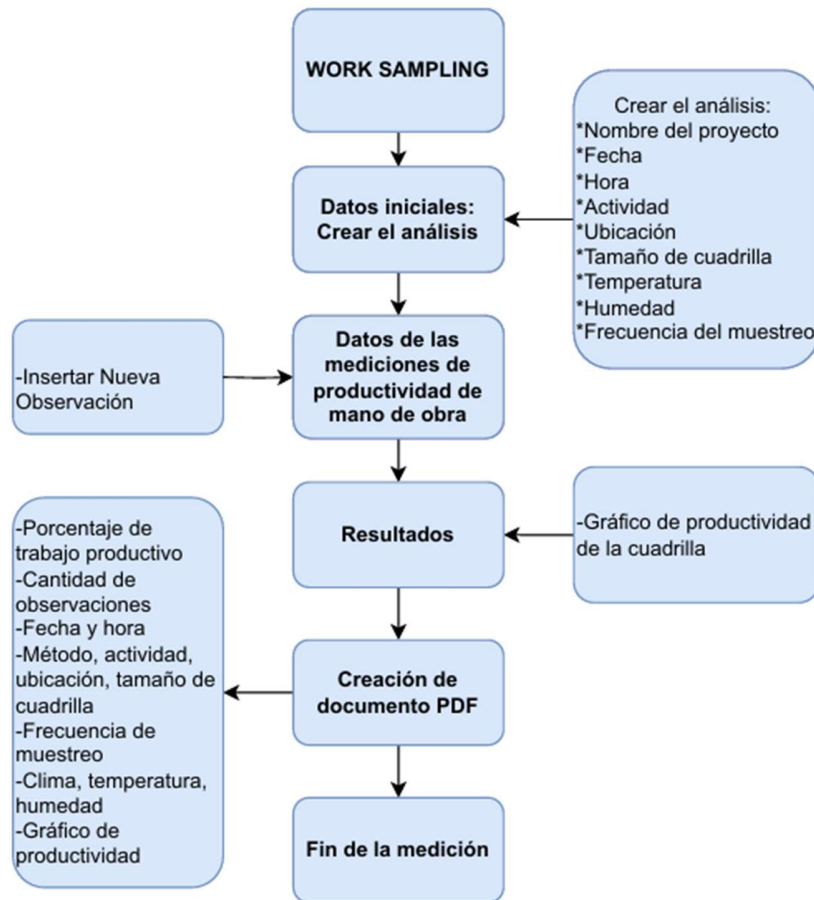
Una vez realizadas las observaciones en la plantilla, los resultados de la medición se obtienen igual que en los métodos anteriores mediante porcentajes, luego lo recomendable es representar esta información en un gráfico de barras de columnas 100% apiladas, esto no es tan complejo de obtenerse utilizando una herramienta como Excel, sin embargo, como se mencionará más adelante, programar este tipo de gráficos en otras plataformas es muy complejo, por lo que para esta investigación se optó por elaborar un gráfico pastel para cada trabajador. Ramírez también mencionó que puede utilizarse otros tipos de gráficos como por ejemplo tipo pastel, siempre y cuando se logre representar todas las actividades de cada trabajador.

Continuando con la información presentada en la figura 8, la sección de presentación de resultados contiene procedimientos para presentar los resultados globales de los procedimientos constructivos, la aplicación que se elaboró, permitió realizar este tipo de acciones, ya que es muy complejo organizar todos los procesos con sus respectivas actividades tomando en cuenta que los procesos constructivos suelen variar dependiendo el proyecto o empresa en donde se realicen. Las secciones de factores que afectan la productividad y mejoramiento de la productividad tampoco se tomaron en cuenta para elaborar la aplicación.

Por último, la sección final de la figura 8 corresponde a Cálculo de Rendimientos, la cual se incluyó en la herramienta digital debido a que es el fin último de realizar mediciones de productividad. Las fórmulas utilizadas en la guía de Ramírez son las mismas presentadas en el marco teórico de esta investigación específicamente en la sección 1.6, la única diferencia encontrada es que Ramírez no incluye los rangos para clasificar los coeficientes de variación, tabla 1 de esta investigación, y determinar cuán exitosa fue la medición de productividad, esta característica sí se incluyó en la herramienta digital.

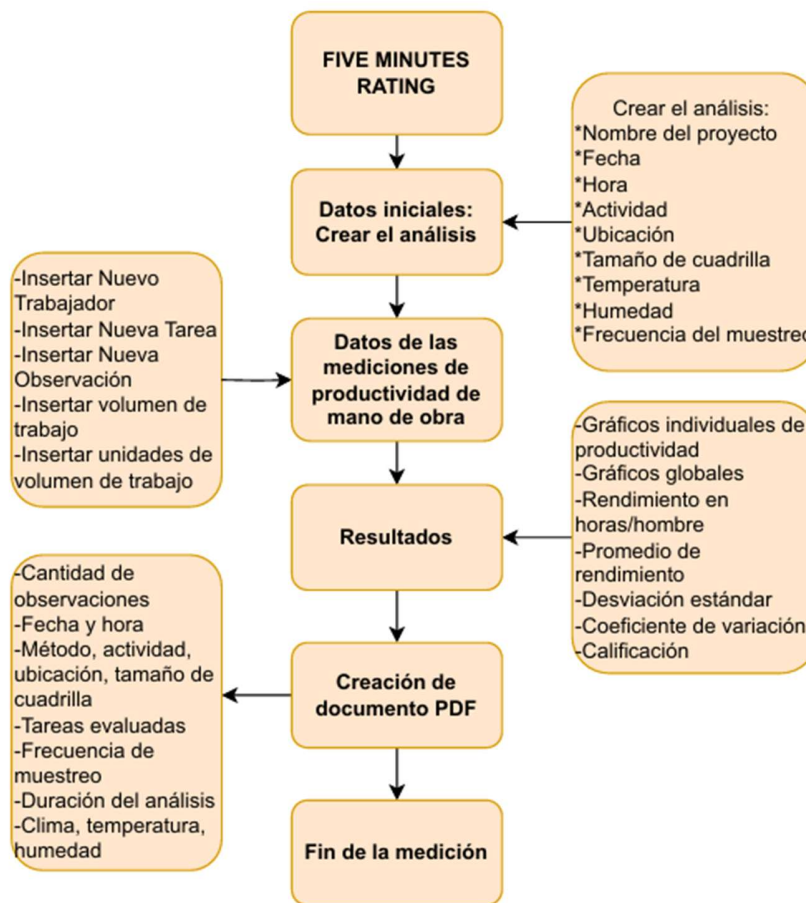
Para concluir con esta sección del primer objetivo de esta investigación, a partir de la información obtenida y analizada de la Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos del 2022, se elaboraron diagramas de flujo para cada método de medición de productividad de mano de obra estudiado, en los que se incluyen todos los elementos que presentará la herramienta digital propuesta.

**Figura 12.** Diagrama de flujo de datos de Work Sampling para la herramienta digital.



Los datos iniciales para la creación de la hoja de análisis son los mismos para los tres métodos estudiados, la información principal que se agregó a la herramienta son las “Nuevas Observaciones”, estas corresponden a digitar si la observación es productiva o improductiva, y agregar los comentarios pertinentes a cada medición. Como se puede observar en la figura 12, el único resultado que arroja la herramienta para este método es el gráfico de productividad de la cuadrilla, ya que este método específicamente no permite obtener la productividad para un solo trabajador. El documento PDF que se extrae de la herramienta incluye el porcentaje de trabajo productivo, cantidad de observaciones realizadas, fecha y hora inicial de la medición, método de medición utilizado, actividad seleccionada, ubicación del proyecto, tamaño de la cuadrilla, frecuencia de muestreo, clima, temperatura, humedad y gráfico de productividad de la cuadrilla en general; estos son los datos más importantes rescatados en el PDF, cualquier otra información que desee consultarse se puede revisar en la hoja de análisis creada.

Figura 13. Diagrama de flujo de datos de Five Minutes Rating para la herramienta digital.

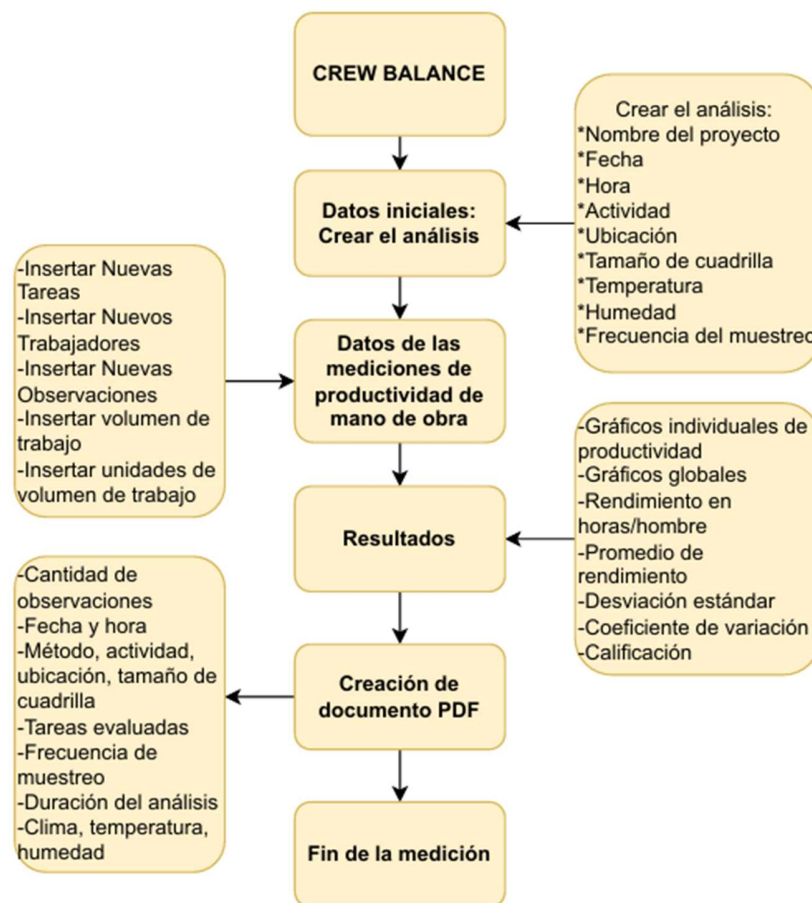


Como se puede observar en la figura 13, el método de medición de productividad de Five Minutes Rating inicia con la digitación de los datos iniciales para crear la hoja de análisis. Seguidamente debe digitarse los datos más importantes para llevar a cabo la medición, como agregar la descripción de los trabajadores, insertar las nuevas tareas las cuales permitirán seleccionar si es productiva, contributiva o improductiva y agregar el nombre o la descripción correspondiente a cada actividad; también se debe agregar las nuevas observaciones que dependerán de los trabajadores ingresados y las actividades seleccionadas. Una vez finalizada la medición, se obtiene en sitio la cantidad de volumen de trabajo total de la actividad y posteriormente se ingresa esta información en la herramienta.

Los resultados que se obtienen en esta medición corresponden a los gráficos de productividad individual para cada trabajador ingresado, un gráfico tipo pastel con los porcentajes de productividad de la cuadrilla en general, el rendimiento en horas-hombre para cada trabajador que dependerá de la cantidad de ausentes que

los trabajadores posean, y en el caso de que no existan ausentes será el mismo rendimiento para todos los trabajadores ingresados. También se incluyen datos estadísticos para confirmar la confianza de los datos obtenidos como promedio de rendimiento, desviación estándar, coeficiente de variación y la respectiva calificación de confianza del coeficiente de variación. En el documento PDF aparece la cantidad de observaciones, fecha y hora, método de medición, actividad, ubicación, tamaño de la cuadrilla, tareas evaluadas, frecuencia de muestreo, duración del análisis, clima, temperatura y humedad.

**Figura 14.** Diagrama de flujo de datos de Crew Balance para la herramienta digital.



En la figura 14, para el diagrama de flujo de Crew Balance inicialmente se agregan los datos iniciales del proyecto. Posteriormente se agregan los datos propios de la medición, se debe insertar las Nuevas Tareas que se pueden clasificar como productivas, contributivas o improductivas con su respectiva descripción; y se agregan los Nuevos Trabajadores con su descripción. Luego para insertar las Nuevas Observaciones, aparece un cuadro con todos los trabajadores en donde se selecciona la actividad para cada uno en cada medición

realizada, con su respectivo cuadro de comentarios. Una vez finalizada la medición, se ingresa el volumen de trabajo total de la actividad.

Los resultados obtenidos a través de la herramienta digital son gráficos tipo pastel individuales para cada trabajador y un gráfico tipo pastel con el porcentaje de productividad de la cuadrilla. De la misma forma como en el método de Five Minutes Rating aparece el rendimiento en horas-hombre, promedio del rendimiento, desviación estándar, coeficiente de variación y su respectiva calificación según el rango de confianza. Por último, en el documento PDF aparece la misma información que se comentó en el método anterior.

Cabe destacar que las ventanas de la herramienta digital se basaron en las plantillas que se mostraron en el inicio de la sección, tomando en consideración la información contenida en la plantilla y la distribución de datos. Sin embargo, la interfaz de la herramienta no posee la misma visualización de las plantillas, únicamente funcionó como referencia de cómo debería quedar y que información debería contener.

### **3.1.2 Implementación de cuestionario de productividad**

El cuestionario realizado tuvo como objetivo evaluar el nivel de conocimiento sobre productividad de las personas involucradas en el ámbito de la construcción, con el fin de determinar la importancia de la creación de una herramienta digital para medir productividad de mano de obra en proyectos constructivos. También se identificó la información necesaria que se debería incluir en la herramienta digital. Todas las preguntas y respuestas pueden observarse en el apéndice 1, a continuación, se presentan los resultados del cuestionario elaborado.

En la pregunta 1, se consultó por una definición propia del término productividad vinculado a la construcción, en la cual los términos o definiciones más utilizados fueron avance, producción, optimización de recursos, menor cantidad de recursos en el menor tiempo posible, rendimiento, etc. A pesar de que todas las definiciones presentadas son diferentes, queda evidenciado que todos los participantes del cuestionario tienen conocimientos básicos de la productividad en la construcción.

La pregunta 2 va dirigida a si en la empresa o el proyecto constructivo en la que se encuentra el participante se realiza algún tipo de medición de productividad. Esta pregunta no se redactó de forma correcta, debido a que se puede interpretar a mediciones de productividad de cualquier recurso, ya sea, materiales,

equipo o maquinaria, o mano de obra, y en el caso de esta investigación el interés va dirigido particularmente a la mano de obra. Por otra parte, el 40% de los participantes que corresponde a 6 personas contestaron que no se realizan mediciones de productividad en sus proyectos, esto suele ser muy común en las empresas de menor escala, que ya sea por tiempo o recursos no suelen realizar este tipo de actividades.

En la pregunta 3, que se indica si el participante ha trabajado en proyectos constructivos en los que se han realizado mediciones de productividad, 4 personas respondieron negativamente, por lo que se deduce que a comparación de la pregunta anterior hay un aumento en respuesta positiva de las personas que han formado parte de estos métodos en algún momento de su vida profesional.

En la pregunta 4, se verificó que la mayoría de las empresas a las que pertenecen los encuestados no cuentan con una plantilla estándar o algún manual o documento en el que se indique las pautas para las mediciones de productividad. Además, 3 encuestados añadieron opciones diferentes a las presentadas originalmente, entre las cuales están que poseen procedimientos y planillas estándar para líneas de manufactura que está ligada a la construcción, pero no para proyectos constructivos propiamente. Otra de las respuestas fue que no poseen una plantilla estándar, pero utilizan cronograma del proyecto. Por último, un participante contestó que utilizan finalización de tareas específicas, buscando el significado de este término en internet, únicamente aparece teoría relacionada a la finalización y entrega de proyectos a los clientes; como la encuesta es confidencial y no se puede identificar quién colocó esta opción, no se logró conocer el contexto de la respuesta. Cabe destacar que el proceso de medición de productividad no está estandarizado o regido bajo algún manual o norma a nivel nacional, por lo que, los encargados de estas tareas deben estar constantemente adaptándose a las condiciones de la empresa en la que estén.

En el caso de la pregunta 5, se consultó la información capturada en las mediciones de productividad, se presentaron 7 opciones básicas, dejando un espacio para que los participantes añadieran sus comentarios. Cabe aclarar que todas las opciones eran elegibles, sin embargo, las más votadas fueron fecha y hora con 10 votos, tamaño de la cuadrilla con 11 votos, cantidad de observaciones con 9 votos y actividades a evaluar con 10 votos. Las opciones propuestas menos votadas fueron clima, temperatura y humedad, y ubicación, con 3 votos cada una. Estos últimos datos, si bien no son trascendentales para la medición de productividad, es importante almacenar en las bases de datos de la empresa esta información con el fin de determinar las varianzas en los resultados de productividad obtenidos. Por ejemplo, en el caso del clima, temperatura y humedad, cabe destacar que la industria de la construcción es afectada directamente por estos factores, ya que la mayoría de ejecución de proyectos se realizan al aire libre, y por ejemplo en caso de que en un día en el que se tenía programado colocar concreto en una losa llueva, dependiendo la intensidad de la lluvia la actividad debe ser pospuesta. Esta información se incluyó en la sección de datos iniciales de la herramienta digital, ya que todas las respuestas propuestas obtuvieron un puntaje.

Continuando con la pregunta 5, las opciones propuestas por los entrevistados son tiempo de ciclo, horas efectivas, horas disponibles, cantidad de personas requeridas para balance de las operaciones; y nombre de los miembros de la cuadrilla. En el caso del nombre de los miembros de la cuadrilla, no es recomendable colocarlo, bastará con colocar una pequeña descripción del trabajador, como color de la ropa, debido a que las observaciones deben ser aleatorias y no van dirigidas a conocer el rendimiento de un trabajador en específico, preguntar el nombre directamente al trabajador puede provocar algún tipo de rechazo o cambios en los resultados. Serpell (2002, p.190) menciona que por lo general “cualquier persona que sabe que está siendo observada, modifica su comportamiento, consciente o inconscientemente”; es por esto que se ha popularizado la idea entre las personas relacionadas al muestreo de productividad, de que el observador debe ocultarse y evitar que los trabajadores se percaten de que se les está realizando estas mediciones debido a que podría ocurrir que la información obtenida sea descartada por diferir con valores de productividad reales. Por esta razón es que este autor también menciona que para minimizar o eliminar reacciones del trabajador producidas por el observador, se recomienda informar con anticipación a los trabajadores el proceso que se va a aplicar, el observador no debe interferir con el proceso constructivo observado, el observador no debe ocultarse durante la observación ni ocultar los elementos de registro, debe estar de pie y concentrado en la medición, y por último, procurar que los trabajadores no se sientan amenazados ni desconfiados por el observador.

Consultando los métodos de medición de productividad con los que los encuestados están familiarizados en la pregunta 6, el 60% de los participantes respondió que no conocen ninguna de las opciones planteadas. El método más conocido fue Five Minutes Rating con 33,3% de las votaciones, seguido de Crew Balance y Field Rating con 13,3% cada uno, y en último lugar se encuentra Work Sampling que no tuvo ningún voto. Cabe mencionar que únicamente se encontró información acerca del método Field Rating en un documento de Dozzi y Abaurikz de 1993, y que no se encontró información en ninguno de los proyectos de investigación del Tecnológico de Costa Rica consultados, ni de otras universidades, ni tampoco se menciona este método en los cursos universitarios y en internet lo único relacionado al término Field Rating es que se utiliza para calcular la calidad de un proceso o del trabajo realizado en una construcción, es un método ampliamente cualitativo, que no posee relación alguna con la productividad. Por consiguiente, existe una gran posibilidad de que se hayan equivocado en la selección de opciones ya que el nombre podría confundirse con Five Minutes Rating, o que simplemente lo hayan hecho al azar. Sin embargo, esto sólo son posibilidades, y el hecho de que este método se use en algunas empresas o que simplemente sea conocido por la minoría de profesionales también es totalmente factible, y para esta investigación debe tomarse como válido debido a que como se mencionó anteriormente, el cuestionario es confidencial y no se puede corroborar la selección de opciones. Cabe destacar nuevamente que Field Rating, no forma parte del proyecto de investigación y tampoco se implementó en la herramienta digital. Debido a que la mayoría de los encuestados no conoce los métodos de medición de productividad de mano de obra disponibles, esta información se agregó en una sección de la guía de uso de la herramienta.

Para el caso de la pregunta 7, en la que se consultó si en la empresa toman medidas para mejorar los procesos constructivos, se obtuvo en su mayoría que el 66,7% de las votaciones fueron positivas, coincidiendo con el resultado de la pregunta 2 en la que se indicaba si en la empresa medían productividad, por lo que se deduce que para el caso de esta encuesta, todas las empresas que realizan mediciones de productividad actualmente toman medidas correctivas a partir de los análisis elaborados para mejorar los procesos constructivos. Esta pregunta no está relacionada con el alcance de este proyecto, ya que como se mencionó anteriormente, no es un objetivo realizar análisis sobre la productividad; sin embargo es importante reconocer la importancia de la herramienta digital propuesta enfatizando su utilidad para la optimización de los procesos constructivos.

En la pregunta 8, se cuestiona si la persona encargada de medir productividad debe reconocer y diferenciar ampliamente los métodos de medición de productividad, aunque la respuesta es algo lógica, lo que ocurre en la realidad al momento de realizar esta actividad es que suele ser confuso el procedimiento y se cometen gran cantidad de errores, evidenciando que es importante capacitar ampliamente a las personas que van a realizar esta labor. Como las respuestas en su mayoría fueron positivas, esta información incluyó dentro de la guía de uso de la aplicación para diferenciar fácilmente estos métodos. Por otro lado, es interesante que una de las personas encuestadas respondiera negativamente, nuevamente se evidencia el inconveniente de que con este tipo de método de recolección de información no se puede conocer el motivo detrás de las opciones seleccionadas.

La pregunta 9 posee un contexto similar al anterior, ya que consulta si es importante reconocer las categorías como productiva, contributiva o no productiva. Uno de los participantes comentó que es de suma importancia que la persona que realiza la medición sepa discernir como diferenciar las actividades, de no ser así los resultados serán poco realistas; esto es correcto, pero como se mencionó anteriormente, en el momento de realizar mediciones, principalmente para las personas principiantes en este tema, suelen aparecer muchas dudas y tiende haber confusión entre las categorías empleadas. Por lo que esta información se incluyó en una sección de la guía de uso de la herramienta, con el fin de contribuir a diferenciar fácilmente las características de cada categoría.

Con base a lo discutido en la pregunta anterior, para contestar la pregunta 10 debe reconocerse las diferencias entre las categorías de medición de tiempos, se solicitaba indicar cual de todas las actividades presentadas corresponde a una categoría contributiva. La respuesta correcta era traslado de materiales, que fue la más votada por 8 participantes en total. Seguido por colocación de formaleta con 5 votos, que esta opción puede entrar en discusión si se ve desde el punto de que para colar un elemento de concreto, que es una actividad valorada ampliamente como productiva, se necesita de un molde o plantilla que contenga el concreto fresco para que este pueda curarse y posteriormente se retire el molde, y que la colocación de formaleta se

considere como una preactividad contributiva. Sin embargo, si esto se considera así, todas las actividades antecesoras al colado de concreto deberían ser catalogadas como contributivas, incluyendo la armadura del elemento y el encofrado, que claramente sería incorrecto suponer esto debido a que estas tareas son parte del proceso de colado de concreto, y por ende se catalogan como productivas. Por último, las opciones menos votadas fueron colado de concreto y descanso con 1 voto cada una. A partir de la diferencia de respuestas se obtuvo que a pesar de que en la pregunta anterior la mayoría afirmó que es importante reconocer la diferencia entre las categorías, se comprueba que no se tiene del todo claro cómo identificarlas, por lo que esta información también se encuentra en la guía de uso de la herramienta.

Después de realizar los análisis de productividad la información debe ser compartida para pautar las mejoras en los procesos constructivos, compartir opiniones, fijar metas a futuro, etc; por lo que se consultó los sujetos que deben estar involucrados en este proceso, entre las opciones presentadas más votadas en la pregunta 11 se encuentran gerente de proyecto, ingenieros y maestro de obras coincidiendo con 14 votos cada una, seguido de los trabajadores y seguridad ocupacional con 8 votos cada una, y por último, propietario de proyecto con 7 votos. Las opciones más votadas de hecho son las partes que más involucradas deben estar en las mediciones de productividad, debido a que es muy probable que sea un ingeniero el que realice las mediciones, el maestro de obra es quien más experiencia posee en el desarrollo de los procesos constructivos y el gerente es quien puede decidir tomar las medidas más drásticas en cuanto a optimización de procesos se refiere. Es de gran importancia compartir los resultados con los trabajadores e indicarles las correcciones en las tareas de cada proceso para continuar con el mejoramiento productivo. Dentro de las deficiencias que ocasionan actividades no productivas se encuentra la seguridad y las altas tasas de accidentes, debido a que si el trabajador no posee el equipo necesario y en óptimas condiciones para realizar una actividad en específico, por ejemplo en altura, la tendencia será que el proceso se volverá mucho más lento disminuyendo la productividad por el constante temor a caerse.

Es importante que una vez realizado el análisis de productividad y empleadas las mejoras debe considerarse un tiempo óptimo para corroborar que las acciones implementadas fueron efectivas, y si no, analizar por qué estas acciones no tuvieron efecto positivo en el proceso. Para el caso de la pregunta 12, la mayoría estuvo de acuerdo que 1 semana es suficiente tiempo para comprobar los resultados con 6 votos a favor, seguido de 3 días con 4 votos, 1 mes con 2 votos. También tres participantes tuvieron una opinión diferente a las opciones presentadas, uno indicó que depende de muchos factores, otro que depende de la acción, y el último respondió durante la mayor parte del proyecto, refiriéndose a que los resultados deben comprobarse constantemente. En este tipo de proceso de análisis no puede obtenerse una respuesta en poco tiempo, debe considerarse que el observador debe plantarle al equipo de trabajo las correcciones del proceso, y estos a su vez comunicarle a las personas que tengan a cargo. También debe tomarse en cuenta que las actividades repartidas en la discusión del análisis, recarga de más trabajo al profesional, en especial a los

maestros de obra, que deben supervisar que estos cambios se lleven a cabo en el menor tiempo posible. Esta pregunta tampoco forma parte del alcance de la herramienta, sin embargo, sería interesante definir cuál es el tiempo óptimo para volver a realizar mediciones en una actividad.

Como se mencionó anteriormente en el marco teórico, existen diversas consideraciones a la hora de pautar un porcentaje base de productividad, el porcentaje considerado como ideal es de 60% para arriba, por lo que la respuesta más acertada para la pregunta 13 en donde se consultaba por el rango *mínimo* para este porcentaje, es de 61 a 80%. La respuesta más popular fue el rango de 81 a 100% con 8 votos en total, mientras que la respuesta con el porcentaje ideal obtuvo únicamente 5 votos en total, al no estar este porcentaje claro en los participantes, esta teoría también se añadirá como referencia en la guía de usuario para evaluar los resultados obtenidos de forma más congruente y simple. Ahora bien, en algunos países se utiliza como referencia los porcentajes derivados de los índices de productividad que obtienen a partir de bases de datos nacionales donde se registra esta información, como en Costa Rica no existen estos índices se utilizó los ideales considerados en la teoría.

La pregunta más importante del cuestionario es la 14, ya que es la justificación central para llevar a cabo la creación de la herramienta digital, en la cuál se cuestiona la utilidad de crear una herramienta con características específicas. El 86,7% de los encuestados correspondiente a 13 votos totales indicaron que sí tendría utilidad contar con esta herramienta en su empresa o proyecto, 1 encuestado mencionó que tal vez sea útil, y otro que sólo sería de utilidad si en el proyecto se lleva un cronograma. Por lo que se confirma que esta herramienta es de gran importancia para implementarse en los proyectos constructivos.

En la pregunta 15, se consultó por las tres actividades más relevantes para llevar a cabo mediciones de productividad de mano de obra, en las cuales armado de acero fue la más popular con 10 votos, colocación de mampostería tuvo 9 votos, seguido de encofrado con 7 votos, colado de concreto en muros con 6 votos, y el resto de opciones con menos de 5 votos. Esta pregunta se realizó para identificar con ayuda de los participantes, cuales serían las actividades más importantes para medir productividad, y de esta forma comprobar la efectividad de la herramienta digital propuesta en campo bajo condiciones reales. Sin embargo, el proyecto seleccionado para medir productividad tiene la obra gris aproximadamente al 80%, por lo que se realizaron mediciones de productividad sobre las actividades de obra gris disponibles en el momento.

Para concluir con las preguntas del cuestionario, en la pregunta 16 se contempla si es necesario destinar parte del presupuesto de un proyecto para realizar este tipo de mediciones, se solicitó a los participantes que indicaran cuáles serían 2 ventajas de considerar esta propuesta en un proyecto constructivo. La más votada fue ahorro de mano de obra con 10 votos, seguida de mayor precisión en la estimación de la duración de una actividad con 9 votos, recolección de información para la creación de una base de datos con

7, ahorro de materiales con 3 votos. Por último, un participante comenta que en las empresas que están bien estructuradas tienen departamentos y recursos humanos destinados a llevar este tipo de tareas, aunque este comentario es acertado, y efectivamente en empresas grandes tienen este tema dominado; no puede considerarse como una opción esta respuesta ya que poco tiene que ver con una ventaja de la inversión realizada por la empresa, se catalogaría más como un comentario.

## 3.2 Elaboración de la herramienta digital

Para la ejecución del segundo objetivo de esta investigación se desarrollaron los componentes de la herramienta digital para la medición de productividad de mano de obra. La elaboración de la herramienta digital comprende dos secciones, la producción de la herramienta, que explica el proceso de cómo se programó las hojas de análisis de cada método de productividad y la ejecución de la herramienta, en la que se realizó un análisis preliminar del funcionamiento de esta indicando características omitidas y manejo de errores.

Se decide desarrollar una aplicación Web ya que este tipo de aplicaciones son compatibles con una amplia gama de dispositivos, tanto móviles como estacionarios, siempre y cuando estos tengan la capacidad de ejecutar un navegador web. Además, no requiere la instalación de ningún tipo de aplicación localmente, exceptuando el navegador; esto incluye dispositivos como celulares inteligentes, tabletas, computadoras portátiles y de escritorio. Las posibilidades de combinaciones de tecnologías utilizadas en el desarrollo de aplicaciones web son muy amplias. A continuación, se indica brevemente cuáles tecnologías fueron utilizadas para el desarrollo de esta investigación.

Como se mencionó en el marco teórico, existen tres componentes principales convencionalmente involucrados en la estructura de una aplicación web, la interfaz, el servidor y la base de datos. Primeramente, la interfaz del usuario se desarrolló bajo el estándar HTML5, que se recomienda utilizar en conjunto con CSS3, y JavaScript; aclarando que estas tres tecnologías son el estándar para la interfaz de cualquier aplicación web que se desee desarrollar. El lenguaje HTML es utilizado exclusivamente para la interfaz, como se mencionó en el marco teórico, es el que define la disposición de la página y los elementos que incluirá.

CSS3 se utilizó para que los elementos definidos por HTML sean fácilmente legibles y comprensibles, agregándoles propiedades como color, posición y tamaño. El lenguaje de programación JavaScript se empleó con el fin de dar funcionalidad a los elementos de HTML y crear estilos dinámicos, como por ejemplo que un texto pueda aparecer o desaparecer. También, cabe aclarar que JavaScript está implícitamente integrado en

HTML5, ya que las funciones como las de selección de fecha y hora que aparecen en la aplicación web dependen de este lenguaje.

El segundo componente, el servidor, se encarga de recibir las solicitudes enviadas por el navegador, y procesarlas. Para la lógica del servidor se utilizó el lenguaje JavaScript, cada lenguaje de programación requiere un entorno en tiempo de ejecución que permita ejecutar el código del servidor. Para el caso de esta aplicación se utilizó Node.js, ya que, este entorno implementa nativamente el lenguaje JavaScript, además de su documentación y soporte por parte de la comunidad.

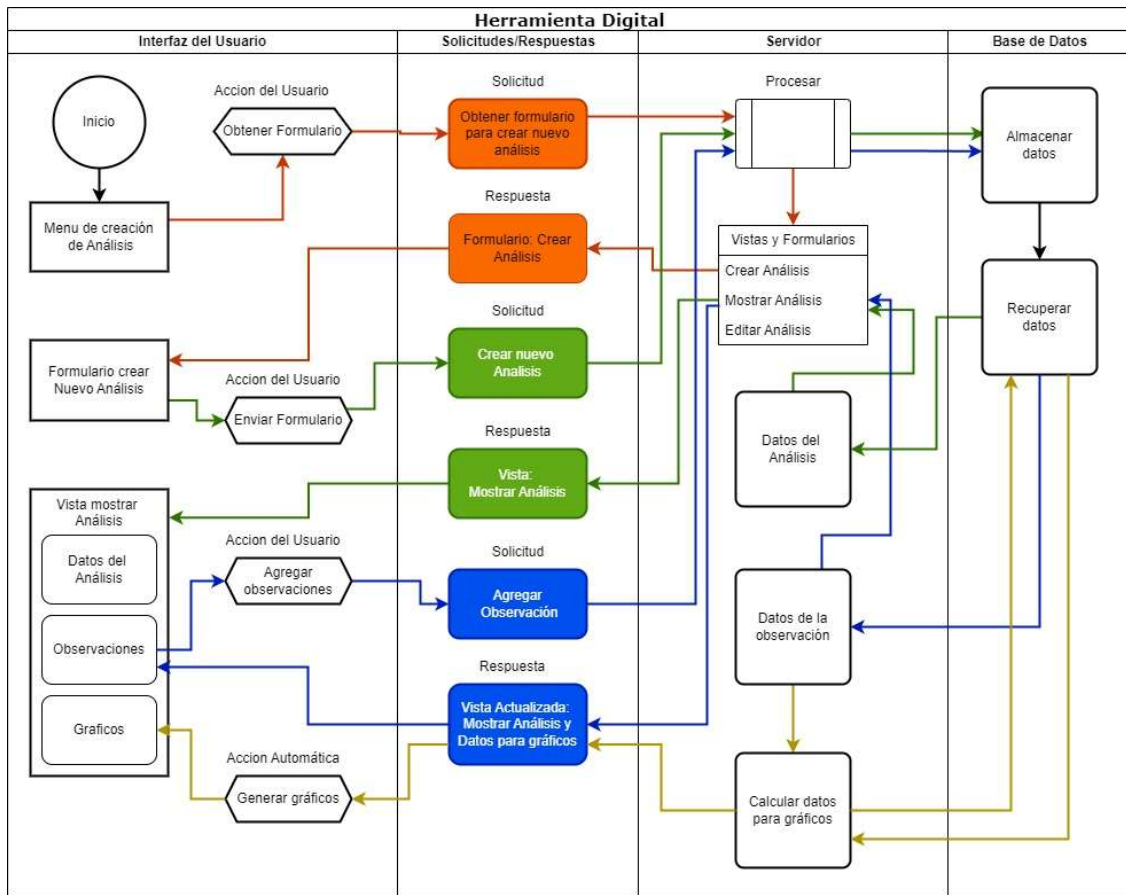
Para la generación de gráficos tipo pastel de la herramienta digital se utilizó la biblioteca o paquete Charts.js, que también forma parte del servidor utilizado. Aunque no es crucial para el funcionamiento de la aplicación, se utilizó un servicio de hosting llamado Render para facilitar el acceso por parte de los usuarios de forma segura y confiable sin exponer al servidor a ataques cibernéticos, por ejemplo.

El tercer componente es la base de datos, para este proyecto se utilizó MongoDB, ya que, es una base de datos apropiada cuando la estructura de los datos es simple y solo se requiere una o pocas colecciones de documentos para almacenar todos los datos. En la fase de desarrollo, MongoDB se implementó de manera local, y posteriormente se utilizó Mongo Atlas para implementar MongoDB en la nube, o sea de manera remota y así evitar los inconvenientes de gestionar una base de datos, como preocuparse por la seguridad. Esto quiere que la base de datos de la herramienta siempre esté disponible, y en un entorno seguro.

Para que el usuario pueda interactuar con la aplicación web, es necesaria una relación entre la interfaz y el servidor; para esto se utilizan las solicitudes, propias del protocolo HTTP, para solicitar o enviar datos. En esta investigación, esto se realiza utilizando el elemento form, el cual hace posible enviar información ingresada por el usuario al servidor a través de una solicitud de tipo POST. Para obtener información o páginas del servidor se utilizan las solicitudes tipo GET, que se implementaron por medio de botones en la interfaz que incorporan una función que envía una solicitud GET previamente definida; por ejemplo, al hacer clic en el botón 'Imprimir PDF' este envía una solicitud GET al servidor, solicitando un documento PDF con un resumen de la información del análisis correspondiente.

Para proporcionar estos datos, el servidor hace una consulta a la base de datos verificando primeramente la existencia de estos, para posteriormente recuperarlos e insertarlos en el PDF y finalmente enviarlo al navegador del usuario que presionó el botón. A continuación, el siguiente gráfico explica la forma en la que los tres componentes interactúan entre sí.

Figura 15. Proceso de creación de análisis, inserción de observaciones y generación de gráficos.



En el diagrama anterior, se pueden observar cuatro secciones, Interfaz del usuario, Solicitudes/Respuestas, Servidor, y Base de datos. La sección solicitudes/respuestas representan los intercambios entre la interfaz del usuario y el servidor, y no es un componente en sí, sino más bien un intermediario. El proceso inicia con el usuario interactuando con la interfaz, que realiza una solicitud para obtener el formulario para crear nuevas hojas de análisis utilizando una solicitud GET. Luego, esta solicitud es recibida y procesada por el servidor, que al determinar que se está solicitando el formulario anteriormente mencionado, este lo recupera del directorio que contiene las vistas y lo adjunta a la respuesta que es enviada al navegador y mostrada al usuario.

Una vez mostrado el formulario, este permite enviar una solicitud POST, que incluirá los datos iniciales de la medición. Al ingresar los datos y enviar el formulario, el servidor lo recibe, lo procesa, extrae los datos de la solicitud, los almacena en la base de datos, los recupera inmediatamente, y los inserta en la página HTML

correspondiente, en este caso, la página que muestra los datos del análisis. Esta página luego se inserta en la respuesta y es enviada al navegador del usuario.

Desde la página de mostrar análisis, el usuario primeramente querrá insertar observaciones, tareas y trabajadores. Los datos de la observación se envían desde un pequeño formulario, y pasa por el mismo proceso, de insertar en la base de datos, recuperar de la base de datos, para finalmente enviarlo al usuario, por medio de la página de mostrar análisis actualizada con la nueva observación, trabajador, o tarea. La función para generar gráficos se ejecuta automáticamente en el momento que se inserta la primera observación, y se ejecuta cada vez que una observación es insertada, modificada, o eliminada. En cuanto al proceso del desarrollo de la herramienta, se detalla en el siguiente apartado.

## **3.2.1 Producción de la herramienta**

Para desarrollar la aplicación inicialmente se consolidó la estructura de la información en la base de datos a partir de identificar el contenido y organización de las hojas de análisis, la información de una observación, la relación entre las hojas de análisis y las observaciones, almacenamiento de datos, etc. Se estableció que se denominaría “análisis” al componente principal que contiene los datos principales como ubicación, hora, fecha, método de muestreo, nombre del proyecto, etc. El análisis contiene también las observaciones, que a su vez cuentan con un valor propio para la hora en que se crearon, y dependiendo del método pueden incluir los trabajadores presentes, el tipo de la observación, tipo de tarea o actividad.

Se decidió estructurar la herramienta en tres módulos principales, uno para cada método de muestreo: el módulo Work Sampling, el módulo Five Minute Rating, y el módulo Crew Balance. Cada módulo cuenta con las funciones necesarias para generar los elementos requeridos en la base de datos. A continuación, se detalla el proceso de desarrollo de cada uno.

### **3.2.1.1 Módulo Work Sampling**

Para este módulo se creó el directorio de carpetas y los archivos principales para el funcionamiento de la aplicación y se realizó la instalación de los paquetes requeridos como Express, EJS, y Mongoose. Después se creó la página principal, y se incluyeron tres botones definidos uno para cada método que redirigirán al

formulario de creación de cada uno. La hoja de análisis está compuesta por los datos iniciales, que se observan en la figura 16, las observaciones y un gráfico que muestra el porcentaje de trabajo productivo y no productivo. Por tanto, se programaron las funciones para crear el análisis, editarlo y eliminarlo, y se crearon las mismas funciones para las observaciones.

**Figura 16.** Vista de creación de nuevo análisis del método Work Sampling.

**Editar Analisis: Hermosita**  
**Método Work Sampling**

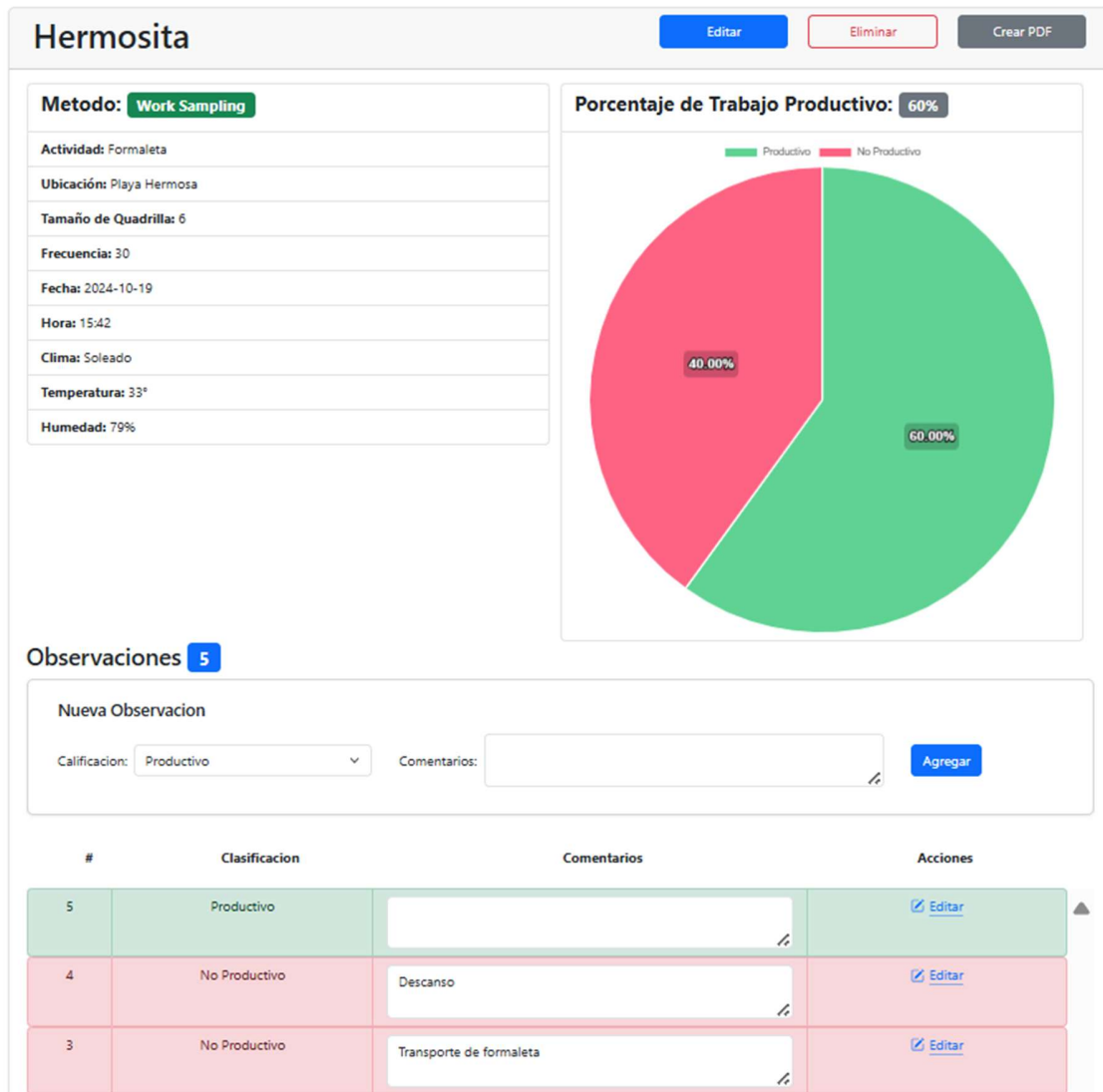
Nombre del proyecto:

Actividad a evaluar:  Ubicación del proyecto:  Tamaño de la cuadrilla:  Frecuencia de muestreo:

Fecha:  Hora:  Clima:  Temperatura:  Humedad:

Finalmente, se creó la función que extrae la información de la base de datos, calcula los porcentajes, y genera el gráfico correspondiente. Se realizaron varias pruebas con datos ficticios y sus correcciones correspondientes, y se creó la página que muestra la lista de los análisis creados. Por último, se implementó la función para generar el documento PDF, en la figura 17 se puede observar la vista principal de la hoja de análisis de este método.

Figura 17. Vista principal de la hoja de análisis de Work Sampling.



### 3.2.1.2 Módulo Five Minutes Rating

El módulo de Five Minutes Rating, se inició programando el formulario de hojas de análisis correspondiente que está compuesto de los datos iniciales del análisis en la figura 18, las observaciones, y los trabajadores presentes. Este método requirió una nueva función para agregar trabajadores al análisis, se debe agregar como un campo nuevo en el formulario de creación de observaciones. Adicionalmente, por cada observación creada antes de

ingresar el nuevo trabajador, las observaciones se deben actualizar con el nuevo trabajador con un valor vacío para evitar inconsistencias en los cálculos.

Figura 18. Vista de creación de nuevo análisis del método Five Minutes Rating.

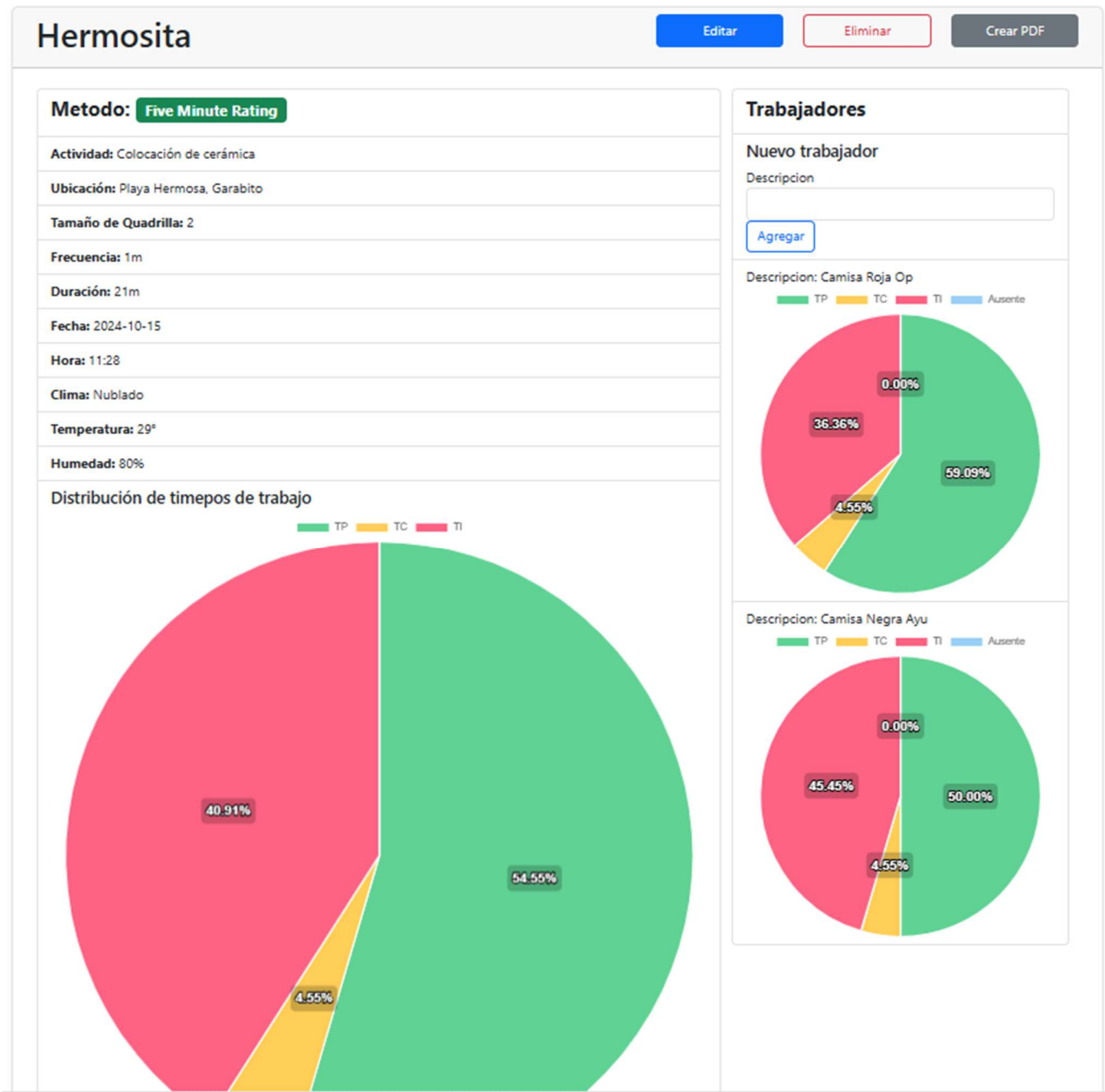
The screenshot shows a web form titled "Crear Nuevo Análisis de productividad en campo" with the subtitle "Método Five Minute Rating". The form contains the following fields and values:

- Nombre del proyecto: Lapa Verde
- Actividad a evaluar: Colocación de cerámica
- Ubicación del proyecto: Jaco
- Fecha: 06/10/2024
- Hora: 17:47
- Clima: Soleado
- Temperatura: 28
- Humedad: 78

A blue "Crear" button is located at the bottom left of the form.

Para la elaboración de los productos en este módulo, se creó el gráfico principal que debe mostrar los porcentajes de los tiempos de trabajo de la cuadrilla; la función encargada de esto se itera cada vez que se agrega, actualiza o elimina una observación y también cuando se agrega un trabajador. Luego, cada trabajador ingresado en la medición cuenta con su propio gráfico que muestra el porcentaje de cada tipo tarea que ha realizado, y sus funciones correspondientes se ejecutan al momento de interactuar con las observaciones, o ingresar un nuevo trabajador. El desarrollo de esta función implicó un grado de dificultad considerable ya que esta debe ser dinámica, generando de forma precisa los gráficos correspondientes sin importar la cantidad de trabajadores ni la disposición de los porcentajes, en la figura 19 se puede observar la interfaz de la vista principal de este método.

Figura 19. Vista principal de la hoja de análisis de Five Minutes Rating.



Seguidamente, se programaron las funciones para calcular el rendimiento y el coeficiente de variación, se puede observar esta sección en la figura 20. El rendimiento por trabajador se obtuvo calculando el tiempo entre las observaciones en las que aparece cada trabajador, se utilizó la fórmula 7. Luego, a partir de este dato se puede obtener la media de rendimiento con la ecuación 8, la desviación estándar con la ecuación 9, y

finalmente el coeficiente de variación con la ecuación 10. Para terminar, se programó la función encargada de generar el documento PDF, que debe recompilar los datos y gráficos de la hoja de análisis para producir un documento con el resumen de los resultados.

**Figura 20.** Vista de observaciones y cálculo de rendimientos en la hoja de análisis de Five Minutes Rating.

#	Hora	Camisa Roja Op	Camisa Negra Ayu	Comentarios	Acciones
7	11:37:11	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
6	11:36:35	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
5	11:36:28	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
4	11:34:08	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
3	11:33:28	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
2	11:32:22	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
1	11:30:59	TP	TP		<a href="#">Editar</a>

Volumen:  
1

Unidad:  
m2

**Rendimiento en horas-hombre / m2:**

Trabajador: Camisa Roja Op  
Rendimiento: 0.70

Trabajador: Camisa Negra Ayu  
Rendimiento: 0.70

**Promedio de rendimiento:**  
0.70

**Desviación estandar:**  
0.00

**Coeficiente de variacion:**  
0.00  
Calificación: Precisa

### 3.2.1.3 Módulo Crew Balance

Este módulo fue el más complejo de desarrollar, sin embargo, debido a la similitud en las estructuras de datos fue posible reutilizar la lógica de los otros módulos en este, reduciendo así el tiempo de producción significativamente. Al igual que en los módulos anteriores, el primer paso fue programar el formulario de creación de análisis. El componente principal está compuesto por los datos iniciales en la figura 21, los trabajadores, y las tareas; estas últimas a su vez, están compuestas por la descripción y el tipo.

Figura 21. Vista de creación de nuevo análisis del método Crew Balance.

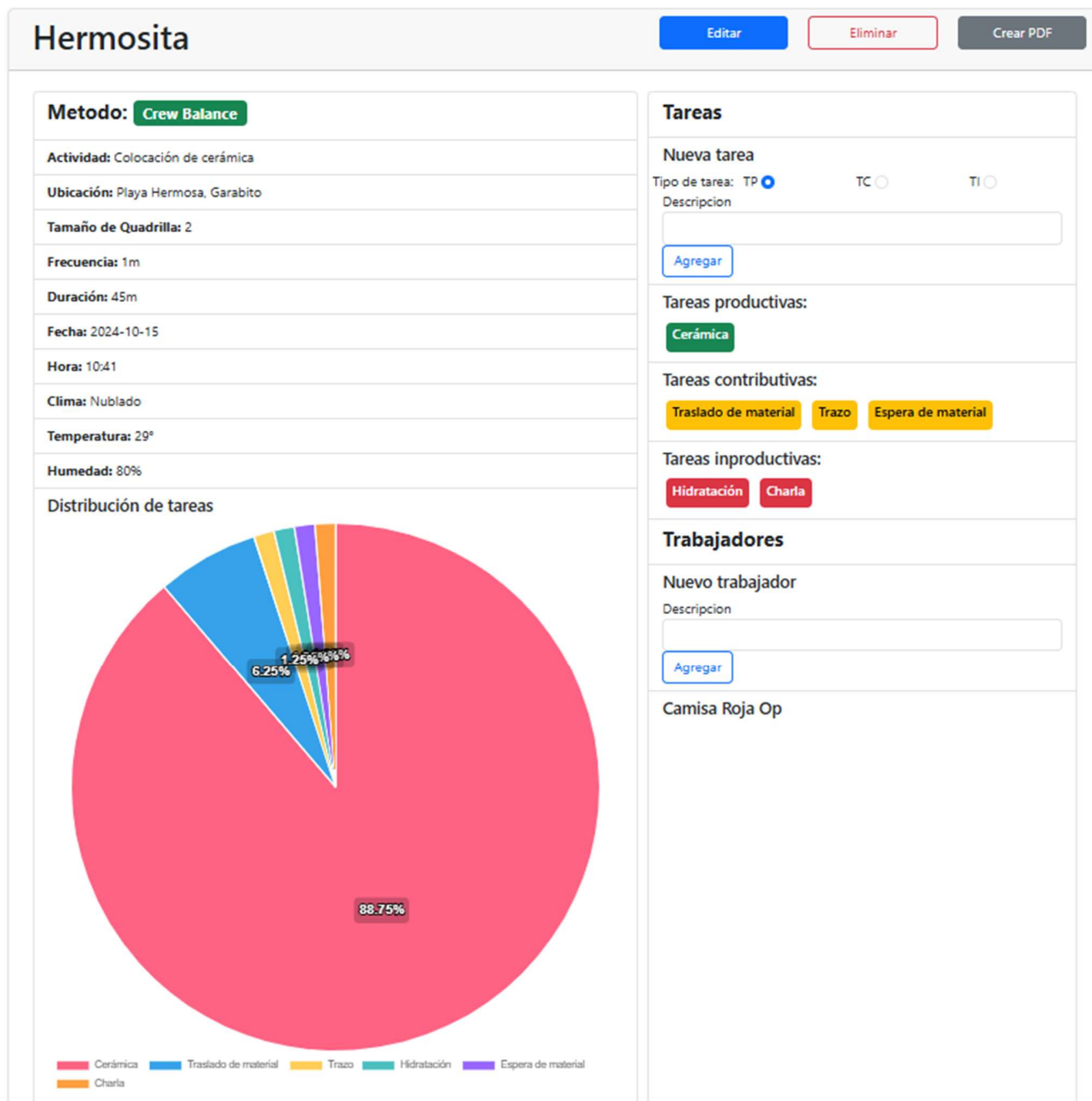
The screenshot shows a web form titled "Crear Nuevo Análisis de productividad en campo" with the subtitle "Método Crew Balance". The form contains the following fields and values:

- Nombre del proyecto: Quebrada Bonita
- Actividad a evaluar: Acero
- Ubicación del proyecto: Heredia
- Fecha: 12/10/2024
- Hora: 10:48
- Clima: Nublado
- Temperatura: 29
- Humedad: 80

A blue "Crear" button is located at the bottom left of the form.

Tomando lo anterior en cuenta, se creó una función para crear tareas digitadas por el usuario; posterior a esto se requirió de una función que, al recorrer todas las observaciones extraiga la cantidad de cada tarea presente en las observaciones por cada trabajador y la cantidad de cada tipo de tarea también cada por trabajador. Estas cantidades luego se utilizan para calcular porcentajes y ser utilizadas en la generación de gráficos, como se puede observar en la figura 22.

Figura 22. Vista principal de la hoja de análisis de Crew Balance.



Los gráficos para este módulo están conformados por tres tipos, el primero muestra el promedio general de los tiempos de trabajo de la cuadrilla, el segundo gráfico muestra en porcentajes todas las tareas digitadas en la medición y el tercer tipo de gráfico corresponde al generado para cada trabajador, en el que se muestra el porcentaje de cada tarea involucrada. Para realizar los cálculos del rendimiento en este módulo se utilizaron

las mismas fórmulas y procedimientos que en Five Minutes Rating, la vista de esta sección se observa en la figura 23. La función para generar documentos PDF para este módulo tiene la misma estructura básica que en los módulos anteriores, se incluyeron los productos correspondientes a Crew Balance. Para concluir con la producción de la herramienta, se realizaron pruebas con datos ficticios para verificar la consistencia de las funciones, y se realizaron los ajustes finales. La explicación detallada del funcionamiento de la herramienta digital se encuentra en la guía de uso en el apéndice 3 de este proyecto de investigación.

**Figura 23.** Vista de observaciones y cálculo de rendimientos en la hoja de análisis de Crew Balance.

#	Hora	Trabajadores		Comentarios	Acciones
40	11:27:03	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Cerámica	Final de medición	<a href="#">Editar</a>
39	11:26:06	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Cerámica		<a href="#">Editar</a>
38	11:25:26	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Charla		<a href="#">Editar</a>
37	11:24:14	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Cerámica		<a href="#">Editar</a>
36	11:23:07	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Cerámica		<a href="#">Editar</a>
35	11:22:16	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Cerámica		<a href="#">Editar</a>

Volumen:  
2.82

Unidad:  
m2

**Rendimiento en horas-hombre / m2:**

Trabajador: Camisa Roja Op  
Rendimiento: 0.53

Trabajador: Camisa Negra Ay  
Rendimiento: 0.53

**Promedio de rendimiento:**  
0.53

**Desviación estandar:**  
0.00

**Coefficiente de variacion:**  
0.00  
Calificación: Precisa

## 3.2.2 Ejecución de la herramienta

Durante el lapso de producción de la herramienta continuamente se realizaron pruebas con datos ficticios, simulando parte de la medición de productividad en campo. Este proceso es importante debido a que cuando se vaya a realizar la toma de datos en el proyecto de construcción seleccionado, la herramienta debe ser lo más funcional posible para evitar el menor desperdicio de recursos posibles.

En el análisis preliminar de la herramienta propuesta se identificó que la característica omitida más notable es la ausencia de una función para editar o eliminar tareas y trabajadores en los módulos Five Minute Rating y Crew Balance. Esto quiere decir que, una vez agregados los trabajadores o tareas, estas no se pueden eliminar ni modificar; para corregir un error o agregar una tarea o trabajador, se debe crear un documento completamente nuevo. Debido al alcance del proyecto de investigación se decidió no implementarla, ya que esta función no es crucial para la generación de cálculos y gráficos.

También cabe mencionar que se omitió implementar una función para la creación de usuarios, se planteó inicialmente que cada empresa o usuario tenga acceso independiente a las hojas de análisis, para evitar que puedan ser accedidos y modificados por cualquier usuario. Esto implica que cualquier usuario que posea el enlace de acceso a la herramienta digital puede intervenir en hojas de análisis creadas por otro usuario, por lo que la información queda sensiblemente expuesta al público. Para mitigar esta inconsistencia se recomienda descargar el documento de PDF una vez concluida cada medición de productividad, para mantener a salvo la información más importante de cada hoja de análisis.

Ahora bien, continuando con el manejo de errores en la herramienta, estos se minimizan principalmente en el servidor al establecer flujos de acción alternativos en caso de errores. Esto se realiza por medio una característica estándar de JavaScript, que se integró en todas las funciones de la herramienta. En cuanto a los tipos de errores que se pueden presentar, estos sucederían en forma de errores humanos, como ingresar incorrectamente un dato del análisis; por lo que, en este caso, es posible editar los datos y corregirlos.

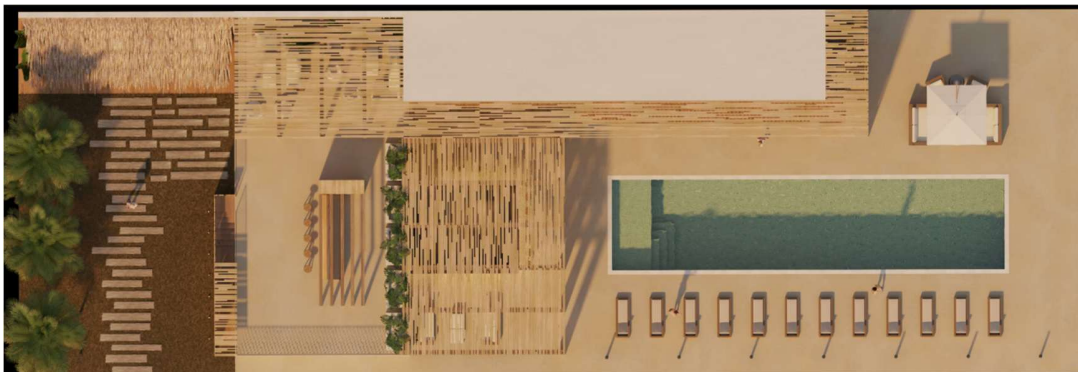
En cuanto a un error como la pérdida de conexión a la herramienta, esto se daría por pérdida de la señal del dispositivo haciendo uso de la herramienta en ese momento, en cuyo caso se debe esperar a que se recupere la señal. Por otra parte, también existe la posibilidad de que presenten errores fatales que puedan detener el servidor o la base de datos por completo; en situaciones como esta, los servicios de hosting Render y Mongo Atlas está diseñados para manejar estos eventos y reactivar los servicios.

### 3.3 Comprobación de la efectividad de la herramienta digital

Con el fin de llevar a cabo el tercer objetivo que es comprobar la efectividad de la herramienta digital elaborada se realizaron 7 pruebas en distintos días y horario en un edificio de dos plantas en etapa de obra gris llamado Hermosita. El proyecto constructivo Hermosita se localiza en Playa Hermosa, Garabito, cerca del Hotel Tramonto, se encuentra tramitado y aprobado bajo el proyecto No.OC111943. En la planta baja del edificio se está construyendo un restaurante, un bar, baños públicos para mujeres, baños públicos para hombres, baño público independiente que cumple con la ley 7600, una recepción, una oficina para administración del edificio y una piscina de 81 m<sup>2</sup>.

En la segunda planta, se está construyendo 4 apartamentos con separación liviana de baño y closet, en principio se iba a construir una terraza con un segundo bar, pero los propietarios se decidieron por colocar 3 apartamentos independientes más en esta zona. El arquitecto Tarick Barrantes Angulo, A-10554, ced. 109320227, de la empresa TAB Arquitectura y Construcción, es el director de obra del proyecto (T. Barrantes Angulo, comunicación personal, 9 de agosto de 2024). A continuación, en las figuras 24, 25 y 26 se muestran imágenes del contenido multimedia del proyecto evaluado.

**Figura 24.** Render de vista en planta del proyecto Hermosita.



Fuente. Proyecto Hermosita. (2024)

**Figura 25.** Render de vista frontal del proyecto Hermosita



Fuente. Proyecto Hermosita. (2024)

**Figura 26.** Render de vista posterior del proyecto Hermosita.



Fuente. Proyecto Hermosita. (2024)

Por otra parte, a partir de la información capturada en el cuestionario del primer objetivo, en la pregunta 15 se determinó que las actividades más relevantes para realizar mediciones de productividad de mano de obra son armadura de acero, colocación de mampostería, encofrado y colado de concreto en muros. Cabe recalcar

que cuando se realizaron las mediciones de productividad el edificio estaba a más del 80% de obra gris, por lo que en campo se midieron las actividades disponibles al momento de cada medición. Dentro de las actividades a las que se le realizaron mediciones de productividad se encuentran: repello de paredes, encofrado de columnas y vigas, colado de columnas y vigas, armado de acero, colocación de cerámica y colocación de entrepiso.

Cabe mencionar que la información principal recolectada en campo mediante la herramienta digital se encuentra en figuras en el apéndice 2, esta información está dividida a partir del número de prueba, el método de captura de productividad y el nombre de la actividad. Sin embargo, para evitar saturar el texto principal y que parte de la información se omita en el proceso de análisis se resumió la información de la herramienta digital utilizando tablas. Como parte del análisis también se implementó clasificar el estado del método de medición en funcional o deficiente, estas categorías únicamente se utilizaron para identificar si se cumplía con los requisitos mínimos de funcionamiento de la aplicación, no definen si la medición de productividad fue eficiente o no, debido a que no está dentro del alcance de este proyecto. A continuación, se presentan tablas resumen con la información más importante obtenida en los métodos de productividad empleados, procesos constructivos evaluados, resultados y análisis de la herramienta digital desarrollada.

### **3.3.1 Primera prueba**

El día 30 de setiembre del 2024 se realizaron pruebas en los tres métodos de medición existentes en la aplicación. Se inició a las 8:08 a.m. midiendo la actividad de repello de paredes en material de Covintec mediante un compresor con el método de Work Sampling, se emplearon 2 trabajadores para llevar a cabo la actividad, 1 operario y 1 ayudante. A continuación, se presenta una tabla resumen con la información de todas las observaciones realizadas este día.

**Tabla 2.** Resumen de primera prueba realizada en Hermosita.

Número de Prueba: 01			
Fecha	30/9/2024		
Método	Work Sampling	Crew Balance	Five Minutes Rating
Actividad	Repello paredes	Encofrado de columna	Colado de columnas
Ubicación	Playa Hermosa	Playa Hermosa	Playa Hermosa
Tamaño cuadrilla	2	2	4
Frecuencia muestreo	15 (s)	1 (min)	1 (min)
Hora Inicio	8:08:00 a. m.	10:22:00 a. m.	11:13:00 a. m.
Cantidad observaciones	419	31	30
Trabajo Productivo (%)	63	-	18,33
Trabajo Contributivo (%)	No aplica	-	62,5
Trabajo Improductivo (%)	37	-	15
Volumen trabajo	No aplica	-	0,27 (HH/m3)
Promedio rendimiento	No aplica	-	7,36 (HH/m3)
Desviación Estándar	No aplica	-	0,1
Coficiente Variación	No aplica	-	1,36
Calificación	No aplica	-	Precisa
Estado	Funcional	Deficiente	Funcional

Para iniciar con la actividad, la pareja de trabajadores ya tenía lista la mezcla de repello que iban a utilizar y el equipo en sitio, siendo necesarios principalmente un compresor y su pala, un balde con agua para lavar el equipo constantemente, perling para utilizar como guía, andamios, y llanetas para darle el acabado a las paredes. El operario se encargaba de utilizar el compresor, darle el acabado y nivel a la pared con el perling y llaneta, limpieza de sitio; mientras que el ayudante transportaba la mezcla, limpiaba el equipo, movilizaba el andamio y demás tareas.

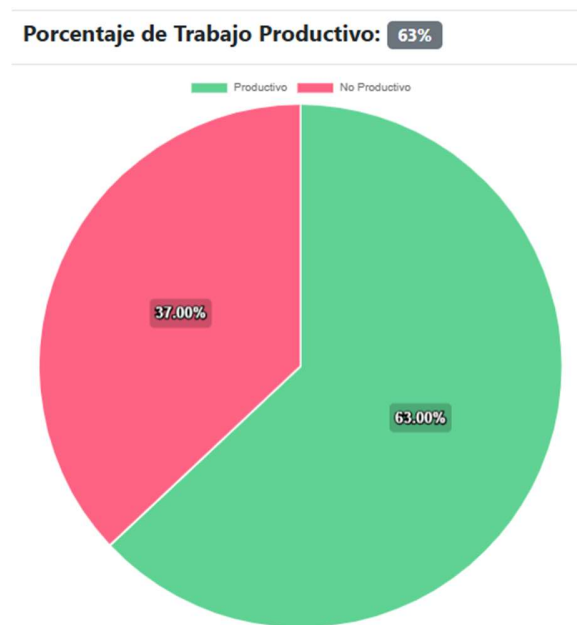
Las deficiencias encontradas en este método son que, la hora de inicio de la actividad que se coloca en la ventana de los datos iniciales del proyecto, no coincide con la hora real en la que se realizan las mediciones. Cabe aclarar que el tiempo que aparece cuando se realiza cada medición no está sincronizado con la hora real que utiliza el servidor, tiene un desfase aproximado de 6 horas en total, por ejemplo, si la medición se realizó a las 10:38:09 a.m. aparece la hora en las mediciones como 4:38:09 p.m.; únicamente coinciden los minutos y segundos en tiempo real, sin embargo, funcionó como guía para llevar el tiempo en la medición. El tiempo

aproximado para colocar la información inicial de la medición se puede tardar hasta 10 minutos completando los espacios vacíos, sin embargo, para confirmar hora de inicio de la medición como tal, bastará con revisar la hora en la que se realizó la primera observación.

No existe un espacio para colocar la hora final de la medición como en la mayoría de las herramientas para realizar este tipo de mediciones, sin embargo, como se mencionó anteriormente tanto la hora inicial como la hora final de la medición puede corroborarse en las observaciones realizadas. Para futuros proyectos de investigación similares se recomienda incluir un espacio definido para agregar la hora final de la medición de productividad, con el fin de diferenciar la hora en la que se hizo la última observación y la hora final en que se terminó de agregar los comentarios y editar las hojas de análisis. También se presentan algunos inconvenientes en el funcionamiento de la herramienta, la página web de la aplicación tarda algunos minutos en cargar, en caso de inactividad también deberá refrescarse la página para seguir realizando mediciones esto debido a las propiedades del servidor; sin embargo, la información ya digitada no se perderá. Cabe aclarar que la aplicación únicamente funciona cuando se tiene acceso a internet, en caso de que el dispositivo tenga una desconexión, se deberá esperar a que regrese la señal o el internet y volver a refrescar la página web. La frecuencia de medición no permite agregarse con unidades, por lo que se puede guardar esta información en un comentario.

Por otra parte, la aplicación permite modificar las observaciones realizadas en cualquier momento, e incluso permite eliminarlas del todo. El total de área repellada fue de 17,677 m<sup>2</sup> en un tiempo de casi 2 horas, sin embargo, esta información no puede cargarse para este método en específico. En la primera prueba realizada este fue el método que menos errores o limitaciones presentó, debido a que se cumplió con lo esperado para este método mostrando los resultados correctamente, a continuación, en la figura 27 se presenta el gráfico tipo pastel de Work Sampling.

Figura 27. Gráfico de productividad de Work Sampling para repello de paredes.



El porcentaje productivo obtenido fue de 63% y el no productivo de 37%, como se mencionó en la sección 1.5 del marco teórico de esta investigación, el porcentaje ideal de productividad debe estar por encima del 60%, el contributivo debe ser menor a 25% y el no productivo de 15%. En Work Sampling no se utiliza el tiempo contributivo, por lo que ambos porcentajes están dentro del rango clasificado como ideal y la actividad en general puede categorizarse como productiva. Aunque el gráfico de productividad es funcional y muestra el contenido requerido, posee deficiencias en la estética debido a que la letra de los porcentajes y las leyendas del gráfico es muy pequeña comparada con el tamaño del gráfico como tal.

Como comentario extra de la observación cabe mencionar que en ningún momento de la observación se utilizó el equipo de seguridad básico completo, incumpliendo con las normas de Seguridad y Salud Ocupacional básicas. A continuación, en la figura 28 se presenta una fotografía de la medición realizada en esta actividad.

**Figura 28.** Fotografía de repello de paredes de covintec usando compresor para Work Sampling.



Continuando con el siguiente método que fue Crew Balance como se muestra en la tabla 2, se inició a las 10:22 a.m. con encofrado de columnas y fueron necesarios 2 trabajadores ambos operarios, los cuales estaban llevando a cabo la misma actividad empleando escaleras, tenazas, niveles, cuñas, cinta métrica y demás equipo. Tradicionalmente, para este tipo de actividades la cuadrilla se conforma de 1 operario y 1 ayudante, por lo que esta decisión puede sugerir una inadecuada distribución del recurso humano, a menos de que esta configuración por motivos específicos sea estrictamente necesaria.

Al momento de comenzar con las observaciones para esta técnica en la aplicación se identificó que los gráficos de columnas 100% apiladas de productividad no se estaban creando conforme se colocaban las observaciones, de hecho, al final de la medición tampoco aparecieron por lo que en la tabla 2 no aparece ningún dato de porcentajes de productividad. Una vez ingresadas las subactividades ya sean productivas, contributivas o improductivas no se pueden ni modificar ni eliminar, pero se puede ingresar nuevas actividades en cualquier momento de la medición, por lo que ya no es necesario pensar o imaginarse cuales son las actividades que podrían presentarse en la medición, que esto ocurre usualmente con los métodos tradicionales. Tampoco puede

modificarse los trabajadores ingresados en la aplicación, no se puede editar ni la cantidad ni la descripción, pero si puede ingresarse nuevos trabajadores en cualquier momento de la medición.

Durante el proceso de medición se encontró que cuando se coloca formaleta de manera artesanal, deben realizarse muchos más pasos que si se utilizara formaleta de aluminio o metálica, que son moldes prefabricados de varios usos que se conectan por medio de cuñas. Para esta actividad se utilizó formaleta de aluminio y madera en combinación, por lo que aunado con la altura a la que se estaba trabajando y la falta de equipo de seguridad básico, entre dos operarios pueden tardar hasta más de 3 horas encofrando una columna de 0,3x0,3x2,7m. Este rendimiento no es representativo de la actividad medida debido a que únicamente se observó durante 30 minutos, y el avance fue mínimo; sin embargo, cabe destacar que debido a la demora en el proceso constructivo la actividad se catalogaría como improductiva o poco eficiente y no sería viable en empresas más grandes.

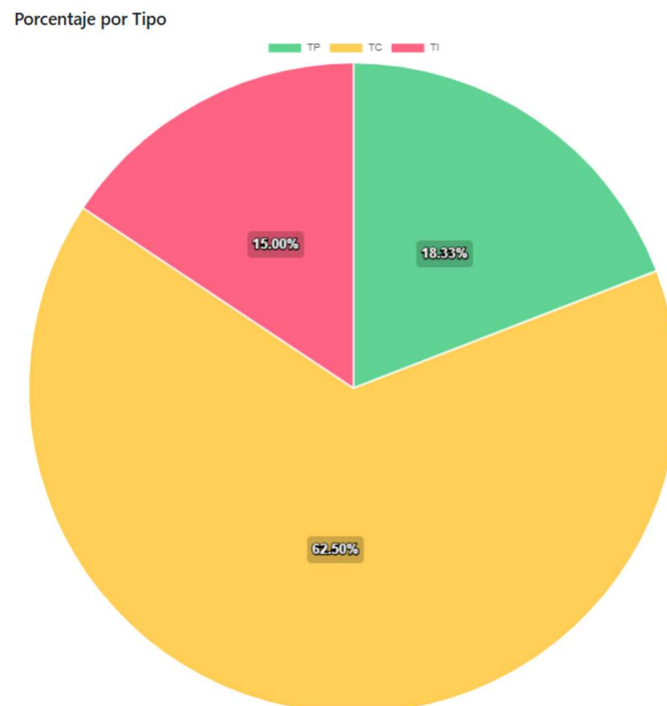
La medición con este método fue considerada como totalmente deficiente debido a que no se cumplió el objetivo de mostrar los resultados de productividad por medio de la herramienta digital. A continuación, en la figura 29 se muestra una fotografía tomada en sitio de esta actividad.

**Figura 29.** Fotografía de encofrado de columnas para Crew Balance.



La última actividad que se observó en este día fue el colado de columnas mediante el método Five Minutes Rating, la medición inició a las 11:13 a.m. después de terminar con el encofrado de la columna. Para llevar esta actividad a cabo se necesitaron 4 trabajadores en total, 3 encargados de transportar la mezcla de concreto con baldes hasta el segundo piso y 1 encargado de vaciar el concreto directamente en la columna. El recorrido que se hizo para el colado de la columna consistió en que de la batidora de concreto al inicio de la escalera que comunica el primer piso con el segundo donde se encontraba un carrito con concreto al cuál debían llegar los ayudantes para recoger la mezcla había 35 pies aproximadamente, y de ese carrito al segundo piso donde se encontraba la columna había 30 pies. Esta fue la forma que encontraron para acelerar el proceso de transporte, debido a que la batidora estaba muy lejos de la columna colada; por lo que como se puede ver a continuación en el gráfico, la actividad fue meramente contributiva debido a los desplazamientos largos observados.

**Figura 30.** Gráfico de productividad de Five Minutes Rating para encofrado de columnas.



En la figura anterior el tiempo productivo fue de 18,33%, el contributivo de 62,50% y el improductivo de 15%. En este caso únicamente se cumple con el ideal del tiempo improductivo que es de 15%, y los porcentajes reales de trabajo productivo y contributivo están invertidos comparados a lo que se espera idealmente; ya que como se mencionó anteriormente la actividad fue en su mayoría contributiva debido a la gran cantidad de desplazamientos largos observados. Como se pudo observar en la tabla 2, el volumen de trabajo de la actividad

fue de 0,27 m<sup>3</sup>, como en la actividad se clasificaron algunas observaciones como ausentes el rendimiento promedio fue de 7,36 horas-hombre, la desviación estándar fue de 0,10 y el coeficiente de variación fue de 1,36 siendo calificado como preciso.

Esta medición de productividad utilizando Five Minutes Rating también fue exitosa catalogando la herramienta digital como funcional considerando el análisis anteriormente mencionado, a continuación, se muestra una fotografía en sitio de esta actividad.

**Figura 31.** Fotografía de colado de columnas para Five Minutes Rating.



### 3.3.2 Segunda prueba

La segunda prueba se llevó a cabo el día 5 de octubre de 2024 a las 11:09 a.m., la actividad evaluada fue armadura de acero en la que únicamente estaba participando 1 armador elaborando aros para futuras vigas. En este proyecto se utilizan dobladoras de varilla manuales que se clavan a las mesas de trabajo, haciendo este proceso mucho más artesanal que si se usaran máquinas tipo industriales que pueden doblar más de 3 aros o ganchos a la vez. En promedio este armador puede doblar 1 aro cada 50 segundos aproximadamente elaboró 40 aros en total tomando en cuenta los tiempos improductivos que tuvo, en este caso la actividad al presentar únicamente 1 operario no hubo observaciones contributivas.

**Tabla 3.** Resumen de segunda prueba elaborada en Hermosita.

Número de Prueba: 02	
Fecha	5/10/2024
Método	Crew Balance
Actividad	Armado acero
Ubicación	Playa Hermosa
Tamaño cuadrilla	1
Frecuencia muestreo	1 (min)
Hora Inicio	11:09:00 a. m.
Cantidad observaciones	47
Trabajo Productivo (%)	-
Trabajo Contributivo (%)	-
Trabajo Improductivo (%)	-
Volumen trabajo	40 (HH/m)
Promedio rendimiento	0,02 (HH/m)
Desviación Estándar	0
Coficiente Variación	0
Calificación	-
Estado	Deficiente

Como se puede observar en la tabla 3, no se calcularon los porcentajes de productividad por lo que no se visualizaron los gráficos de columnas. El fin de esta prueba fue comprobar si el gráfico de Crew Balance de

columnas verticales 100% apiladas se creaba conforme se ingresaban las observaciones, sin embargo, este objetivo nuevamente no se cumplió catalogando la medición de productividad de este método como deficiente nuevamente. El volumen de trabajo fue 40 metros lineales obteniendo un rendimiento promedio de 0,02 horas-hombre/m; la desviación estándar, el coeficiente de variación y la calificación no se calcularon debido a que al ser únicamente un trabajador no hay diferencia en los datos aunado a que tampoco se presentaron observaciones clasificadas como ausentes.

### 3.3.3 Tercera prueba

La tercera prueba se llevó a cabo el día 15 de octubre de 2024 en el transcurso de la mañana, se observaron 3 actividades en total. A continuación, se muestra la tabla 4 con el resumen de la información observada este día para todas las actividades.

**Tabla 4.** Resumen de tercera prueba elaborada en Hermosita.

Número de Prueba: 03			
Fecha	15/10/2024		
Método	Crew Balance	Crew Balance	Five Minutes Rating
Actividad	Formaleta de vigas	Colocación Cerámica	Colocación Cerámica
Ubicación	Playa Hermosa	Playa Hermosa	Playa Hermosa
Tamaño cuadrilla	3	2	2
Frecuencia muestreo	1 (min)	1 (min)	1 (min)
Hora Inicio	10:08:00 a. m.	10:22:00 a. m.	11:28:00 a. m.
Cantidad observaciones	30	40	30
Trabajo Productivo (%)	67,78	88,75	54,55
Trabajo Contributivo (%)	7,78	8,75	4,55
Trabajo Improductivo (%)	24,45	2,5	40,91
Volumen trabajo	-	2,82 (HH/m2)	1 (HH/m2)
Promedio rendimiento	-	0,53 (HH/m2)	0,7 (HH/m2)
Desviación Estándar	-	0	0
Coeficiente Variación	-	0	0
Calificación	-	Precisa	Precisa
Estado	Deficiente	Deficiente	Funcional

La primera actividad evaluada fue formaleta de vigas se inició la observación a las 10:08 a.m., con 2 operarios y 1 ayudante. Para el caso de este proyecto este proceso es en su mayoría artesanal, por lo que los carpinteros deben fabricar en madera los apoyos y formaleta necesarios, este proceso es mucho más lento que colocar paneles y gatas o andamios de carga para la estructura del entepiso, por lo que el rendimiento para este caso fue mínimo, y únicamente se realizaron 40 minutos de observaciones. Se utilizaron paneles de aluminio en la parte inferior de la viga y en los laterales se colocó formaleta de madera.

Como se mencionó en el primer objetivo de esta investigación lo tradicional es implementar gráficos de columnas cuando se está empleando el método de Crew Balance para visualizar en conjunto la productividad de todos los trabajadores y todas las tareas observadas en la medición, pero también se puede utilizar otros métodos siempre que se cumpla con el objetivo de que se visualice toda la información necesaria. A partir de los resultados obtenidos en las dos primeras pruebas se tomó la decisión de cambiar de un gráfico de columnas apiladas a un gráfico tipo pastel. Este inconveniente propio de la herramienta digital se abordó con la elaboración de tres tipos de gráficos, un gráfico que incluyera los porcentajes de todas las actividades observadas, otro gráfico con el porcentaje de productividad general de la cuadrilla evaluada y un último gráfico con la productividad de cada trabajador distribuida por tipo de tareas observadas.

Implementando esta solución para el caso de esta tercera prueba, únicamente funcionaron los gráficos tipo pastel individuales de cada trabajador, el resto de los gráficos no se lograron observar y por ende tampoco se logró visualizar la productividad. Sin embargo, con el fin de obtener algún dato de productividad mediante Crew Balance se obtuvo los porcentajes de productividad mediante las ecuaciones 4, 5 y 6 que se encuentran en el marco teórico, obteniendo como resultado un 67,78% de trabajo productivo, un 7,78% de trabajo contributivo y un 24,45% de trabajo improductivo, alcanzando una productividad por encima de la ideal. A continuación, se muestra una fotografía en sitio de esta actividad.

**Figura 32.** Fotografía de colocación de formaleta para Crew Balance.



Para el caso de la segunda actividad evaluada que fue colocación de cerámica utilizando Crew Balance, se decidió realizar observaciones en esta actividad debido a que entra en la categoría de acabados, para confirmar que también puede medirse productividad en otras actividades que no sean pertenecientes a obra gris, además que es una actividad en la que el rendimiento es más sencillo de obtener. Esta actividad se está realizando bajo un subcontrato, para este día estaba trabajando el dueño que es pegador de cerámica y un ayudante. A continuación, se muestra una fotografía tomada en sitio de la actividad de colocación de cerámica.

**Figura 33.** Fotografía de colocación de cerámica para Crew Balance y Five Minutes Rating.

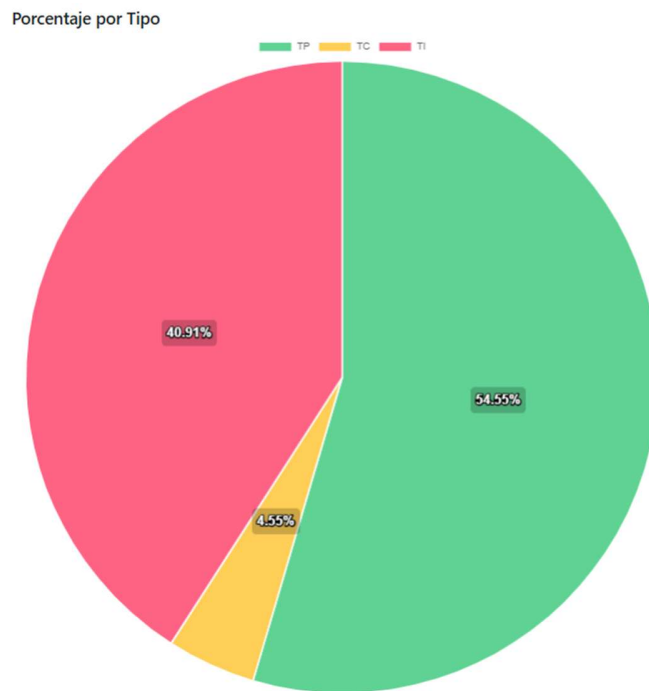


Como se mencionó anteriormente los gráficos de productividad no estaban funcionando, por lo que posteriormente a la toma de datos los resultados se obtuvieron de forma manual, el tiempo productivo fue de 88,75%, el trabajo contributivo fue de 8,75% y el improductivo de 2,5%. En este caso la actividad fue sumamente productiva debido a que todos los materiales estaban en un rango menor a 5 metros, contribuyendo a que la productividad sea muy alta; además que el ayudante estuvo atento en toda la observación a tener el material listo. Cabe mencionar que durante todo el transcurso de la observación estuvieron charlando entre ellos, sin embargo, esto no impidió obtener un alto rendimiento.

Las piezas colocadas de cerámica colocadas en la piscina fueron de 30x30cm. Al momento de colocar el dato del volumen obtenido en la aplicación, este valor fue de 2,82 m<sup>2</sup>, el cuál al estar en decimal no se pudo colocar como dato válido, ya que inicialmente el volumen estaba contemplado únicamente para valores enteros, este error se corrigió el mismo día para poder comprobar los datos del rendimiento de la aplicación. No se encontraron ausentes durante la observación, por lo que únicamente se obtuvo un rendimiento promedio de 0,53 horas-hombre/m<sup>2</sup> catalogando la observación como precisa. Cabe mencionar nuevamente que, al no poder cumplirse con los objetivos planteados para la medición, se clasifica esta observación como deficiente y se procede a corregir los errores analizados previamente de los gráficos.

Continuando con la última medición de este día, se empleó el método Five Minutes Rating, en el cual también se observó la actividad de colocación de cerámica en la piscina; esto con el fin de comparar el rendimiento de una actividad bajo las mismas condiciones, el mismo día y los mismos trabajadores. El rendimiento en esta observación fue de 0,7 horas-hombre/m<sup>2</sup> comparado con el rendimiento anterior fue considerablemente menor, este resultado se interpreta como "entre mayor sea el valor obtenido del rendimiento menor es el avance de la actividad", en otras palabras, se requirió más tiempo para pegar un m<sup>2</sup>.

**Figura 34.** Gráfico de productividad de Five Minutes Rating para colocación de cerámica.



Como se puede observar en la figura 34, el trabajo productivo fue de 54,55%, el contributivo de 4,55% y el improductivo de 40,91%, recalando nuevamente que los porcentajes ideales son 60, 25 y 15 respectivamente. En esta actividad el rendimiento fue menor que en la anterior debido a que se presentaron más observaciones improductivas sobrepasando el límite del porcentaje ideal por más del 25%. Las principales causas de que la actividad sea improductiva fue que la medición se realizó muy cerca a la hora del almuerzo, y se presentaron muchas observaciones de descanso y charlas.

Durante la prueba con el método de Five Minutes Rating hubo una desconexión a internet y la página dejó de funcionar, el proyecto visitado cuenta con acceso a Wifi, y el dispositivo móvil utilizado también poseía internet al momento de realizar las observaciones, ambas fuentes de internet dejaron de funcionar por lo que fue más compleja la reconexión. En este caso, se intentó obtener respuesta de la aplicación refrescando repetidamente el navegador durante aproximadamente 10 minutos, hasta que el navegador eventualmente recuperó la conexión a la red, reestableciendo la conexión con la herramienta.

Por último, como se mencionó anteriormente, dentro de los comentarios realizados en la primera prueba, se indicó que la hora mostrada en las observaciones no estaba en tiempo real, ya que tenía un desfase de 6 horas aproximadamente, para la segunda y tercera pruebas realizadas este factor no se logró corregir, presentando el mismo problema.

### 3.3.4 Cuarta prueba

La cuarta prueba se realizó el día 19 de octubre a las 3:42 p.m. con el fin de comprobar el horario y la cantidad de trabajadores que pueden agregarse para las mediciones de productividad. El método observado fue Work Sampling con la actividad de formaleta de vigas, se observaron 6 personas en total, este número de personas es el máximo recomendado para realizar observaciones en cualquier método según la experiencia obtenida a través de la práctica realizando mediciones de productividad en campo. Sin embargo, como se mencionó en el marco teórico autores como Serpell (2002) recomiendan un máximo de 8 personas, por lo que la cantidad de sujetos a observar queda a decisión de cada usuario. A continuación, se presenta el resumen de la actividad observada este día.

**Tabla 5.** Resumen de la cuarta prueba realizada en Hermosita.

Número de Prueba: 04	
Fecha	19/10/2024
Método	Work Sampling
Actividad	Formaleta de vigas
Ubicación	Playa Hermosa
Tamaño cuadrilla	6
Frecuencia muestreo	30 (s)
Hora Inicio	3:42:00 p. m.
Cantidad observaciones	5
Trabajo Productivo (%)	60
Trabajo Contributivo (%)	No aplica
Trabajo Improductivo (%)	40
Volumen trabajo	No aplica
Promedio rendimiento	No aplica
Desviación Estándar	No aplica
Coefficiente Variación	No aplica
Calificación	No aplica
Estado	Deficiente

Como se puede observar en la tabla 5 únicamente se lograron agregar 5 observaciones, debido a que en la herramienta se realizaron modificaciones anteriormente y no estaba funcionando correctamente. Dentro de las deficiencias encontradas fue que no se visualizaron los gráficos de productividad, las observaciones no estaban en tiempo real y el PDF que se obtiene a través de la aplicación tampoco cargaba, de hecho, la página se redirigía a una ventana que en la que aparecía un texto con la siguiente información “Ahora mismo la página no está disponible”. Debido a lo mencionado anteriormente se decidió suspender la prueba y corregir los errores en la aplicación; cabe destacar que los datos de productividad de esta prueba no son válidos debido a que no se cumple con el mínimo de observaciones requeridas para Work Sampling, que es de 385 observaciones.

Por otra parte, cabe mencionar que la herramienta digital no posee un límite de sujetos que puedan agregarse a las observaciones, esta cantidad está sujeta a la interfaz de la herramienta, ya que dependiendo el dispositivo y el método de medición que se esté utilizando, la cantidad recomendada máxima puede variar. En el caso de Work Sampling, como la medición de productividad no requiere agregar observaciones individuales de cada trabajador y se utilizan las observaciones generales de la cuadrilla, se puede incluir en los datos iniciales cualquier cantidad deseada de trabajadores.

Por ejemplo, si para el método de Five Minutes Rating se está utilizando un celular estándar la cantidad recomendada máxima si el celular está en horizontal es de 7 personas, ya que las columnas de los trabajadores para agregar las mediciones comienzan a traslaparse, como puede observarse en la figura 36; y en el caso de que el teléfono se utilice en vertical la cantidad de trabajadores que podría colocarse sería menor, figura 35. Es importante tomar en cuenta que en este método se utilizan columnas con círculos para seleccionar el tipo de actividad para cada trabajador, en la vista del celular suele pasar que cuando se desea seleccionar un círculo en específico se marqué alguno que esté a la par o en otra posición, debido a la sensibilidad de la pantalla y las propiedades de la interfaz como tal. Por lo que se recomienda estar muy atento si alguna observación se modifica por error, a continuación, se muestran en figuras los ejemplos anteriormente mencionados para Five Minutes Rating.

Figura 35. Vista vertical de la interfaz de Five Minutes Rating en un celular.

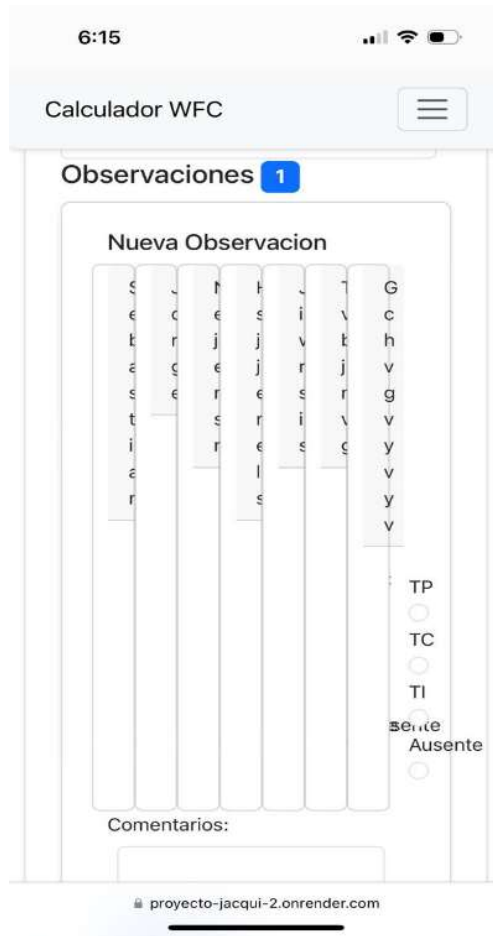
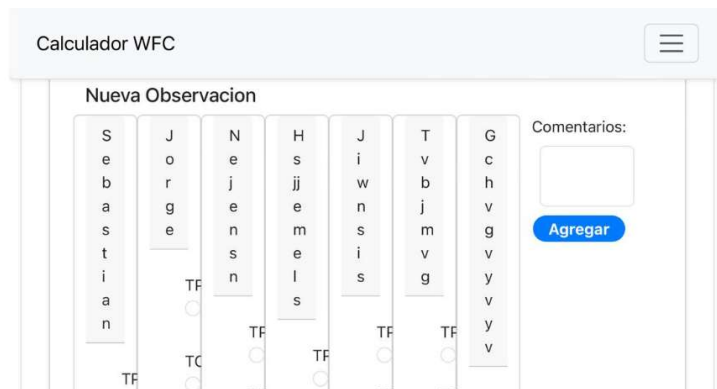


Figura 36. Vista horizontal de la interfaz de Five Minutes Rating en un celular.



Continuando con el ejemplo, si el dispositivo utilizado es un ordenador portátil la cantidad máxima de trabajadores que pueden agregarse y visualizarse sin traslaparse las columnas es de 10 trabajadores, más de eso la interfaz ya no sería de utilidad. A continuación, se muestra la figura del ejemplo mencionado anteriormente.

**Figura 37.** Vista de la interfaz de Five Minutes Rating desde un ordenador portátil.

Observaciones **2**

**Nueva Observacion**

Sebastian	Jorge	Nejensn	Hsjjemels	Jiwnsis	Tvbjmvg	Gchvgvyv yv	Jsmeksnzj	Comentarios: <input style="width: 90%;" type="text"/>
TP <input type="radio"/>	TP <input type="radio"/>	TP <input type="radio"/>	TP <input type="radio"/>	TP <input type="radio"/>	TP <input type="radio"/>	TP <input type="radio"/>	TP <input type="radio"/>	<input type="button" value="Agregar"/>
TC <input type="radio"/>	TC <input type="radio"/>	TC <input type="radio"/>	TC <input type="radio"/>	TC <input type="radio"/>	TC <input type="radio"/>	TC <input type="radio"/>	TC <input type="radio"/>	
TI <input type="radio"/>	TI <input type="radio"/>	TI <input type="radio"/>	TI <input type="radio"/>	TI <input type="radio"/>	TI <input type="radio"/>	TI <input type="radio"/>	TI <input type="radio"/>	
Ausente <input type="radio"/>	Ausente <input type="radio"/>	Ausente <input type="radio"/>	Ausente <input type="radio"/>	Ausente <input type="radio"/>	Ausente <input type="radio"/>	Ausente <input type="radio"/>	Ausente <input type="radio"/>	

#	Hora	Sebastian	Jorge	Nejensn	Hsjjemels	Jiwnsis	Tvbjmvg	Gchvgvyv	Jsmeksnzj	Comentarios	Acciones
2	19:52:36	<span style="color: green;">TP</span>	<span style="color: yellow;">TC</span>	Ausente	<span style="color: red;">TI</span>	<span style="color: yellow;">TC</span>	<span style="color: green;">TP</span>	<span style="color: red;">TI</span>	<span style="color: yellow;">TC</span>	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<a href="#">Editar</a>
1	11:05:17	Ausente	<span style="color: green; font-size: 1.2em;">TP</span>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	<input style="width: 100%;" type="text"/>	<a href="#">Editar</a>

Para concluir, si se analiza el ejemplo anterior para el método de Crew Balance, utilizando ya sea un celular o un ordenador portátil, la cantidad de trabajadores que se pueden incluir sin afectar la visualización de la interfaz es superior a 10, ya que para este método los trabajadores se agregan en una secuencia de filas, y no como el ejemplo anterior que eran columnas, facilitando la visualización de la interfaz. A continuación, se muestran las figuras del ejemplo mencionado anteriormente.

Figura 38. Vista vertical de la interfaz de Crew Balance en un celular.

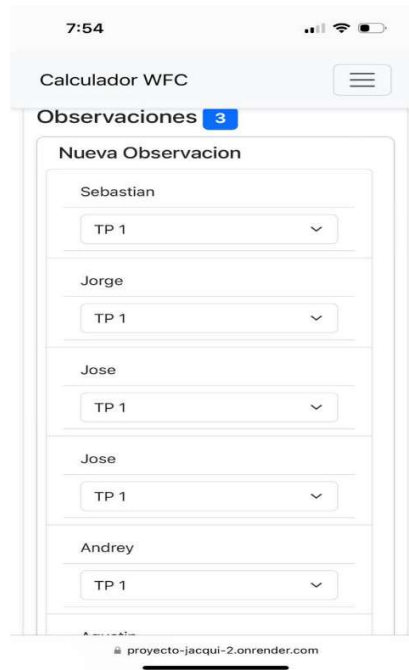


Figura 39. Vista de la interfaz de Crew Balance en un ordenador portátil.

Observaciones **4**

Nueva Observacion

Sebastian	Jorge	Jose	Jose	Andrey	Agustin	Miguel	Mesen	Inljl	rodriguez	Uejejsiekl	Comentarios:
TP ▾	▾	▾	▾	▾	1 ▾	▾	▾	▾	TP ▾	TP ▾	<input type="text"/>
											Agregar

#	Hora	Trabajadores	Comentarios	Acciones
4	20:25:24	Sebastian TP 1 Jorge TP 1 Jose TP 1 Jose TP 1 Andrey TP 1 Agustin TP 1 Miguel TP 1 Mesen TP 1 Inljl TP 1 rodriguez TP 1 Uejejsiekl ausente	<input type="text"/>	<a href="#">Editar</a>
3	21:25:19	Sebastian TP 1 Jorge TP 1 Jose ausente Jose ausente Andrey ausente Agustin ausente Miguel ausente Mesen ausente Inljl ausente rodriguez ausente Uejejsiekl ausente	<input type="text"/>	<a href="#">Editar</a>
2	21:24:51	Sebastian TC 1 Jorge TP 1 Jose ausente Jose ausente Andrey ausente Agustin ausente Miguel ausente Mesen ausente Inljl ausente rodriguez ausente Uejejsiekl ausente	<input type="text"/>	<a href="#">Editar</a>

Volumen:

### 3.3.5 Quinta prueba

La quinta prueba se realizó el día 22 de octubre a las 10:02 a.m. para la actividad de repello de paredes de covintec con compresor. Se seleccionó la misma actividad y pareja que en la prueba 1 realizada para Work Sampling, pero esta vez empleando el método de Crew Balance. Esto con el fin de determinar la eficiencia de Crew Balance en la aplicación y comprobar si los errores mencionados en las pruebas anteriores se lograron corregir. A continuación, se presenta en la tabla 6 un resumen con la información de la observación tomada ese día.

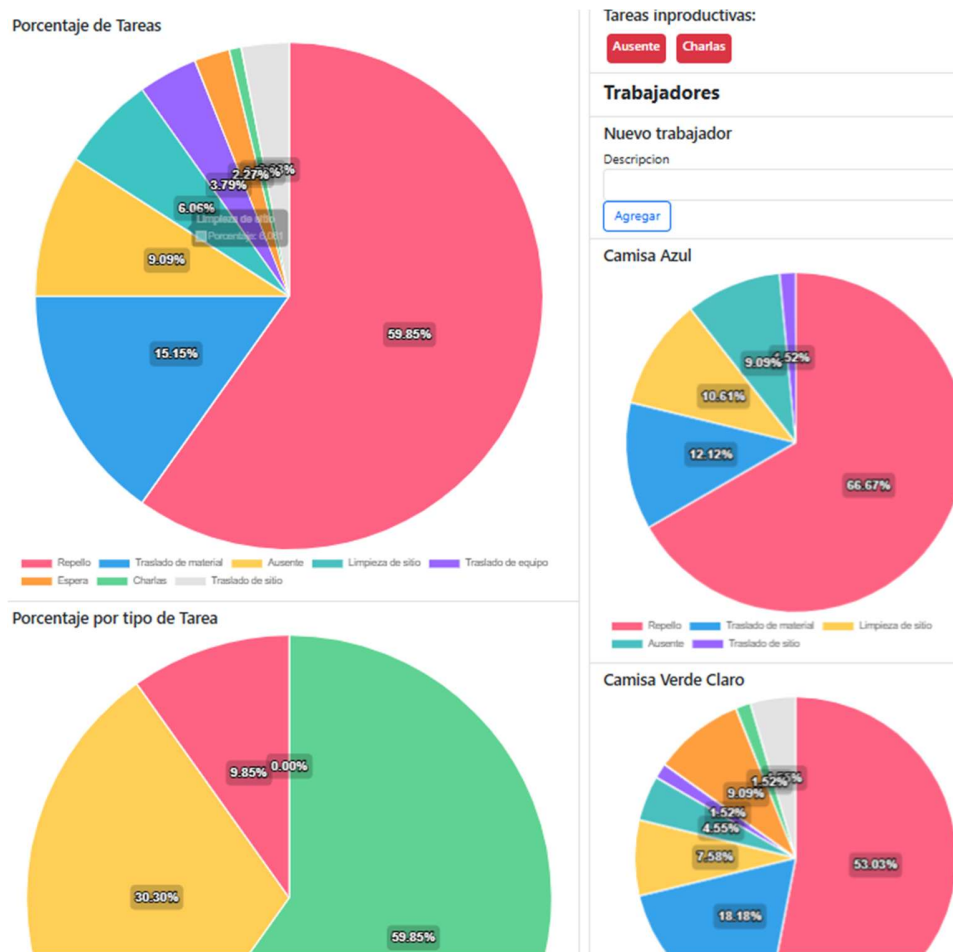
**Tabla 6.** Resumen de la quinta prueba realizada en Hermosita.

Número de Prueba: 05	
Fecha	22/10/2024
Método	Crew Balance
Actividad	Repello paredes
Ubicación	Playa Hermosa
Tamaño cuadrilla	2
Frecuencia muestreo	1 (min)
Hora Inicio	10:02:00 a. m.
Cantidad observacione	66
Trabajo Productivo (%)	59,85
Trabajo Contributivo (%)	30,3
Trabajo Improductivo (%)	9,85
Volumen trabajo	3,1 (HH/m2)
Promedio rendimiento	0,66 (HH/m2)
Desviación Estándar	0
Coficiente Variación	0
Calificación	Precisa
Estado	Funcional

Esta observación se realizó en el doble del tiempo mínimo recomendado en el marco teórico por Serpell (2002), para comprobar que la herramienta funciona correctamente por más de una hora. La productividad

obtenida para la actividad fue de 59,85%, el trabajo contributivo de 30,3% y el improductivo de 9,85%; estos valores fueron muy cercanos a la productividad ideal buscada. El volumen de trabajo obtenido fue de 3,1 m2, con un rendimiento promedio de 0,66 horas-hombre/m2, calificándose la medición como precisa. Para esta prueba se lograron cubrir los requerimientos necesarios para que la aplicación funcione correctamente, a continuación, en la figura 40 se muestra los gráficos de productividad obtenidos para la actividad.

**Figura 40.** Gráficos de productividad para repello de paredes empleando Crew Balance.



Como se puede observar en la figura anterior, la herramienta digital permitió visualizar el gráfico de productividad por porcentaje de tareas, el gráfico general de productividad y los gráficos por tipo de tarea de cada trabajador observado. Estos gráficos se logran identificar correctamente, sin embargo, como se mencionó anteriormente, la proporción del tamaño del gráfico comparado al tamaño de letra de los porcentajes es muy

grande, por lo que entre más tareas haya más difícil será de leer el gráfico, si existe alguna duda bastará con colocar el cursor sobre la actividad que se desee analizar para conocer el nombre de la actividad y el porcentaje. A continuación, en la figura 41 se puede observar una fotografía tomada en sitio de la actividad.

**Figura 41.** Fotografía de repello de paredes para Crew Balance.



### 3.3.6 Sexta prueba

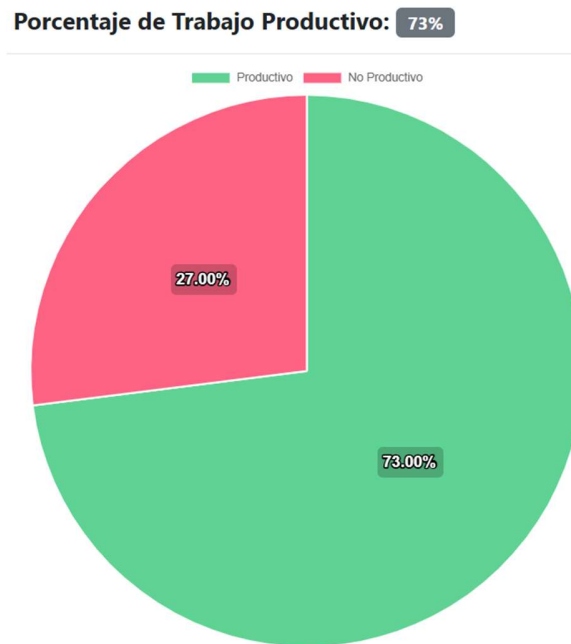
El día 1° de noviembre se realizó la sexta prueba de la herramienta digital, con el fin de determinar si los métodos que ya estaban aprobados seguían funcionando correctamente. Se inició a las 9:35 a.m. con el primer método que fue Work Sampling, evaluando la actividad de colado de viga. La cuadrilla estuvo compuesta por 6 personas en total, nuevamente ningún trabajador cumplió con el equipo de SSO básico y tampoco con el arnés requerido para trabajos de altura. El proyecto constructivo no cuenta con un profesional de SSO permanente, por lo que no hay revisión del estado de equipos como escaleras y andamios. A continuación, se presenta en la tabla 7 un resumen de las actividades observadas este día.

**Tabla 7.** Resumen de la sexta prueba elaborada en Hermosita.

Número de Prueba: 06		
Fecha	1/11/2024	
Método	Work Sampling	Five Minutes Rating
Actividad	Colado de viga	Colocación Cerámica
Ubicación	Playa Hermosa	Playa Hermosa
Tamaño cuadrilla	6	2
Frecuencia muestreo	15 (s)	1 (min)
Hora Inicio	9:35:00 a. m.	12:48:00 p. m.
Cantidad observaciones	390	38
Trabajo Productivo (%)	73	53,95
Trabajo Contributivo (%)	No aplica	25
Trabajo Improductivo (%)	27	18,42
Volumen trabajo	0,66 (HH/m3)	2,88 (HH/m2)
Promedio rendimiento	No aplica	0,43 (HH/m2)
Desviación Estándar	No aplica	0
Coefficiente Variación	No aplica	0
Calificación	No aplica	Precisa
Estado	Funcional	Funcional

Continuando con el colado de la viga, este proceso se realizó de la siguiente forma, un ayudante preparaba la mezcla en la batidora, dos ayudantes trasladaban el material 35 pies desde la batidora hasta la viga, luego otro ayudante le alcanzaba el balde con concreto a los dos operarios que se encontraban en el andamio. Se realizaron 390 observaciones en total cumpliendo con el mínimo requerido estadísticamente, se obtuvo un trabajo productivo de 73% y un improductivo de 27%, sobrepasando el límite del ideal para considerar una observación como productiva, según los porcentajes mencionados en el marco teórico. Las dimensiones de la viga eran 8x0,15x0,55 m, por lo que el volumen de trabajo del concreto colado en la viga fue de 0,66 m<sup>3</sup>, sin embargo, como se mencionó anteriormente no se implementó un espacio en específico para el rendimiento en las hojas de análisis de Work Sampling, por lo que se agregó este dato como un comentario en la herramienta digital. A continuación, en la figura 42 se muestra el gráfico de productividad de la actividad.

**Figura 42.** Gráfico de productividad para colado de viga utilizando Work Sampling.



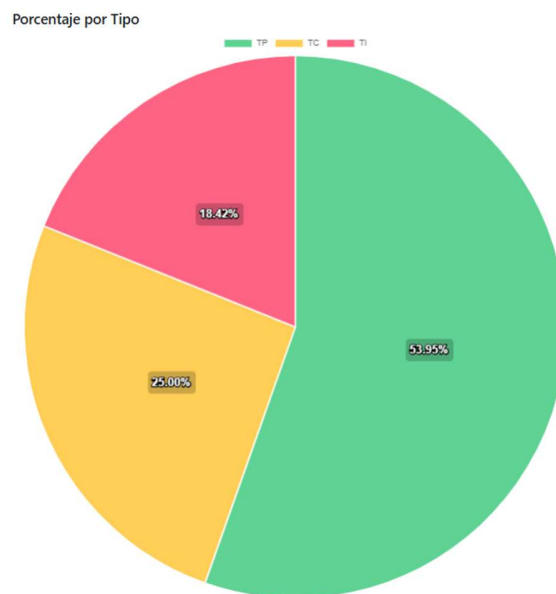
La medición terminó a las 11:15 a.m. agregándose este dato como un comentario en la última observación, se verificó con esta medición que el método de Work Sampling funciona correctamente y cumple con lo proyectado. A continuación, se muestra una fotografía tomada en sitio de la actividad evaluada.

**Figura 43.** Fotografía de colado de viga para Work Sampling.



La segunda medición se llevó a cabo a las 12:48 p.m. después de la hora de almuerzo para la actividad de colocación de baldosa mediante el método de Five Minutes Rating, la cuadrilla se conformó por 1 operario y 1 ayudante y se realizaron 38 observaciones en total. Las piezas colocadas en esta actividad se llaman imitación de coralina, y su dimensión es de 60x30 cm, con un espesor aproximado de 1 pulgada, son piezas pesadas que dificultan este proceso de colocación de acabado, este material se colocó en la terraza alrededor de la piscina. En el gráfico que se presenta a continuación se puede observar los porcentajes de trabajo obtenidos, el productivo fue de 53,95%, el contributivo de 25% y el improductivo de 18,42%.

**Figura 44.** Gráfico de productividad de colocación de baldosa para Five Minutes Rating.



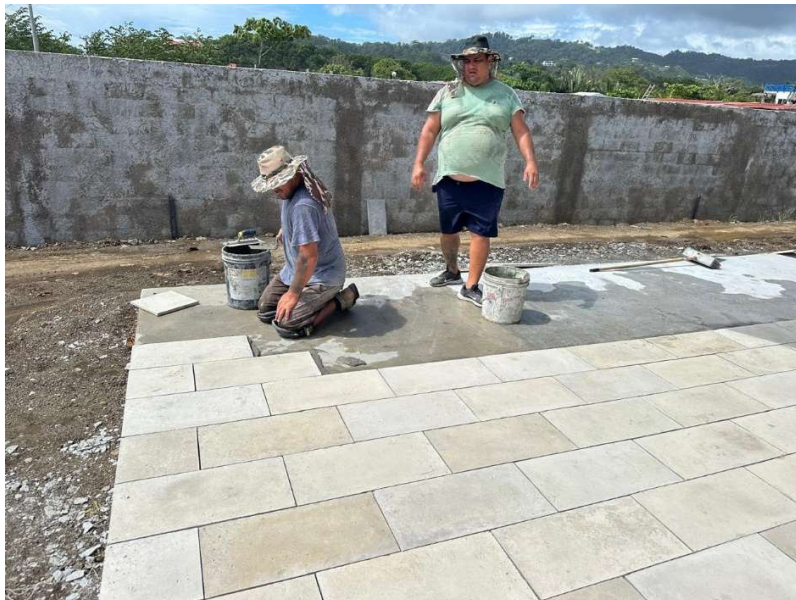
Los porcentajes anteriormente mencionados no cumplen con el mínimo ideal de productividad, esto debido principalmente a las características propias de la pieza de imitación de coralina, esta pieza es elaborada de manera artesanal en una empresa local; los moldes utilizados para las piezas son elaborados con silicón y las medidas varían entre los moldes, de hecho, hay piezas desde 59x28,5cm hasta las ideales de 60x30, las piezas incluso se diferencian en el espesor. Para compensar los defectos propios de las piezas, los colocadores deben agruparlas por tamaños e ir las colocando por sectores, deben realizar un mayor trabajo de nivelación entre las piezas e intentar que las cisas queden lo más similar posible; esta es la razón de que este proceso sea más lento que colocar otro tipo de acabado como cerámicas o azulejos.

El volumen de trabajo colocado fue de 2,88 m<sup>2</sup>, aproximadamente 15 piezas en 38 minutos y el rendimiento promedio fue de 0,43 horas-hombre/m<sup>2</sup>, calificando los datos obtenidos como precisos. Para analizar rendimientos en un proceso constructivo, no basta con guiarse por el dato que arroje la fórmula, el

usuario de la herramienta debería realizar un análisis completo de la actividad. Por ejemplo, para la actividad de colocación de cerámica usando Crew Balance en la tercera prueba se obtuvo un volumen de trabajo de 2,82 m<sup>2</sup> con un rendimiento de 0,53 horas-hombre/m<sup>2</sup> para una pieza de 0,3x0,3 m<sup>2</sup>; comparando estos datos con los de la coralina se obtiene que la colocación de la cerámica obtuvo un menor rendimiento. Ahora bien, aunque la coralina posea el doble del tamaño de la cerámica es más tardado colocar dos piezas de cerámica que una sola pieza de coralina, debido a que se debe realizar dos veces el proceso de colocar la cerámica, verificar la cisa y nivelar, aumentando el tiempo de colocación de la pieza.

Por último, cabe mencionar que este método de medición también se logró verificar que cumpla con lo propuesto y que funcione apropiadamente. A continuación, se muestra una fotografía tomada en sitio de la actividad y el material que se empleó para la misma.

**Figura 45.** Fotografía de colocación de baldosas para Five Minutes Rating.



### 3.3.7 Séptima prueba

La última prueba que se realizó en la herramienta fue el 2 de noviembre, en la cual se buscaba comprobar que los métodos que más complejos que son Five Minutes Rating y Crew Balance funcionaran correctamente y no

presentaran más errores, se decidió medir la actividad de colocación de entrepiso con los dos métodos, debido a que es una actividad de obra gris compleja y de gran relevancia. El sistema de entrepiso colocado es de viguetas pretensadas y bloques de poliestireno de 15 cm de espesor, se utilizó un camión con grúa articulada debido al peso propio de las viguetas. En el proceso de colocación de las viguetas un ayudante estaba en la planta baja asegurando las viguetas con lingas, mientras que en la azotea del segundo piso se encontraban dos operarios y dos ayudantes colocando las viguetas sobre la armadura de los diafragmas y vigas, y al mismo tiempo colocando el poliestireno. A continuación, en la tabla 8 se puede observar un resumen de los datos obtenidos en la medición.

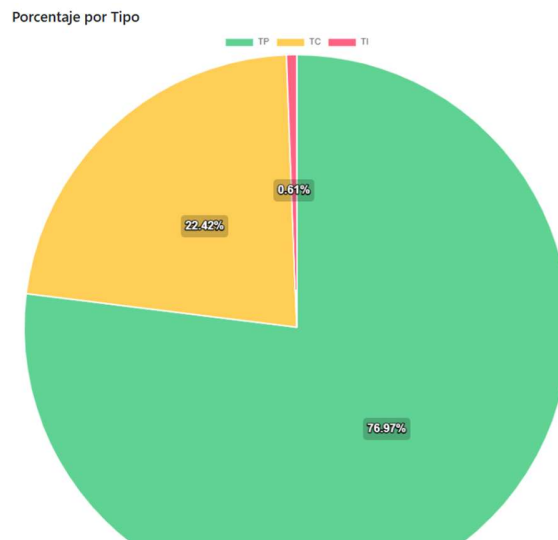
**Tabla 8.** Resumen de la séptima prueba elaborada en Hermosita.

Número de Prueba: 07		
Fecha	2/11/2024	
Método	Five Minutes Rating	Crew Balance
Actividad	Colocación entrepiso	Colocación entrepiso
Ubicación	Playa Hermosa	Playa Hermosa
Tamaño cuadrilla	5	5
Frecuencia muestreo	1 (min)	1 (min)
Hora Inicio	12:36:00 p. m.	1:14:00 p. m.
Cantidad observaciones	33	53
Trabajo Productivo (%)	76,97	75,47
Trabajo Contributivo (%)	22,42	19,25
Trabajo Improductivo (%)	0,61	5,28
Volumen trabajo	21 (HH/m <sup>2</sup> )	21,41 (HH/m <sup>2</sup> )
Promedio rendimiento	0,12 (HH/m <sup>2</sup> )	0,21 (HH/m <sup>2</sup> )
Desviación Estándar	0	0
Coficiente Variación	0	1,36
Calificación	Precisa	Precisa
Estado	Funcional	Funcional

El primer método fue Five Minutes Rating, iniciando la observación a las 12:36 p.m., con un total de 33 observaciones realizadas. El porcentaje de trabajo productivo obtenido fue de 76,97%, el contributivo de 22,42% y el improductivo de 0,61%; cumpliendo con la productividad ideal de 60%, 25% y 15% respectivamente. El volumen de trabajo del entrepiso colocado fue de 21 m<sup>2</sup>, con un rendimiento promedio de 0,12 horas-

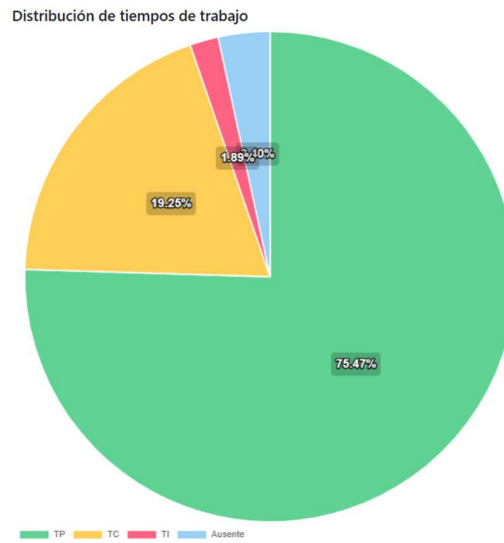
hombre/m2 y calificación precisa; este fue el mejor rendimiento obtenido en todas las pruebas realizadas, esto también aunado a que se estaba utilizando una grúa y el proceso de la actividad fue muy eficiente con una alta productividad. A continuación, en la figura 46 se muestra el gráfico de productividad de esta actividad.

**Figura 46.** Gráfico de productividad de colocación de entrepiso para Five Minutes Rating.



El segundo método utilizado fue Crew Balance iniciando a la 1:14 p.m. con la misma cuadrilla que se observó en la medición anterior. La cantidad de observaciones realizadas fue de 53, como se puede observar en la figura 47 se obtuvo una productividad de 75,47%, trabajo contributivo de 19,25%, y un trabajo improductivo de 5,28%, cumpliendo con el porcentaje de productividad mínimo de 60%. El volumen de trabajo obtenido fue de 21,41 m2, con un rendimiento promedio de 0,21 y coeficiente de variación de 1,36, calificando la medición como precisa. Aunque el volumen de trabajo es muy similar al anterior, el rendimiento en este método es mucho menor, tardando más tiempo para colocar un m2 de entrepiso.

**Figura 47.** Gráfico de productividad de colocación de entrepiso para Crew Balance.



Durante ambas pruebas la herramienta digital respondió con normalidad cumpliendo con lo esperado, los productos se visualizaron correctamente, se agregaron los datos del rendimiento sin ningún problema y el PDF se logró descargar con todos los datos requeridos, por lo que de esta forma queda comprobada la efectividad de la herramienta digital. Por otra parte, cabe mencionar que ninguno de los trabajadores de la cuadrilla estaba utilizando el equipo de seguridad completo, y que las lingas de la grúa para levantar el material no estaban en buen estado, a continuación, se muestran fotografías del proceso constructivo. A continuación, en las figuras 48 y 49 se puede observar fotografías tomadas en sitio de la actividad de colocación de entrepiso.

**Figura 48.** Fotografía de la colocación del entrepiso de viguetas pretensadas.



**Figura 49.** Fotografía de la colocación del entrepiso de viguetas pretensadas.



Finalmente, debido al alcance determinado al inicio del proyecto de investigación, las siete pruebas realizadas en la herramienta digital forman parte de una muestra representativa, ya que, es muy complejo ensayar la aplicación en todas las actividades constructivas que puedan presentarse en cualquier obra. Sin embargo, debido a el planteamiento de la estructura de la interfaz de la herramienta y su contenido, puede asumirse que a partir de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas el Calculador WFC puede emplearse en cualquier actividad de una edificación.

## 3.4 Guía de uso de la herramienta digital

Este objetivo se llevó a cabo con el fin de que los usuarios posean una guía de uso que les permita conocer cómo funciona la herramienta digital, con sus respectivas restricciones y alcances. La redacción y el contenido de este documento es sencillo debido a que se espera que cualquier interesado en utilizar la herramienta pueda comprender rápidamente el funcionamiento de esta. La guía de uso se encuentra en el apéndice 3 de este proyecto de investigación.

El contenido teórico de la guía se definió a partir del cuestionario realizado en el primer objetivo, se decidió agregar a la guía una sección para explicar la definición y características de cada método de medición de productividad, debido a lo comentado en las preguntas 6 y 8 del cuestionario. También, se decidió agregar algunos ejemplos que permitan reconocer la diferencia entre una tarea productiva, contributiva o no productiva, debido a que existen dudas en la clasificación de las tareas, como se discutió en las preguntas 9 y 10, sin embargo, esto simplemente es una guía y la clasificación de estas actividades también puede variar entre empresas y proyectos dependiendo de la perspectiva del usuario. Los porcentajes ideales de productividad también se agregaron a la guía, para que el usuario posea una referencia para comparar los productos obtenidos de la herramienta digital, según la información contenida en la pregunta 13 del cuestionario en mención.

Por otra parte, a partir de la sección 1.9 en el marco teórico, se determinó la estructura de la guía en la que inicialmente se creó el índice del documento, seguido por una introducción breve describiendo el objetivo de la guía e importancia. Posteriormente se incluyeron definiciones básicas relacionadas al tema de productividad, métodos de medición de productividad y referencias de datos utilizados en la herramienta. Las instrucciones de la guía se redactaron por secciones, por ejemplo, la pantalla de inicio de la herramienta, las vistas del listado de análisis, las hojas de análisis, vista del documento PDF, etc; todas estas secciones poseen indicaciones con sus respectivos ejemplos con el fin de aclarar que datos pueden utilizarse y en que formato se digitan.

Esta guía de uso contiene información detallada de cada paso que debe seguirse para que cualquier persona que se dedique al ámbito de la construcción pueda manipular la aplicación de manera óptima y sencilla, desde los ingenieros civiles hasta los maestros de obras que forman parte indispensable de los procesos constructivos. La herramienta digital se diseñó de forma que fuera eficaz y amigable con el usuario, y que la interfaz fuera lo más instintiva posible. Sin embargo, la guía reduce considerablemente este proceso de aprendizaje instintivo debido a que la información contenida es explicada a partir de capturas de pantalla en las que se colocaron cuadros de texto, figuras, flechas y demás elementos básicos que permiten delimitar que se

puede hacer en la aplicación y que no. En los manuales de usuarios o guías de algunos productos existe la tendencia de colocar imágenes básicas con textos en prosa, obligando al usuario a leer información que tal vez no es de provecho en ese momento, por lo que el argumento interactivo de esta guía refleja mayor interés en los usuarios.

También cabe destacar la tendencia actual de anteponer la información contenida en medios audio visuales como videos de tutoriales, a los documentos físicos, por lo que se recomienda también implementar en otros proyectos de investigación medios audios visuales como entregables, para atraer el interés de los usuarios. Por último, se agregaron algunas restricciones que posee la herramienta y cómo manejar los errores que podrían presentarse durante las mediciones de productividad. En la figura 50, se encuentra la portada de la guía de uso de la herramienta digital Calculador WFC.

**Figura 50.** Portada de la guía de uso de la herramienta digital.



# Conclusiones y recomendaciones

En esta sección se presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de los resultados y su análisis correspondiente, tomando como referencia el marco teórico y los objetivos planteados para el proyecto.

## Conclusiones

Los principales elementos requeridos para la medición de la productividad de mano de obra en proyectos de edificaciones fueron los datos iniciales del proyecto constructivo y condiciones del proceso de medición, observaciones de los trabajadores y tareas, volumen de trabajo y datos de productividad y rendimientos.

Se optimizó el proceso de registro y cálculo de productividad de mano de obra mediante la construcción de los componentes de la interfaz, base de datos y servidor utilizando el entorno de desarrollo Visual Studio Code.

La herramienta digital permitió visualizar la información de la captura de tiempos de productividad de mano de obra en sitio mediante una interfaz intuitiva, a pesar de sus características limitadas por un servidor y una base de datos con planes de hosting básicos.

Las pruebas realizadas en el proyecto constructivo “Herмосita” se desarrollaron mediante muestras representativas que permitieron confirmar que la herramienta digital permite medir productividad de mano de obra tanto en actividades de obra gris como en acabados, en su totalidad. Por lo que, es posible en un futuro adaptar esta herramienta para otros tipos de proyectos que no sean edificaciones, como puentes, carreteras, megaproyectos; y también adaptarla a todo tipo de actividades que puedan presentarse en una obra.

La guía de uso de la herramienta digital Calculador WFC se elaboró a partir de definiciones, instrucciones y limitaciones que permiten comprender de forma óptima e intuitiva el proceso para llevar a cabo la medición de productividad de mano de obra en proyectos de edificaciones.

Dentro del alcance del proyecto de investigación no se planteó comprobar el funcionamiento de la guía de uso de la herramienta propuesta, por lo que no se logró validar si la guía cumple con todos los requerimientos necesarios o no; simplemente cumple su función como un producto complementario de la herramienta digital creada.

Entre las principales limitaciones de la herramienta digital se encuentra que no se pueden editar los trabajadores y tareas una vez ingresadas, la aplicación únicamente puede utilizarse si se cuenta con un navegador instalado en el dispositivo y acceso a internet, y en caso de colocar un formato incorrecto en los datos ingresados, la página web dejará de funcionar y deberá refrescarse el navegador.

A partir de las pruebas realizadas a la herramienta digital se determinó que el rendimiento se debió incluir como una sección en el método de Work Sampling, sin embargo, por falta de tiempo para el desarrollo de la herramienta no se realizó la corrección.

## Recomendaciones

Se insta a la Dirección de Proyectos e Investigación del CFIA y al departamento de Investigación y Desarrollo Técnico de la Cámara Costarricense de la Construcción, a continuar con la investigación para la creación de una herramienta digital estandarizada a nivel nacional, esto con el fin de que las empresas dispongan de una herramienta gratuita, pública y funcional que se pueda emplear en cualquier proyecto sin importar su clasificación o tamaño.

Se sugiere al departamento de Investigación y Desarrollo Técnico de la Cámara Costarricense de la Construcción de promover la investigación sobre los niveles de productividad en los proyectos constructivos, con el fin de crear indicadores de productividad adaptados a Costa Rica; de esta forma las empresas pueden monitorear el comportamiento de la mano de obra a nivel nacional y estimar presupuestos en la planificación de los proyectos.

Se recomienda a los encargados de la coordinación de los TFG's de la Escuela de Ingeniería en Construcción que para los proyectos de investigación similares a este, se incluya dentro del alcance del proyecto que la comprobación de la efectividad de la herramienta sea ejecutada por profesionales experimentados en el área de productividad, ellos serán los que brindarán mayor retroalimentación para desarrollar una herramienta óptima que cumpla con las necesidades del sector. También, se recomienda validar con estos profesionales la guía de uso propuesta de la herramienta, con el objetivo de evaluar si el lenguaje utilizado fue sencillo y las instrucciones son precisas para obtener el mayor provecho posible a la herramienta. Para llevar este proceso de validación a cabo, debe tomarse en cuenta que el tiempo de realización del TFG debe ser extendido, ya que la respuesta por parte de las empresas interesadas en participar será lenta mientras realizan todas las pruebas necesarias.

Es imperativo que instituciones como el CFIA, propongan un manual con el proceso de medición de productividad estandarizado, con el fin de que estos procedimientos no difieran en gran medida entre las empresas y los encargados de medir productividad estén mayormente calificados para este tipo de tareas.

Se recomienda a la Escuela de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica a optimizar y adaptar la herramienta con el apoyo de expertos en el área de informática para eventualmente ser lanzada para uso público de las instituciones, centros educativos, empresas y demás interesados. También, se insta a la Escuela a implementar la herramienta elaborada en proyectos como el Observatorio de la Construcción y en cursos relacionados a medición de productividad dentro del plan de estudios con el fin de optimizar el aprendizaje en esta área.

# Referencias

- Ardila Cubillos, R.A y Mejía Aguilar, G. (2021). Fundamentos conceptuales y métodos para determinar la conformación de cuadrillas de trabajo en procesos constructivos. En Serna, M. E. (Ed.), *Desarrollo e Innovación en Ingeniería* (6ª ed., Vol. 1, pp.528-544) Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5513899>
- AWS. (2024) *¿Qué es una base de datos?* Amazon. <https://aws.amazon.com/es/what-is/database/>
- Binda, N. U., & Balbastre-Benavent, F. (2022). INVESTIGACIÓN CUANTITATIVA e INVESTIGACIÓN CUALITATIVA: BUSCANDO LAS VENTAJAS DE LAS DIFERENTES METODOLOGÍAS DE INVESTIGACIÓN. *Revista de Ciencias Económicas*, 31(2), 179-187. <https://doi.org/10.15517/rce.v31i2.12730>
- Bos, Bert. (2024) *What is CSS?* W3C. <https://www.w3.org/Style/CSS/>
- Bryman, A. (1998). *Quantity and Quality in Social Research*. En Routledge eBooks. <https://doi.org/10.4324/9780203410028>
- Cámara Costarricense de la construcción. (2024) *Informe Económico Agosto 2024*. <https://construccion.co.cr/3d-flip-book/informe-economico-agosto-2024/>
- Cerdas Esquivel, C. (2009) *Productividad de la mano de obra en la construcción costarricense*. Ingeniería Industrial. ULACIT. <https://repositorio.ulacit.ac.cr/bitstream/handle/20.500.14230/190/045313.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Cruelles Ruiz, J.A. (2012) *Productividad e incentivos: Cómo hacer que los tiempos de fabricación se cumplan*. Universidad de Zaragoza (1ª ed.) Editorial MARCOMBO, S.A.

- Delgado Quirós, S. (2010) *Implementación de una metodología para medir el rendimiento en la construcción de líneas de distribución eléctrica*. [Tesis de licenciatura, Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC.
- Dozzi, S.P. & AbouRizk, S.M. (1993) *Productivity in Construction*. Institute for Research in Construction. National Research Council. <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft?id=52dc96d5-4ba0-40e6-98d2-8d388cba30cd>
- Eguíluz Pérez, J. (2008) *Introducción a JavaScript*. (p.5)  
[https://www.jesusda.com/docs/ebooks/introduccion\\_javascript.pdf](https://www.jesusda.com/docs/ebooks/introduccion_javascript.pdf)
- EJS (s.f.) *What is EJS?* <https://ejs.co/>
- Express. (s.f.) *Fast, unopinionated, minimalist web framework for Node.js*. <https://expressjs.com/>
- Fazt Web. (2023) *Despliegue de Node.js en Render.com*. Fazt, Inc. <https://fazitweb.com/contenido/nodejs-deploy-en-render-com>
- Figueroa Navarro, J.I. (2022) *Herramienta para la gestión de información de equipos en varias actividades del proyecto de la Rotonda de la Bandera para la empresa El Almendro*. [Tesis de licenciatura, Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC.
- Franganillo, J. (2011) *HTML 5: el nuevo estándar básico de la web*. Anuario ThinkEPI. (vol. 5, 1ª pp.261-263)
- Garza Contreras, A. (2018). *La obra gris en la edificación básica - Repositorio Institucional UANL*.  
<http://eprints.uanl.mx/20638/>
- Gómez Cabrera, A. y Morales Bocanegra, D.C. (2016) *Análisis de la productividad en la construcción de vivienda basada en rendimientos de mano de obra*. INGE CUC. (vol. 12, 1ª ed, pp. 21-31. DOI: <http://dx.doi.org/10.17981/ingecuc.12.1.2016.02>
- González, M. C. C. (2011). *La dicotomía cuantitativo/cualitativo: falsos dilemas en la investigación social*. Dialnet. (25), 1-35. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4324466>

- Guerrero Bejarano, M. A. (2016) La investigación Cualitativa. Universidad Internacional del Ecuador. *INNOVA Research Journal*. (1), 7. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5920538>
- Hall, J. (2022) *Getting started with MongoDB & Mongoose*. MongoDB. <https://www.mongodb.com/developer/languages/javascript/getting-started-with-mongodb-and-mongoose/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014) *Metodología de la investigación*. (6ª ed., pp. 7-415) McGraw-Hill Education. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Marchionni, E. A. (2011) *Administrador de servidores*. Manuales Users. <https://n9.cl/pujk7p>
- Mejía Aguilar, G. y Hernández C, T.C. (2007) Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra. *Revista UIS Ingenierías*. (Vol. 6, 2ª ed, pp.45-59). Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6299721>
- Millán, A. R., & Sánchez, L. M. P. (2014). *Estudio de rendimientos para las actividades estructura y mampostería para un proyecto de construcción en el campus de la UPB*. Redalyc.org. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496250640011>
- MongoDB. (s.f). *Qué es MongoDB?* <https://www.mongodb.com/es/company/what-is-mongodb#:~:text=MongoDB%20es%20una%20base%20de%20datos%20de%20documentos,como%20un%20modelo%20de%20consultas%20e%20indexaci%C3%B3n%20avanzado.>
- MongoDB. (s.f.) *MongoDB Atlas Tutorial*. <https://www.mongodb.com/resources/products/platform/mongodb-atlas-tutorial>
- Niño Camazón, J. (2010) *Aplicaciones web*. Editorial Editex. [https://books.google.co.cr/books?id=5c7hAwAAQBAJ&newbks=1&newbks\\_redir=0&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=5c7hAwAAQBAJ&newbks=1&newbks_redir=0&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false)
- Node.js. (s.f.) *Run JavaScript Everywhere*. <https://nodejs.org/en>

- Ortiz Quesada, G., Paniagua Madrigal, E. & Sandoval Quirós, M. (2009). *Costos de Construcción*. Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería en Construcción.
- Pérez Porto, J. y Gardey, A. (2021) Manual de usuario - Qué es, definición y concepto.  
<https://definicion.de/manual-de-usuario/>
- Ramírez Salas, P. (2022) *Guía para la medición y análisis de la productividad en los proyectos constructivos*. [Tesis de licenciatura, Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC.
- Rojas López, M.D., Henao Grajales, M. y Valencia Corrales, M.E. (2016) Lean construction- LC bajo pensamiento Lean. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. DOI: 10.22395/rium.v16n30a6
- Ruiz Espejo, M. (2017) *Estimación de la desviación estándar*. Universidad Católica San Antonio de Murcia. Estadística Española. (vol 59, 192ª, pp.37)  
<https://www.researchgate.net/publication/335790263> Una demostracion sencilla de la varianza de la cuasivarianza muestral
- Scolari, C.A. (2018) *Las leyes de la interfaz: Diseño, ecología, evolución, tecnología*. Gedisa Editorial. (vol. 7, 1ª ed, pp.153-155)
- Serpell B, A. & Verbal R, R. (1990) Análisis de operaciones mediante cartas de balance. *Revista Ingeniería en Construcción*. Repositorio UC. <https://repositorio.uc.cl/server/api/core/bitstreams/0a773e44-ad05-4df9-bc59-306b37770653/content>
- Serpell B, A. (2002) *Administración de operaciones de construcción*. Alfaomega grupo editor. Pontificia Universidad Católica de Chile. (2ª ed)
- Strauss, A. y Corbin, J. (2002). *Bases de la investigación cualitativa*. Técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Tabarés Gutiérrez, R. (2013) *La belleza del código*. El desarrollo de HTML5. Fundación TECNALIA RESEARCH & INNOVATION. (vol. 6, 1ª ed, pp. 139-162). Dialnet.
- TEC. (2022, octubre) *Cumplimiento del Tec a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. Tecnológico de Costa Rica. <https://www.tec.ac.cr/objetivos-desarrollo-sostenible-agenda-2030>

Torres, M., Paz, K.S., & Salazar, F.G. (s.f.) *METODOS DE RECOLECCION DE DATOS PARA UNA INVESTIGACIÓN*. Boletín Electrónico No. 03. Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Landívar. [https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin03/URL\\_03\\_BAS01.pdf](https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin03/URL_03_BAS01.pdf)

Zapparoli, M. (2003). Concepciones teóricas metodológicas sobre investigación. *Girasol: Revista de la Escuela de Estudios Generales*. (5), 194.

# Apéndices

**Apéndice 1.** Cuestionario de productividad

**Apéndice 2.** Capturas de pantalla de la vista principal de las hojas de análisis creadas en la herramienta digital.

**Apéndice 3.** Guía de la herramienta digital Calculador WFC para la medición de productividad en obra

## Apéndice 1. Cuestionario de productividad

1. Una definición básica de la productividad es la "relación entre la cantidad de producto generado respecto a los recursos utilizados". Indique que entiende usted por el término productividad en el ámbito de la construcción.

15 respuestas

Para mí consiste en utilizar la menor cantidad de recursos para realizar la mayor cantidad de trabajo productivo

La tasa de avance en un proyecto respecto a su presupuesto y calendario

Realizar una mayor cantidad de resultados medibles en una menor cantidad de tiempo

La cantidad de metros cuadrados construidos considerando el tiempo y la cantidad de personal que ejecuta.

Buen rendimiento en el avance de los objetivos de un proyecto

Avance

En el ámbito de la construcción el término productividad debe estar asociado a la entrega de actividades de construcción en el menor tiempo posible, analizando la actividad y ejecutando intrínseca de cada una de las actividades.

Es la eficiencia con la que los recursos son administrados en tiempo y forma para entregar un proyecto

Lograr mejorar la "cantidad" de unidades producidas (m<sup>3</sup>,kg,,m<sup>2</sup> y/o un) en determinado tiempo

Es la cantidad de trabajo realizado en cierto periodo

Productividad el término es producción y hay que producir cantidad y cantidad

Dar rendimiento y avance en cada actividad constructiva

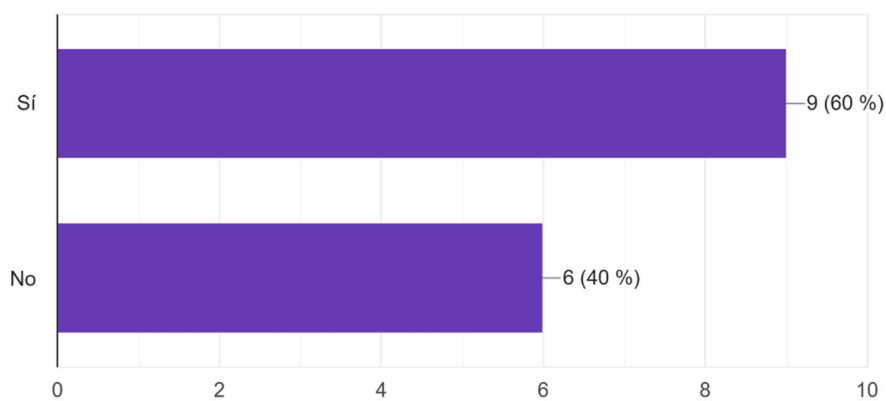
que tan eficientes somos utilizando los recursos que se tienen

Cantidad de producto realizado empleado y ejecutando los recursos de maneras eficaz y efectiva.

Avance satisfactorio y acorde a cronograma de materiales y mano de obra.

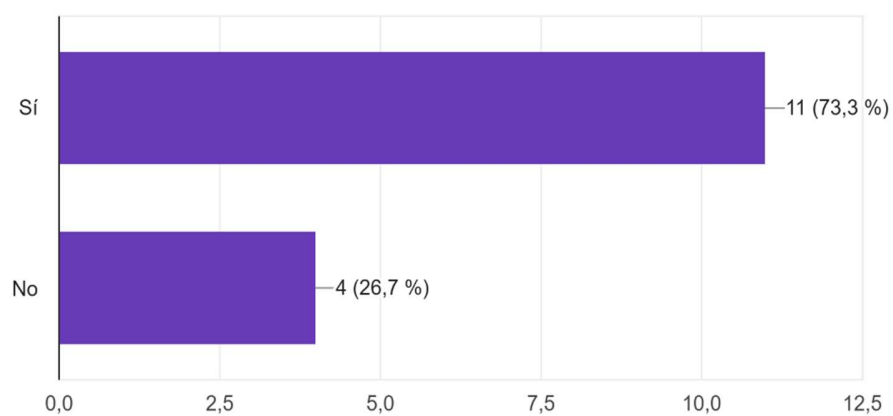
2. En su empresa o proyecto constructivo en el que se encuentra actualmente se realiza algún tipo de medición de productividad?

15 respuestas



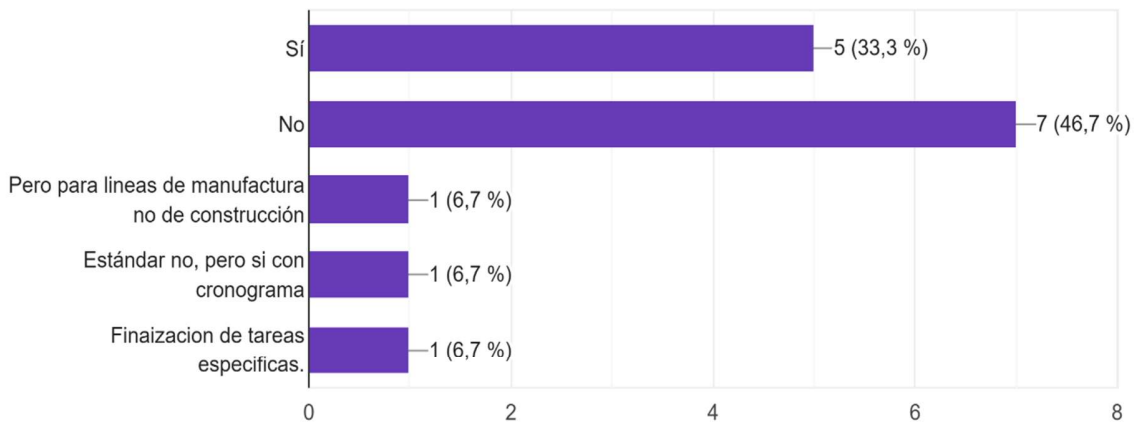
3. Ha sido parte de proyectos constructivos en los que se han tomado mediciones de productividad de mano de obra?

15 respuestas



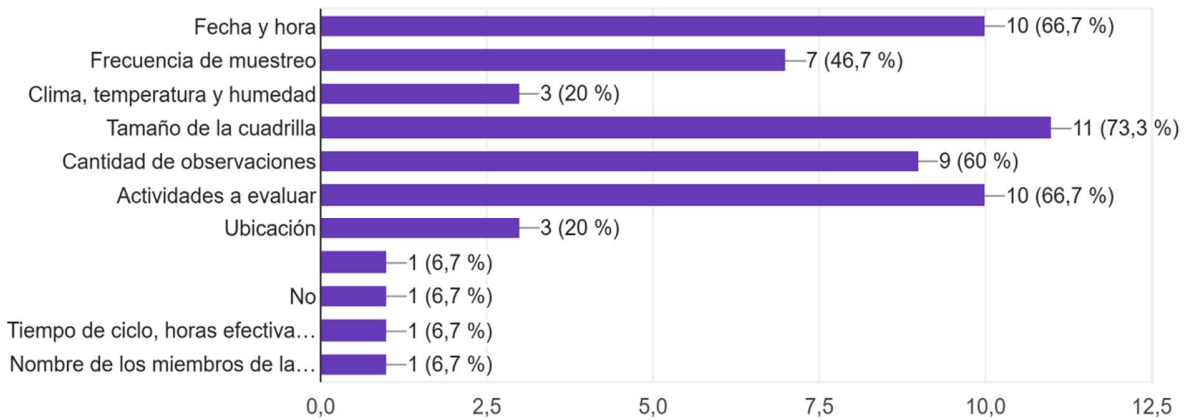
4. Si en su empresa han realizado mediciones de productividad de mano de obra anteriormente, poseen alguna plantilla establecida o un procedimiento estándar para la medición de la misma?

15 respuestas



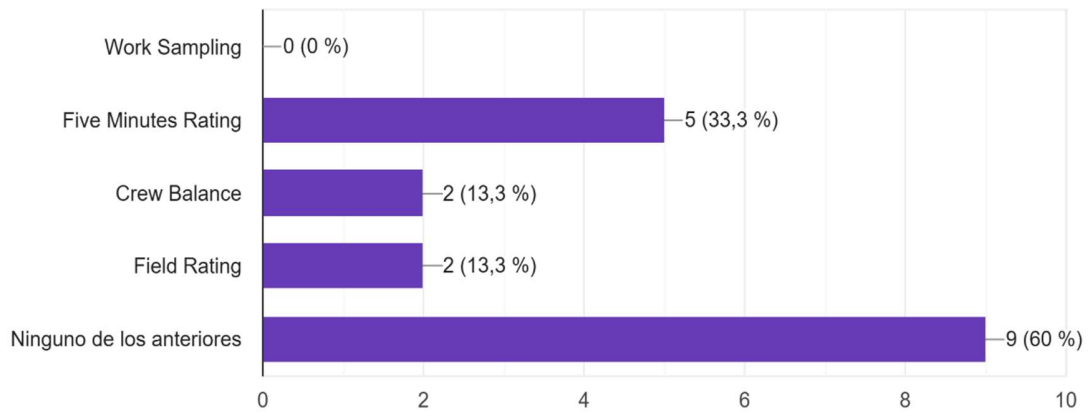
5. En el caso de haber realizado mediciones de productividad anteriormente, que información es capturada en este proceso?

15 respuestas



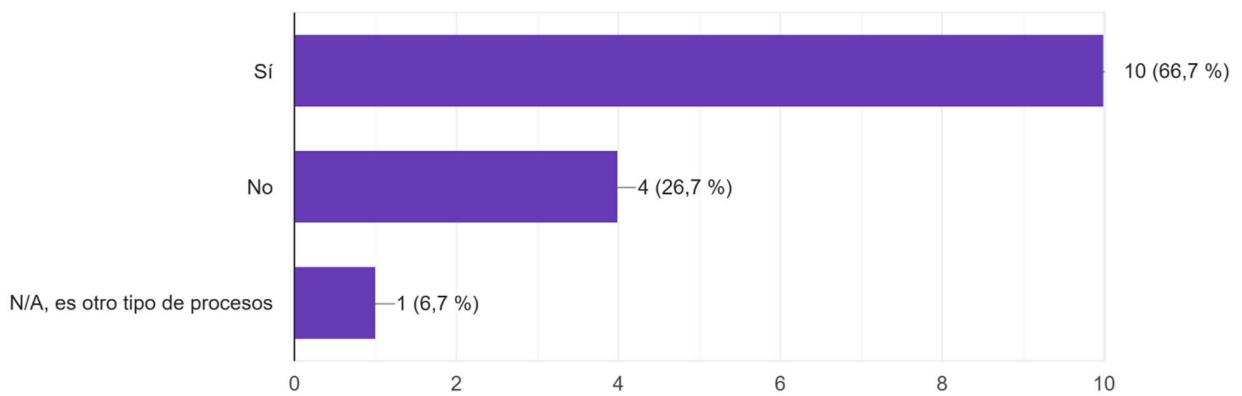
6. Que métodos para la medición de productividad ha realizado o está familiarizado?

15 respuestas



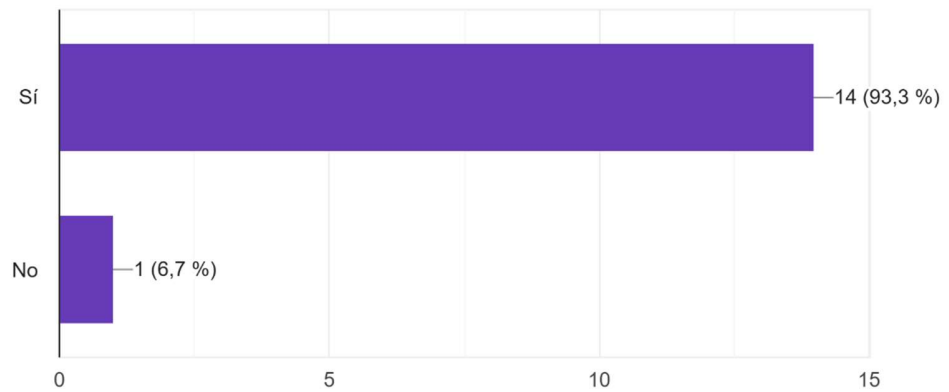
7. Con la información recopilada de los análisis de productividad, en su empresa toman medidas para realizar mejoras en los procesos constructivos?

15 respuestas



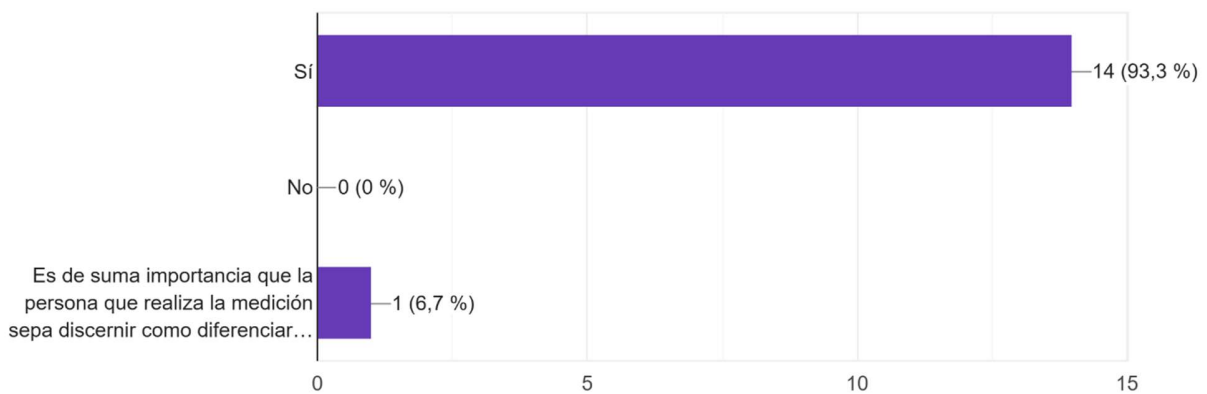
8. Considera usted que la persona encargada de medir productividad debe saber diferenciar entre los métodos de medición de productividad existentes?

15 respuestas



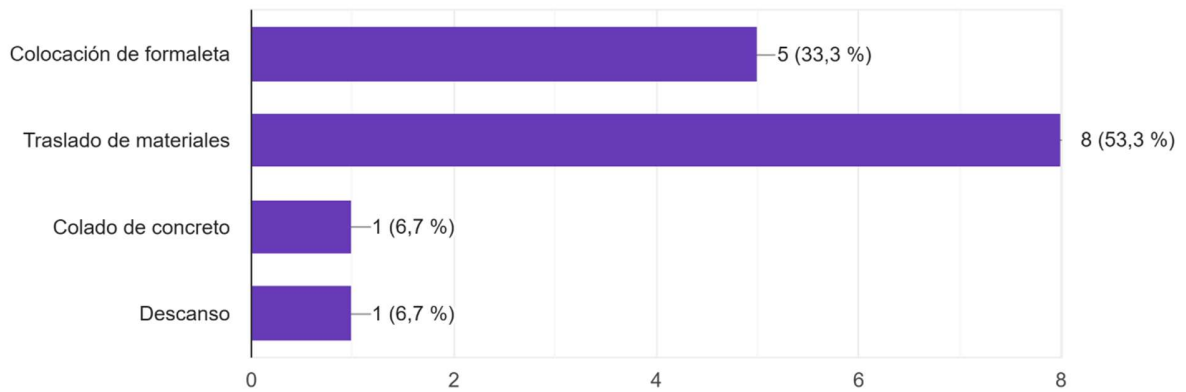
9. Considera usted que la persona encargada de medir productividad debe reconocer cuando una actividad se cataloga como productiva, contributiva o no productiva?

15 respuestas



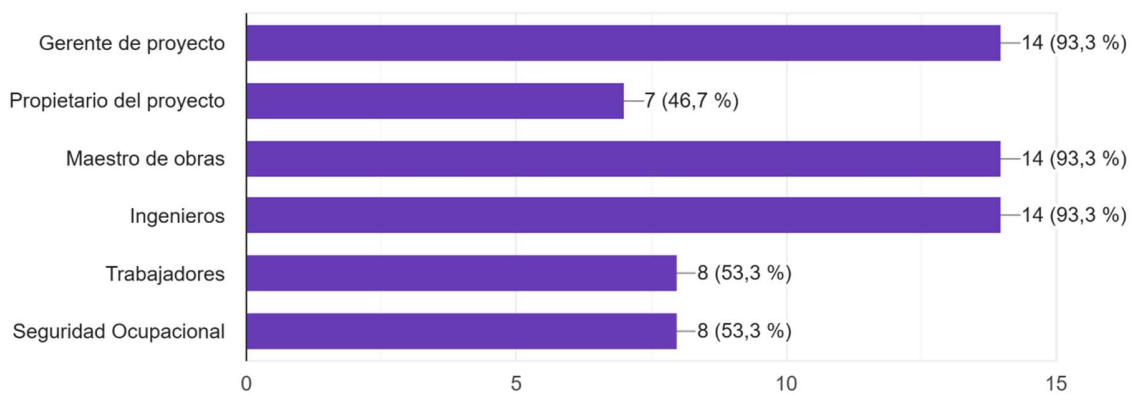
10. De las siguientes actividades presentadas cuál se cataloga como contributiva (necesaria para llevar una actividad a cabo sin generar un producto)?

15 respuestas



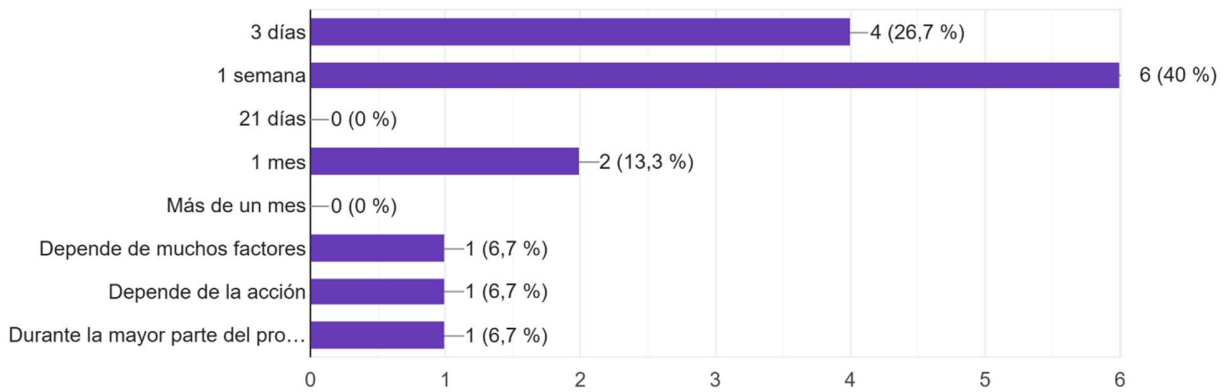
11. A partir de las mediciones de productividad con cuales sujetos considera que deba ser compartida la información obtenida?

15 respuestas



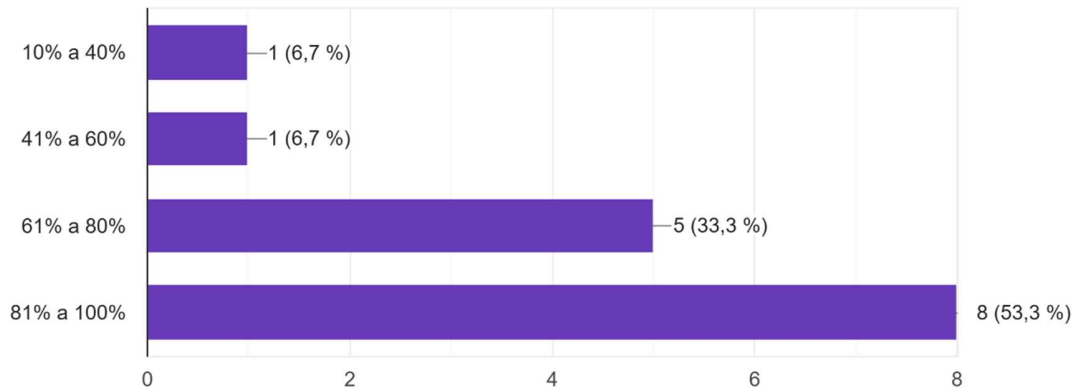
12. ¿Cuál considera usted que es el tiempo óptimo para comprobar si las acciones de mejoras implementadas a partir de una medición de productividad fueron eficientes?

15 respuestas



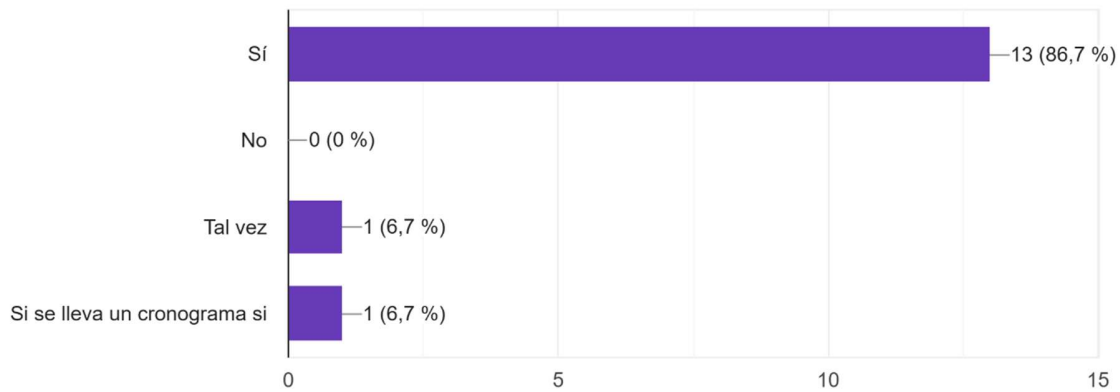
13. De los porcentajes que se presentan a continuación, ¿cuál cree que es el rango mínimo indicado para catalogar una actividad como productiva?

15 respuestas



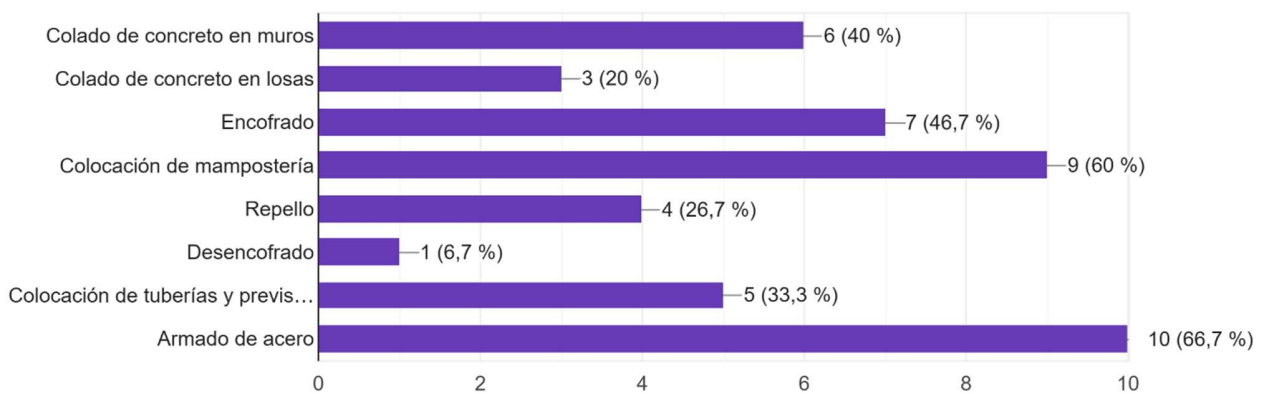
14. Considera útil contar con una herramienta digital para la medición de mano de obra en proyectos que estén en etapa de obra gris, la cual sea gratuita y de fácil acceso?

15 respuestas



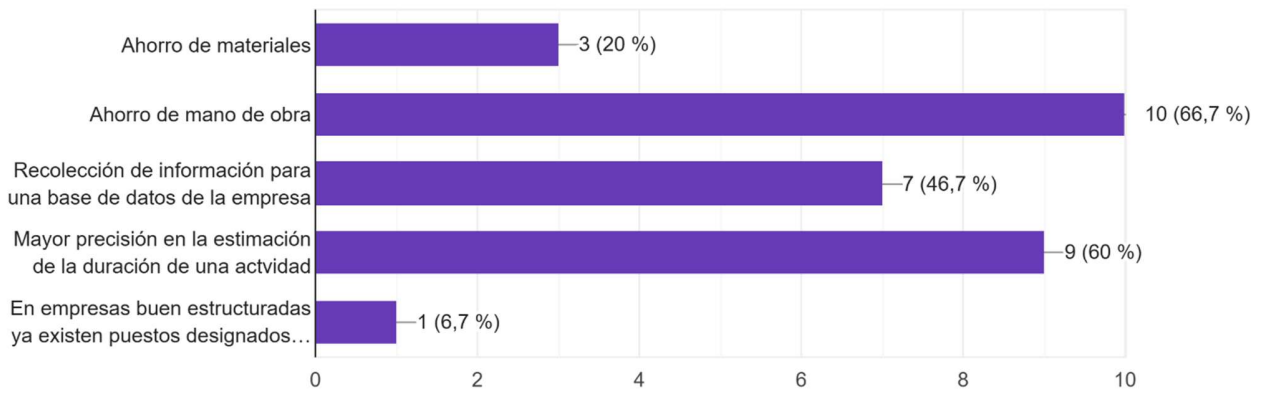
15. En proyectos de construcción en etapa de obra gris, cuales son tres actividades que usted considera como más relevantes para mediciones de productividad de mano de obra?

15 respuestas



16. Considera necesario designar una parte del presupuesto de un proyecto constructivo para la medición de productividad de mano de obra? En cas...rían las dos mayores ventajas de esta valoración.

15 respuestas



## Apéndice 2. Capturas de pantalla de la vista principal de las hojas de análisis creadas en la herramienta digital.

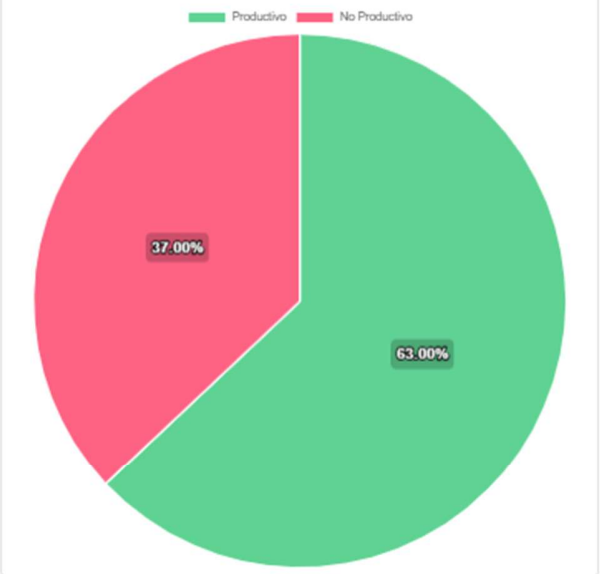
Prueba 1. Método Work Sampling, repello paredes Covintec.

### Hermosita

[Editar](#) [Eliminar](#) [Crear PDF](#)

<b>Método:</b> Work Sampling
<b>Actividad:</b> Repello paredes Covintec
<b>Ubicación:</b> Playa Hermosa, Garabito
<b>Tamaño de Quadrilla:</b> 2
<b>Frecuencia:</b> 15
<b>Fecha:</b> 2024-09-30
<b>Hora:</b> 08:08
<b>Clima:</b> Parcialmente nublado
<b>Temperatura:</b> 26°
<b>Humedad:</b> 86%

**Porcentaje de Trabajo Productivo: 63%**



Observaciones **419**

Nueva Observación

Calificación:  Comentarios:  [Agregar](#)

#	Clasificación	Comentarios	Acciones
419	Productivo	Finalización de la medición 10:00 am	<a href="#">Editar</a>
418	Productivo		<a href="#">Editar</a>
417	Productivo		<a href="#">Editar</a>

Prueba 1. Método Crew Balance, encofrado de columna.

## Hermosita

[Editar](#) [Eliminar](#) [Crear PDF](#)

<b>Metodo:</b> <span>Crew Balance</span>
<b>Actividad:</b> Encofrado de columna
<b>Ubicación:</b> Playa hermosa, Garabito
<b>Tamaño de Quadrilla:</b> 2
<b>Frecuencia:</b>
<b>Duración:</b>
<b>Fecha:</b> 2024-09-30
<b>Hora:</b> 10:22
<b>Clima:</b> Parcialmente nublado
<b>Temperatura:</b> 28°
<b>Humedad:</b> 81%
<b>Distribución de tareas</b>

### Tareas

**Nueva tarea**

Tipo de tarea: TP  TC  TI

Descripción

[Agregar](#)

**Tareas productivas:**

Encofrado de Columna

**Tareas contributivas:**

Traslado de material Traslado de equipo

Espera instrucciones Trazo Traslado de sitio

**Tareas inproductivas:**

Hidratación Descanso Ocio Charlas

### Trabajadores

**Nuevo trabajador**

Descripción

[Agregar](#)

Camisa gris

## Observaciones 31

**Nueva Observacion**

Camisa gris <input type="text" value="Encofrado de Columna"/>	Camisa café <input type="text" value="Encofrado de Columna"/>	Comentarios: <input style="width: 95%;" type="text"/>
<input type="button" value="Agregar"/>		

#	Hora	Trabajadores		Comentarios	Acciones
31	11:00:25	Camisa gris Traslado de sitio	Camisa café Charlas	Finalización de la medición: 11:00 am	<a href="#">Editar</a>
30	10:59:11	Camisa gris Traslado de sitio	Camisa café Trazo		<a href="#">Editar</a>
29	10:57:51	Camisa gris Traslado de equipo	Camisa café Charlas		<a href="#">Editar</a>
28	10:57:11	Camisa gris Traslado de sitio	Camisa café Trazo		<a href="#">Editar</a>
27	10:56:35	Camisa gris Espera instrucciones	Camisa café Trazo		<a href="#">Editar</a>
26	10:55:25	Camisa gris Trazo	Camisa café Encofrado de Columna	Se recomienda emparejar un	<a href="#">Editar</a>

Volumen:

0

Unidad:

Rendimiento en horas-hombre / :

Promedio de rendimiento:

0.00

Prueba 1. Método Five Minutes Rating, colocación de concreto en columna.

Hermosita

Editar
Eliminar
Crear PDF

**Método:** Five Minute Rating

**Actividad:** Colocación de concreto en columna

**Ubicación:** Playa Hermosa, Garabito

**Tamaño de cuadrilla:** 4

**Frecuencia:** 1m

**Duración:** 31m

**Fecha:** 2024-09-30

**Hora:** 11:13

**Clima:** Parcialmente nublado

**Temperatura:** 28°

**Humedad:** 81%

**Distribución de tiempos de trabajo**

Categoría	Porcentaje
TP	13.53%
TC	82.60%
Tt	13.87%

**Trabajadores**

**Nuevo trabajador**

Descripción:

Agregar

Descripción: Camisa Café Op

Descripción: Camisa Gris Op

Descripción: Camisa negra Ayu

Descripción: Camisa Roja Ayud

Observaciones 30

## Observaciones 30

### Nueva Observacion

<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Camisa Café Op</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: 0.8em;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 5px;">Ausente <input type="radio"/></div>	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Camisa Gris Op</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: 0.8em;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 5px;">Ausente <input type="radio"/></div>	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Camisa negra Ayu</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: 0.8em;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 5px;">Ausente <input type="radio"/></div>	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Camisa Roja Ayud</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; font-size: 0.8em;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 5px;">Ausente <input type="radio"/></div>	Comentarios: <input style="width: 90%; height: 20px; border: 1px solid #ccc;" type="text"/> <input style="width: 100px; height: 20px; border: 1px solid #ccc; margin-top: 5px;" type="button" value="Agregar"/>
--	--	--	--	---

#	Hora	Camisa Café Op	Camisa Gris Op	Camisa negra Ayu	Camisa Roja Ayud	Comentarios	Acciones
30	11:45:53	TI	TI	TI	TI	Descanso Cambio de actividades	<a href="#">✕ Editar</a>
29	11:44:49	TI	TC	TI	TI		<a href="#">✕ Editar</a>
28	11:43:33	TI	TC	TI	TI		<a href="#">✕ Editar</a>
27	11:42:58	TI	TC	TI	TI	Traslado de equipo	<a href="#">✕ Editar</a>
26	11:41:25	TI	TP	TI	TI	Finalización de actividad Ausentes	<a href="#">✕ Editar</a>
25	11:40:17	TC	TP	TC	TC	Limpieza de equipo Limpieza de sitio	<a href="#">✕ Editar</a>
24	11:39:17	TC	TP	TC	TC	Vibrado de columna Traslado de equipos	<a href="#">✕ Editar</a>

Volumen: ...

7	11:20:25	TC	TC	TC	TC		<a href="#">Editar</a>
6	11:19:42	TC	TC	TC	TC	Espera material	<a href="#">Editar</a>
5	11:18:16	TP	TC	TC	TC		<a href="#">Editar</a>
4	11:17:18	TP	TP	TC	TC		<a href="#">Editar</a>
3	11:16:46	TP	TC	TC	TC		<a href="#">Editar</a>
2	11:15:57	TP	TC	Ausente	Ausente	Traslado de material	<a href="#">Editar</a>
1	11:14:47	TI	Ausente	Ausente	Ausente	Inicio de la medición Espera material	<a href="#">Editar</a>

Volumen:

0,27

Unidad:

m3

**Rendimiento en horas-hombre / m3:**

Trabajador: Camisa Café Op  
Rendimiento: 7.68

Trabajador: Camisa Gris Op  
Rendimiento: 7.39

Trabajador: Camisa negra Ayu  
Rendimiento: 7.19

Trabajador: Camisa Roja Ayud  
Rendimiento: 7.19

**Promedio de rendimiento:**

7.36

**Desviación estandar:**

0.10

**Coefficiente de variacion:**

1.36

Calificación: Precisa

**Calcular**

Prueba 2. Método Crew Balance, armado de acero.

### Hermosita

[Editar](#) [Eliminar](#) [Crear PDF](#)

---

**Metodo:** Crew Balance

**Actividad:** Armado de acero

**Ubicación:** Playa hermosa, garabito

**Tamaño de Quadrilla:** 1

**Frecuencia:** 1m

**Duración:** 47m

**Fecha:** 2024-10-05

**Hora:** 11:09

**Clima:** Soleado

**Temperatura:** 29°

**Humedad:** 79%

---

**Distribución de tareas**

Tarea	Porcentaje
Armadura	32.85%
Descanso	10.84%
Charlas	6.52%

---

**Distribución de tiempos de trabajo**

Tarea	Porcentaje
Armadura	32.85%
Descanso	17.62%
Charlas	0.00%

---

**Tareas**

**Nueva tarea**

Tipo de tarea: TP  TC  TI

Descripcion

[Agregar](#)

**Tareas productivas:**

[Armadura](#)

**Tareas contributivas:**

**Tareas inproductivas:**

[Descanso](#) [Charlas](#)

---

**Trabajadores**

**Nuevo trabajador**

Descripcion

[Agregar](#)

Camisa azul y gris

Armadura

#	Hora	Trabajadores	Comentarios	Acciones
47	11:59:03	Camisa azul y gris Descanso	Fin de la medición, almuerzo	<a href="#">Editar</a>
46	11:58:23	Camisa azul y gris Armadura		<a href="#">Editar</a>
45	11:57:04	Camisa azul y gris Armadura		<a href="#">Editar</a>
44	11:56:03	Camisa azul y gris Armadura		<a href="#">Editar</a>
43	11:55:21	Camisa azul y gris Armadura		<a href="#">Editar</a>
42	11:54:06	Camisa azul y gris Armadura		<a href="#">Editar</a>

Volumen:

40

Unidad:

m

Rendimiento en horas-hombre / m:

Trabajador: Camisa azul y gris  
Rendimiento: 0.02

Promedio de rendimiento:

0.02

Desviación estandar:

0.00

Coefficiente de variacion:

0.00

Calificación: Precisa

Prueba 3. Método Crew Balance, formaleta de vigas.

**Hermosita**

Editar
Eliminar
Crear PDF

---

**Metodo:** Crew Balance

**Actividad:** Formaleta

**Ubicación:** Playa Hermosa, Garabito

**Tamaño de Quadrilla:** 3

**Frecuencia:** 1m

**Duración:** 29m

**Fecha:** 2024-10-15

**Hora:** 10:08

**Clima:** Nublado

**Temperatura:** 28°

**Humedad:** 80%

**Distribución de tareas**

Tarea	Porcentaje
Formaleta	72.82%
Ausente	18.06%
Recibir instrucciones	4.79%
Espera	2.33%
Trazo	2.20%
Traslado de equipo	2.20%

**Distribución de tiempos de trabajo**

Trabajo	Porcentaje
Camisa Negra	87.72%
Camisa Roja	17.72%
Camisa Negra y Blanco	8.87%
Camisa Blanca	7.72%

**Tareas**

**Nueva tarea**

Tipo de tarea: TP  TC  TI

Descripción

Agregar

**Tareas productivas:**

Formaleta

**Tareas contributivas:**

Espera Trazo Traslado de equipo

Recibir instrucciones

**Tareas inproductivas:**

Ausente

**Trabajadores**

**Nuevo trabajador**

Descripción

Agregar

Camisa Negro y Blanco

---

Camisa Negra

---

Camisa Roja

Camisa Negro y Blanco <input type="text" value="Formaleta"/>	Camisa Negra <input type="text" value="Formaleta"/>	Camisa Roja <input type="text" value="Formaleta"/>	Comentarios: <input type="text"/> <input type="button" value="Agregar"/>
---	--	---	--

#	Hora	Trabajadores			Comentarios	Acciones
30	10:39:54	Camisa Negro y Blanco Formaleta	Camisa Negra Formaleta	Camisa Roja Formaleta	Final de medición	<a href="#">Editar</a>
29	10:38:44	Camisa Negro y Blanco Formaleta	Camisa Negra Formaleta	Camisa Roja Formaleta	El avance para calcular	<a href="#">Editar</a>
28	10:38:02	Camisa Negro y Blanco Formaleta	Camisa Negra Formaleta	Camisa Roja Formaleta		<a href="#">Editar</a>
27	10:37:22	Camisa Negro y Blanco Formaleta	Camisa Negra Formaleta	Camisa Roja Formaleta		<a href="#">Editar</a>
26	10:36:11	Camisa Negro y Blanco Formaleta	Camisa Negra Formaleta	Camisa Roja Formaleta		<a href="#">Editar</a>

Volumen:

0

Unidad:

Rendimiento en horas-hombre / :

Promedio de rendimiento:

0.00

Desviación estandar:

0.00

Coefficiente de variacion:

0.00

Calificación:

Prueba 3. Método Crew Balance, colocación de cerámica.

**Hermosita**

[Editar](#)
[Eliminar](#)
[Crear PDF](#)

---

**Metodo:** Crew Balance

**Actividad:** Colocación de cerámica

**Ubicación:** Playa Hermosa, Garabito

**Tamaño de cuadrilla:** 2

**Frecuencia:** 1m

**Duración:** 45m

**Fecha:** 2024-10-15

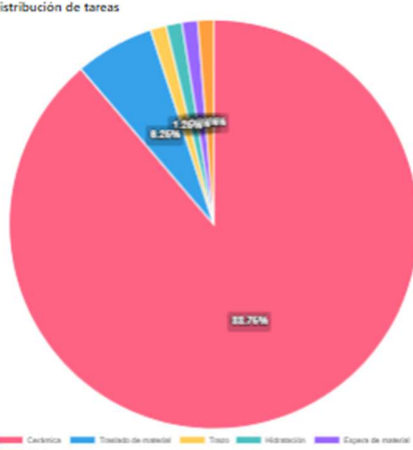
**Hora:** 10:41

**Clima:** Nublado

**Temperatura:** 29°

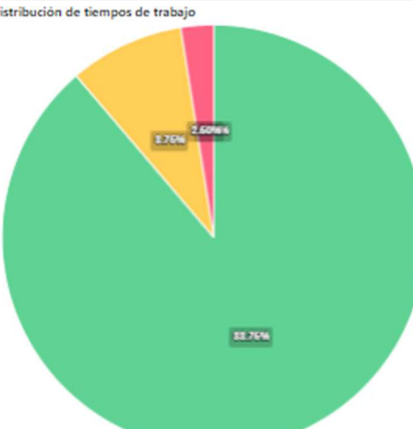
**Humedad:** 80%

**Distribución de tareas**



Tarea	Porcentaje
Cerámica	88.76%
Tratado de material	8.25%
Trazo	1.20%
Hidratación	0.99%
Espera de material	0.79%
Charla	0.01%

**Distribución de tiempos de trabajo**



Tarea	Porcentaje
Cerámica	88.76%
Tratado de material	8.76%
Trazo	2.60%
Hidratación	0.01%

**Tareas**

**Nueva tarea**

Tipo de tarea:  TP  TC  TI

Descripción

[Agregar](#)

**Tareas productivas:**

Cerámica

**Tareas contributivas:**

Tratado de material Trazo Espera de material

**Tareas inproductivas:**

Hidratación Charla

**Trabajadores**

**Nuevo trabajador**

Descripción

[Agregar](#)

Camisa Roja Op

---

Camisa Negra Ay

## Observaciones 40

**Nueva Observacion**

Camisa Roja Op <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>Cerámica</span> <span>▼</span> </div>	Camisa Negra Ay <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>Cerámica</span> <span>▼</span> </div>	Comentarios: <div style="border: 1px solid #ccc; height: 20px; margin-top: 5px;"></div>
<input type="button" value="Agregar"/>		

#	Hora	Trabajadores		Comentarios	Acciones
40	11:27:03	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Cerámica	Final de medición	<a href="#">✎ Editar</a>
39	11:26:06	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Cerámica		<a href="#">✎ Editar</a>
38	11:25:26	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Charla		<a href="#">✎ Editar</a>
37	11:24:14	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Cerámica		<a href="#">✎ Editar</a>
36	11:23:07	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Cerámica		<a href="#">✎ Editar</a>
35	11:22:16	Camisa Roja Op Cerámica	Camisa Negra Ay Cerámica		<a href="#">✎ Editar</a>

Volumen:  
2.82

Unidad:  
m2

**Rendimiento en horas-hombre / m2:**

Trabajador: Camisa Roja Op Rendimiento: 0.53
Trabajador: Camisa Negra Ay Rendimiento: 0.53

**Promedio de rendimiento:**  
0.53

**Desviación estandar:**  
0.00

**Coefficiente de variacion:**  
0.00  
Calificación: Precisa

Prueba 3. Método Five Minutes Rating, colocación de cerámica.

**Hermosita**

[Editar](#)
[Eliminar](#)
[Crear PDF](#)

**Metodo:** Five Minute Rating

**Actividad:** Colocación de cerámica

**Ubicación:** Playa Hermosa, Garabito

**Tamaño de Cuadrilla:** 2

**Frecuencia:** 1m

**Duración:** 21m

**Fecha:** 2024-10-15

**Hora:** 11:28

**Clima:** Nublado

**Temperatura:** 29°

**Humedad:** 80%

**Distribución de tiempos de trabajo**

Categoría	Porcentaje
TP	64.65%
TI	40.91%
TC	4.65%

**Trabajadores**

**Nuevo trabajador**

Descripción:

[Agregar](#)

Descripción: Camisa Roja Op

Descripción: Camisa Negra Ayu

**Observaciones** 22

**Nueva Observación**

Camisa Roja Op

TP  TC  TI  Ausente

Camisa Negra Ayu

TP  TC  TI  Ausente

Comentarios:

[Agregar](#)

#	Hora	Camisa Roja Op	Camisa Negra Ayu	Comentarios	Acciones
22	11:51:58	TI	TI	Final de medición: 1 metro	<a href="#">Editar</a>
21	11:50:14	TP	TI	Descanso	<a href="#">Editar</a>
20	11:49:09	TI	TI		<a href="#">Editar</a>

## Observaciones 22

### Nueva Observacion

<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Camisa Roja Op</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: 0.9em;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> <span>Ausente <input type="radio"/></span> </div>	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Camisa Negra Ayu</div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; font-size: 0.9em;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> <span>Ausente <input type="radio"/></span> </div>	Comentarios: <div style="border: 1px solid #ccc; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px; width: 100%; text-align: right;"> <input type="button" value="Agregar"/> </div>
--	--	---

#	Hora	Camisa Roja Op	Camisa Negra Ayu	Comentarios	Acciones
22	11:51:58	TI	TI	Final de medición: 1 metro	<a href="#">✎ Editar</a>
21	11:50:14	TP	TI	Descanso	<a href="#">✎ Editar</a>
20	11:49:09	TI	TI		<a href="#">✎ Editar</a>
19	11:48:15	TI	TI	Charlas	<a href="#">✎ Editar</a>
18	11:47:10	TI	TI	Charlas	<a href="#">✎ Editar</a>
17	11:46:12	TI	TI	Descanso	<a href="#">✎ Editar</a>
16	11:45:28	TI	TI	Descanso	<a href="#">✎ Editar</a>

Volumen:

1

Unidad:

m2

#### Rendimiento en horas-hombre / m2:

Trabajador: Camisa Roja Op  
Rendimiento: 0.70

Trabajador: Camisa Negra Ayu  
Rendimiento: 0.70

#### Promedio de rendimiento:

0.70

#### Desviación estandar:

0.00

#### Coefficiente de variacion:

0.00

Calificación: Precisa

Prueba 4. Método Work Sampling, formaleta de vigas

## Hermosita

Editar
Eliminar
Crear PDF

---

**Metodo:** Work Sampling

**Actividad:** Formaleta

**Ubicación:** Playa Hermosa

**Tamaño de Quadrilla:** 6

**Frecuencia:** 30

**Fecha:** 2024-10-19

**Hora:** 15:42

**Clima:** Soleado

**Temperatura:** 33°

**Humedad:** 79%

**Porcentaje de Trabajo Productivo:** 60%

Categoría	Porcentaje
Productivo	60.00%
No Productivo	40.00%

---

**Observaciones** 5

**Nueva Observacion**

Calificación: Productivo v    Comentarios:  Agregar

#	Clasificación	Comentarios	Acciones
5	Productivo	<span style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px 10px; display: inline-block; width: 150px; height: 1.2em;"></span>	<a href="#" style="color: #007bff; text-decoration: none;">✎ Editar</a>
4	No Productivo	Descanso <span style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px 10px; display: inline-block; width: 150px; height: 1.2em;"></span>	<a href="#" style="color: #007bff; text-decoration: none;">✎ Editar</a>
3	No Productivo	Transporte de formaleta <span style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px 10px; display: inline-block; width: 150px; height: 1.2em;"></span>	<a href="#" style="color: #007bff; text-decoration: none;">✎ Editar</a>

Prueba 5. Método Crew Balance, repello de paredes.

**Hermosita**

Editar
Eliminar
Crear PDF

---

**Método:** Crew Balance

**Actividad:** Repello paredes

**Ubicación:** Playa Hermosa, Garabito

**Tamaño de Cuadrilla:** 2

**Frecuencia:** 1m

**Duración:** 1h : 7m

**Fecha:** 2024-10-22

**Hora:** 10:02

**Clima:** Soleado

**Temperatura:** 28°

**Humedad:** 79%

**Distribución de tareas**

Tarea	Porcentaje
Repello	68.30%
Traslado de material	15.10%
Ausente	8.00%
Limpieza de sitio	8.00%
Traslado de equipo	1.70%
Espera	1.20%
Charlas	1.50%
Traslado de sitio	1.50%

**Distribución de tiempos de trabajo**

Tarea	Porcentaje
Repello	68.30%
Ausente	20.00%
Charlas	8.30%
Traslado de sitio	0.00%

**Tareas**

**Nueva tarea**

Tipo de tarea: TP TC TI

Descripción

Agregar

**Tareas productivas:**

Repello

**Tareas contributivas:**

Traslado de material Limpieza de sitio

Traslado de equipo Espera Traslado de sitio

**Tareas inproductivas:**

Ausente Charlas

**Trabajadores**

**Nuevo trabajador**

Descripción

Agregar

**Camisa Azul**

Tarea	Porcentaje
Repello	88.87%
Traslado de material	12.12%
Limpieza de sitio	10.81%
Ausente	8.00%
Traslado de equipo	0.52%
Espera	0.52%
Charlas	0.52%
Traslado de sitio	0.52%

**Camisa Verde Claro**

Tarea	Porcentaje
Repello	62.00%
Traslado de material	18.18%
Ausente	7.50%
Limpieza de sitio	4.55%
Espera	1.52%
Charlas	1.52%
Traslado de sitio	1.52%
Traslado de equipo	0.00%

## Observaciones 66

**Nueva Observacion**

Camisa Azul <input type="text" value="Repello"/>	Camisa Verde Claro <input type="text" value="Repello"/>	Comentarios: <input style="width: 90%;" type="text"/>
<input type="button" value="Agregar"/>		

#	Hora	Trabajadores		Comentarios	Acciones
66	11:11:09	<b>Camisa Azul</b> Traslado de sitio	<b>Camisa Verde Claro</b> Traslado de sitio	Fin de la medición	<a href="#">Editar</a>
65	11:10:22	<b>Camisa Azul</b> Limpieza de sitio	<b>Camisa Verde Claro</b> Traslado de sitio		<a href="#">Editar</a>
64	11:09:33	<b>Camisa Azul</b> Limpieza de sitio	<b>Camisa Verde Claro</b> Traslado de sitio		<a href="#">Editar</a>
63	11:08:06	<b>Camisa Azul</b> Repello	<b>Camisa Verde Claro</b> Repello		<a href="#">Editar</a>
62	11:07:51	<b>Camisa Azul</b> Repello	<b>Camisa Verde Claro</b> Repello		<a href="#">Editar</a>
61	11:06:14	<b>Camisa Azul</b> Repello	<b>Camisa Verde Claro</b> Repello		<a href="#">Editar</a>

Volumen:

3.1

Unidad:

M2

**Rendimiento en horas-hombre / M2:**

Trabajador: Camisa Azul  
Rendimiento: 0.66

Trabajador: Camisa Verde Claro  
Rendimiento: 0.66

**Promedio de rendimiento:**

0.66

**Desviación estandar:**

0.00

**Coefficiente de variacion:**

0.00

Calificación: Precisa

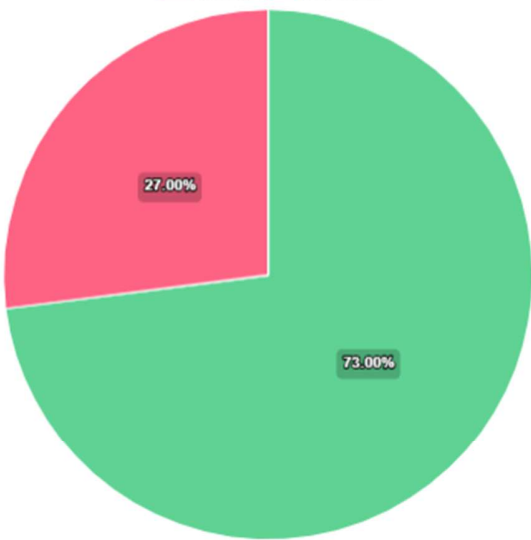
Prueba 6. Método Work Sampling, colado de viga.

## Hermosita

[Editar](#) [Eliminar](#) [Crear PDF](#)

<b>Metodo:</b> <span>Work Sampling</span>
<b>Actividad:</b> Colado de viga
<b>Ubicación:</b> Playa Hermosa, Garabito
<b>Tamaño de Quadrilla:</b> 6
<b>Frecuencia:</b> 15
<b>Fecha:</b> 2024-11-01
<b>Hora:</b> 09:35
<b>Clima:</b> Soleado
<b>Temperatura:</b> 26°
<b>Humedad:</b> 86%

**Porcentaje de Trabajo Productivo:** 73%



Productivo	73.00%
No Productivo	27.00%

### Observaciones 390

Nueva Observacion

Calificación: Productivo Comentarios:  [Agregar](#)

#	Clasificación	Comentarios	Acciones
390	Productivo	Final medición: 11:15 a.m. Volumen: 0,66 m3	<a href="#">Editar</a>
389	Productivo		<a href="#">Editar</a>
388	Productivo		<a href="#">Editar</a>

Prueba 6. Método Five Minutes Rating, colocación de cerámica.

Hermosita

Editar
Eliminar
Crear PDF

**Metodo:** Five Minute Rating

**Actividad:** Colocación de cerámica

**Ubicación:** Playa Hermosa, Garabito

**Tamaño de Quadrilla:** 2

**Frecuencia:** 1m

**Duración:** 37m

**Fecha:** 2024-11-01

**Hora:** 12:48

**Clima:** Soleado

**Temperatura:** 27°

**Humedad:** 83%

**Distribución de tiempos de trabajo**

■ TP    ■ TC    ■ TI

Categoría	Porcentaje
TP	53.95%
TC	25.00%
TI	18.42%

**Trabajadores**

**Nuevo trabajador**

Descripción

Agregar

Descripción: Camisa negra OP

■ TP    ■ TC    ■ TI    ■ Ausente

Categoría	Porcentaje
TP	89.47%
TI	7.89%
Ausente	2.63%
TC	0.00%

Descripción: Camisa Verde AY

■ TP    ■ TC    ■ TI    ■ Ausente

Categoría	Porcentaje
TC	50.00%
TI	28.95%
TP	18.42%
Ausente	2.63%

## Observaciones 38

### Nueva Observación

Camisa negra OP

TP  TC  TI  Ausente

Camisa Verde AY

TP  TC  TI  Ausente

Comentarios:

Agregar

#	Hora	Camisa negra OP	Camisa Verde AY	Comentarios	Acciones
38	13:26:01	Ausente	Ausente	Fin de la medición Area: 2,88 m2	<a href="#">Editar</a>
37	13:25:14	TP	TI		<a href="#">Editar</a>
36	13:24:23	TP	TC		<a href="#">Editar</a>
35	13:23:06	TP	TC		<a href="#">Editar</a>
34	13:22:01	TP	TC	Espera instrucciones	<a href="#">Editar</a>
33	13:21:17	TP	TC		<a href="#">Editar</a>
32	13:20:04	TP	TC		<a href="#">Editar</a>

Volumen:

2,88

Unidad:

m2

Rendimiento en horas-hombre / m2:

Trabajador: Camisa negra OP  
Rendimiento: 0,43

Trabajador: Camisa Verde AY  
Rendimiento: 0,43

Promedio de rendimiento:

0,43

Desviación estandar:

0,00

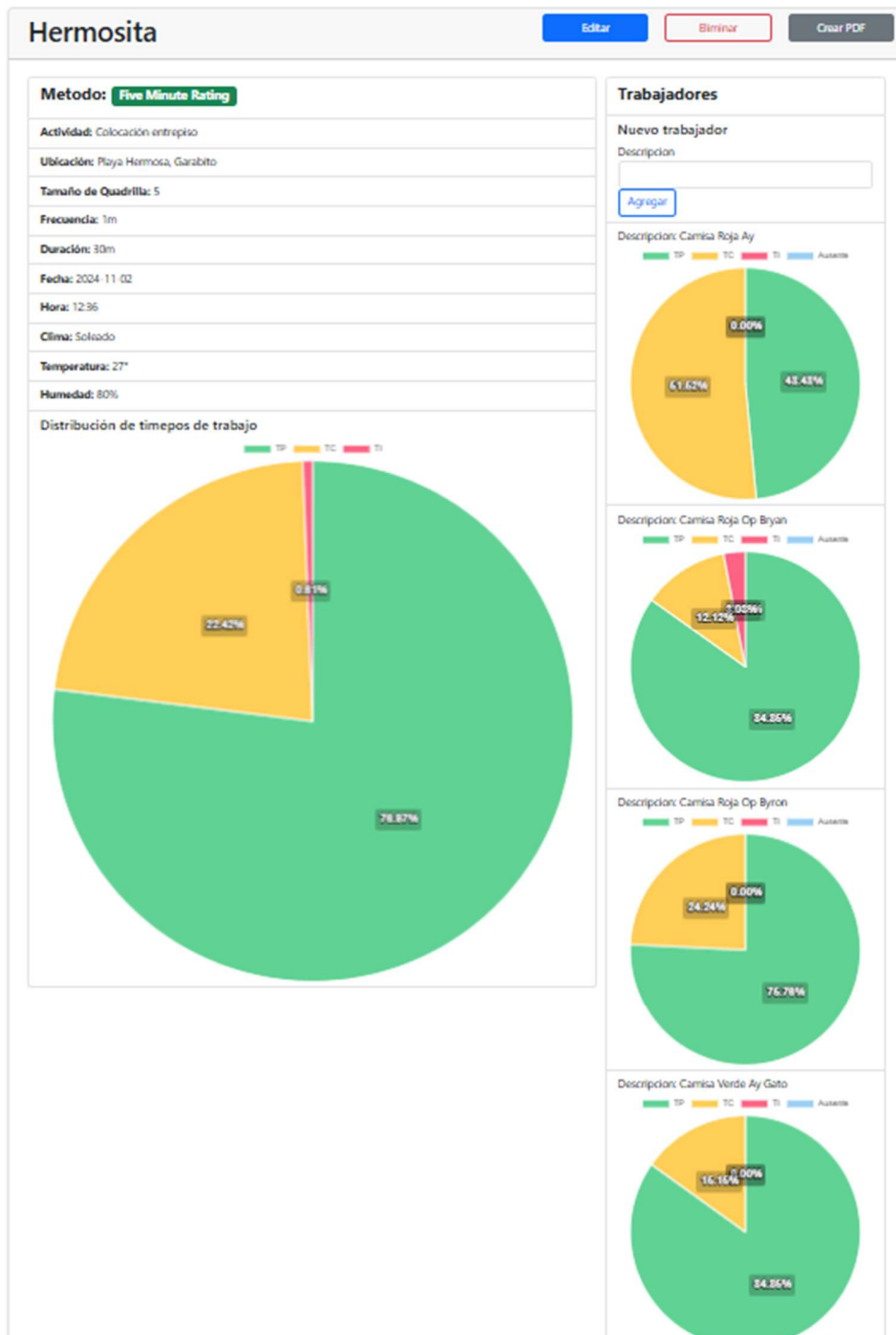
Coefficiente de variacion:

0,00

Calificación: Precisa

Calcular

Prueba 7. Método Five Minutes Rating, colocación entropiso.



## Observaciones 33

### Nueva Observacion

<div style="background-color: #f2f2f2; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Camisa Roja Ay</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> </div> <div style="margin-top: 5px;">Ausente <input type="radio"/></div>	<div style="background-color: #f2f2f2; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Camisa Roja Op Bryan</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> </div> <div style="margin-top: 5px;">Ausente <input type="radio"/></div>	<div style="background-color: #f2f2f2; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Camisa Roja Op Byron</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> </div> <div style="margin-top: 5px;">Ausente <input type="radio"/></div>	<div style="background-color: #f2f2f2; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Camisa Verde Ay Gato</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> </div> <div style="margin-top: 5px;">Ausente <input type="radio"/></div>	<div style="background-color: #f2f2f2; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Camisa Roja Ay Engel</div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <span>TP <input type="radio"/></span> <span>TC <input type="radio"/></span> <span>TI <input type="radio"/></span> </div> <div style="margin-top: 5px;">Ausente <input type="radio"/></div>	Comentarios: <input style="width: 100%; height: 20px; border: 1px solid #ccc;" type="text"/> <div style="text-align: right; margin-top: 5px;"> <input type="button" value="Agregar"/> </div>
---	---	---	---	---	--

#	Hora	Camisa Roja Ay	Camisa Roja Op Bryan	Camisa Roja Op Byron	Camisa Verde Ay Gato	Camisa Roja Ay Engel	Comentarios	Acciones
33	13:09:17	TP	TP	TC	TP	TP	Fin de la medición	<a href="#">Editar</a>
32	13:08:03	TP	TP	TP	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
31	13:07:15	TP	TP	TP	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
30	13:06:45	TC	TP	TP	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
29	13:05:14	TP	TP	TP	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
28	13:04:03	TP	TI	TC	TP	TP		<a href="#">Editar</a>
27	13:03:17	TP	TP	TP	TP	TP		<a href="#">Editar</a>

Volumen:

21

Unidad:

m2

**Rendimiento en horas-hombre / m2:**

Trabajador: Camisa Roja Ay  
Rendimiento: 0.12

Trabajador: Camisa Roja Op Bryan  
Rendimiento: 0.12

Trabajador: Camisa Roja Op Byron  
Rendimiento: 0.12

Trabajador: Camisa Verde Ay Gato  
Rendimiento: 0.12

Trabajador: Camisa Roja Ay Engel  
Rendimiento: 0.12

**Promedio de rendimiento:**

0.12

**Desviación estandar:**

0.00

**Coefficiente de variacion:**

0.00

Calificación: Precisa

Calcular

Prueba 7. Método Crew Balance, colocación de entrepiso.

**Hermosita**

[Editar](#)
[Eliminar](#)
[Crear PDF](#)

---

**Metodo:** Crew Balance

**Actividad:** Colocación de entrepiso

**Ubicación:** Playa Hermosa, Garabito

**Tamaño de cuadrilla:** 5

**Frecuencia:** 1m

**Duración:** 55m

**Fecha:** 2024-11-02

**Hora:** 13:14

**Clima:** Soleado

**Temperatura:** 28°

**Humedad:** 78%

**Distribución de tareas**

Tarea	Porcentaje
Colocación entrepiso	78.13%
Espera grúa	10.94%
Descanso	1.25%
Hidratación	1.25%
Recibir instrucciones	1.25%
Verificación de medidas	1.25%
Traslado de sitio	1.25%
Traslado equipo	1.25%
Charlas	1.25%

**Distribución de tiempos de trabajo**

Tarea	Porcentaje
Espera grúa	76.47%
Colocación entrepiso	18.25%
Recibir instrucciones	1.25%
Verificación de medidas	1.25%
Charlas	1.25%

**Tareas**

**Nueva tarea**

Tipo de tarea: TP  TC  TI

Descripción

[Agregar](#)

**Tareas productivas:**

Colocación entrepiso

**Tareas contributivas:**

Espera grúa
Descanso
Recibir instrucciones

Verificación de medidas
Traslado de sitio

Traslado equipo

**Tareas inproductivas:**

Hidratación
Charlas

**Trabajadores**

**Nuevo trabajador**

Descripción

[Agregar](#)

**Jelvin AY**

Tarea	Porcentaje
Colocación entrepiso	64.80%
Espera grúa	29.41%
Recibir instrucciones	1.89%
Verificación de medidas	1.89%
Traslado de sitio	1.89%
Charlas	1.89%

**Bryan OP**

Tarea	Porcentaje
Colocación entrepiso	81.13%
Espera grúa	7.56%
Recibir instrucciones	5.89%
Verificación de medidas	1.20%
Descanso	1.20%

**Bvron OP**

## Observaciones 53

**Nueva Observacion**

Jelvin AY <input type="text" value="Colocación entr"/>	Bryan OP <input type="text" value="Colocación entr"/>	Byron OP <input type="text" value="Colocación entr"/>	Engel AY <input type="text" value="Colocación entr"/>	Gato AY <input type="text" value="Colocación entr"/>	Comentarios: <input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/> <input type="button" value="Agregar"/>
---	--	--	--	---	---

#	Hora	Trabajadores					Comentarios	Acciones
53	14:11:04	<b>Jelvin AY</b> Espera grúa	<b>Bryan OP</b> Descanso	<b>Byron OP</b> Colocación entrepiso	<b>Engel AY</b> Colocación entrepiso	<b>Gato AY</b> Colocación entrepiso	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	<a href="#">Editar</a>
52	14:09:06	<b>Jelvin AY</b> Colocación entrepiso	<b>Bryan OP</b> Colocación entrepiso	<b>Byron OP</b> Colocación entrepiso	<b>Engel AY</b> Colocación entrepiso	<b>Gato AY</b> Colocación entrepiso	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	<a href="#">Editar</a>
51	14:08:23	<b>Jelvin AY</b> Espera grúa	<b>Bryan OP</b> Colocación entrepiso	<b>Byron OP</b> Colocación entrepiso	<b>Engel AY</b> Colocación entrepiso	<b>Gato AY</b> Colocación entrepiso	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	<a href="#">Editar</a>
50	14:06:32	<b>Jelvin AY</b> Colocación entrepiso	<b>Bryan OP</b> Colocación entrepiso	<b>Byron OP</b> Colocación entrepiso	<b>Engel AY</b> Colocación entrepiso	<b>Gato AY</b> Colocación entrepiso	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	<a href="#">Editar</a>
49	14:05:16	<b>Jelvin AY</b> Colocación	<b>Bryan OP</b> Colocación	<b>Byron OP</b> Colocación	<b>Engel AY</b> Colocación	<b>Gato AY</b> Colocación	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	<a href="#">Editar</a>

<b>Volumen:</b>
21.41
<b>Unidad:</b>
m2
<b>Rendimiento en horas-hombre / m2:</b>
Trabajador: Jelvin AY Rendimiento: 0.20
Trabajador: Bryan OP Rendimiento: 0.21
Trabajador: Byron OP Rendimiento: 0.20
Trabajador: Engel AY Rendimiento: 0.20
Trabajador: Gato AY Rendimiento: 0.21
<b>Promedio de rendimiento:</b>
0.21
<b>Desviación estandar:</b>
0.00
<b>Coefficiente de variacion:</b>
1.36 Calificación: Precisa
<b>Calcular</b>

### **Apéndice 3. Guía de la herramienta digital Calculador WFC para la medición de productividad en obra**

A construction site under a blue sky with white clouds. A large crane is positioned on the right side, and a worker in a blue shirt and red pants is visible on the left, working on a concrete structure.

# CALCULADOR WFC

Guía de uso de la herramienta digital para la medición de  
productividad en obra



JACQUELINE BARRANTES SOLANO  
TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

2025

# Contenido

1. Herramienta digital Calculador WFC.....	2
2. Definiciones.....	3
3. Métodos de medición de productividad .....	4
4. Referencias de datos para los resultados de la herramienta. ....	5
5. Instrucciones de la herramienta digital .....	7
6. Restricciones en la herramienta .....	24
7. Errores en el uso de la herramienta .....	25
8. Referencias.....	26

# 1. Herramienta digital Calculador WFC

Esta guía de uso se elaboró con el fin de que personas relacionadas al ámbito de la construcción puedan entender cómo utilizar la herramienta digital de una forma más sencilla. Se llama Calculador WFC por los tres métodos de medición de productividad implementados en la herramienta: Work Sampling, Five Minutes Rating y Crew Balance. Aunque existen otros métodos de productividad, estos son los más utilizados en Costa Rica.

Esta herramienta permite calcular la productividad y rendimiento de cualquier actividad de construcción en edificaciones, incluso podría ampliarse a otros campos de la construcción. En este documento se facilitarán definiciones básicas, diferencias entre los métodos de medición de productividad, instrucciones para utilizar la herramienta digital, limitaciones y recomendaciones, etc.

Esta guía de uso corresponde al proyecto de investigación “Herramienta digital para el registro y cálculo de la productividad de mano de obra en proyectos de edificaciones”, por lo que, en caso de requerir más información, puede consultarse este documento.

## 2. Definiciones

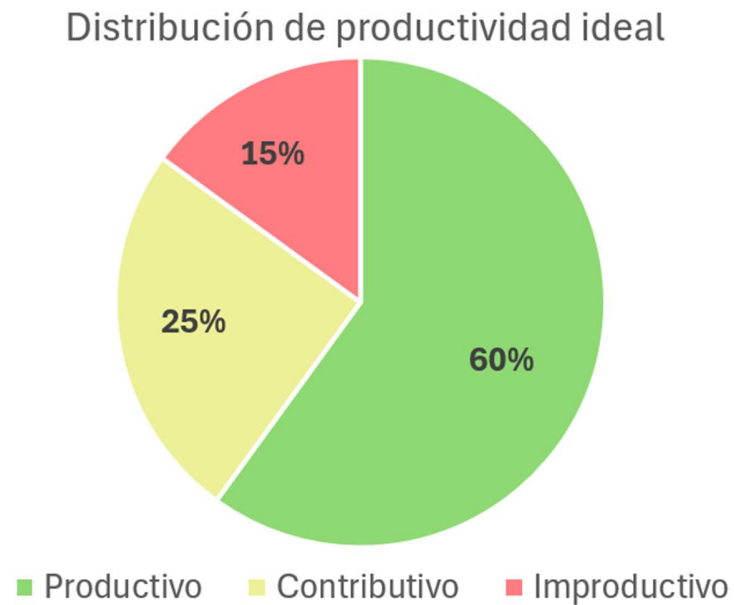
- Productividad: Relación que existe entre la cantidad de producto generado respecto a los recursos empleados.
- Productividad de mano de obra: Cantidad de obra que un hombre o cuadrilla puede ejecutar en un período de tiempo definido.
- Trabajo Productivo: Es el tiempo en el que el trabajador o cuadrilla produce una unidad de construcción. Ejemplos: Colado de concreto, encofrado, colocación de cerámica, armadura, colocación de entrepiso, etc.
- Trabajo Contributivo: Son las actividades necesarias que complementan a la elaboración de un producto. Ejemplos: limpieza de sitio, traslado de materiales, recepción o entrega de instrucciones, esperas, etc.
- Trabajo Improductivo: Es el tiempo que no le aporta valor al producto final, se consideran como pérdidas. Ejemplos: hidratación, necesidades fisiológicas, descanso, charlas, ocio, etc.
- Rendimiento: Tiempo que invierte un trabajador en realizar una actividad.

### 3. Métodos de medición de productividad

- **Work Sampling:** Este método permite observar aleatoriamente a los trabajadores clasificando la actividad como productiva o improductiva. Es un método estadístico en el que se debe realizar como mínimo 385 observaciones para cumplir con el nivel de confianza de 95%. No permite identificar causas de improductividad sólo indica que hay un problema en el proceso constructivo.
- **Five Minutes Rating:** Este método permite observar a una cuadrilla en intervalos de tiempo, normalmente 5 minutos, e identificar si la observación es productiva, contributiva o improductiva. Permite reconocer rápidamente la productividad de una actividad, pero no permite conocer las causas de improductividad.
- **Crew Balance:** Este método permite representar gráficamente las tareas específicas y tiempos de productividad dedicados por cada trabajador. Es un método en el que se puede identificar cuales tareas de la actividad poseen bajos niveles de productividad mediante un análisis exhaustivo de los gráficos. Se recomienda realizar como mínimo 30 observaciones con frecuencia de 1 minuto.

## 4. Referencias de datos para los resultados de la herramienta.

Para realizar un análisis objetivo de los resultados obtenidos a partir de las mediciones de productividad ejecutadas en la herramienta digital se puede tomar como referencia los porcentajes ideales de los tiempos de trabajo que se muestra a continuación.



Fuente. Serpell (2002)

Para evaluar la precisión de los resultados obtenidos a partir del cálculo del rendimiento se tomó como referencia la tabla que se muestra a continuación

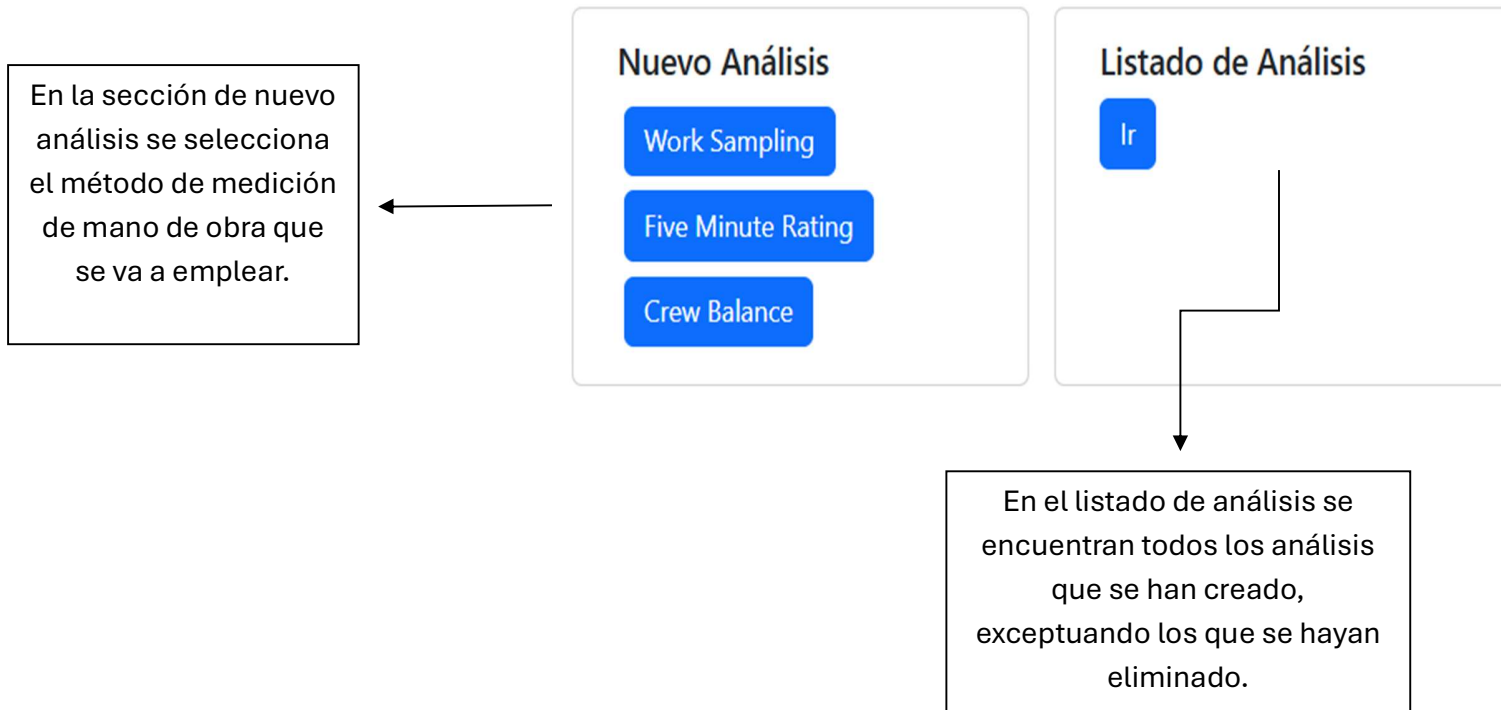
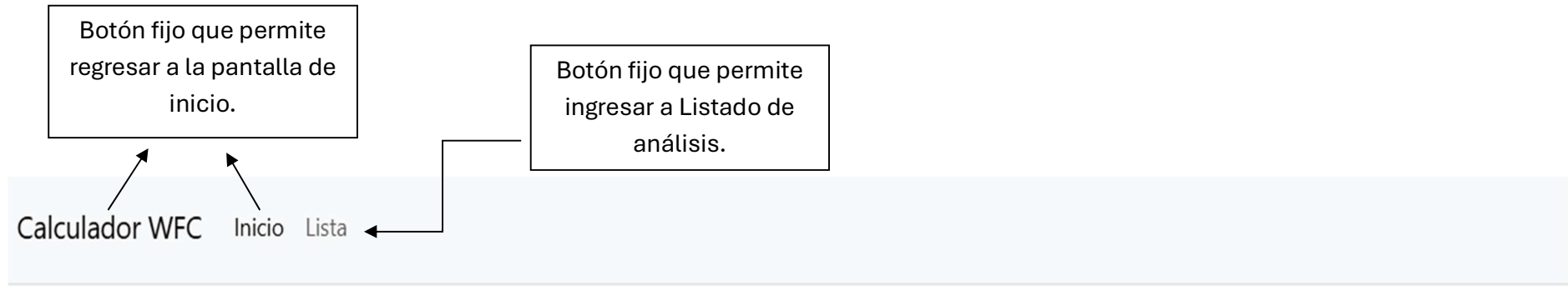
<b>Connotación del coeficiente de variación.</b>	
<b>Rango de Coeficiente de Variación (%)</b>	<b>Connotación</b>
0-7	Precisa
8-14	Precisión aceptable
15-20	Precisión regular
>20	Poco precisa (sólo para fines descriptivos)

Fuente. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Colombia. (2008)

## 5. Instrucciones de la herramienta digital

En esta sección se incluyen todos los pasos necesarios para utilizar la herramienta de forma eficiente. Por medio de ejemplos se muestra el uso de cada botón incluido en la herramienta, las secciones que posee la herramienta, que datos se permite ingresar en los espacios vacíos, manejo de errores, restricciones, manejo de errores, etc.

# Pantalla de inicio



# Vista de sección “Listado de análisis” y botón “Lista”

En este apartado se encuentran todas las hojas de análisis disponibles. Esta herramienta no se logró programar como una base de datos individual para cada usuario. Por lo que todas las personas que ingresen al link tendrán acceso a la información de los proyectos creados. Todos los usuarios pueden crear nuevas hojas de análisis y también podrían eliminar las hojas creadas por otros usuarios.

## Lista

### Proyecto Quebrada Bonita

#### Work Sampling

Actividad: Excavacion

Ubicación: Jaco, Puntarenas

Fecha: 2024-08-29

[Ver el análisis](#)

### Vivienda Familiar

#### Work Sampling

Actividad: Confección de armadura

Ubicación: San José, Costa Rica

Fecha: 2021-01-10

[Ver el análisis](#)

### Proyecto 1 FMR

#### Five Minute Rating

Actividad: Apreciacion cinematografica

Ubicación: Cinepolis

Fecha: 2024-09-03

[Ver el análisis](#)

### Proyecto 2 FMR

#### Five Minute Rating

Actividad: Excavacion

Ubicación: San José, Costa Rica

Fecha: 2024-09-15

# Creación de las hojas de análisis

Se ingresa la ubicación del proyecto, pueden utilizarse comas y puntos para especificar la ubicación. No está limitada la cantidad de texto a ingresar.

Se ingresa la frecuencia de muestreo que se propone utilizar en la medición. Este dato no está programado para colocar unidades, por lo que no puede utilizarse como referencia para las mediciones.

Calculador WFC Inicio Lista

Se ingresa el nombre del proyecto en donde se realizarán las mediciones.

Se ingresa la actividad a evaluar. No está limitada la cantidad de texto a ingresar.

## Crear Nuevo Análisis de productividad en campo

### Método Work Sampling

Nombre del proyecto:

Actividad a evaluar:

Ubicación del proyecto:

Tamaño de la cuadrilla:

Frecuencia de muestreo:

Fecha:

Hora:

Clima:

Temperatura:

Humedad:

Se ingresa el tamaño de la cuadrilla que se propone medir. Este dato no está sincronizado con la cantidad de trabajadores reales que se pueden ingresar más adelante.

La fecha y hora están sincronizadas con el dispositivo que se esté utilizando para realizar las mediciones.

Se ingresa el clima en texto, la cantidad del texto que se puede incluir no está limitada.

La temperatura y humedad se ingresan como números enteros, no permite digitar decimales. Cuando se crea la hoja de análisis la temperatura aparecerá con el símbolo de grados y la humedad con el símbolo de porcentaje.

Una vez ingresados todos los datos se pulsa el botón crear. Esto permitirá crear la hoja de análisis donde se agregarán las observaciones, trabajadores, comentarios, etc.

Fecha:

octubre de 2024

LU	MA	MI	JU	VI	SA	DO
30	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	1	2	3
4	5	6	7	8	9	10

Borrar Hoy

Hora:

11	02
12	03
13	04
14	05
15	06
16	07
17	08
...	...

Método Work Sampling

# Ejemplo de datos iniciales para la creación de la hoja de análisis

## Crear Nuevo Análisis de productividad en campo

### Método Work Sampling

Nombre del proyecto:

Actividad a evaluar:

Ubicación del proyecto:

Tamaño de la cuadrilla:

Frecuencia de muestreo:

Fecha:

Hora:

Clima:

Temperatura:

Humedad:

[Crear](#)

Método Work Sampling

# Primera vista de la hoja de análisis creada

Calculador WFC Inicio Lista

## Hermosita

Metodo: **Work Sampling**

Actividad: Formaleta

Ubicación: Playa Hermosa

Tamaño de Quadrilla: 6

Frecuencia: 30

Fecha: 2024-10-19

Hora: 15:42

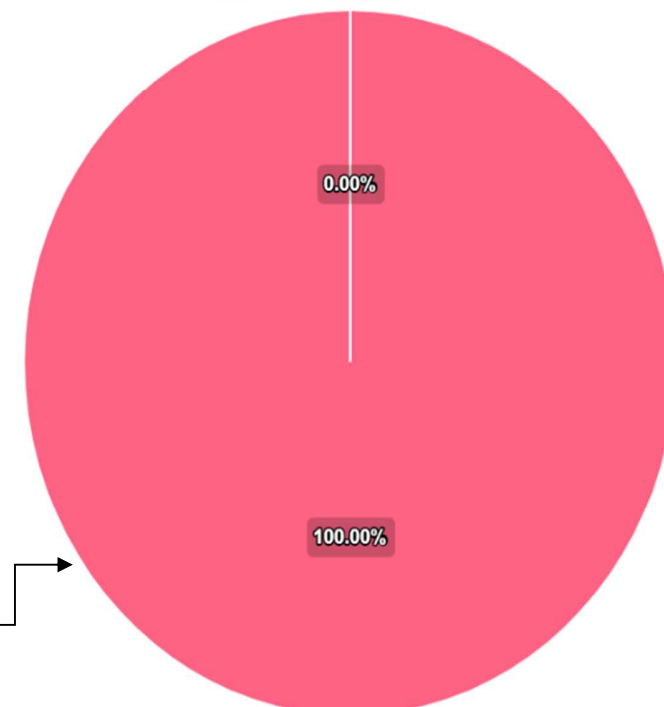
Clima: Soleado

Temperatura: 33°

Humedad: 79%

Porcentaje de Productividad: %

Productivo No Productivo



Este botón permite eliminar la hoja de análisis por completo, una vez que se ha eliminado no se puede recuperar la información.

Este botón permite crear un documento en formato PDF, más adelante se mostrará un ejemplo.

Este botón permite editar los datos iniciales de la pantalla de creación de análisis

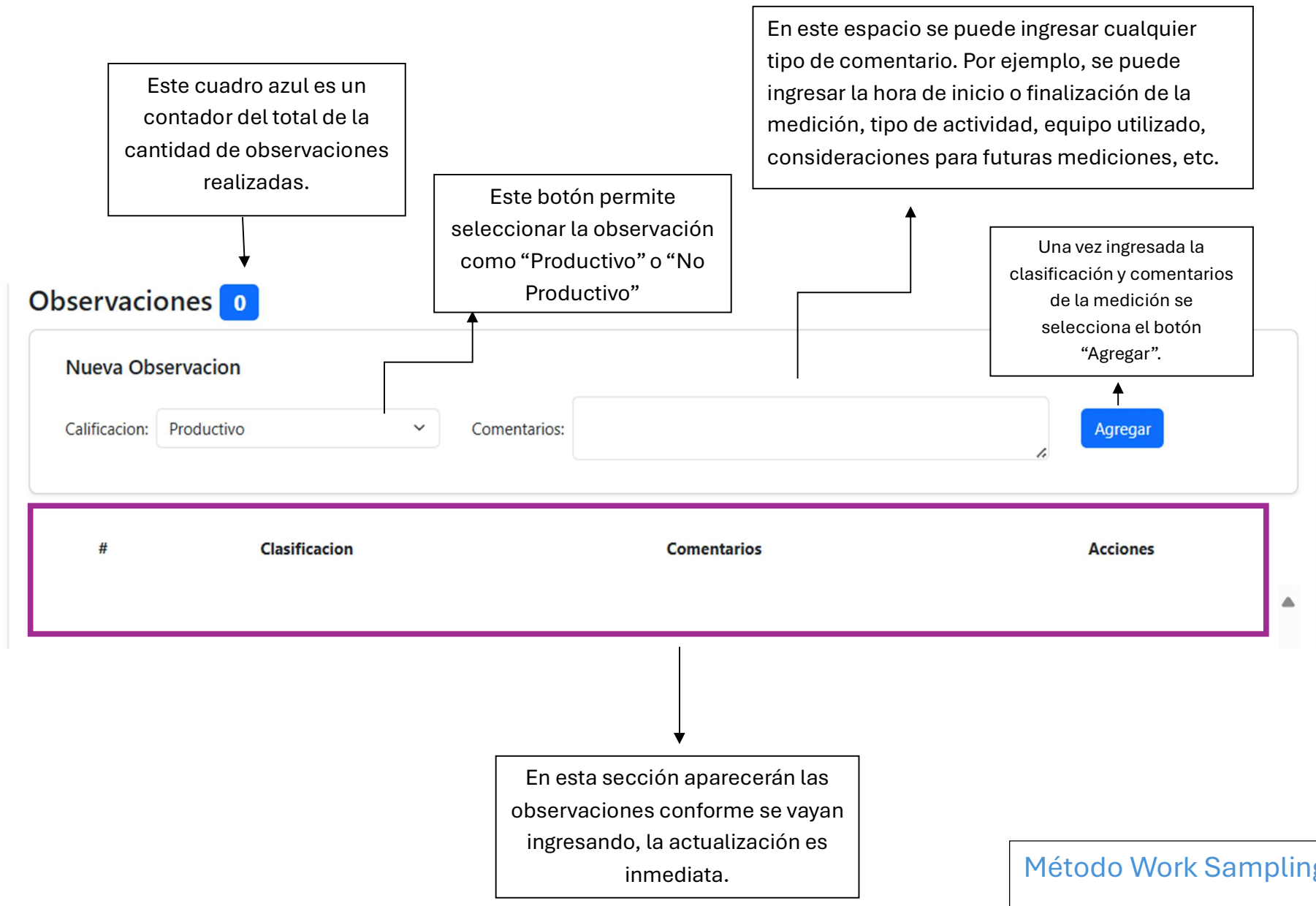
Datos iniciales digitados del proyecto.

La temperatura y humedad aparecerán con sus respectivos símbolos automáticamente.

En la parte derecha de la ventana se encuentra un gráfico tipo pastel, el cual se modificará automáticamente conforme se vayan ingresando las mediciones de productividad. Los porcentajes respectivos de cada actividad también se incluyen en los gráficos.

Método Work Sampling

## Segunda vista de la hoja de análisis creada



## Ejemplo de la segunda vista de la hoja de análisis creada.

**Observaciones** 5 ← Cantidad de observaciones realizadas.

**Nueva Observacion**

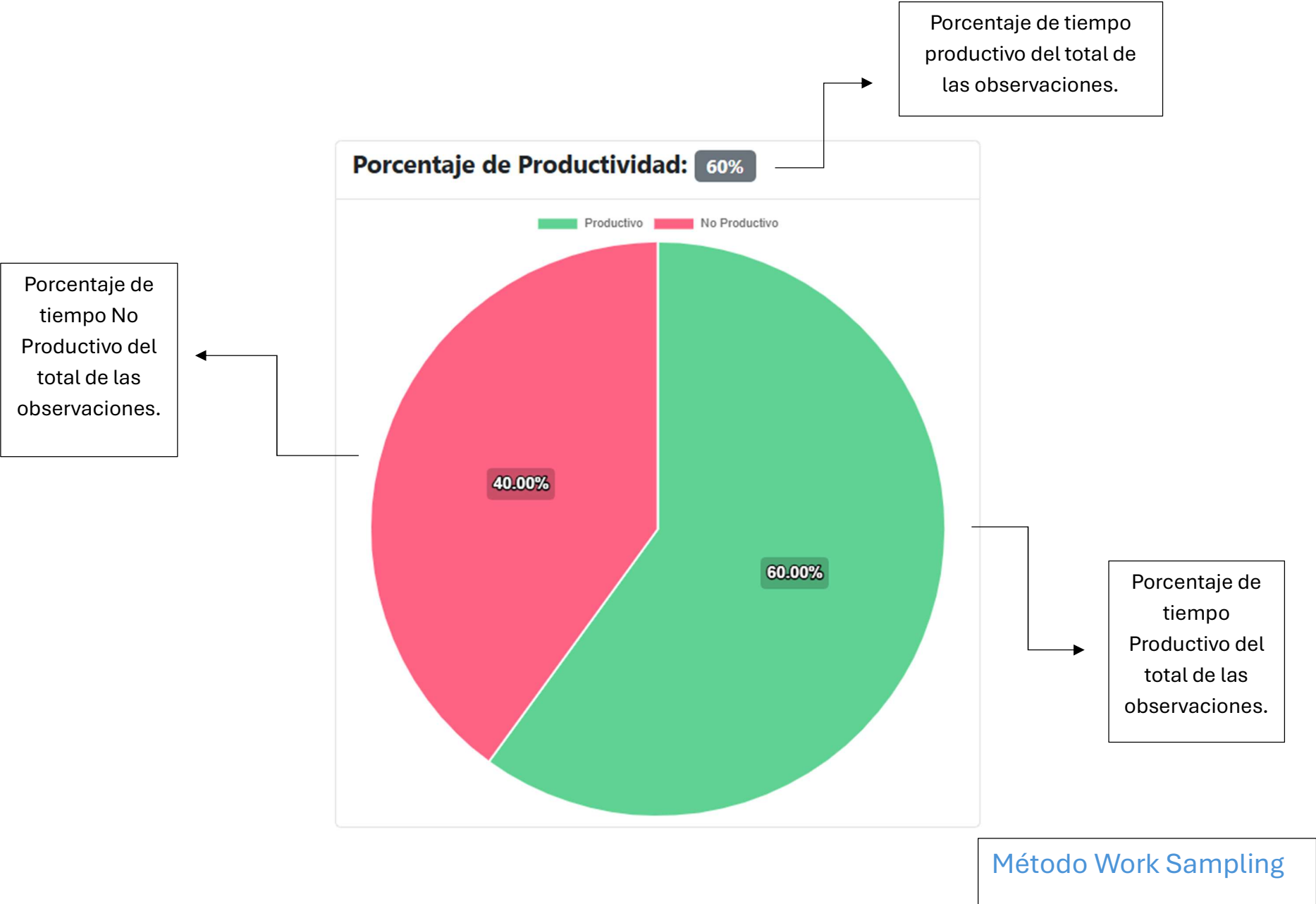
Calificación: Productivo Comentarios:  Agregar

#	Clasificación	Comentarios	Acciones
5	Productivo	<input type="text"/>	<a href="#">✎ Editar</a>
4	No Productivo	Descanso	<a href="#">✎ Editar</a>
	<span style="border: 1px solid #ccc; padding: 2px;">Productivo</span>	Descanso	<span style="background-color: #007bff; color: white; padding: 5px 10px; border-radius: 3px;">Guardar</span> <span style="border: 1px solid #dc3545; padding: 5px 10px; border-radius: 3px; color: #dc3545;">Eliminar</span>
3	No Productivo	Transporte de formaleta	<a href="#">✎ Editar</a>
2	Productivo	Equipo utilizado: Pistola de impacto, taladro, martillo, clavos, cinta métrica.	<a href="#">✎ Editar</a>
1	Productivo	Inicio de la medición	<a href="#">✎ Editar</a>

Cuando se selecciona el botón “Editar” en una observación, esta aparecerá de color amarillo y se podrá cambiar la clasificación de la observación y modificar el texto del comentario. En caso de que todo esté correcto se selecciona el botón “Guardar”, por el contrario, si no se desea mantener la observación se pulsa el botón de “Eliminar”.

Método Work Sampling

# Ejemplo de gráfico tipo pastel con los porcentajes de productividad



# Ejemplo de documento formato PDF

## Hermosita

### Resumen:

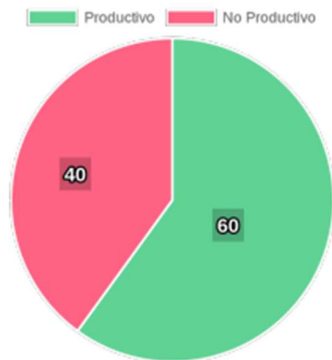
Porcentaje de trabajo productivo: 60%  
Cantidad de observaciones: 5

Fecha: 10/19/2024  
Hora: 15:42

Metodo: Work Sampling  
Actividad: Formaleta  
Ubicacion: Playa Hermosa  
Tamaño de la cuadrilla: 6  
Frecuencia de muestreo: 30  
Clima: Soleado  
Temperatura: 33°  
Humedad: 79%

Datos iniciales de la medición de productividad del proyecto constructivo

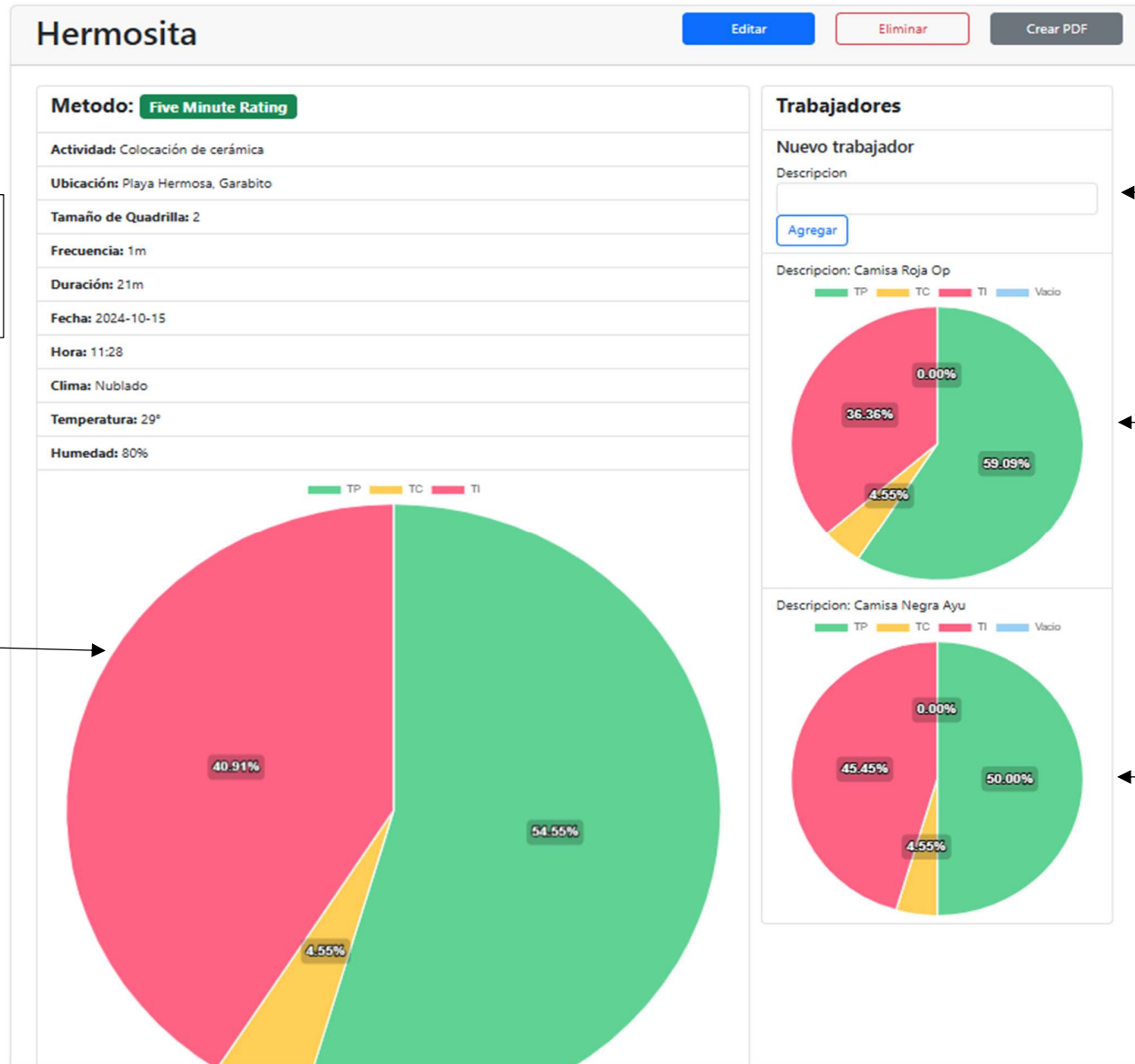
Gráfico tipo pastel de productividad con sus respectivos porcentajes



Este PDF únicamente recupera los datos iniciales digitados en la ventana de creación de análisis y el gráfico pastel de productividad obtenido de la medición. Los comentarios de las observaciones y demás datos deberán ser buscados en la ventana del análisis donde se realizaron las observaciones.

Método Work Sampling

# Ejemplo Método Five Minutes Rating- Primera vista de la hoja de análisis



Datos iniciales del proyecto constructivo

Espacio para añadir nuevos trabajadores

Gráficos tipo pastel de la productividad individual de cada trabajador agregado en el análisis.

Gráfico de la productividad global de la cuadrilla.

# Ejemplo Método Five Minutes Rating- Segunda vista de la hoja de análisis

**Observaciones** 22

**Nueva Observación**

Camisa Roja Op

TP  TC  TI  Ausente

Camisa Negra Ayu

TP  TC  TI  Ausente

Comentarios:

Espacio para agregar nuevas observaciones, se puede seleccionar el tiempo de trabajo para cada trabajador ingresado e incluir un comentario.

#	Hora	Camisa Roja Op	Camisa Negra Ayu	Comentarios	Acciones
14	11:44:02	TP	TC	Limpeza de sitio	<a href="#">✎ Editar</a>
13	11:43:07	TI	TI	Descanso	<a href="#">✎ Editar</a>
12	11:42:29	TI	TI	Descanso	<a href="#">✎ Editar</a>
11	11:41:53	TP	TP		<a href="#">✎ Editar</a>
10	11:40:46	TP	TP		<a href="#">✎ Editar</a>
9	11:39:02	TP	TP		<a href="#">✎ Editar</a>
8	11:38:05	TP	TP		<a href="#">✎ Editar</a>

Tiempos de trabajo de las observaciones ingresadas de cada trabajador

Espacio para los comentarios añadidos

Botón para editar o eliminar las observaciones

# Ejemplo Método Five Minutes Rating– Tercera vista de la hoja de análisis

**Volumen:** 1

**Unidad:** m2

**Rendimiento en horas-hombre / m2:**

Trabajador: Camisa Roja Op	Rendimiento: 0.70
Trabajador: Camisa Negra Ayu	Rendimiento: 0.70

**Promedio de rendimiento:** 0.70

**Desviación estandar:** 0.00

**Coefficiente de variacion:** 0.00  
Calificación: Precisa

**Calcular**

Espacio para añadir el volumen del trabajo realizado en la actividad, pueden incluirse números enteros o decimales

Las unidades del rendimiento son horas-hombre, que son fijas y la aplicación realiza la conversión de la duración de la medición siempre a horas. Luego se divide entre la unidad del volumen de trabajo agregada.

Unidad del volumen de trabajo, se puede agregar cualquier unidad

En este espacio aparecerá el rendimiento de cada trabajador de la cuadrilla. El rendimiento únicamente es modificado por los ausentes que existan en la actividad.

Promedio del rendimiento obtenido de la cuadrilla.

La desviación estándar de la cuadrilla únicamente será diferente de cero cuando existan ausentes y el rendimiento de los trabajadores sea diferente entre sí.

El coeficiente de variación permite medir el grado del error muestral. La tabla de rangos se calificación se puede observar en la sección 4.

# Ejemplo Método Crew Balance – Primera vista de la hoja de análisis

## Hermosita

Editar Eliminar Crear PDF

**Metodo:** Crew Balance

**Actividad:** Colocación de cerámica

**Ubicación:** Playa Hermosa, Garabito

**Tamaño de Quadrilla:** 2

**Frecuencia:** 1m

**Duración:** 45m

**Fecha:** 2024-10-15

**Hora:** 10:41

**Clima:** Nublado

**Temperatura:** 29°

**Humedad:** 80%

Datos iniciales del proyecto

Espacio para añadir Nuevas Tareas. Se selecciona el tipo de trabajo y la descripción de la actividad

TP: Trabajo Productivo

TC: Trabajo Contributivo

TI: Trabajo Improductivo

En este espacio se encontrarán las Nuevas Tareas que el usuario añadirá

Espacio para añadir Nuevos Trabajadores con la descripción de cada trabajador

### Tareas

**Nueva tarea**

Tipo de tarea: TP  TC  TI

Descripción

Agregar

**Tareas productivas:**

Cerámica

**Tareas contributivas:**

Traslado de material Trazo Espera de material

**Tareas inproductivas:**

Hidratación Charla

### Trabajadores

**Nuevo trabajador**

Descripción

Agregar

Camisa Roja Op

# Ejemplo Método Crew Balance – Segunda vista de la hoja de análisis

Gráfico que incluye todas las tareas presentes en la medición. El porcentaje respectivo de cada una se puede observar con mayor detalle si se coloca el cursor sobre la actividad.

En este gráfico aparecen todos los tiempos de trabajo presentes en la medición: Productivo, Contributivo e Improductivo. Además, aparece el porcentaje de observaciones ausentes, estas forman parte del tiempo improductivo y modifican el rendimiento de la actividad.

Cada tiempo de trabajo tiene un color respectivo.  
 Productivo: Verde  
 Contributivo: Amarillo  
 Improductivo: Rojo  
 Ausente: Celeste

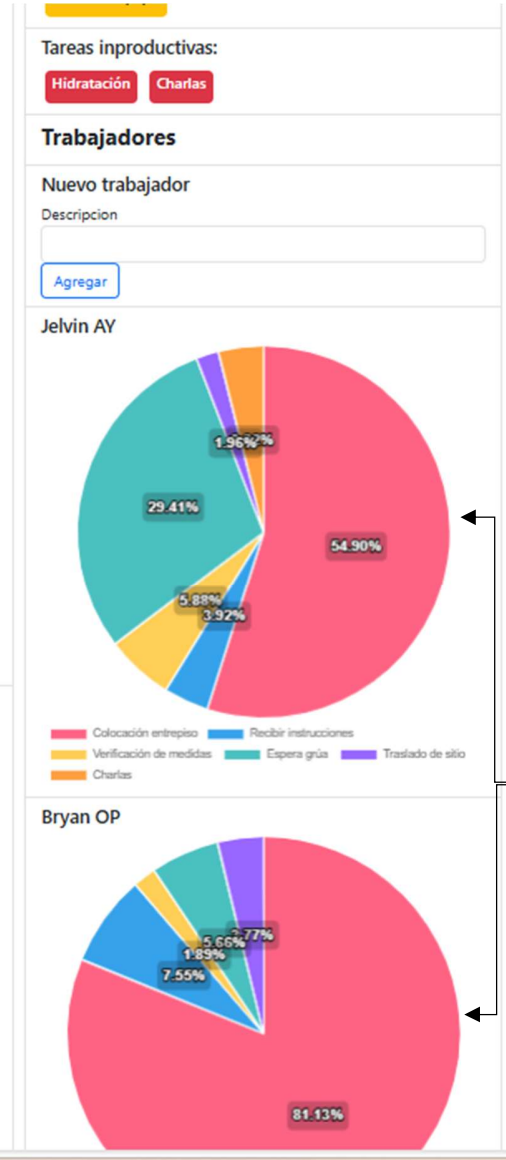
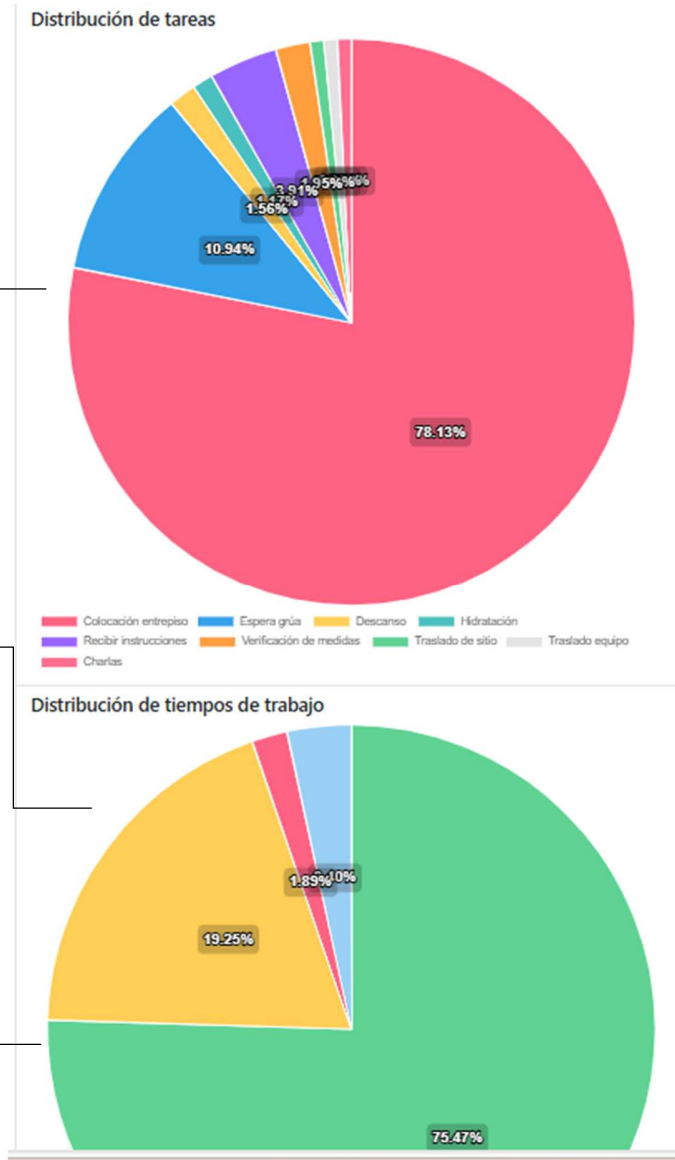


Gráfico de distribución de tareas de cada trabajador.

# Ejemplo Método Crew Balance – Tercera vista de la hoja de análisis

Observaciones **31**

Nueva Observacion

Camisa gris

Encofrado de Columna

Camisa café

Encofrado de Columna

Comentarios:

Agregar

Espacio para agregar nuevas observaciones. Cada trabajador tiene su botón para seleccionar una de las tareas agregadas en la primera vista. También existe un espacio para colocar comentarios grupales en cada observación.

#	Hora	Trabajadores		Comentarios	Acciones
31	11:00:25	<b>Camisa gris</b> Traslado de sitio	<b>Camisa café</b> Charlas	Finalización de la medición: 11:00	<a href="#">Editar</a>
30	10:59:11	<b>Camisa gris</b> Traslado de sitio	<b>Camisa café</b> Trazo		<a href="#">Editar</a>
29	10:57:51	<b>Camisa gris</b> Traslado de equipo	<b>Camisa café</b> Charlas		<a href="#">Editar</a>
28	10:57:11	<b>Camisa gris</b> Traslado de sitio	<b>Camisa café</b> Trazo		<a href="#">Editar</a>
27	10:56:35	<b>Camisa gris</b> Espera instrucciones	<b>Camisa café</b> Trazo		<a href="#">Editar</a>
26	10:55:25				<a href="#">Editar</a>

Hora sincronizada de la observación. Formato de 24 horas.

Botón para editar o eliminar las observaciones

Tareas de las observaciones agregadas de cada trabajador

Espacio para los comentarios añadidos

# Ejemplo Método Crew Balance– Cuarta vista de la hoja de análisis

**Volumen:** 1

**Unidad:** m2

**Rendimiento en horas-hombre / m2:**

Trabajador: Camisa Roja Op Rendimiento: 0.70
Trabajador: Camisa Negra Ayu Rendimiento: 0.70

**Promedio de rendimiento:** 0.70

**Desviación estandar:** 0.00

**Coefficiente de variacion:** 0.00  
Calificación: Precisa

**Calcular**

Espacio para añadir el volumen del trabajo realizado en la actividad, pueden incluirse números enteros o decimales

Las unidades del rendimiento son horas-hombre, que son fijas y la aplicación realiza la conversión de la duración de la medición siempre a horas. Luego se divide entre la unidad del volumen de trabajo agregada.

Unidad del volumen de trabajo, se puede agregar cualquier unidad

En este espacio aparecerá el rendimiento de cada trabajador de la cuadrilla. El rendimiento únicamente es modificado por los ausentes que existan en la actividad.

Promedio del rendimiento obtenido de la cuadrilla.

La desviación estándar de la cuadrilla únicamente será diferente de cero cuando existan ausentes y el rendimiento de los trabajadores sea diferente entre sí.

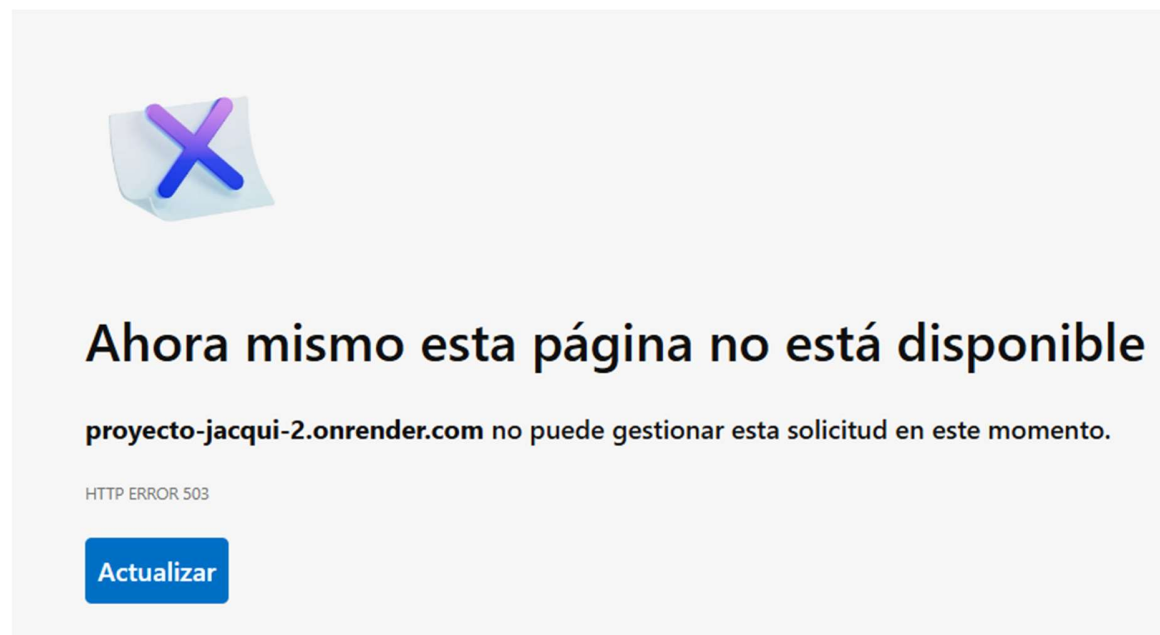
El coeficiente de variación permite medir el error muestral.

## 6. Restricciones en la herramienta

- **Acceso a la herramienta:** Toda persona que posea el link de la herramienta digital puede crear, editar y eliminar los documentos que estén guardados en la sección “Listado de análisis”, debido a que no se implementó la función de “inicio de sesión”, por lo que a menos que se descargue el PDF con los datos básicos de la información, los datos ingresados en la herramienta son vulnerables a cualquier cambio.
- **Conexión a internet:** La herramienta no se puede utilizar si no está instalado un navegador en el dispositivo que se va a usar para realizar la medición. La herramienta únicamente tiene implementada la versión “online”, por lo que siempre se debe tener acceso a los datos móviles o conexión wifi.
- **Productos obtenidos:** La herramienta únicamente permite ingresar información de las mediciones de productividad y rendimiento y regresa los productos de cada método, esta herramienta no realiza ningún tipo de análisis sobre la información agregada. Cada usuario deberá realizar el análisis respectivo de cada medición y proponer las conclusiones de cada actividad.

## 7. Errores en el uso de la herramienta

- **Pérdida de conexión a internet:** En caso de tener problemas en la red, no se debe digitar ninguna observación o dato, debido a que la información digitada se almacena en el servidor y luego de recuperar la conexión aparecen todas las observaciones digitadas. Como el usuario no puede ver estas modificaciones en tiempo real por la falta de internet, cuando se reestablezca la conexión aparecerá repetida la observación todas las veces que se ingresó.
- **Redirección de página:** En caso de que la herramienta presente algún error o falla se redigirá automáticamente a otra ventana, indicando que la página no responde o no está disponible. Por lo que se deberá refrescar la página y seleccionar el botón de inicio de la herramienta. Un ejemplo de un mensaje que puede presentar se observa en la siguiente imagen.



## 8. Referencias

En el siguiente link permite el acceso directo a la herramienta digital desarrollada:

<https://proyecto-jacqui-2.onrender.com/analisis>

# Anexos

**Anexo 1.** Carta de control de visitas a campo.

## Anexo 1. Carta de control de visitas a campo.

15/11/2024

Playa Hermosa, Jacó, Garabito.

Arq. Tarick Barrantes Angulo.



**Control de visitas a campo.**

**A quien interese: Tecnológico de Costa Rica.**

Por este medio informo que la estudiante Jacqueline Barrantes Solano, ced. 118590291, realizó mediciones de productividad en el Proyecto Hermosita ubicado en Playa Hermosa, Garabito. En la tabla se muestran las fechas y procedimientos de los muestreos realizados por la estudiante:

<b>Fecha</b>	<b>Procesos muestreados</b>
30/09/2024	Repello muros Covitec, Formaleta columnas, colado concreto
05/10/2024	Armadura de vigas
15/10/2024	Formaleta de vigas, colocación de cerámica
19/10/2024	Formaleta de vigas
22/10/2024	Repello de paredes
01/11/2024	Colado de viga, colocación de cerámica
02/11/2024	Colocación de entrepiso

Se despide atentamente...

**TARICK RAUL  
BARRANTES  
ANGULO (FIRMA)**  
Información de contacto:

Cel. 83024510

Correo: tarickcr@gmail.com

Digitally signed by TARICK RAUL  
BARRANTES ANGULO (FIRMA)  
Date: 2024.11.16 13:33:52 -06'00'