

# Medición y mejoramiento de la productividad en la colocación de obra falsa, el montaje de elementos prefabricados y colado de entrepiso del condominio vertical residencial Q-BO



# Abstract

This project consist was conducted in the building of the vertical residence condominium Q-BO, in charge of the construction company "HSolís", which has more than 20 levels of apartments and an outbuilding to be used for parking and consisted in the measurement and improvement of productivity in the construction of a concrete slab, including processes such as placement of falsework, assembly of beams and prefabricated slabs, and casting of concrete.

A work sampling was performed in the north and the south tower in order to obtain percentages of productivity, through the crew balance technique, and labor yields for the construction processes mention before, allowing the discovery that there is no relation between the two values.

The labor yield values obtained were included in a database system that allows you to query the stored information and perform calculations of the cost of labor. Also, it allows you to enter new project information, new activities and construction processes, and the modifying of information previously entered to replace it statistically more reliable data.

In addition, observations and the implementation of a survey to workers involved in the process allowed to determine the factors that affected productivity. It was found that the disorder in the workplace, the erroneous delivery of materials and the large quantity of time invested in transporting them are the main causes of low productivity

The factors above helped build an Ishikawa diagram and propose solutions to improve productivity.

**Keywords:** Productivity, labor yields, work sampling, database.

# Resumen

Este proyecto fue realizado en el condominio vertical residencial Q-BO, a cargo de la empresa constructora HSolís, el cual cuenta con más de 20 niveles de apartamentos y un edificio anexo para ser utilizado para estacionamientos y consistió en la medición y mejoramiento de la productividad en la actividad de entepiso incluyendo procesos como colocación de obra falsa, el montaje de vigas y losas prefabricadas y colado de entepiso.

Se efectuaron muestreos de trabajo con el fin de obtener porcentajes de productividad, a través de la técnica crew balance, y valores de rendimientos para los procesos constructivos en estudio, permitiendo descubrir que no existe una relación entre el porcentaje de tiempo productivo y el rendimiento.

Los valores obtenidos de rendimientos se incluyeron en un sistema de base de datos que permite consultar la información guardada y realizar cálculos del costo de la mano de obra. También, permite introducir nueva información de proyectos, actividades y procesos constructivos y modificar la información ingresada con anterioridad para sustituirla por datos estadísticamente más confiables.

Además, las observaciones realizadas y la aplicación de una encuesta a los trabajadores involucrados en los procesos, permitieron determinar los factores que afectan la productividad. Se encontró que el desorden del sitio de trabajo, la entrega errónea de los materiales y los grandes tiempos invertidos por traslados, son las principales causas de la baja productividad.

Los factores anteriores permitieron construir un diagrama de Ishikawa y proponer soluciones que permitan el mejoramiento en la productividad.

**Palabras clave:** Productividad, rendimientos, muestreos de trabajo, base de datos.

# **Medición y mejoramiento de la productividad en la colocación de obra falsa, el montaje de elementos prefabricados y colado de entrepiso del condominio vertical residencial Q-BO**



# **Medición y mejoramiento de la productividad en la colocación de obra falsa, el montaje de elementos prefabricados y colado de entrepiso del condominio vertical residencial Q-BO**

SUSANA ACOSTA SANDOVAL

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

Noviembre de 2016

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN



# Contenido

Prefacio .....	1
Resumen ejecutivo .....	2
Introducción .....	3
Marco teórico .....	4
Metodología .....	12
Resultados .....	17
Análisis de resultados .....	105
Conclusiones .....	116
Recomendaciones .....	117
Apéndices .....	118
Referencias .....	119



# Prefacio

La empresa H Solís cuenta con más de 50 años de experiencia realizando proyectos de infraestructura, pero es hasta hace poco tiempo que la empresa se ha involucrado en la construcción de proyectos inmobiliarios con la visión de ofrecer servicios que permitan mejorar la calidad de vida.

Es así, como surge la necesidad de elaborar una base de datos que le permita a la empresa contar con datos actualizados de los rendimientos, para estimar el costo de la mano de obra, planificar el tiempo de construcción y ejecutar obras dentro de los plazos debidamente programados. Esta base de datos le permitirá a la empresa realizar correlaciones entre proyectos nuevos a construir y aquellos proyectos ya construidos que cuentan con características similares.

Paralelamente, es preciso realizar un estudio de productividad del trabajo realizado, para conocer los errores en la ejecución de los procesos e introducir mejoras que contribuyan a la optimización del uso de los materiales, equipo y mano de obra.

Para obtener los datos de rendimientos y porcentajes de productividad se realizaron muestreos de trabajo tanto en torre norte como en torre sur y se determinaron aquellos factores que impiden el desarrollo del proceso de manera eficiente y eficaz.

El objetivo principal de este trabajo es medir y mejorar la productividad en los procesos de colocación de obra falsa, montaje de elementos prefabricados y colado de entrepiso; asociados al proyecto condominio vertical residencial Q-BO, ubicado en Rohrmoser, Pavas.

## Agradecimientos

A mis padres y hermanos por el apoyo incondicional durante toda mi vida.

A los profesores de la carrera Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica, en especial la profesora Ing. Ana Grettel Leandro, por brindarme el apoyo, la confianza y darme consejos para salir adelante en mi etapa como estudiante, especialmente por haberme transmitido tantos conocimientos que me han facilitado la elaboración de este proyecto.

Y no menos importante, se extiende el agradecimiento a la empresa H Solís, principalmente a los ingenieros Rafael Camacho y Rodrigo Garzona; por la oportunidad y ayuda que me brindaron para poder realizar este proyecto.

# Resumen ejecutivo

El objetivo principal de este proyecto fue medir y mejorar la productividad en la actividad de entrepiso, el cual incluye los procesos de colocación de obra falsa, montaje de vigas y losas prefabricados y colado de entrepiso; asociados al proyecto condominio vertical residencial Q-BO, de la empresa constructora HSolis.

Para obtener la información se realizaron muestreos de trabajo tanto en torre norte como en torre sur y se analizó la información utilizando el método de crew balance para determinar los niveles de productividad en los diferentes muestreos de trabajo.

Los muestreos se realizaron en diferentes días de la semana, a diferentes horas del día, con diferentes condiciones climáticas, pues era importante analizar si estos factores influyen en el desarrollo de los procesos constructivos.

Las tareas observadas se clasificaron de acuerdo al tipo de trabajo en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) para determinar el porcentaje que se invierte por tarea según la totalidad de observaciones realizadas. También, permitió obtener los niveles de productividad para cada uno de los trabajadores involucrados en el proceso y con ayuda del gráfico crew balance, se refleja el porcentaje que se invierte efectuando cada una de las tareas.

Además de obtener porcentajes de productividad, los muestreos de trabajo permitieron obtener valores de rendimientos según la cantidad de trabajadores involucrados y la duración de acuerdo a la cantidad de trabajo efectuado. Los datos obtenidos se incluyeron en un sistema de base de datos. La creación de esta base de datos surge de la necesidad de crear una herramienta que le permita a la empresa contar con datos actualizados de los rendimientos, para

estimar el costo de la mano de obra, planificar el tiempo de construcción y ejecutar obras dentro de los plazos debidamente programados. Esta base de datos le permitirá a la empresa realizar correlaciones entre proyectos nuevos a construir y aquellos proyectos ya construidos que cuentan con características similares.

Los porcentajes de productividad obtenidos para el proceso de colocación de obra falsa varían de muestreo en muestreo por lo que fue necesario establecer condiciones base para analizar la información.

En el montaje de elementos prefabricados los porcentajes de trabajo improductivo son mayores al 60% debido a los tiempos de espera producto del transporte de los elementos a cargo del operario de la grúa.

En el proceso de colado de entrepiso, se realizó un análisis de los datos obtenidos para los métodos de colocación utilizando balde, bomba estacionaria, bomba telescópica y placing boom. Este último equipo fue instalado en el proyecto recientemente por lo que solo se pudo realizar un estudio del muestreo de trabajo.

Las observaciones realizadas en conjunto con la encuesta aplicada a los trabajadores involucrados en los procesos en estudio, permitieron obtener los principales factores que afectan la productividad. Alguno de ellos se dieron a causa del diseño de sitio actual, a los materiales y equipos, a la mano de obra e incluso debido a características presentes en el proyecto. Una vez identificados los factores, se realizó un diagrama de Ishikawa para posteriormente proponer soluciones que permitan el mejoramiento de la productividad en la colocación de obra falsa, montaje de vigas y losas prefabricadas y colado de entrepiso.

# Introducción

La construcción es una de las industrias que impulsa constantemente el progreso de una sociedad. Las necesidades que tiene la población en cuanto a infraestructura y vivienda, se satisfacen por medio de la construcción, por lo que continuamente hay proyectos que dan respuesta a esas necesidades, generando gran cantidad de empleos al utilizar mano de obra de manera intensiva.

A pesar de su importancia en el crecimiento de un país, la industria de la construcción es uno de los sectores con menor grado de desarrollo en la mayoría de los países latinoamericanos, al caracterizarse como una industria que no aprovecha los avances tecnológicos para resolver los problemas de la actualidad.

Es así como surge la necesidad de medir la productividad para determinar los factores que afectan el desarrollo eficiente y eficaz de los procesos para poder proponer soluciones que permitan el mejoramiento de la productividad. Dichas soluciones deberán ponerse en práctica para medir la efectividad de resultados.

Los muestreos de trabajo permiten obtener los porcentajes de tiempo productivo, contributivo e improductivo de los trabajadores en la realización de procesos de intereses para la empresa HSolís.

Paralelamente a la medición de los procesos mediante la técnica de crew balance, se realizarán los cálculos para determinar el rendimiento y realizar comparaciones entre estos valores y los valores de productividad.

Los datos de rendimientos obtenidos servirán para introducirlos en una base de datos que facilite a la empresa la elaboración de tareas como el cálculo del costo de mano de obra, presupuestos y en la planificación de cronogramas.

## Objetivos

### Objetivo General

Medición de la productividad en los procesos de colocación de obra falsa, montaje de elementos prefabricados y colado de entrepiso, en el condominio vertical residencial Q-BO.

### Objetivos Específicos

- Determinar los insumos necesarios para realizar los procesos asignados.
- Realizar mediciones de productividades y rendimientos de los procesos asignados.
- Identificar y analizar los factores que afectan la productividad en la construcción de los procesos asignados.
- Proponer soluciones para mejorar la productividad en los procesos constructivos asignados.
- Elaborar una base de datos como recurso para calcular el costo de la mano de obra según los rendimientos obtenidos en los procesos de colocación de obra falsa, montaje de elementos prefabricados y colado de entrepiso.

# Marco teórico

## Productividad

En el desarrollo económico de un país, la construcción es parte fundamental en el crecimiento de una sociedad. Esta actividad, al utilizar mano de obra en forma intensiva, refleja la importancia de cuantificar la productividad de los trabajadores durante la realización de los diferentes procesos constructivos.

Se entiende por productividad como la relación entre la producción obtenida y los recursos utilizados para generar un producto. De acuerdo con Serpell (1986): “Es posible hablar de productividad de materiales, de los equipos, del terreno o espacio y de la mano de obra. En la construcción, siendo todas importantes, no cabe duda que la más impredecible es la última” (p. 54)

De otra manera, García (2005) define productividad como “la relación aritmética entre la cantidad producida y a cuantía de los recursos empleados en la producción” (p. 12). Básicamente, el objetivo es fabricar un producto a un menor costo, a través del uso eficiente de los recursos primarios de la producción como materiales, mano de obra y maquinaria. Dicha definición se puede expresar a través de la siguiente ecuación:

$$Productividad = \frac{Producción}{Insumos}$$

(Ecuación 1)

Teóricamente, podemos incrementar la productividad al aumentar el producto y mantener el mismo insumo; o reducir el insumo y mantener el mismo producto; o aumentar el producto y reducir el insumo simultáneamente y proporcionalmente. (García, 2005)

Es así como el nivel de productividad de un proceso va a depender de las habilidades y capacidades de los trabajadores, las características y calidad de los materiales, las herramientas y equipos disponibles para realizar el

trabajo y la información que se brinde para que el trabajo sea desempeñado de manera exitosa. Por esa razón, el eficiente uso de los recursos genera una alta productividad.

## Clases de productividad

De acuerdo a Botero y Álvarez (2004), se puede hablar de diferentes clases de productividades en la construcción de acuerdo a los recursos utilizados durante los diferentes procesos constructivos:

- Productividad de los materiales que por su costo es importante evitar los desperdicios.
- Productividad de la mano de obra al ser un recurso que fija el ritmo del trabajo en la construcción.
- Productividad de la maquinaria es muy importante por el alto costo que representa por lo tanto es necesario evitar los tiempos muertos de uso.

## Categorización del trabajo

La productividad, al medirse en relación al trabajo, es posible categorizar ese trabajo en tres grupos para así realizar las observaciones mediante la técnica del muestreo de trabajo (Serpell, Productividad en la construcción, 1986):

- a) Trabajo productivo (TP): Se refiere a las tareas que realiza el trabajador y que aportan de forma directa a la realización del proceso constructivo.
- b) Trabajo contributivo (TC): Es el trabajo de apoyo que se ejecuta para que el trabajo productivo pueda realizarse. Un ejemplo característico de este tipo de trabajo es el de limpiar el área de trabajo.
- c) Trabajo improductivo (TI): Básicamente, son todas aquellas tareas que se realizan y no corresponden a ninguna de las tareas

clasificadas en los dos trabajos anteriores. Son consideradas como tareas que no aportan a la realización del trabajo y por lo tanto, implica pérdida para la empresa pues se desperdicia tiempo de trabajo. Acá entra las actividades de ocio como hablar de otros temas ajenos al trabajo, caminar sin cargar material, observar.

## **Factores que afectan la productividad en la construcción**

Existe gran cantidad de factores que afectan la productividad tanto positivamente como negativamente. Dichos factores se ven reflejados por una deficiente planificación que varían de proyecto en proyecto. Según Serpell (2002), los principales factores que afectan negativamente a la productividad son:

- Sobretiempo programado y/o fatiga.
- Muchas modificaciones durante la ejecución del proyecto.
- Exagerado de control de calidad.
- Ineficiencia en la toma de decisiones.
- Tamaño y composición inadecuada de las cuadrillas.
- Disponibilidad limitada de la mano de obra.
- Falta de materiales, equipos y herramientas.
- Ubicación inapropiada de los materiales y las bodegas en general.
- Temperatura y clima adverso en la zona.
- Ubicación y acceso al proyecto.
- Falta de supervisión.
- Alta tasa de accidentes en la obra.
- Ausencia de servicios básicos.
- Mucha rotación de personal
- Disputas jurisdiccionales entre cuadrillas.
- Situación económica del país y nivel de desempleo.

De igual manera, García (2005) cita que algunos de los factores que actúan en contra del aumento de la productividad son en ocasiones generados por la propia empresa o por su personal; pero también hay factores que surgen en el exterior y dichos factores se encuentran fuera del control de los directivos. Entre los factores más comunes que restringen el aumento de la productividad están:

- Incapacidad de los dirigentes para fijar el ambiente y crear el clima apropiado para el mejoramiento de la productividad pues todos los dirigentes son responsables de desarrollar y mantener el ambiente laboral para cumplir las metas organizacionales.
- Existencia de una problemática con los reglamentos gubernamentales que reducen los recursos de las organizaciones.
- Obstáculos que se presentan en la comunicación interna y externa debido al tamaño de la organización.
- Incapacidad de medir y evaluar la productividad de la fuerza de trabajo.
- La calidad de las materias primas que se emplean y la continuidad de su abastecimiento, tienen un importante efecto en la productividad.

Botero y Álvarez (2004) a su vez, mencionan en el artículo 'Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda' que entre los factores que inciden negativamente en la productividad se encuentran:

- Errores en los diseños y falta de especificaciones
- Modificaciones a los diseños durante la ejecución del proyecto
- Falta de supervisión de los trabajadores
- Alta rotación de los trabajadores
- Pobres condiciones de seguridad
- Composición inadecuada de las cuadrillas de trabajo.
- Distribución inadecuada de los materiales de la obra
- Falta de suministro de equipos y herramientas
- Excesivo control de calidad
- Clima y condiciones adversas en la obra.

Sin embargo, es importante no solo hablar de aquellos factores que afectan negativamente la productividad. Es importante mencionar cuales factores se pueden aplicar y tienen al mejoramiento de la productividad en la construcción. Dichos factores según Serpell (2002) son:

- Programas de seguridad en la obra.
- Uso de materiales y equipos modernos.
- Programas de motivación del personal.
- Capacitación continua del personal.

- Utilización eficiente de los subcontratistas.
- Estandarización en los diseños.
- Disponibilidad de los materiales, herramientas y equipos.
- Buena supervisión de la obra
- Optimización del sistema productivo.
- Uso del muestreo y estudio del trabajo para controlar la eficiencia de la dirección de la obra.
- Uso de materiales y equipos prefabricados.
- Uso de hormigón premezclado.
- Prefabricación de partes de obra.
- Estandarización de las partes y elementos de la obra.
- Pre-planificación de las operaciones.

## Mejoramiento de la productividad en la construcción

Lo primero que se hay que hacer cuando se trata de mejorar los métodos de trabajo en la construcción crear condiciones laborales que permitan a los trabajadores ejecutar sus tareas sin fatiga innecesaria.

Las malas condiciones de trabajo es la principal causa productora de tiempo improductivo por deficiencia de dirección. (García, 2005) Además, se debe realizar una lista de los factores que inciden negativamente en la productividad para así adoptar acciones correctivas que conlleven a la solución de los problemas identificados.

Serpell (2002) recomienda utilizar el ciclo de mejoramiento de la productividad tal y como se muestra en la figura 1.

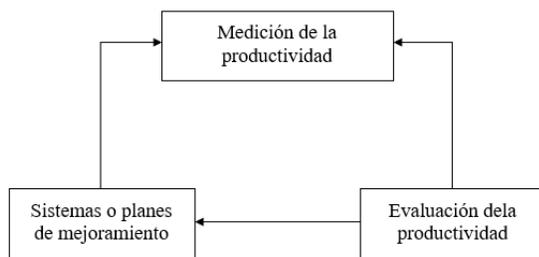


Figura 1. Ciclo de mejoramiento de la productividad. (Serpell, 2002)

Cada una de las etapas que se mencionan en la figura anterior comprende una serie de actividades que deben de realizarse para el

mejoramiento. En primer lugar se toman datos para su análisis y procesamiento de la información; en segundo lugar se identifican los problemas, se determinan las acciones a tomar y se evalúan las alternativas de mejoramiento; y finalmente, se implementan las estrategias y acciones de mejoramiento y se da un seguimiento y control de la implementación y sus resultados.

## Productividad y nivel de vida

Evidentemente, al aumentar la productividad, se aumenta la producción y al haber un aumento de la producción, se generaran una serie de beneficios para la empresa. Según García (2005):

- Los obreros, al ganar más y disponer de más dinero, podrán gastar más y ahorrar para invertir en empresas industriales.
- Las empresas, al obtener más beneficios, además de mayores utilidades, podrán dedicar una parte al mejoramiento de las instalaciones y la otra parte de ellos a los consumidores, vía reducción de precios de sus productos.
- Los consumidores, debido a la reducción de precios, podrán comprar mayor número de productos, lo cual aumentara el nivel medio de vida general de la población.

Es decir, al aumentar la productividad, “se produce un aumento de riqueza marginal cuyo efecto multiplicador se traduce en una elevación continua y constante del nivel general de vida” (García, 2005, p. 12)

De aquí nace la importancia de incrementar la productividad pues esto provoca una reacción en cadena. Al darse un incremento de la productividad, se disminuyen los costos porque hay menos reprocesos, menos equivocaciones, menos devoluciones y menos retrasos; se utiliza mejor el tiempo y los materiales por lo tanto, se mejora la calidad y se conquista el mercado, se permanece en el negocio, hay más y más trabajo, y se generan las utilidades.

## Estudio del trabajo

“El estudio del trabajo es el examen sistemático de los métodos para realizar actividades con el fin de mejorar la utilización eficaz de los recursos y de establecer normas de rendimiento con respecto a

las actividades que se están realizando” (Oficina Internacional del Trabajo (OIT), 1996, p. 9)

Por lo tanto, a través del estudio del trabajo podemos examinar la manera en que una actividad está siendo realizada y así, modificar aquellos aspectos operativos que provocan trabajo innecesario y el uso antieconómico de recursos.

## Niveles de subdivisión del trabajo

A continuación, se definen los diferentes niveles en que se subdivide el trabajo según Serpell (2002) y que dicha subdivisión se muestra en la figura 2.

- Actividad: “Conjunto de procesos realizados en forma conjunta o sucesiva” (Serpell, 2002)
- Operación: “Aquella actividad de trabajo que resulta en la colocación o instalación de un elemento definible de construcción para lo cual se incluyen algunos procesos tecnológicos y se tiene una estructura de tareas asignadas” (Serpell, 2002)
- Proceso: “Colección de tareas relacionadas entre ellos por una estructura tecnológica y una secuencia” (Serpell, 2002)
- Tarea: “Elemento de trabajo más básico de los procesos y operaciones”

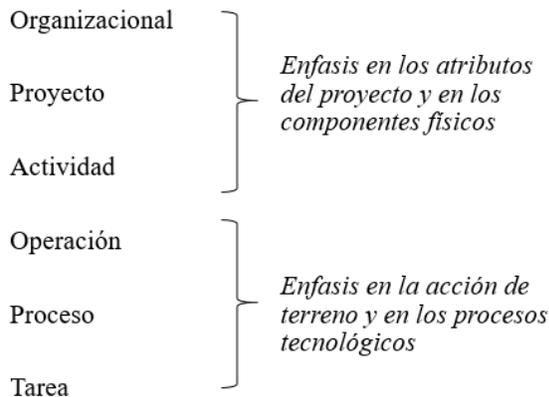


Figura 2. Niveles de subdivisión del trabajo en un proyecto de construcción. (Serpell, 2002)

## Técnica de medición de la productividad

### Crew balance

De acuerdo con Kuprenas y Fakhouri (2001):

El concepto “crew balance” (balance de cuadrilla) fue desarrollado por ingenieros industriales y fue conocido como un gráfico de hombre-máquina. Éste mostró la capacidad de producción de varias combinaciones de hombre-máquina. Dada la naturaleza incierta de un proyecto de construcción, la industria de la construcción también necesita de una herramienta para estudiar las secuencias y duraciones de las actividades. Un ejemplo de ello son los gráficos producto del balance de cuadrillas (p. 3).

Esta técnica consiste en la realización de un gráfico de barras vertical que muestra las tareas que realiza la cuadrilla durante el tiempo de observación. Con el crew balance se pueden reasignar las tareas entre los distintos miembros de la cuadrilla con el fin de reducir los tiempos muertos y aumentar la productividad.

En la figura 3 se muestra un ejemplo de representación del gráfico con la técnica crew balance; en donde en el eje horizontal se colocan los trabajadores y en el eje vertical la duración de cada una de las actividades realizadas.

**Figure 1**

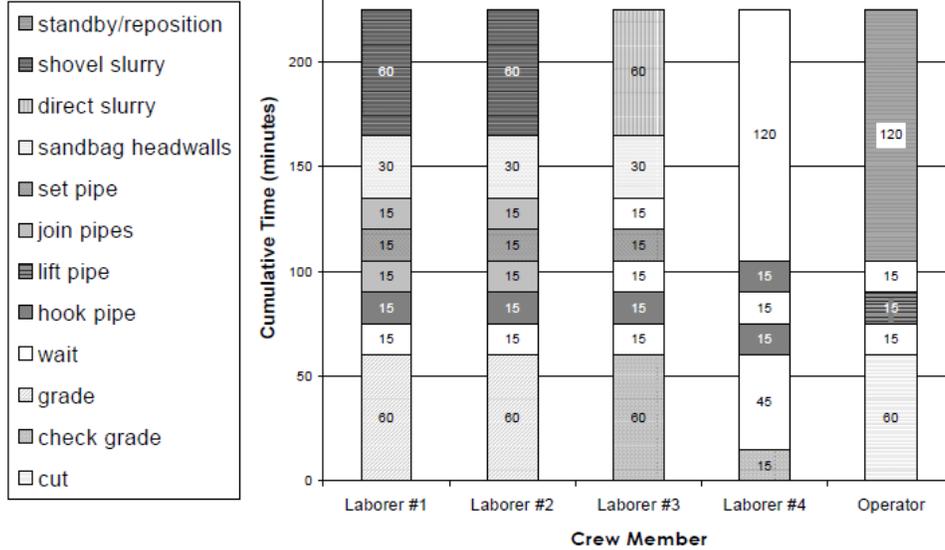


Figura 3. Ejemplo de gráfico utilizando la técnica crewbalance. (Kuprenas & Fakhouri, 2001)

## Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo de procesos es una representación gráfica de la secuencia de actividades que constituyen un proceso o procedimiento. Según García (2005): “proporciona una imagen clara de toda la secuencia de acontecimientos del proceso y mejora la distribución de los trabajadores y el manejo de los materiales” (p. 53)

Ayudan a designar cualquier representación gráfica de un procedimiento o parte de este, razón por la cual, en la actualidad, las empresas lo utilizan como uno de los principales instrumentos en la realización de cualquier método o sistema. (Manene, 2011)

Realizar un diagrama de flujo ayuda a las personas que trabajan en el proceso a entender mejor el mismo y al representar el proceso de manera objetiva, permite la identificación de los problemas para propuestas de mejora. A continuación, se presenta la simbología utilizada y el significado de cada uno de ellos para elaborar diagramas de flujo:

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

Figura 4. Simbología utilizada en la elaboración de diagramas de flujo. (Manene, 2011)

## Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa es también conocido como el diagrama de causa-efecto o diagrama de espaldas de pescado. Es un método gráfico creado por el japonés Kaoru Ishikawa en el año 1943 y permite representar y analizar la relación entre un

efecto o un problema y sus posibles causas. (Gutiérrez, 1997)

“A través de la utilización del diagrama de espaldas de pescado es posible identificar, para cada operación, los factores y subfactores que impactan el resultado o la medida de desempeño de su ejecución” (Serpell, 2002, p. 85)

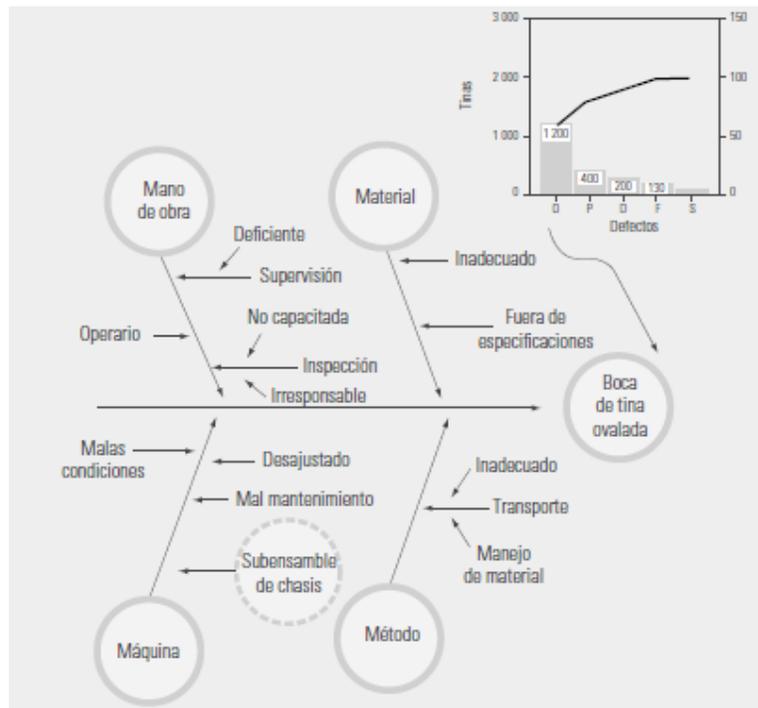


Figura 5. Diagrama de causa-efecto. (Gutiérrez, 1997)

## Rendimientos de mano de obra

De acuerdo con Botero (2002):

Se define rendimiento de mano de obra, como la cantidad de obra de alguna actividad completamente ejecutada por una cuadrilla, compuesta por uno o varios operarios de diferente especialidad por unidad de recurso humano, normalmente expresada como um/hH (unidad de medida de la actividad por hora Hombre). (p. 11)

## Determinación de rendimientos de mano de obra

La asignación de productividades es uno de los mayores retos que enfrenta el presupuestista durante el proceso de determinar el costo de la mano de obra, debido a la poca investigación que existe sobre rendimientos (Ortiz, Paniagua, & Sandoval, 2009). Sin embargo, este rendimiento puede ser calculado de una manera sencilla a través de los siguientes pasos descritos en el folleto Costos de Construcción elaborado por la Ing. Giannina Ortiz, el Ing. Eduardo Paniagua y el Ing. Milton Sandoval; y que permiten realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos para obtener valores de mayor grado de confiabilidad.

## a) Datos

Durante la toma de datos, se debe establecer la cantidad de personas que se encuentran trabajando en la actividad, la duración y la cantidad de trabajo que se ha realizado en las diferentes mediciones

## b) Calculo de rendimientos

Para calcular el rendimiento, se utiliza la siguiente formula:

$$R = \frac{t * n}{V}$$

(Ecuación 2)

Donde:

R = Rendimiento en horas-hombre/unidad

t = Tiempo de duración de la actividad

n = Numero de obreros que participaron en dicha actividad y que pertenecen a una misma categoría

V = Volumen de trabajo realizado

## c) Eliminación de datos extremos

Con la finalidad de obtener resultados más confiables, se deben eliminar aquellos valores obtenidos con la ecuación 1 que se encuentren lejanos a la mayoría de los datos.

## d) Proceso estadístico

Como primer paso de este proceso estadístico, se debe calcular la media aritmética de los rendimientos anteriormente obtenidos:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n}$$

(Ecuación 1)

Como segundo paso, se debe calcular la desviación estándar:

$$\sigma = \frac{\sqrt{(R_1 - \bar{R})^2 + (R_2 - \bar{R})^2 + \dots + (R_n - \bar{R})^2}}{n}$$

(Ecuación 3)

Y por último, se obtiene el coeficiente de variación:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{R}} * 100$$

(Ecuación 4)

## e) Aplicación de factores

Debido a que el cálculo del rendimiento es un valor neto, se deben afectar los rendimientos por un factor que considera aquellos tiempos que utilizan los trabajadores para el transporte de materiales, alimentación, idas al baño, entre otros.

Este factor de incremento se calcula de la siguiente manera:

$$fi = \frac{tc * 100}{hd - tc}$$

(Ecuación 5)

Donde:

fi = Factor de incremento

tc = Tiempo consumido en otras actividades

hd = Horas diarias de trabajo total

## f) Rendimiento real

Finalmente, el rendimiento real viene dado por la aplicación del factor de incremento a la media aritmética.

$$R = \bar{R}(1 + fi)$$

(Ecuación 6)

## Costo de la hora hombre

Para calcular el costo de la hora hombre, se debe multiplicar el salario por hora que reciben los diferentes tipos de trabajadores (peones, ayudantes, operarios) por la cantidad de trabajadores involucrados, dividido entre la totalidad de trabajadores. Lo anterior se expresa en la siguiente ecuación:

$$Costo\ HH = \frac{\#Op * \frac{\text{salario}}{\text{hora}} + \#Ay * \frac{\text{salario}}{\text{hora}} + \#Peón * \frac{\text{salario}}{\text{hora}}}{\text{Número de trabajadores}}$$

(Ecuación 7)

Posteriormente, el valor del costo de la hora hombre se puede multiplicar por el rendimiento obtenido en horas hombre para determinar el costo total de la actividad a realizar.

## **Factores que afectan los rendimientos**

Debido a que cada proyecto es diferente, los factores que afectan el rendimiento o consumo de mano de obra pueden variar de proyecto en proyecto. Es por eso que Botero (2002) clasifica los diferentes factores en siete categorías para un mejor estudio y análisis.

- **Economía general:** Hace referencia al estado económico de la nación o el área específica en donde se desarrolla el proyecto. Se habla de las tendencias y resultados de los negocios, del volumen de la construcción y de la situación del empleo, pues puede afectar la disponibilidad de la mano de obra y la disponibilidad de los insumos.
- **Aspectos laborales:** La productividad al estar estrechamente relacionada con la mano de obra y las condiciones laborales del proyecto, se debe considerar aspectos como el tipo de contrato, los incentivos, el salario, el ambiente de trabajo, la seguridad social e industrial.
- **Clima:** Se debe considerar factores como el estado del tiempo, la temperatura, las condiciones del suelo, cercanos al área del proyecto.
- **Actividad:** Son aquellos factores que afectan la actividad a realizar u otras actividades como el grado de dificultad, el riesgo al cual se ve sometido el obrero, la discontinuidad para realizar las actividades, el orden y aseo del sitio de trabajo, las actividades predecesoras y el espacio con el que cuenta el trabajador para realizar la tarea.
- **Equipamiento:** La calidad de las herramientas, el estado de los equipos, el suministro y mantenimiento oportuno de los mismos son factores que pueden afectar el rendimiento de la mano de obra.
- **Supervisión:** Deben existir criterios definidos de aceptación o rechazo de las

diferentes actividades, dar instrucciones claras para facilitar la realización del trabajo, dar seguimiento y supervisar el proceso constructivo.

- **Trabajador:** aspectos personales como las situaciones personas, la habilidad para desarrollar el trabajo, los conocimientos, el desempeño y la actitud hacia el trabajo son factores que afectan el rendimiento.

# Metodología

A continuación, se detalla el procedimiento que permite realizar a cabo este informe para cumplir con los objetivos planteados.

El proyecto fue realizado bajo la modalidad de práctica profesional dirigida y los datos fueron obtenidos en el condominio vertical residencial Q-BO, ubicado en Rohrmoser, Pavas.

El condominio cuenta con un área total de 46155 m<sup>2</sup> en donde se construirá una torre de 20 niveles con 290 apartamentos de diferentes tamaños y diseños,, dos sótanos y un edificio anexo de cuatro niveles para utilizarse como parqueo, el cual contará con 388 espacios de estacionamiento.

Q-BO contará con unidades de uno, dos y tres habitaciones, y con más de 15 amenidades como gimnasio jacuzzi, piscina, spa, entre otros.



*Figura 6. Proyecto Q-BO*

El sistema constructivo consiste en la utilización de vigas y losas prefabricadas con muros y columnas de concreto coladas en sitio. Los elementos prefabricados se construyen en la

planta de prefabricados de la misma empresa, ubicado en Coyol de Alajuela.

## Procedimiento realizado

La actividad que se analizó fue asignada por el gerente de proyecto y corresponde a la actividad de entrepiso. En esta actividad se llevan a cabo procesos constructivos como colocación de obra falsa, montaje de elementos prefabricados, encofrado de fondos de losa, colocación de armadura, instalación de previstas electromecánicas y finalmente colada de entrepiso.

Se descarta el análisis de aquellos procesos realizados por subcontratistas como colocación de armadura e instalación de previstas electromecánicas. Además, el proceso encofrado de fondos de losa también se excluye del análisis al no ser de interés para la empresa.

Con los procesos constructivos asignados, se inicia el estudio de cada uno de ellos, realizando muestreos de trabajo para obtener la información que se requiere. Se tomaron videos que permitieron observar los recursos que se utilizaron y las tareas que cada uno de los trabajadores involucrados realizaron. La obtención de datos a través del video permite que las observaciones realizadas sean estadísticamente confiables.

Los muestreos de trabajo se realizaron de forma aleatoria tratando de abarcar distintos días de la semana y a diferentes horas del día.

Los datos fueron anotados en un formulario como el de la figura 7, en donde se registra la tarea que el trabajador estaba desempeñando al momento de la observación. Dicho formulario se iba adaptando a la cantidad de trabajadores que participaban en el proceso y a la cantidad de observaciones realizadas. Las observaciones fueron realizadas a intervalos de 10, 15, 20 y 30 minutos según se especifica en



empresa, al incursionarse recientemente en el ámbito inmobiliario, no cuenta con datos de rendimientos que permitan la asociación de estos datos con los datos que se necesitan en proyectos con características similares. La base de datos se realizó con ayuda del software Microsoft Office Access 2013 y se diseñó de manera que pudiera cumplir con funciones como:

- Realizar consultas de rendimientos incluidos en el sistema.
- Agregar nueva información como datos de rendimientos asociados a los procesos constructivos que no se han incluido en el sistema.
- Modificar la información incluida en el sistema con datos estadísticos más confiables.
- Consultar las características del proyecto en el que fueron tomados los datos de rendimientos.
- Agregar nuevos proyectos, nuevas actividades, nuevos procesos y nuevos rendimientos.
- Realizar el cálculo del costo de la mano de obra de acuerdo a la cantidad de trabajadores involucrados, el salario que reciben y la cantidad de trabajo que realizan.
- Generar informes de los costos de mano de obra calculados.

Para utilizar la base de datos correctamente, se realizó un manual de usuario que sugiere el uso correcto de esta herramienta. En este manual se explica cómo se deben de insertar los nuevos datos, como se puede realizar la consulta de los datos existentes o como realizar el cálculo del costo de la mano de obra.

Para poder determinar los factores que afectan la productividad y el rendimiento en el desempeño de los procesos constructivos, se realizaron encuestas a los trabajadores que realizan las tareas asociadas a los procesos en estudio. El formulario utilizado y las respuestas de estas encuestas se muestran en el apéndice J y en la sección de resultados se presentan las gráficas generadas a partir de estas respuestas.

Los factores que se extrajeron de esta encuesta se complementan con los factores que afectaron la eficiencia y eficacia de los procesos observados a través de los diferentes muestreos de trabajo.

Una vez enlistado los diferentes factores que afectan la productividad, fue posible realizar un diagrama de Ishikawa donde se muestran las causas que provocan la disminución en la productividad

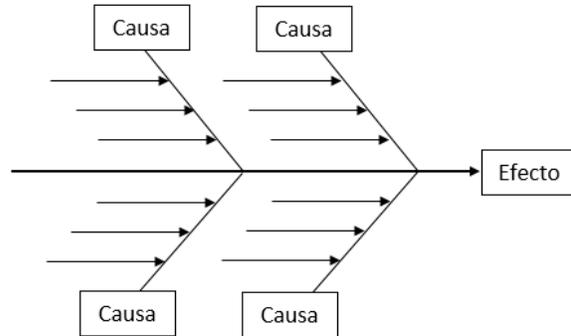


Figura 8. Esquema utilizado para la elaboración del diagrama de Ishikawa

## Procesos Constructivos Seleccionados

La actividad de entrepiso está compuesta por los siguientes procesos constructivos que se analizarán:

- Colocación de obra falsa de entrepiso
- Montaje de vigas prefabricadas
- Montaje de losas prefabricadas
- Colado de entrepiso

A su vez, el proceso colado de entrepiso se analiza para los diferentes métodos de colocación de concreto como:

- Descarga directa con balde.
- Utilización de bomba estacionaria.
- Utilización de bomba telescópica.

La figura 9 muestra la estructura de obra falsa que soportará las vigas prefabricadas que se colocarán posterior a la finalización de este proceso.



Figura 9. Colocación de obra falsa de entrepiso.

La obra falsa está compuesta por viguetas de madera o metálicas de 0,165m, andamios o puntales 3x.

Una vez finalizado el proceso de colocación de obra falsa y verificado la altura que poseen las viguetas, se procede a la colocación de vigas prefabricadas con ayuda de la grúa torre. Las vigas prefabricadas, al igual que las losas, se fabrican en la planta de prefabricados de la empresa HSolís ubicada en Coyoil de Alajuela.

Los elementos se solicitan a la planta de prefabricados y llegan al proyecto un día antes de la fecha prevista para el montaje y son almacenadas para montarse cuando el maestro de obras considera conveniente.



Figura 10. Montaje de vigas prefabricadas.

Posterior al montaje de vigas prefabricadas, se da el montaje de losas prefabricadas.



Figura 11. Montaje de losas prefabricadas.

A diferencia de las vigas que llegan al proyecto un día antes, las losas prefabricadas llegan al proyecto el mismo día previsto para su montaje. La obra falsa debe estar en posición para soportar las losas prefabricadas y una vez colocadas, se debe reforzar con puntales 3x y viguetas metálicas a cada  $L/3$ .

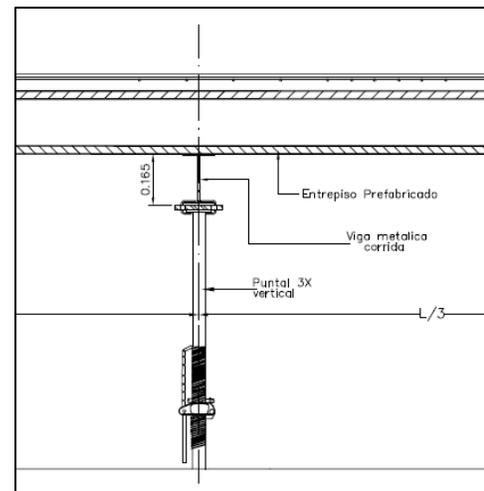


Figura 12. Apuntalamiento de losas prefabricadas.

Finalizado el proceso de montaje de vigas prefabricadas, se da simultáneamente los procesos de encofrado de fondos de losas, colocación de armadura y colocación de previstas electromecánicas. Estos procesos constructivos no se toman en cuenta en el análisis de este informe.

Finalmente, la actividad de entrepiso finaliza con el proceso de colado de entrepiso. En

las áreas de difícil acceso, se utiliza el método de descarga directa con balde. En torre sur se utiliza colado de entrepiso con bomba telescópica mientras que en torre norte se utiliza la bomba estacionaria debido a los cables de alta tensión que borden dicha torre.



*Figura 13. Colado de entrepiso con el método de descarga directa con balde.*



*Figura 14. Colado de entrepiso utilizando bomba estacionaria para torre norte.*



*Figura 15. Colado de entrepiso utilizando bomba telescópica para torre sur.*

Debido a la altura que comenzaba a alcanzar ambas torres y el atraso que generaba el armar y desarmar la tubería tanto de la bomba telescópica como de la bomba estacionaria, además del exceso de personal que debían tener para que realizaran estas tareas, la empresa HSolis optó por comprar un equipo llamado: Placing Boom; el cual básicamente funciona como una bomba telescópica pero acelera el proceso de colocación.



*Figura 16. Colado de entrepiso utilizando placing boom.*



*Figura 17. Acabado final del proceso colado de entrepiso.*

# Resultados

## Entrepiso

La secuencia de los procesos constructivos generales para la actividad de entrepiso se muestra en la figura 18, tomando para el análisis los procesos de colocación de obra falsa, montaje

de vigas y losas prefabricadas y colado de entrepiso.

Los recursos necesarios para llevar a cabo los procesos constructivos que se analizarán, se muestran en el cuadro 1.

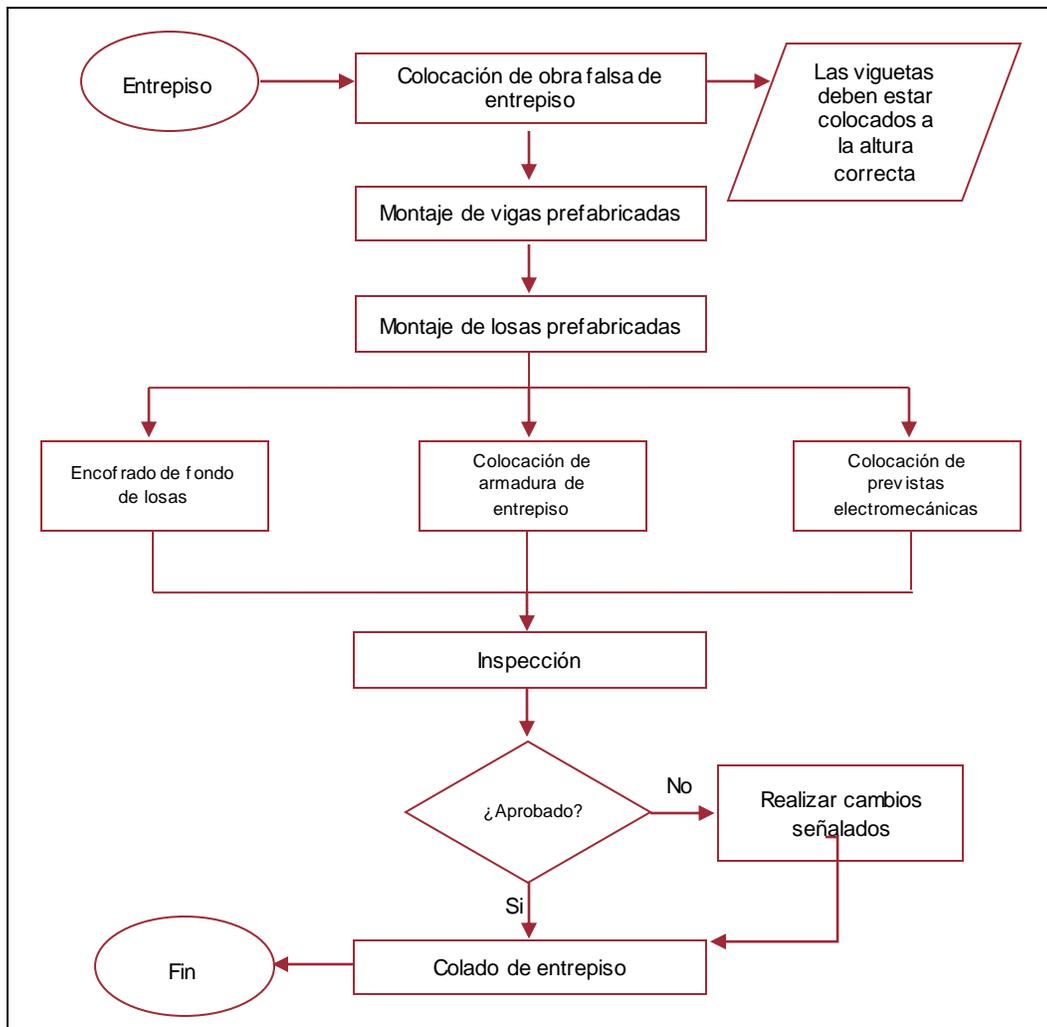


Figura 18. Diagrama de flujo general para la actividad de entrepiso.

<b>CUADRO 1. RECURSOS NECESARIOS PARA REALIZAR LOS DIFERENTES PROCESOS CONSTRUCTIVOS ANALIZADOS</b>			
Proceso constructivo	RECURSOS		
	Cuadrilla	Materiales	Equipo
Colocación de obra falsa de entrepiso	2 ayudantes	Viguetas Andamios Puntales Alambre negro Nylon	Cinta métrica Nivel de regla Martillo Tenazas Arnés Guantes
Montaje de vigas prefabricadas	2 operarios 2 ayudantes	Vigas prefabricadas Alambre negro	Barras de acero Cinta métrica Escalera Tenazas Arnés
Montaje de losas prefabricadas	2 operarios 2 ayudantes	Losas prefabricadas	Barra de acero Cinta métrica Escalera Arnés
Colado de entrepiso	2 operarios 2 ayudantes 1 peón	Concreto premezclado Agua	Vibrador Extensión Pala Guantes Arnés Manguera

## Colocación de obra falsa de entrepiso

En la figura 19, se muestra el diagrama de flujo para realizar el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso, en donde se detalla las tareas necesarias y en el orden ideal para completar el proceso. Posteriormente se muestran los

resultados obtenidos en los diferentes muestreos de trabajo.

La información general bajo la cual se desarrollaron los diferentes muestreos de trabajo como el día, la hora de inicio, temperatura, frecuencia de medición, ubicación, entre otros; puede encontrarse en las hojas de muestreos de trabajo adjuntas en el apéndice A: *Muestreos de trabajo realizados para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso.*

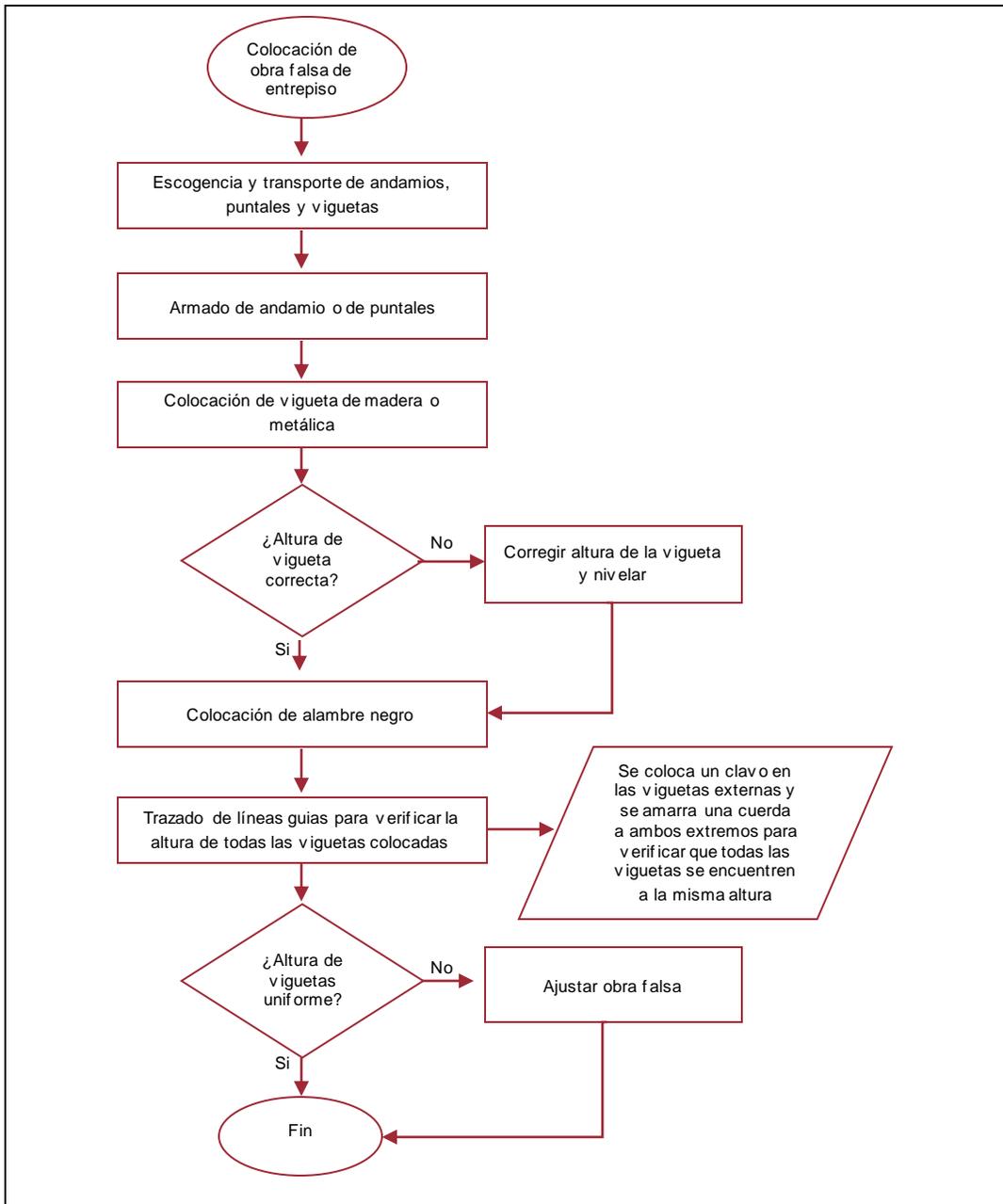


Figura 19. Diagrama de flujo para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso.

## **MUESTREO DE TRABAJO #1 COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO**

En cuadro 2, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación

del muestreo de trabajo #1. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 2. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN LA COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Colocando puntal	33	8,40%
	Colocando varilla	17	4,33%
	Colocando vigueta	11	2,80%
	Nivelando puntal	21	5,34%
	Colocando alambre negro	122	31,04%
	Ajustando altura puntal	13	3,31%
TC	Trayendo material	39	9,92%
	Cargando material	29	7,38%
	Haciendo amarras	8	2,04%
	Limpiando área de trabajo	15	3,82%
TI	Esperando material	5	1,27%
	Observando	46	11,70%
	Caminando	24	6,11%
	Hablando	10	2,54%
TOTAL		393	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 20 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 21 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #1.

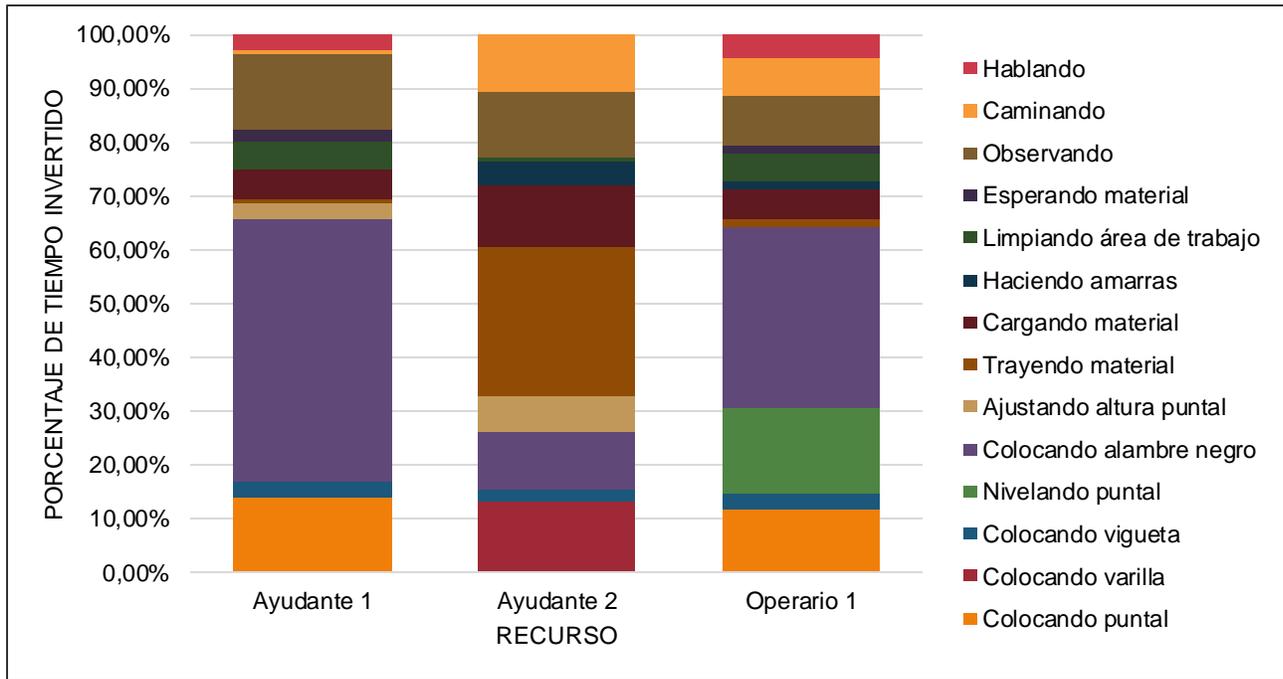


Figura 20. Gráfico crew balance para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso, muestreo de trabajo #1.

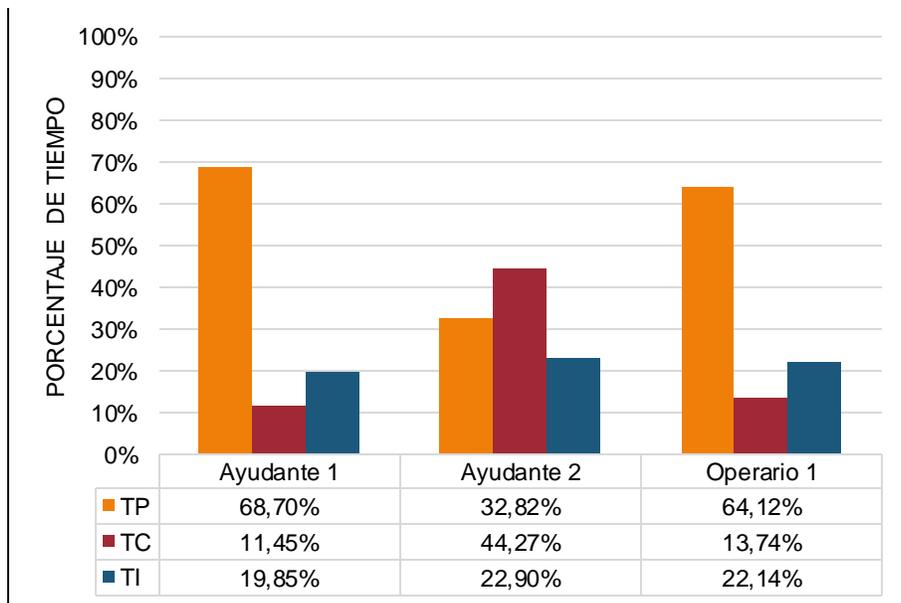


Figura 21. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colocación de obra falsa, muestreo de trabajo #1.

## **MUESTREO DE TRABAJO #2**

### **COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO**

En el cuadro 3 se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #1. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 3. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN LA COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Armando andamio	193,0	38,76%
	Colocando alambre negro	36,0	7,23%
	Colocando vigueta	6,0	1,20%
TC	Soltando varilla	8,0	1,61%
	Trayendo material	80,0	16,06%
	Cargando material	17,0	3,41%
	Colocándose arnés	16,0	3,21%
	Haciendo amarras	33,0	6,63%
TI	Esperando material	21,0	4,22%
	En el baño	7,0	1,41%
	Observando	28,0	5,62%
	Hablando	51,0	10,24%
	Caminando	2,0	0,40%
<b>TOTAL</b>		<b>498,0</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 22 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 23 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #2.

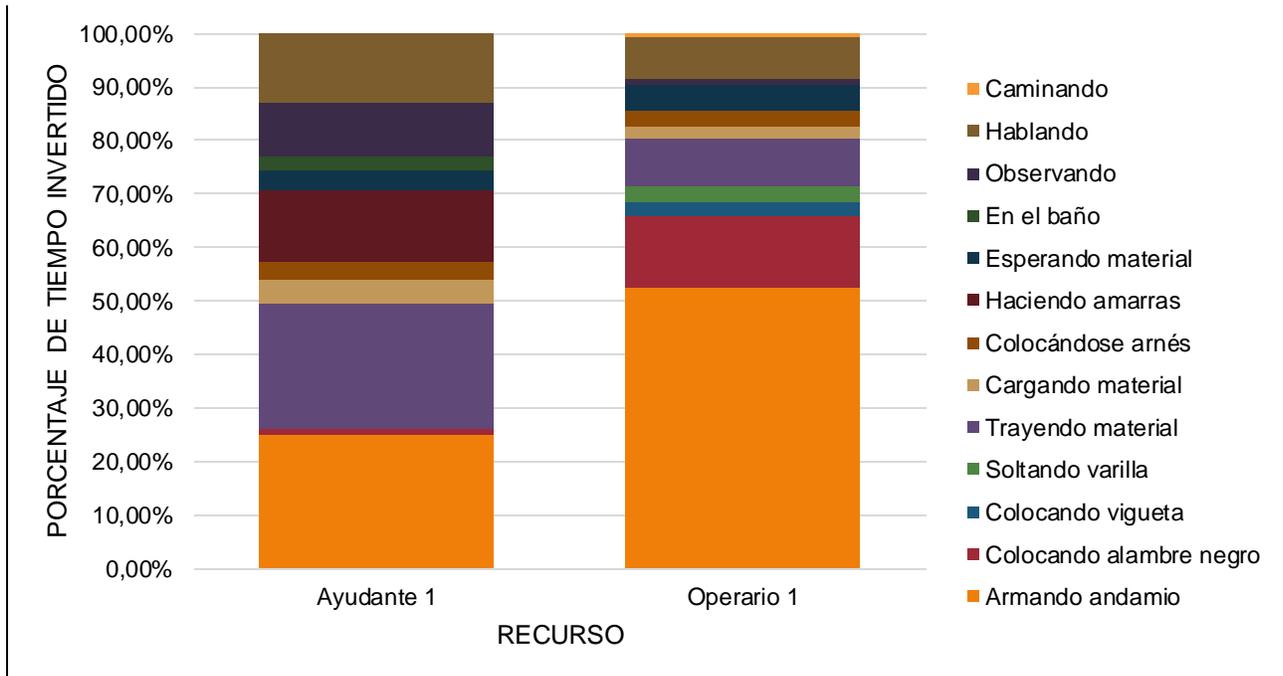


Figura 22. Gráfico crew balance para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso, muestreo de trabajo #2.

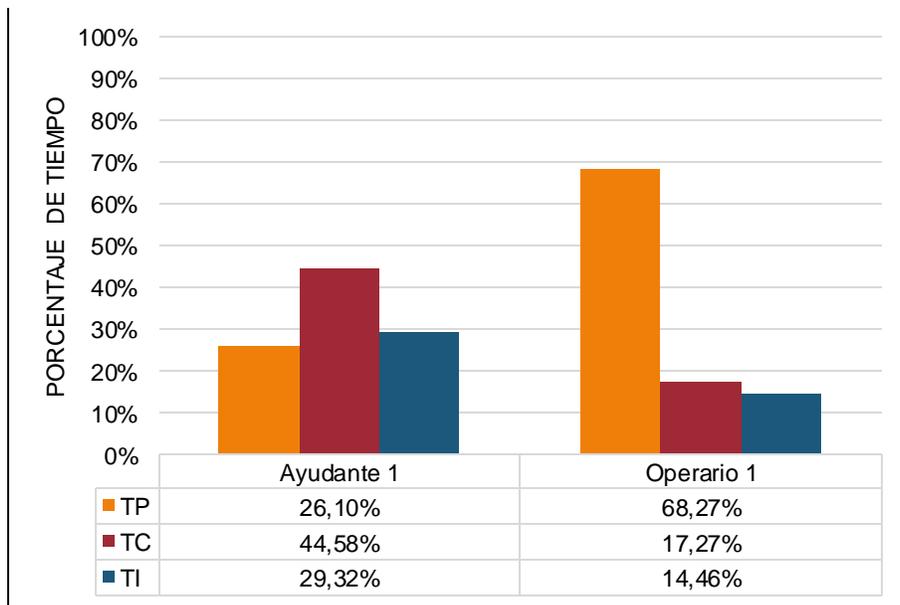


Figura 23. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colocación de obra falsa, muestreo de trabajo #2.

### **MUESTREO DE TRABAJO #3**

#### **COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO**

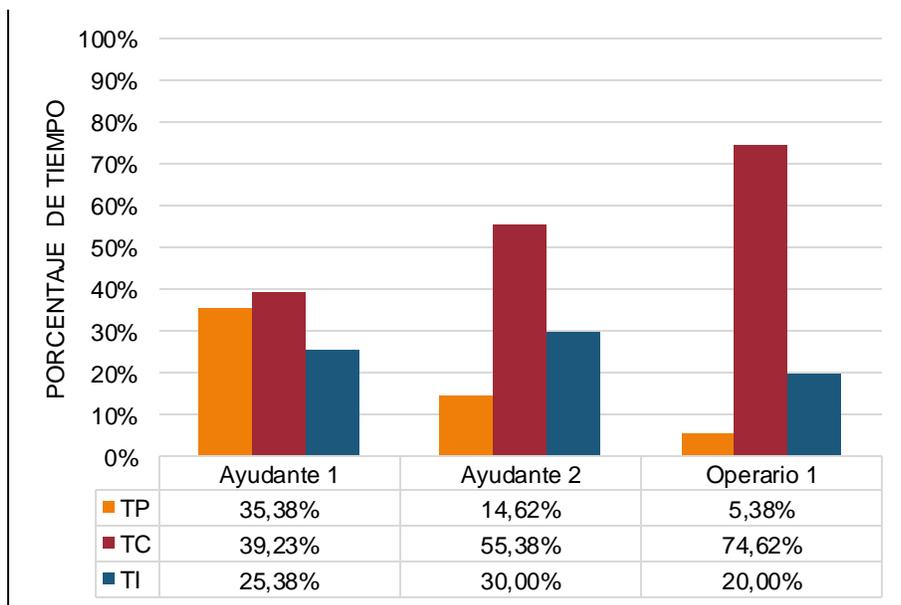
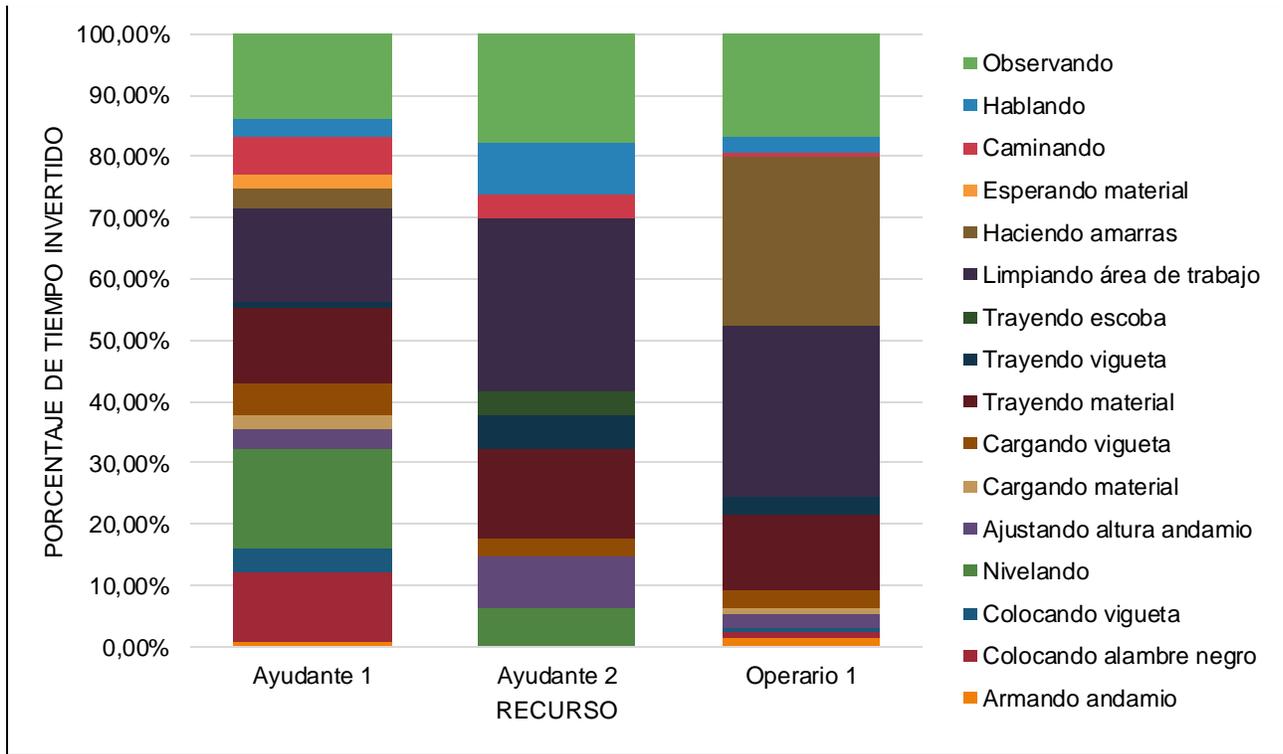
En el cuadro 4 se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #3. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 4. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN LA COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Armando andamio	3	0,77%
	Colocando alambre negro	16	4,10%
	Colocando vigueta	6	1,54%
	Nivelando	29	7,44%
	Ajustando altura andamio	18	4,62%
TC	Cargando material	4	1,03%
	Cargando vigueta	15	3,85%
	Trayendo material	51	13,08%
	Trayendo vigueta	12	3,08%
	Trayendo escoba	5	1,28%
	Limpiando área de trabajo	93	23,85%
	Haciendo amarras	40	10,26%
TI	Esperando material	3	0,77%
	Caminando	14	3,59%
	Hablando	18	4,62%
	Observando	63	16,15%
<b>TOTAL</b>		<b>390</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 24 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 25 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #3.



## **MUESTREO DE TRABAJO #4 COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO**

En el cuadro 5 se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #4. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 5. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN LA COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Colocando puntal	22	5,58%
	Colocando alambre negro	81	20,56%
	Colocando varilla	43	10,91%
	Nivelando	32	8,12%
	Ajustando altura puntal	21	5,33%
TC	Cargando material	20	5,08%
	Trayendo material	40	10,15%
	Sosteniendo puntal	22	5,58%
	Haciendo amarras	7	1,78%
TI	Esperando material	19	4,82%
	Usando el celular	1	0,25%
	Caminando	11	2,79%
	Observando	63	15,99%
	Hablando	12	3,05%
<b>TOTAL</b>		<b>394</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 26 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 27 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #4.

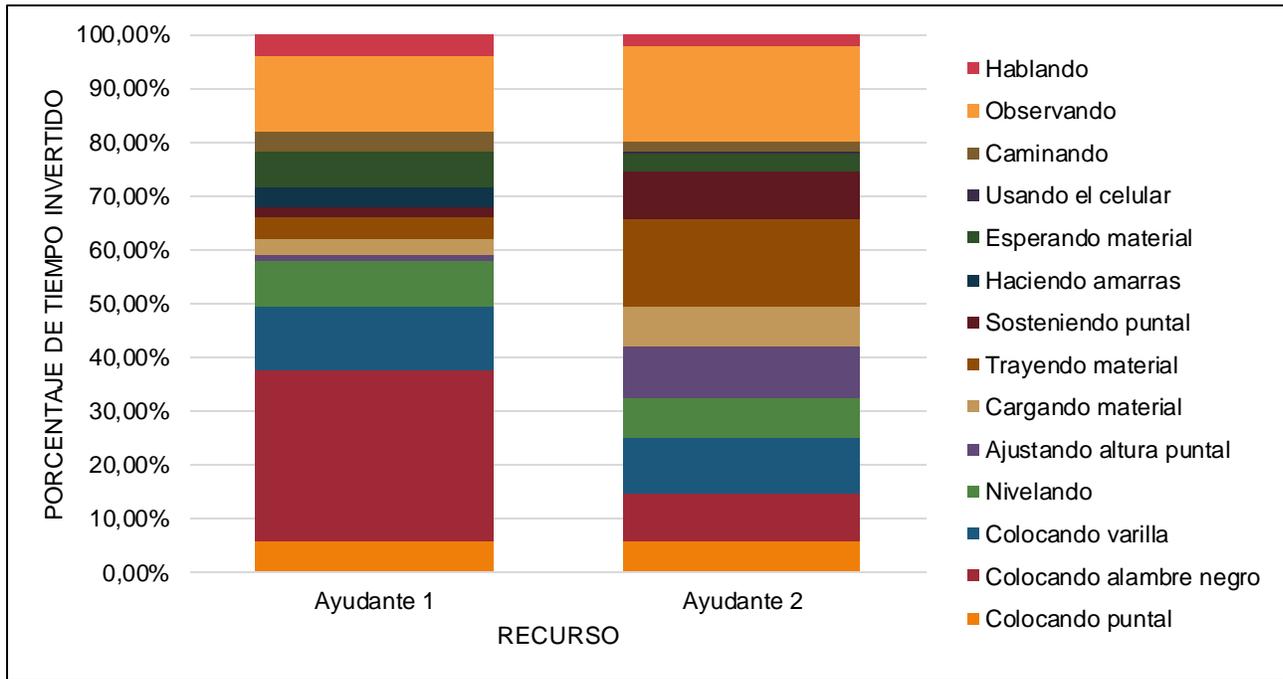


Figura 26. Gráfico crew balance para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso, muestreo de trabajo #4.

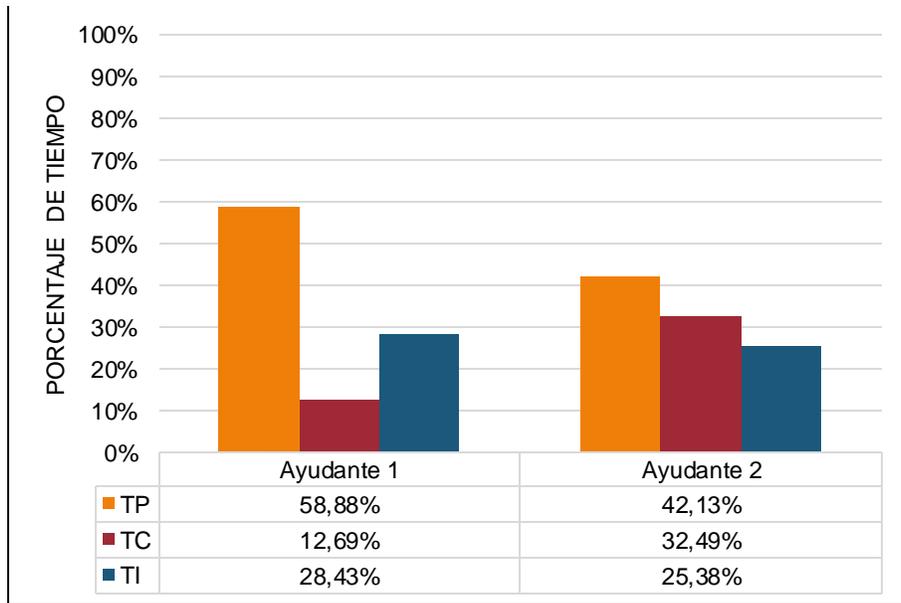


Figura 27. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colocación de obra falsa, muestreo de trabajo #4.

## **MUESTREO DE TRABAJO #5 COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO**

En el cuadro 6, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributorio (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #5. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 6. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN LA COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Armando andamio	137	31,71%
	Colocando vigueta	8	1,85%
	Colocando alambre negro	29	6,71%
	Ajustando altura andamio	34	7,87%
TC	Limpiando área de trabajo	15	3,47%
	Trayendo material	92	21,30%
	Haciendo amarras	27	6,25%
TI	Caminando	18	4,17%
	Hablando	35	8,10%
	Observando	37	8,56%
TOTAL		432	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 28 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 29 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributorio (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #5.

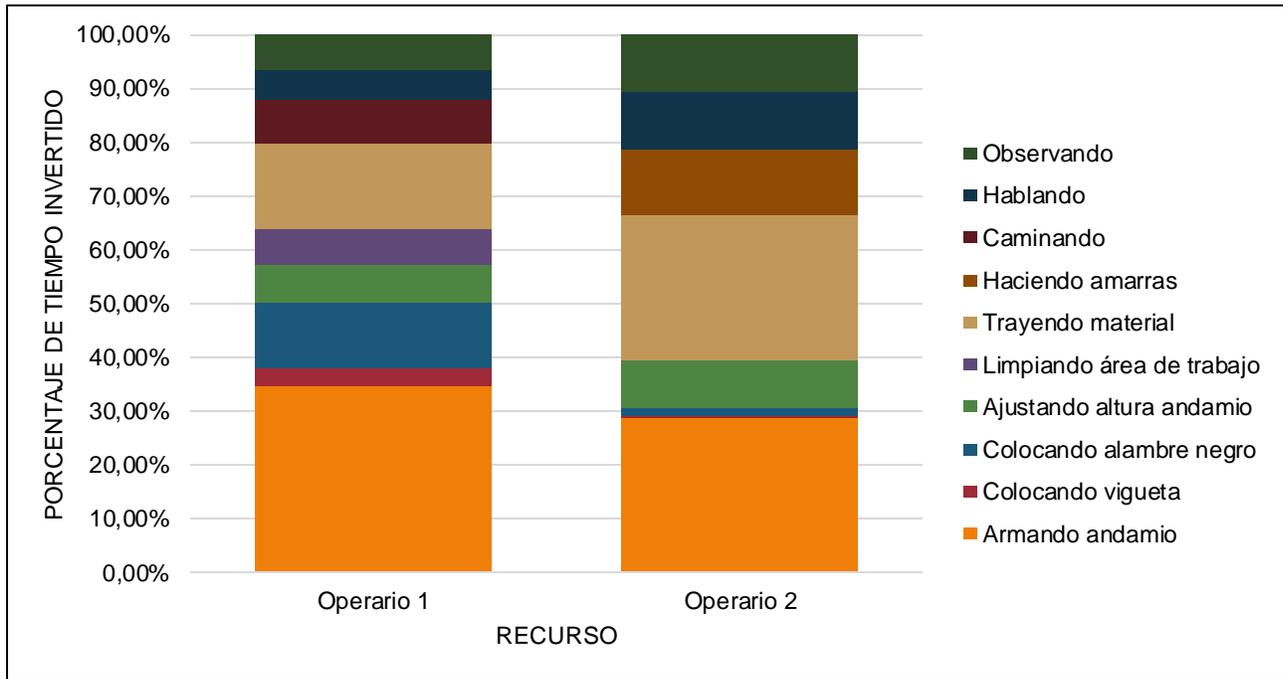


Figura 28. Gráfico crew balance para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso, muestreo de trabajo #5.

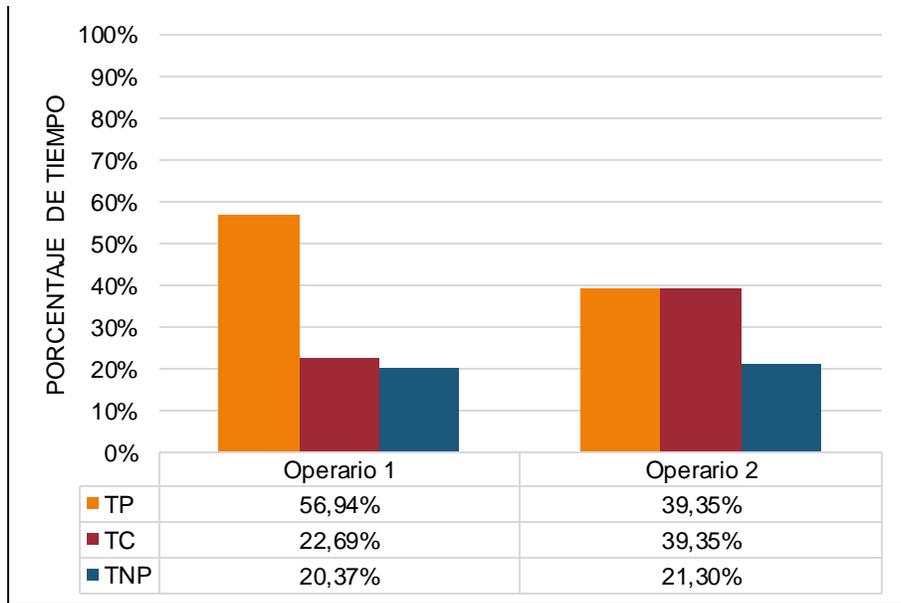


Figura 29. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colocación de obra falsa, muestreo de trabajo #5.

## **MUESTREO DE TRABAJO #6 COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO**

En el cuadro 7, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #6. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 7. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN LA COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Colocando vigueta	11	1,83%
	Colocando alambre negro	47	7,83%
	Armando andamio	98	16,33%
	Ajustando altura andamio	15	2,50%
TC	Haciendo amarras	17	2,83%
	Limpiando área de trabajo	99	16,50%
	Trayendo material	27	4,50%
	Cargando material	35	5,83%
TI	Esperando material	7	1,17%
	Observando	28	4,67%
	Hablando	49	8,17%
	Caminando	15	2,50%
	Usando el celular	2	0,33%
	Descansando	150	25,00%
<b>TOTAL</b>		<b>600</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 30 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 31 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #6.

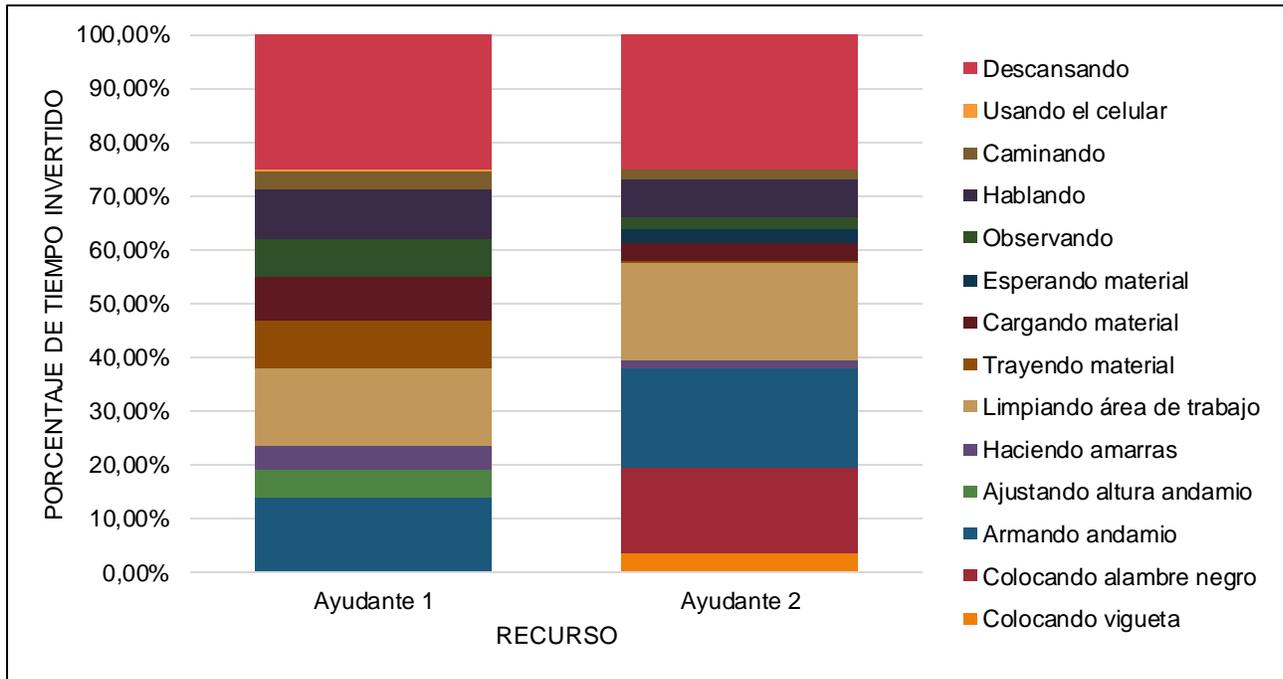


Figura 30. Gráfico crew balance para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso, muestreo de trabajo #6.

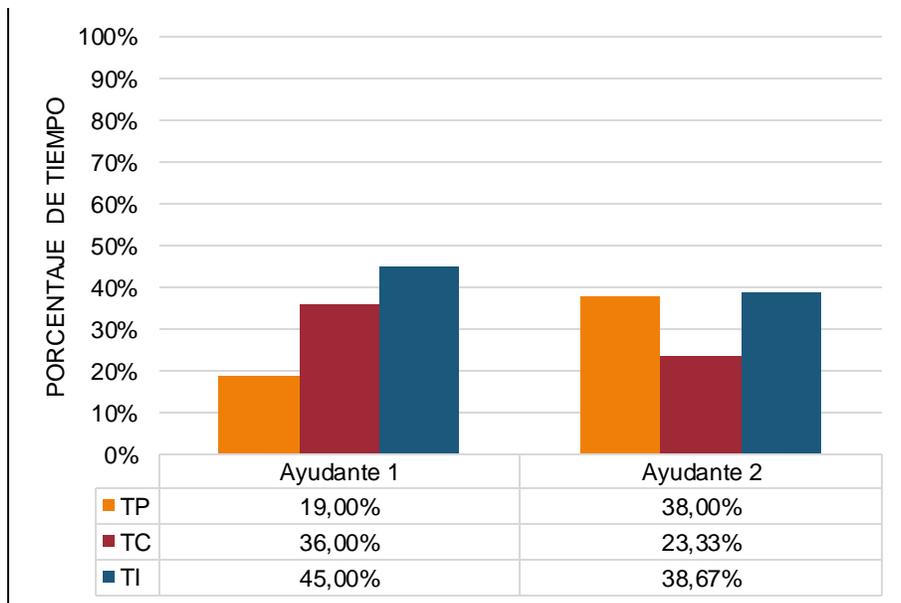


Figura 31. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colocación de obra falsa, muestreo de trabajo #6.

## **MUESTREO DE TRABAJO #7**

### **COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO**

En el cuadro 8, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #7. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 8. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN LA COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Armando andamio	72	18,46%
	Colocando alambre negro	31	7,95%
	Colocando vigueta	3	0,77%
	Ajustando altura andamio	22	5,64%
	Nivelando	24	6,15%
TC	Limpiando área de trabajo	2	0,51%
	Trayendo material	22	5,64%
	Cargando material	22	5,64%
	Sosteniendo andamio	17	4,36%
	Haciendo amarras	27	6,92%
TI	Ausente	49	12,56%
	Hablando	21	5,38%
	Caminando	4	1,03%
	Observando	74	18,97%
<b>TOTAL</b>		<b>390</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 32 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 33 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #7.

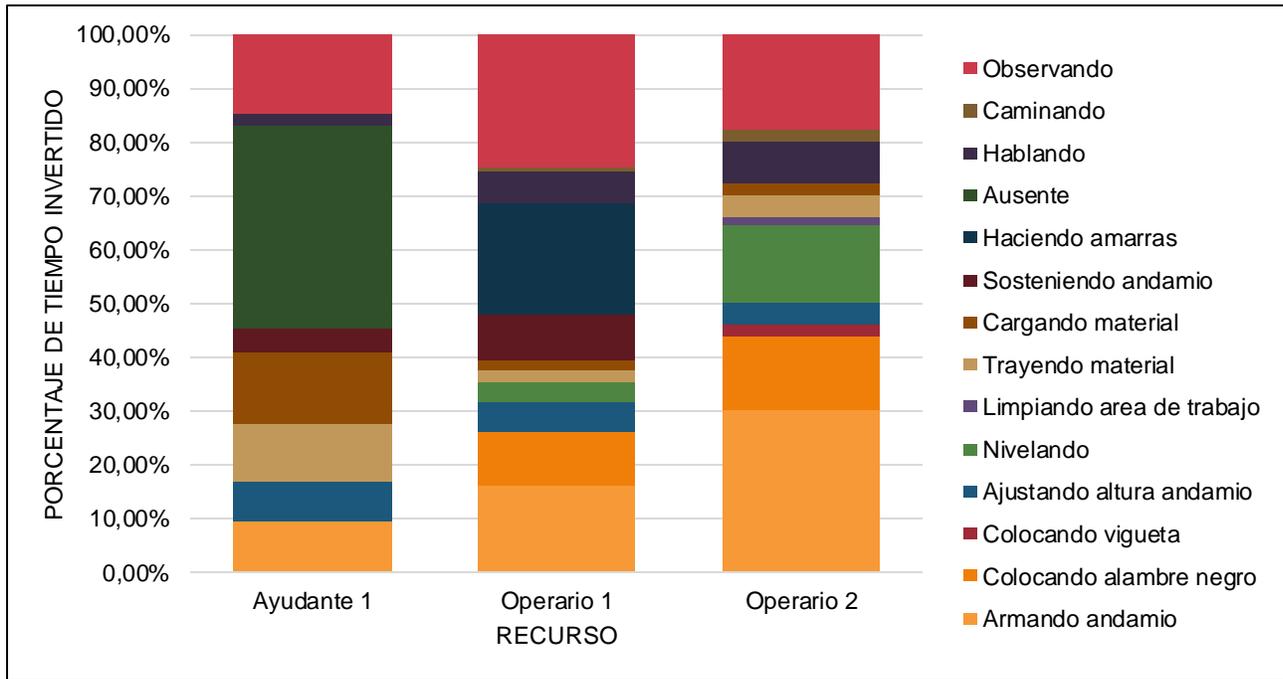


Figura 32. Gráfico crew balance para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso, muestreo de trabajo #7.

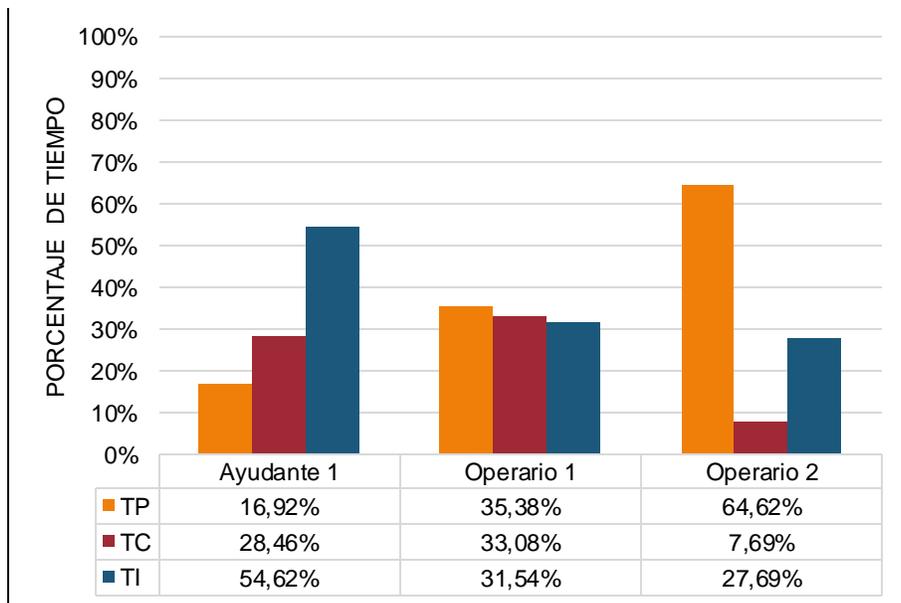


Figura 33. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colocación de obra falsa, muestreo de trabajo #7.

## **MUESTREO DE TRABAJO #8**

### **COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO**

En el cuadro 9, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #8. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 9. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN LA COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Armando andamio	34	8,50%
	Colocando alambre negro	49	12,25%
	Ajustando altura andamio	79	19,75%
	Colocando vigueta	9	2,25%
	Colocando crucetas	16	4,00%
TC	Haciendo amarras	51	12,75%
	Cargando andamio	9	2,25%
	Trayendo material	51	12,75%
	Cargando material	29	7,25%
	Limpiando área de trabajo	13	3,25%
TI	Esperando material	11	2,75%
	Hablando	21	5,25%
	Caminando	2	0,50%
	Observando	26	6,50%
<b>TOTAL</b>		<b>400</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 34 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 35 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #8.

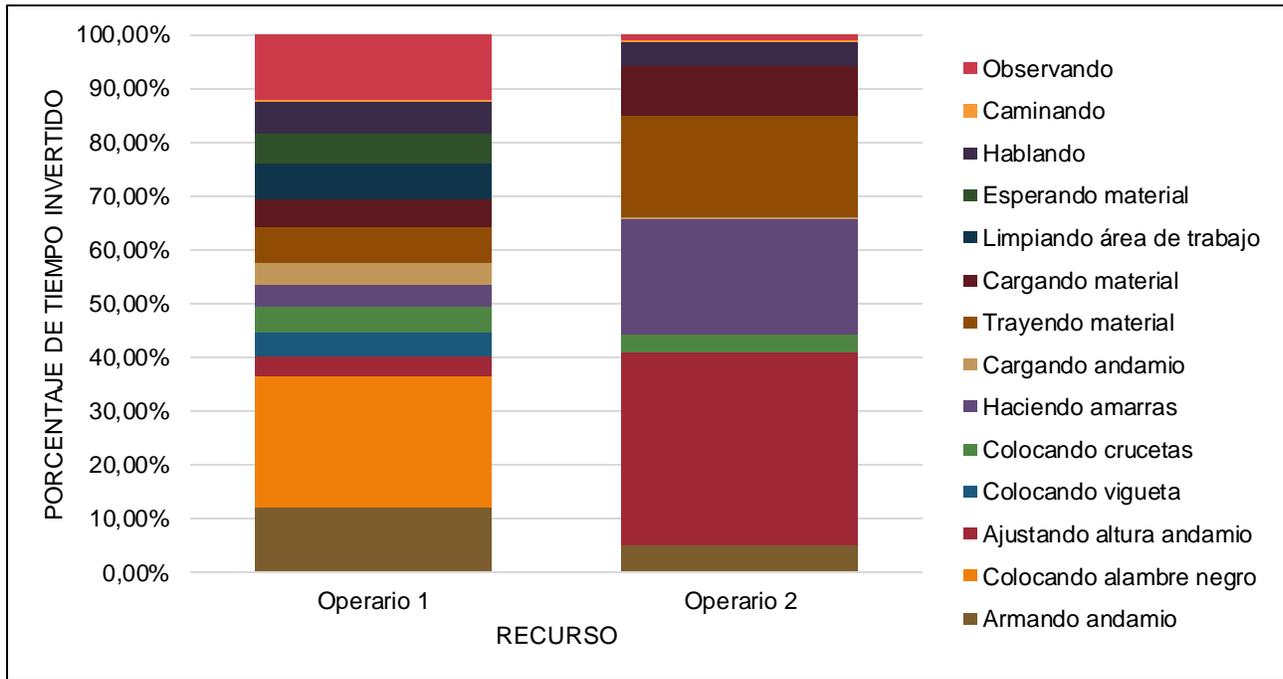


Figura 34. Gráfico crew balance para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso, muestreo de trabajo #8.

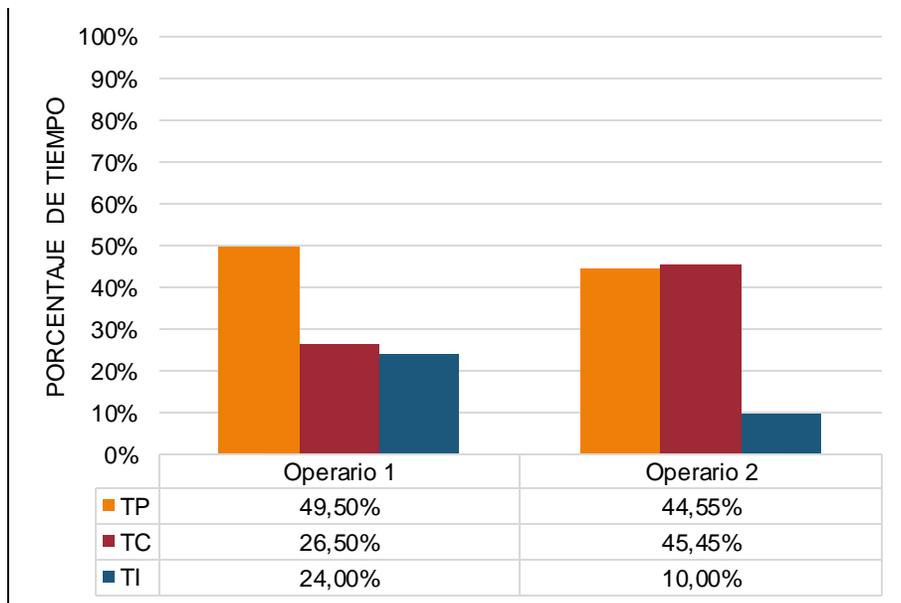


Figura 35. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colocación de obra falsa, muestreo de trabajo #8.

## **MUESTREO DE TRABAJO #9 COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO**

En el cuadro 10, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #9. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 10. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN LA COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Armando andamio	83	21,50%
	Ajustando altura andamio	55	14,25%
	Colocando varilla	23	5,96%
	Colocando crucetas	30	7,77%
TC	Haciendo amarras	2	0,52%
	Cargando andamio	19	4,92%
	Cargando material	12	3,11%
	Trayendo material	61	15,80%
TI	Esperando material	33	8,55%
	Caminando	4	1,04%
	Hablando	1	0,26%
	Observando	63	16,32%
<b>TOTAL</b>		<b>386</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 36 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 37 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #9.

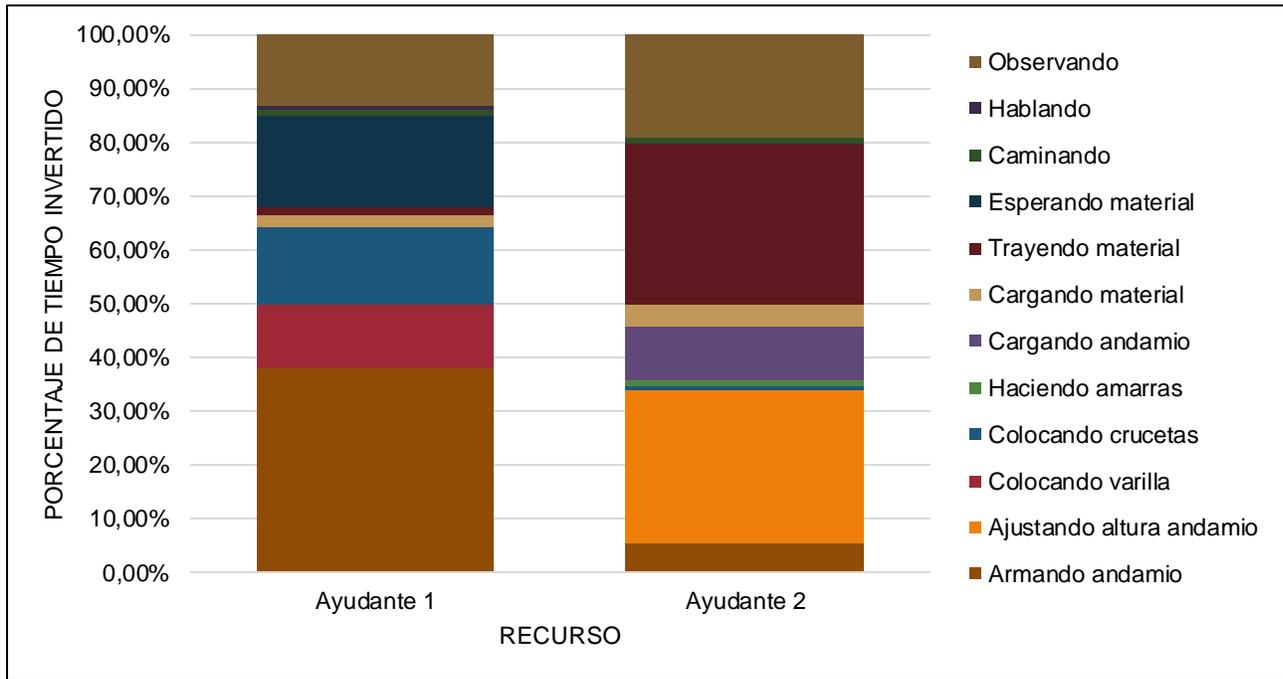


Figura 36. Gráfico crew balance para el proceso de colocación de obra falsa de entepiso, muestreo de trabajo #9.

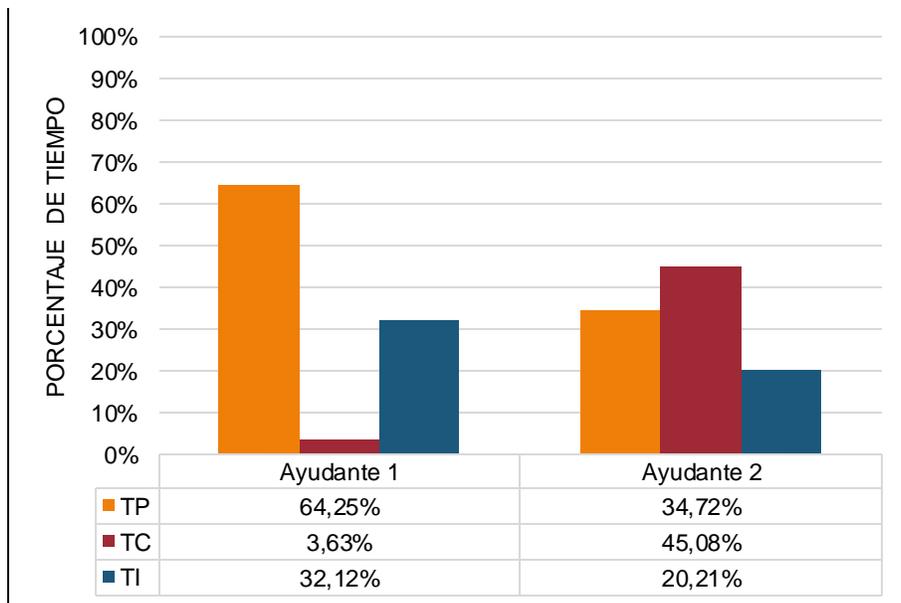


Figura 37. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colocación de obra falsa, muestreo de trabajo #9.

## **RENDIMIENTO COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO**

El cuadro 11, muestra los rendimientos obtenidos en cada uno de los muestreos de trabajo para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso. El rendimiento esta expresado en horas hombre por metros lineales.

La unidad de trabajo corresponde a la longitud que abarca la obra falsa colocada para el futuro montaje de vigas prefabricadas.

Los valores en rojo son aquellos valores se eliminaron para poder realizar el proceso estadístico explicado en el marco teórico.

En el apéndice I se muestran los rendimientos obtenidos de manera similar pero en horas ayudante y horas operario y en el apéndice H se muestran los datos utilizados para obtener el factor de incremento de rendimiento.

<b>CUADRO 11. RENDIMIENTO EN HORAS HOMBRE PARA COLOCACIÓN DE OBRA FALSA DE ENTREPISO</b>							
Muestreo	Fecha	Duración	Tiempo neto (h)	Cantidad de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (ml)	Rendimiento (HH/ml)
1	3/8/2016	00:29:30	0,492	3	1,475	16,500	0,089
2	10/8/2016	01:26:25	1,683	2	3,367	8,500	0,396
3	17/8/2016	01:39:49	1,664	3	4,991	11,000	0,454
4	31/8/2016	00:34:00	0,567	2	1,133	10,500	0,108
5	6/9/2016	00:41:00	0,683	2	1,367	3,700	0,369
6	7/9/2016	00:24:34	0,408	2	0,817	6,000	0,136
7	7/9/2016	00:56:30	1,433	3	4,300	5,800	0,741
8	21/9/2016	01:07:33	1,243	2	2,485	14,500	0,171
9	21/9/2016	00:32:00	0,533	2	1,067	8,000	0,133
Rendimiento promedio							0,128
Desviación estándar							0,031
Coeficiente de variación							0,244
Factor de incremento							0,108
Rendimiento final (HH/ml)							0,141

La figura 38 muestra una comparación entre los niveles generales de productividad y el rendimiento calculado en el cuadro 11, de acuerdo al día, hora y temperatura de medición de cada

muestreo de trabajo. Las tablas utilizadas para los niveles generales de productividad se muestran en el apéndice E.

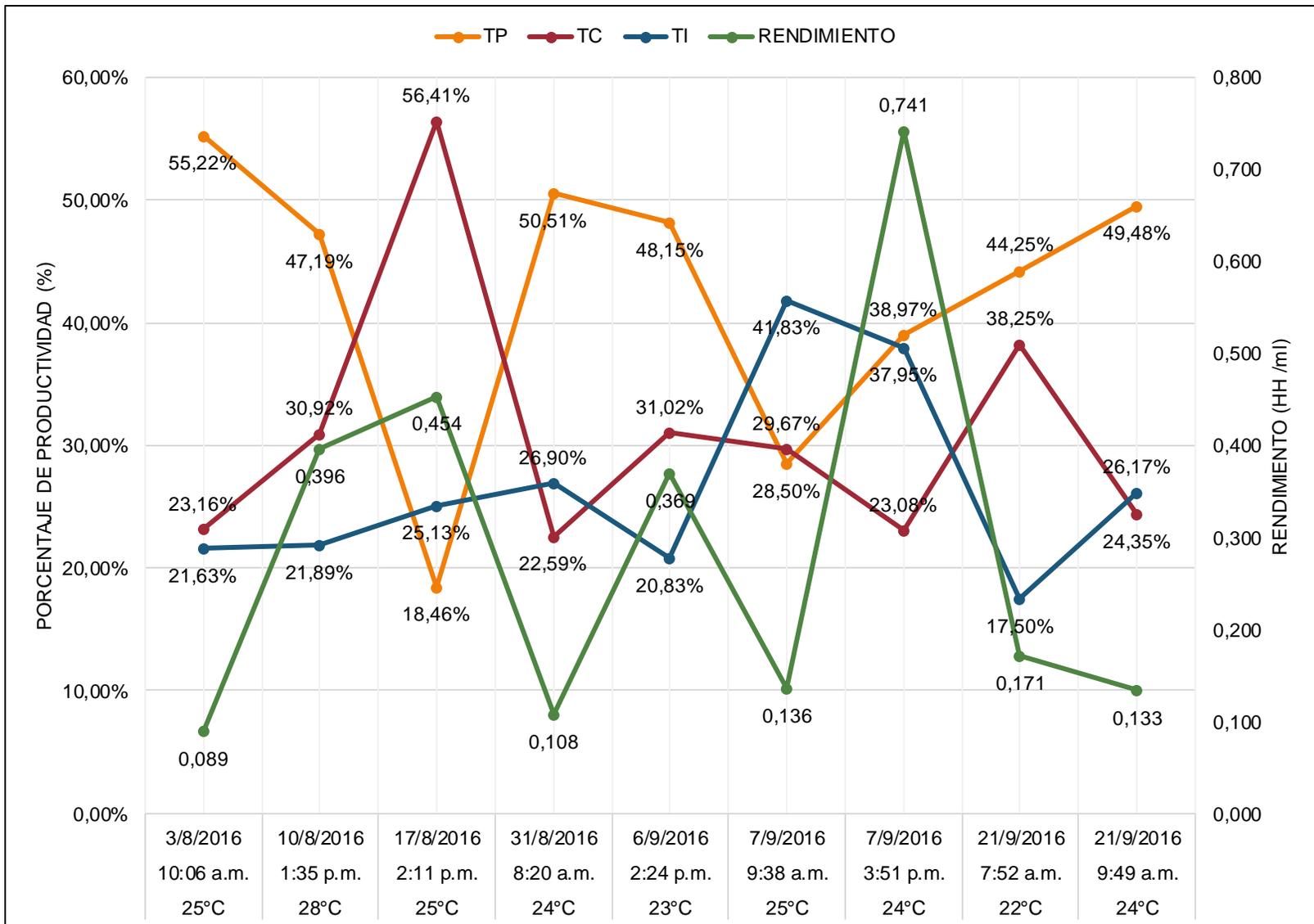


Figura 38. Gráfico comparativo entre los niveles generales de productividad y el rendimiento obtenido en cada muestreo de trabajo para el proceso de colocación de obra falsa de entepiso.

## Montaje de vigas prefabricadas

En la figura 39 se muestra el diagrama de flujo para realizar el proceso de montaje de vigas prefabricadas, en donde se detalla las tareas necesarias y en el orden ideal para completar el proceso. Posteriormente se muestran los resultados obtenidos en los diferentes muestreos de trabajo.

La información general bajo la cual se desarrollaron los diferentes muestreos de trabajo como el día, la hora de inicio, temperatura, frecuencia de medición, ubicación, entre otros; puede encontrarse en las hojas de muestreos de trabajo adjuntas en el apéndice B: *Muestreos de trabajo realizados para el proceso de montaje de vigas prefabricadas.*

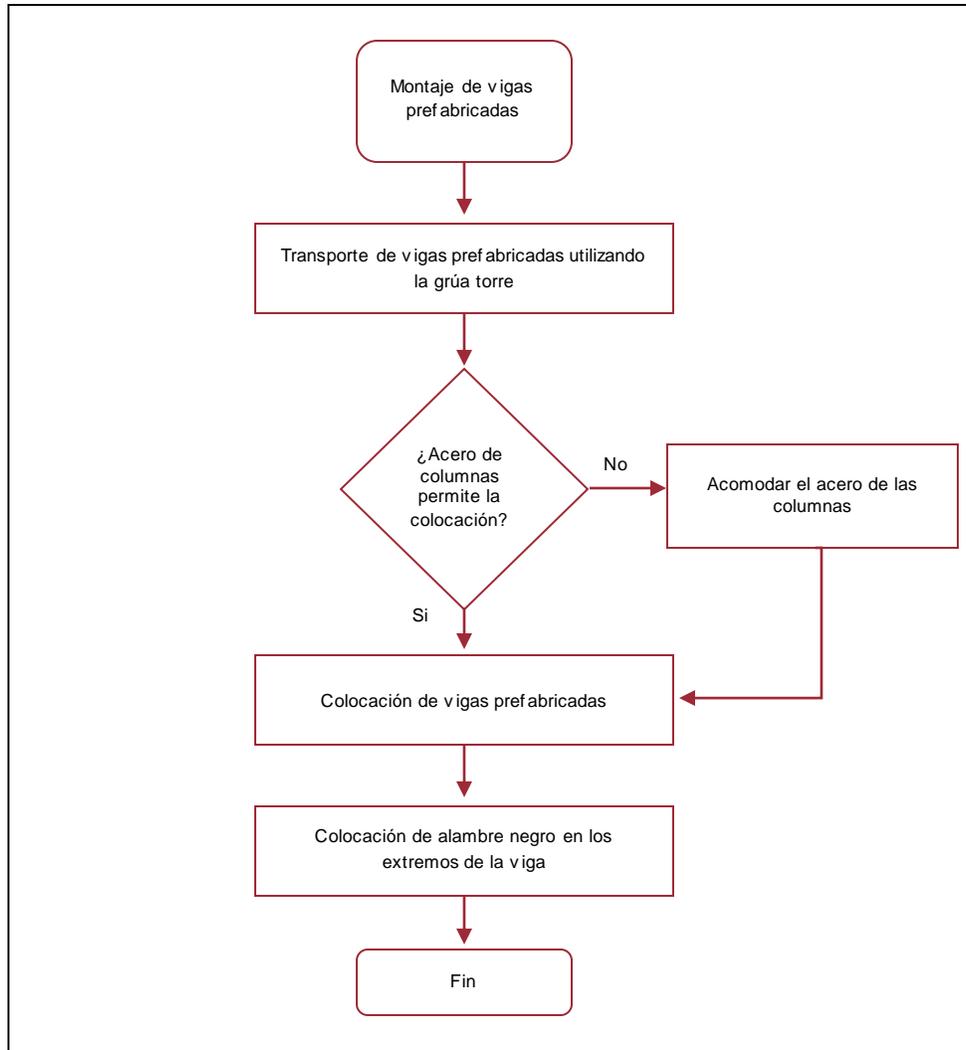


Figura 39. Diagrama de flujo para el proceso de montaje de vigas prefabricadas.

## MUESTREO DE TRABAJO #1 MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS

En el cuadro 12, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #1. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 12. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando viga	80	20,51%
	Revisando posición de viga	1	0,26%
TC	Dando instrucciones	27	6,92%
	Ajustando puntales	31	7,95%
TI	Esperando para colocar viga	68	17,44%
	Ausente	7	1,79%
	Observando	176	45,13%
<b>TOTAL</b>		<b>390</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 40 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 41 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #1.

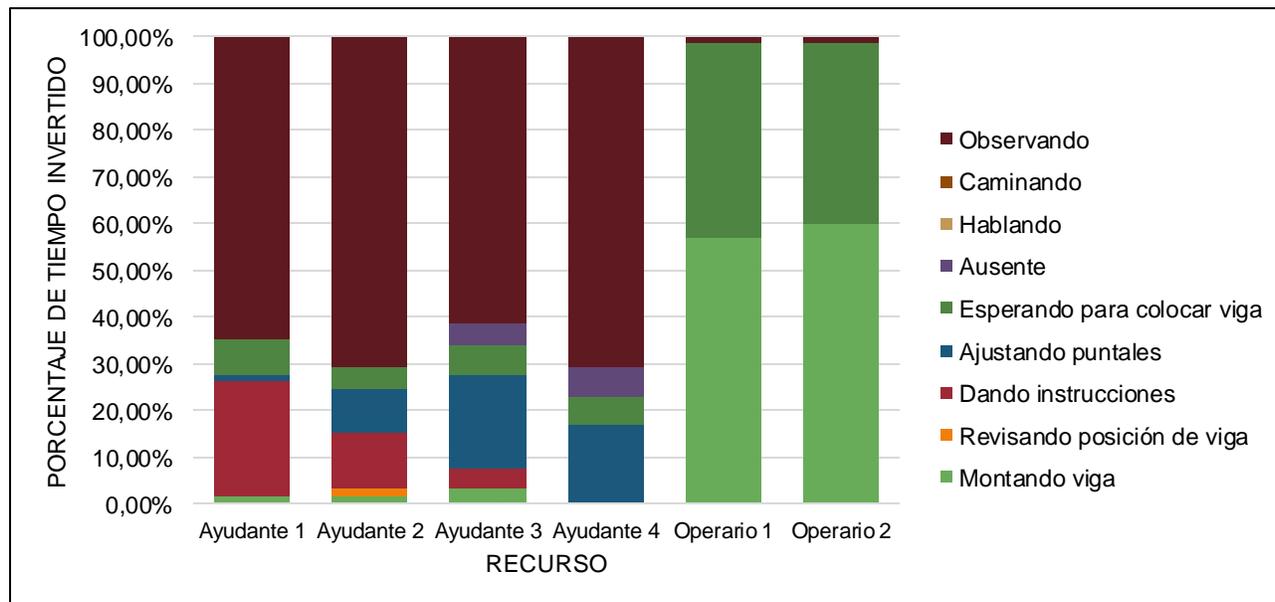


Figura 40. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #1.

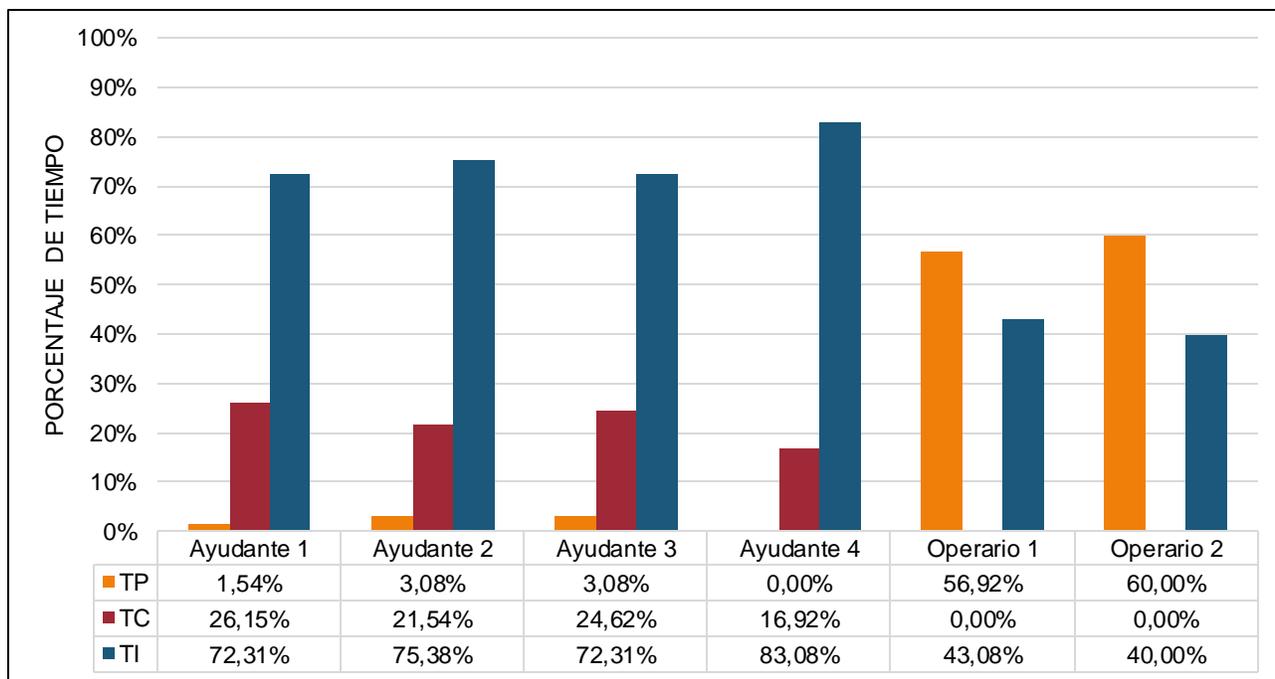


Figura 41. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #1.

## **MUESTREO DE TRABAJO #2 MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 13, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #2. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 13. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando viga	106	22,55%
	Amarrando viga a la grúa	8	1,70%
	Soltando grúa de viga	12	2,55%
	Revisando posición de la viga	19	4,04%
	Haciendo espacio para viga	3	0,64%
TC	Sujetando material	1	0,21%
	Sujetando cable viga	13	2,77%
	Sonando el silbato	3	0,64%
	Dando instrucciones	22	4,68%
	Trayendo material	14	2,98%
	Coordinando con la grúa	24	5,11%

TI	Esperando para colocar viga	153	32,55%
	Ausente	1	0,21%
	Hablando	11	2,34%
	Caminando	13	2,77%
	Observando	67	14,26%
TOTAL		470	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 42 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 43 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #2.

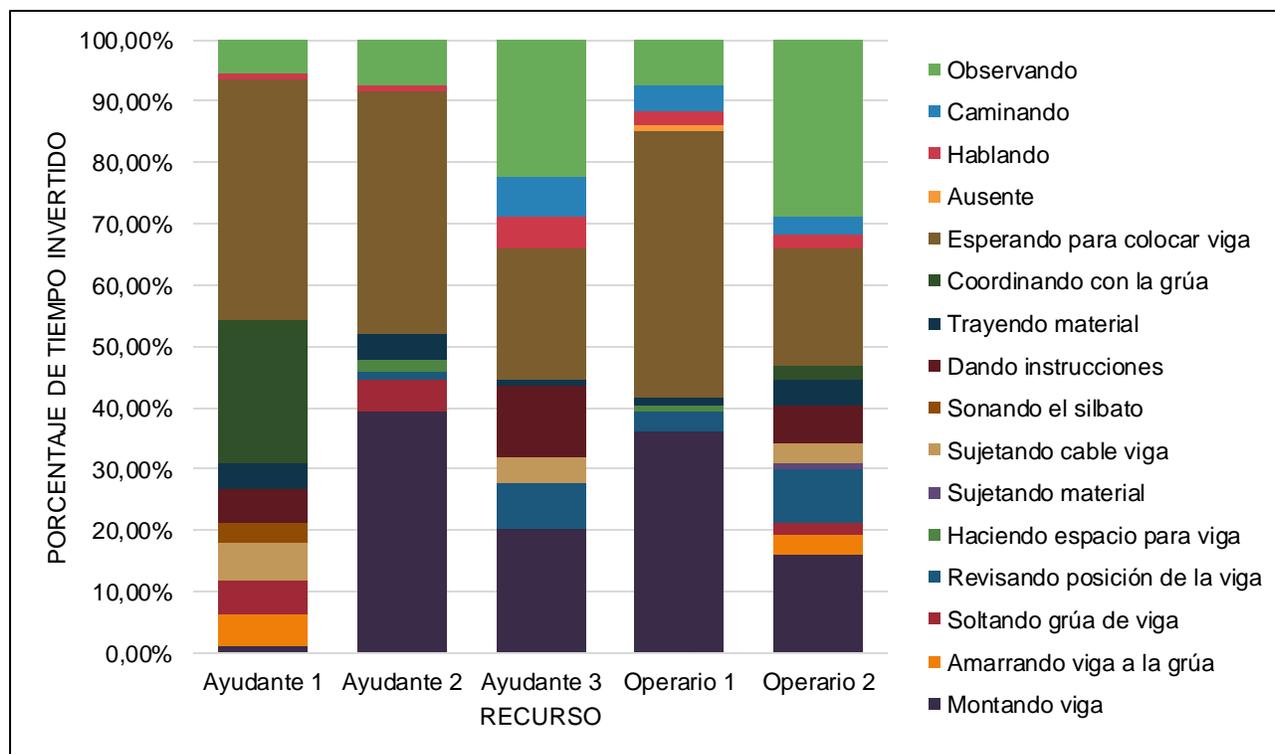


Figura 42. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #2.

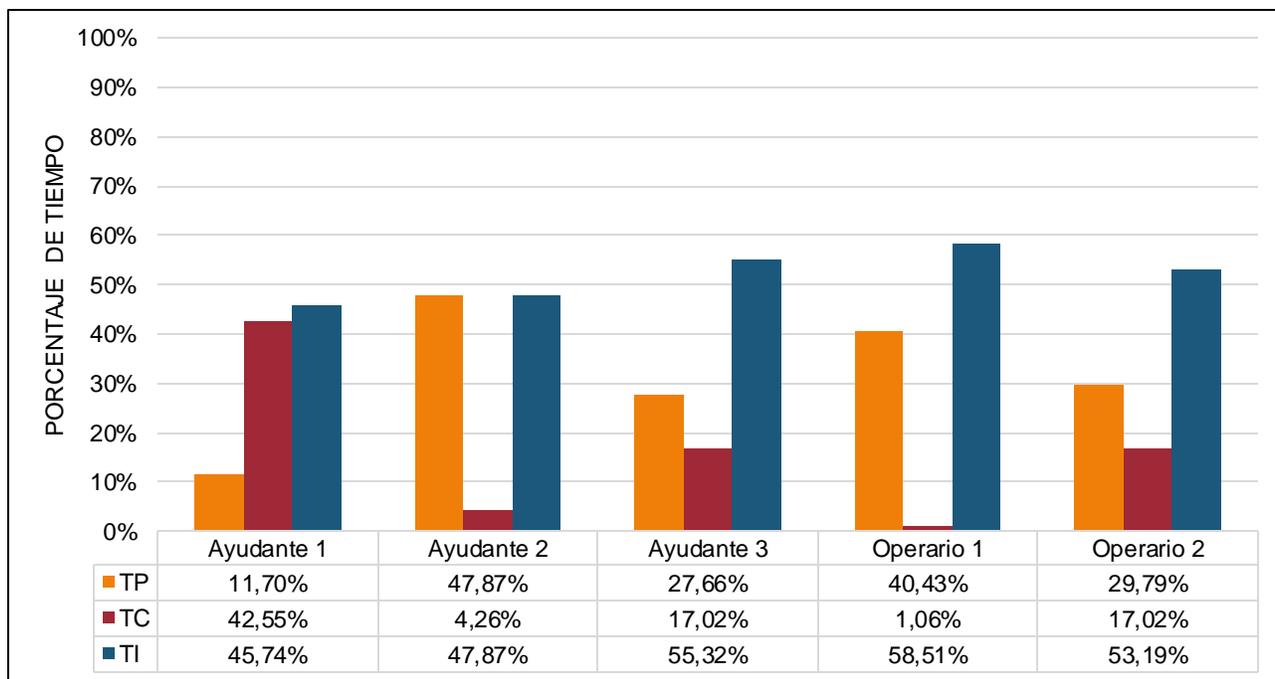


Figura 43. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #2.

### MUESTREO DE TRABAJO #3 MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS

En el cuadro 14, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #3. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

CUADRO 14. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando viga	76	11,73%
	Soltando viga	21	3,24%
TC	Colocando puntal	14	2,16%
	Ajustando obra falsa	36	5,56%
	Cargando puntal	2	0,31%
	Verificando altura de colocación	15	2,31%
TI	Esperando para colocar viga	302	46,60%
	Caminando	17	2,62%
	Observando	145	22,38%
	Hablando	20	3,09%
TOTAL		648	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 44 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 45 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #3.

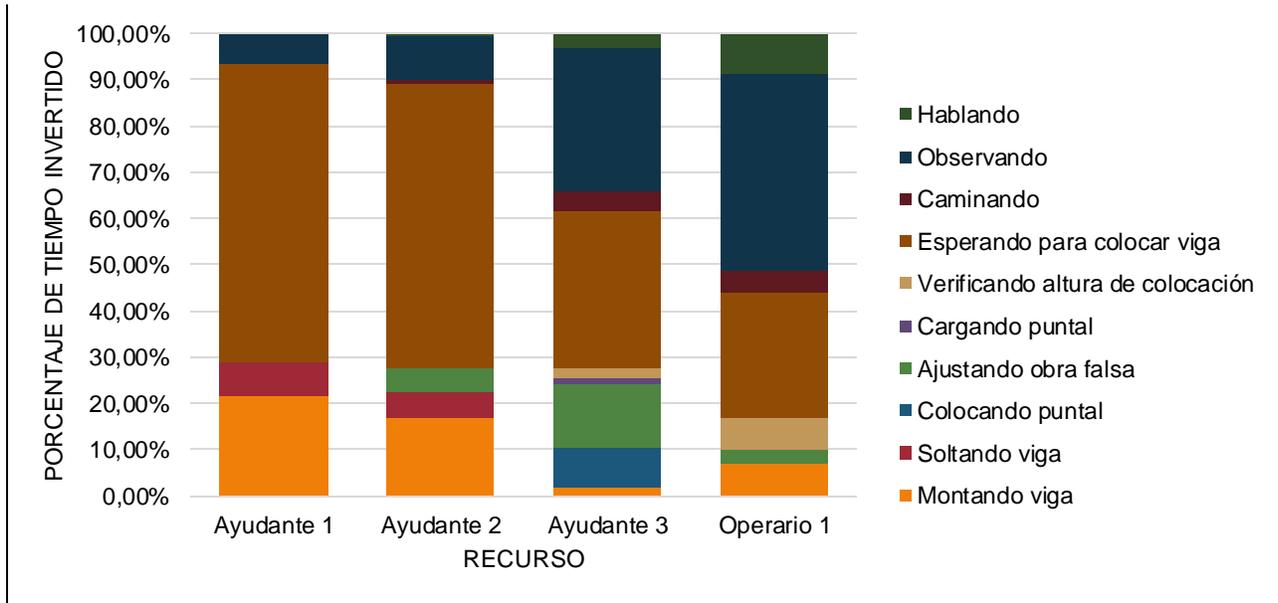


Figura 44. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #3.

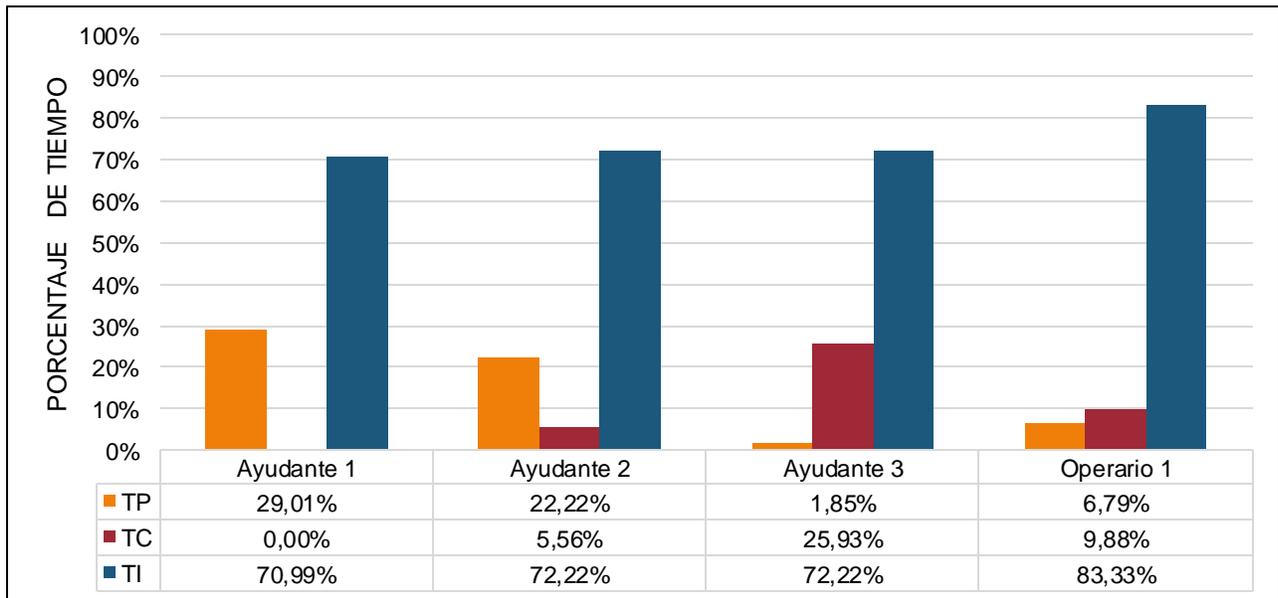


Figura 45. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #3.

## MUESTREO DE TRABAJO #4 MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS

En el cuadro 15, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #4. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 15. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando viga	133	34,10%
	Soltando viga	9	2,31%
TC	Trayendo material	3	0,77%
TI	Esperando para colocar viga	225	57,69%
	Observando	20	5,13%
<b>TOTAL</b>		<b>390</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 46 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 47 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #4.

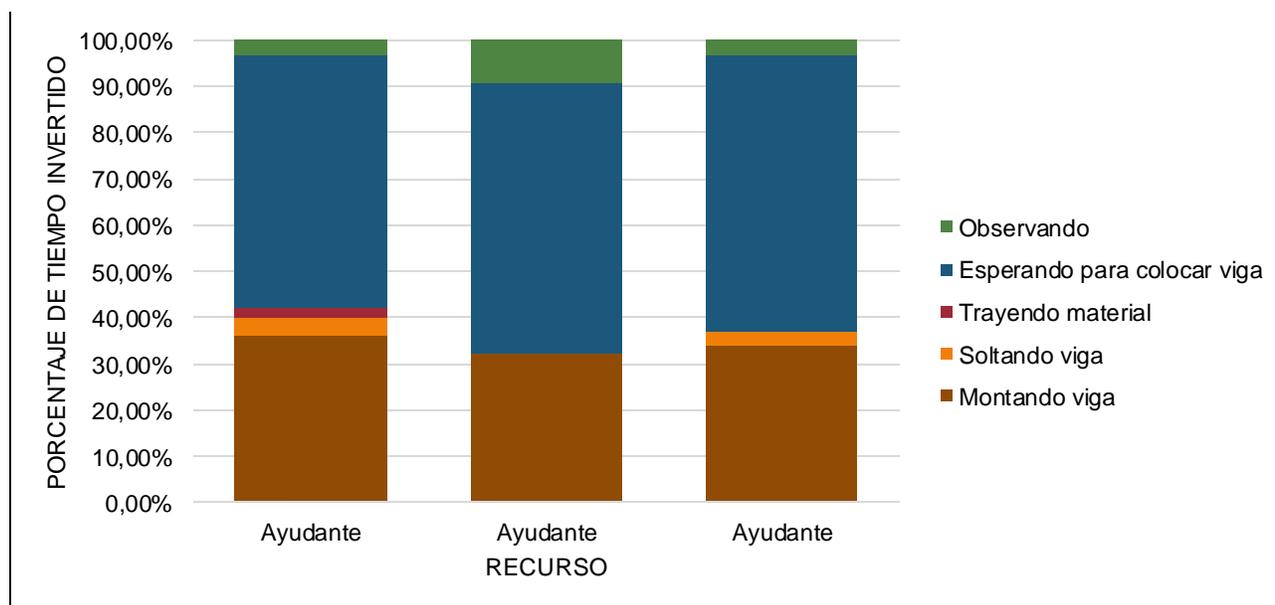


Figura 46. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #4.

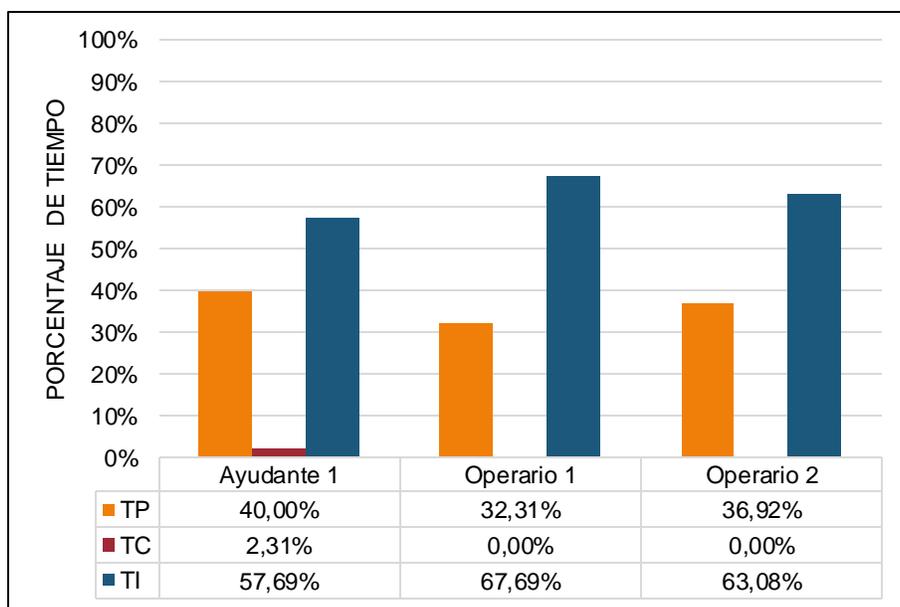


Figura 47. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #4.

### **MUESTREO DE TRABAJO #7 MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 16, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #7. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 16. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando viga	65	13,54%
	Colocando alambre negro	28	5,83%
	Soltando viga	7	1,46%
	Haciendo espacio para viga	9	1,88%
TC	Ajustando obra falsa	13	2,71%
	Nivelando	1	0,21%
	Midiendo altura viga	1	0,21%
	Verificando posición	6	1,25%
TI	Esperando para colocar viga	308	64,17%
	Caminando	3	0,63%
	Hablando	1	0,21%
	Observando	38	7,92%
TOTAL		480	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 48 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 49 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributorio (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #7.

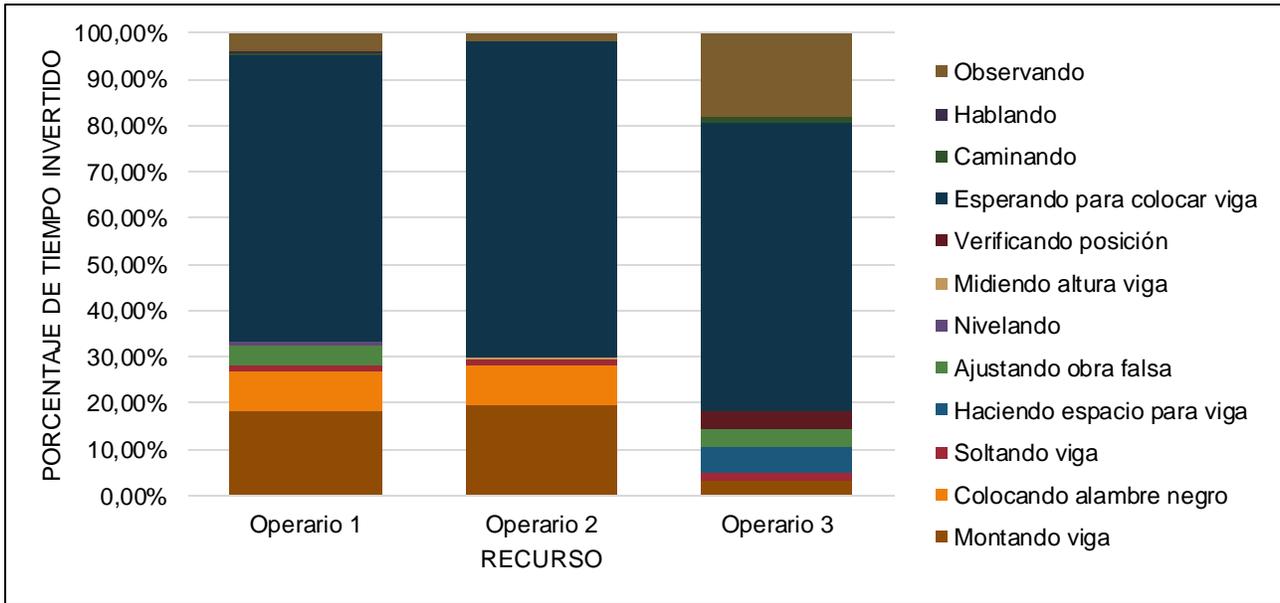


Figura 48. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #7.

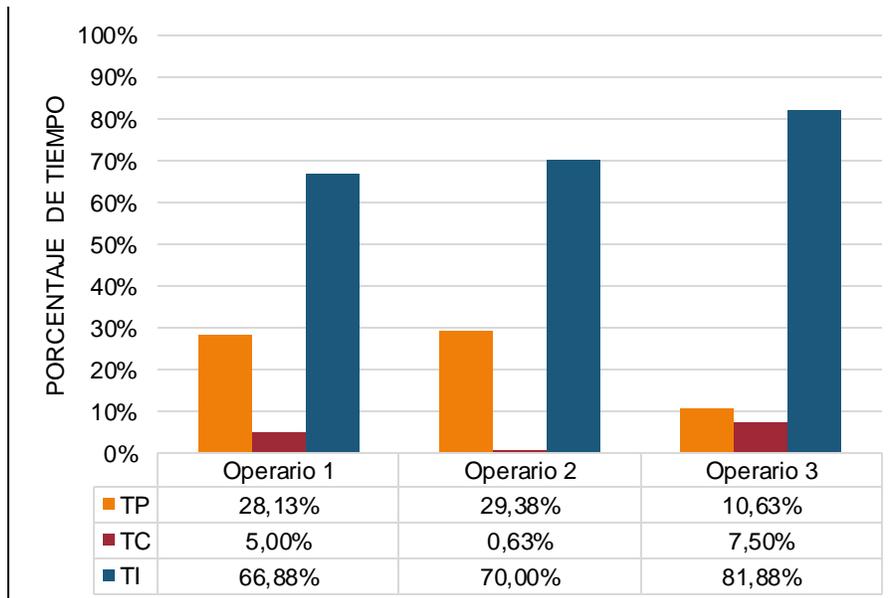


Figura 49. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #7.

## **MUESTREO DE TRABAJO #8 MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 17, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #8. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 17. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando viga	61	14,32%
	Colocando alambre negro	24	5,63%
TC	Verificando altura de colocación	12	2,82%
	Ajustando obra falsa	36	8,45%
	Haciendo espacio para viga	16	3,76%
	Quitando aros de muro	16	3,76%
TI	Esperando para colocar viga	242	56,81%
	Hablando	8	1,88%
	Caminando	0	0,00%
	Observando	11	2,58%
<b>TOTAL</b>		<b>426</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 50 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 51 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #8.

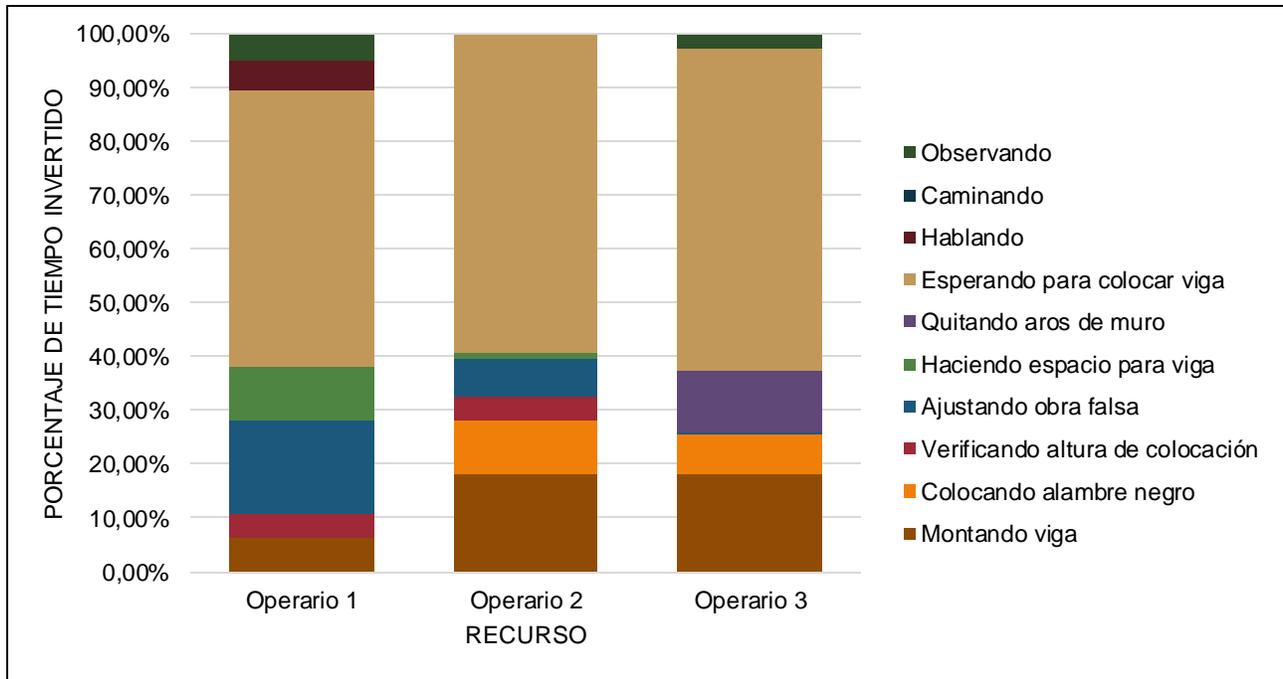


Figura 50. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #8.

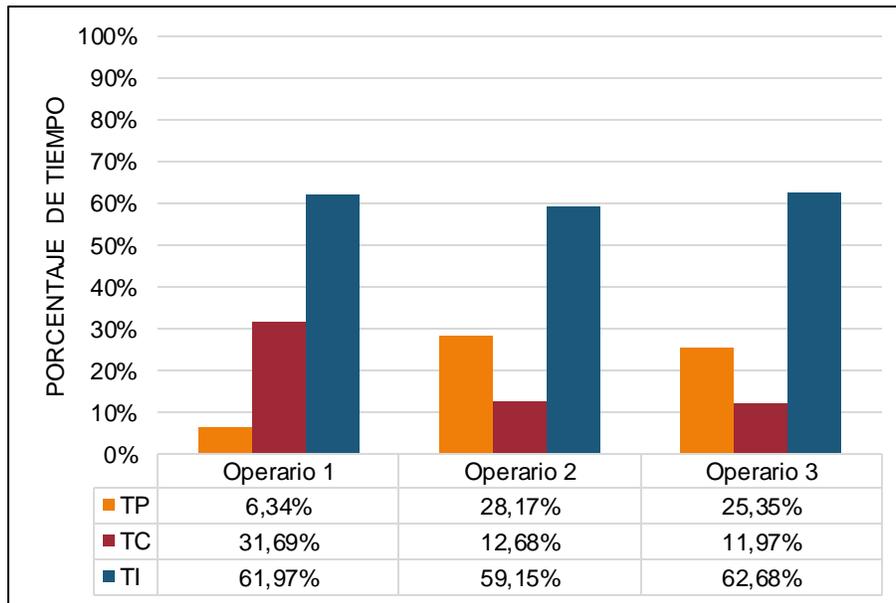


Figura 51. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de vigas prefabricadas, muestreo de trabajo #8.

## **RENDIMIENTO MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS**

El cuadro 18, muestra los rendimientos obtenidos en cada uno de los muestreos de trabajo para el proceso de montaje de vigas fabricadas. El rendimiento esta expresado en horas hombre por unidad.

La unidad de trabajo corresponde a la cantidad de vigas prefabricadas que son colocados durante la medición.

Los valores en rojo son aquellos valores se eliminaron para poder realizar el proceso estadístico explicado en el marco teórico.

En el apéndice I se muestran los rendimientos obtenidos de manera similar pero en horas ayudante y horas operario y en el apéndice H se muestran los datos utilizados para obtener el factor de incremento de rendimiento.

<b>CUADRO 18. RENDIMIENTO EN HORAS HOMBRE PARA MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS</b>							
Muestreo	Fecha	Duración	Tiempo neto (h)	Cantidad de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (un)	Rendimiento (HH/un)
1	11/7/2016	00:28:22	0,473	6	2,837	1,000	2,837
2	13/7/2016	00:47:00	0,783	5	3,917	2,000	1,958
3	9/8/2016	00:40:45	0,679	4	2,716	3,000	0,905
4	19/8/2016	00:57:40	0,961	3	2,883	4,000	0,721
5	30/8/2016	00:08:28	0,141	2	0,282	1,000	0,282
6	31/8/2016	00:14:45	0,246	3	0,737	2,000	0,369
7	22/9/2016	00:49:39	0,828	3	2,483	3,000	0,828
8	4/10/2016	00:37:15	0,621	3	1,862	1,000	1,862
Rendimiento promedio							0,818
Desviación estándar							0,093
Coeficiente de variación							0,113
Factor de incremento							0,108
Rendimiento final (HH/un)							0,906

La figura 52, muestra una comparación entre los niveles generales de productividad y el rendimiento calculado en el cuadro 18, de acuerdo al día, hora y temperatura de medición de cada

muestreo de trabajo. Las tablas utilizadas para los niveles generales de productividad se muestran en el apéndice E.

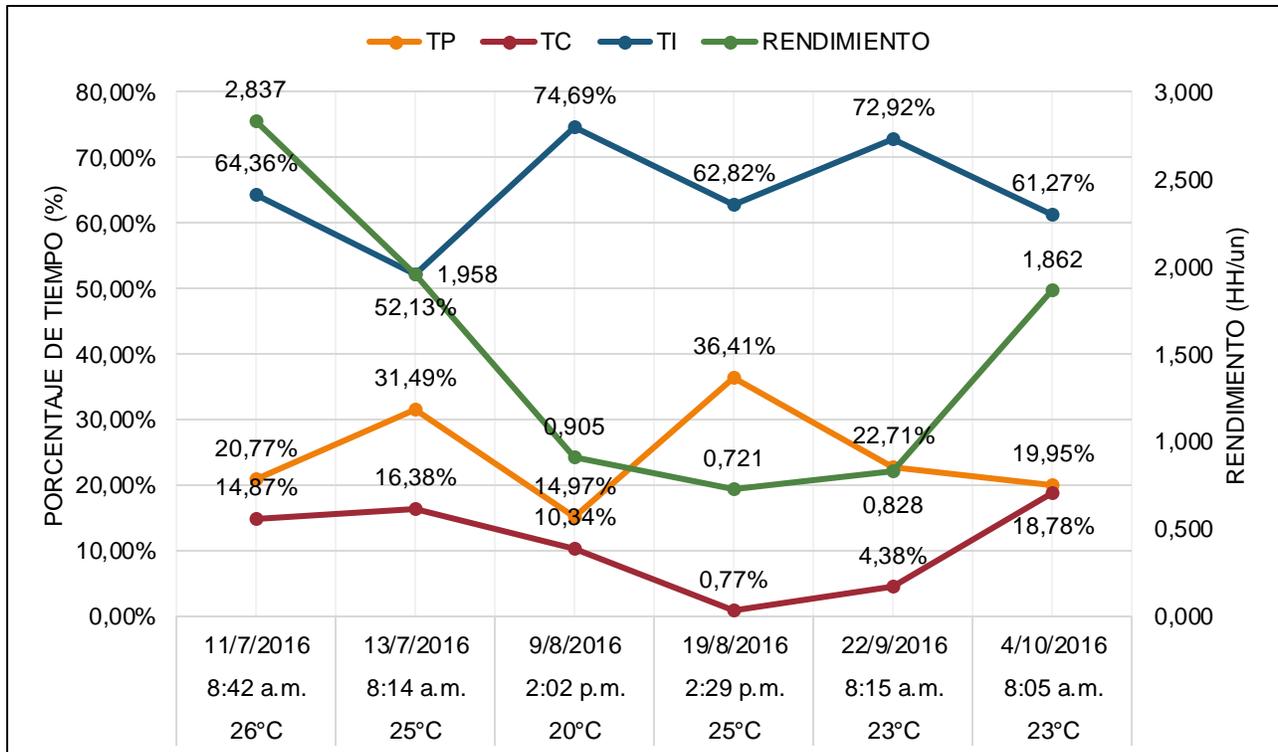


Figura 52. Gráfico comparativo entre los niveles generales de productividad y el rendimiento obtenido en cada muestreo de trabajo para el proceso de montaje de vigas prefabricadas.

## Montaje de losas prefabricadas

En la figura 53 se muestra el diagrama de flujo para realizar el proceso de montaje de losas prefabricadas, en donde se detalla las tareas necesarias y en el orden ideal para completar el proceso. Posteriormente se muestran los resultados obtenidos en los diferentes muestreos de trabajo.

La información general bajo la cual se desarrollaron los diferentes muestreos de trabajo como el día, la hora de inicio, temperatura, frecuencia de medición, ubicación, entre otros; puede encontrarse en las hojas de muestreos de trabajo adjuntas en el apéndice C: *Muestreos de trabajo realizados para el proceso de montaje de losas prefabricadas*.

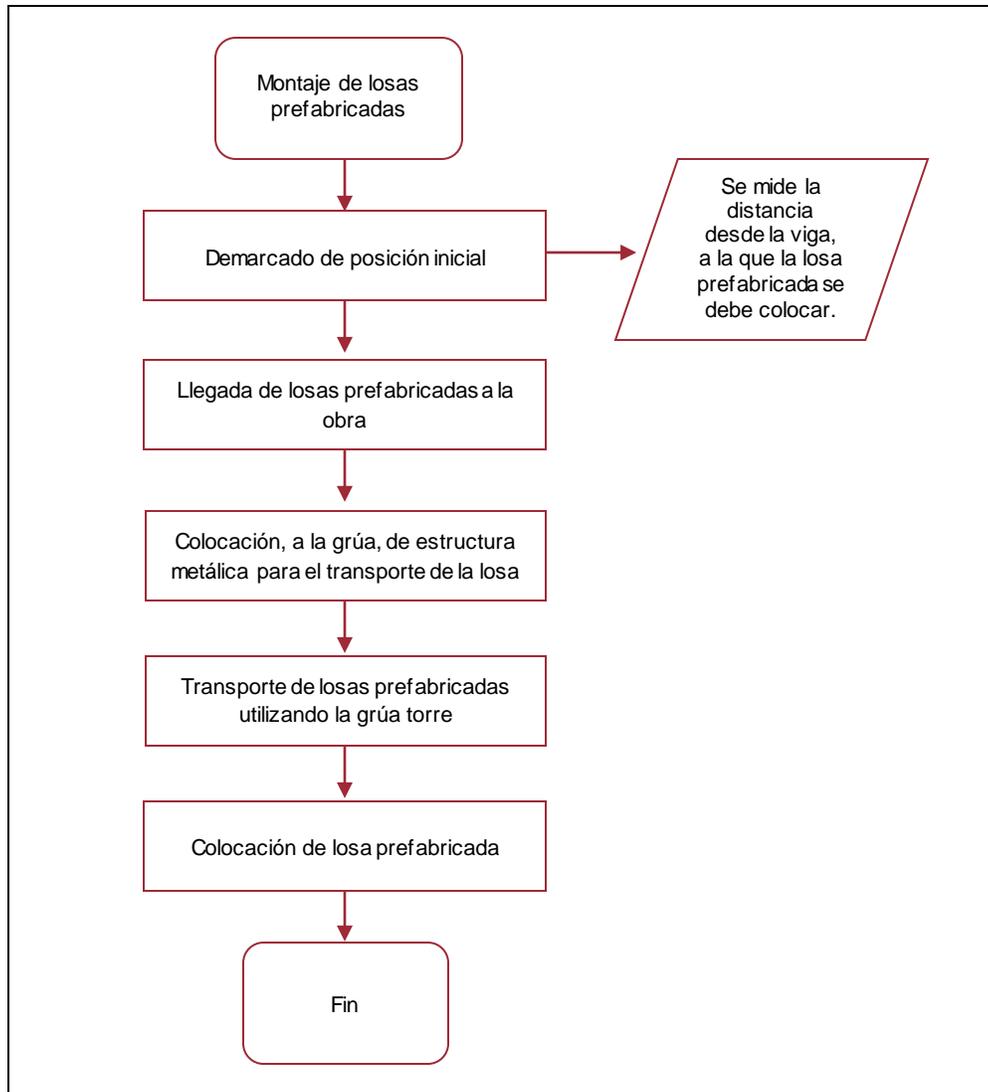


Figura 53. Diagrama de flujo para el proceso de montaje de losas prefabricadas

## **MUESTREO DE TRABAJO #1 MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 19, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #1. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 19. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando losa	63	13,70%
	Quitando estructura metálica	18	3,91%
	Colocando estructura metálica	63	13,70%
TC	Colocando viguetas	7	1,52%
TI	Esperando estructura metálica	162	35,22%
	Esperando para colocar losa	139	30,22%
	Hablando	1	0,22%
	Usando el celular	1	0,22%
	Observando	6	1,30%
TOTAL		460	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 54 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 55 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #1.

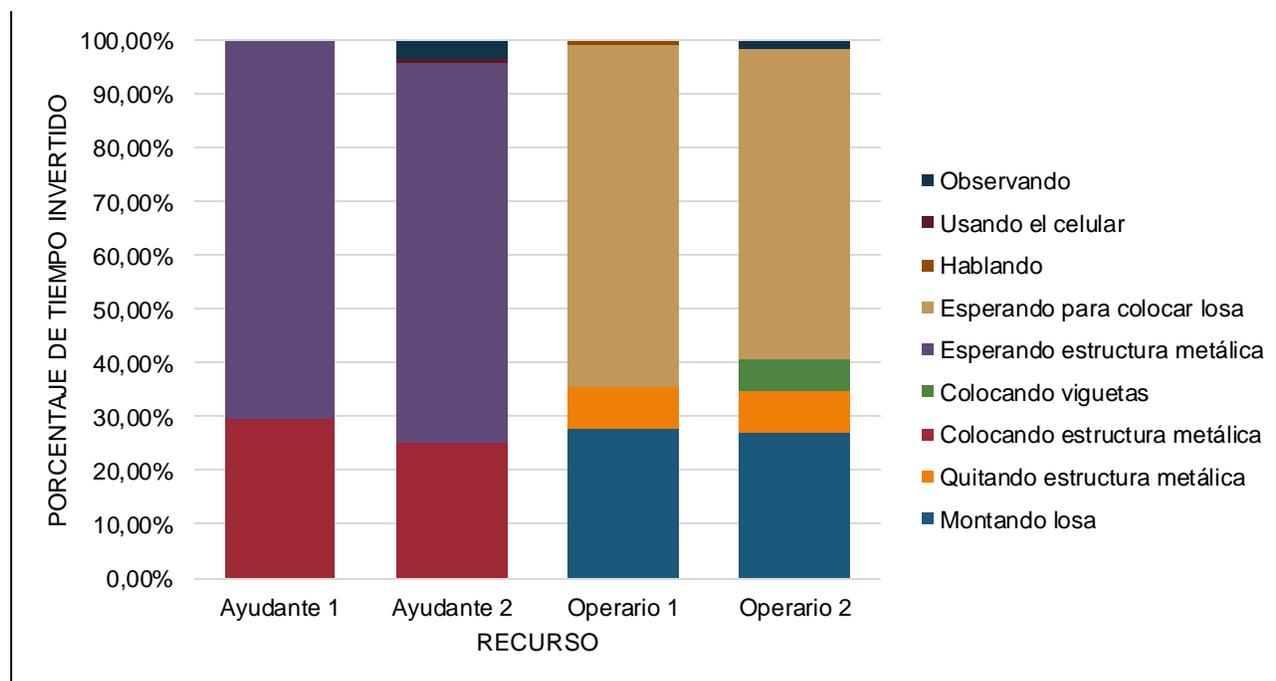


Figura 54. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #1.

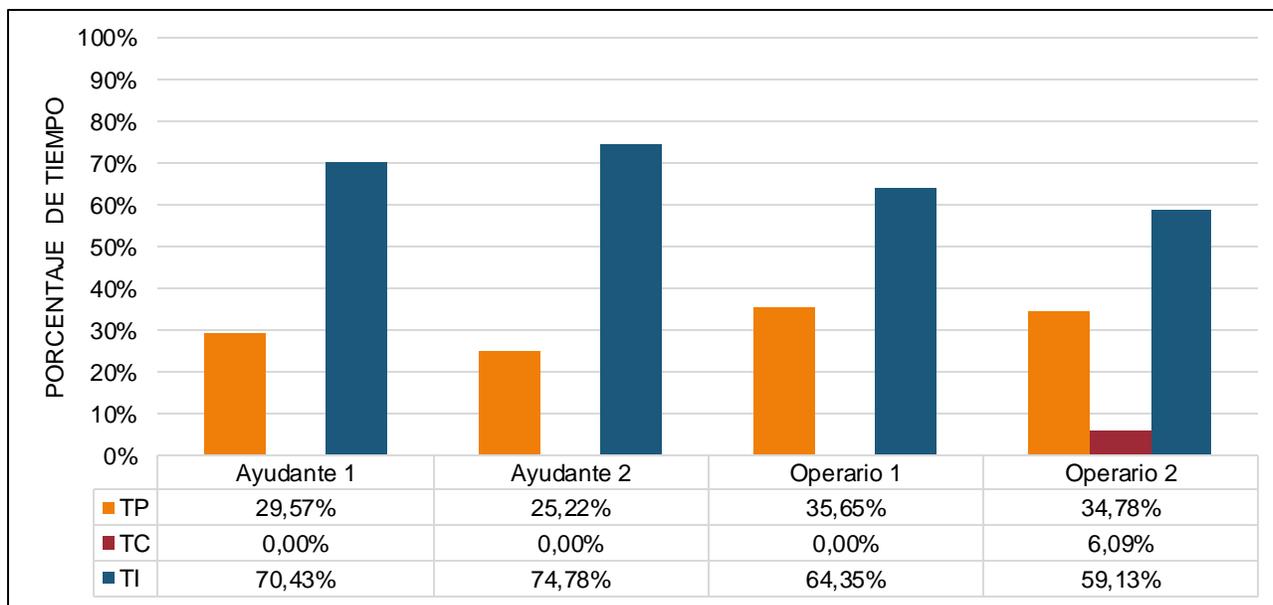


Figura 55. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #1.

## **MUESTREO DE TRABAJO #2 MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 20 se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #2. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 20. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando losa	91	9,72%
	Colocando estructura metálica	100	10,68%
	Quitando estructura metálica	30	3,21%
TC	Ajustando obra falsa	4	0,43%
TI	Esperando para colocar losa	329	35,15%
	Esperando estructura metálica	291	31,09%
	Caminando	7	0,75%
	Hablando	4	0,43%
	Observando	61	6,52%
	Usando el celular	1	0,11%
	Esperando grúa	18	1,92%
<b>TOTAL</b>		<b>936</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 56 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 57 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributorio (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #2.

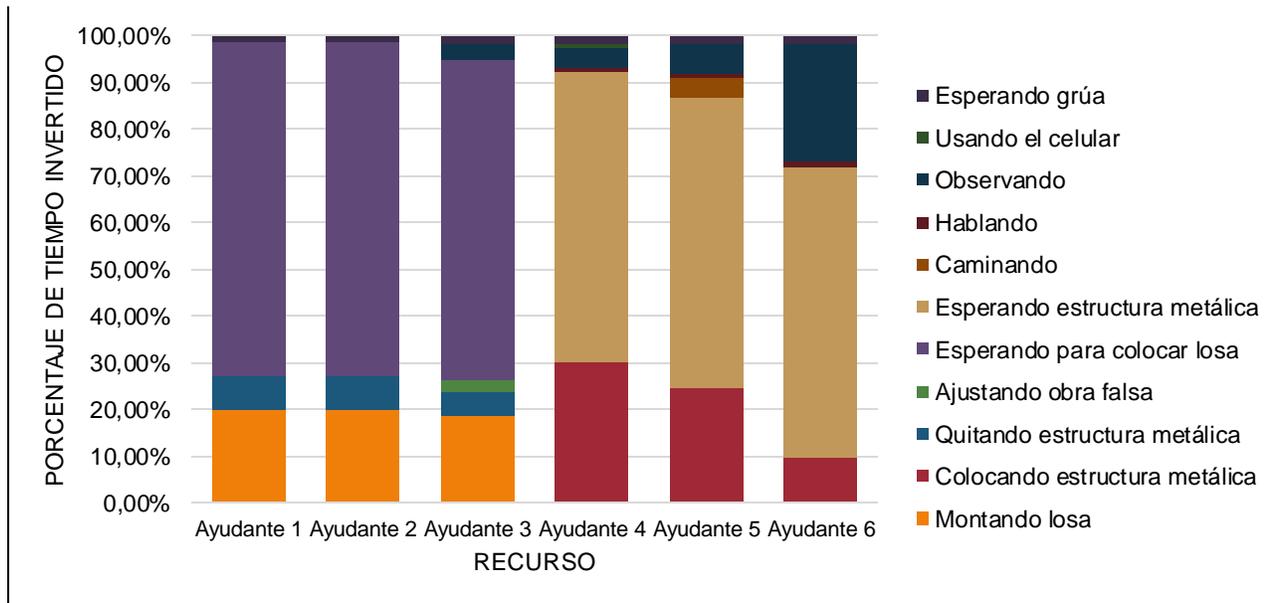


Figura 56. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #2.

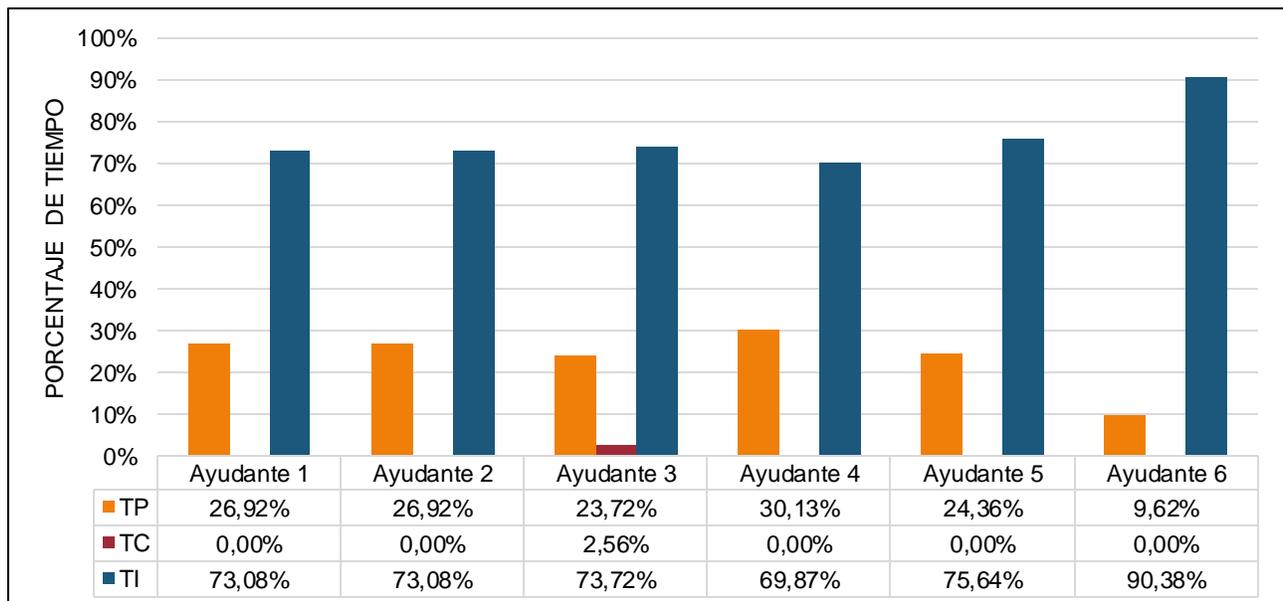


Figura 57. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #2.

### **MUESTREO DE TRABAJO #3** **MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 21, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #3. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 21. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando losa	46	9,58%
	Quitando estructura metálica	17	3,54%
	Colocando estructura metálica	52	10,83%
TC	Ajustando obra falsa	14	2,92%
TI	Esperando para colocar losa	160	33,33%
	Esperando estructura metálica	186	38,75%
	Observando	5	1,04%
<b>TOTAL</b>		<b>480</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 58 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 59 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #3.

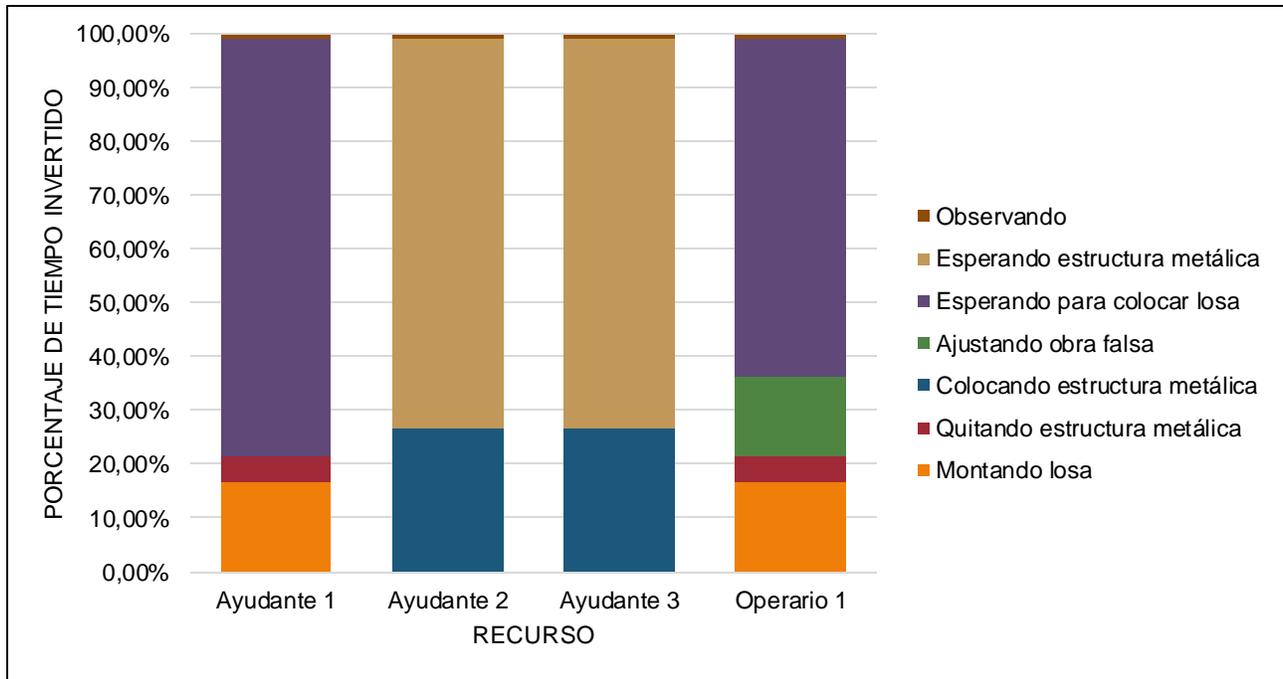


Figura 58. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #3.

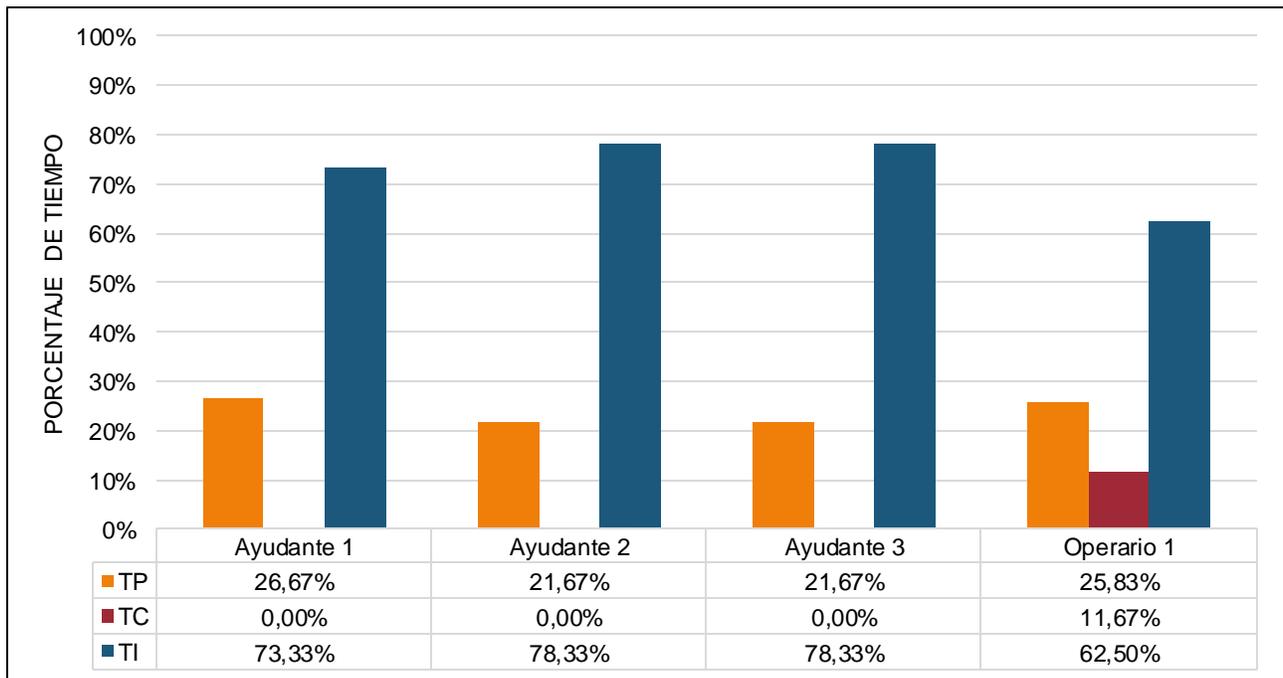


Figura 59. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #6.

## **MUESTREO DE TRABAJO #4 MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 22, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #4. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 22. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando losa	40	10,39%
	Colocando estructura metálica	45	11,69%
	Quitando estructura metálica	6	1,56%
TC	Ajustando obra falsa	3	0,78%
TI	Esperando estructura metálica	102	26,49%
	Esperando para colocar losa	179	46,49%
	Hablando	4	1,04%
	Usando el celular	3	0,78%
	Observando	3	0,78%
TOTAL		385	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 60 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 61 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #4.

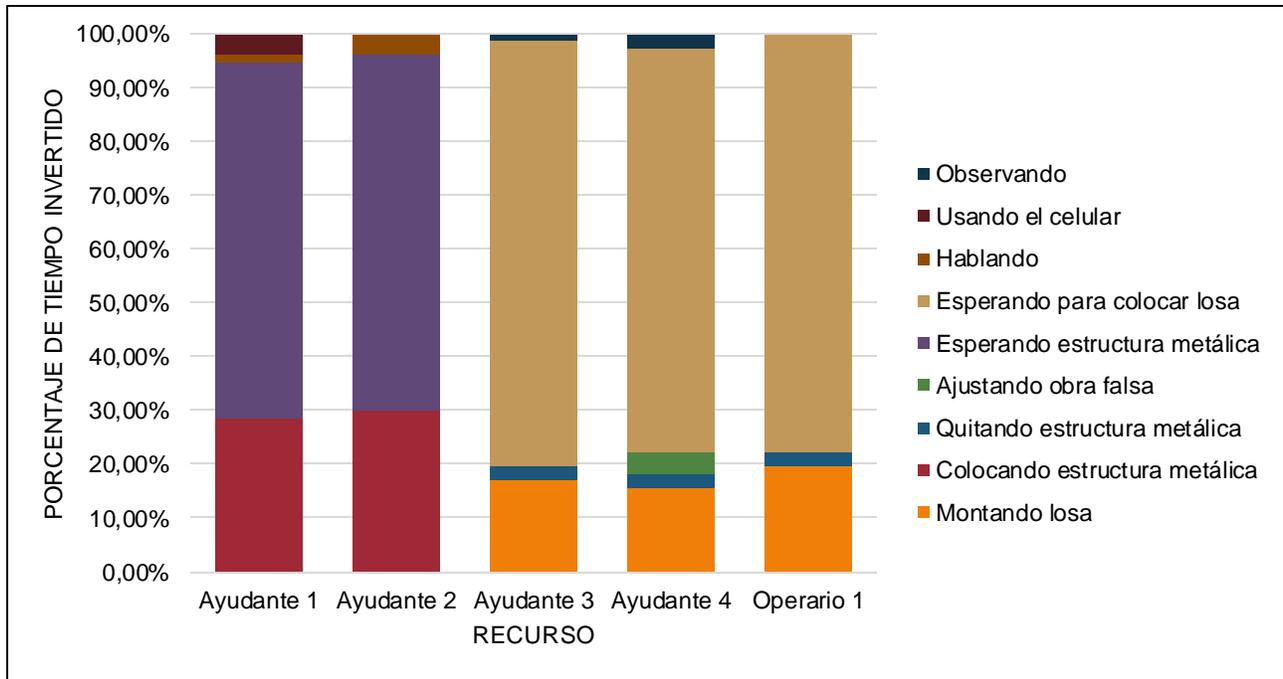


Figura 60. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #4.

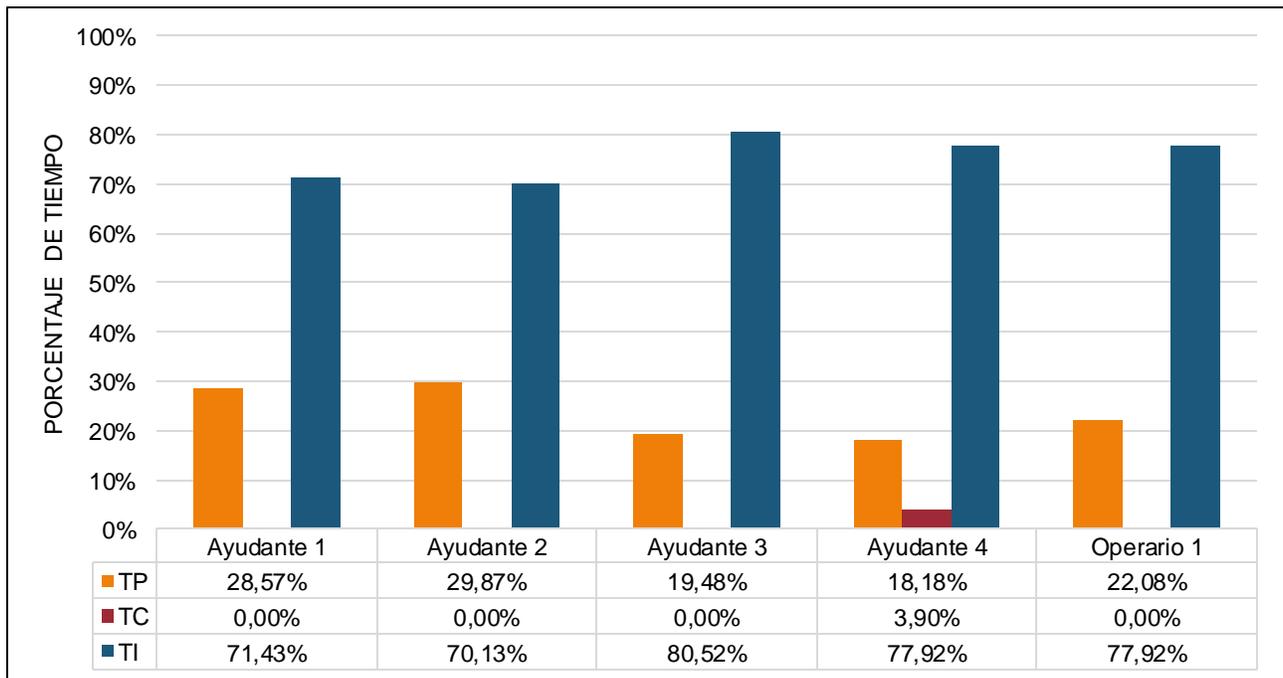


Figura 61. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #4.

## **MUESTREO DE TRABAJO #5 MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 23, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #5. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 23. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando losa	45	11,60%
	Quitando estructura metálica	10	2,58%
	Colocando estructura metálica	69	17,78%
TI	Ausente	5	1,29%
	Esperando estructura metálica	117	30,15%
	Esperando para colocar losa	138	35,57%
	Hablando	0	0,00%
	Usando el celular	0	0,00%
	Observando	4	1,03%
<b>TOTAL</b>		<b>388</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 62 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 63 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #5.

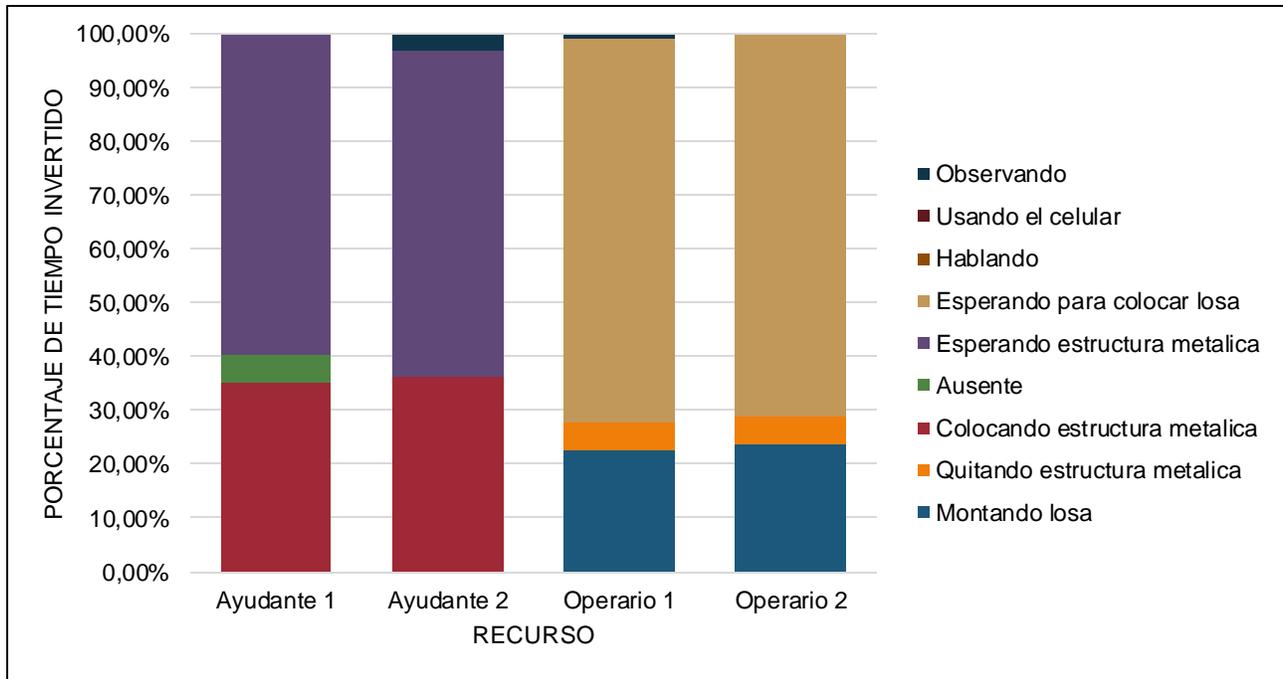


Figura 62. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #5.

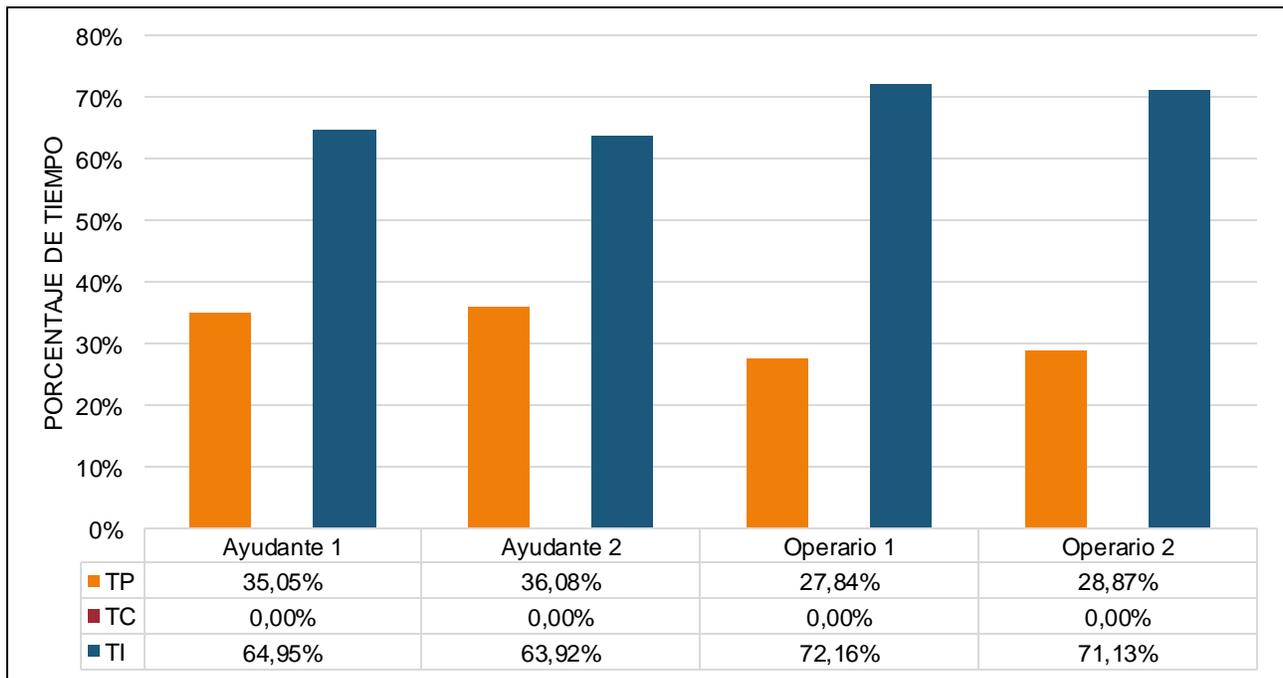


Figura 63. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #5.

## **MUESTREO DE TRABAJO #6 MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 24, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #6. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 24. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando losa	41	10,57%
	Colocando estructura metálica	48	12,37%
	Quitando estructura metálica	8	2,06%
TI	Esperando estructura metálica	133	34,28%
	Esperando para colocar losa	144	37,11%
	Observando	5	1,29%
	Ausente	9	2,32%
TOTAL		388	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 64 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 65 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #6.

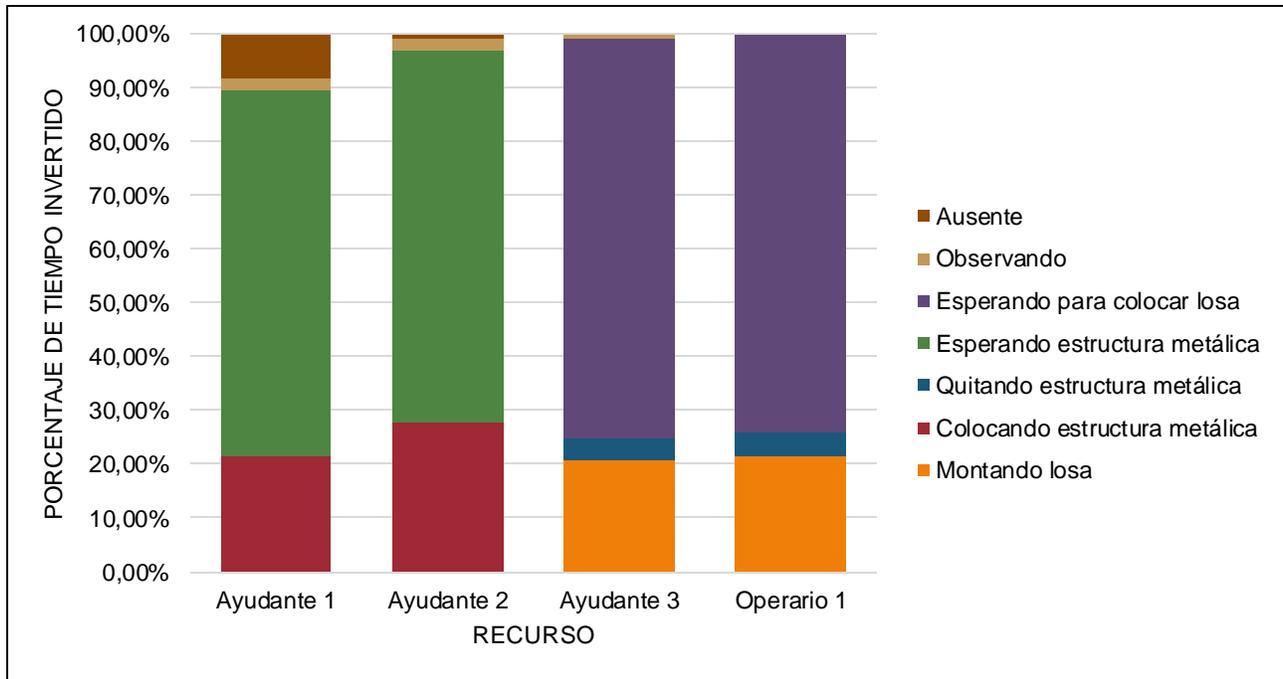


Figura 64. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #6.

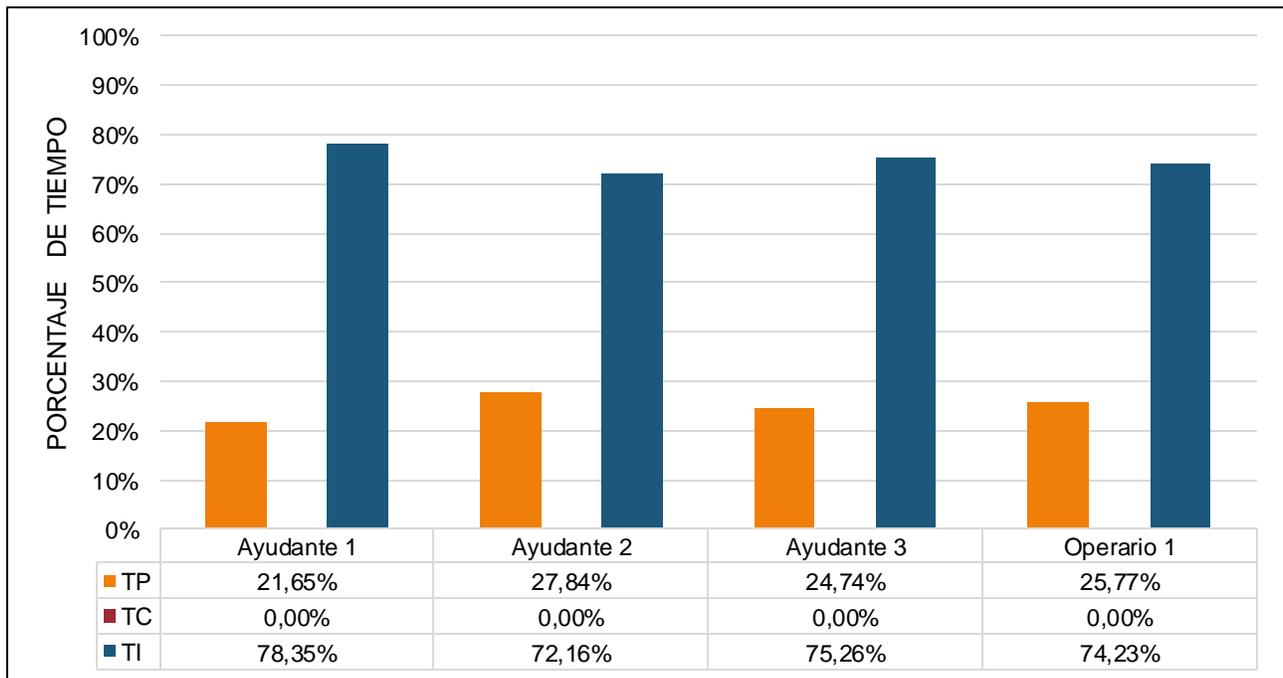


Figura 65. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #6.

## **MUESTREO DE TRABAJO #7 MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 25, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #7. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 25. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando losa	68	13,74%
	Quitando estructura metálica	16	3,23%
	Colocando estructura metálica	42	8,48%
TC	Ajustando obra falsa	0	0,00%
TC	Esperando grúa	10	2,02%
	Esperando estructura metálica	142	28,69%
	Esperando para colocar losa	195	39,39%
	Esperando	13	2,63%
	Observando	9	1,82%
<b>TOTAL</b>		<b>495</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 66 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 67 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #7.

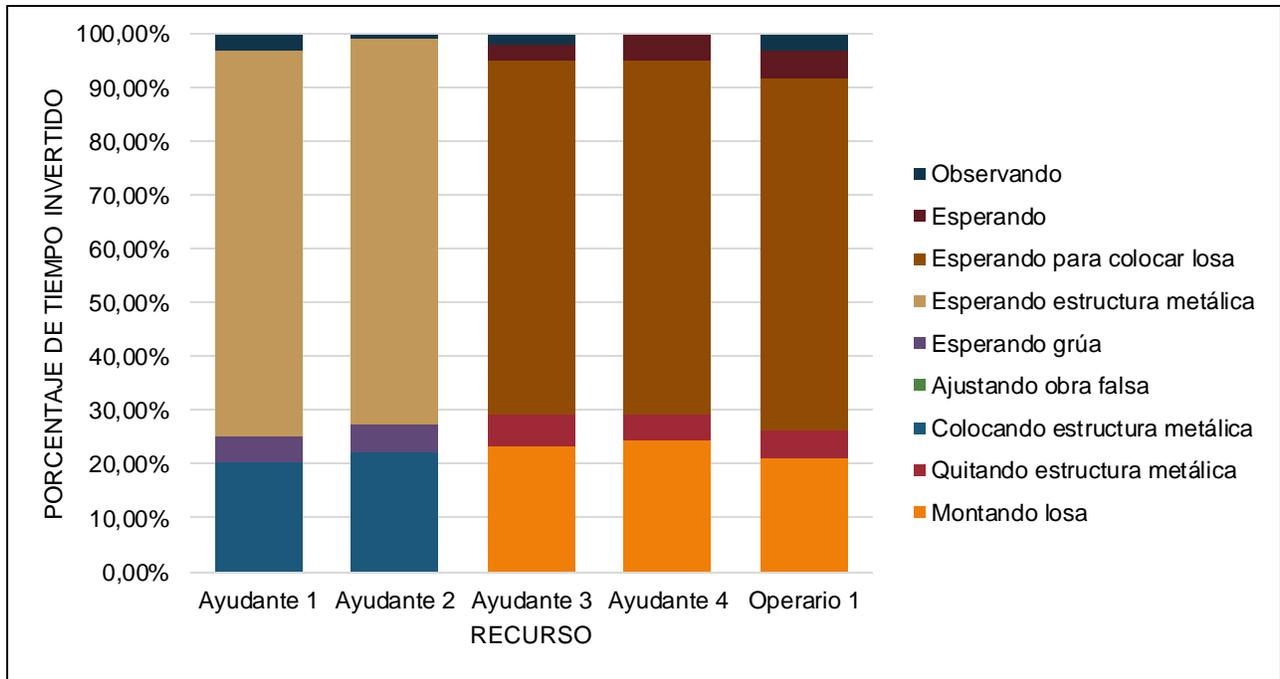


Figura 66. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #7.

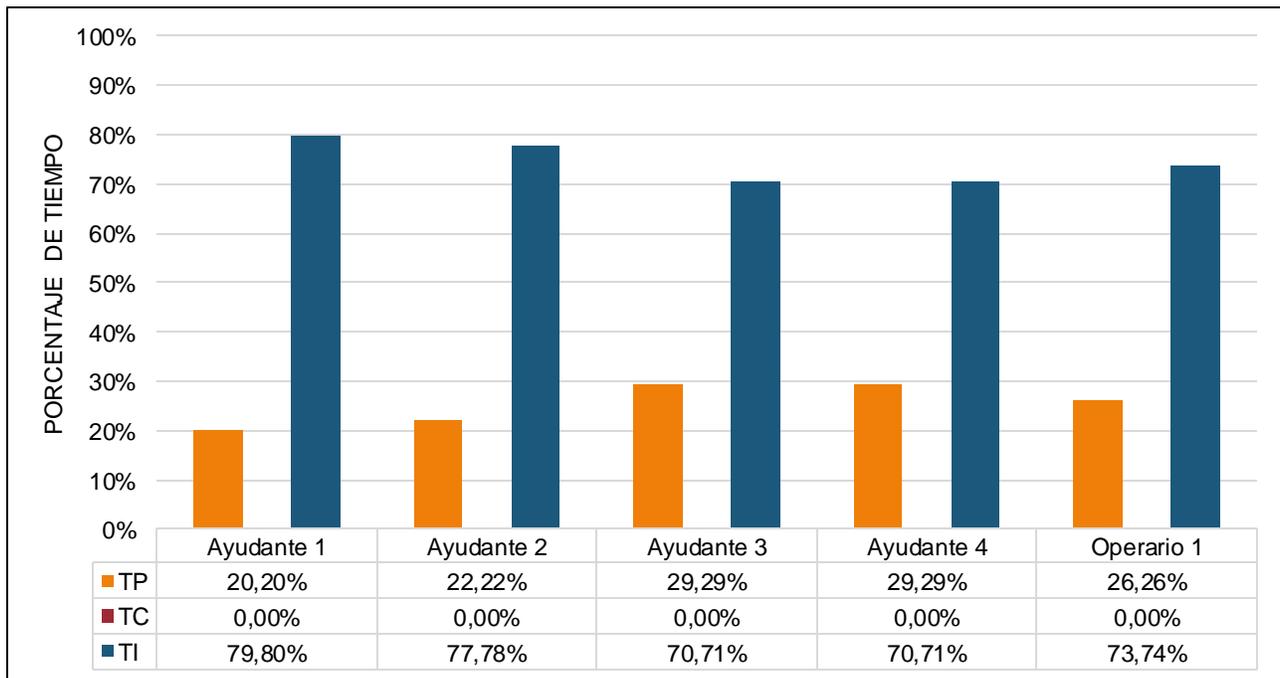


Figura 67. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #7.

## **MUESTREO DE TRABAJO #8 MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 26, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #8. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 26. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando losa	80	17,58%
	Quitando estructura metálica	12	2,64%
	Colocando estructura metálica	38	8,35%
TC	Ajustando obra falsa	0	0,00%
TI	Esperando grúa	28	6,15%
	Esperando estructura metálica	120	26,37%
	Esperando para colocar losa	168	36,92%
	Observando	9	1,98%
TOTAL		455	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 68 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 69 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #8.

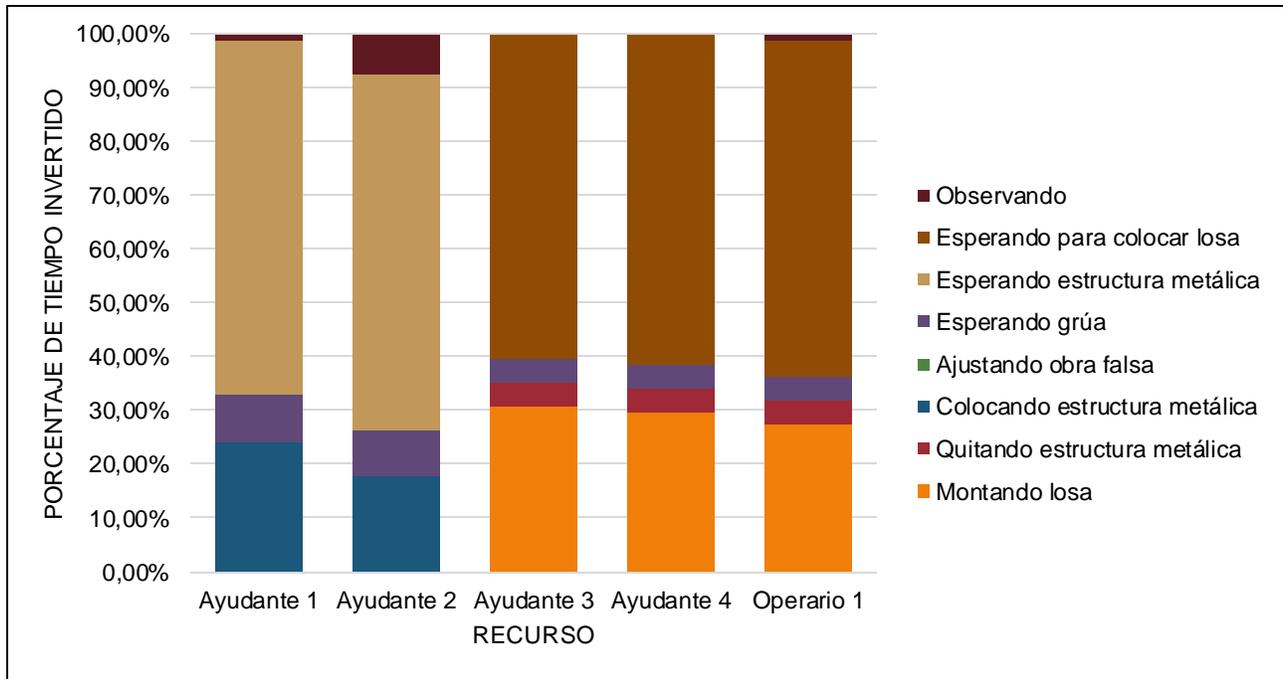


Figura 68. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #8.

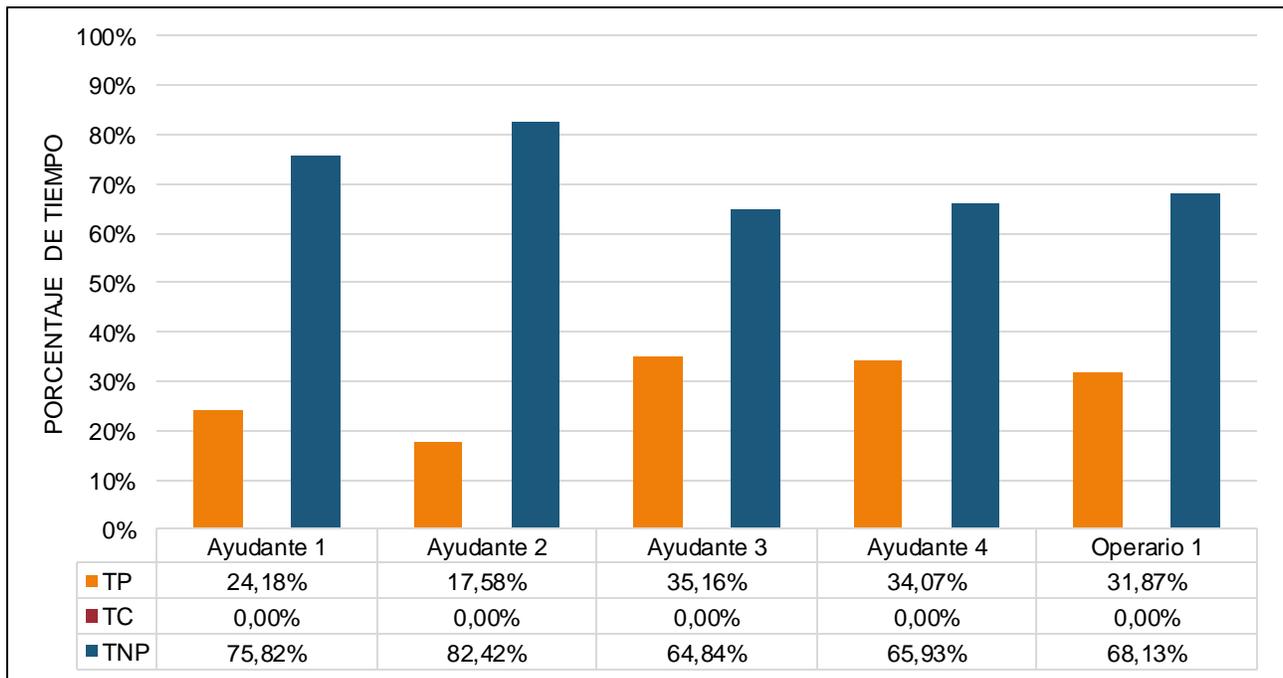


Figura 69. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #8.

## **MUESTREO DE TRABAJO #9 MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 27, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI)

durante la observación del muestreo de trabajo #9. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 27. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando losa	39	6,33%
	Colocando estructura metálica	57	9,25%
	Quitando estructura metálica	6	0,97%
TC	Trayendo esmeril	1	0,16%
	Marcando corte de losa	22	3,57%
	Trasladando losa	22	3,57%
	Cortando sobrante losa	28	4,55%
	Quitando sobrante losa	2	0,32%
	Midiendo distancia de colocación	12	1,95%
TI	Esperando estructura metálica	236	38,31%
	Esperando para colocar losa	119	19,32%
	Caminando	13	2,11%
	Ausente	6	0,97%
	Hablando	10	1,62%
	Observando	43	6,98%
<b>TOTAL</b>		<b>616</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 70 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 71 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #9.

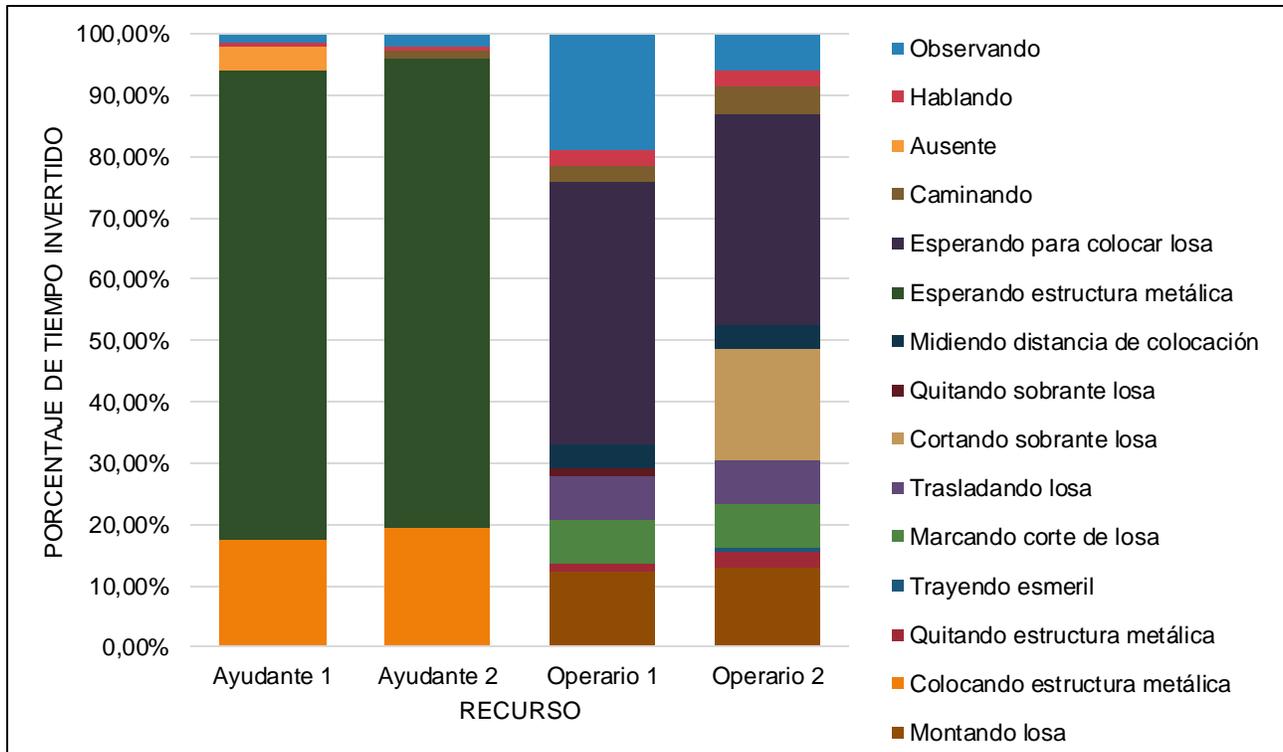


Figura 70. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #9.

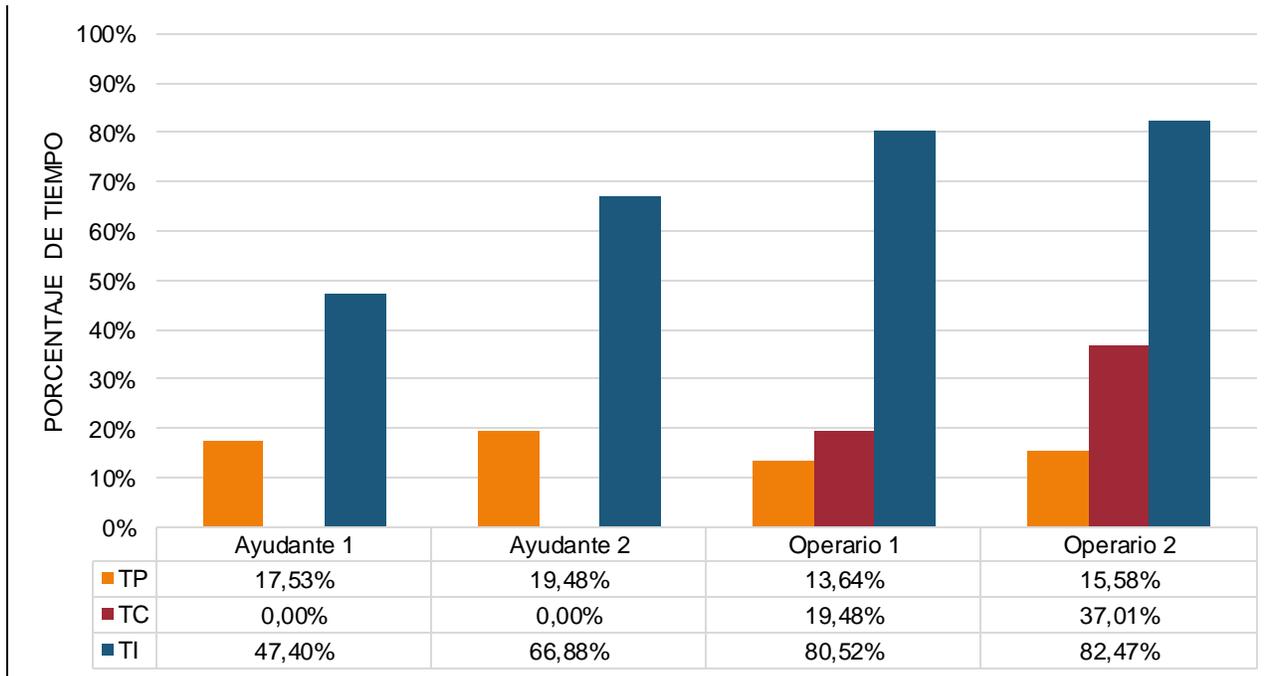


Figura 71. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #9.

## **MUESTREO DE TRABAJO #10 MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

En el cuadro 28, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributorio (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación del muestreo de trabajo

#10. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 28. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Montando losa	60	13,33%
	Colocando estructura metálica	44	9,78%
	Quitando estructura metálica	7	1,56%
TI	Esperando estructura metálica	130	28,89%
	Esperando para colocar losa	189	42,00%
	Caminando	1	0,22%
	Hablando	2	0,44%
	Observando	17	3,78%
TOTAL		450	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 72 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 73 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributorio (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #10.

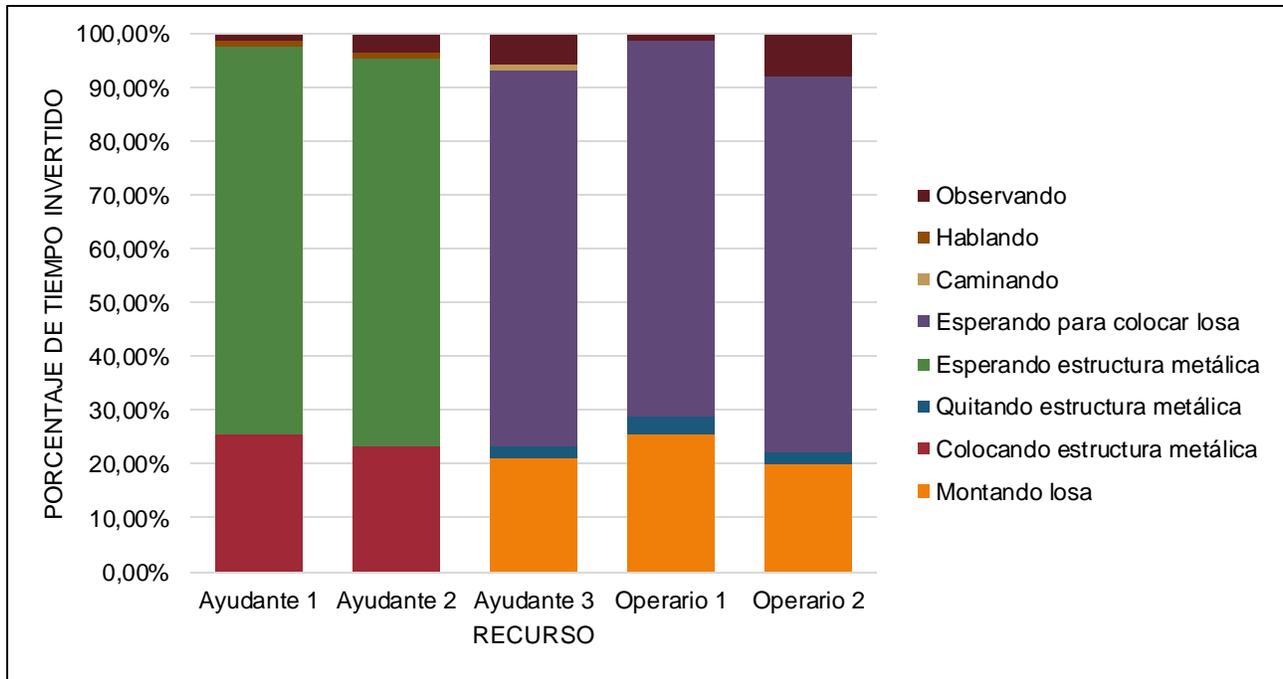


Figura 72. Gráfico crew balance para el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #10.

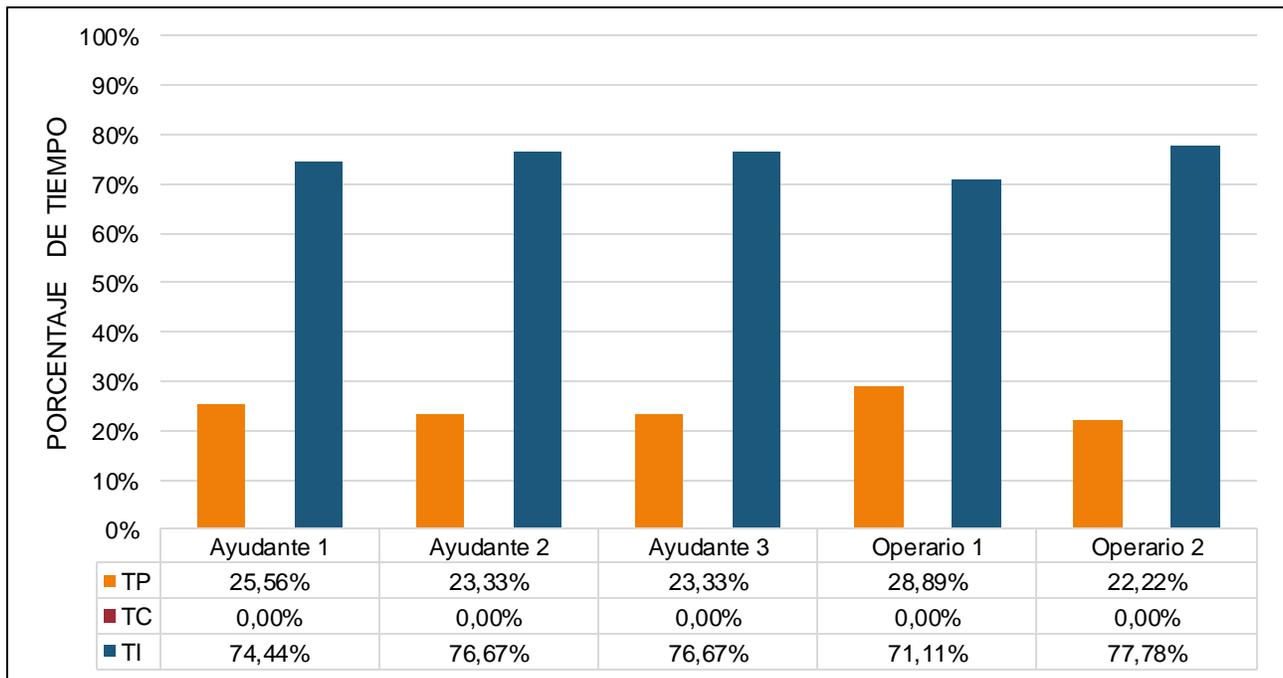


Figura 73. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de montaje de losas prefabricadas, muestreo de trabajo #10.

## **RENDIMIENTO MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS**

El cuadro 29, muestra los rendimientos obtenidos en cada uno de los muestreos de trabajo para el proceso de montaje de losas fabricadas. El rendimiento esta expresado en horas hombre por unidad.

La unidad de trabajo corresponde a la cantidad de losas prefabricadas que son colocados durante la medición.

Los valores en rojo son aquellos valores se eliminaron para poder realizar el proceso estadístico explicado en el marco teórico.

En el apéndice I se muestran los rendimientos obtenidos de manera similar pero en horas ayudante y horas operario y en el apéndice H se muestran los datos utilizados para obtener el factor de incremento de rendimiento.

<b>CUADRO 29. RENDIMIENTO EN HORAS HOMBRE PARA MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS</b>							
Muestreo	Fecha	Duración	Tiempo neto (h)	Cantidad de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (un)	Rendimiento (HH/un)
1	30/8/2016	00:41:30	0,692	4	2,767	5,000	0,553
2	9/9/2016	01:17:24	1,290	6	7,740	5,000	1,548
3	9/9/2016	00:28:40	0,478	4	1,911	3,000	0,637
4	16/9/2016	00:23:32	0,392	5	1,961	2,000	0,980
5	16/9/2016	00:41:10	0,686	4	2,744	5,000	0,549
6	20/9/2016	00:50:27	0,841	4	3,363	5,000	0,673
7	22/9/2016	00:33:17	0,555	5	2,774	3,000	0,925
8	23/9/2016	00:49:05	0,818	5	4,090	3,000	1,363
9	23/9/2016	01:39:52	1,664	4	6,658	5,000	1,332
10	4/10/2016	00:31:09	0,519	5	2,596	3,000	0,865
Rendimiento promedio							0,740
Desviación estándar							0,180
Coeficiente de variación							0,243
Factor de incremento							0,108
Rendimiento final							0,820

La figura 74, muestra una comparación entre los niveles generales de productividad y el rendimiento calculado en el cuadro 29, de acuerdo al día, hora y temperatura de medición de cada

muestreo de trabajo. Las tablas utilizadas para los niveles generales de productividad se muestran en el apéndice E.

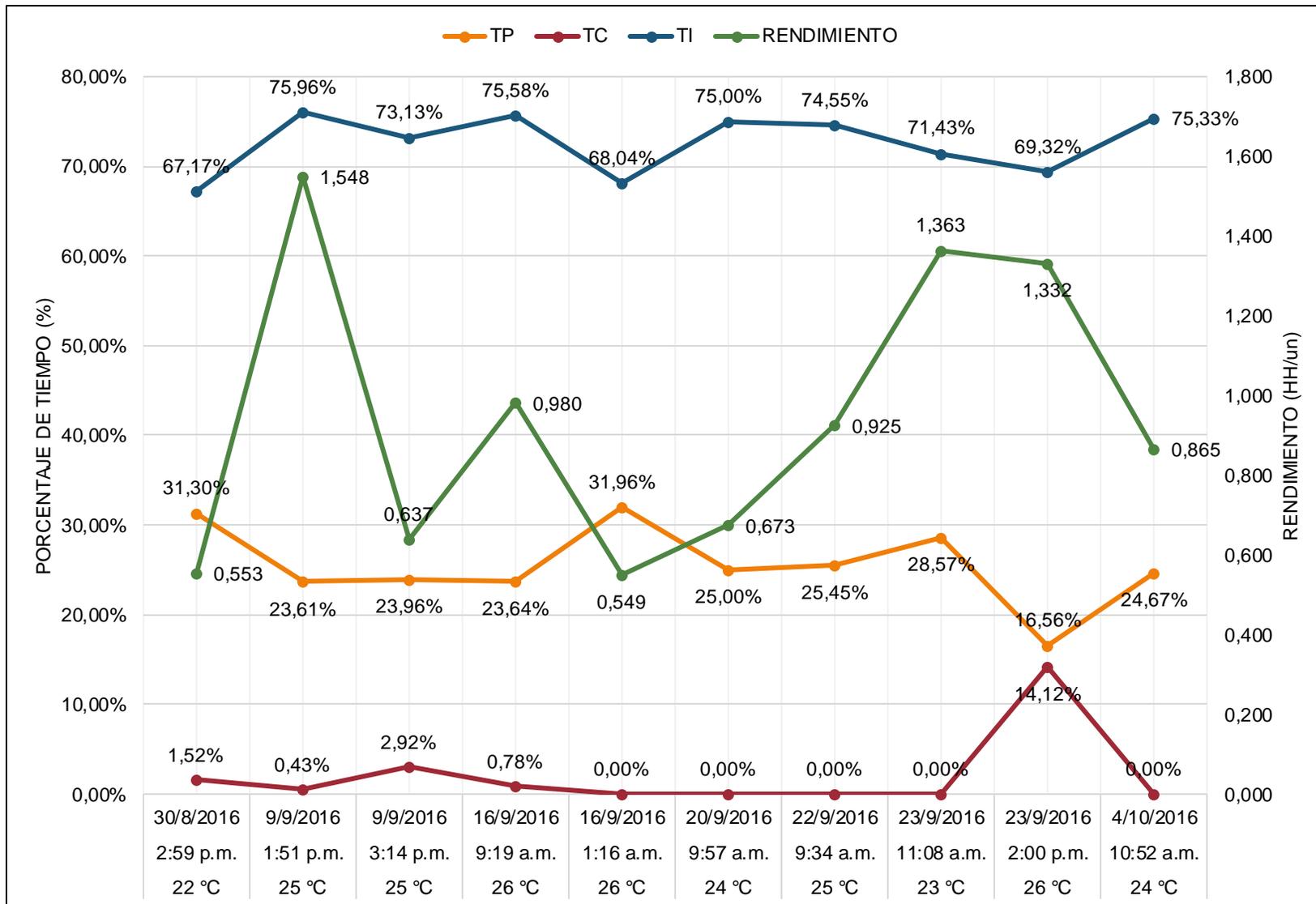


Figura 74. Gráfico comparativo entre los niveles generales de productividad y el rendimiento obtenido en cada muestreo de trabajo para el proceso de montaje de losas prefabricadas.

## Colado de entrepiso

En la figura 75, se muestra el diagrama de flujo para realizar el proceso de colado de entrepiso, en

donde se detalla las tareas necesarias y en el orden ideal para completar el proceso según el método de colocación de concreto escogido.

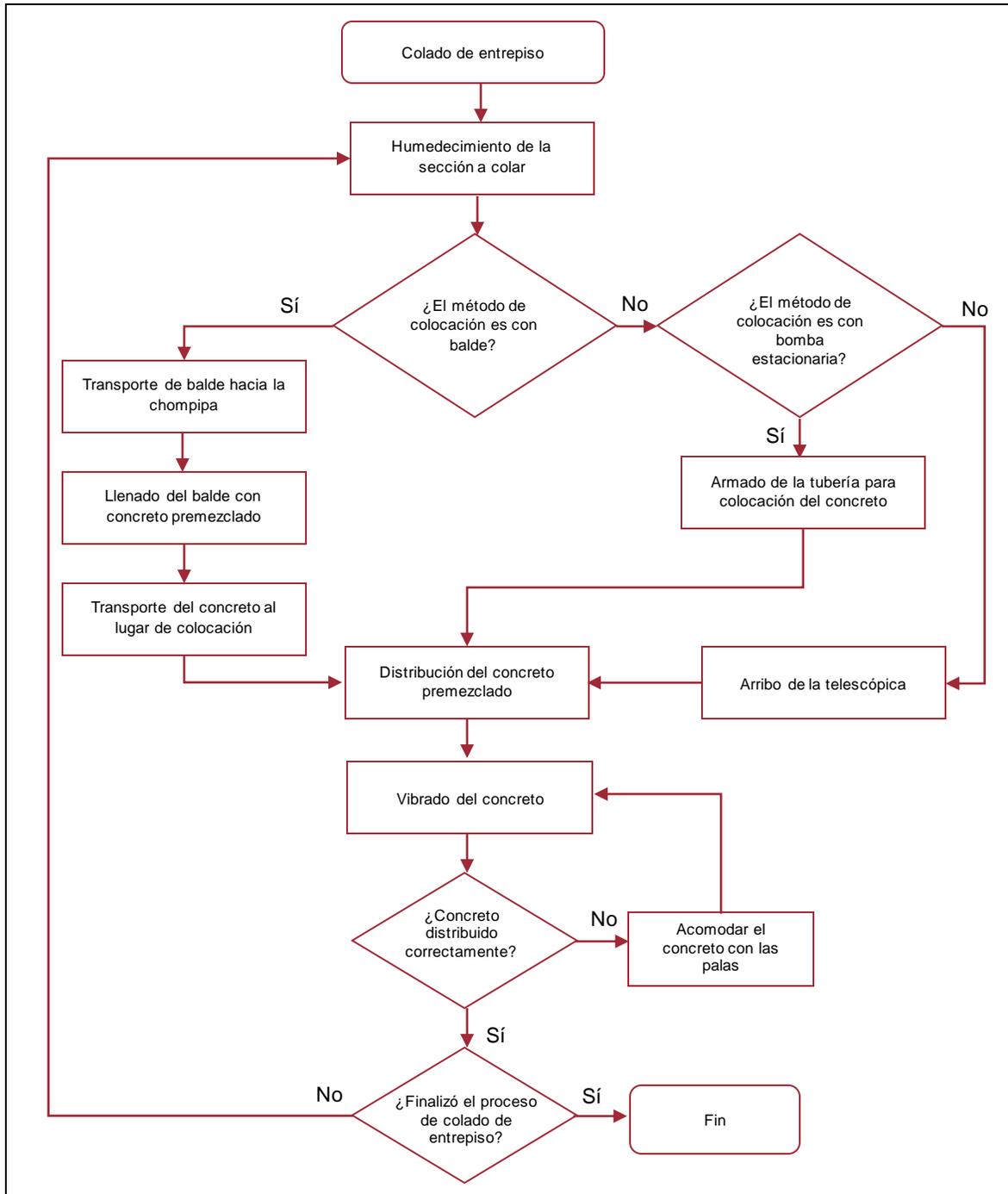


Figura 75. Diagrama de flujo para el proceso de colado de entrepiso: Descarga directa con balde.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los diferentes muestreos de trabajo clasificados según el método de colocación de concreto. La información general bajo la cual se desarrollaron los diferentes muestreos de trabajo como el día, la hora de inicio, temperatura,

frecuencia de medición, ubicación, entre otros; puede encontrarse en las hojas de muestreos de trabajo adjuntas en el apéndice D: Muestreos de trabajo realizados para el proceso de colado de entrepiso

### **MUESTREO DE TRABAJO #1 COLADO DE ENTREPISO: DESCARGA DIRECTA CON BALDE**

En el cuadro 30, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación del muestreo de trabajo #1

para colado de entrepiso a través del método de descarga directa con balde. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 30. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGUN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL COLADO DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Colocando concreto	45	9,38%
	Vibrando	67	13,96%
	Dando instrucciones a la grúa	16	3,33%
TC	Sujetando vibrador	66	13,75%
	Recogiendo cable del vibrador	9	1,88%
TI	Esperando balde	151	31,46%
	Esperando para vibrar	98	20,42%
	Hablando	1	0,21%
	Caminando	10	2,08%
	Observando	0	0,00%
	Limpiando concreto	17	3,54%
TOTAL		480	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 76 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 77 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #1.

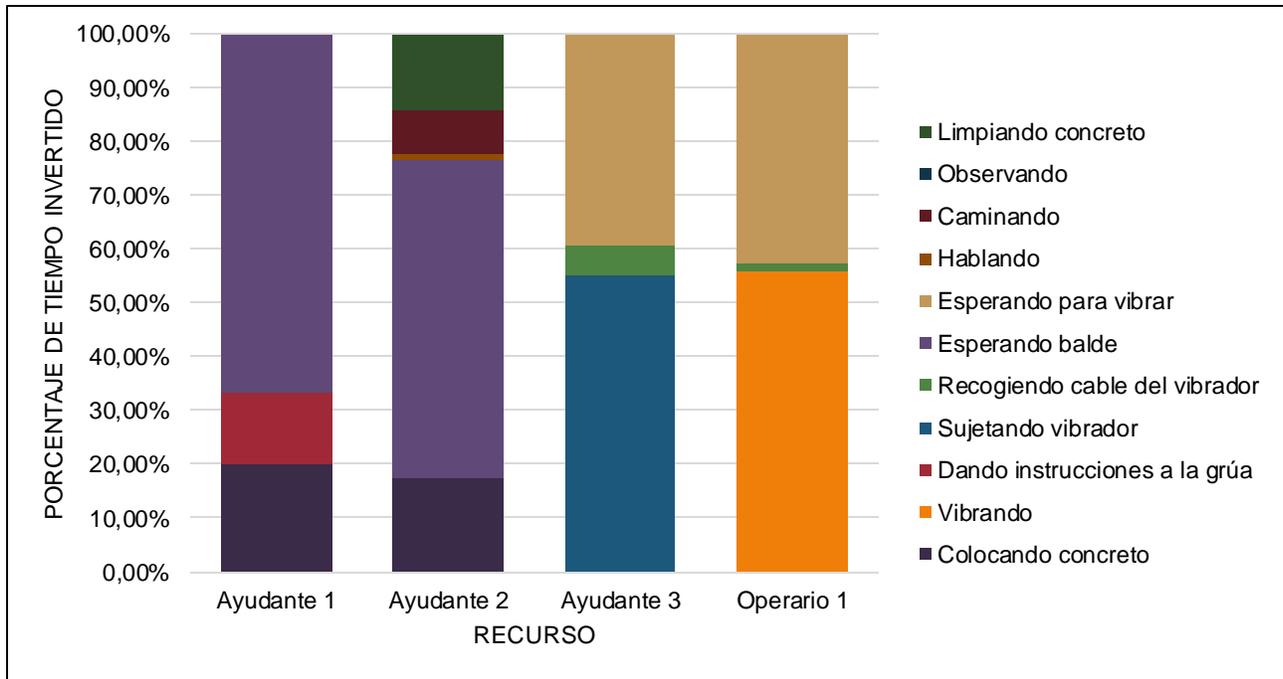


Figura 76. Gráfico crew balance para el proceso de colado de entrepiso a través del método de descarga directa con balde, muestreo de trabajo #1.

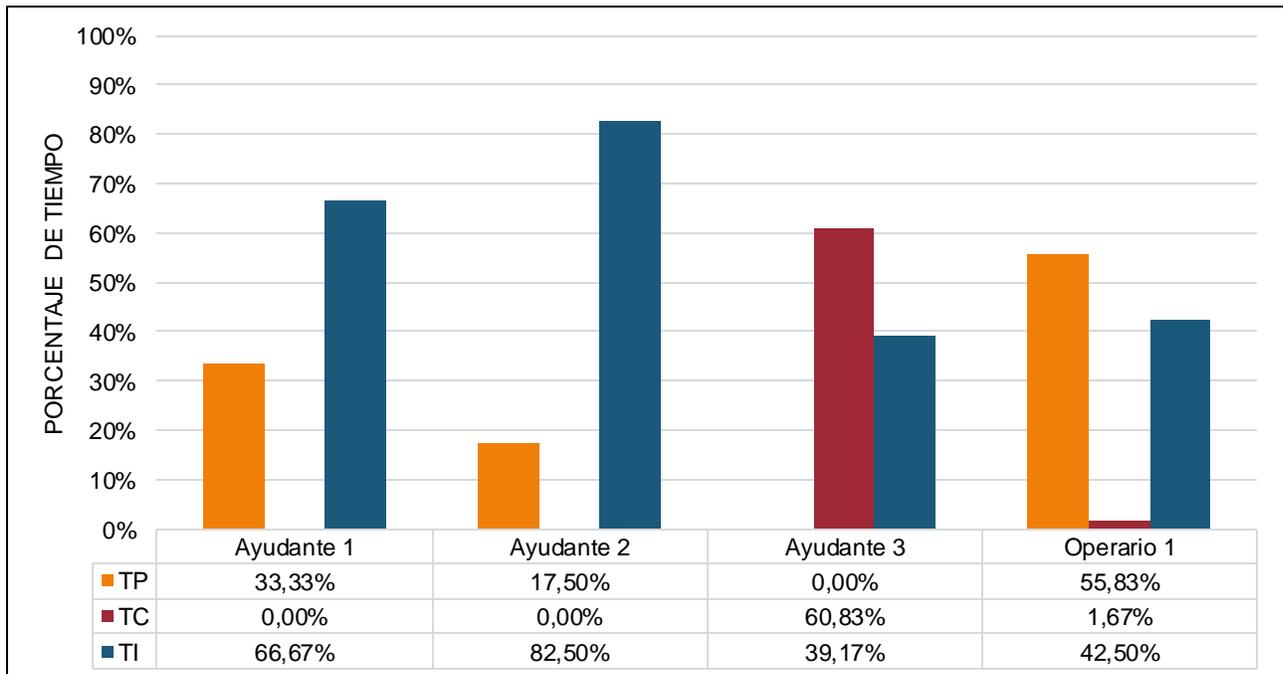


Figura 77. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colado de entrepiso a través del método de descarga directa con balde, muestreo de trabajo #2.

## **MUESTREO DE TRABAJO #2**

### **COLADO DE ENTREPISO: DESCARGA DIRECTA CON BALDE**

En el cuadro 31, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación del muestreo de trabajo #2

para colado de entrepiso a través del método de descarga directa con balde. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 31. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL COLADO DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (#)
TP	Colocando concreto	94	16,35%
	Vibrando	48	8,35%
TC	Sujetando vibrador	48	8,35%
TI	Esperando balde	237	41,22%
	Esperando para vibrar	134	23,30%
	Caminando	1	0,17%
	Ausente	4	0,70%
	Observando	9	1,57%
<b>TOTAL</b>		<b>575</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 78 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 79 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #2.

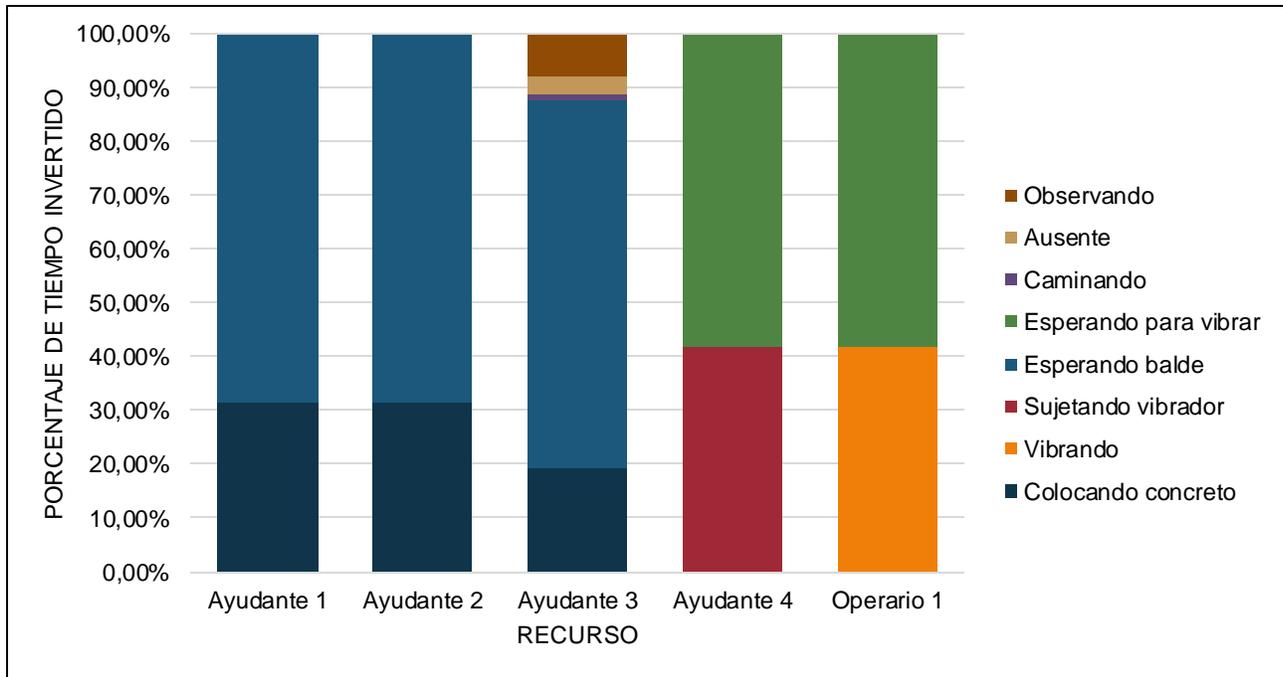


Figura 78. Gráfico crew balance para el proceso de colado de entepiso a través del método de descarga directa con balde, muestreo de trabajo #2.

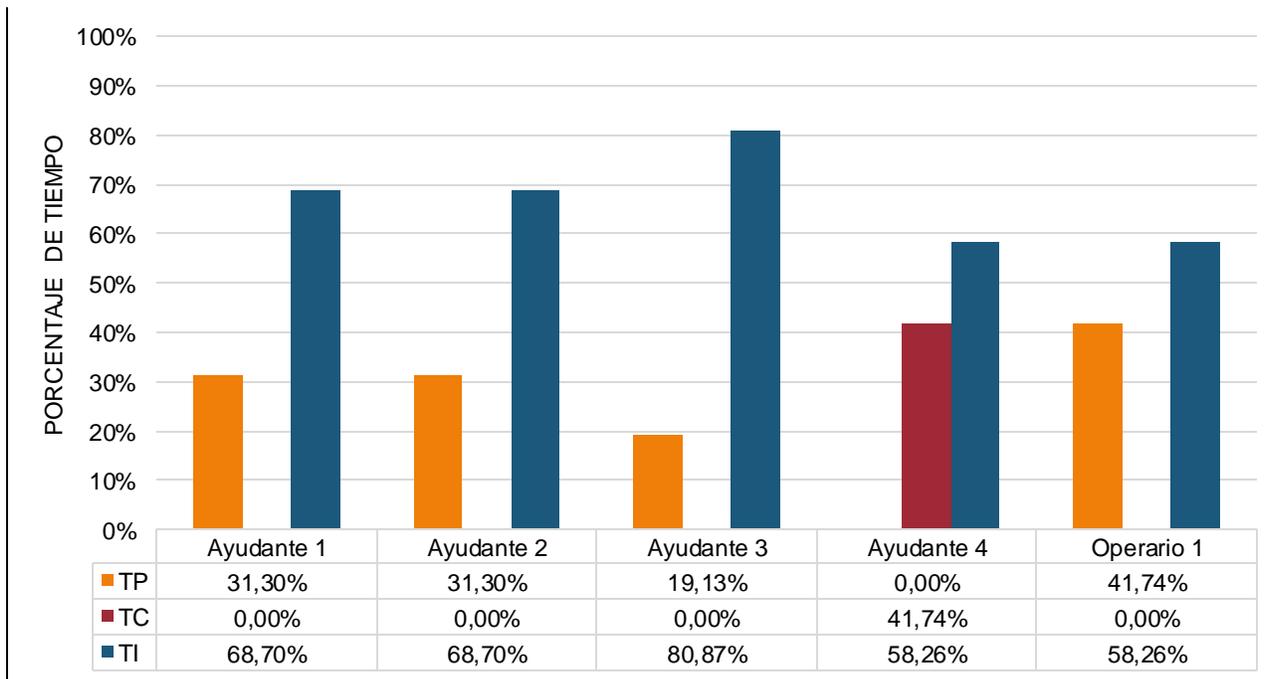


Figura 79. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colado de entepiso a través del método de descarga directa con balde, muestreo de trabajo #2.

## **RENDIMIENTO**

### **COLADO DE ENTREPISO: DESCARGA DIRECTA CON BALDE**

El cuadro 32, muestra los rendimientos obtenidos en cada uno de los muestreos de trabajo para el proceso de colado de entrepiso a través del método de descarga directa con balde. El rendimiento esta expresado en horas hombre por metros cúbicos.

La unidad de trabajo corresponde a la cantidad de metros cúbicos de concreto que son colocados durante la medición.

En el apéndice I se muestran los rendimientos obtenidos de manera similar pero en horas ayudante y horas operario y en el apéndice H se muestran los datos utilizados para obtener el factor de incremento de rendimiento.

<b>CUADRO 32. RENDIMIENTO EN HORAS HOMBRE PARA COLADO DE ENTREPISO: DESCARGA DIRECTA CON BALDE</b>							
Muestreo	Fecha	Duración	Tiempo neto (h)	Cantidad de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (m3)	Rendimiento (HH/m3)
1	5/8/2016	01:00:00	1,000	4	4,000	8,000	0,500
2	6/9/2016	00:00:40	0,667	5	3,333	5,000	0,667
Rendimiento promedio							0,583
Desviación estándar							0,118
Coeficiente de variación							0,202
Factor de incremento							0,108
Rendimiento final							0,646

La figura 80, muestra una comparación entre los niveles generales de productividad y el rendimiento calculado en el cuadro 32, de acuerdo al día, hora y temperatura de medición de cada

muestreo de trabajo. Las tablas utilizadas para los niveles generales de productividad se muestran en el apéndice E.

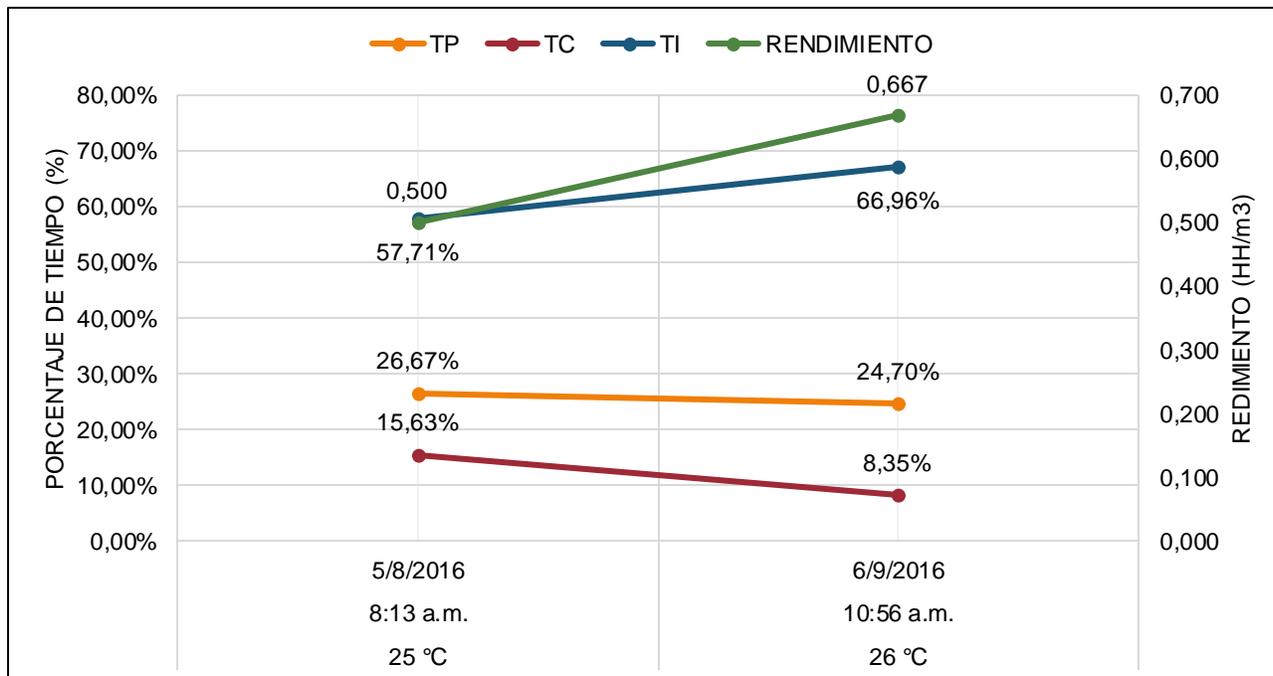


Figura 80. Gráfico comparativo entre los niveles generales de productividad y el rendimiento obtenido en cada muestreo de trabajo para el proceso de colado de entrepiso a través del método de descarga directa con balde.

### **MUESTREO DE TRABAJO #1 COLADO DE ENTREPISO: BOMBA ESTACIONARIA**

En el cuadro 33, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación del muestreo de trabajo #1

para colado de entrepiso utilizando bomba estacionaria. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 33. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL COLADO DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Colocando concreto	56	11,55%
	Vibrando	25	5,15%
	Moviendo tubería	38	7,84%
TC	Sujetando vibrador	25	5,15%
TI	Esperando para vibrar	112	23,09%
	Esperando concreto	145	29,90%
	Observando	84	17,32%
TOTAL		485	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 81 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 82 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #1.

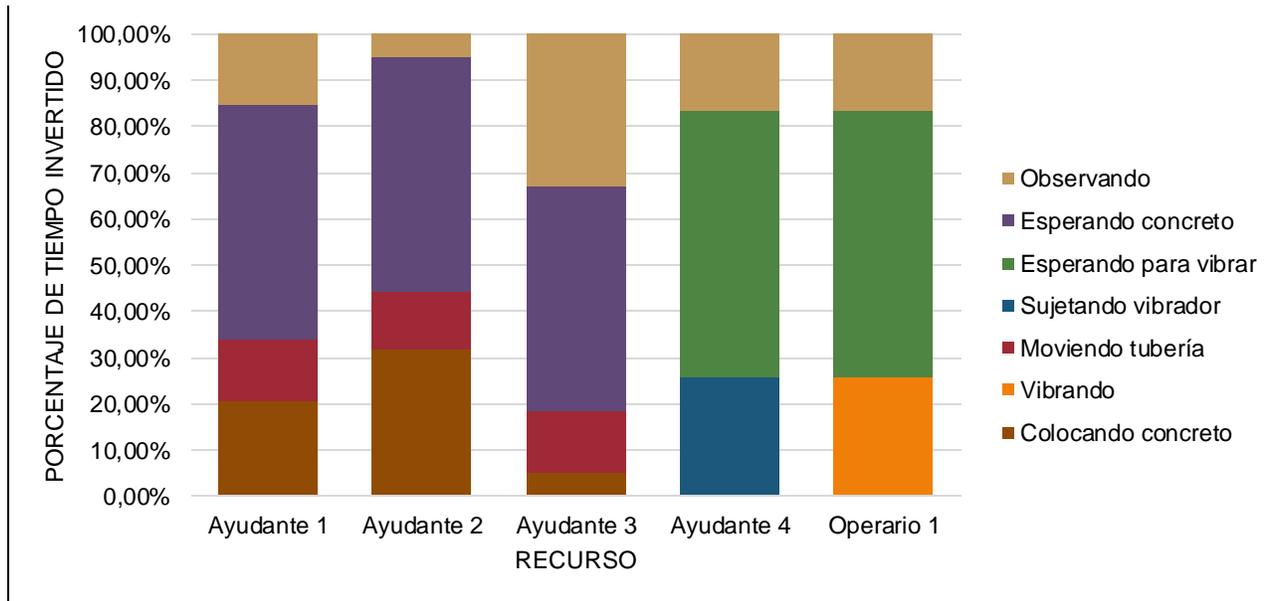


Figura 81. Gráfico crew balance para el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba estacionaria, muestreo de trabajo #1.

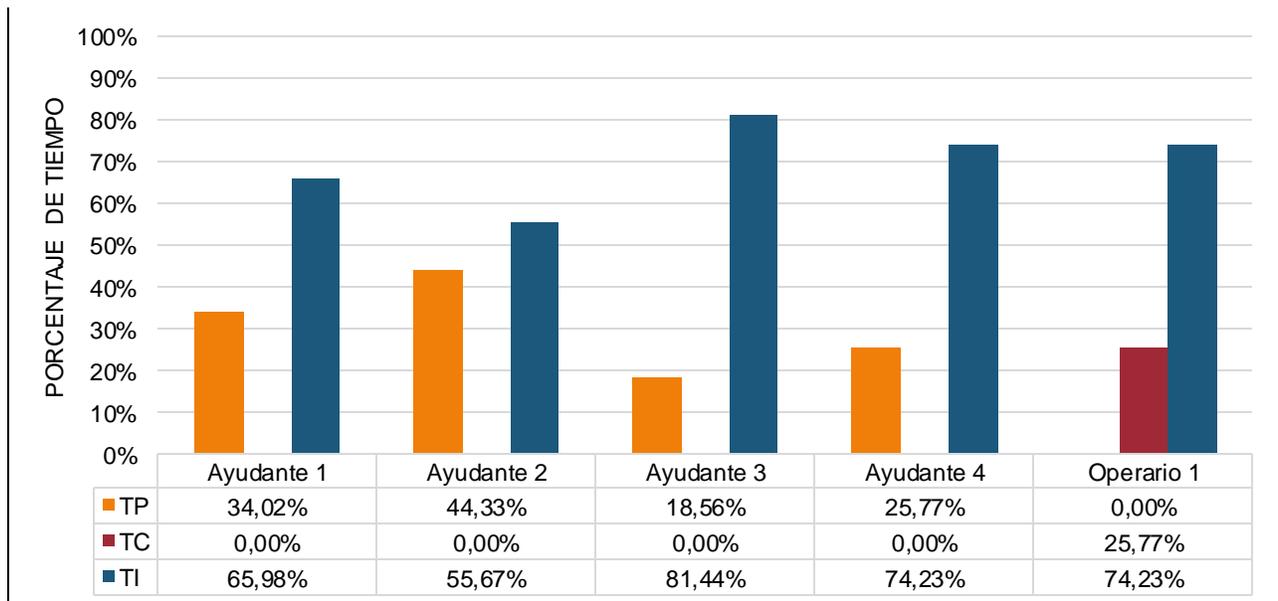


Figura 82. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba estacionaria, muestreo de trabajo #1.

## **MUESTREO DE TRABAJO #2**

### **COLADO DE ENTREPISO: BOMBA ESTACIONARIA**

En el cuadro 34, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación del muestreo de trabajo #2

para colado de entrepiso utilizando bomba estacionaria. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 34. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL COLADO DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Colocando concreto	27	6,89%
	Vibrando	12	3,06%
	Moviendo tubería	13	3,32%
	Armando tubería	7	1,79%
	Desarmando tubería	2	0,51%
	Acomodando concreto con el pie	11	2,81%
	Paleando	16	4,08%
TC	Despejando área de trabajo	9	2,30%
	Trasladando escalera	33	8,42%
	Limpiando vibrador	8	2,04%
	Trayendo nuevo vibrador	59	15,05%
	Sujetando vibrador	12	3,06%
TI	Esperando para colocar concreto	115	29,34%
	Esperando para vibrar	117	29,85%
	Hablando	2	0,51%
	Caminando	7	1,79%
	Observando	30	7,65%
<b>TOTAL</b>		<b>392</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 83 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 84 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #2.

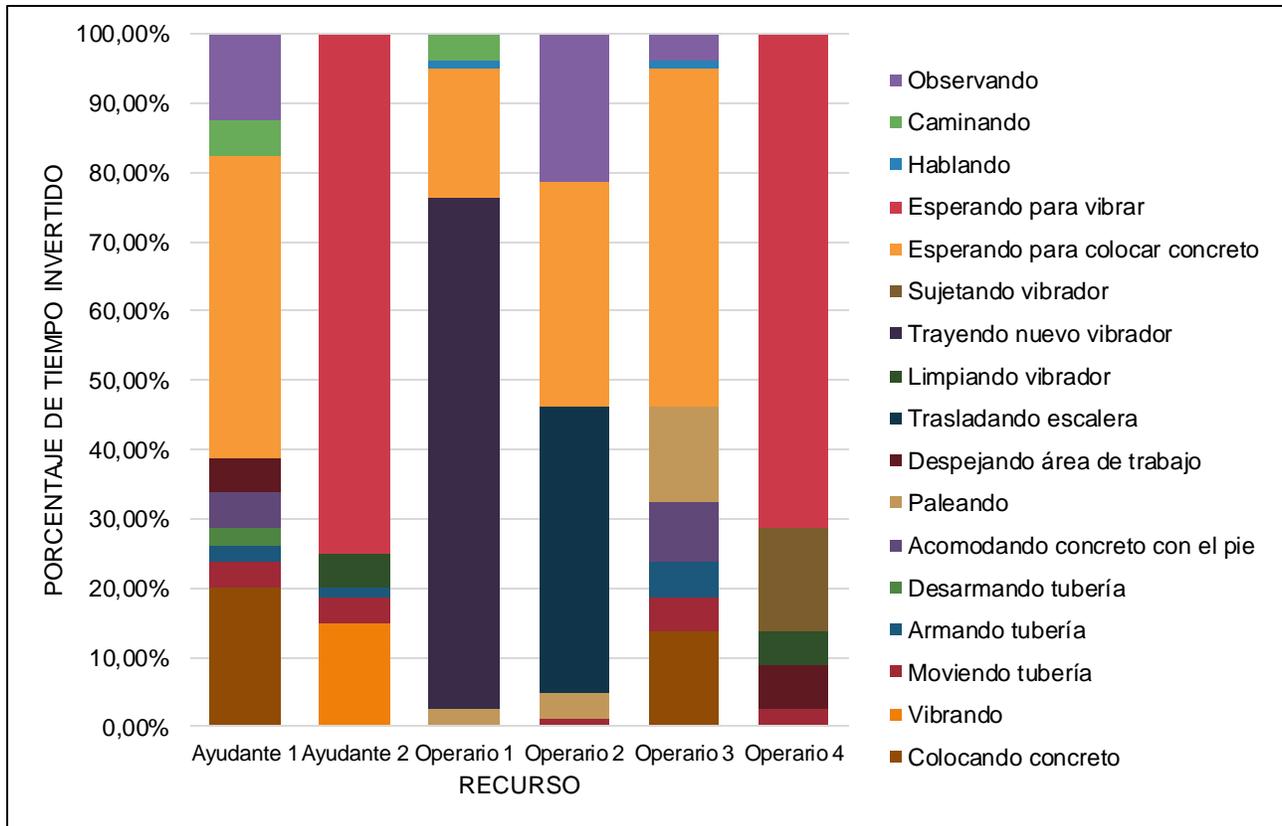


Figura 83. Gráfico crew balance para el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba estacionaria, muestreo de trabajo #2.

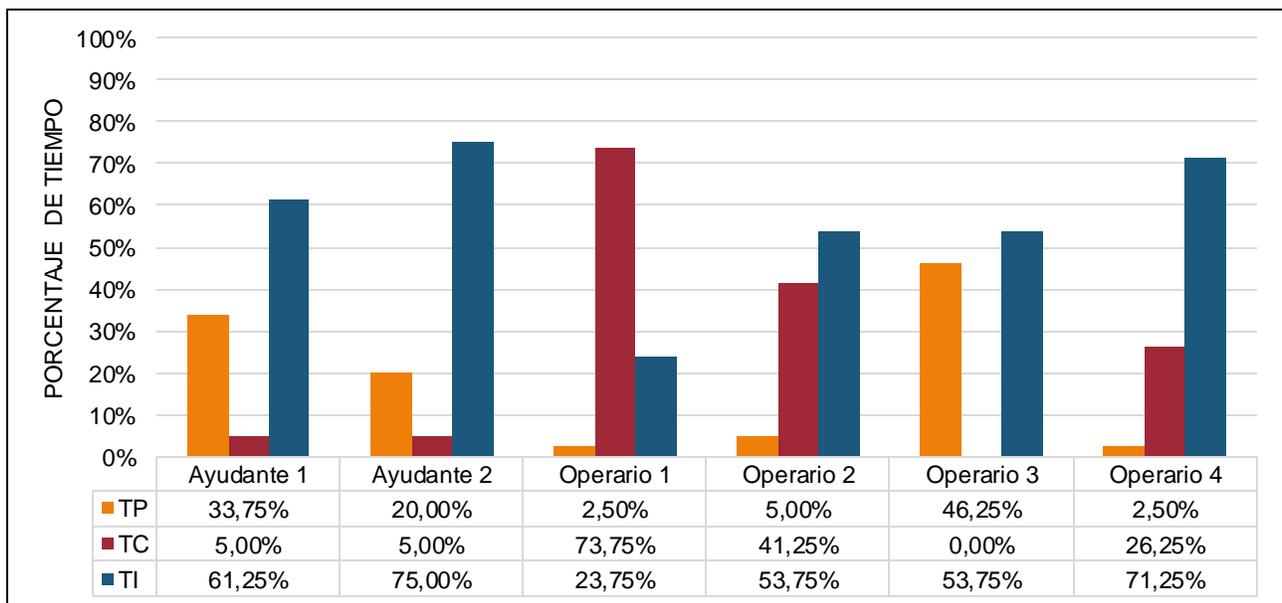


Figura 84. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba estacionaria, muestreo de trabajo #2.

## **RENDIMIENTO COLADO DE ENTREPISO: BOMBA ESTACIONARIA**

El cuadro 35, muestra los rendimientos obtenidos en cada uno de los muestreos de trabajo para el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba estacionaria. El rendimiento esta expresado en horas hombre por metros cúbicos.

La unidad de trabajo corresponde a la cantidad de metros cúbicos de concreto que son colocados durante la medición.

En el apéndice I se muestran los rendimientos obtenidos de manera similar pero en horas ayudante y horas operario y en el apéndice H se muestran los datos utilizados para obtener el factor de incremento de rendimiento.

<b>CUADRO 35. RENDIMIENTO EN HORAS HOMBRE PARA COLADO DE ENTREPISO: BOMBA ESTACIONARIA</b>							
Muestreo	Fecha	Duración	Tiempo neto (h)	Cantidad de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (m3)	Rendimiento (HH/m3)
1	30/8/2016	01:00:00	1,000	5	5,000	5,280	0,947
2	12/9/2016	01:30:27	1,508	6	9,045	4,850	1,865
Rendimiento promedio							1,406
Desviación estándar							0,649
Coeficiente de variación							0,462
Factor de incremento							0,108
Rendimiento final							1,558

La figura 85, muestra una comparación entre los niveles generales de productividad y el rendimiento calculado en el cuadro 35, de acuerdo al día, hora y temperatura de medición de cada

muestreo de trabajo. Las tablas utilizadas para los niveles generales de productividad se muestran en el apéndice E.

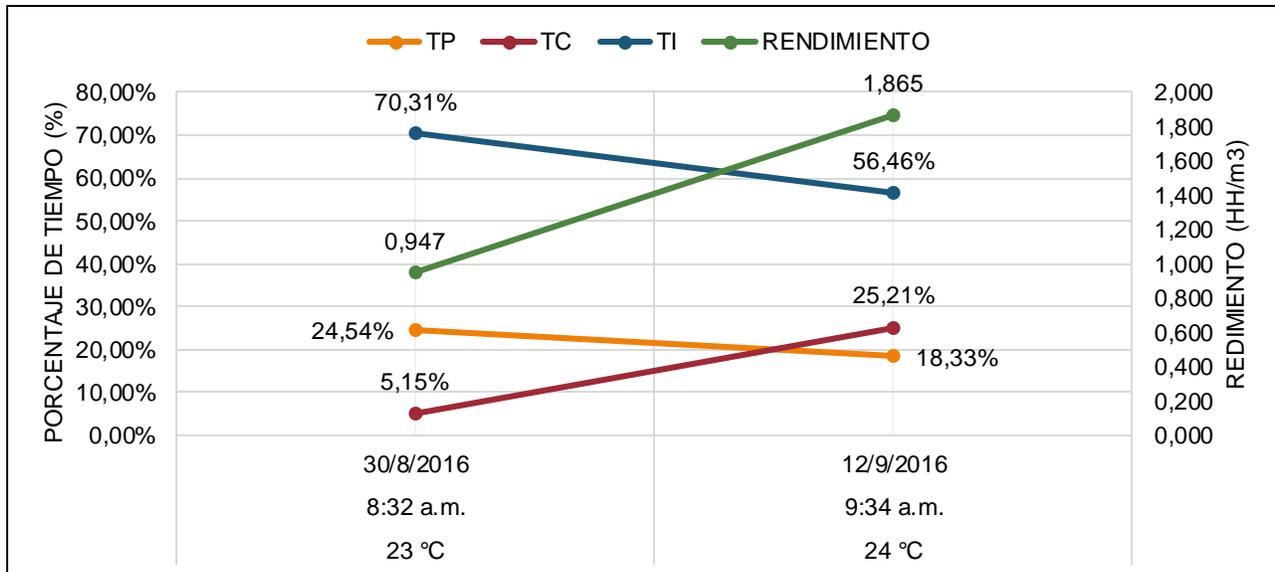


Figura 85. Gráfico comparativo entre los niveles generales de productividad y el rendimiento obtenido en cada muestreo de trabajo para el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba estacionaria.

### **MUESTREO DE TRABAJO #1 COLADO DE ENTREPISO: BOMBA TELESCÓPICA**

En el cuadro 36, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación del muestreo de trabajo #1

para colado de entrepiso utilizando bomba telescópica. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 36. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGUN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL COLADO DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Colocando concreto	34	8,40%
	Vibrando	61	15,06%
	Moviendo tubería	38	9,38%
	Paleando	45	11,11%
TC	Sujetando vibrador	61	15,06%
	Trayendo material	2	0,49%
TI	Esperando para colocar concreto	52	12,84%
	Esperando para vibrar	38	9,38%
	Caminando	1	0,25%
	Hablando	4	0,99%
	Observando	69	17,04%
TOTAL		405	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 86 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 87 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #1.

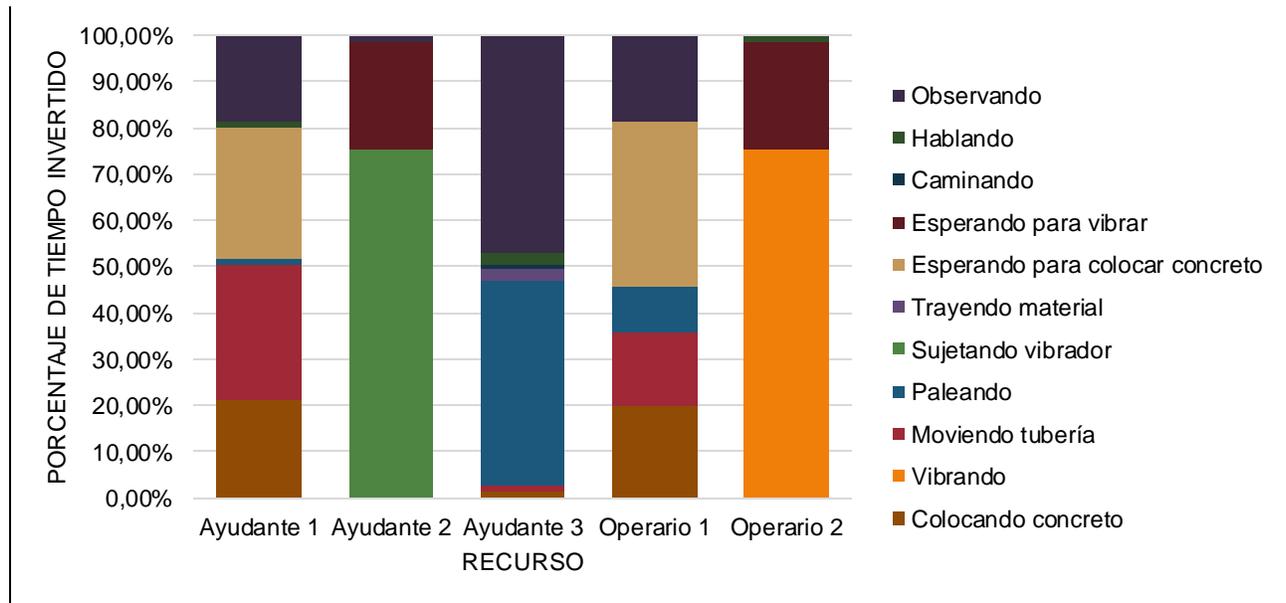


Figura 86. Gráfico crew balance para el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba telescópica, muestreo de trabajo #1.

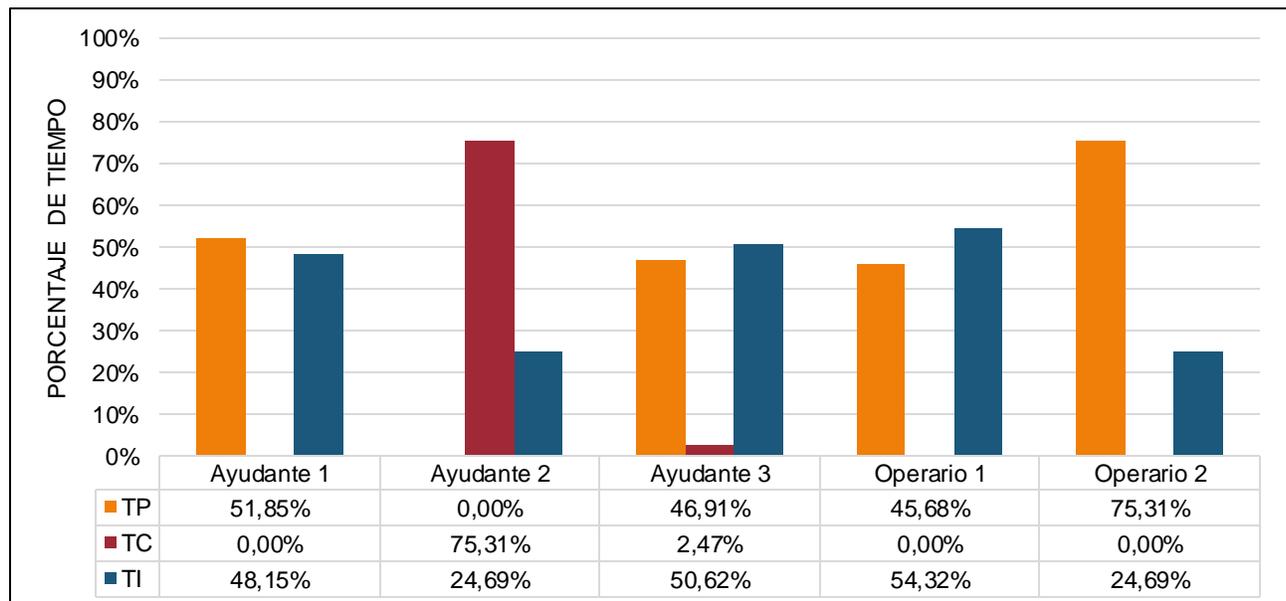


Figura 87. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba telescópica, muestreo de trabajo #1.

## **MUESTREO DE TRABAJO #2**

### **COLADO DE ENTREPISO: BOMBA TELESCÓPICA**

En el cuadro 37, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación del muestreo de trabajo #2

para colado de entrepiso utilizando bomba telescópica. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 37. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL COLADO DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TC	Colocando concreto	41	9,40%
	Vibrando	47	10,78%
	Paleando	20	4,59%
	Moviendo tubería	9	2,06%
TC	Sujetando vibrador	44	10,09%
TI	Esperando para vibrar	71	16,28%
	Esperando para colocar concreto	48	11,01%
	Hablando	1	0,23%
	Caminando	47	10,78%
	Observando	108	24,77%
<b>TOTAL</b>		<b>436</b>	<b>100,00%</b>

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 88 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 89 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #2.

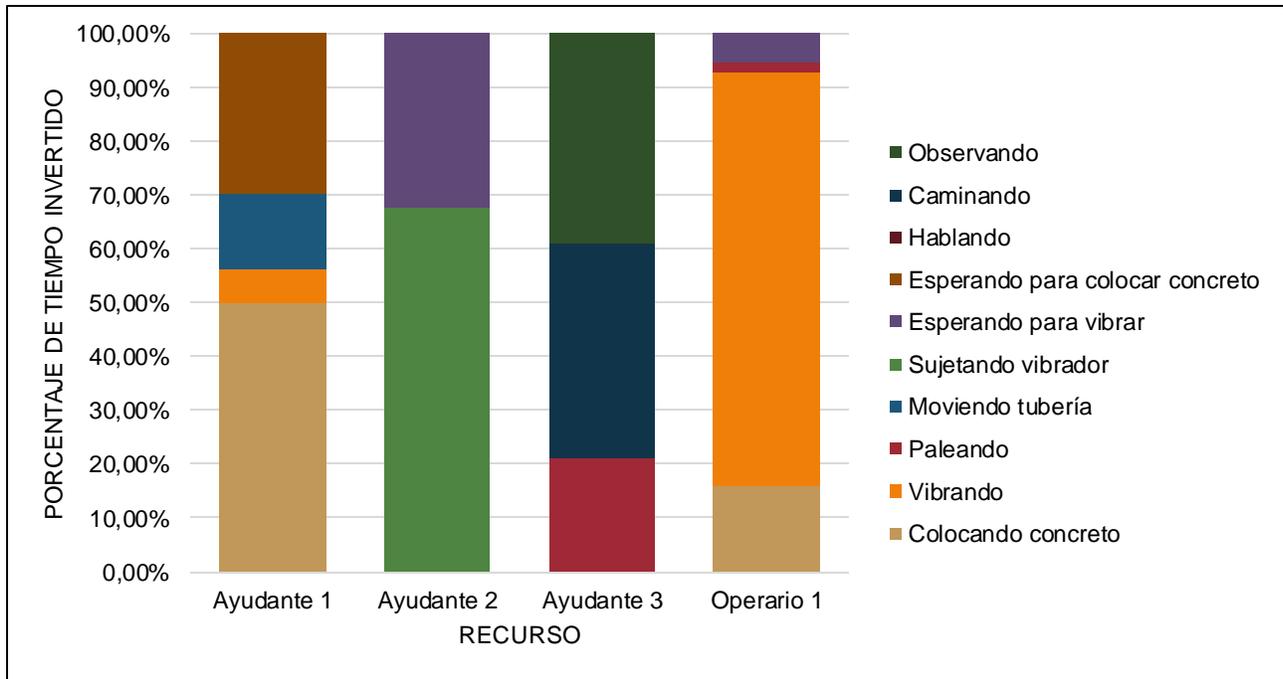


Figura 88. Gráfico crew balance para el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba telescópica, muestreo de trabajo #2.

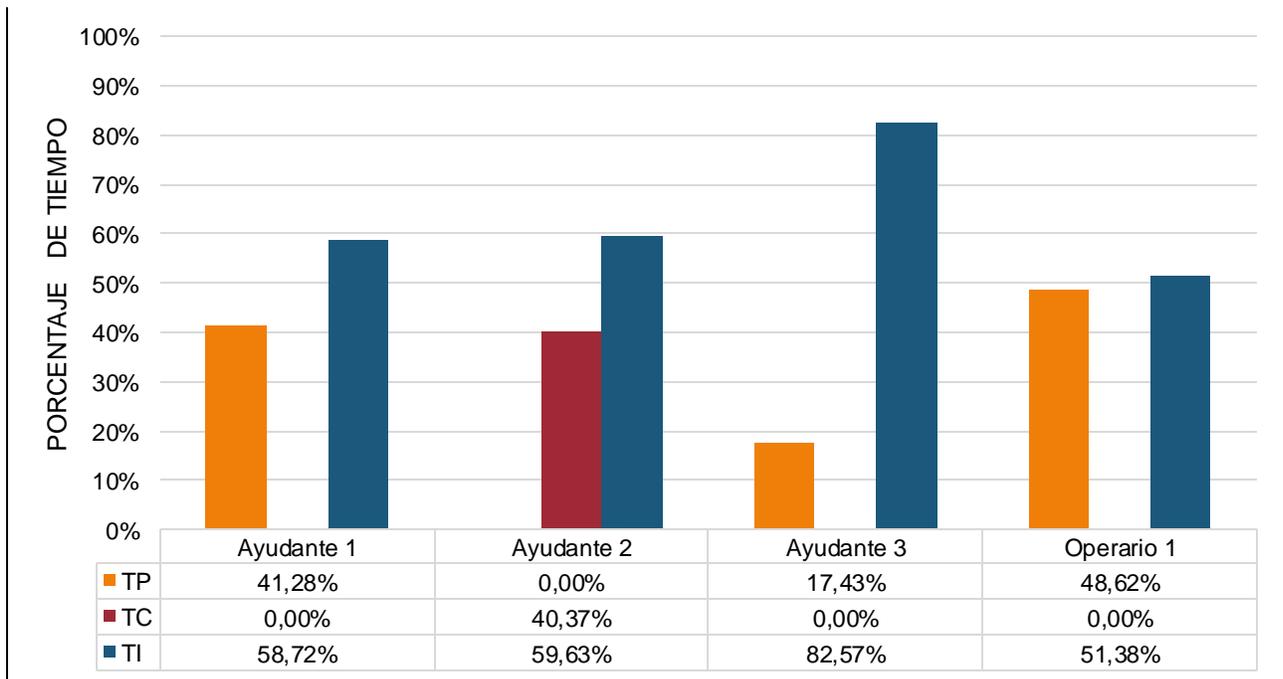


Figura 89. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba telescópica, muestreo de trabajo #2.

### **MUESTREO DE TRABAJO #3** **COLADO DE ENTREPISO: BOMBA TELESCÓPICA**

En el cuadro 38, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación del muestreo de trabajo #3

para colado de entrepiso utilizando bomba telescópica. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 38. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL COLADO DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Colocando concreto	17	4,36%
	Vibrando	76	19,49%
	Moviendo tubería	33	8,46%
	Paleando	15	3,85%
TC	Sujetando vibrador	76	19,49%
TI	Esperando para vibrar	92	23,59%
	Esperando para colocar concreto	38	9,74%
	Caminando	1	0,26%
	Observando	42	10,77%
TOTAL		390	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 90 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 91 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #3.

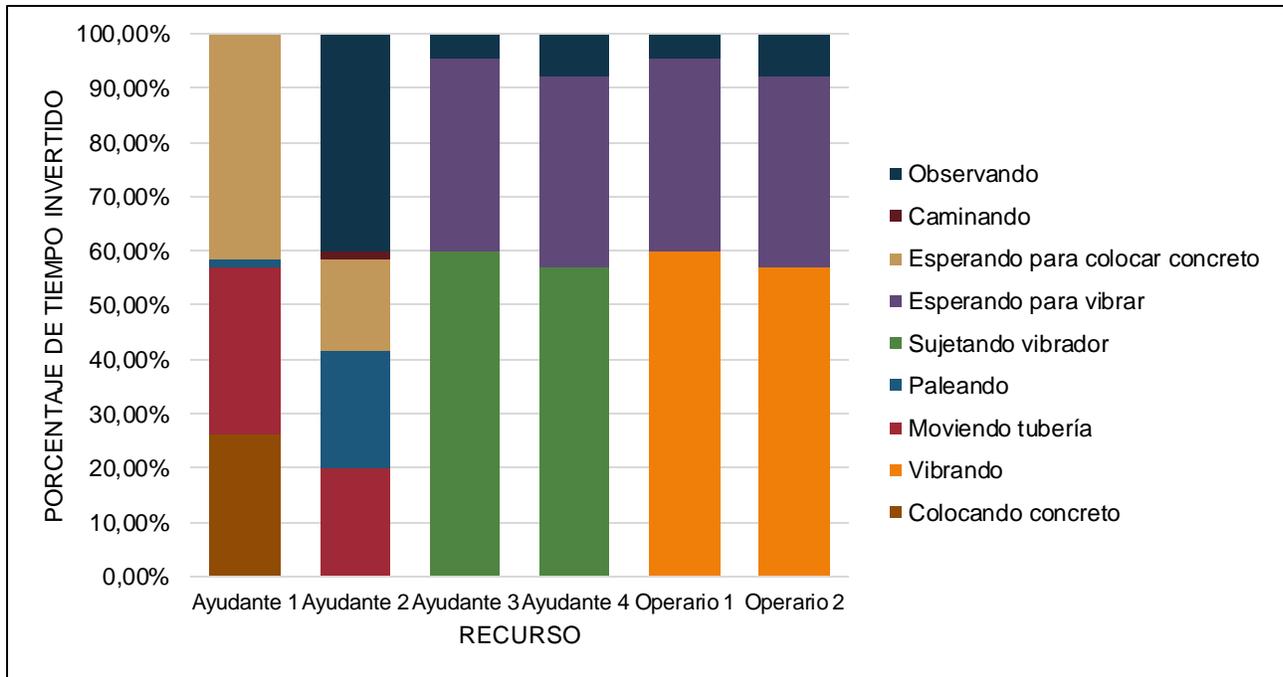


Figura 90. Gráfico crew balance para el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba telescópica, muestreo de trabajo #3.

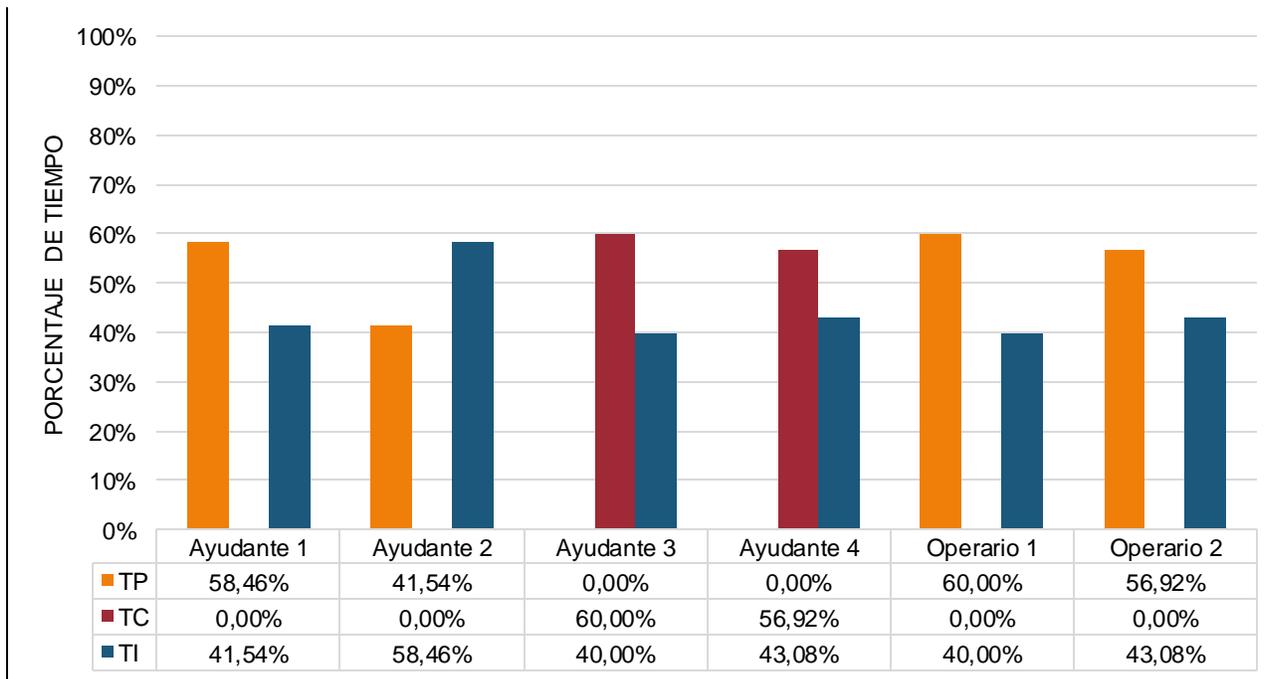


Figura 91. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba telescópica, muestreo de trabajo #3.

## **MUESTREO DE TRABAJO #4**

### **COLADO DE ENTREPISO: BOMBA TELESCÓPICA**

En el cuadro 39, se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación del muestreo de trabajo #4

para colado de entrepiso utilizando bomba telescópica. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

<b>CUADRO 39. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL COLADO DE ENTREPISO</b>			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Colocando concreto	56	14,00%
	Vibrando	55	13,75%
	Moviendo tubería	54	13,50%
	Paleando	10	2,50%
TC	Sujetando vibrador	55	13,75%
TI	Esperando para vibrar	50	12,50%
	Esperando para colocar concreto	38	9,50%
	Observando	82	20,50%
TOTAL		400	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 92 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 93 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributivo (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #4.

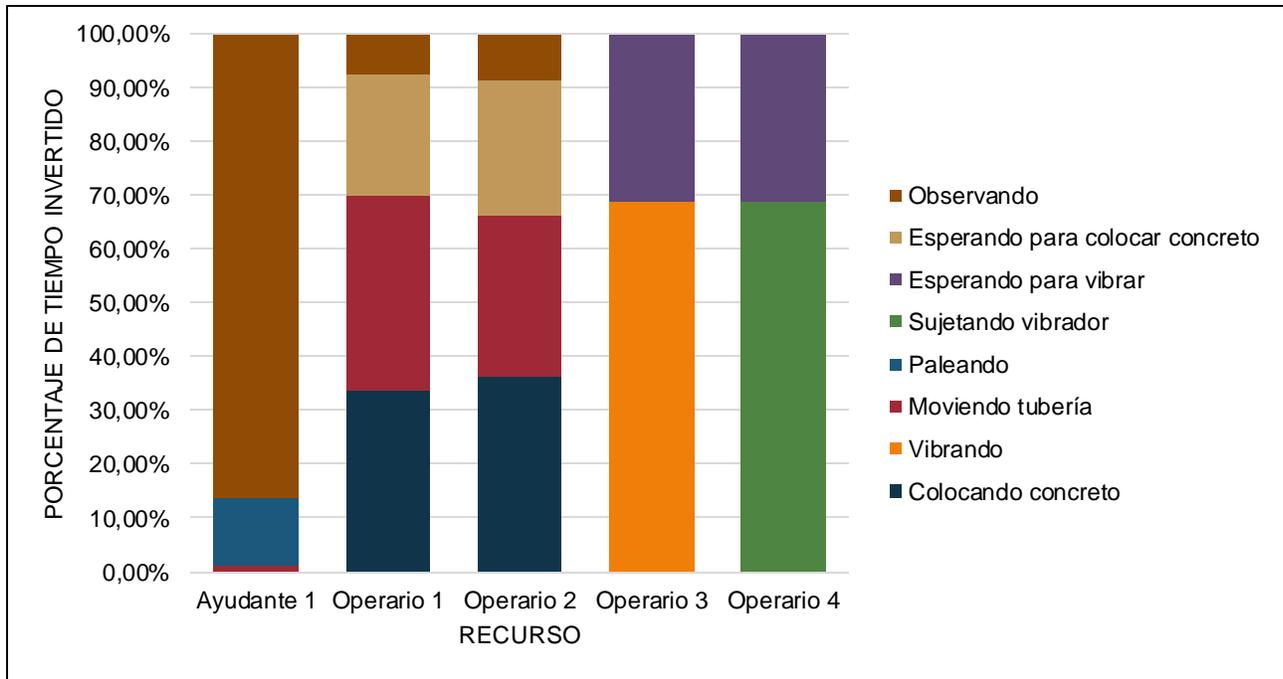


Figura 92. Gráfico crew balance para el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba telescópica, muestreo de trabajo #4.

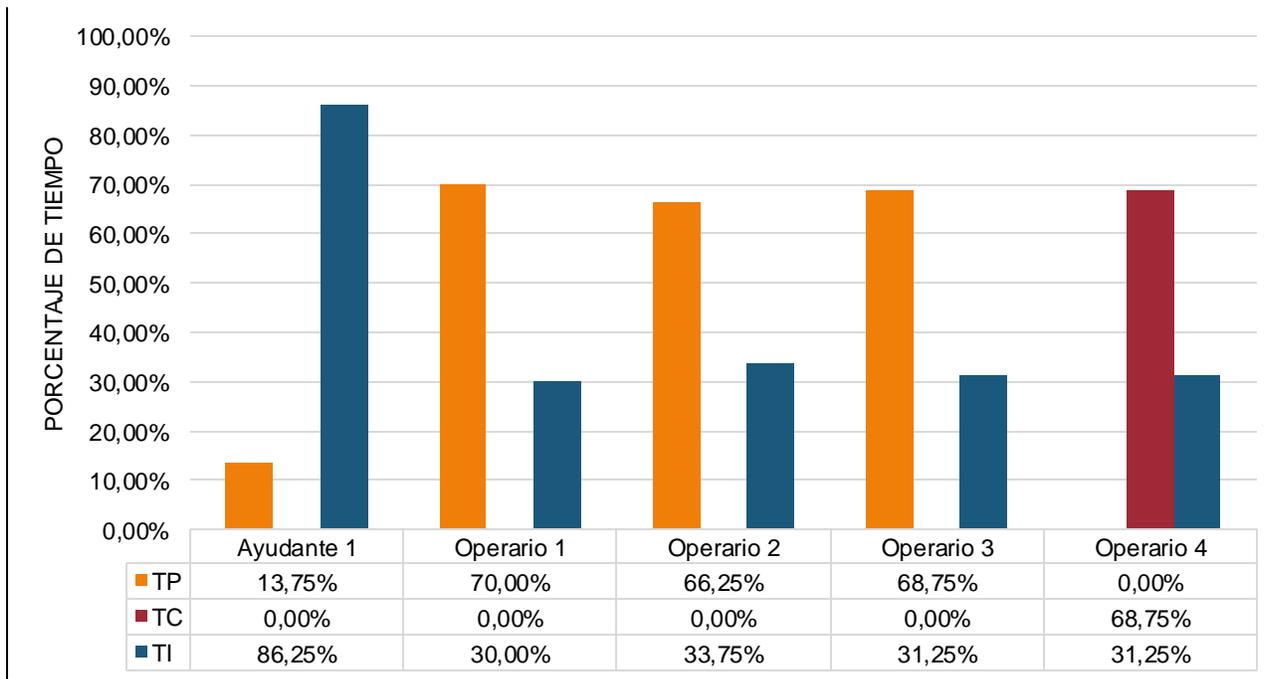


Figura 93. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba telescópica, muestreo de trabajo #4.

## **RENDIMIENTO COLADO DE ENTREPISO: BOMBA TELESCÓPICA**

El cuadro 40, muestra los rendimientos obtenidos en cada uno de los muestreos de trabajo para el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba telescópica. El rendimiento está expresado en horas hombre por metros cúbicos.

La unidad de trabajo corresponde a la cantidad de metros cúbicos de concreto que son colocados durante la medición.

En el apéndice I se muestran los rendimientos obtenidos de manera similar pero en horas ayudante y horas operario y en el apéndice H se muestran los datos utilizados para obtener el factor de incremento de rendimiento.

<b>CUADRO 40. RENDIMIENTO EN HORAS HOMBRE PARA COLADO DE ENTREPISO: BOMBA TELESCÓPICA</b>							
Muestreo	Fecha	Duración	Tiempo neto (h)	Cantidad de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (m <sup>3</sup> )	Rendimiento (HH/m <sup>3</sup> )
1	11/8/2016	01:11:00	1,018	5	5,091	14,500	0,351
2	16/8/2016	01:06:50	1,114	4	4,456	11,800	0,378
3	19/8/2016	01:29:15	1,488	6	8,925	16,000	0,558
4	25/8/2016	01:25:40	1,428	5	7,139	17,000	0,420
Rendimiento promedio							0,427
Desviación estándar							0,092
Coeficiente de variación							0,216
Factor de incremento							0,108
Rendimiento final							0,473

La figura 94, muestra una comparación entre los niveles generales de productividad y el rendimiento calculado en el cuadro 40, de acuerdo al día, hora y temperatura de medición de cada

muestreo de trabajo. Las tablas utilizadas para los niveles generales de productividad se muestran en el apéndice E.

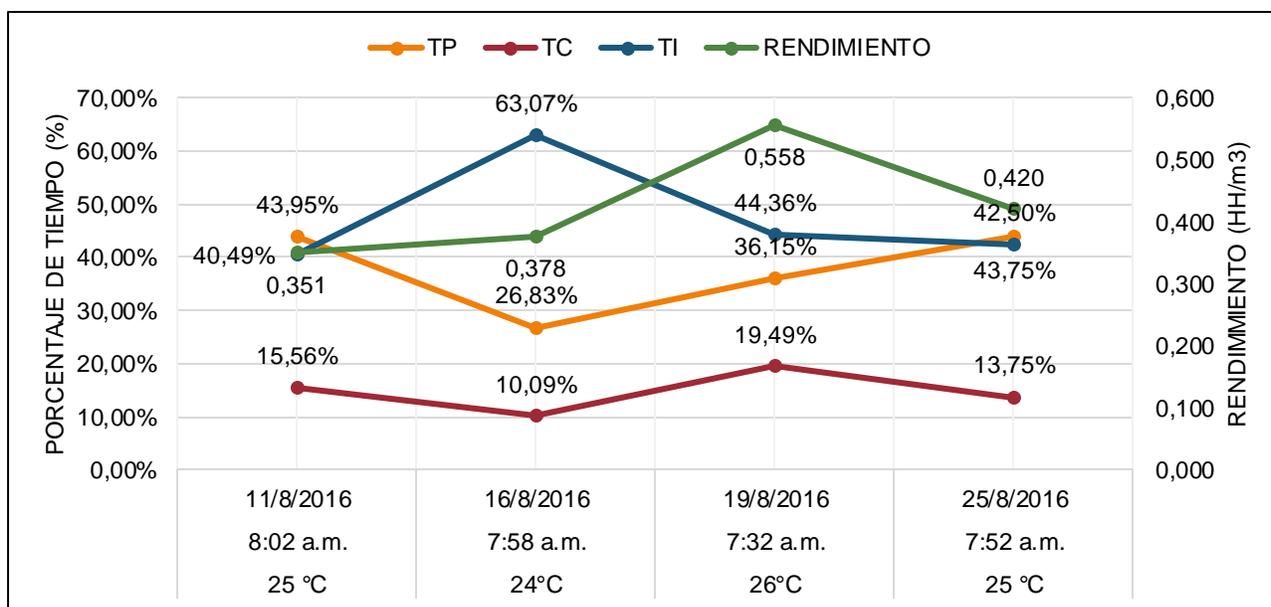


Figura 94. Gráfico comparativo entre los niveles generales de productividad y el rendimiento obtenido en cada muestreo de trabajo para el proceso de colado de entrepiso utilizando bomba estacionaria.

### MUESTREO DE TRABAJO #1 COLADO DE ENTREPISO: PLACING BOOM

En el cuadro 41 se muestran las tareas realizadas por los trabajadores y la clasificación de las mismas en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo improductivo (TI) durante la observación del muestreo de trabajo #1

para colado de entrepiso utilizando placing boom. Además, se incluye la cantidad de observaciones para cada tarea y el porcentaje correspondiente a la totalidad del tiempo observado.

CUADRO 41. PORCENTAJE DE TIEMPO INVERTIDO SEGÚN LAS TAREAS REALIZADAS EN EL COLADO DE ENTREPISO			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones (#)	Porcentaje (%)
TP	Colocando concreto	70	14,00%
	Vibrando	84	16,80%
	Moviendo concreto con el pie	28	5,60%
	Paleando	30	6,00%
TC	Sujetando vibrador	84	16,80%
TI	Esperando para colocar concreto	126	25,20%
	Esperando para vibrar	26	5,20%
	Caminando	12	2,40%
	Hablando	4	0,80%
	Observando	36	7,20%
TOTAL		500	100,00%

La cantidad de observaciones de las diferentes tareas realizadas que se muestran en el cuadro anterior corresponde a la suma de las observaciones de todos los trabajadores involucrados. En la figura 95 se muestra el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador

en las tareas que realizan y de manera más general, en la figura 96 se muestra el gráfico con el porcentaje de tiempo productivo (TP), tiempo contributorio (TC) y tiempo improductivo por trabajador involucrado en el muestreo de trabajo #1.

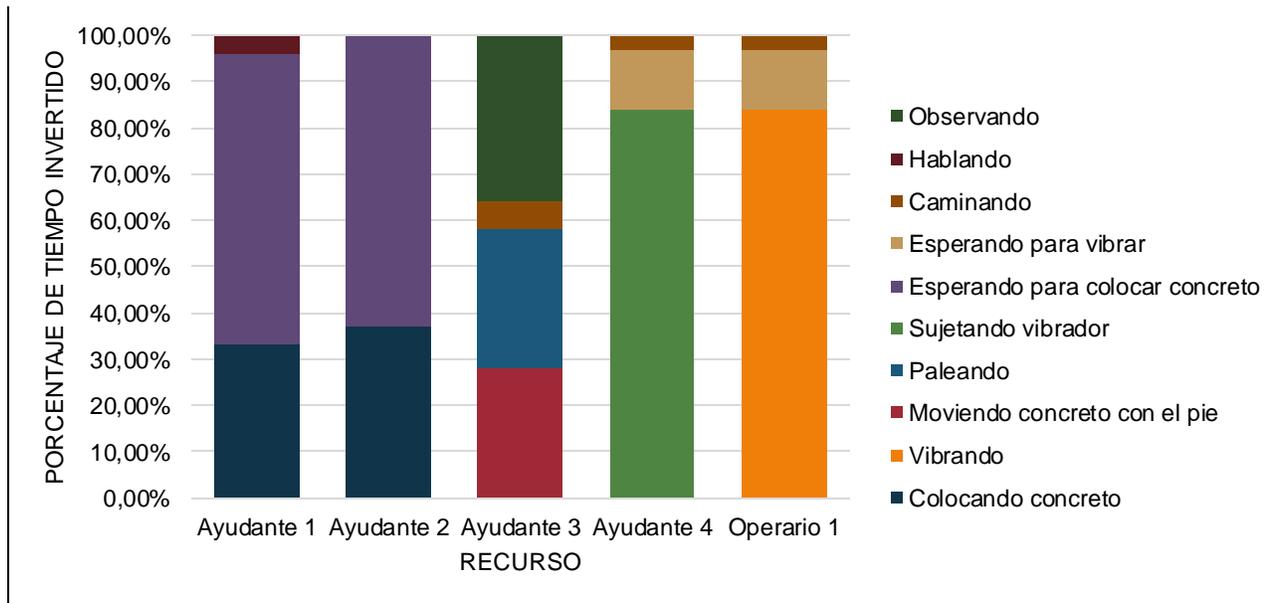


Figura 95. Gráfico crew balance para el proceso de colado de entepiso utilizando placing boom, muestreo de trabajo #1.

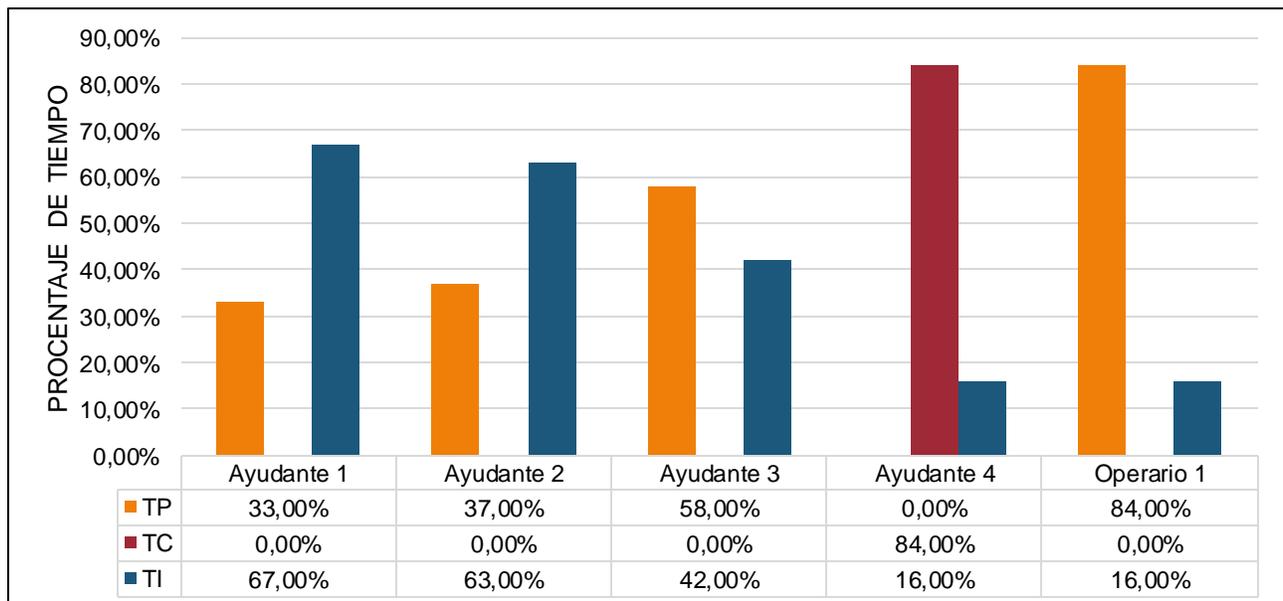


Figura 96. Porcentaje de productividad observado en cada trabajador involucrado en el proceso de colado de entepiso utilizando placing boom, muestreo de trabajo #1.

De manera más general, se puede apreciar en la figura 97 los niveles de productividad obtenidos durante el muestreo de trabajo #1 utilizando

placing boom. Las tablas utilizadas se pueden encontrar en el apéndice E.

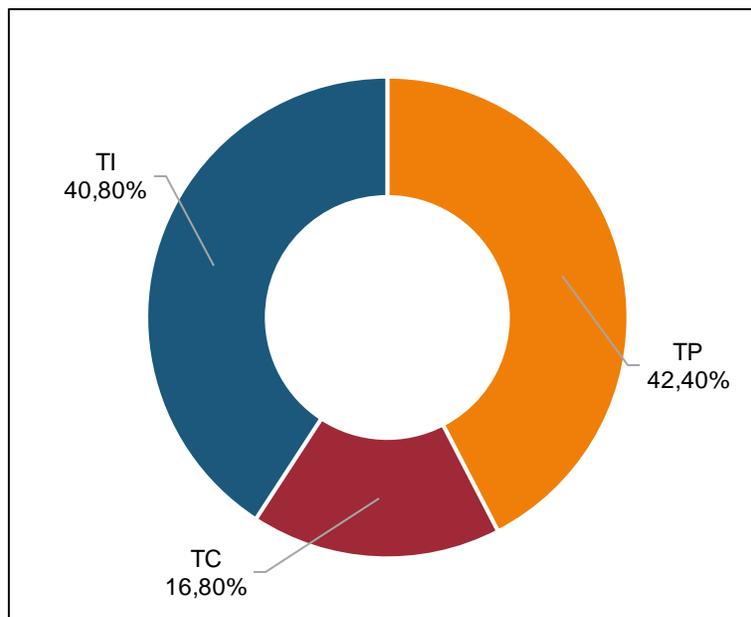


Figura 97. Porcentaje de productividad general observado en el proceso de colado de entrepiso utilizando placing boom, muestreo de trabajo #1.

### **RENDIMIENTO COLADO DE ENTREPISO: PLACING BOOM**

El cuadro 42, muestra el rendimiento obtenido en el único muestreo de trabajo para el proceso de colado de entrepiso utilizando placing boom. El rendimiento está expresado en horas hombre por metros cúbicos.

La unidad de trabajo corresponde a la cantidad de metros cúbicos de concreto que son colocados durante la medición.

En el apéndice I se muestran el rendimiento obtenido de manera similar pero en horas ayudante y horas operario y en el apéndice H se muestran los datos utilizados para obtener el factor de incremento de rendimiento.

<b>CUADRO 42. RENDIMIENTO EN HORAS HOMBRE PARA COLADO DE ENTREPISO: PLACING BOOM</b>							
Muestreo	Fecha	Duración	Tiempo neto (h)	Cantidad de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (m3)	Rendimiento (HH/m3)
1	4/10/2016	00:23:20	0,389	5	1,944	7,000	0,278
Factor de incremento							0,108
Rendimiento final							0,308

# Factores que afectan la productividad

En el cuadro 43 se presentan los factores que afectan la eficiencia y eficacia en la elaboración de las tareas de los trabajadores y que provocan una disminución en la productividad. La lista de los siguientes factores fueron determinados a través

de la observación en los diferentes muestreos de trabajo.

Las respuestas obtenidas a partir de las encuestas realizadas se representan en los siguientes gráficos de las figuras 98 a 107, en donde 7 de las encuestas fueron realizadas en torre sur y 6 en torre norte. Las encuestas se realizaron tanto a ayudantes como operarios de los procesos constructivos en estudio.

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

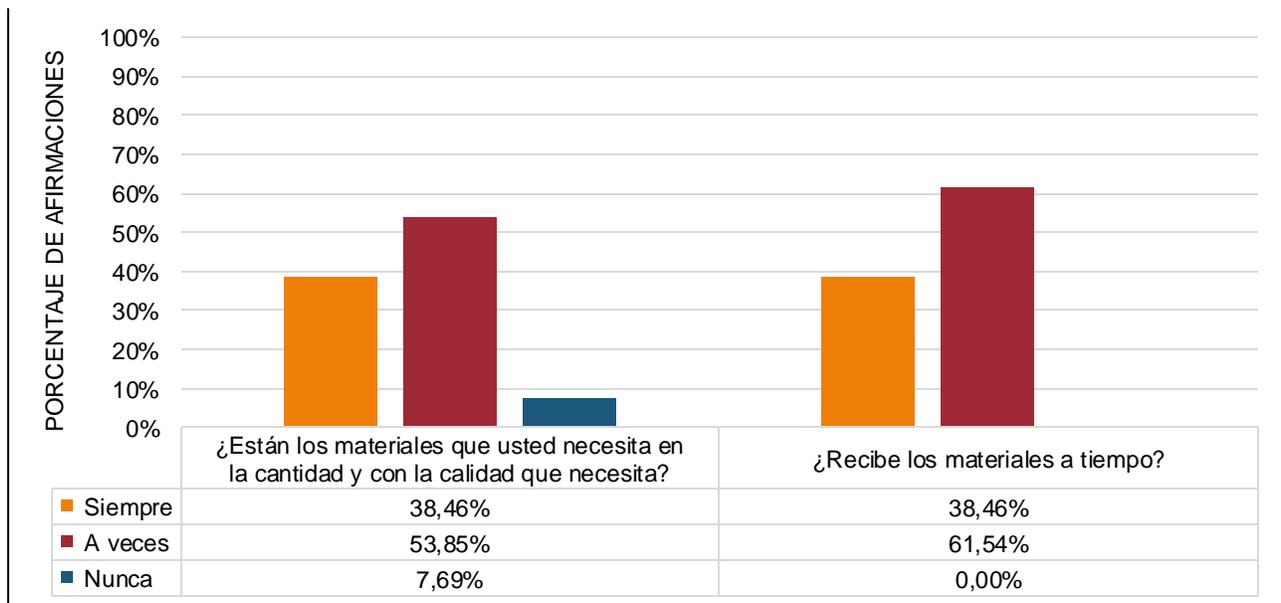


Figura 98. Asignación de materiales

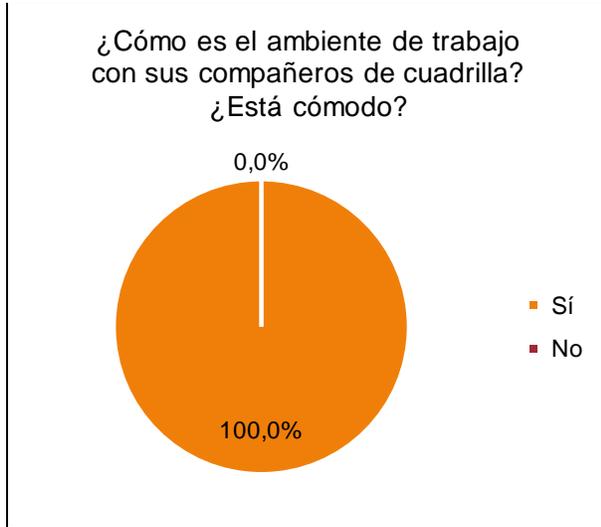


Figura 99. Ambiente de trabajo en la cuadrilla

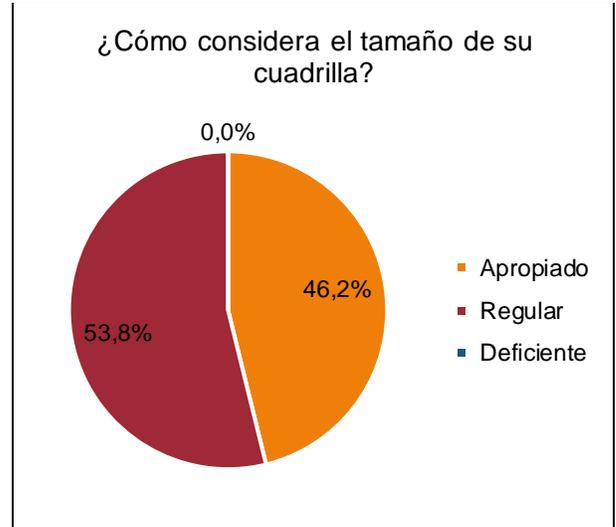


Figura 100. Tamaño de cuadrilla

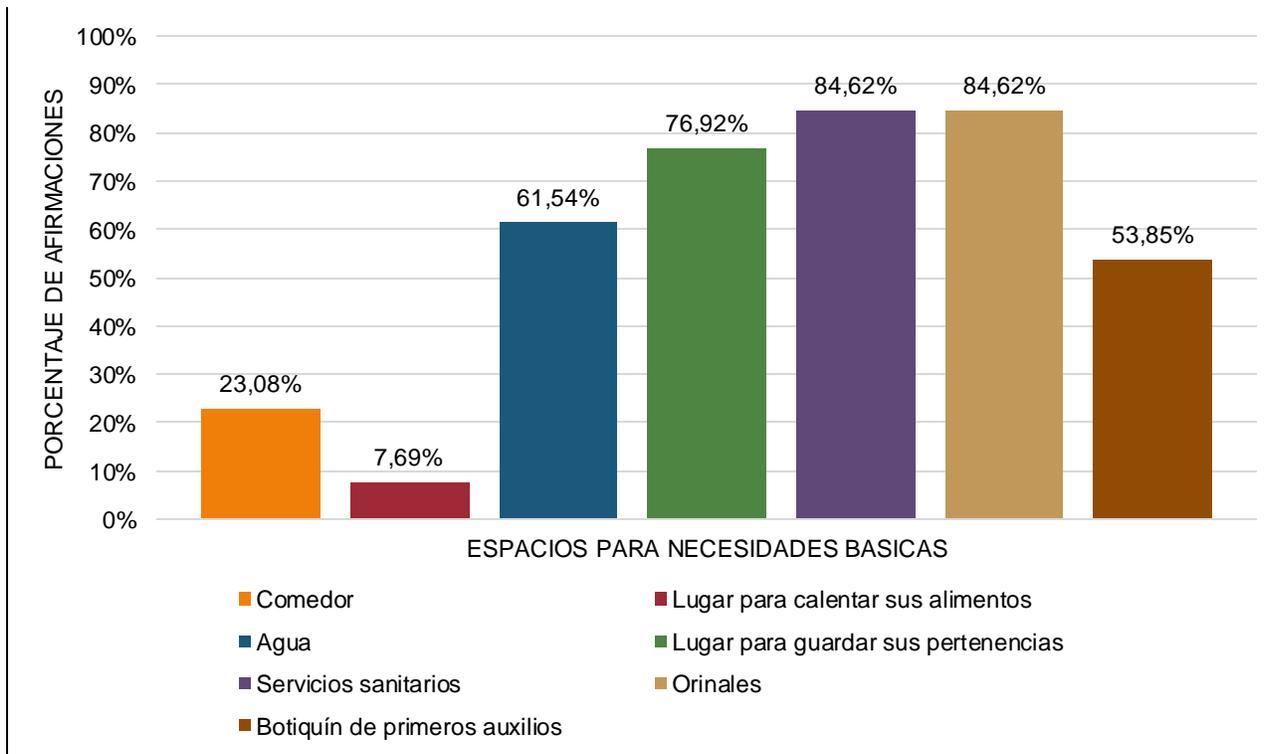


Figura 101. Existencia de espacios para necesidades básicas.

¿Se encuentran las áreas de uso común (baños, comedor, etc.) cerca del puesto de trabajo?

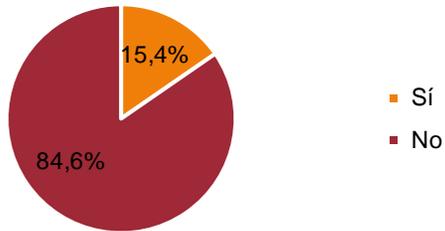


Figura 102. Cercanía de las áreas de uso común.

¿Recibe capacitación o algún tipo de indicación previa al iniciar alguna tarea sea nueva o no?

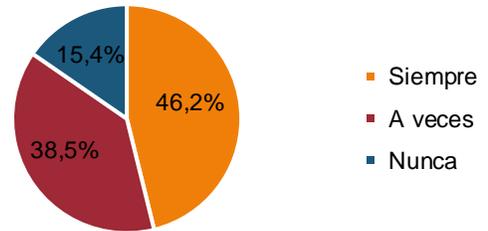


Figura 105. Capacitación del personal

¿Recibe su salario a tiempo?

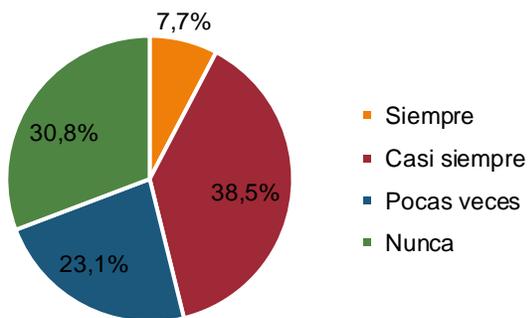


Figura 103. Pago de salario.

¿Cree usted que se desperdician materiales en la labor que realizan?

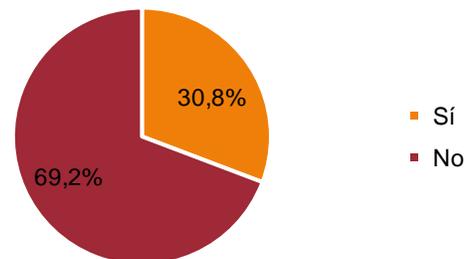


Figura 106. Desperdicio de materiales

¿Cómo considera que son las condiciones de seguridad?

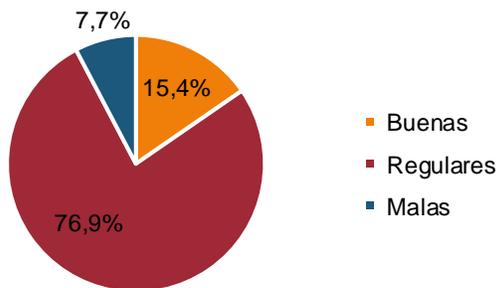


Figura 104. Condiciones de seguridad de los trabajadores.

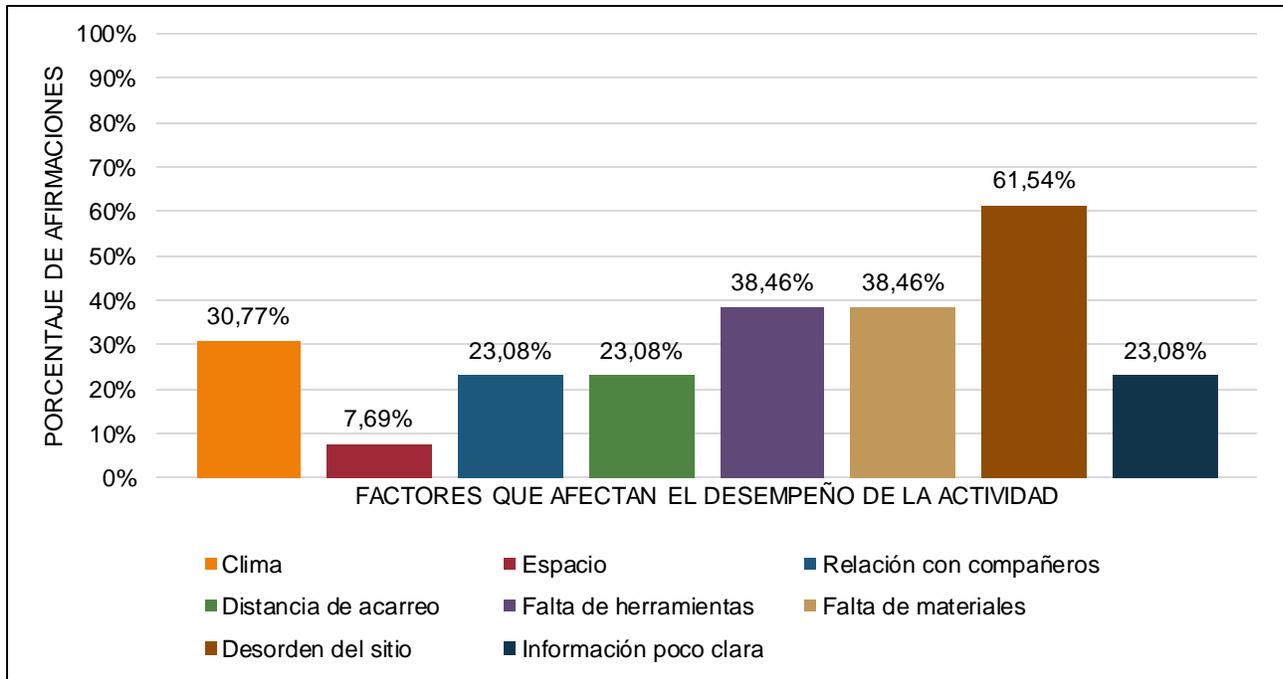


Figura 107. Factores que afectan el desempeño de los trabajadores en la realización de la actividad.

En la figura 108, se muestra el diagrama de Ishikawa construido a partir de las causas que provocan una disminución en la productividad en la construcción y que fueron determinadas por las

encuestas y por medio de las observaciones de los muestreos de trabajo. Estas causas permiten posteriormente el mejoramiento de los procesos constructivos.

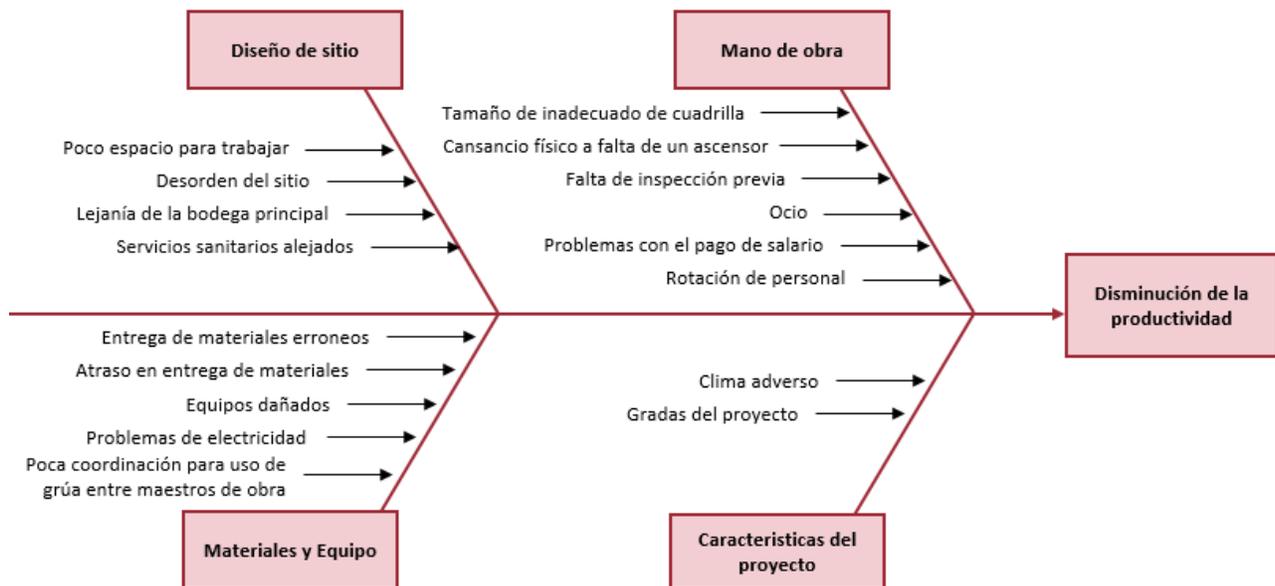


Figura 108. Diagrama de Ishikawa

## Mejoramiento de la productividad

Utilizando el diagrama de Ishikawa mostrado en la figura 108, se realizó una lista con las soluciones que permiten mejorar la productividad, la cual se muestra a continuación:

- Limpieza constante del sitio de trabajo.
- Remoción y almacenamiento de paneles de formaleta de forma ordenada, y traslado con la grúa de forma inmediata.
- Creación de servicios sanitarios cerca del sitio de trabajo, tanto para los que trabajan en el último nivel construido como para aquellos que trabajan en niveles inferiores.
- Traslado de la bodega principal a niveles superiores.
- Coordinar la entrega de los materiales según la hora de inicio del proceso constructivo.
- Enviar especificaciones detalladas a la planta de prefabricados y verificar con los ingenieros de proyecto las dimensiones solicitadas.
- Revisar periódicamente el estado de los equipos y contar con equipos de repuesto.
- Realizar una programación semanal detallada sobre el uso de la grúa.
- Conformar cuadrillas de acuerdo a las necesidades del proceso.
- Realizar una inspección una vez finalizado el proceso constructivo para que al inicio del próximo proceso, no existan atrasos.
- Charla sobre el uso del equipo de marcación de hora de entrada y hora de salida del trabajo.
- Instalación de dos ascensores, uno para cada torre.
- Supervisar las actividades de los trabajadores para evitar tiempos improductivos a causa del ocio.
- Motivar y capacitar constantemente a los trabajadores para disminuir la rotación del personal.

## Base de datos para rendimientos

Con los datos obtenidos de los rendimientos, en horas hombre y horas operario, para cada uno de los procesos en estudio, se construyó una base de datos que permite ingresar datos de rendimientos para futuros procesos constructivos o consultar los rendimientos agregados en el sistema para poder realizar el cálculo del costo de la mano de obra que el sistema también realiza.

En las figuras 109 se muestra el menú principal de esta base de datos y en las figuras 110, 111 y 112 se muestran las ventanas para agregar un nuevo proyecto, actividad o rendimiento asociado a un proceso constructivo respectivamente. En la figura 113 se muestra la ventana para el cálculo del costo de la mano de obra.



Figura 109. Menú principal de la base de datos

**SOLÍS**

## Proyecto Nuevo

Id Proyecto: (Nuevo)

Nombre del proyecto:

Ubicación:

Área:  m2

Monto:

Fecha de inicio:

Descripción del proyecto:

Figura 110. Ventana para agregar un nuevo proyecto

**SOLÍS**

## Actividad Nueva

Id Actividad: (Nuevo)

Id Proyecto:

Nombre de la actividad:

Figura 111. Ventana para agregar una nueva actividad

**SOLÍS**

## Proceso Nuevo

Id Proceso: (Nuevo)

Proyecto:

Actividad:

Nombre del proceso:

**Rendimientos obtenidos en el proceso:**

Peon:

Ayudante:

Operario:

Medida: hr/

Figura 112. Ventana para agregar los rendimientos asociados a un nuevo proceso constructivo

**SOLÍS**

## Calcular el Costo de la Mano de Obra

Id Mano de Obra: (Nuevo)

Proyecto: [dropdown]

Actividad: [dropdown] Cantidad de Trabajo: [input] [input]

Proceso: [dropdown]

	Rendimiento	Cantidad	Salario
Peón	[input: 0]	[input: 0]	[input: ₡0]
Ayudante	[input: 0]	[input: 0]	[input: ₡0]
Operario	[input: 0]	[input: 0]	[input: ₡0]

**Resultados:**

Costo Peón: [input]

Costo Ayudante: [input]

Costo Operario: [input]

Costo Total: [input]

Figura 113. Ventana para calcular el costo de la mano de obra

En el apéndice I se muestran los datos de rendimientos calculados en horas ayudante y horas operario y que fueron introducidos en la base de datos. En el apéndice K llamado “manual de usuario para utilizar la base de datos de

rendimientos” se explica la manera de correcta para ingresar los datos, realizar consultas de rendimientos y calcular el costo de la mano de obra.

# Análisis de resultados

## Entrepiso

En la figura 18 se muestra el diagrama de flujo general para la actividad de entrepiso, la cual está conformada por los procesos constructivos en estudio como: colocación de obra falsa, montaje de vigas y losas prefabricadas y colado de entrepiso. Este diagrama muestra la secuencia correcta en cómo se debe de realizar los diferentes procesos mostrados en rectángulo.

En el cuadro 1 se muestran los recursos como mano de obra, materiales y equipo necesarios para realizar los procesos constructivos analizados. Los materiales y equipos se determinaron por observación en los diferentes muestreos de trabajo, mientras que la cantidad de operarios y ayudantes que deben de conformar la cuadrilla se determinó de acuerdo a la cuadrilla más efectiva y eficiente en la realización del proceso, esto debido a que durante los muestreos de trabajo, participaban diferente cantidad de trabajadores.

Es necesario que se asegure que los materiales, como el concreto, vigas y losas prefabricadas, se encuentren en el sitio de trabajo en el momento y hora en que se requieren y que los equipos se encuentren en correcto funcionamiento, como el vibrador, para evitar atrasos en los procesos y en el desarrollo de las tareas.

## Colocación de obra falsa de entrepiso

En la figura 19 se muestra el diagrama de flujo para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso en donde se detalla el orden en que las tareas deben desarrollarse para que el proceso se realice de manera rápida y ágil. Como primera tarea se deben escoger la estructura de obra falsa a utilizar de acuerdo al elemento prefabricado que

irá a soportar, ya sea utilizando andamios o puntales, viguetas de madera o viguetas metálicas; y transportarlo al lugar donde se irá a colocar. Una vez armada la estructura se debe verificar que la altura de las viguetas sea la correcta pues de esta tarea dependerá que no existan atrasos en el próximo proceso constructivo que corresponde al montaje de vigas prefabricadas.

En relación con la cantidad de muestreos realizados para este proceso, se realizaron nueve muestreos de trabajo en conjunto con las dos torres de apartamentos. Cuatro de los nueve muestreos se realizaron en torre norte y los cinco restantes en torre sur.

En los cuadros 2 al 10 se muestra la lista con tareas realizadas por los trabajadores involucrados en el proceso y clasificadas según el tipo de trabajo, la cantidad de observaciones y el porcentaje correspondiente de tiempo invertido por tarea.

Los muestreos de trabajo realizados para la colocación de obra falsa se caracterizaron por utilizar diferente combinación de cuadrillas. Algunas se conformaron por 2 ayudantes y 1 operario mientras que otras por 1 ayudante y 2 operarios. También se dieron casos en que la cuadrilla la conformaban solamente 2 ayudantes y otras cuadrillas solamente estuvieron conformadas por 2 operarios, o 1 ayudante y 1 operario.

Sin embargo, existe un patrón que permitió agrupar los muestreos de trabajo para analizar mejor los resultados. En torre norte generalmente la colocación de obra falsa era un proceso que realizaban los ayudantes y que pocas veces se daba la participación de un operario. En torre sur, por el contrario, en la colocación de obra falsa era trabajo realizado principalmente por operarios. Lo anterior se muestra en la primera tabla del apéndice F.

Para el primer muestreo, realizado en torre norte, participaron tres trabajadores, dos ayudantes y un operario. En la figura 20 y 21 se

puede apreciar que el ayudante 1 y el operario 1 realizan principalmente el trabajo productivo con un 68,70% y un 64,12% respectivamente mientras que el ayudante 2 desempeña principalmente trabajo contributorio con un 44,27% realizando tareas como trayendo material, cargando material y haciendo amarras.

Este muestreo de trabajo #1 se caracteriza por el armado de puntales y colocación de viguetas de madera mientras que el muestreo de trabajo #2 consistió principalmente en el armado de andamios.

Según la figura 22 y 23, el operario 1 realiza el trabajo productivo con un 68,27% y el ayudante 1 el trabajo contributorio con un 44,58%. En este muestreo de trabajo #2, el porcentaje de productividad disminuye con respecto al muestreo de trabajo #1 y uno de los factores que pesa en esta medición es la hora y la temperatura en que se realizaron las observaciones, esta última al ser de 28°C. Además, a la hora de las observaciones, el orinal se encontraba cerca de la zona de trabajo y el calor provocaba que existiera un fuerte olor desagradable para todos los que nos encontrábamos presentes, disminuyendo así, la productividad.

En el muestreo de trabajo #3, de acuerdo con el cuadro 4 y la figura 24, invierten en conjunto 23,88% en la tarea de limpieza del área de trabajo. Uno de los mayores problemas que se enfrentan los trabajadores encargados de la colocación de obra falsa es el desorden de formaleta en el sitio de trabajo, pues una vez que se decide remover la formaleta de los muros y columnas, se inicia con el proceso de colocación de obra falsa y generalmente, en los lugares en donde se tiene previsto armar los andamios o colocar los puntales, está almacenada la formaleta. Esta formaleta debe ser retirada por la grúa con anterioridad para que los trabajadores no tengan que invertir tiempo en mover los elementos para poder armar la estructura de obra falsa.

Por esta razón, en el muestreo de trabajo #3, el trabajo productivo representa un 18,46% y en la figura 36, donde se muestran los niveles generales de productividad, se observa la caída en el porcentaje de trabajo productivo con respecto a los dos muestreos de trabajo anteriores.

En el cuadro 5 del muestreo de trabajo #4, la tarea que más se realiza es la colocación de alambre negro con un 20,56% lo cual se refleja en la figura 26 del gráfico crew balance, seguidamente de la tarea observando con 15,99%

dando como resultado un porcentaje de tiempo productivo del 58,88% para el ayudante 1 y un 42,13% para el ayudante 2. (Figura 27).

En relación con el muestreo de trabajo #5, la figura 28 muestra que las tareas que mayor realizan los trabajadores son armando andamio y trayendo material, esta última con un porcentaje de tiempo contributorio de 15,74% para el operario 1 y un 26,85% para el operario 2.

Realizando una comparación entre el muestreo de trabajo #2 y el muestreo de trabajo #5, ambos realizados en torre sur en el tramo 3-4, se puede observar que, a pesar de que ambos muestreos son realizados con diferente cantidad de personas en la cuadrilla, ambos presentan un porcentaje de trabajo productivo cercano al 48%, un trabajo contributorio del 31% y un porcentaje de trabajo improductivo del 21%. Ambos muestreos se realizaron en horas de la tarde, con un mes de diferencia y lo más importante de resaltar es que uno fue realizado con una temperatura de 28°C y otro con una temperatura de 23°C. Esta comparación se puede apreciar en la figura 38.

Para el muestreo de trabajo #6 se realizaron 600 observaciones, de acuerdo al cuadro 7, en donde 99 fueron dedicadas a la limpieza del área de trabajo y 98 a armar el andamio pero 251 observaciones correspondieron a trabajo improductivo realizado. Lo anterior se refleja en la figura 30 y 31, en donde el porcentaje de trabajo improductivo para el ayudante 1 es de un 45% mientras que el porcentaje de trabajo improductivo para el ayudante 2 es de un 38,67%.

Durante la observación del muestreo de trabajo #6, realizado en torre norte, los trabajadores decidieron tomarse un tiempo de descanso de aproximadamente 20 minutos, equivalente al 25% de las observaciones totales, dando como resultado el segundo muestreo de trabajo con el porcentaje de trabajo productivo más bajo y el primero con el mayor porcentaje de trabajo improductivo.

En el muestreo de trabajo #7 se realizó en torre sur y se obtuvieron porcentajes de tiempo productivo, según la figura 33, del 16,92%; 35,38% y 64,62% para el ayudante 1, operario 1 y operario 2 respectivamente. El bajo porcentaje de trabajo productivo obtenido para el ayudante 1 se debió a la ausencia de este trabajador para ir al servicio sanitario ubicado en el primer nivel.

En el muestreo de trabajo #8 participaron 2 operarios en donde las tareas con mayor porcentaje de tiempo fueron: ajustando altura de

andamio con un 19,75%; haciendo amarras y trayendo material con un 12,75% cada uno y colocando alambre negro con un 12,25%.

Los datos anteriores se reflejan en la figura 34 del gráfico de crew balance y en la figura 35 sobre los niveles de productividad por trabajador, donde el operario 1 realiza el 49,5% de su tiempo trabajo productivo y el operario 2 realiza casi en igual cantidad trabajo productivo y contributorio con un porcentaje cercano al 45%.

El muestreo de trabajo #4 y muestreo de trabajo #8 se diferencian en que uno utiliza dos ayudantes para realizar el proceso de colocación de obra falsa mientras que el otro utiliza dos operarios. Para el muestreo de trabajo #4, el porcentaje de tiempo productivo es del 50,51% pero el porcentaje de trabajo improductivo es del 28,90%. Para el muestreo de trabajo #8, el porcentaje de tiempo productivo es del 44,25%, menor al del muestreo de trabajo #4, pero con un porcentaje de tiempo improductivo del 17,60%. Ambos invierten cerca del 50% del tiempo realizando tareas productivas pero la cuadrilla con los dos operarios gasta menos tiempo realizando tareas improductivas. Ambos muestreos se realizaron en horas de la mañana a temperaturas similares.

Para el muestreo de trabajo #9, realizado en torre norte con una cuadrilla de dos ayudantes, el ayudante 1 realizó trabajo productivo el 64,25% del tiempo observado; 3,63% trabajo contributorio y un 32,12% de trabajo improductivo, realizando tareas como observando y esperando el material que el ayudante 2 fue a buscar. Por esa razón, el ayudante 2 realiza únicamente trabajo productivo en un 34,72%; trabajo contributorio en un 45,06% y trabajo improductivo en un 20,21%. Lo anterior se muestra en la figura 36 y 37.

Finalmente, en relación a los rendimientos obtenidos para cada uno de los muestreos de trabajo, el cuadro 11 muestra la fecha en que los muestreos de trabajo se realizaron, la duración de la observación, la cantidad de trabajadores involucrados (sin realizar diferencia entre el puesto de trabajo) y la cantidad de trabajo realizado durante la observación. Los datos anteriores permitieron calcular el rendimiento de cada muestreo y el rendimiento final de acuerdo al procedimiento descrito en el marco teórico.

Los datos extremos eliminados para poder realizar el análisis estadístico se encuentran marcados en color rojo en el cuadro 11.

Se obtuvo un rendimiento final de 0,141 horas hombre por metro lineal en donde la unidad de medición corresponde a la cantidad de metros lineales de obra falsa que se armaron para el montaje de vigas prefabricadas.

En el apéndice I se muestra que el rendimiento obtenido en horas operario por metro lineal fue de 0,192 y en horas ayudante por metro lineal fue de 0,159. Los valores obtenidos anteriormente se utilizan para incluirlos en la base de datos de rendimientos.

La figura 38 muestra la comparación entre los niveles generales de productividad y el rendimiento obtenido en cada muestreo de trabajo para el proceso de colocación de obra falsa.

Se puede apreciar que el mayor rendimiento se obtuvo en el muestreo de trabajo #1 con un rendimiento de 0,089 HH/ml y que a su vez, se obtuvo el mayor porcentaje de trabajo productivo con un 55,22%.

El mejor rendimiento se obtuvo en el muestreo de trabajo #7 con un valor de 0,741 HH/ml; sin embargo, no fue el muestreo de trabajo con el menor porcentaje de tiempo productivo pero sí con el segundo mayor porcentaje de trabajo improductivo con un 37,95%.

El muestreo de trabajo #6, al obtener el mayor porcentaje de trabajo improductivo con un 41,83%; obtuvo un rendimiento del 0,136 HH/ml, cercano al rendimiento final obtenido de 0,141 HH/ml.

Como se mencionó al inicio, al existir tanta variación entre las cuadrillas que realizan el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso, los resultados obtenidos y reflejados en la figura 38, permiten descubrir que no existe una línea de trabajo en la realización de este proceso. Los trabajadores son desordenados cuando tienen que armar los andamios pues no completan la tarea una vez iniciada. Sino que comienzan en una sección y continúan en otra sin haber finalizado en el área anterior.

Los resultados permitieron determinar cuál es la combinación ideal para realizar este tipo de trabajo dando como resultado una cuadrilla conformada por dos ayudantes.

## **Montaje de vigas prefabricadas**

Para el proceso de montaje de vigas prefabricadas, la figura 39 muestra el diagrama de flujo con las tareas que se deben realizar para que

el proceso se lleve a cabo de manera eficiente y eficaz.

El proceso de montaje de vigas prefabricadas es un proceso rápido siempre y cuando el acero de las columnas permita el ingreso de los anclajes de la viga y las viguetas que sostendrán al elemento se encuentren a la altura correcta.

Es importante que la tarea de colocación de alambre negro en los extremos de la viga colocada se realice para que la viga prefabricada no se desplace del lugar de colocación producto de vibraciones o golpes que puedan provocar que el elemento se venga abajo.

En relación a los muestreos de trabajo realizados, se realizaron 8 muestreos de trabajo abarcando las dos torres de apartamentos y la torre de parqueos. Sin embargo, dos de los muestreos de trabajo (#5 y #6) no cumplieron con la cantidad mínima de observaciones para determinar el porcentaje de productividad y por esta razón, no se incluyen en los muestreos de trabajo realizados pero si en el cálculo de rendimientos.

Para el análisis de la productividad se realizaron dos muestreos en torre parqueos, uno en torre norte y tres en torre sur.

El primer muestreo de trabajo consistió en la colocación de dos vigas prefabricadas en la torre de parqueos. Se realizaron 390 observaciones en donde se realizaron tareas productivas como montaje de viga, revisión de la posición de la viga y dar instrucciones con porcentajes de 20,51%; 0,26% y 6,92% respectivamente. (Cuadro 12)

La tarea que se realizó en mayor cantidad fue observando con un porcentaje de 45,13% debido a que cuatro de los seis trabajadores involucrados en el proceso, no realizaban ninguna tarea que aportara en el proceso constructivo.

Lo anterior se refleja en el gráfico crew balance de la figura 40 en donde los dos operarios encargados del montaje son los que realizan la tarea de montaje de vigas, representado en la figura 41 como los mayores participantes en la realización del trabajo productivo y los demás simplemente observan el proceso.

En el muestreo de trabajo #1 el tiempo de espera se incrementó (17,44%) debido a que la grúa fue a traer una viga prefabricada que no correspondía a que se tenía previsto colocar. Por lo tanto, los trabajadores tuvieron que esperar que

la grúa finalizara el traslado del elemento para comenzar con el siguiente montaje.

El muestreo de trabajo #2 se realizó también en la torre de parqueos, con un total de 470 observaciones en donde el 32,55% del tiempo observado fueron tiempo de espera y el 22,55% se realizaron tareas de montaje. (Cuadro 13)

En la figura 42 se muestra que cuatro de los cinco trabajadores realizan principalmente la tarea de montaje mientras que el quinto trabajador, ayudante 1, se dedica principalmente a la coordinación con la grúa, reflejándose en la figura 43 con el mayor porcentaje de trabajo contributivo con un valor de 42,55%.

Los muestreos de trabajo realizados en la torre de parqueos se caracterizan por la participación de una cuadrilla conformada por al menos 6 personas a diferencia de los muestreos realizados en torre sur en donde la cuadrilla la conforman 3 personas.

Otra de las diferencias encontradas en los muestreos de trabajo es que en torre norte, la cuadrilla la conforman principalmente ayudantes mientras que en torre sur, el trabajo es realizado por operarios.

Para el muestreo de trabajo #3, realizado en torre norte, se tuvieron que invertir el 5,56% del tiempo observado ajustando obra falsa y casi la mitad del tiempo observado esperando para poder realizar la tarea de montaje (46,60%). Este alto porcentaje se dio debido a que en medio del proceso de montaje de vigas prefabricadas, el maestro de obras dispuso de la grúa para remover uno de los paneles de formaleta, obligando a los trabajadores a esperar para continuar trabajando.

El porcentaje de tiempo improductivo se refleja tanto en la figura 44 como en la figura 45, en donde el mayor porcentaje de trabajo productivo alcanzado fue por el ayudante 1 con un valor de 29,01%.

El ayudante 3, por el contrario, obtuvo apenas un 1,85% de trabajo productivo pero fue quien alcanzó el mayor porcentaje de trabajo contributivo con un 25,93%. (Figura 45)

Para el muestreo de trabajo #4, fueron pocas las tareas realizadas y se invirtió tan solo el 0,77% en trabajo contributivo y fue realizado por el ayudante 1, quien debió ir a buscar una esmeriladora para cortar parte de la viga para que pudiera entrar en la posición correspondiente.

En los muestreos de montaje de elementos prefabricados existe mucho tiempo de espera y en el muestreo #4 se reflejan los

resultados obtenidos en la figura 46 y 47. A pesar de que los trabajadores se concentran en realizar trabajo productivo, el trabajo improductivo que resulta de los tiempos de espera supera al trabajo productivo de los tres trabajadores, alcanzando un 57,69%; un 67,69% y un 63,06% para el ayudante 1, operario 1 y operario 2 respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, los muestreos de trabajo #5 y #6 no se realizaron para el análisis de productividad debido a la corta duración de los videos que impedía que se realizaran la cantidad mínima de observaciones requeridas.

Para el muestreo de trabajo #7 se realizaron 480 observaciones de las cuales, según el cuadro 16, 308 se dedicaron a tiempos de espera y 65 al montaje de vigas, dando como resultado un trabajo productivo del 28,13% para el operario 1, un 29,38% para el operario 2 y un 10,63% para el operario 3; valores muy por debajo de los alcanzados por el trabajo improductivo con un 66,88% para el operario 1, 70% para el operario 2 y un 81,88% para el operario 3.

Los tiempos de espera en el muestreo de trabajo #7 se incrementaron debido a que la grúa se ocupó para trasladar paneles de formaleta que se encontraban en el sitio de trabajo y que necesitaban ser removidos para colocar obra falsa en el área.

En el último muestreo de trabajo (#8) únicamente se colocó un elemento prefabricado y el tiempo de espera correspondió a un 56,81% del total de las observaciones realizadas. Este porcentaje se observa en el gráfico crew balance de la figura 50. Además se observa que el operario 1 realiza en segundo lugar la tarea de ajustar a obra falsa con un 17,61%.

Para el cálculo de los rendimientos en el cuadro 18, se incluyen los muestreos de trabajo no analizados para determinar los niveles de productividad. En este cuadro se incluye el número de muestreo, la fecha de medición, la duración del proceso, la cantidad de trabajadores involucrados sin importar el puesto que desempeñan y la cantidad de trabajo realizado, en donde la unidad de medición son la cantidad de elementos prefabricados que se colocaron durante el tiempo que se realizó el muestreo.

Se obtuvo un rendimiento final del 0,906 HH/un y para obtener este valor se eliminaron los datos extremos marcados en rojo en el cuadro 18 para poder realizar el proceso estadístico descrito en el marco teórico.

Finalmente, a manera de comparación entre los niveles generales de productividad y el rendimiento obtenidos en los muestreos de trabajo para el proceso de montaje de vigas prefabricadas, la figura 52 muestra que en el muestreo de trabajo #4 se alcanzó el mayor porcentaje de trabajo productivo con un 36,41% y se obtuvo el mejor rendimiento con un valor de 0,721 HH/un. En el muestreo de trabajo #1 se obtuvo el peor valor de rendimiento con un valor de 2,837 HH/un pero no fue el muestreo con el menor porcentaje de trabajo productivo (20,77%). El muestreo de trabajo #3, al tener el alcanzar el mayor porcentaje de trabajo improductivo con un 74,69% y el menor porcentaje de trabajo productivo con un 14,97%, obtuvo un rendimiento igual al rendimiento final obtenido una vez realizado el proceso estadístico.

Uno de los mayores problemas que enfrenta el proceso de montaje de elementos prefabricados, incluidas las losas, son los tiempos de espera y la disponibilidad de la grúa pues el trabajo se detiene cuando la grúa la utilizan para realizar otra actividad.

## Montaje de losas prefabricadas

La figura 53 muestra el diagrama de flujo con la secuencia de tareas que se deben realizar para completar el proceso de montaje de losas prefabricadas.

Se realizaron cuatro muestreos de trabajo en torre norte y seis en torre sur.

Los cuadros del 19 al 28 muestran la lista de las tareas realizadas durante los diferentes muestreos de trabajo, su clasificación según el tipo de trabajo, la cantidad de observaciones y el porcentaje de cada tarea correspondiente al total del tiempo observado.

En la figura 54 y 55 del muestreo de trabajo #1, realizado en el tramo 1 de torre sur, se refleja que el ayudante 1, ayudante 2, operario 1 y operario 2 invierte el 70,43%; 74,78%; 64,35% y 59,13% en tareas de espera y ocio mientras que solo el 29,57%; 25,22%; 35,65% y 34,78% en trabajo productivo, respectivamente.

En el muestreo de trabajo #2 se realizaron 936 observaciones de las cuales 620 observaciones se dedicaron a tiempos de espera, correspondiente al 66,23%.

El gráfico crew balance de la figura 56 muestra que efectivamente, el mayor tiempo

invertido es a la realización de esta tarea mientras que poco porcentaje es para tareas como montaje de losas.

La figura 57 muestra que el mayor porcentaje de trabajo productivo fue alcanzado por el ayudante 4 con un valor del 30,13% mientras que el ayudante 6 únicamente alcanzó un 9,62% de trabajo productivo contra un 90,38% de trabajo improductivo.

El muestreo de trabajo #3 se realizó en torre norte con un total de 480 observaciones (cuadro 21), en donde el ayudante 2 y 3 invirtieron 78,33% en tiempos de espera, y el ayudante 1 y operario 1 invirtieron 73,33% y 62,50% (figura 58 y 59).

Para el muestreo de trabajo #4, solo se realizaron 385 observaciones, cumpliendo con el mínimo de observaciones necesarias para obtener un porcentaje de confianza del 95%. En este muestreo, se refleja de igual manera en la figura 60 que la mayor tarea es consumida por el tiempo de espera obteniendo tan solo un 29,87% de trabajo productivo para el ayudante 2 (figura 61) y un 18,18% para el ayudante 4.

En los muestreos de trabajo #5 a #8 no se invirtió tiempo ajustando obra falsa como en otros muestreos de trabajo, permitiendo un ligero aumento en el porcentaje de trabajo productivo.

En el muestreo de trabajo #9, las losas prefabricadas llegaron al proyecto con una mayor longitud, por lo que se invirtió 42,67% tareas como: trasladando la losa a un lugar adecuado para remover el exceso de longitud, trayendo esmeril, demarcando la línea de corte y quitando el sobrante de losa.

La figura 70 muestra en el gráfico crew balance que realizar el ajuste en la longitud de las losas prefabricadas provoca un aumento en la cantidad de tiempo de espera del ayudante 1 y ayudante 2 con valores de tiempo improductivo 80,52% y 82,47% respectivamente (figura 71).

En el muestreo de trabajo #10, realizado en el tramo 4 de torre sur, se obtuvieron valores entre el 22% y 25% de trabajo productivo producto de los tiempos de espera que genera este proceso (figura 73).

El rendimiento final obtenido se muestra en el cuadro 29 y fue de 0,820 HH/un. Los valores en rojo corresponden a aquellos valores que se eliminaron para poder realizar el proceso estadístico descrito en el marco teórico.

Y finalmente en la figura 74 se muestra una comparación entre los niveles generales de

productividad obtenidos en los diferentes muestreos y el rendimiento. Se muestra que en el muestreo de trabajo #2 se obtuvo el menor rendimiento. Sin embargo, fue en el muestreo de trabajo #9 que se obtuvo el menor porcentaje de trabajo productivo con un valor de 16,56%.

## Colado de entrepiso

La figura 75 muestra, al igual que los demás procesos constructivos, el diagrama de flujo con la secuencia de las tareas necesarias para llevar a cabo el proceso de colado de entrepiso. La primera interrogante de este proceso es definir el método de colocación del concreto, ya sea por descarga directa con balde, utilizando bomba estacionaria o bomba telescópica.

El proyecto recientemente instaló un nuevo equipo denominado placing boom, que funciona similar a una bomba telescópica, pero estacionaria, y que permite alcanzar largas distancias y agiliza el proceso de colocación.

En cuanto a los muestreos de trabajo realizados, para el método de descarga directa se realizaron dos muestreos de trabajo, uno en cada torre; para el método utilizando bomba estacionaria, se realizaron dos muestreos únicamente en torre norte, al ser el único lugar con este método de colocación; y finalmente para el método utilizando bomba telescópica, se realizaron cuatro muestreos en torre sur abarcando los cuatro tramos de trabajo.

El cuadro 30 y 31 muestra las tareas realizadas por los trabajadores durante el muestreo #1 y muestreo #2, con 480 y 575 observaciones respectivamente.

En ambos casos, esperando el balde de concreto es una de las tareas que mayor tiempo se invierte con 31,46% para el muestreo #1 y un 41,22% para el muestreo #2, seguido de la tarea de esperando para vibrar con un 20,42% y un 23,30%.

La figura 76 y 78 muestra el gráfico crew balance para cada uno de los muestreos realizados, en donde se reflejan los porcentajes mencionados anteriormente, y en la figura 77 y 79 se muestran los porcentajes de trabajo productivo, contributivo e improductivo que obtuvieron cada uno de los trabajadores involucrados en el muestreo de trabajo. En ambas figuras se refleja el exceso de tiempo de espera, el cual solamente

se puede disminuir si el operario de la grúa agiliza el traslado del balde.

El rendimiento final obtenido se muestra en el cuadro 32 y a diferencia de los demás muestreos de los otros procesos constructivos, no fue necesario eliminar datos extremos al encontrarse ambos datos similares. El valor del rendimiento fue de 0,5 HH/m<sup>3</sup> para el primer muestreo de trabajo y de 0,667 HH/m<sup>3</sup> para el segundo muestreo de trabajo.

Finalmente, la figura 80 muestra que en el muestreo de trabajo #2 se alcanzó el mayor porcentaje de trabajo productivo pero con un menor rendimiento. Ambos muestreos se realizaron en horas de la mañana con temperaturas similares.

Para el colado de entepiso utilizando bomba estacionaria, los dos muestreos de trabajo se realizaron en torre norte con 485 y 392 observaciones respectivamente.

En el muestreo de trabajo #1, se invirtió 23,09% y 29,90% en tiempos de espera de acuerdo al cuadro 33, mientras que en el muestreo de trabajo #2 se invirtió 29,34% y 29,85% según el cuadro 34, reflejándose en el gráfico crew balance de la figura 81 y 83. Los tiempos de espera se debieron a atrasos en las llegadas de las chompipas y que provocaron atrasos en el proceso.

En la figura 82 y 84 se muestra como el porcentaje de trabajo improductivo de cada trabajador involucrado es muy alto, alcanzando valores de hasta el 80%

El rendimiento obtenido para el muestreo de trabajo #1 es de 0,947 HH/m<sup>3</sup> y de 1,865 HH/m<sup>3</sup> para el muestreo de trabajo #2. Estos resultados se muestran en el cuadro 35.

En la figura 85 se muestra la comparación entre los rendimientos obtenidos y los niveles de productividad generales de los dos muestreos de trabajo. Se determina que en el primer muestreo se obtuvo el mayor porcentaje de trabajo productivo pero también el mayor porcentaje de trabajo improductivo, en conjunto con el menor rendimiento. Ambos muestreos para el método de colocación con bomba estacionaria se realizaron en horas de la mañana con temperaturas similares.

Para los muestreos de trabajo realizados en torre sur para el método utilizando bomba telescópica, los cuadros 36, 37, 38 y 39 muestran las tareas realizadas por los trabajadores durante los cuatro muestreos de trabajo.

Para el muestreo de trabajo #1, realizado en el tramo 1 y 2 de torre sur, las figuras 86 y 87 se muestra que únicamente el ayudante 2 realiza trabajo contributivo en un 75,31% del tiempo observado, mientras que el operario 2 realiza en la misma cantidad, trabajo productivo. Ambos trabajadores participan en tareas de vibrado del concreto.

Los ayudantes 1 y 3 y operario 1 realizan tareas de colocación de concreto. Los tres trabajadores invierten la mitad del tiempo colocando concreto y la otra mitad en tiempo de espera.

En el muestreo de trabajo #2, realizado en el tramo 3 de torre sur, el ayudante 3 encargado de utilizar la pala para acomodar el concreto colocado, únicamente trabaja el 17,43% del tiempo observado (figura 88 y 89). A pesar de tan bajo porcentaje de tiempo productivo, es importante la presencia de este trabajo al realizar funciones en los casos en los que se coloca más concreto de lo debido en una determina área.

El muestreo de trabajo #3 se realizó en el tramo 4 de torre sur con un total de 390 observaciones en donde 130 de ellas se dedicaron a tareas de espera según el cuadro 38.

En este tramo de análisis, se da la participación de dos trabajadores con dos vibradores mientras que en los demás tramos de torre sur, únicamente utilizaron un vibrador. Lo anterior disminuye los porcentajes de trabajo improductivo en comparación con otros muestreos de trabajo.

En el muestreo de trabajo #4, realizado en tramo 1 de torre sur, se observa de nuevo en la figura 92, que el trabajador encargado de utilizar la pala (ayudante 1) realiza poco trabajo productivo. Sin embargo, en este muestreo, los porcentajes de trabajo productivo obtenido de los demás trabajadores ha sido mayor que en otros muestreos de trabajo, alcanzando valores de hasta el 70% (figura 93).

El rendimiento final obtenido utilizando bomba telescópica fue de 0,473 HH/m<sup>3</sup>. En comparación con los otros dos métodos utilizados, la bomba telescópica permite aumentar la producción al no existir grandes tiempos de espera ni necesitar armado y desarmado de tubería de forma constante.

En la figura 94, se muestra que el mayor porcentaje de trabajo productivo se alcanzó en el muestreo de trabajo #1 junto con el menor porcentaje de trabajo improductivo con un valor de 40,49% y que a su vez, se obtuvo el mejor

rendimiento. El segundo mejor rendimiento se dio en el muestreo de trabajo #2 en donde se obtuvo el mayor porcentaje de trabajo improductivo con un valor de 63,07%. Todos los muestreos de trabajo se realizaron en horas de la mañana a temperaturas similares.

Finalmente, se realizó un muestreo de trabajo utilizando el equipo placing boom para verificar que la instalación de este equipo agilizaría el proceso de colado de entrepiso.

Se realizaron 500 observaciones de las cuales 126 se dedicaron a tiempo de espera para colocar concreto (cuadro 41). Estos tiempos de espera se dieron porque al contar solo con un vibrador, se debió esperar a que la zona con concreto colocado estuviera debidamente vibrada para continuar colocando concreto.

La figura 95 y 96 muestra que, aunque los porcentajes de trabajo improductivo son altos para quienes se dedican a realizar las tareas de colocación de concreto, quienes se dedican al vibrado del concreto únicamente invierten el 16% en tiempos improductivos. Por lo tanto, para disminuir el tiempo improductivo de quienes colocan concreto se deben utilizar al menos dos vibradores.

La figura 97 muestra el porcentaje de productividad general obtenido en el muestreo de trabajo #1 con un 40,80% de trabajo improductivo, un 16,80% de trabajo contributivo y un 42,40% de trabajo productivo

El rendimiento final obtenido en este muestreo fue de 0,308 y es el rendimiento más alto obtenido para el proceso de colado de entrepiso (cuadro 42).

## Factores que afecta la productividad

Una de las mejores maneras de identificar rápidamente los factores que afectan la productividad en la construcción es realizando encuestas y entrevistas a los trabajadores involucrados en los procesos estudiados. Por esta razón, se decidió utilizar la herramienta de encuesta como método para determinar los factores según la percepción de los trabajadores y a través del método de la observación, determinar aquellos obstáculos que se presentan durante la realización del proceso constructivo.

Los factores determinados mediante la observación de los diferentes muestreos de trabajo, permitieron confirmar posteriormente que los principales problemas que los trabajadores identifican en la encuesta, efectivamente se dan.

La lejanía de los servicios sanitarios y de la bodega principal provoca un cansancio físico a falta de un ascensor y un atraso en la entrega de materiales pues cada vez se debe invertir más tiempo de espera cuando hace falta algún recurso.

Los problemas de electricidad sumada a los problemas con el equipo, como el vibrador, que se encuentran dañados a la hora de comenzar las tareas de vibrado, provoca de igual manera, atraso en la realización del proceso.

Uno de los aspectos observados más importantes es la entrega de materiales erróneos. En la colocación de obra falsa, las viguetas transportadas al sitio de trabajo son en ocasiones las incorrectas. En el montaje de losas prefabricadas, los elementos deberían de venir desde la planta de prefabricados con la longitud correcta y cuando llegan al proyecto, las losas viene más largas, provocando tiempo invertido en el corte del sobrante de la losa, pues devolver el elemento a la planta para que se haga correctamente implicaría un atraso mayor.

Al problema anterior con las losas prefabricadas, se le incluye la falta de inspección previa del proceso anterior, correspondiente a la colocación de obra falsa. Al no revisar que las viguetas se encuentren con la altura correcta, durante el montaje de vigas y losas prefabricadas se debe invertir más tiempo en la finalización del proceso al tener que corregir este problema cuando.

En torre sur, al existir dos maestros de obra que comparten una misma grúa, la coordinación entre estas personas es vital para que tanto las necesidades de uno de los maestros de obra como las necesidades del otro maestro de obra se satisfagan. La poca disponibilidad de la grúa cuando se necesita principalmente, provoca que los trabajadores realicen trabajo improductivo durante mucho tiempo.

Y como ya se ha mencionado, el desorden del sitio de trabajo, el poco espacio para trabajar, la rotación del personal y el ocio son factores se observaron como principales fuentes de trabajo improductivo.

En relación con la encuesta, esta no se aplicó a los trabajadores de torre parqueos debido a que al momento de la aplicación de las

encuestas, el edificio ya había concluido y la mayoría de los trabajadores ya no se encontraban presentes en el proyecto.

En la figura 98 se muestra dos preguntas relacionadas con la asignación de los recursos utilizados. El 38,46% considera que siempre se encuentran los materiales que se necesitan en la cantidad y calidad requerida y es el mismo porcentaje que considera que los materiales siempre se reciben a tiempo, contra un 53,85% que considera que a veces se encuentran los materiales y un 61,54% que dice que a veces reciben los materiales a tiempo, lo que justifica que existan atrasos en el inicio de actividad producto de esto.

En la figura 99 se muestra que el 100% de los encuestados se sienten a gusto con sus compañeros de cuadrilla pero solo el 46,2% considera que el tamaño de la cuadrilla es el apropiado (figura 100) contra un 53,8% que considera que la cuadrilla tiene un tamaño deficiente.

La figura 101 muestra los espacios para las necesidades básicas con los que cuentan los trabajadores. El 84,62% considera que existen servicios sanitarios pero dichos servicios se encuentran en el primer nivel y a la hora de realizar la encuesta, el proyecto iba por el nivel 14. Lo anterior involucra que en caso de necesitar ir al baño, los trabajadores deben bajar por las gradas de 14 niveles y subirlas de nuevo para reanudar las labores, implicando un atraso para la cuadrilla. El 76,02% dice que no existe un comedor y deben desayunar y almorzar en el piso. El 92,32% considera que no hay un lugar para calentar alimentos, provocando que tengan que comer frío o gastar dinero comprando almuerzo. El 53,85% dice que existe un botiquín de primeros auxilios pero pocos saben en donde se ubica en caso de una emergencia.

La figura 102, complementando la figura 101, muestra que el 84,6% de los trabajadores consideran que las áreas de uso común no se encuentran cerca del puesto de trabajo por lo tanto deben invertir tiempo en traslados provocando agotamiento físico.

La figura 103 explica uno de los mayores problemas que se aquejan los trabajadores, el pago de salario. Por esta razón se decidió preguntar si recibían el pago de salario a tiempo, pues es una de las motivaciones que cuentan los trabajadores para realizar el trabajo con esmero. Solo el 7,7% dice que siempre reciben el salario

cuando debe de ser, el 38,5% dice que casi siempre y el 30,8% considera que pocas veces. Al existir un atraso en el pago de los salarios, los trabajadores se desmotivan provocando que no se realicen las labores como deben de ser.

La figura 104 muestra la percepción de los trabajadores respecto a las condiciones de seguridad de la empresa. El 76,9% considera que dichas condiciones de seguridad son regulares debido a la falta de arneses, el desorden del sitio, los materiales utilizados.

En relación con las instrucciones que se les brindan a los trabajadores para que realicen sus funciones antes de comenzar una actividad, la figura 105 muestra que el 46,2% dice que siempre reciben alguna clase de capacitación o indicación previa mientras que solo un 38,5% y un 15,46% dice que a veces y que nunca, respectivamente, es así. Al no existir instrucciones claras, los trabajadores pueden realizar mal el trabajo y provocar desperdicio de tiempos en rehacer el trabajo realizado.

En la figura 106, el 69,2% considera que en las labores que se realizan no se desperdicia material, lo cual es importante pues el desperdicio de materiales en ocasiones va asociado a labores que se suelen realizar más de una vez.

Finalmente, en relación a la encuesta realizada, la figura 107 muestra los principales factores que afectan el desempeño de los trabajadores en la realización de la actividad, el cual un 61,54% considera que el desorden del sitio juega un papel muy importante en el atraso de las funciones. El 38,46% considera que tanto la falta de herramientas como la falta de materiales afectan la productividad y el 30,77% considera que el clima adverso influye en el desempeño de los procesos constructivos, especialmente cuando llueve.

Una vez desglosado la lista de factores que afectan la productividad tanto por observación como los determinados por medio de la encuesta, se realizó un diagrama de Ishikawa para muestra las causas que provocan la disminución de la productividad en la construcción.

En la figura 108 se muestra el diagrama de Ishikawa en donde se detallan los problemas encontrados con el diseño de sitio, mano de obra, materiales y equipo y características del proyecto.

## Mejoramiento de los procesos constructivos

Una vez que se identificaron las causas que provocan la disminución de la productividad en los procesos constructivos de colocación de obra falsa, montaje de vigas y losas prefabricadas y colado de entrepiso, se realizó una lista con las soluciones que permiten obtener un mejoramiento en el desarrollo de los procesos.

La limpieza constante del sitio de trabajo permite la disminución de obstáculos que conllevan a un atraso en los procesos. También, evita accidentes y permite un mejor desempeño de los trabajadores al encontrar el sitio de trabajo ordenado.

La coordinación con la grúa para trasladar inmediatamente los paneles de formaleta una vez removidos de los muros y columnas, permite agilizar el inicio del proceso de colocación de obra falsa y evitar invertir tiempo en acomodar los elementos para hacer espacio.

Para evitar atrasos en la entrega de materiales, es importante la coordinación en la entrega de los mismos según la hora prevista para el inicio del proceso constructivo. Además, confirmar que los materiales como vigas y losas prefabricadas vengan de acuerdo a las especificaciones enviadas antes de llegar al proyecto, es vital para que el proceso de montaje no se alargue por reajustes en los elementos.

Para evitar el agotamiento físico producto de los grandes traslados y de las gradas del edificio, es necesario la instalación de dos ascensores para agilizar tanto la entrega de materiales como minimizar el cansancio físico.

Finalmente, deben realizarse charlas que incluyan consejos para que el uso del equipo de marcación de hora de entrada y hora de salida del trabajo se agilice y para que en el sistema queden guardados dichos datos y así, no existan problemas en la planilla ni en el pago de salarios a final de quincena. Mejorando este aspecto, los trabajadores se sienten motivados y se disminuye la rotación de personal.

El cambio en el diseño de sitio incluye crear servicios sanitarios cada tres niveles como mínimo, trasladar la bodega de obra gris a la parte superior del proyecto o construir dos ascensores que permitan el traslado de los materiales y minimicen el agotamiento físico de los

trabajadores. La creación de una zona de comedor para que los trabajadores puedan además, calentar los alimentos.

## Base de datos para rendimientos

La base de datos para rendimientos se desarrolló utilizando el software Microsoft Office Access 2013. La base de datos permite realizar funciones como almacenar nueva información, modificar la información guardada en el sistema y consultar la información para realizar el cálculo del costo de la mano de obra.

En la figura 109 se presenta el menú principal con los botones para consultar la información guardada en el sistema o agregar nueva información en caso de que la información no se encuentre ingresada en la base de datos.

También existe la opción de calcular el costo de mano de obra, guardar los cálculos realizados e imprimir el informe en caso de ser requerido.

Al seleccionar la opción de agregar un nuevo proyecto, se muestra la ventana de la figura 110, en donde el usuario debe ingresar datos como el nombre del proyecto, la ubicación, el área de construcción, la fecha de inicio y una breve descripción del proyecto que incluya características particulares que permitan posteriormente realizar una comparación entre proyectos realizados y proyectos futuros.

Si lo que desea es agregar nuevas actividades constructivas, al dar *click* en el botón 'más' en el menú principal, podrá ingresar el nombre de la nueva actividad asociada a un proyecto y guardarla en el sistema (Figura 111). De igual manera si desea agregar un nuevo proceso constructivo. En este caso, la figura 112 muestra la ventana para agregar un nuevo proceso constructivo, el cual estará asociado a una actividad de un proyecto, el cual debe ingresar los rendimientos obtenidos en horas peón, horas ayudante y horas operario.

Una vez ingresada esta información, el usuario podrá calcular el costo de la mano de obra con la ventana que se muestra en la figura 113. Acá debe seleccionar los datos de donde quiere extraer la información de rendimientos, ingresar el salario que recibirán los tipos de trabajador, la

cantidad de trabajadores que se involucraran en el proceso y la cantidad de trabajo que irán a realizar. Finalizada la introducción de estos datos, el mismo sistema muestra los resultados obtenidos en el cálculo de costo de mano de obra.

Seguidamente el usuario puede elegir si desea guardar los datos en el sistema para imprimir el informe con los resultados.

Para poder utilizar la base de datos correctamente, se creó un manual de usuario que explica la función de cada uno de los botones, donde se debe ingresar información, donde se pueden realizar consultas y como se puede imprimir los datos guardados en el sistema.

El manual de usuario se puede encontrar en el apéndice K de este informe.

# Conclusiones

- Los muestreos de trabajo para obra falsa permitieron determinar que el proceso presenta muchas variaciones en el porcentaje de tiempo productivo pues no existe un patrón claro en el desarrollo de las tareas, provocando diferentes niveles de productividad.
- Para el montaje de vigas y losas prefabricadas, el porcentaje de trabajo improductivo es superior al 70% e incrementa para las losas prefabricadas pues el traslado a cargo del operario de la grúa es una tarea lenta debido al peso de los elementos.
- Se obtuvieron valores entre el 20% y 30% de trabajo productivo para los métodos de colocación de concreto con balde y con bomba estacionaria, mientras que para el uso de bomba telescópica se obtuvieron porcentajes del 40%.
- Se determinó que la instalación del equipo placing boom agilizará la colocación de concreto. Sin embargo, contar con un solo vibrador durante el muestreo de trabajo, influyó en que el porcentaje de tiempo productivo fuera de tan solo un 42,40%.
- Los rendimientos obtenidos para los procesos analizados fueron los siguientes:
  - Colocación de obra falsa de entrepiso = 0,141 HH/m.
  - Montaje de vigas prefabricadas = 0,906 HH/un.
  - Montaje de losas prefabricadas = 0,820 HH/un.
  - Colado de entrepiso: Descarga directa con balde = 0,646 HH/m<sup>3</sup>.
  - Colado de entrepiso: Bomba estacionaria = 1,558 HH/m<sup>3</sup>.
  - Colado de entrepiso: Bomba telescópica = 0,473 HH/m<sup>3</sup>.
  - Colado de entrepiso: Placing boom = 0,308 HH/m<sup>3</sup>.
- El rendimiento obtenido para colado de entrepiso utilizando placing boom, verifica la correcta decisión de la empresa de instalar este equipo, a pesar de que se dio cuando el proyecto estaba finalizando, impidiendo el máximo aprovechamiento desde el inicio de la obra gris.
- Se encontraron factores que afectan la productividad en la construcción como el atraso o entrega errónea de materiales, problemas con el estado de los equipos, agotamiento físico de los trabajadores, entre otros. Pero los problemas más comunes se dan debido al desorden del sitio y al poco espacio para realizar las labores. Las observaciones de los muestreos de trabajo y la encuesta aplicada a los participantes de los procesos constructivos en estudio permitieron determinar con facilidad los problemas más importantes.
- La creación de un sistema de base de datos para rendimientos le permitirá a la empresa introducir nueva información sobre mediciones de rendimientos y realizar consultas de la información guardada en el sistema. Además, se podrá calcular el costo de la mano de obra facilitando las tareas de realización de presupuestos utilizando información de proyectos con características similares.
- Las principales soluciones para mejorar la productividad afectan directamente el diseño de sitio actual pues se deben agregar nuevos servicios sanitarios, un comedor y realizar la instalación de dos ascensores que permitan disminuir los tiempos de traslado por parte de los trabajadores y el agotamiento físico que implica subir y bajar gradas constantemente.

# Recomendaciones

- Aumentar la cantidad de muestreos de trabajo para incrementar la validez estadística en los resultados de productividad obtenidos.
- Realizar mayor cantidad de mediciones de rendimientos para un mismo proceso constructivo y así obtener un valor de rendimiento más confiable durante el desarrollo del proceso estadístico.
- Actualizar los datos de rendimientos de mano de obra ingresados en el sistema de base de datos de manera constante con información más confiable.
- Verificar el estado de los equipos con regularidad para optimizar el uso de los mismos e introducir nueva tecnología con anticipación para aprovecharla al máximo y aumentar los niveles de trabajo productivo de los procesos constructivos.
- Realizar mediciones de rendimientos utilizando placing boom con más de un vibrador para disminuir los tiempos de espera.
- Realizar ajustes en el diseño de sitio y medir los tiempos improductivos que se generan por movilizarse.
- Al depender en gran medida del uso de la grúa para los procesos de montaje de vigas y losas prefabricadas, se recomienda medir el rendimiento de la grúa en el traslado de los elementos.
- Poner en práctica las mejoras de la productividad y realizar mediciones para verificar la efectividad de las soluciones.

# Apéndices

Apéndice A. Muestreos de trabajo realizados para el proceso de colocación de obra falsa de entrepiso.

Apéndice B. Muestreos de trabajo realizados para el proceso de montaje de vigas prefabricadas.

Apéndice C. Muestreos de trabajo realizados para el proceso de montaje de losas prefabricadas.

Apéndice D. Muestreos de trabajo realizados para el proceso de colado de entrepiso.

Apéndice E. Porcentaje de productividad general para cada muestreo realizado.

Apéndice F. Porcentaje de productividad según el tipo de trabajador para cada muestreo realizado.

Apéndice G. Porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador en las tareas realizadas según los muestreos de trabajo.

Apéndice H. Factor de incremento utilizado en el cálculo de rendimientos.

Apéndice I. Rendimientos en horas operario y horas ayudante obtenidos en los diferentes muestreos de trabajo realizados.

Apéndice J. Respuestas a la encuesta aplicada a los trabajadores.

Apéndice K. Manual de usuario para utilizar la base de datos de rendimientos.

# Referencias

- Botero, F. (2002). Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. *Revista Universidad EAFIT*(128), 9-21.
- Botero, F., & Alvarez, M. (2004). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda. *Universidad EAFIT*, 40(136), 50-64.
- García, R. (2005). *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo* (Segunda ed.). México: McGraw Hill.
- Gutiérrez, H. (1997). *Calidad total y productividad*. México: McGraw Hill.
- Kuprenas, J., & Fakhouri, A. (2001). *A crew balance case study—Improving construction productivity*. Construction Management Association of America.
- Manene, L. (2011). *Los diagramas de flujo: su definición, objetivo, ventajas, elaboración, fases, reglas y ejemplos de aplicaciones*. Obtenido de <http://www.luismiguelmanene.com/>
- Oficina Internacional del Trabajo (OIT). (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. Ginebra: OIT.
- Ortiz, G., Paniagua, E., & Sandoval, M. (2009). *Costos de construcción*. Cartago, Costa Rica. Tecnológico de Costa Rica.
- Serpell, A. (1986). Productividad en la construcción. *Revista de Ingeniería en Construcción*, 1, 53-59.
- Serpell, A. (2002). *Administración de operaciones de construcción*. Alfaomega.