

## CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Ana Grettel Leandro Hernández, Ing. Miguel Artavia Alvarado, Ing. Milton Sandoval Quirós, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



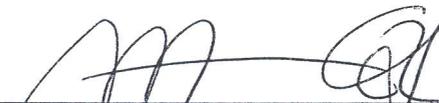
Ing. Gustavo Rojas Moya  
Director



Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.  
Profesora Guía



Ing. Miguel Artavia Alvarado.  
Profesor Lector



Ing. Milton Sandoval Quirós.  
Profesor Observador

# **Cuantificación de la productividad del encofrado de columnas, muros y entrepiso en el proyecto Centro Nacional para el Control del Dolor y Cuidados Paliativos**

# Abstract

This project involves quantifying productivity of different construction processes, selected by the construction company “Van der Laat y Jiménez”, developed during the study period in the building of the “Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos”.

The assigned processes were observed and sampled to obtain data to enable calculation of productivity, labor yields and costs. The information obtained through videos and data collecting tables was processed by techniques like Five Minute Rating and Crew Balance in such way that a comparative analysis will allow to find a relationship between some variables that were considered important.

One aspect that was found is that the crew size directly affects productivity and labor yields, but there weren't any indicators of a relationship between the last two factors. All data and calculations are in a results database created to implement improvements where necessary and assist in future planning processes.

In addition, it was found that the main factors affecting a process or task are the design of the workplace and the availability of the crane to work.

Finally, it includes a series of recommendations to help find causes of problems and to maintain a good working space.

*Keywords: Productivity, performance, database performance, factors affecting, site design, labor*

# Resumen

Este proyecto de graduación consiste en la cuantificación de la productividad y los rendimientos de mano de obra de diferentes procesos constructivos, seleccionados por la compañía constructora Van der Laat y Jiménez, que se desarrollaron durante el periodo de estudio en la edificación del Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos.

Los procesos asignados fueron observados y muestreados para obtener datos que permitieran el cálculo de productividad, rendimientos y costos. La información obtenida mediante videos y tablas de recolección de datos fue procesada mediante las técnicas Five Minute Rating y Crew Balance de tal modo que permitiera hacer un análisis comparativo con el fin de encontrar una relación entre algunas variables que se consideraron importantes.

Un aspecto que se encontró es que el tamaño de la cuadrilla afecta directamente la productividad y los rendimientos, mas no se encontró algún indicio de la relación entre los dos últimos factores. Todos los datos obtenidos y calculados se encuentran en una base de datos de resultados creada con el fin aplicar mejoras donde sea necesario y ayudar en procesos de planificación futuros.

Además, se encontró que los principales factores que afectan un proceso o tarea son el diseño del sitio de trabajo y la disponibilidad de la grúa para trabajar.

Finalmente se incluye una serie de recomendaciones que ayudan a encontrar causas de problemas y mantener un buen espacio de trabajo.

*Palabras clave: Productividad, rendimientos, base de datos de resultados, factores que afectan, diseño de sitio, mano de obra*

# **Cuantificación de la productividad del encofrado de columnas, muros y entrepiso en el proyecto Centro Nacional para el Control del Dolor y Cuidados Paliativos**

# **Cuantificación de la productividad del encofrado de columnas, muros y entrepiso en el proyecto Centro Nacional para el Control del Dolor y Cuidados Paliativos**

HAZEL SUSANA SALAZAR CERDAS

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

Julio del 2016

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo .....	2
Introducción .....	4
Marco Teórico .....	6
Metodología .....	11
Resultados.....	16
Análisis de Resultados.....	98
Conclusiones .....	108
Recomendaciones .....	110
Apéndices .....	111
Referencias.....	112

# Prefacio

El presente proyecto responde a una necesidad ya que, durante la construcción del Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos, la compañía constructora Van der Laat y Jiménez tuvo algunos problemas con la programación de actividades de edificación de obra gris, y con algunos procesos que se relacionan directamente o dependen del encofrado de columnas, muros y entrepiso. Lo anterior se da por no contar con datos sobre productividad y rendimiento que ayuden a correlacionar esta información con otra de actividades similares en la etapa de planificación y programación del proyecto.

La obtención de estos datos es de gran relevancia en el momento de proyectar contrataciones, pedidos de materiales, de alquiler de equipo, en determinar de los costos de mano de obra y de programación de actividades que dependen del avance o finalización de estos procesos.

Como el proyecto inició con una planificación inadecuada, la base de datos generada sirve para hacer un análisis de la situación, el cual permite la propuesta de mejoras y cambios a aplicar a cómo se avanza con actividades que son de alto impacto para el presupuesto y cronograma de trabajo.

Además, esta iniciativa de la recolección de información da pie a la creación de bases de datos más extensas por parte de la empresa, para que, desde un inicio, se garantice que las programaciones y presupuestos serán más acertados y confiables.

El objetivo de este proyecto fue cuantificar tiempos y costos para poder comprobar lo que se planteó inicialmente y proponer mejoras a situaciones que no satisfacían las necesidades que se tenían durante la ejecución de este proyecto.

## Agradecimientos

*Quisiera agradecer principalmente a mis padres que me apoyaron en todas las formas posibles durante mi carrera estudiantil, porque fueron y son mi guía y mi soporte, me impulsaron a continuar y me acompañaron en cada paso de mi vida de manera incondicional.*

*A la Ingeniera Ana Grettel Leandro por su ayuda a lo largo del proceso, por sus consejos, por el apoyo y el tiempo dedicado a ayudarme en mi paso por la universidad y en la realización de mi proyecto de graduación.*

# Resumen ejecutivo

El propósito de este proyecto fue la determinación de tiempos y costos de actividades seleccionadas por la empresa constructora Van der Laat y Jiménez, desarrolladas en la ejecución del proyecto Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos.

La selección de las actividades se dio por parte del ingeniero residente del proyecto, respondiendo a lo que él consideró que tendría más impacto en el resultado del proyecto, además de que eran actividades que están desarrollándose durante el periodo de estudio y que presentaron problemas.

Las actividades asignadas fueron muestreadas mediante observaciones en campo para identificar distintas actividades que se clasificaron como trabajo productivo, trabajo contributivo y trabajo no contributivo (TP, TC, TNC respectivamente) los cuales resultaron en datos de eficiencia, para cada trabajador de una cuadrilla de trabajo, definidos bajo la técnica de medición Five Minute Rating. Luego, de manera más específica, por medio de la técnica de medición Crew Balance, se puede definir qué porcentaje de tiempo fue empleado en el desarrollo de tareas más puntuales que caben dentro de la clasificación original de trabajo productivo, contributivo y no contributivo.

Las observaciones de cada actividad se hicieron conforme se iban desarrollando las actividades en el periodo de estudio, en elementos que se trabajaron en el momento que se midió bajo diferentes factores ambientales, como el estado del tiempo y la hora a la que se realiza el muestreo, y que de alguna forma u otra afecta directamente la productividad y rendimiento de un trabajador.

A los mismos procesos de los que se obtuvo productividad, se les hizo, simultáneamente, la medición de tiempo de

trabajo para obtener rendimiento de mano de obra directa y costos de esta.

Todos los resultados obtenidos de las observaciones están almacenados en una base de datos de resultados, con el fin de que se puedan consultar eventualmente para la planificación de proyectos y así evitar problemas en obras futuras, como los que dieron pie al desarrollo y escogencia de actividades para este proyecto de graduación.

Basándose en los resultados de rendimientos por tipo de trabajador también fue posible la obtención de costos de mano de obra por hora y por medida de volumen de trabajo realizado para cada tarea de los diferentes procesos estudiados en el desarrollo de este proyecto.

Las mediciones de productividad y rendimiento que se generaron del proyecto son de importancia para planificar otras construcciones, y el análisis de la relación entre ambos datos ayuda a proyectar posibles escenarios que si se consideran pueden dar una idea de cómo se desarrollarán las tareas de determinados procesos.

Para los resultados de productividades de cuadrilla se tuvo cifras más altas que las mencionadas por Oglesby, Parker, & Howell (1989) en la mayoría de los casos y en otros si se tuvo resultados dentro del rango 40-60%, pero nunca una productividad menor que esto. Los datos de rendimientos no se pudieron comparar con algun otro dato, pues el sistema constructivo utilizado para encofrar no es muy usado y la empresa no contaba con datos viejos para usar de referencia.

Se encontró que la relación que existe entre el tamaño de cuadrilla con la productividad y rendimientos es un factor importante, por lo que se debe estudiar cuál será la cuadrilla de trabajo necesaria y funcional para cada actividad que se desarrolle. Sin embargo, no existió algun

patrón estable que indique que existe una relación directa entre el rendimiento y la productividad de un proceso, pero si es importante saber bajo que condiciones de productividad fue hecha la medición de un rendimiento para saber el tiempo de trabajo efectivo.

El sitio de trabajo, su distribución y tamaño son factores que afectan directamente a la mano de obra pues este es el medio que se utiliza para desplazamientos, para trabajar y para cumplir con necesidades fisiológicas. Es necesario hacer diseños de sitio que maximicen el aprovechamiento del espacio y que faciliten la labores de los trabajadores para que estos puedan concluir con sus labores de manera satisfactoria, eficaz y eficientemente.

La disponibilidad de equipo y herramienta es básica para el desarrollo de cada tarea. En este caso se encontró que, por el peso de algunos equipos y materiales, la grúa es necesaria para que se puedan transportar y colocar paneles de encofrado. La grúa se utiliza para transporte y descarga de materiales, para correas, para movilizar equipos y otras tareas que hacen que tenga alta demanda de uso por lo que pasa saturada de trabajo y afecta los tiempos de trabajo de los encofrados y atrasa el inicio de tareas creando tiempo muertos de espera.

# Introducción

La construcción es un ámbito que genera alto impacto en el desarrollo de un país y, que además, es reflejo del crecimiento del mismo. A pesar de lo anterior, en Costa Rica, la edificación de estructuras por parte de diferentes empresas constructoras sigue siendo una actividad que carece de planificación, en la que no se analizan en detalle los procesos y de la que no se aprovechan los datos y experiencia generados de la ejecución de un proyecto.

La edificación de obras se puede ver favorecida por la investigación de las actividades y los procesos que la conforman. La productividad y el rendimiento de mano de obra es una variable que, si se estudia y se toma en cuenta, ayuda a mejorar y planificar procesos.

Los resultados obtenidos de esta práctica serán utilizados en la construcción del Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos desarrollado por la empresa Van der Laet y Jiménez con el fin verificar datos sobre procesos que ya habían iniciado antes de empezar con el estudio.

El análisis de procesos ofrece de manera inmediata la identificación de problemas que se presentan en casos particulares, afectan la eficiencia de trabajos desarrollados y permiten mejorar tiempos y costos. Además, a largo plazo, mediante la creación de una base de datos se puede utilizar los resultados de mediciones de productividad y rendimientos para la optimización de actividades, planear tiempos de ejecución y establecer costos de mano de obra aproximando más acertados para procesos bajo circunstancias similares.

Según Botero y Álvarez (2004), el recurso mano de obra es un factor determinante en el avance y resultado de una obra, y que de ahí viene, principalmente, la productividad que tendrán las actividades que componen el proyecto y la cantidad de trabajo

que se efectúa en un periodo de tiempo, por consiguiente, se ve la importancia de realizar estudios que al final produzcan soluciones que mejoren situaciones que podrían estar afectando un proyecto o prever la ocurrencia de algunos problemas frecuentes.

## Objetivos

### Objetivo General

- Cuantificar tiempos y costos a partir de la medición de la productividad de actividades seleccionadas desarrolladas en la construcción del Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos.

### Objetivos Específicos

- Seleccionar los procesos constructivos a medir y analizar en la obra y definir insumos que se requieren.
- Realizar medición de la productividad y rendimiento de las demás actividades seleccionadas mediante la observación del desarrollo de cada una.
- Identificar factores que afectan la productividad de las actividades constructivas seleccionadas para hacer análisis de cómo afectan.
- Elaborar una base de datos de apoyo para la obtención de tiempos y costos.
- Plantear posibles soluciones para eliminar tiempos muertos y aumentar el aprovechamiento.

# Alcances y limitaciones

- El alcance de este proyecto es la determinación de tiempos y costos de mano de obra para diferentes procesos constructivos seleccionados por el ingeniero a cargo del proyecto Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos.
- Las actividades analizadas tenían un tiempo considerable de haber empezado, por ello, no se tenían muchos elementos para medición.
- Las actividades a analizar asignadas fueron el encofrado de estructuras como columnas, muros y entrepisos.
- Por el método de toma de datos (videos), el procesamiento de información fue largo y lento ya que se debía observar con cuidado la dinámica de la cuadrilla.
- Se tomó en cuenta el tamaño de la cuadrilla como factor principal de afección a la productividad y costos.
- Todos los datos fueron almacenados en una base de datos de fácil uso hecha con Microsoft Office Excel.
- Fue posible conseguir todas las mediciones necesarias para que los datos obtenidos fueran válidos.
- La configuración del sitio de trabajo y el desorden dificultaron la grabación de algunos videos.
- Los datos obtenidos no son los suficientes para hacer una base de datos completa que ayude a la planificación de un proyecto completo.
- Los datos obtenidos sirvieron para hacer algunos cambios a nivel presupuestario dentro del proyecto.
- Los rendimientos obtenidos ayudaron a la planificación de chorreas a nivel de proyecto.
- No se aplicaron mejoras a nivel de mano de obra por lo que no se hizo un segundo muestreo para corroborar si hubo cambios, mejoras o desaciertos.

# Marco Teórico

## Productividad

La productividad es un factor que ha tomado importancia en todo tipo de trabajo y el sector construcción no ha sido la excepción. En esta área de trabajo se cuenta con el uso de mano de obra como factor esencial para el desarrollo de un proyecto en todas sus etapas de edificación. Niebel (2001) menciona que la mano de obra es el recurso fundamental de la práctica constructiva, pues son el capital más importante de toda empresa.

El análisis de trabajo mediante la cuantificación de productividad es importante para saber cómo se llevan a cabo las tareas asignadas y para hacer mejor uso del tiempo y de los recursos.

La productividad puede ser definida como relación entre el producto de un trabajo y los recursos utilizados para obtenerlo (Alfaro Beltrán & Alfaro Escolar, 1999) y dentro de los recursos invertidos se incluye la mano de obra, materiales, dinero, equipo y tiempo. Una productividad elevada significa mayor aprovechamiento de los recursos invertidos para un producto definido.

La construcción es un sistema de producción, ya que en esta se da la transformación de recursos en obras civiles de diferente naturaleza. Si se aplica lo anterior, los recursos que se usan en las construcciones como lo son los trabajadores, materiales, herramientas, mano de obra y equipos son utilizados para llevar a término un objetivo propuesto desde un inicio.

Sin embargo, se debe recalcar que no es solo llegar a un producto, sino la forma en la que se llega a este. La eficiencia y la efectividad de un trabajo dan sentido al resultado de los recursos invertidos. Una buena utilización de recursos da una mayor probabilidad de obtener logros (Botero Botero & Álvarez Villa, 2004), que es el fin de cualquier actividad.

La productividad de mano de obra se puede ver afectada por la administración de una

obra, el ambiente de trabajo en el que se desarrolla y los métodos de trabajo utilizados y de aquí salen una serie de factores, mencionados por Serpell (1986), que afectan negativamente:

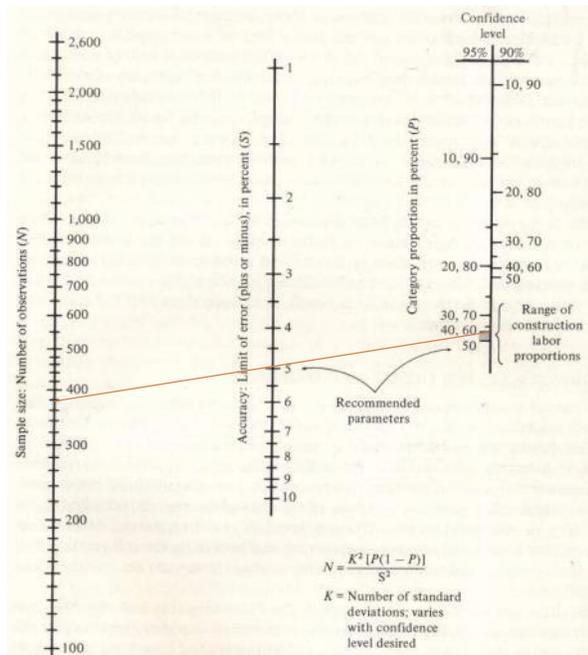
- La complejidad del proyecto.
- Falta de materiales y equipos.
- Espacios reducidos de trabajo.
- Inseguridad en el sitio.
- Falta de supervisión.
- Condiciones climatológicas.
- Falta de mano de obra.
- Mal distribución de personal disponible
- Dificultad de acceso a bodegas de materiales.
- Excesiva rotación de personal.

A pesar de los factores anteriores, con un buen análisis y planificación, se puede solventar la mayoría de los problemas. Serpell (1986) también menciona que se puede mejorar la productividad con:

- Estandarización de procesos.
- Programas de seguridad.
- Programación de compra de equipo y materiales.
- Planificación de los espacios de trabajo.
- Estabilidad de trabajos asignados.
- Incentivos a trabajadores.

## Muestreo de trabajo

Para que la medición que se obtiene de un trabajo tenga validez, es necesario establecer el tamaño de muestra que cumpla con un mínimo estadístico. La productividad de un proceso tiene una proporción de 60-40% normalmente. Los autores Oglesby, Parker y Howell proponen un monograma, presentado en la figura 1, que relaciona dicha proporción con un porcentaje de error máximo con el fin de obtener el tamaño de muestra que permite la ratificación del resultado.



**Figura 1.** Monograma que relaciona la proporción del estudio, el porcentaje de error y el tamaño de muestra para conseguir niveles de confianza deseados.

En la figura 1 se puede observar que para un valor de 60-40% de relación de productividad y un 5% de error es necesario tener 384 observaciones mínimo.

## Técnicas para medición de productividad

### Five Minute Rating

Conocida en español como “Medición en Intervalos de Tiempo”, es una técnica que permite medir el nivel de productividad de uno o más trabajadores, de manera individual, en un intervalo de tiempo definido por la duración de la observación y la cantidad de personas que aportan a la actividad o proceso. Suele ser un proceso rápido en la toma de datos, pero de igual forma requiere tiempo para el análisis y procesamiento de los resultados.

Esta técnica requiere de una clasificación de las observaciones hechas. Una forma es mediante la

categorización de observaciones en (Botero Botero & Álvarez Villa, 2004):

- Trabajo productivo: es el tiempo que se emplea directamente un trabajador en la producción de trabajo o resultado.
- Trabajo contributivo: Es cualquier labor que sirve de apoyo para la tarea principal y que crea trabajo productivo durante la ejecución de la actividad.
- Trabajo no contributivo: son los demás tipos de tarea no entran en la categoría anterior ya que no aportan ningún tipo de ayuda, y en su efecto se consideran pérdidas.

## Crew Balance

Esta técnica, llamada también “Balance de Cuadrillas”, es más detallada en comparación con la técnica anteriormente mencionada. Consiste en dar seguimiento al desarrollo de un trabajo realizado por uno o más individuos en una actividad o proceso llevando control de las tareas realizadas en cada observación.

Esta técnica resulta en unos gráficos, normalmente presentados en forma de barras verticales que muestran el porcentaje de tiempo invertido por cada uno de los trabajadores en las labores identificadas durante la etapa de observación, labores que a su vez se dividen en trabajos productivos, contributivos y no contributivos.

## Mejora de productividad

Para mejorar la productividad es necesario saber el estado original de la actividad de interés, que se consigue con alguna de las técnicas mencionadas anteriormente. La evaluación y estudio de resultados permite encontrar factores que ayudan a identificar problemas que afectan la productividad de procesos y de ahí se pueden tomar decisiones para conseguir resultados positivos. Si se aplica algún tipo de mejora, es necesarios hacer la reevaluación de la productividad para confirmar que los cambios han sido los correctos.

# Rendimientos de mano de obra

El rendimiento es una medición de la cantidad de recurso que se invierte en la obtención de una unidad de obra. Este dato resulta útil en las primeras etapas de un proyecto, cuando se elabora el presupuesto y programación de actividades de la obra, ya que brinda duraciones, costos, mano de obra y materiales necesarios.

La elaboración de bases de datos con datos de rendimientos de actividades constructivas confiables, crea referencias permanentes y actualizables que facilitan la labor inicial de un proyecto y además les da un respaldo a todos los datos proyectados.

El rendimiento de mano de obra se puede ver afectado por una serie de factores que el autor Botero (2002) coloca en 7 categorías:

- La economía general, que se refiere a la economía del país o zona donde se desarrolla la actividad.
- Los aspectos laborales son las condiciones bajo las cuales se trabaja como capacitaciones, zonas de trabajo, desplazamientos, pagos, etc.
- El clima se debe tomar en cuenta la temperatura, el estado del tiempo y si se trabaja a la intemperie o no.
- La actividad que se realiza afecta si tiene algún grado de dificultad, si el espacio de trabajo es apto o no y si depende de alguna otra tarea.
- El si se cuenta con el equipamiento adecuado para poder trabajar.
- La supervisión aporta dirección, instrucción y gestión de calidad.
- Y, por último, el trabajador en sí representa un factor que afecta ya que tiene situaciones personales, habilidades, desempeño y actitud hacia el trabajo que afectan directamente.

## Cálculo de rendimientos

La Ing. Giannina Quesada, el Ing. Eduardo Paniagua y el Ing. Milton Sandoval (2009), en su folleto "Costo de Construcción" presentan un

procedimiento a seguir para el cálculo correcto de rendimientos que se expone en los siguientes puntos.

## Datos

En este punto se expone que se debe saber cuántas personas desarrollaron la tarea, el tiempo de duró la actividad y la cantidad de trabajo realizado en ese intervalo de tiempo.

## Cálculo del rendimiento

Este dato se puede calcular con la ecuación:

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

*Ecuación 1*

Donde:

R = Rendimiento expresado en horas hombre entre unidad del volumen de trabajo realizado.

t = Tiempo que duró la actividad en realizarse.

n = Número de trabajadores que participan en la actividad.

V = Volumen de trabajo realizado.

## Eliminación de datos

Se debe excluir datos que estén muy lejanos a un valor promedio, ya que puede que no representen la realidad.

## Proceso estadístico

Se obtiene una serie de datos como la media aritmética:

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

*Ecuación 2*

La desviación estándar:

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

Ecuación 3

Y el coeficiente de variación:

$$C.V = \frac{\sigma}{R}$$

Ecuación 4

## Aplicación de factores

Se aplica un factor de incremento para cubrir tiempos como alimentación, transporte de materiales, necesidades fisiológicas, etc. que se calcula con la ecuación:

$$f.i = \frac{t.c. \times 100}{h.d. - t.c.}$$

Ecuación 5

Donde:

f.i. = Factor de incremento.

t.c. = Tiempo consumido por otras actividades.

h.d. = Horas que dura la jornada diaria.

## Rendimiento modificado

Se calcula un rendimiento final con la siguiente ecuación:

$$R = R(1 + f.i.)$$

Ecuación 6

## Costo de hora hombre

A partir del rendimiento se puede obtener este costo con la ecuación 7:

$$\text{Costo HH} = \frac{N^{\circ}\text{Operd} \times \frac{\text{salario}}{\text{hora}} + N^{\circ}\text{Ayud} \times \frac{\text{salario}}{\text{hora}} + N^{\circ}\text{Peon} \times \frac{\text{salario}}{\text{hora}}}{N^{\circ}\text{de trabajadores}}$$

Ecuación 7

## Diagrama de Ishikawa

Es un diagrama causa-efecto que permite, mediante el establecimiento y estudio de un problema o situación no deseada, un conjunto de causas comunes de distintas índoles. Con el conocimiento de cuál es la causa de un problema, se hace más fácil tomar acciones correctivas (Niebel & Freivalds, 2009).

En la figura 2 se puede ver la estructura que tiene un diagrama de este tipo.

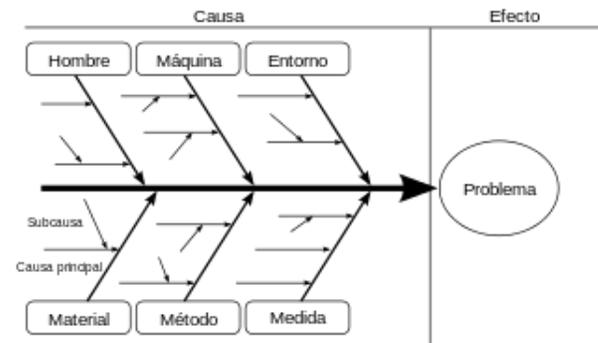


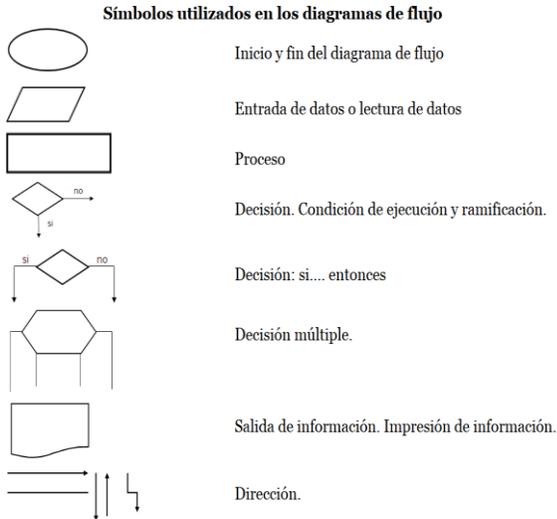
Figura 2. Estructura de un Diagrama de Ishikawa

## Diagramas de flujo

Un diagrama de flujo es una representación gráfica de los pasos que conforman un proceso. Esto sirve para planificar y ver realmente como funciona un procedimiento que lleva a un resultado. Al examinar los pasos de un diagrama se puede definir recursos que se pueden necesitar y problemas que se pueden dar en alguna de las etapas.

Los diagramas de flujo se pueden aplicar en la definición de proyectos, para identificar causas de problemas, para diseño de soluciones, para aplicar soluciones, para llevar control de procesos, etc.

Estos diagramas se construyen a través de una serie de símbolos que tienen su significado y que se presentan en la figura 3.



**Figura 3.** Significado de la simbología utilizada en diagramas de flujo (Tecnológico de Monterrey, 2011)

## Definiciones y conceptos

- Actividad: “Conjunto de procesos realizado en forma conjunta o sucesiva para obtener un producto”. (Leandro, 2015)
- Operación: “Acciones en el nivel de un proceso que se utilizan para definir y realizar tareas.” (Leandro, 2015)
- Proceso: “Sucesión de actos o acciones realizadas con cierto orden, que se dirigen a un punto.” (Leandro, 2015)
- Tarea: “Pasos que forman un proceso.
- Media aritmética: “Promedio de un conjunto de datos” (Mendenhall, Beaver, & Beaver, 2010)
- Desviación estándar: “Conjunto de mediciones es igual a la raíz cuadrada positiva de la varianza” (Mendenhall, Beaver, & Beaver, 2010)
- Coeficiente de variación: “Cociente de la desviación estándar y la media, expresado en porcentaje” (Quiroga, 1977)

# Metodología

El presente proyecto se realizó bajo la modalidad de práctica profesional dirigida en la compañía constructora Van der Laat y Jiménez S.A. Fue también esta empresa la que se encargó de escoger uno de los proyectos entre los que están desarrollando para hacer la toma de datos, y al final se decidió por el Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos, y también se escogió los procesos que iban a ser estudiados y de los cuales se obtendría rendimiento, costos y productividad.



**Figura 4.** Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos (Van der Laat y Jiménez, 2016)

Este edificio se encuentra ubicado en el centro de San José, 200 metros norte del Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia y pertenece a la Caja Costarricense del Seguro Social. Tiene un área de más de 6000 m<sup>2</sup> distribuidos en un sótano destinado para parqueo y entrada de ambulancias, tres niveles superiores que tienen compartimiento para oficinas, consultorios, salas de procedimientos, laboratorios, servicios sanitarios, aulas, biblioteca, espacios abiertos, farmacia, bodegas, pasillos, salas de espera, etc. y obras exteriores para parqueos.

El sistema constructivo está formado de cimentación con pilotes, entresijos, muros y columnas coladas en sitio con concreto que debe tener una resistencia a la compresión a los 28

días de 280 kg/m<sup>2</sup>. Además, se utilizaron vigas prefabricadas y paredes internas de mampostería y de materiales livianos.

## Procedimiento

Como paso uno para el inicio del proyecto, se coordinó una reunión con el ingeniero residente y el maestro de obras general de la construcción. Basándose en que estaban teniendo problemas con el avance, programación y presupuesto de costos de mano de obra, se decidió hacer el estudio a los procesos de encofrado de entresijos, muros y columnas.

Una vez asignadas las tareas, se procedió a hacer un reconocimiento del sitio de construcción para ver el estado y nivel de avance que llevaba el proyecto. En la primera visita se observó que se tenía parte del sótano y primer nivel colados y se estaba empezando a encofrar el entresijo de segundo nivel que se encontraba sobre las secciones en las que la obra gris estaba terminada.

Para entender un poco mejor la forma de trabajo y la dinámica del sitio, se estableció un periodo de dos semanas en los cuales se iba a observar a los trabajadores y así poder entender los procesos y las tareas que los componen. Este periodo también sirvió para observar cuales recursos e insumos se utilizaban en las tareas que se iban definiendo como las herramientas, equipos, cantidad de mano de obra y materiales. De aquí se obtuvieron diagramas de flujo de cada proceso y cuadros que enlistan los recursos usados por tarea, que se incluyen en la sección de resultados más adelante. Los diagramas de flujo y los cuadros de datos se elaboraron con el uso de Microsoft Office Word 2016.

En la siguiente etapa se inició con el periodo de mediciones para obtener datos de productividad y rendimientos, pues los tres procesos se realizan de forma simultánea en

diferentes partes del edificio, las mediciones se hacían a como se avanzaba con el trabajo en la obra.

Para la toma de datos se procedió de dos maneras diferentes. La productividad se manejó con la toma de videos, los cuales se hicieron en distintos momentos de avance de la tarea. Estos tenían una duración que dependió de cómo se desarrollaba la tarea y de la cantidad de gente que participó durante la observación tratando, de que al momento de procesar estos, se pudiera obtener 384 o más observaciones en intervalos de tiempo razonables. Los datos de entrada para la medición de productividad están en el apéndice A.

Paralelo a la cuantificación de productividad, se hizo la medición de rendimientos de las mismas tareas que fueron grabadas para poder hacer la comparativa después. La toma de datos para rendimientos se hizo mediante un cuadro que fue diseñado para que permitiera anotar que tarea iba a ser medida, la duración del proceso, la cantidad de trabajadores observados y el volumen producido en las unidades del caso.

La figura 5 muestra un ejemplo de uno de los cuadros que fue utilizado para anotar datos de entrada para cálculo de rendimientos.



**VAN DER LAAT  
Y JIMÉNEZ S.A.**  
Compañía Constructora

**Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos**

Medición de Rendimientos

Realizado por: \_\_\_\_\_ Observaciones: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Proceso: \_\_\_\_\_

Tarea	Hora de Inicio	Hora de Finalización	Mano de obra				Avance en unidad de ____
			Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros	

**Figura 5.** Cuadro utilizado para toma de datos para cálculo de rendimiento de tareas de un proceso.

Para cada tarea que conforma cada proceso, se hizo un total de tres mediciones de 384 o más observaciones para poder establecer un punto de comparación y una media en los resultados de los rendimientos.

Una vez que se recolectó toda la información de entrada, se procedió a comenzar

con el procesamiento de la misma. Los videos se analizaron para definir en qué intervalo de tiempo se iban a procesar, tomando en cuenta la duración de este y la cantidad de gente que se grabó y que participaba en la tarea.

Se llevó control de cada labor que conformó la tarea y cada observación se categorizó como trabajo productivo, contributivo y no contributivo. A partir de esta clasificación se generaron dos tipos de gráficos: los de niveles de productividad y los de Crew Balance, ambos gráficos para cada uno de los trabajadores de manera individual.

La categorización de labores se hizo considerando como se reflejaba su desarrollo en el producto final. Si esta tenía un impacto real y directo a la producción de volumen de construcción, se clasificaría como trabajo productivo. Si el trabajo se trataba de facilitar o prepara algo para una tarea más importante, entonces se consideró que se trabajaba de trabajo contributivo. Si alguna labor no cabe en ninguna de las dos categorías anterior y no tiene valor para el producto final, se consideró tiempo no productivo. Los cálculos se encuentran de manera resumida en el apartado de resultados.

Los datos fueron procesados con el uso del software Microsoft Office Excel 2016 que permitió la obtención de gráficos.

Mientras se hacían los videos de los que se obtuvo productividad, se tomó nota de la cantidad de gente que participaba en la tarea, la duración de esta y el volumen de trabajo producido con el fin de obtener los datos de entrada para el cálculo de rendimientos siguiendo el procedimiento descrito en el marco teórico.

Los rendimientos se calcularon, primeramente, de forma completa y se obtuvieron resultados en unidades de hora hombre (HH) entre la unidad de volumen de trabajo realizado. En el siguiente cálculo, se hizo la distinción entre tipo de trabajadores, en este caso sería carpinteros (HC) y ayudantes (HA), ya que son los que trabajaban en el área de encofrados.

Todos los datos permitieron la elaboración de una base de datos de resultados para consulta. Esta fue elaborada con Microsoft Office Excel 2016. Aquí se puede consultar los resultados tanto de productividad, como de rendimientos y costos por proceso y por tarea.

Una vez vistos y analizados los videos, se procede a determinar posibles causas que generan las bajas productividades, esas se

presentan el diagrama de Ishikawa que es la figura 85 contenida en la sección de resultados.

	
<b>Base de datos:</b>	
<b>Resultados de mediciones de productividad y rendimiento</b>	
Proyecto Estudiado: Centro Nacional de Control del Dolor y Cuidados Paliativos	
Realizado por: Hazel Salazar Cerdas	
Resultados de productividad	Resultados de rendimientos

*Figura 6. Portada de base de datos realizada.*

## Actividades observadas

Como se mencionó anteriormente, se hicieron la medición y la observación a tres actividades:

- Encofrado de columnas.
- Encofrado de muros.
- Encofrado de entrepiso.

Cabe mencionar que para los encofrados se utilizó un sistema alemán modular llamado PERI y se utilizó el modelo TRIO. Este es un sistema universal para todo tipo de aplicaciones y facilita los trabajos ya que tienen solo un tipo de cerrojo entre paneles que alinea y con un mínimo de accesorios. (PERI, 2017)

### Encofrado de columnas

Para este proceso se identificaron 3 tareas que fueron para las cuales se midió la productividad y los rendimientos. Estas son la colocación de paneles y accesorios, apuntalado de la estructura y aplomado y nivelado de esta.

Para la colocación de paneles se tenía estructuras ya armadas que solo se quitaban de un elemento y con ayuda de la grúa se colocaban en otro elemento que ya tenía la armadura de acero lista. Los paneles se amarraban con alambre negro antes de colocar los tirantes de amarre. Luego se ponía los puntales que sirven de soporte mediante accesorios que lo amarraban al panel y a la losa de concreto. Por

último, con la ayuda de plomadas, se nivelan los paneles por medio del ajuste de los puntales colocados anteriormente.



*Figura 7. Columna encofrada y apuntalada con el sistema PERI.*

### Encofrado de muros

Este proceso es muy similar al de las columnas, pero un poco más extenso. En la mayoría de los casos se tenía bloques de paneles ya armados porque muchos de los muros tenían las mismas dimensiones y en casos muy particulares se tenían que buscar paneles para armar la estructura. El apuntalado consistió en el amarre de los puntales, por medio de accesorios, a los paneles y a la losa de concreto. Por último, se colocaban las plomadas y se ajustaban los puntales para lograr el nivelado de los elementos.



**Figura 8.** Muro encofrado y apuntalado con el sistema PERI.

## Encofrado de entrepiso

Este proceso requiere de cuatro tareas para ser completado: ajuste de burras de carga y colocación de viguetas, colocación de paneles, encofrado de nudo de amarre entre la viga y la columna y, por último, se colocan paneles en los bordes.

La colocación de viguetas incluye la nivelación de las bases de las burras de carga, la colocación del primer grupo de viguetas y luego un segundo grupo de viguetas que se amarran a las bases. Luego se colocan los paneles de entrepiso que es un área que ya está modulada, pero aun así se buscan los paneles en el momento que se ocupan. Luego de que terminan estas tareas se empieza, de manera simultánea, con la colocación de paneles en el borde de losa y el encofrado o taponamiento de nudo entre viga y columnas.

En la figura 9 se puede ver la tarea de colocado de viguetas. En la figura 10 se observa la tarea de colocación de paneles. Las figuras 11 y 12 ilustran el encofrado de un nudo y la colocación de paneles en el borde respectivamente.



**Figura 9.** Colocación de viguetas para encofrado de entrepiso.



**Figura 10.** Colocación de paneles de encofrado de entrepiso.



**Figura 11.** Encofrado de nudo de unión entre viga y columna.



**Figura 12.** Colocación de paneles de encofrado de borde en losa.

# Resultados

## Encofrado de columnas

En la figura 13 se muestra el diagrama de flujo que describe el proceso de encofrado de columna de 50cm x 50cm x 387cm con el sistema PERI que incluye las tareas de colocación de paneles,

apuntalado de paneles y aplomado y nivelado de la estructura.

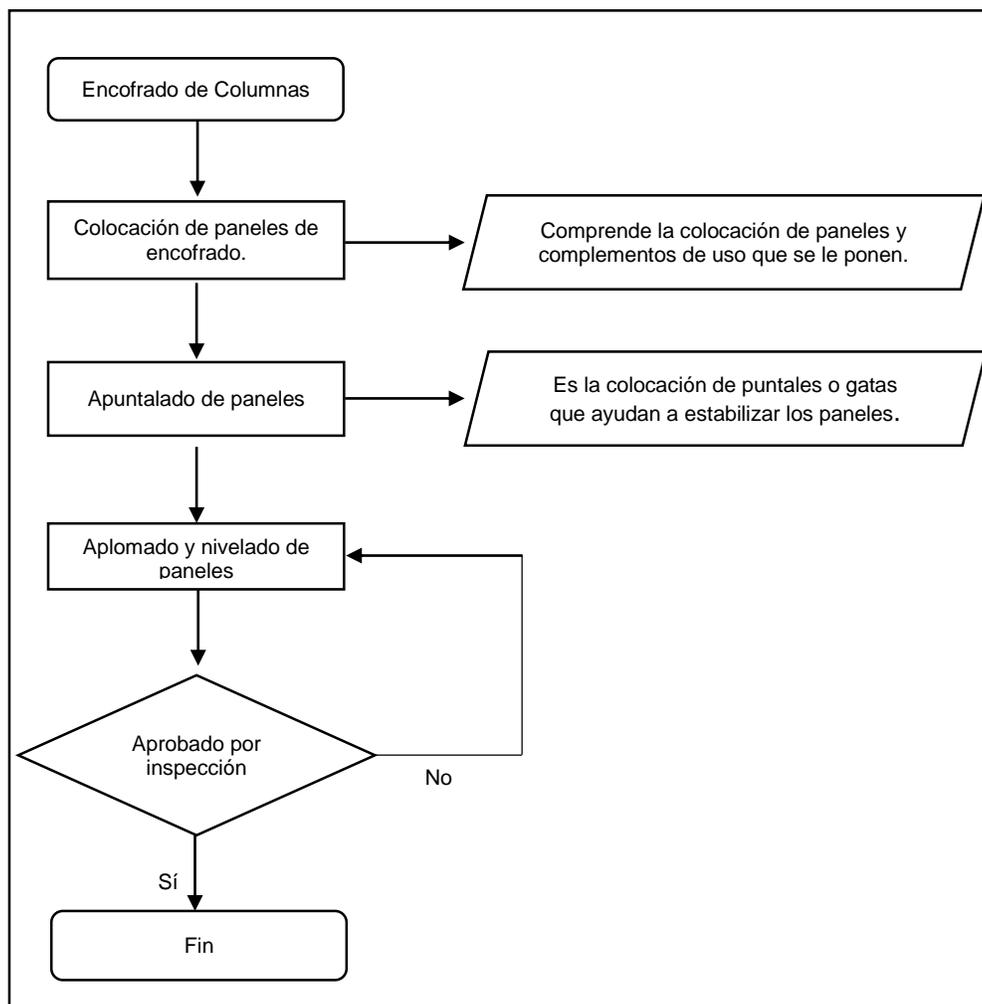


Figura 13. Diagrama de flujo para el encofrado de columnas.

<b>CUADRO 1. RECURSOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE ENCOFRADO DE COLUMNA DE 50cm X 50cm X 387cm</b>			
Tarea	Recursos		
	Equipo	Material	Mano de Obra
Colocación de paneles	Grúa Martillo Tenazas	Paneles Cangrejos Arañas Tirantes Bandas Alambre negro	1-2 Carpintero 1-2 Ayudante
Apuntalado de paneles	Cubos Taladro Tenazas	Puntales Tornillos Alambre negro	1 Carpintero 1Ayudante
Aplomado y nivelado de paneles	Plomada Palancas Cinta métrica Varillas		1 Carpintero 1Ayudante

## Colocación de paneles

Es la primera tarea que se hace al empezar el proceso de formateo de columnas. A continuación, se muestran los resultados de los

tres muestreos de trabajos realizados, de los cuales se obtuvieron datos de productividad y rendimiento.

## Muestreo 1: Colocación de paneles de encofrado de columnas

El cuadro 2 contiene datos que se incorporaron a la hora de la toma de información y que son de

consideración al momento de hacer el muestreo. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

<b>CUADRO 2. INFORMACIÓN GENERAL</b>	
Fecha:	2 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

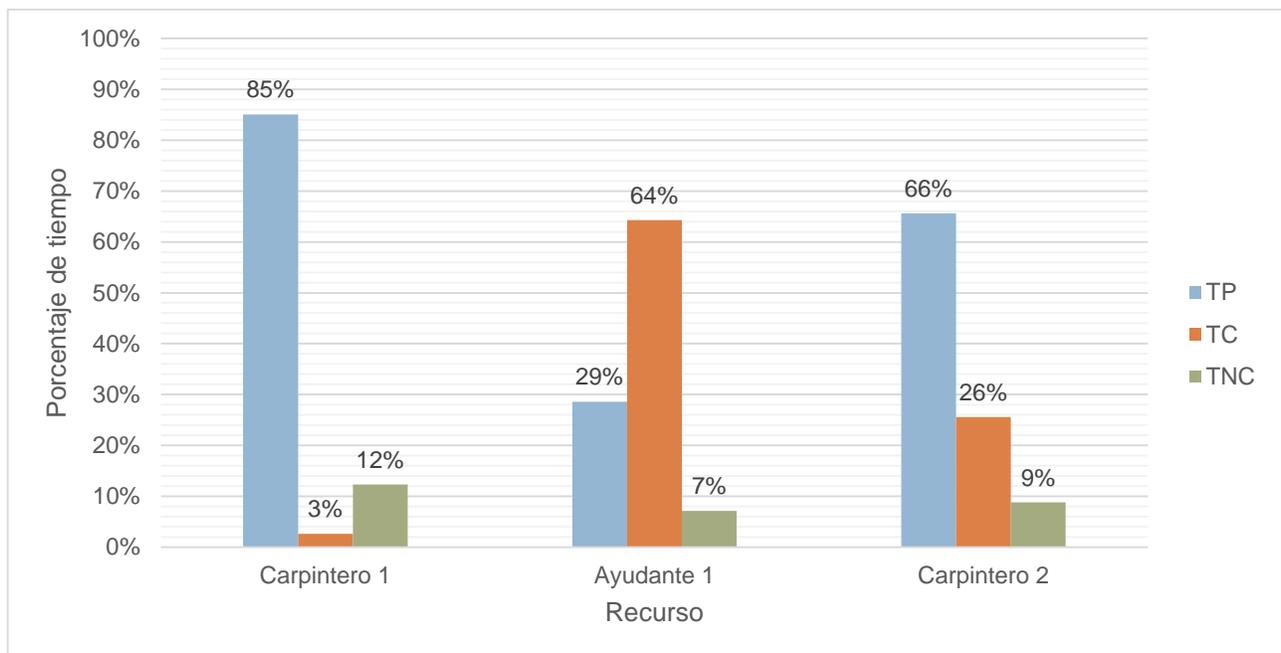
El cuadro 3 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 3. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta panel	86	20%
	Coloca panel	65	15%
	Sostiene panel	57	13%
	Amarra panel	49	11%
	Coloca/ajusta complemento	0	0%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	58	13%
	Hace amarras	43	10%
	Busca material/equipo/herramienta	32	7%
	Da/recibe instrucciones	2	1%
TNC	Tiempo de espera	30	7%
	Ocioso	11	3%
Total		433	100%

En la figura 14 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 15 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 14.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles para encofrado de columna.

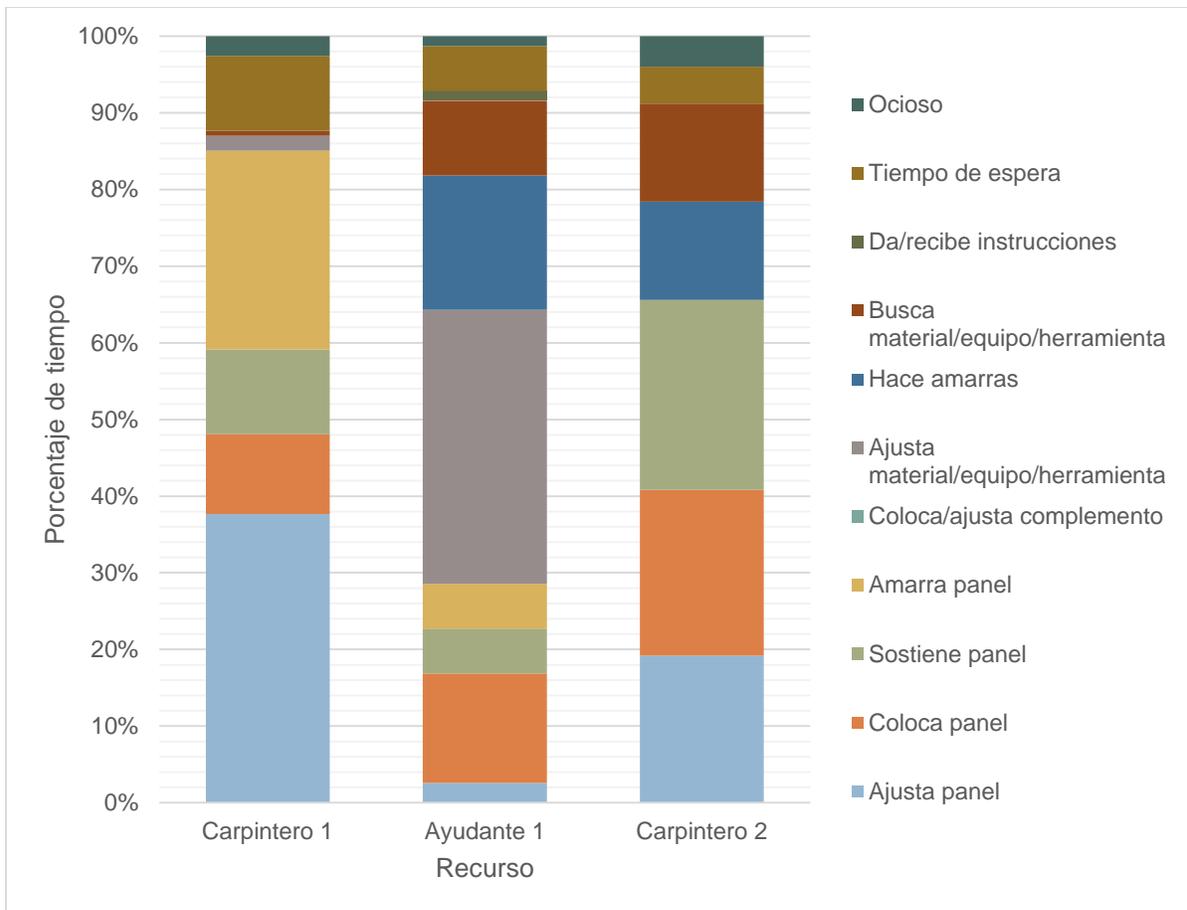


Figura 15. Crew Balance para la tarea de colocación de paneles para encofrado de columna.

## Muestreo 2: Colocación de paneles de encofrado de columnas

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 4. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	26 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

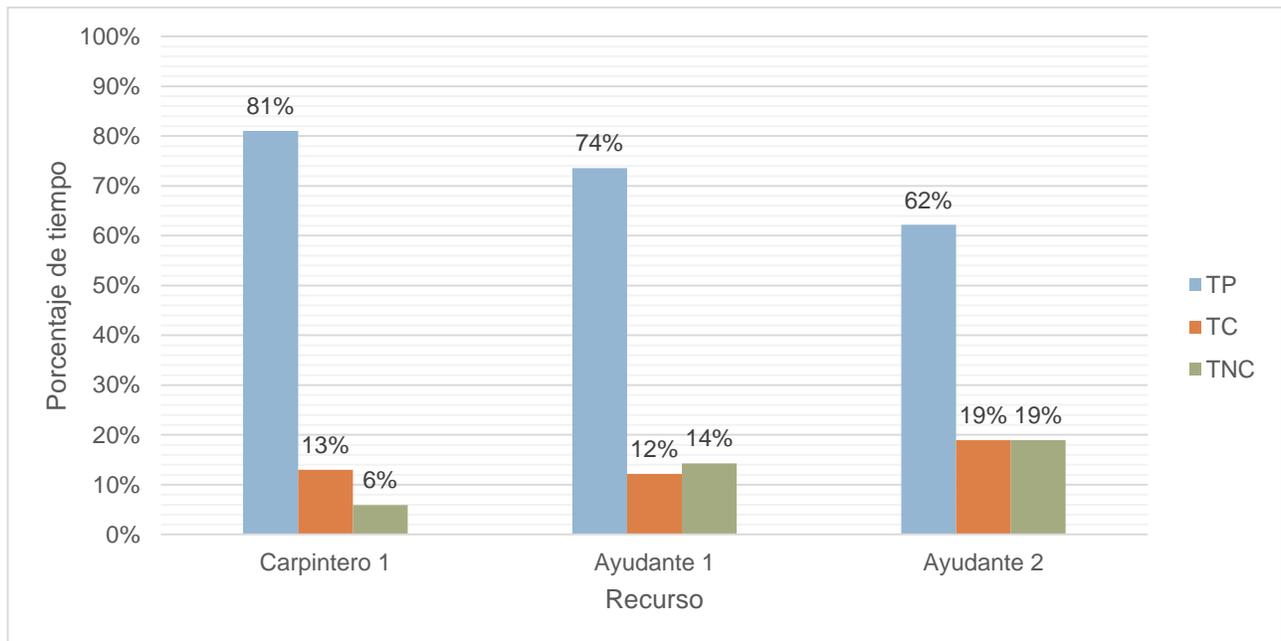
El cuadro 5 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la z.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 5. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta panel	57	14%
	Coloca panel	60	17%
	Sostiene panel	27	6%
	Amarra panel	12	3%
	Coloca/ajusta complemento	153	36%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	24	6%
	Hace amarras	6	1%
	Busca material/equipo/herramienta	11	3%
	Da/recibe instrucciones	19	5%
TNC	Tiempo de espera	44	11%
	Ocioso	7	2%
Total		420	100 %

En la figura 16 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 17 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 16.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles para encofrado de columna.

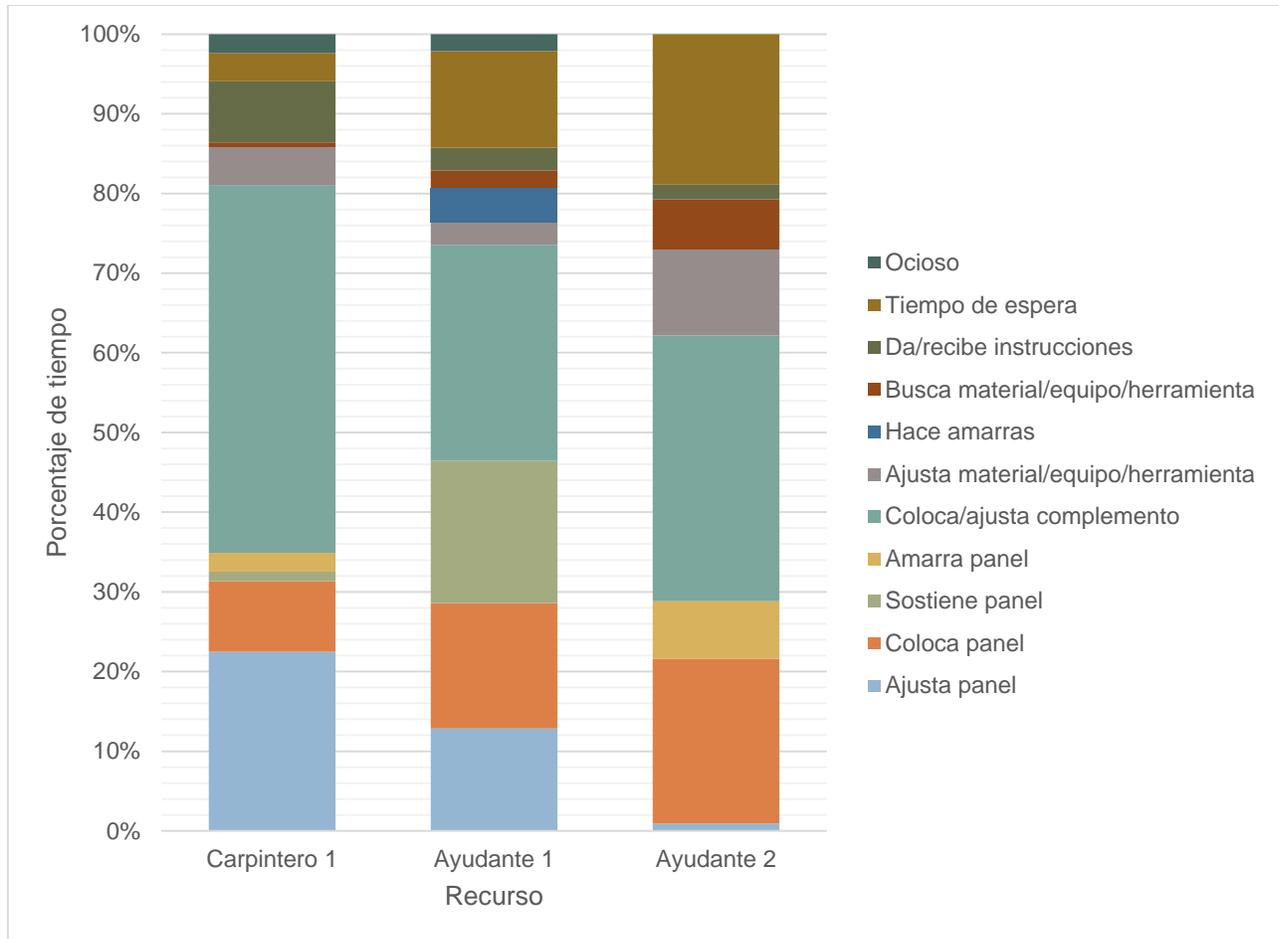


Figura 17. Crew Balance para la tarea de colocación de paneles para encofrado de columna.

### Muestreo 3: Colocación de paneles de encofrado de columnas

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 6. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	27 de setiembre
Estado del tiempo	Nublado

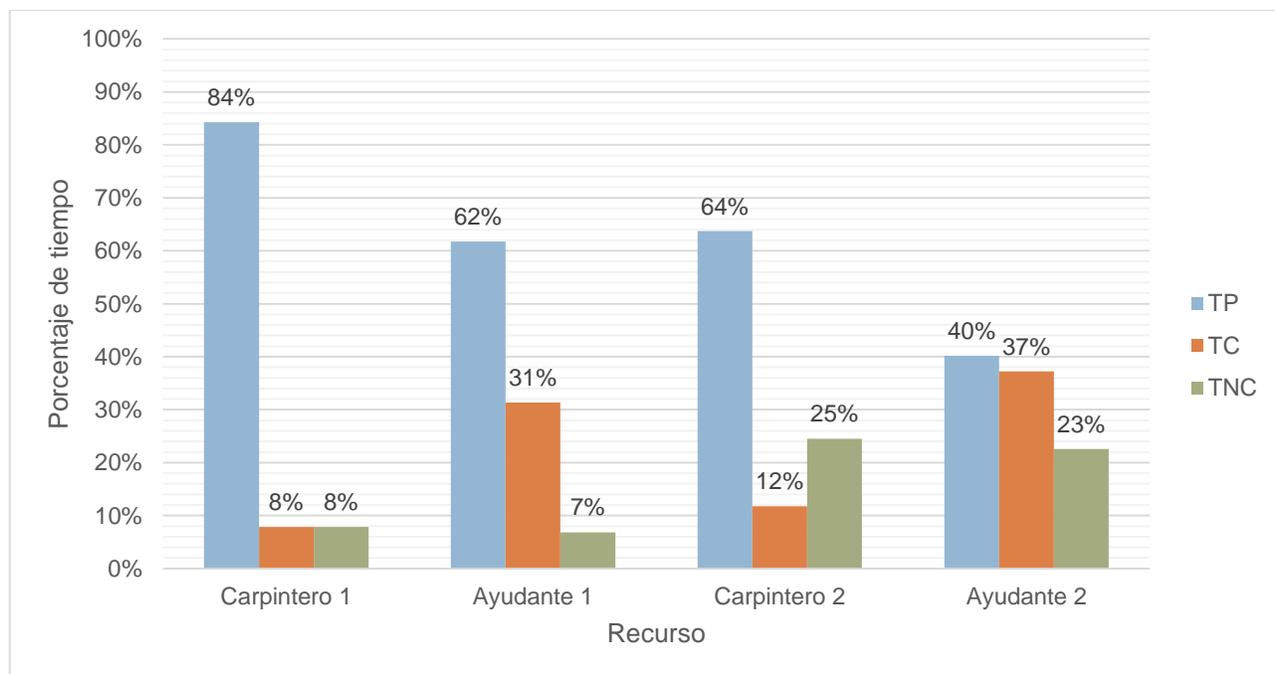
El cuadro 7 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 7. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta panel	38	9%
	Coloca panel	36	9%
	Sostiene panel	36	9%
	Amarra panel	18	4%
	Coloca/ajusta complemento	127	31%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	48	12%
	Hace amarras	3	1%
	Busca material/equipo/herramienta	33	8%
	Da/recibe instrucciones	6	1%
TNC	Tiempo de espera	44	11%
	Ocioso	19	5%
Total		408	100 %

En la figura 18 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 19 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 18.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles para encofrado de columna.

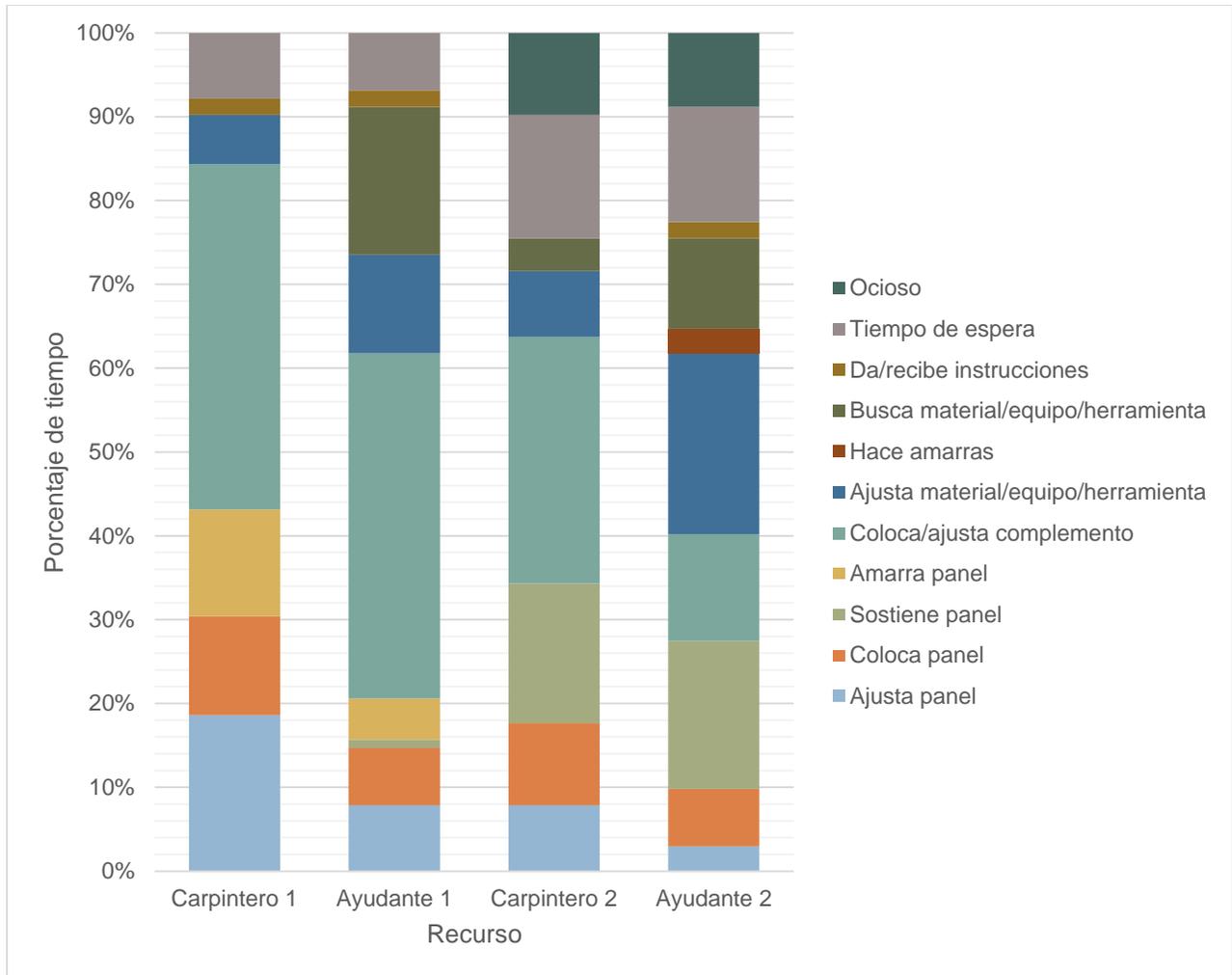


Figura 19. Crew Balance para la tarea de colocación de paneles para encofrado de columna.

## Rendimiento: Colocación de paneles de encofrado de columnas

En el cuadro 8 se muestran los rendimientos para la tarea de colocación de paneles de encofrado de columnas en unidades de horas hombre por unidad de columna. Además, se muestra el cuadro 9 que da los costos de mano de obra por

hora y por unidad de trabajo. Los rendimientos se presentan de forma detallada en el apéndice C y los salarios de mano de obra utilizados en el cálculo en el apéndice E.

CUADRO 8. RENDIMIENTO GENERAL DE LA TAREA						
Muestreo	Tiempo medido	Tiempo en horas	Nº de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (unidad de columna de 50x50x387 cm)	Rendimiento (HH/ unidad de columna 50x50x387 cm)
1	0:25:00	0,417	3	1,250	1	1,250
2	0:30:00	0,500	3	1,500	1	1,500
3	0:19:00	0,317	4	1,267	1	1,267
Promedio						1,339
Desviación Estándar						0,140
Coeficiente de Variación						10,4%
Factor de Incremento						0,129
Rendimiento Modificado						1,512

CUADRO 9. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA TAREA MEDIDA.					
Mano de obra utilizada				Costo de hora	Costo por unidad de volumen de trabajo
Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
0	1	0	2	4.122,67 CRC	2.055,58 CRC

## Apuntalamiento de paneles

Posterior al montaje de paneles y complementos de trabajo, se procede al apuntalamiento de estos. A continuación, se muestra los resultados

de los tres muestreos de trabajos realizados, de los cuales se obtuvieron datos de productividad y rendimiento.

## Muestreo 1: Apuntalamiento de paneles de encofrado de columnas

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 10. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	2 de agosto
Estado del tiempo	Soleado

El cuadro 11 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este

muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las

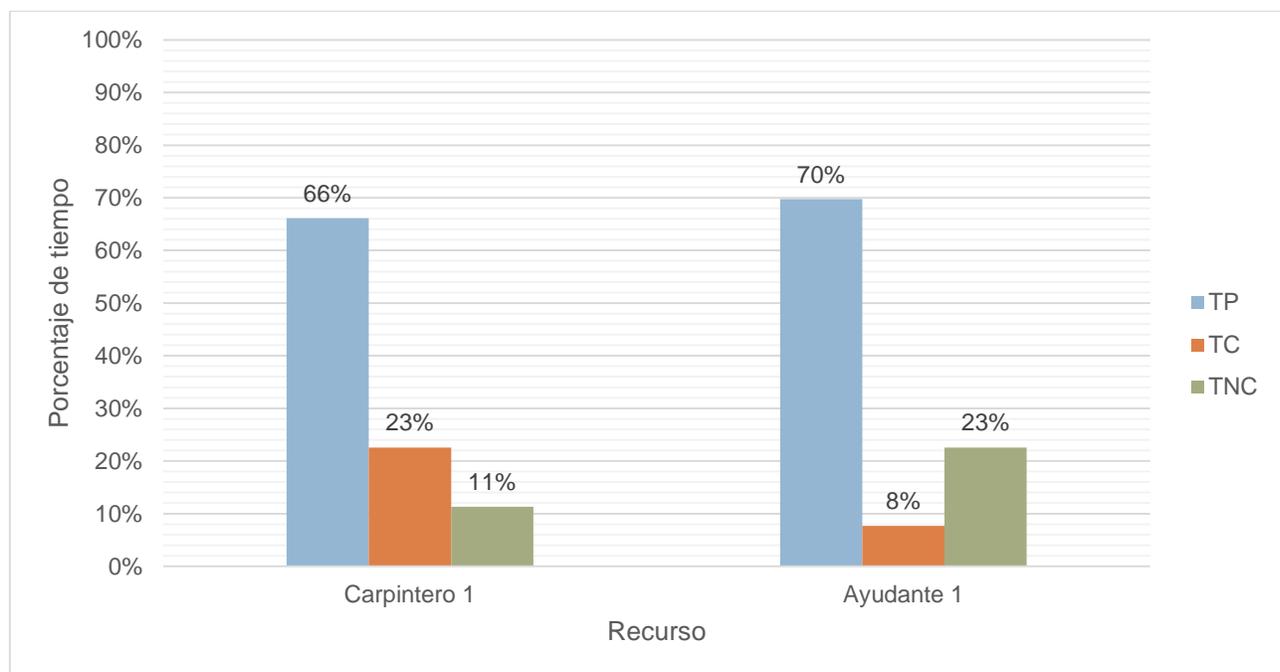
mediciones totales representa. Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo

contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC)

<b>CUADRO 11. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES</b>			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta tornillo	38	10%
	Ajusta puntal	150	38%
	Coloca zapato	19	5%
	Taladra agujero	58	15%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	18	5%
	Busca material/equipo/herramienta	41	11%
	Da/recibe instrucciones	0	0%
TNC	Tiempo de espera	42	11%
	Ocioso	19	5%
	Acomoda espacio de trabajo	5	1%
Total		390	100%

En la figura 20 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 21 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 20.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de apuntalado de paneles para encofrado de columna.

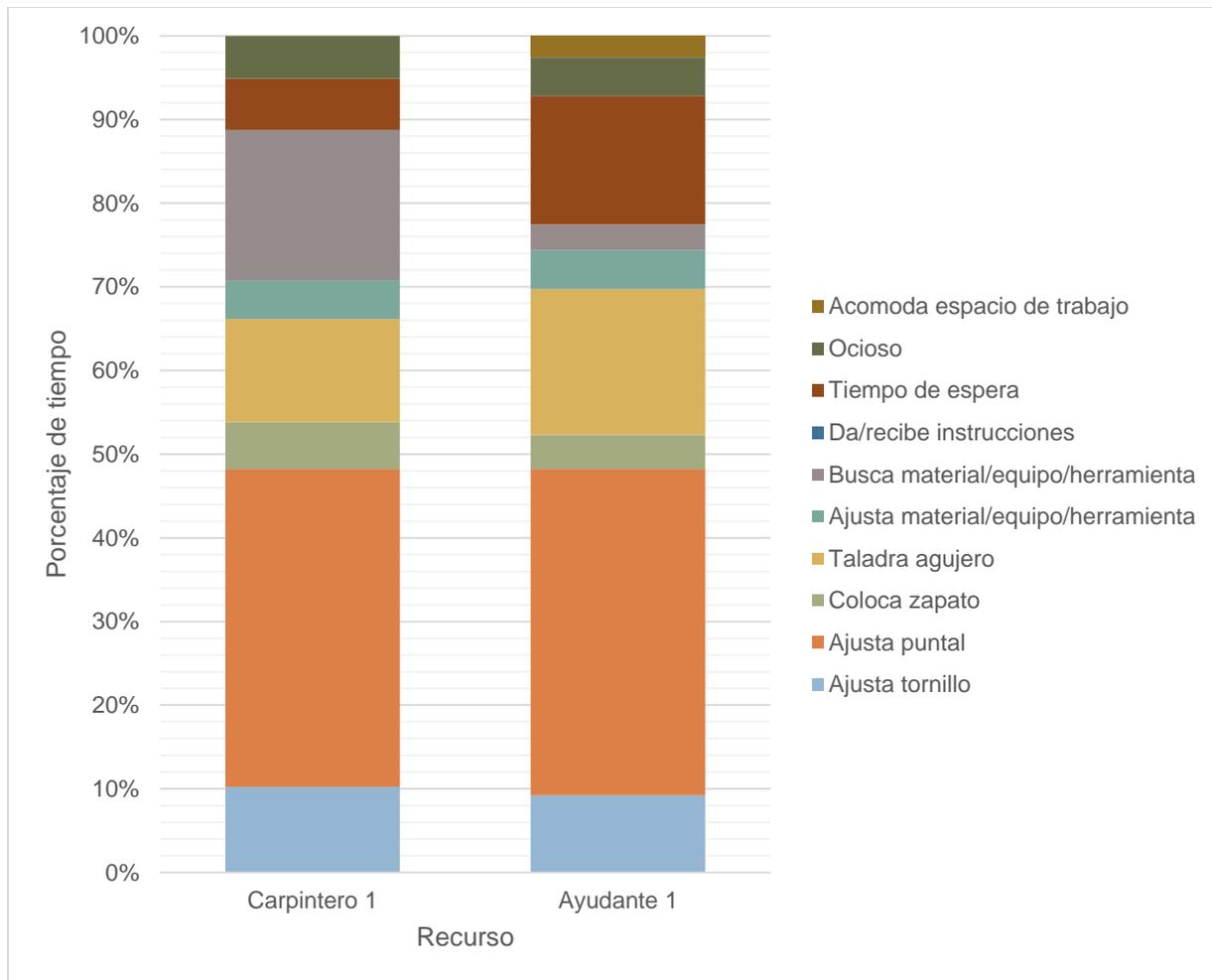


Figura 21. Crew Balance para la tarea de apuntalado de paneles para encofrado de columna.

## Muestreo 2: Apuntalamiento de paneles de encofrado de columnas

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 12. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	5 de setiembre
Estado del tiempo	Nublado

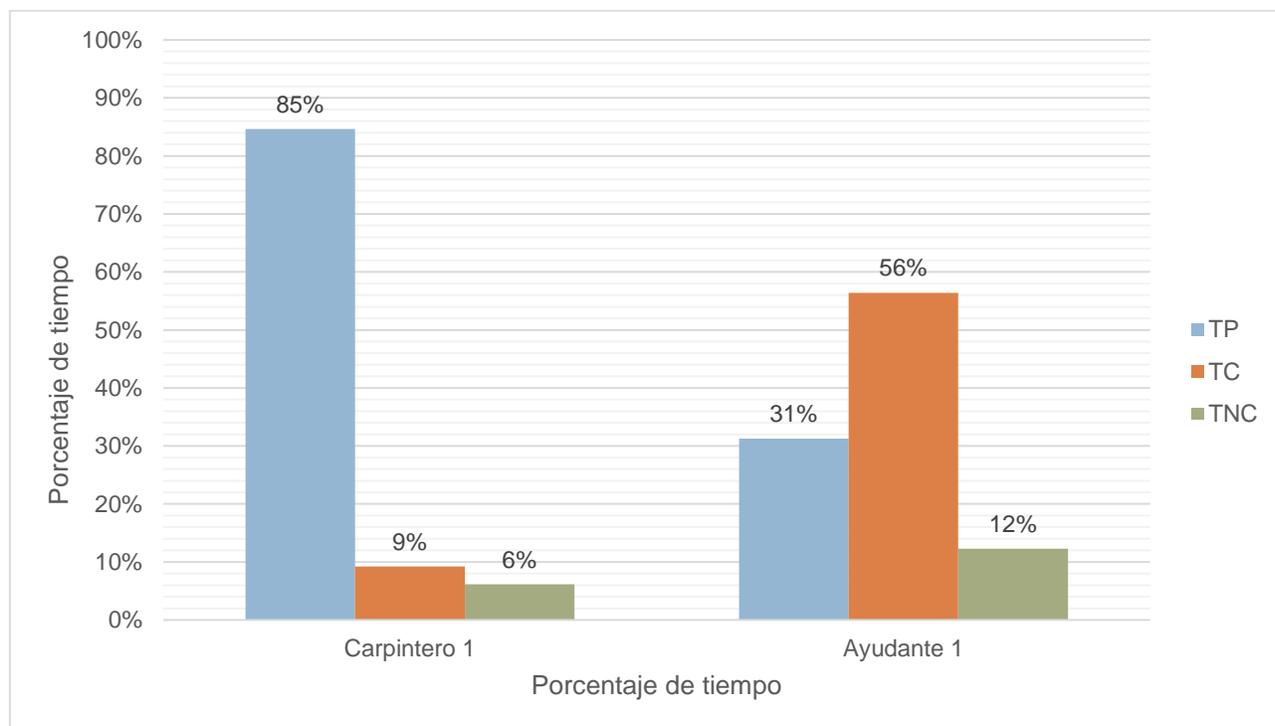
El cuadro 13 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa. Además, clasifica

estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 13. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta tornillo	35	9%
	Ajusta puntal	151	39%
	Coloca zapato	12	3%
	Taladra agujero	28	7%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	14	4%
	Busca material/equipo/herramienta	102	26%
	Da/recibe instrucciones	12	3%
TNC	Tiempo de espera	36	9%
	Ocioso	0	0%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
Total		390	100%

En la figura 22 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 23 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 22.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de apuntalado de paneles para encofrado de columna.

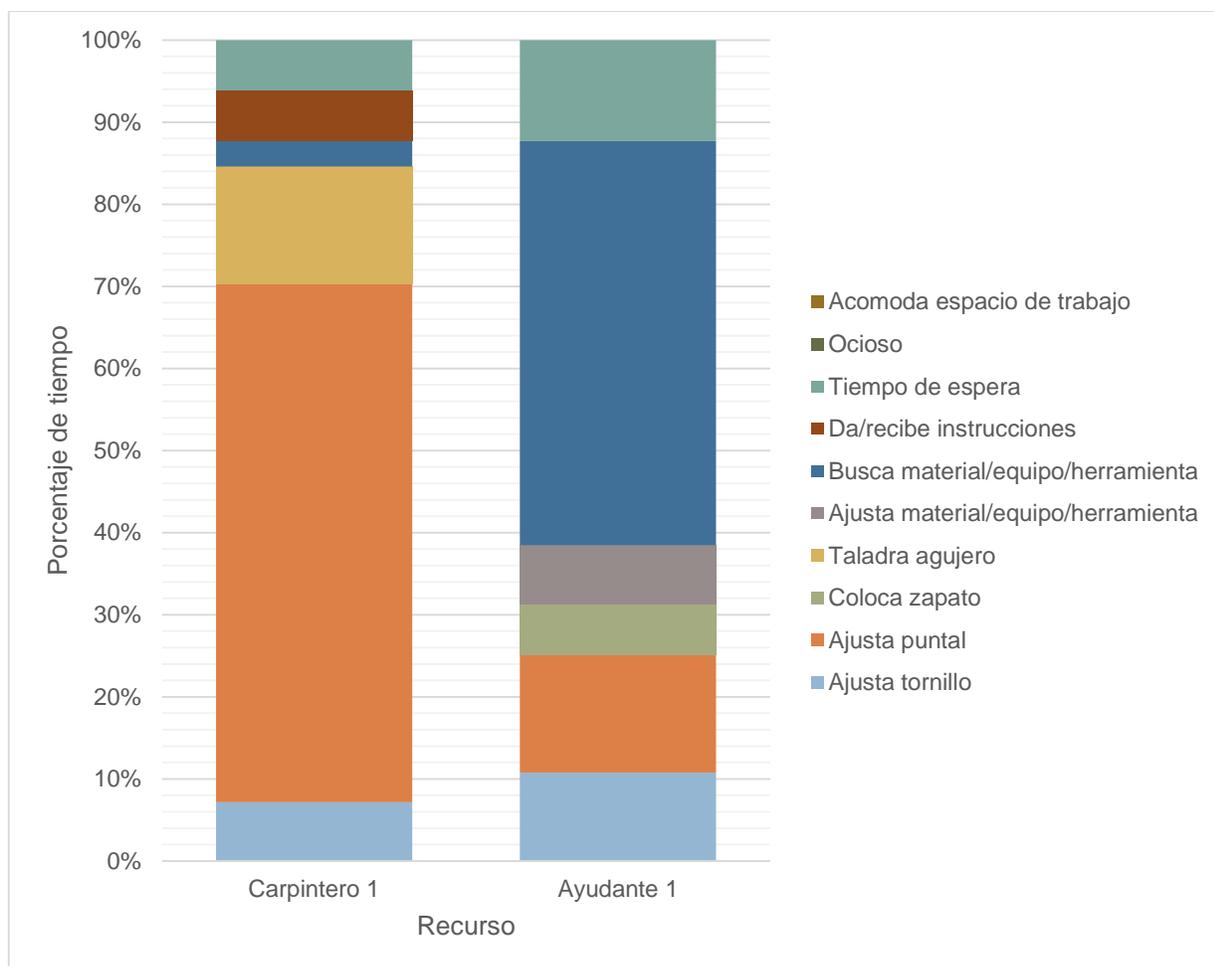


Figura 23. Crew Balance para la tarea de apuntalado de paneles para encofrado de columna.

### Muestreo 3: Apuntalamiento de paneles de encofrado de columnas

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 14. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	26 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

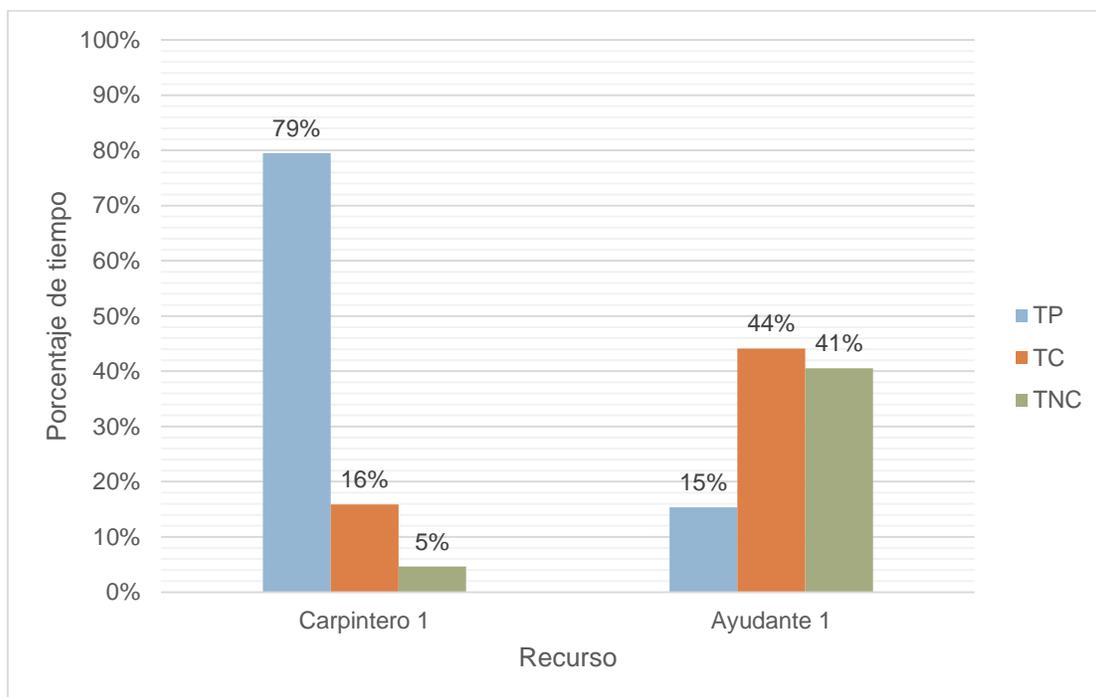
El cuadro 15 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa. Además, clasifica

estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

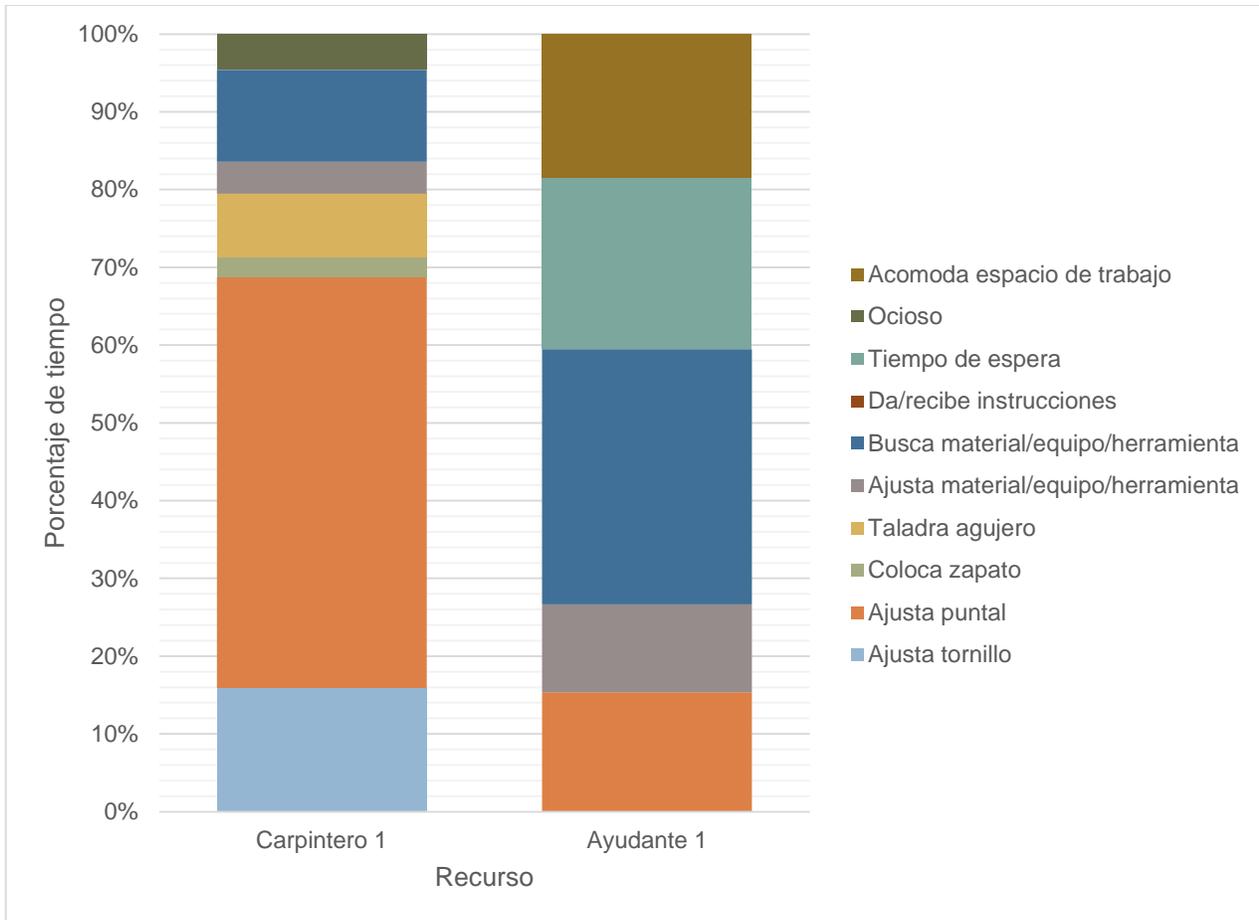
CUADRO 15. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta tornillo	31	8%
	Ajusta puntal	133	34%
	Coloca zapato	5	1%
	Taladra agujero	16	4%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	30	8%
	Busca material/equipo/herramienta	87	22%
	Da/recibe instrucciones	0	0%
TNC	Tiempo de espera	43	11%
	Ocioso	9	2%
	Acomoda espacio de trabajo	36	9%
Total		390	100%

En la figura 24 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 25 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 24.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de apuntalado de paneles para encofrado de columna.



**Figura 25.** Crew Balance para la tarea de apuntalado de paneles para encofrado de columna.

## Rendimiento: Apuntalado de paneles de encofrado de columnas

En el cuadro 16 se muestran los rendimientos para la tarea de apuntalamiento de paneles de encofrado de columnas en unidades de horas hombre por unidad de columna. Además, se muestra el cuadro 17 que da los costos de mano

de obra por hora y por unidad de trabajo. Los rendimientos se presentan de forma detallada en el apéndice C y los salarios de mano de obra utilizados en el cálculo en el apéndice E.

CUADRO 16. RENDIMIENTO GENERAL DE LA TAREA						
Muestreo	Tiempo medido	Tiempo en horas	Nº de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (unidad de columna de 50x50x387 cm)	Rendimiento (HH/ unidad de columna 50x50x387 cm)
1	0:52:00	0,867	2	1,733	1	1,733
2	0:56:00	0,933	2	1,867	1	1,567
3	0:48:00	0,800	2	1,600	1	1,600
Promedio						1,633
Desviación Estándar						0,088
Coeficiente de Variación						5,4%
Factor de Incremento						0,129
Rendimiento Modificado						1,844

CUADRO 17. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA TAREA MEDIDA.					
Mano de obra utilizada				Costo de hora	Costo por unidad de volumen de trabajo
Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
0	1	0	1	2.721,41 CRC	2.662,81 CRC

## Aplomado de paneles

Por último, se debe aplomar todo el montaje realizado anteriormente para para que al colar elementos estos que bien. A continuación, se

muestran los resultados de los tres muestreos de trabajos realizados, de los cuales se obtuvo datos de productividad y rendimiento.

## Muestreo 1: Aplomado de paneles de encofrado de columnas

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 18. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	28 de julio
Estado del tiempo	Nublado

El cuadro 19 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este

muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las

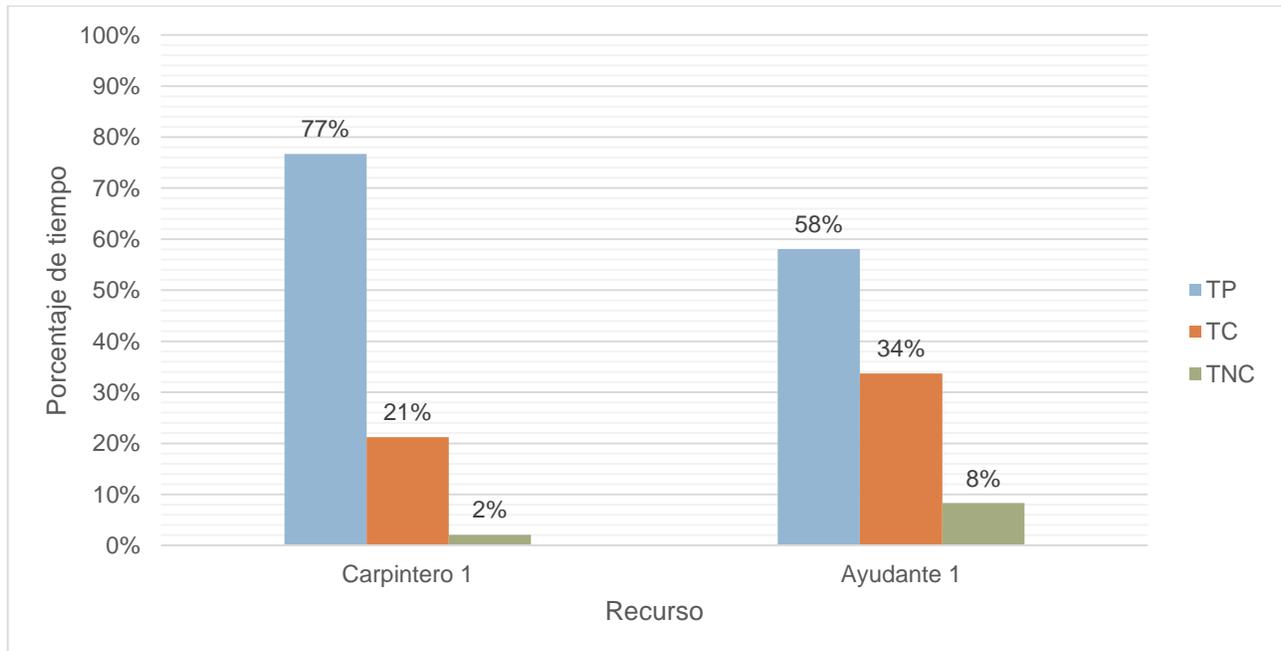
mediciones totales representa. Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo

contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC)

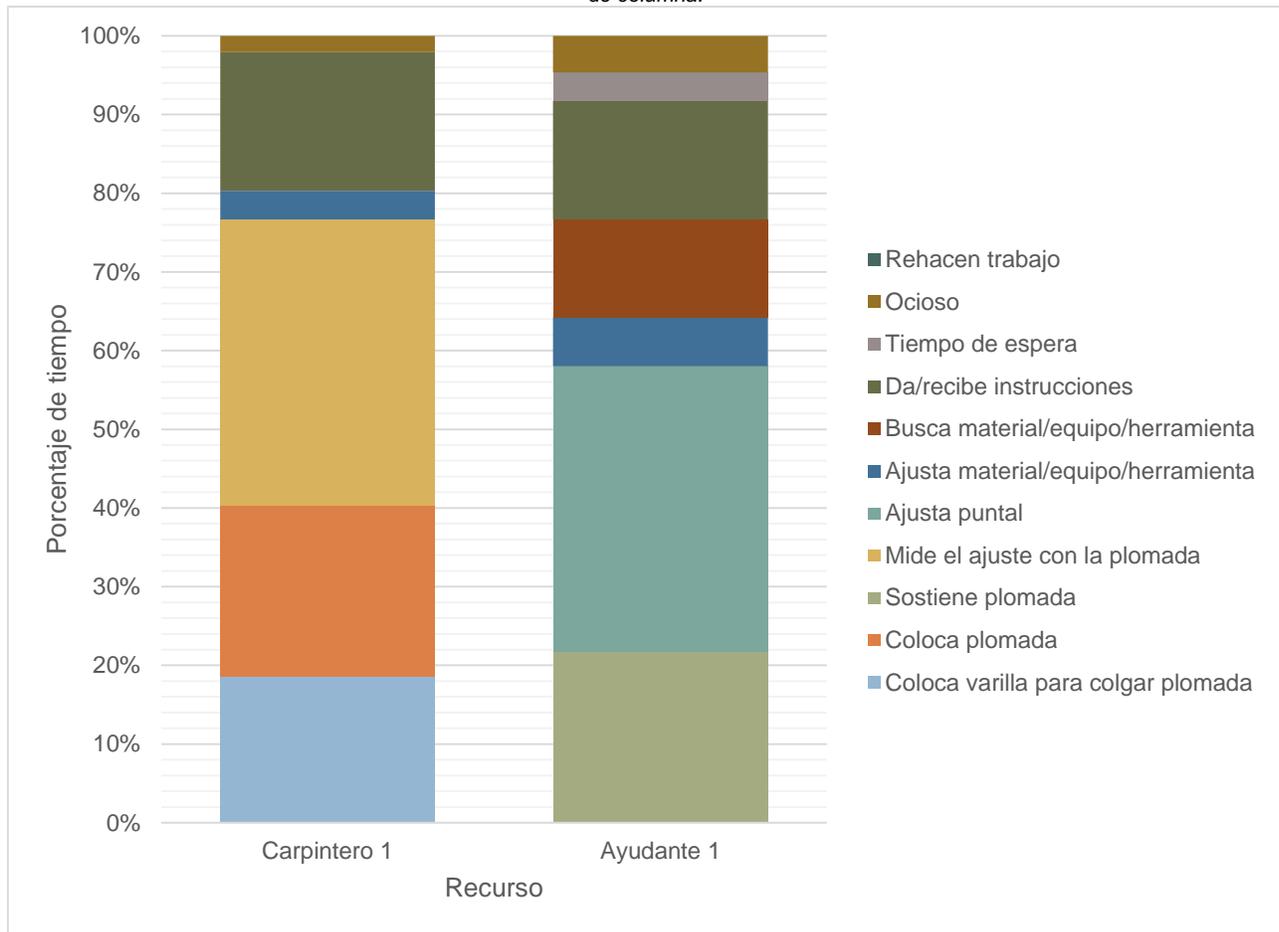
<b>CUADRO 19. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES</b>			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca varilla para colgar plomada	36	9%
	Coloca plomada	42	11%
	Sostiene plomada	42	11%
	Mide el ajuste con la plomada	70	18%
	Ajusta puntal	70	18%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	19	5%
	Busca material/equipo/herramienta	24	6%
	Da/recibe instrucciones	63	16%
TNC	Tiempo de espera	7	2%
	Ocioso	13	3%
	Rehacen trabajo	0	0%
Total		386	100%

En la figura 26 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 27 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 26.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de aplomado y nivelación de paneles para encofrado de columna.



**Figura 27.** Crew Balance para la tarea de aplomado y nivelación de paneles para encofrado de columna.

## Muestreo 2: Aplomado de paneles de encofrado de columnas

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 20. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	5 de setiembre
Estado del tiempo	Nublado

El cuadro 21 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa. Además, clasifica

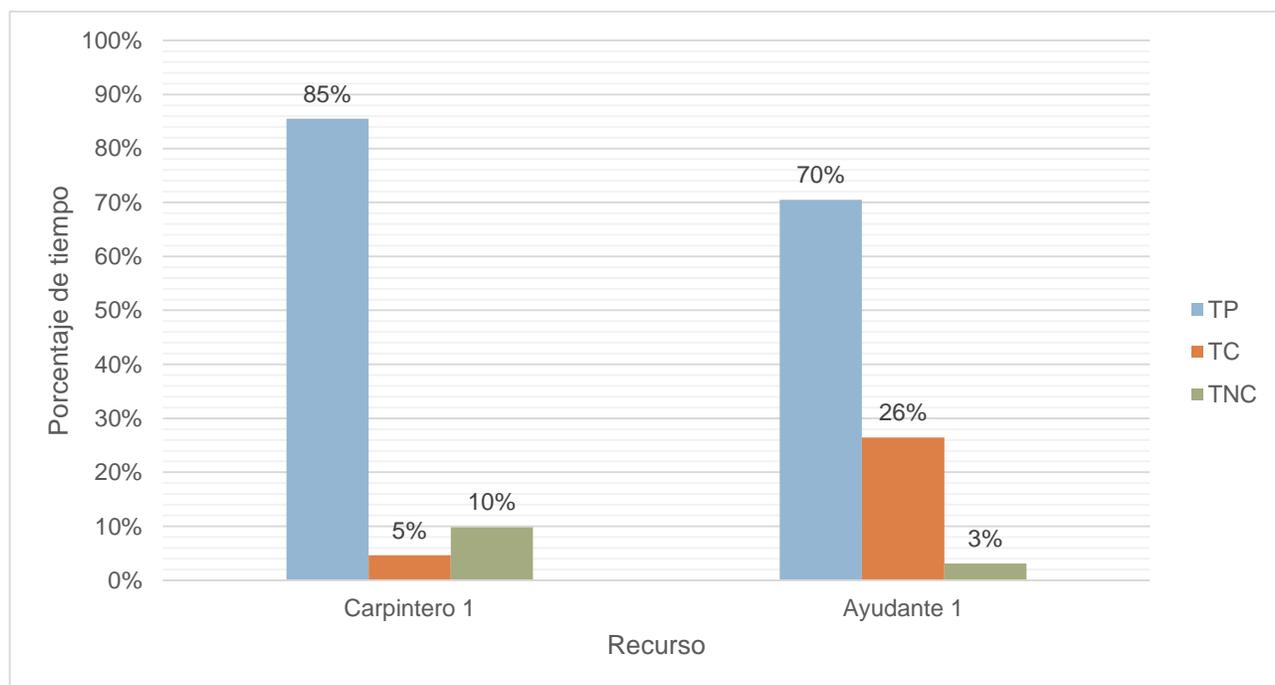
estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC)

**CUADRO 21. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES**

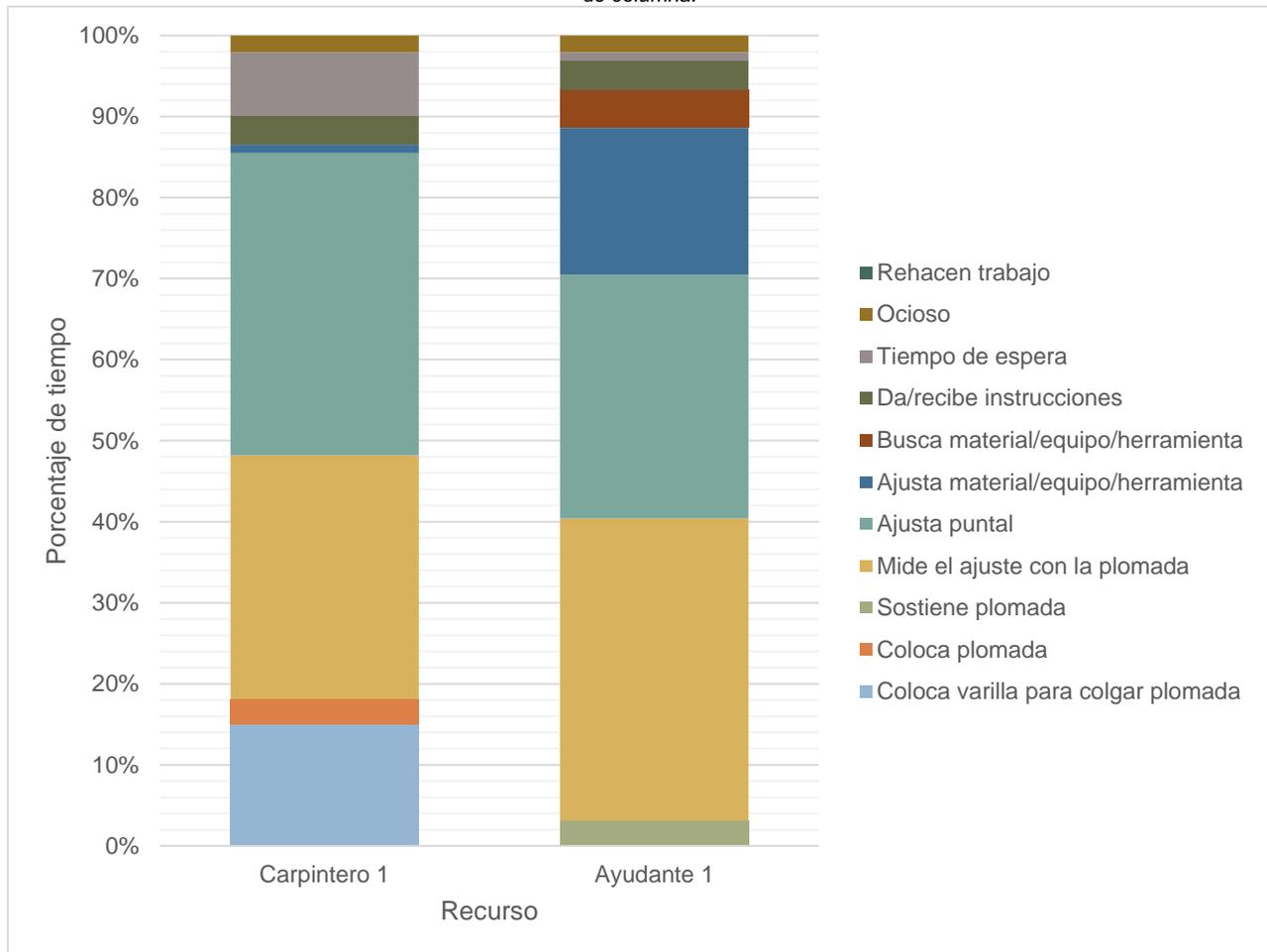
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca varilla para colgar plomada	29	8%
	Coloca plomada	6	2%
	Sostiene plomada	6	2%
	Mide el ajuste con la plomada	130	34%
	Ajusta puntal	130	34%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	37	10%
	Busca material/equipo/herramienta	9	2%
	Da/recibe instrucciones	14	4%
TNC	Tiempo de espera	17	4%
	Ocioso	8	2%
	Rehacen trabajo	0	0%
Total		386	100%

En la figura 28 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 29 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 28.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de aplomado y nivelación de paneles para encofrado de columna.



**Figura 29.** Crew Balance para la tarea de aplomado y nivelación de paneles para encofrado de columna.

### Muestreo 3: Aplomado de paneles de encofrado de columnas

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 22. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	26 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

El cuadro 23 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las

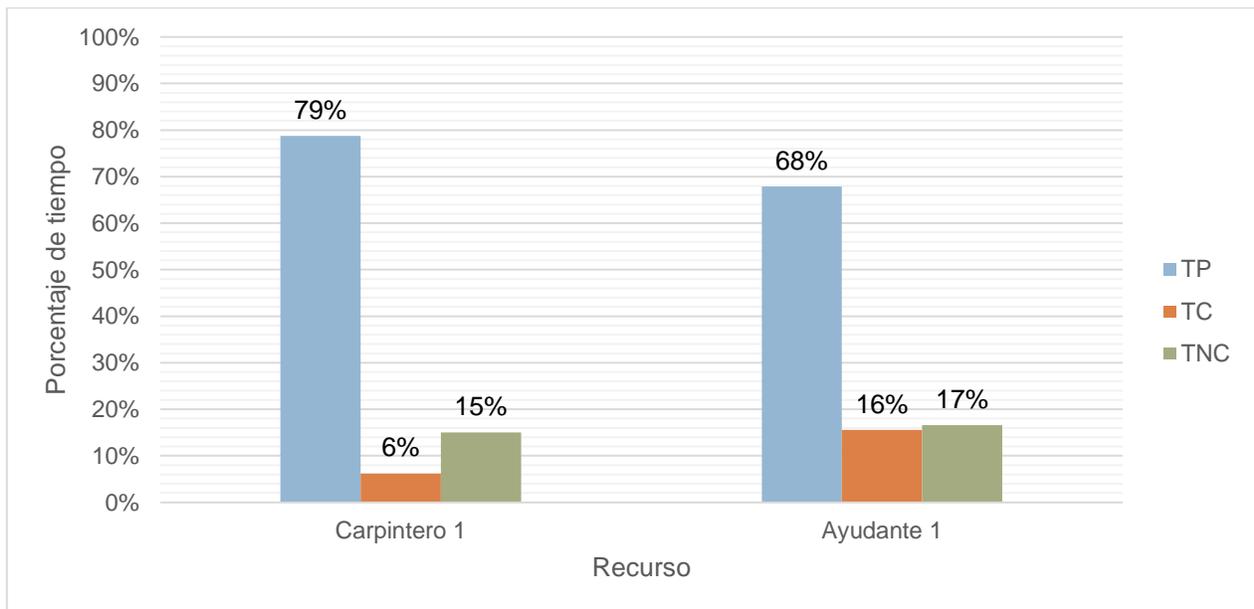
mediciones totales representa. Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC)

**CUADRO 23. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES**

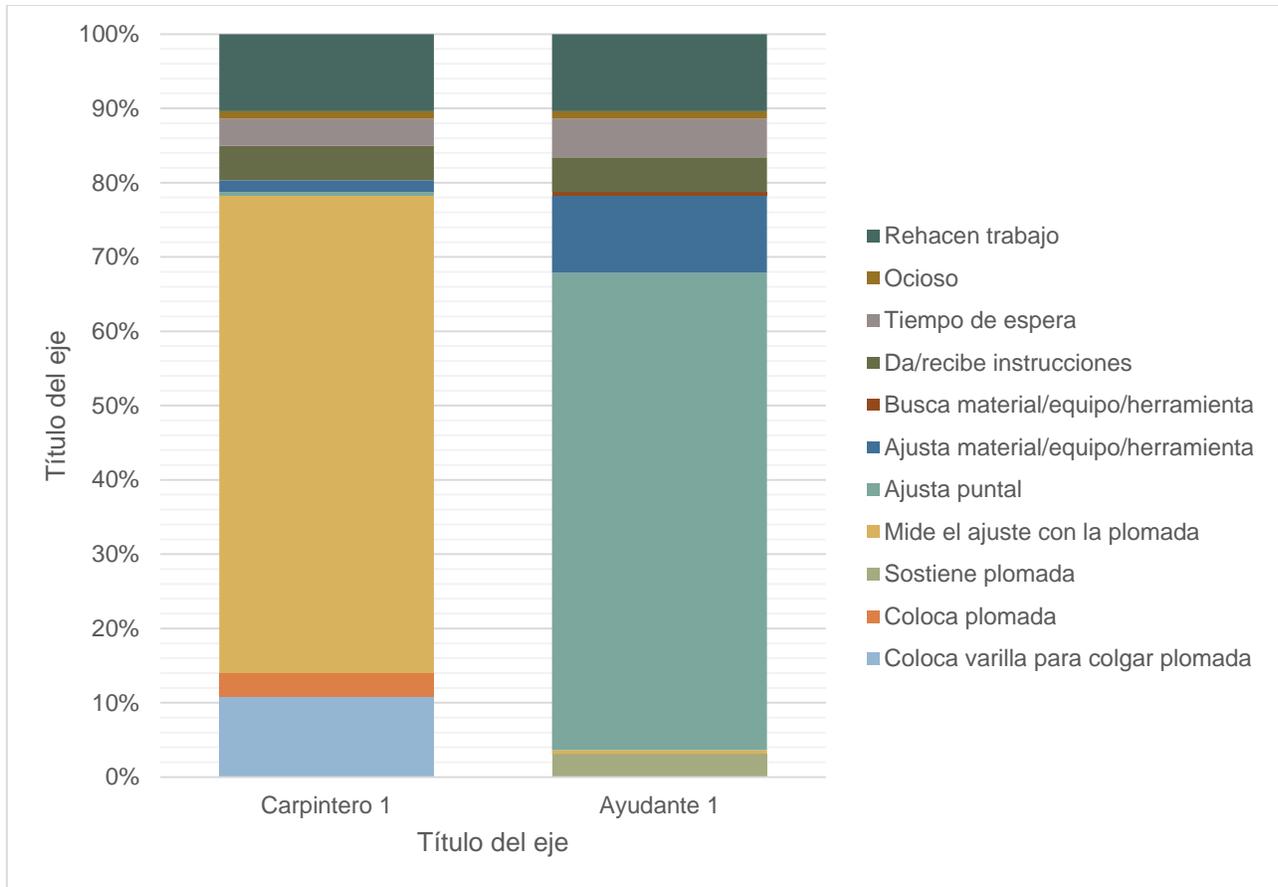
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca varilla para colgar plomada	21	5%
	Coloca plomada	6	2%
	Sostiene plomada	6	2%
	Mide el ajuste con la plomada	125	32%
	Ajusta puntal	125	32%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	23	6%
	Busca material/equipo/herramienta	1	0%
	Da/recibe instrucciones	18	5%
TNC	Tiempo de espera	17	4%
	Ocioso	4	1%
	Rehacen trabajo	40	10%
Total		386	100%

En la figura 30 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 31 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 30.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de aplomado y nivelación de paneles para encofrado de columna.



**Figura 31.** Crew Balance para la tarea de aplomado y nivelación de paneles para encofrado de columna.

## Rendimiento: Aplomado y nivelación de paneles de encofrado de columnas

En el cuadro 24 se muestran los rendimientos para la tarea de aplomado y nivelación de paneles de encofrado de columnas en unidades de horas hombre por unidad de columna. Además, se muestra el cuadro 25 que da los

costos de mano de obra por hora y por unidad de trabajo. Los rendimientos se presentan de forma detallada en el apéndice C y los salarios de mano de obra utilizados en el cálculo en el apéndice E.

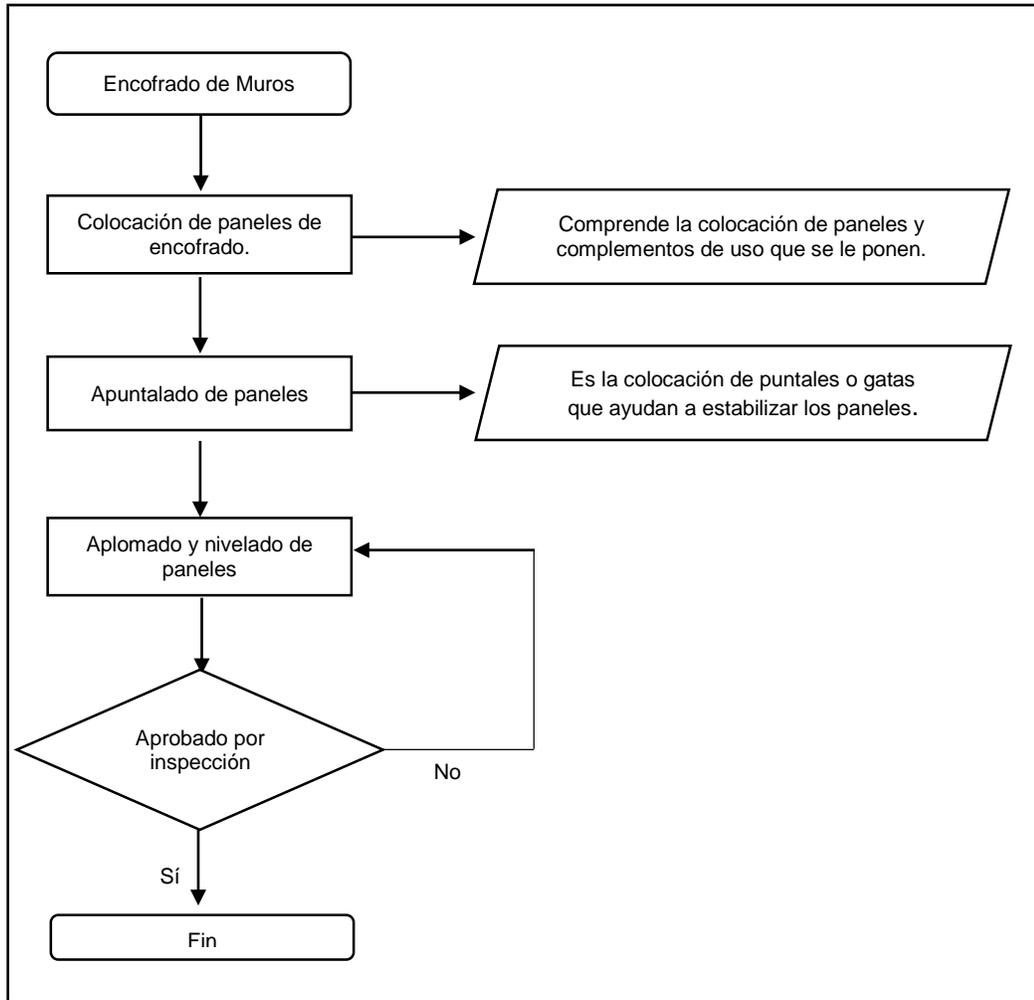
CUADRO 24. RENDIMIENTO GENERAL DE LA TAREA						
Muestreo	Tiempo medido	Tiempo en horas	Nº de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (unidad de columna de 50x50x387 cm)	Rendimiento (HH/ unidad de columna 50x50x387 cm)
1	0:20:00	0,333	2	0,667	1	0,667
2	0:26:00	0,433	2	0,867	1	0,867
3	0:25:00	0,417	2	0,833	1	0,833
Promedio						0,789
Desviación Estándar						0,107
Coeficiente de Variación						13,6%
Factor de Incremento						0,129
Rendimiento Modificado						0,891

CUADRO 25. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA TAREA MEDIDA.					
Mano de obra utilizada				Costo de hora	Costo por unidad de volumen de trabajo
Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
0	1	0	1	2.721,41 CRC	1.177,78 CRC

# Encofrado de Muros

En la figura 32 se muestra el diagrama de flujo que describe el proceso de encofrado de muros e incluye las tareas de colocación de paneles,

apuntalado de paneles y aplomado y nivelado de la estructura.



**Figura 32.** Diagrama de flujo para el encofrado de muros.

**CUADRO 26. RECURSOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE ENCOFRADO DE MUROS**

Tarea	Recursos		
	Equipo	Material	Mano de Obra
Colocación de paneles	Grúa Martillo Tenazas SERRUCHO Sierra de corte	Paneles Cangrejos Arañas Tirantes Bandas de amarre Alambre negro Madera	3-5 Carpinteros
Apuntalado de paneles	Cubos Taladro Tenazas	Puntales Tornillos Alambre negro	1 Carpintero 1 Ayudante
Aplomado y nivelado de paneles	Plomada Palancas Cinta métrica Varillas		1-2 Carpintero 1 Ayudante

**Colocación de paneles**

Es la primera tarea que se hace al empezar el proceso de formateo de muros. A continuación, se muestran los resultados de los tres muestreos

de trabajos realizados, de los cuales se obtuvo datos de productividad y rendimiento.

**Muestreo 1: Colocación de paneles de encofrado de muros**

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 27. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	26 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

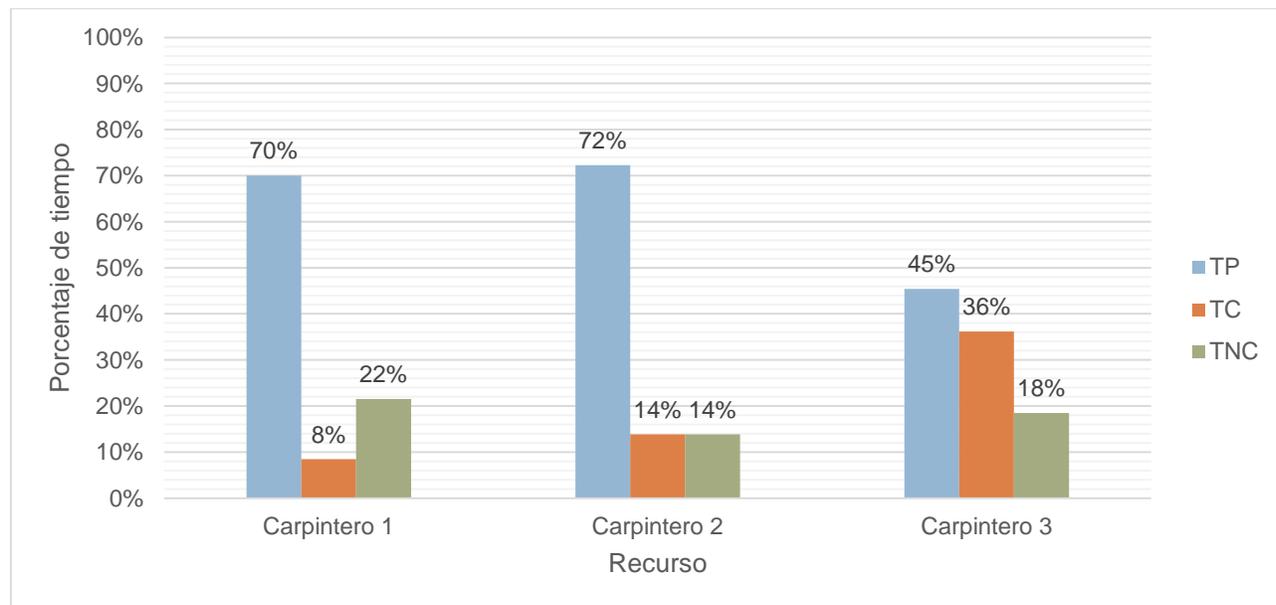
El cuadro 28 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

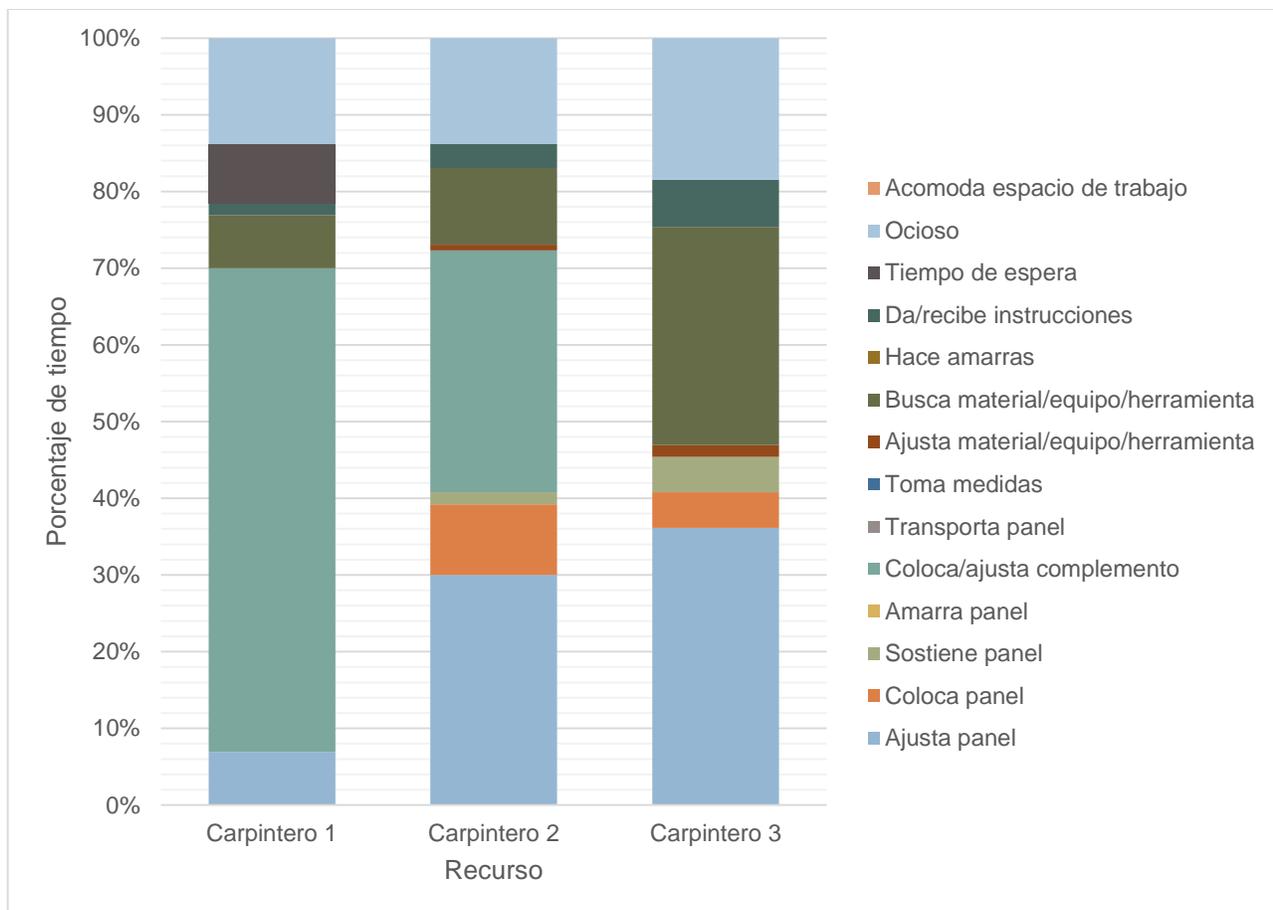
CUADRO 28. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta panel	95	24%
	Coloca panel	18	5%
	Sostiene panel	8	2%
	Amarra panel	0	0%
	Coloca/ajusta complemento	123	32%
	Transporta panel	0	0%
TC	Toma medidas	0	0%
	Ajusta material/equipo/herramienta	3	1%
	Busca material/equipo/herramienta	59	15%
	Hace amarras	0	0%
	Da/recibe instrucciones	14	4%
TNC	Tiempo de espera	10	3%
	Ocioso	60	15%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
Total		390	100%

En la figura 33 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 34 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 33.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles para encofrado de muro.



**Figura 34.** Crew Balance para la tarea de colocación de paneles para encofrado de muro.

## Muestreo 2: Colocación de paneles de encofrado de muros

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 29. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	27 de setiembre
Estado del tiempo	Nublado

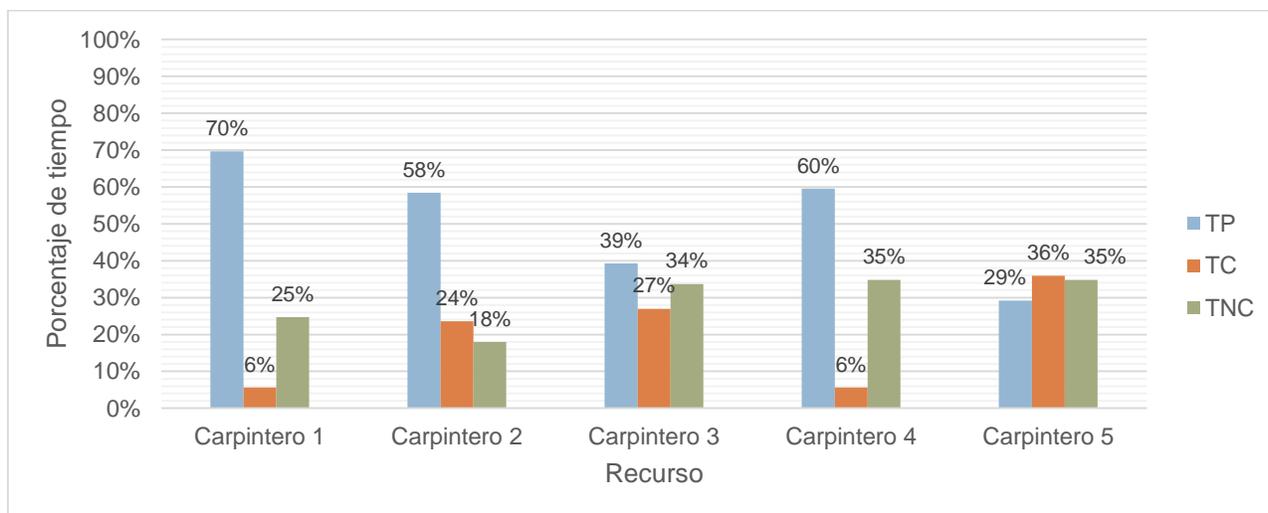
El cuadro 30 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 30. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta panel	73	16%
	Coloca panel	41	9%
	Sostiene panel	38	9%
	Amarra panel	13	3%
	Coloca/ajusta complemento	59	13%
	Transporta panel	4	1%
TC	Toma medidas	14	3%
	Ajusta material/equipo/herramienta	17	4%
	Busca material/equipo/herramienta	23	5%
	Hace amarras	14	3%
	Da/recibe instrucciones	19	4%
TNC	Tiempo de espera	94	21%
	Ocioso	30	7%
	Acomoda espacio de trabajo	6	1%
Total		445	100%

En la figura 35 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 36 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 35.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles para encofrado de muro.

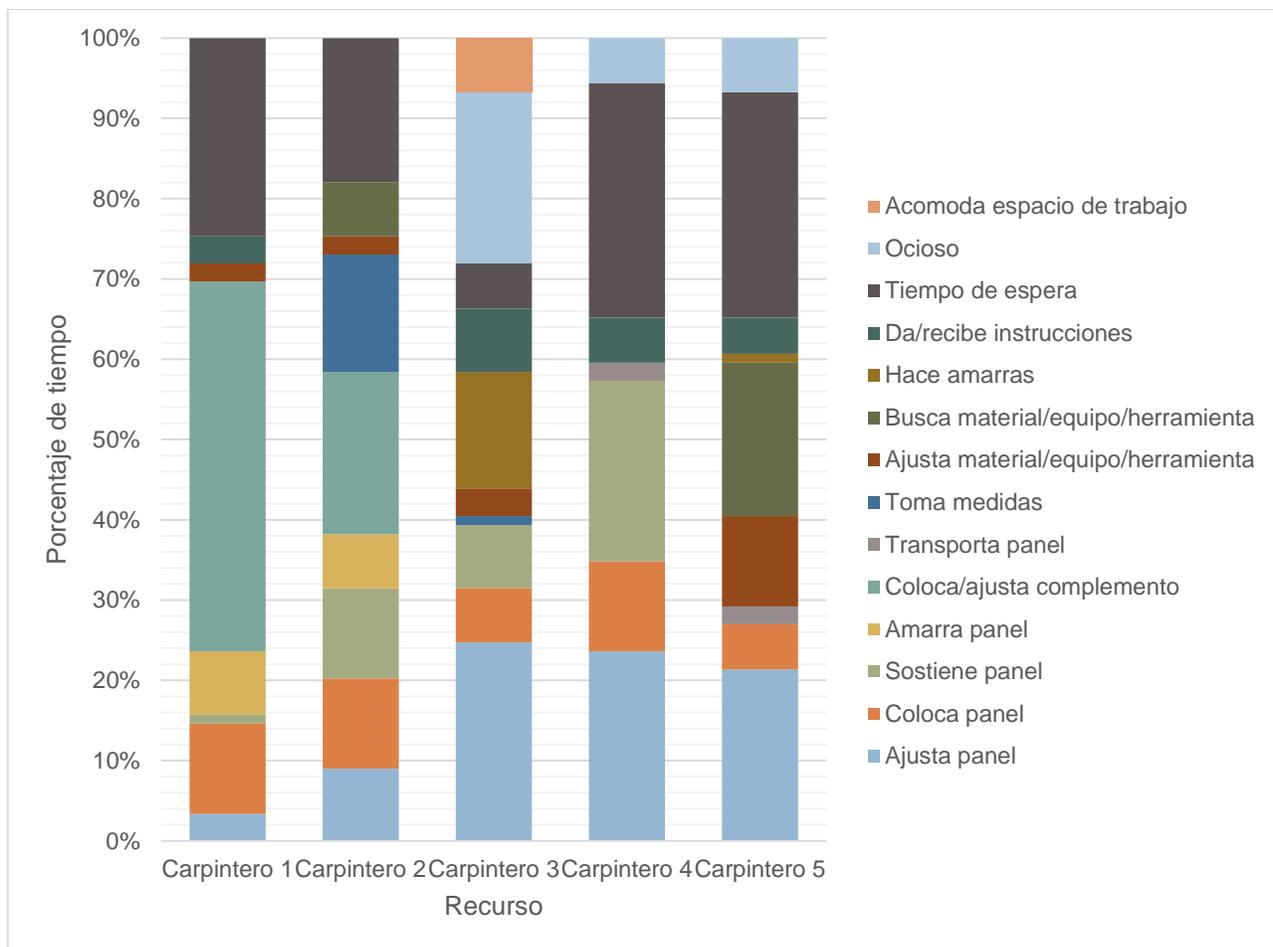


Figura 36. Crew Balance para la tarea de colocación de paneles para encofrado de muro.

### Muestreo 3: Colocación de paneles de encofrado de muro

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 31. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	28 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

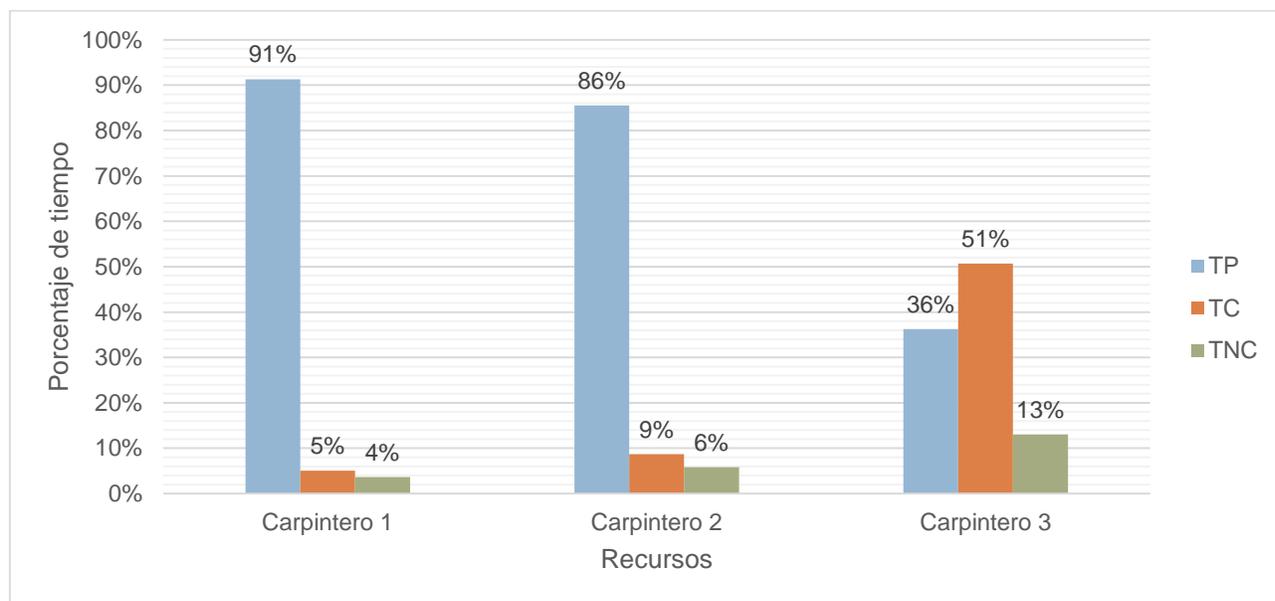
El cuadro 32 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

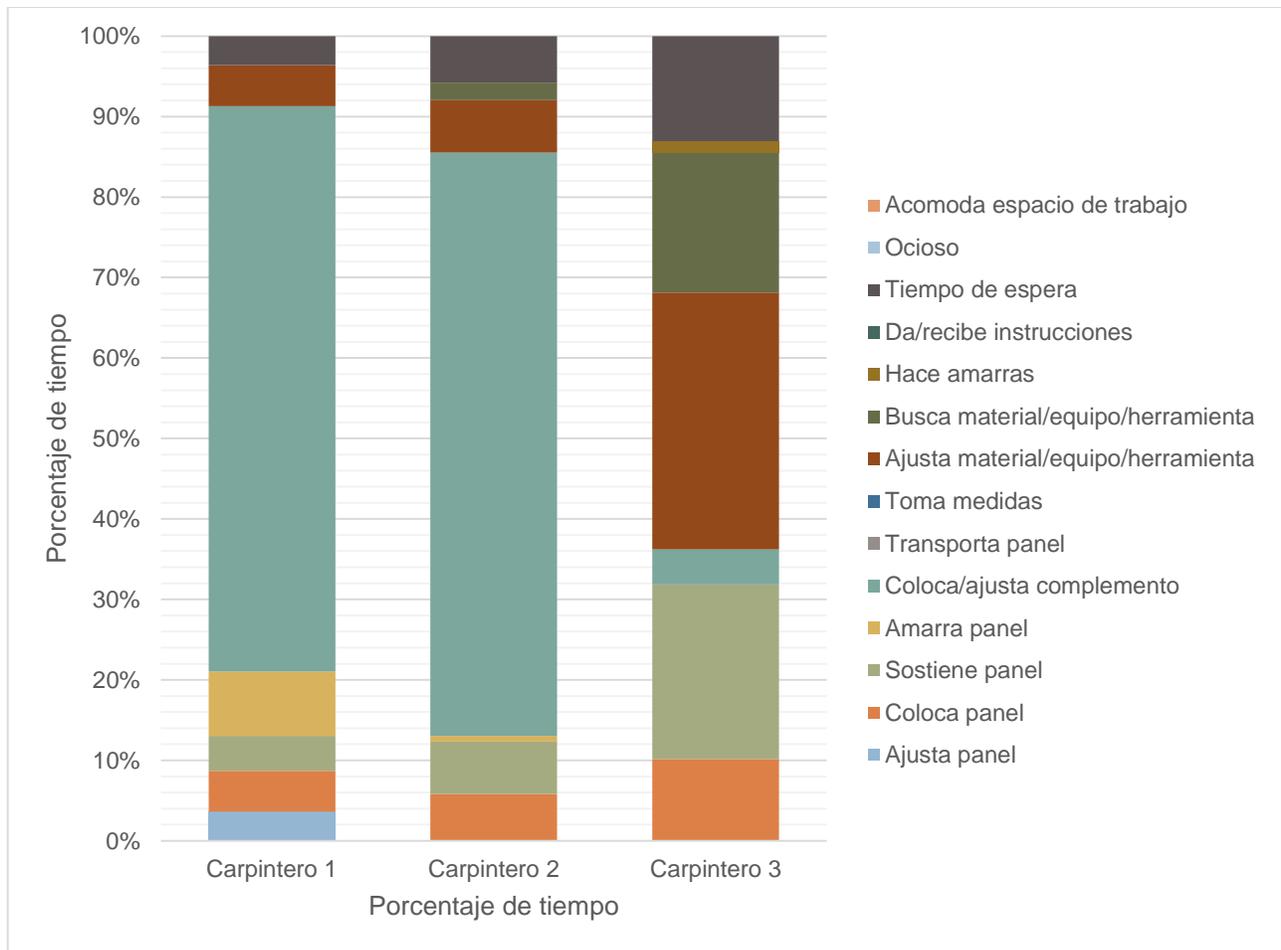
CUADRO 32. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta panel	5	1%
	Coloca panel	29	7%
	Sostiene panel	45	11%
	Amarra panel	12	3%
	Coloca/ajusta complemento	203	49%
	Transporta panel	0	0%
TC	Toma medidas	0	0%
	Ajusta material/equipo/herramienta	60	14%
	Busca material/equipo/herramienta	27	7%
	Hace amarras	2	0%
	Da/recibe instrucciones	0	0%
TNC	Tiempo de espera	31	7%
	Ocioso	0	0%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
Total		445	100%

En la figura 37 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 38 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 37.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles para encofrado de muro.



**Figura 38.** Crew Balance para la tarea de colocación de paneles para encofrado de muro.

## Rendimiento: Colocación de paneles de encofrado de muros

En el cuadro 33 se muestran los rendimientos para la tarea de colocación de paneles de encofrado de muros en unidades de horas hombre por metro cuadrado. Además, se muestra el cuadro 34 que da los costos de mano de obra

por hora y por metro cuadrado. Los rendimientos se presentan de forma detallada en el apéndice C y los salarios de mano de obra utilizados en el cálculo en el apéndice E.

CUADRO 33. RENDIMIENTO GENERAL DE LA TAREA						
Muestreo	Tiempo medido	Tiempo en horas	Nº de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (m <sup>2</sup> )	Rendimiento (HH/ m <sup>2</sup> )
1	4:00:00	4	3	12	17,685	0,679
2	3:20:00	3,333	5	16,667	17,685	0,942
3	4:13:00	4,217	3	12,650	17,685	0,715
Promedio						0,779
Desviación Estándar						0,143
Coeficiente de Variación						18,4%
Factor de Incremento						0,129
Rendimiento Modificado						0,879

CUADRO 34. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA TAREA MEDIDA.					
Mano de obra utilizada				Costo de hora	Costo/ m <sup>2</sup>
Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
0	0	0	4	5.605,04 CRC	1.232,00 CRC

## Apuntalamiento de paneles

Posterior al montaje de paneles y complementos de trabajo, se procede al apuntalamiento de estos. A continuación, se muestran los resultados

de los tres muestreos de trabajos realizados, de los cuales se obtuvo datos de productividad y rendimiento.

### Muestreo 1: Apuntalamiento de paneles de encofrado de muros

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 35. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	28 de julio
Estado del tiempo	Nublado con viento

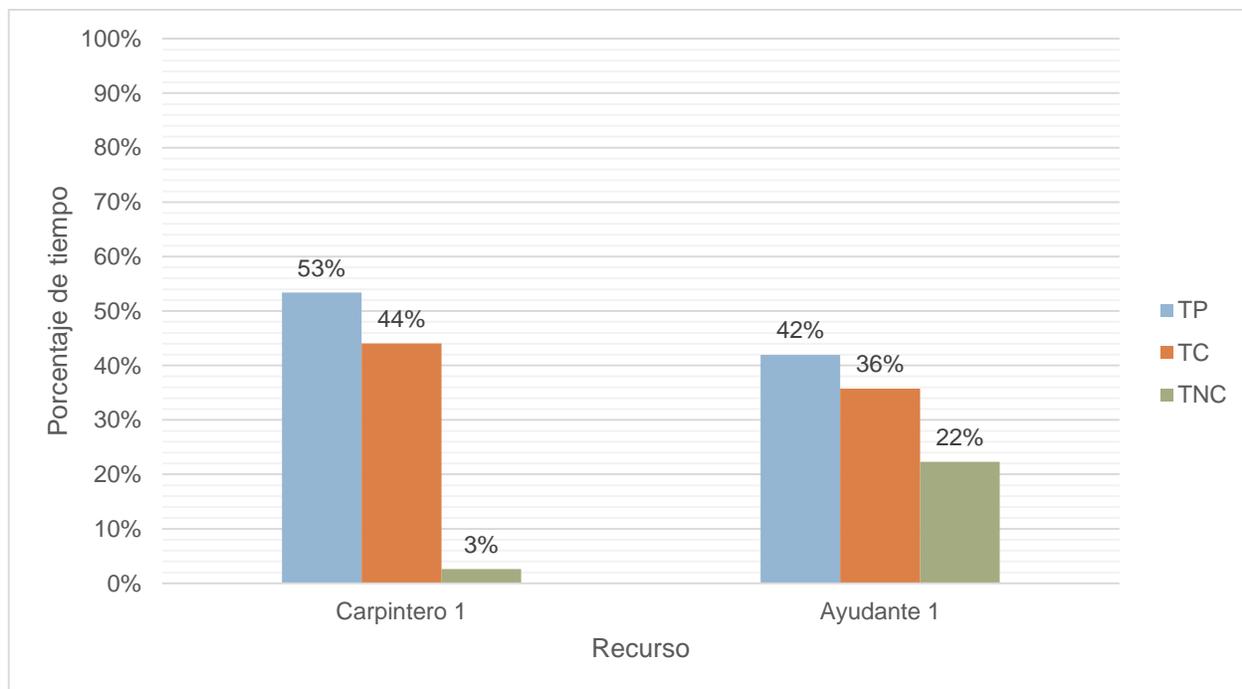
El cuadro 36 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa. Además, clasifica

estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC)

CUADRO 36. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta tornillo	15	4%
	Ajusta puntal	98	25%
	Coloca puntal	48	12%
	Coloca zapato	8	2%
	Taladra agujero	15	4%
TC	Toma medidas	2	1%
	Ajusta material/equipo/herramienta	83	22%
	Busca material/equipo/herramienta	56	15%
	Da/recibe instrucciones	13	3%
TNC	Tiempo de espera	46	12%
	Ocioso	2	1%
Total		386	100%

En la figura 39 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 40 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 39.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles para encofrado de muro.

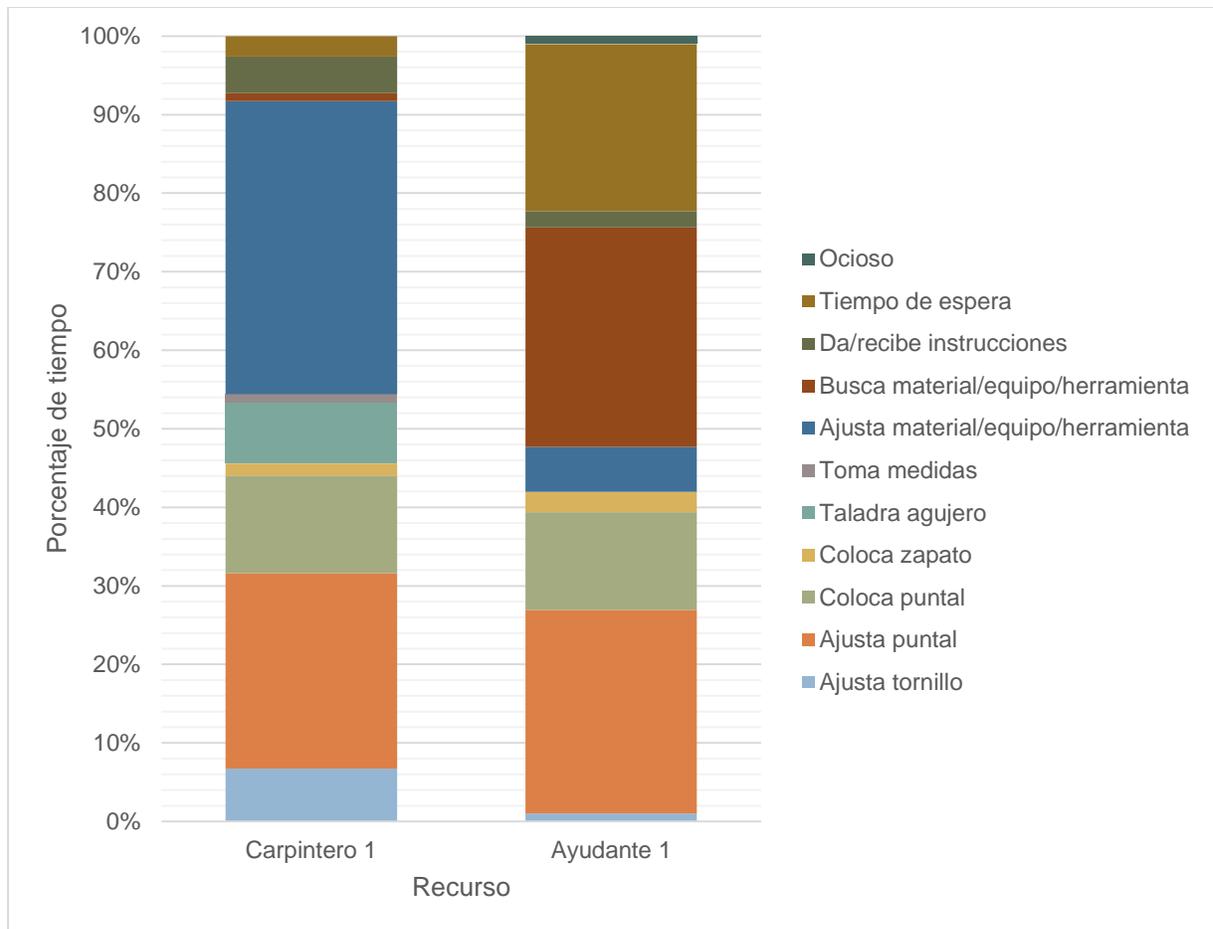


Figura 40. Crew Balance para la tarea de colocación de paneles para encofrado de muro.

## Muestreo 2: Apuntalamiento de paneles de encofrado de muros

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos sobre el mismo. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 37. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	20 de setiembre
Estado del tiempo	Nublado

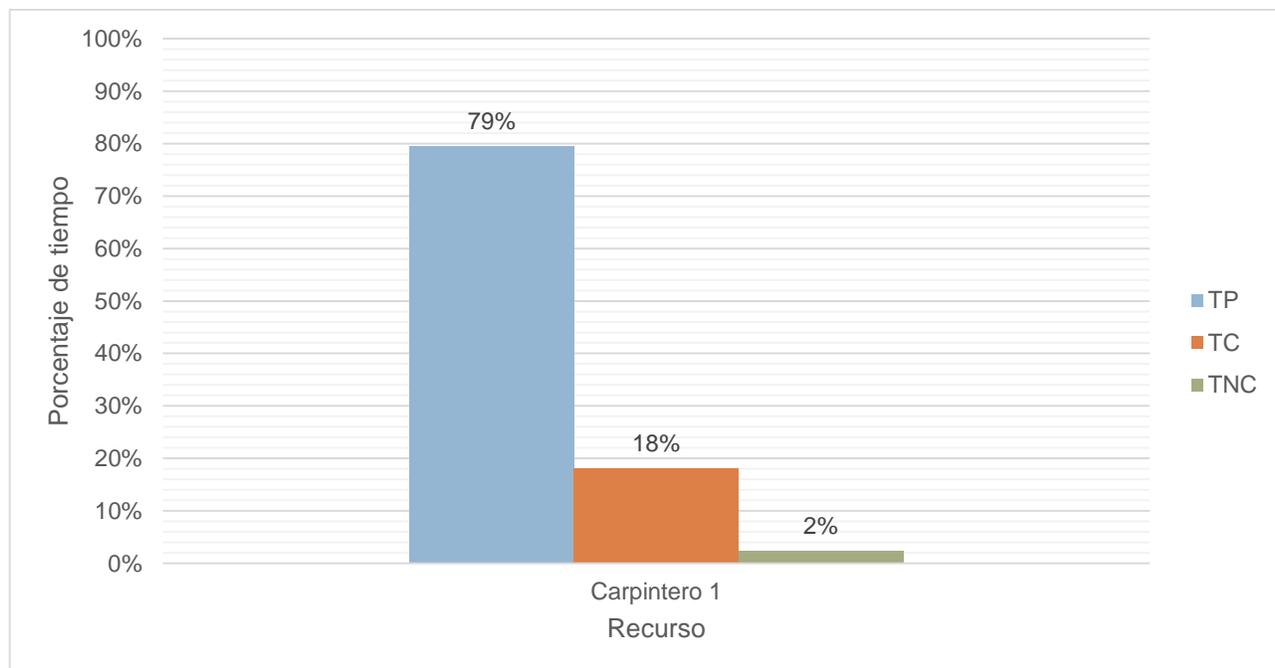
El cuadro 38 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa. Además, clasifica

estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 38. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta tornillo	90	23%
	Ajusta puntal	34	9%
	Coloca puntal	50	13%
	Coloca zapato	29	8%
	Taladra agujero	103	27%
TC	Toma medidas	8	2%
	Ajusta material/equipo/herramienta	0	0%
	Busca material/equipo/herramienta	62	16%
	Da/recibe instrucciones	0	0%
TNC	Tiempo de espera	0	0%
	Ocioso	9	2%
Total		385	100%

En la figura 41 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 42 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 41.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de apuntalado de paneles para encofrado de muro.

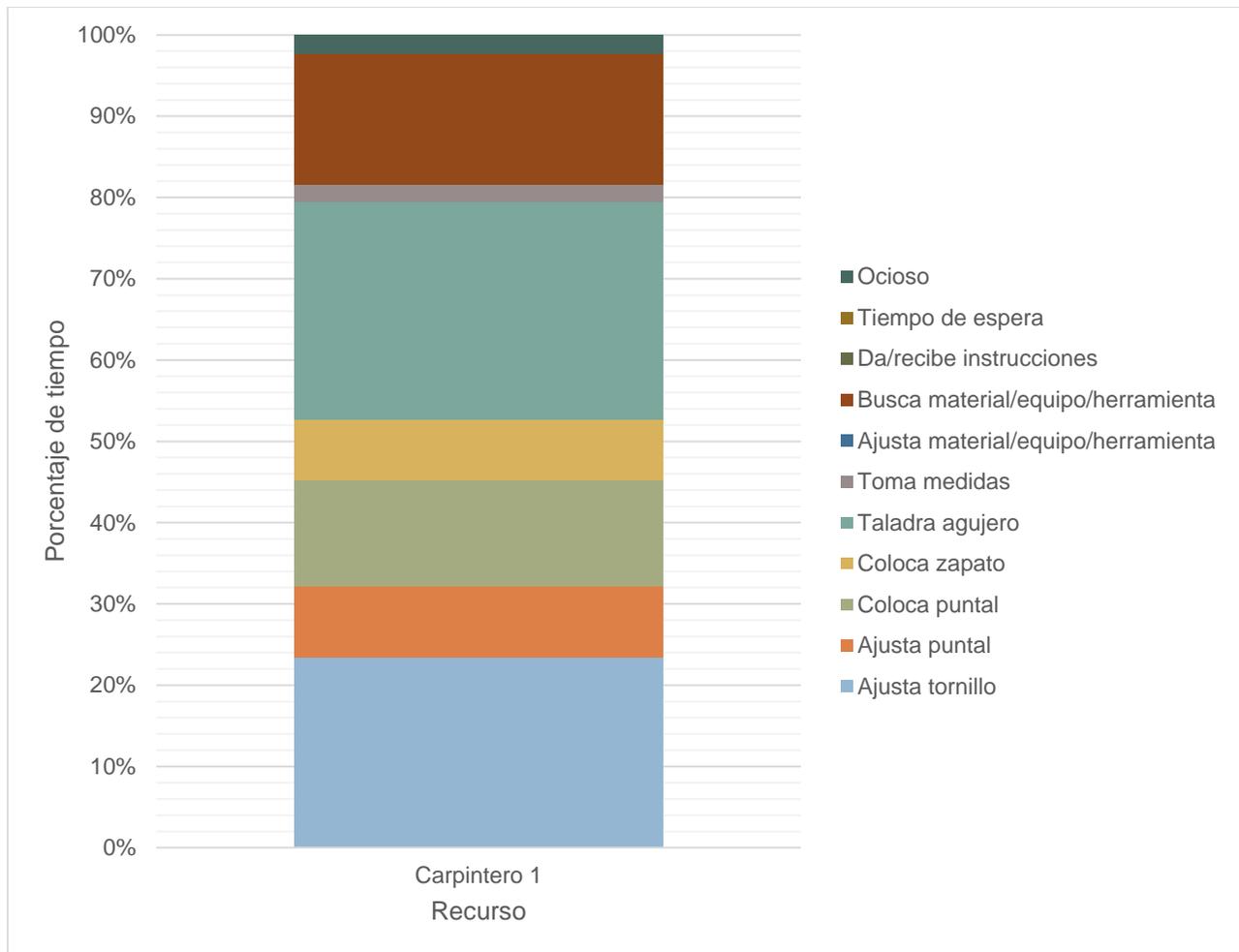


Figura 42. Crew Balance para la tarea de apuntalado de paneles para encofrado de muro.

### Muestreo 3: Apuntalamiento de paneles de encofrado de muros

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 39. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	27 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

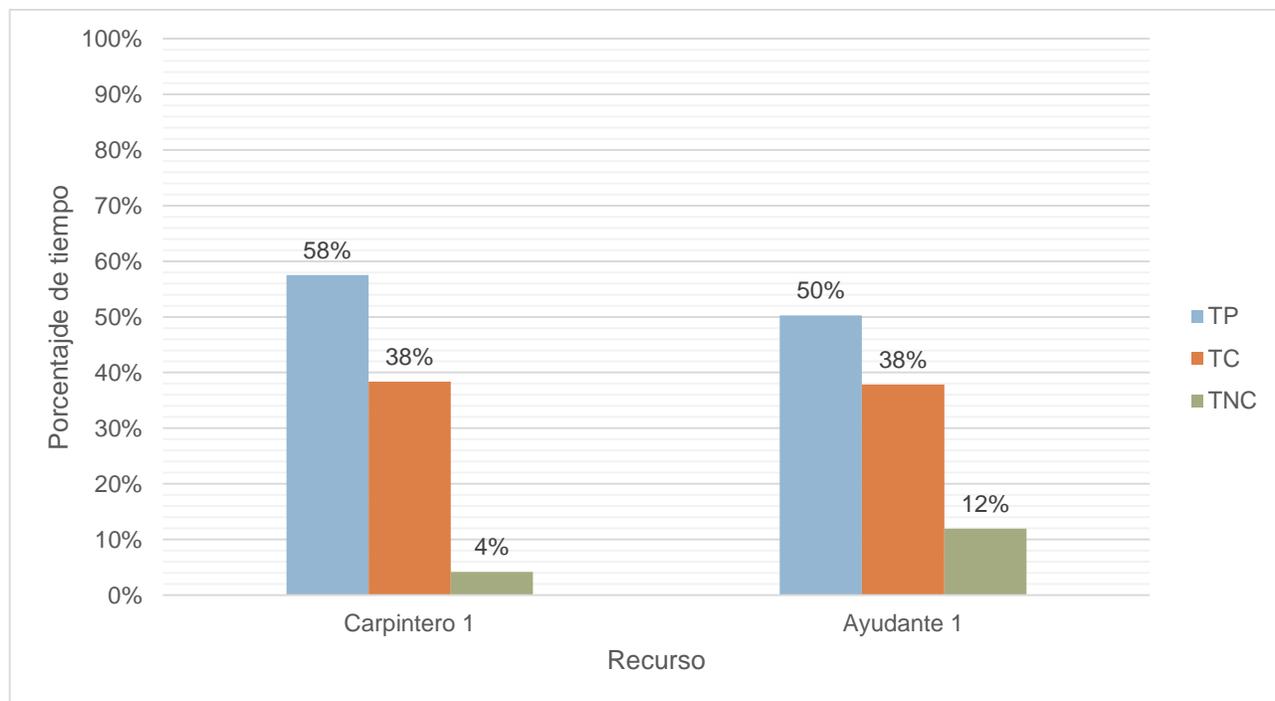
El cuadro 40 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa. Además, clasifica

estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

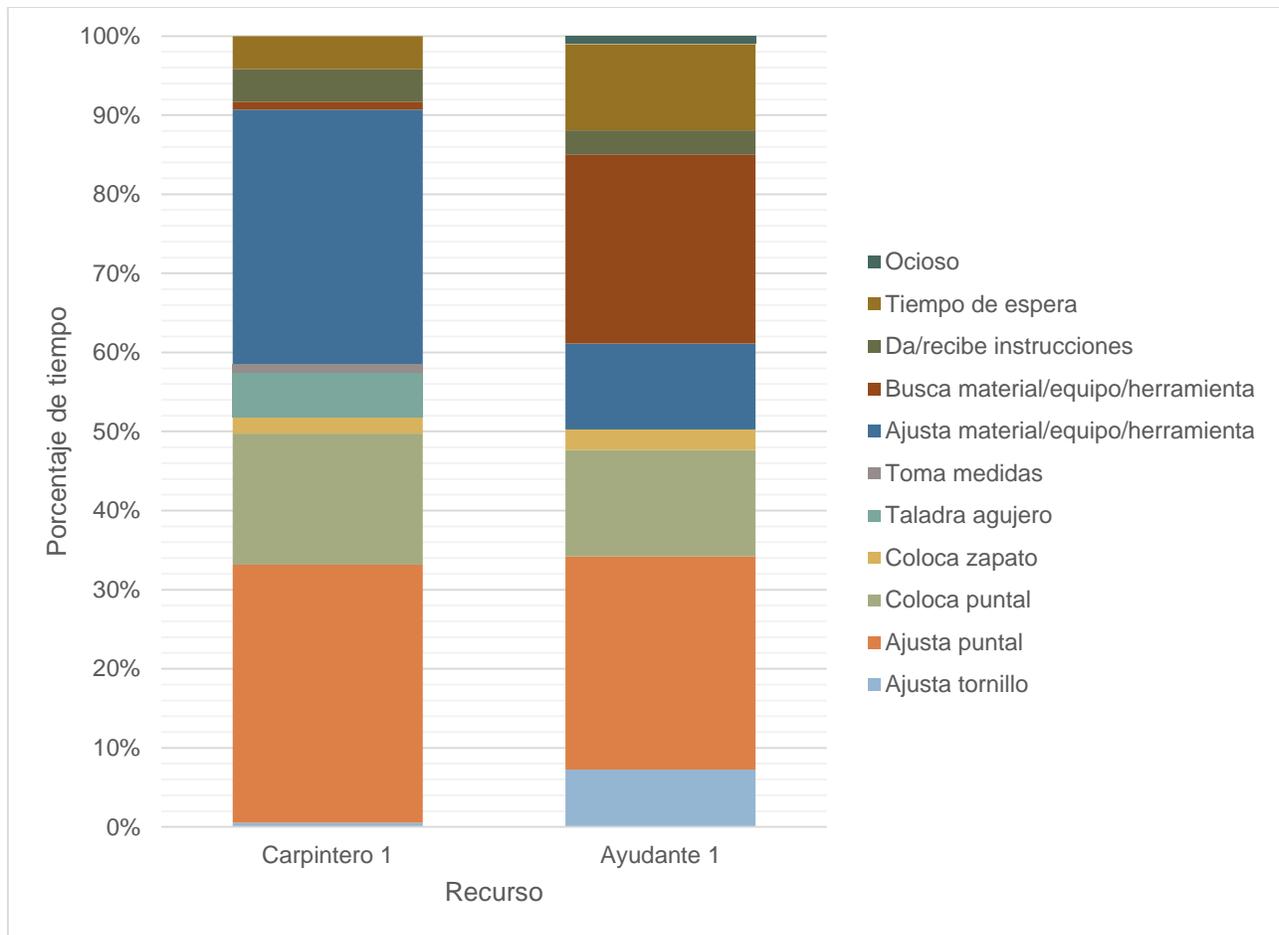
CUADRO 40. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta tornillo	15	4%
	Ajusta puntal	115	30%
	Coloca puntal	58	15%
	Coloca zapato	9	2%
	Taladra agujero	11	3%
TC	Toma medidas	2	1%
	Ajusta material/equipo/herramienta	83	22%
	Busca material/equipo/herramienta	48	12%
	Da/recibe instrucciones	14	4%
TNC	Tiempo de espera	29	8%
	Ocioso	2	1%
Total		386	100%

En la figura 43 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 44 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 43.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de apuntalado de paneles para encofrado de muro.



**Figura 44.** Crew Balance para la tarea de apuntalado de paneles para encofrado de muro.

## Rendimiento: Apuntalado de paneles de encofrado de muros

En el cuadro 41 se muestran los rendimientos para la tarea de apuntalamiento de paneles de encofrado de muros en unidades de horas hombre por metro cuadrado. Además, se muestra el cuadro 42 los costos de mano de obra por hora

y por metro cuadrado. Los rendimientos se presentan de forma detallada en el apéndice C y los salarios de mano de obra utilizados en el cálculo en el apéndice E.

CUADRO 41. RENDIMIENTO GENERAL DE LA TAREA						
Muestreo	Tiempo medido	Tiempo en horas	Nº de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (m <sup>2</sup> )	Rendimiento (HH/m <sup>2</sup> )
1	2:13:00	2,217	2	4,433	17,685	0,251
2	2:15:00	2,250	1	2,250	7,611	0,296
3	2:05:00	2,083	2	4,167	17,685	0,236
Promedio						0,261
Desviación Estándar						0,031
Coeficiente de Variación						12%
Factor de Incremento						0,129
Rendimiento Modificado						0,294

CUADRO 42. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA TAREA MEDIDA.					
Mano de obra utilizada				Costo de hora	Costo/m <sup>2</sup>
Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
0	1	0	1	2.721,41 CRC	404,91 CRC

## Aplomado de paneles

Por último, se debe aplomar todo el montaje realizado anteriormente para para que al colar elementos estos que bien. A continuación, se

muestran los resultados de los tres muestreos de trabajos realizados, de los cuales se obtuvo datos de productividad y rendimiento.

## Muestreo 1: Aplomado de paneles de encofrado de muros

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 43. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	25 de agosto
Estado del tiempo	Soleado con viento

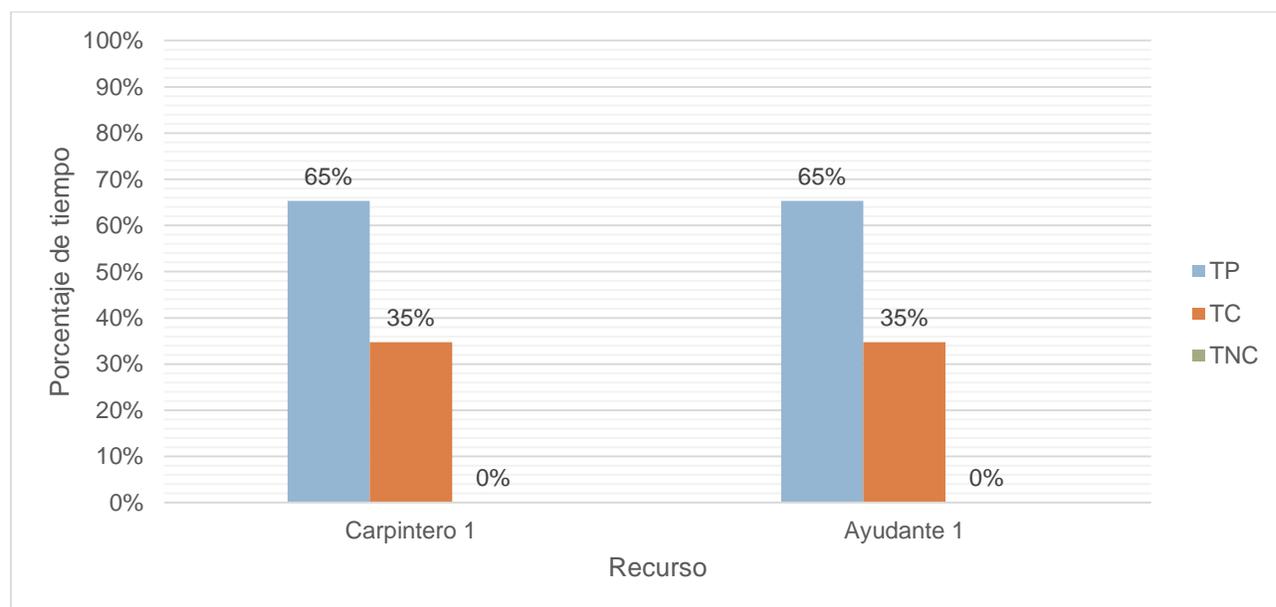
El cuadro 44 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa. Además, clasifica

estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC)

CUADRO 44. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca varilla para colgar plomada	0	0%
	Coloca plomada	0	0%
	Sostiene plomada	0	0%
	Mide el ajuste con la plomada	126	33%
	Ajusta puntal	126	33%
	Ajusta panel	0	0%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	0	0%
	Busca material/equipo/herramienta	0	0%
	Da/recibe instrucciones	134	35%
TNC	Tiempo de espera	0	0%
	Ocioso	0	0%
	Rehacen trabajo	0	0%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
Total		386	100%

En la figura 45 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 46 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 45.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de aplomado y nivelado de paneles para encofrado de muro.

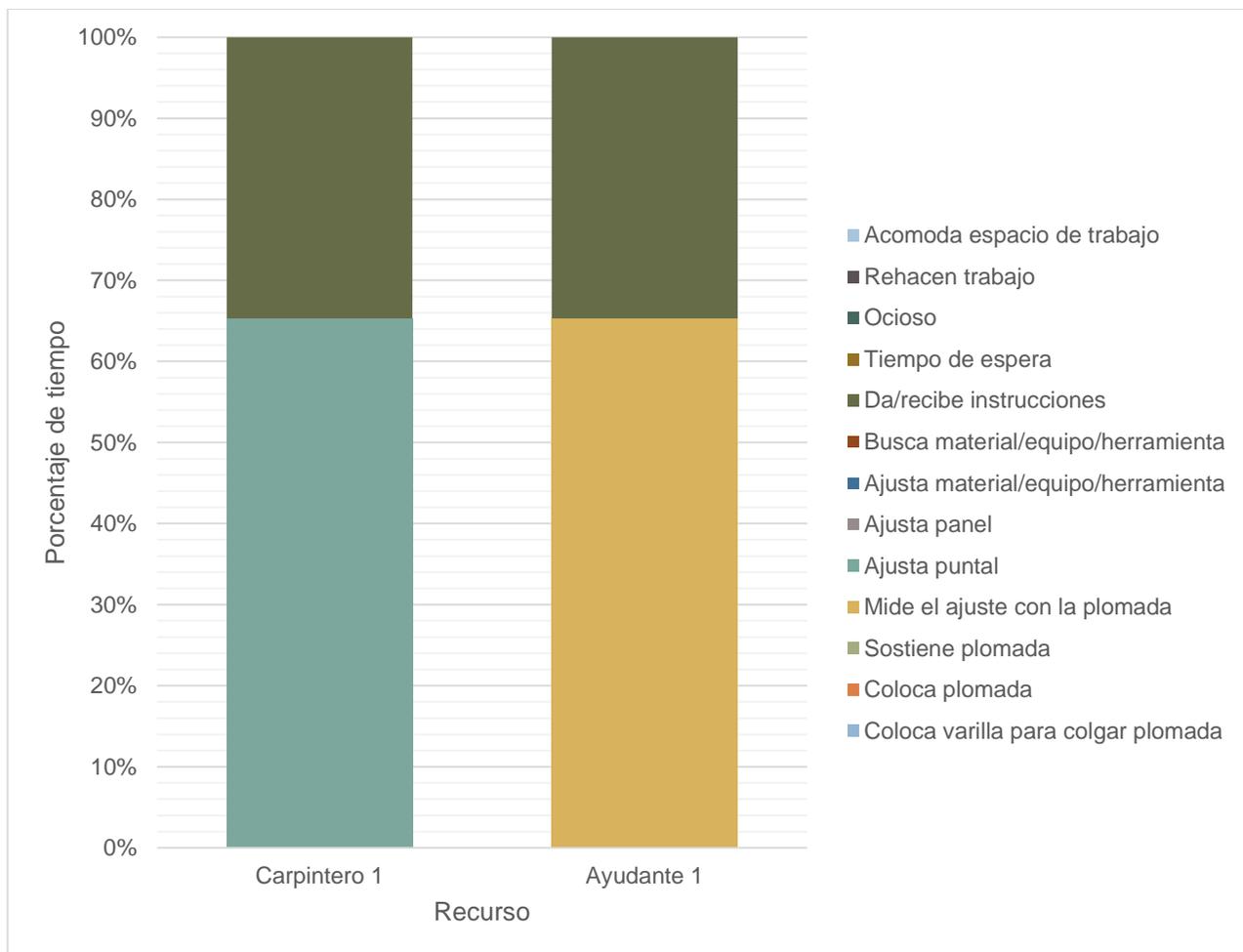


Figura 46. Crew Balance para la tarea de aplomado y nivelado de paneles para encofrado de muro.

## Muestreo 2: Aplomado de paneles de encofrado de muros

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 45. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	5 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

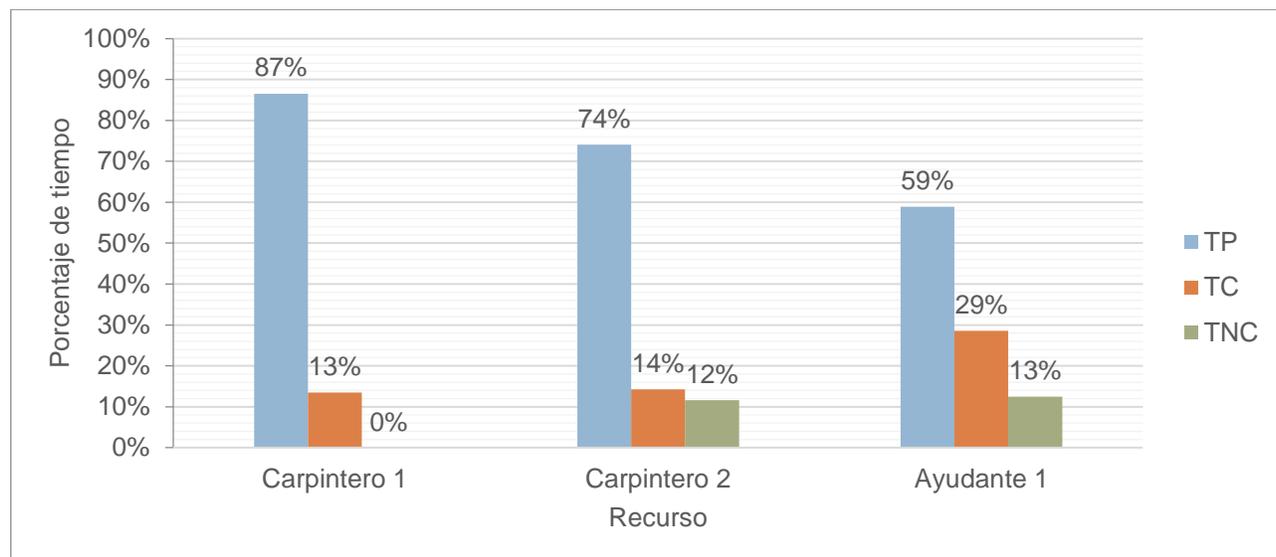
El cuadro 46 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa. Además, clasifica

estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC)

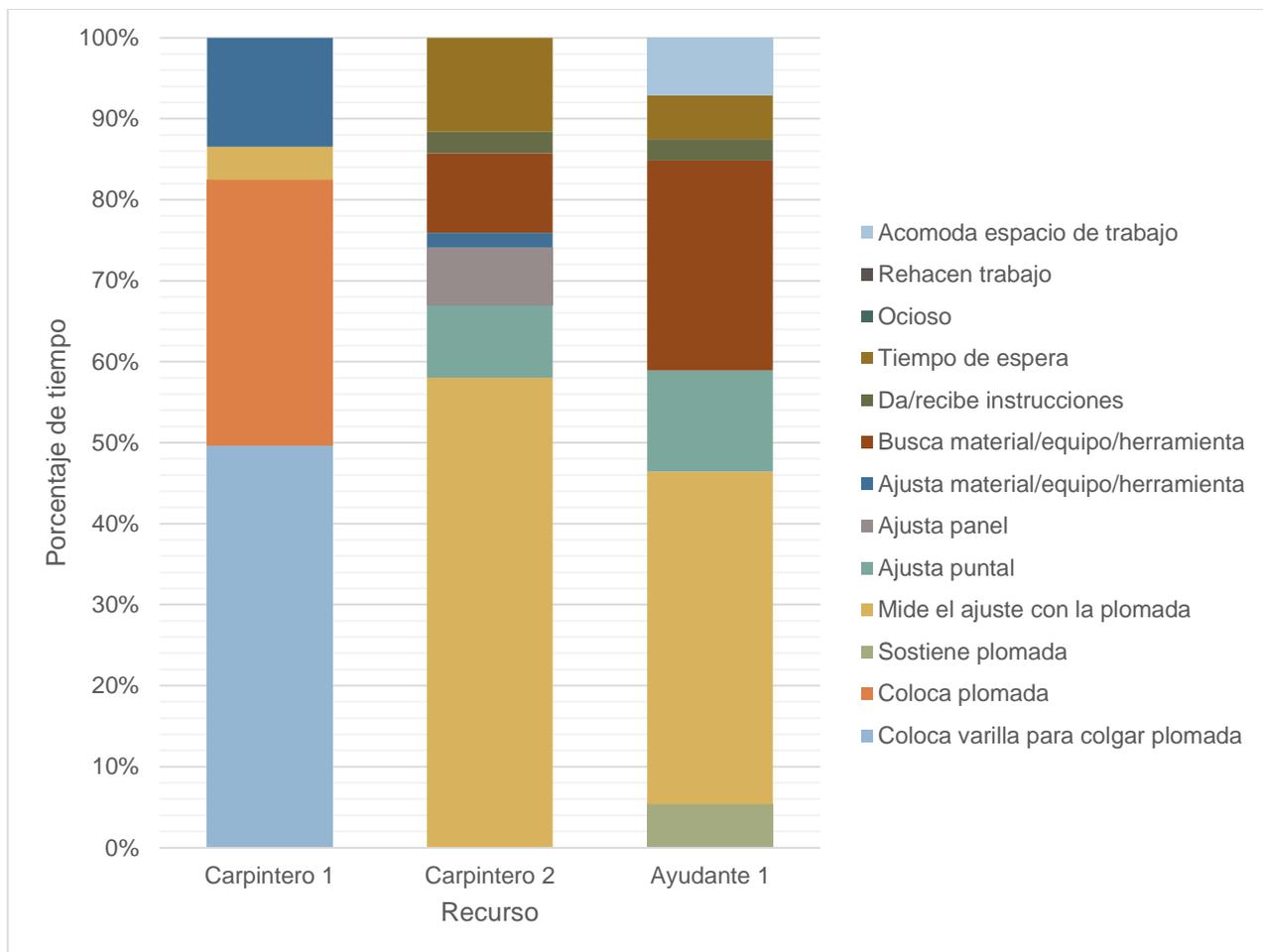
CUADRO 46. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca varilla para colgar plomada	85	22%
	Coloca plomada	56	14%
	Sostiene plomada	6	2%
	Mide el ajuste con la plomada	118	30%
	Ajusta puntal	24	6%
	Ajusta panel	8	2%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	25	6%
	Busca material/equipo/herramienta	40	10%
	Da/recibe instrucciones	6	2%
TNC	Tiempo de espera	19	5%
	Ocioso	0	0%
	Rehacen trabajo	0	0%
	Acomoda espacio de trabajo	8	2%
Total		395	100%

En la figura 47 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 48 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 47.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de aplomado y nivelado de paneles para encofrado de muro.



**Figura 48.** Crew Balance para la tarea de aplomado y nivelado de paneles para encofrado de muro.

### Muestreo 3: Apuntalamiento de paneles de encofrado de muros

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 47. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	20 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

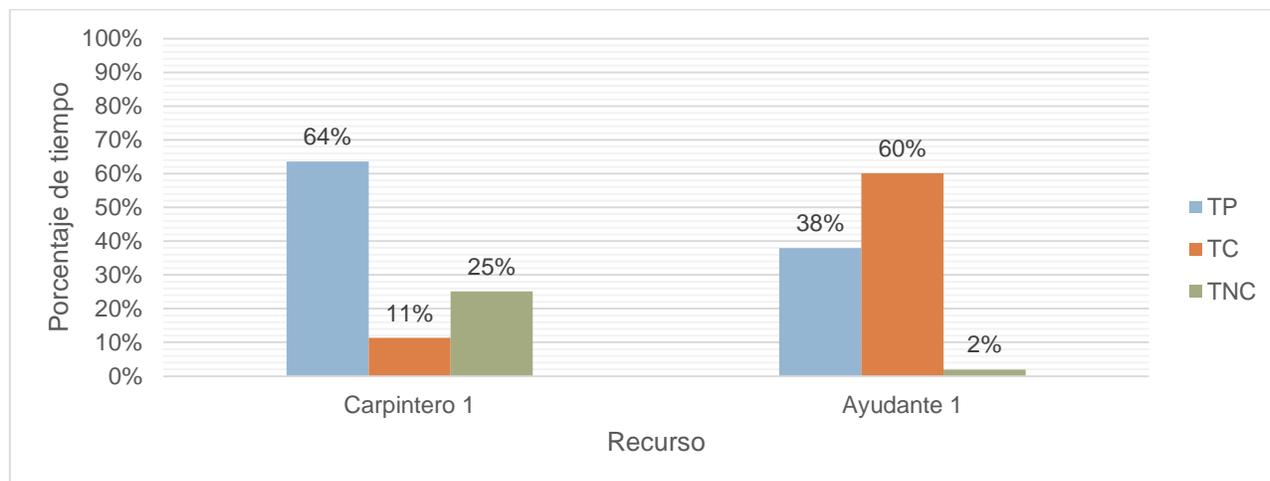
El cuadro 48 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las

mediciones totales representa. Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC)

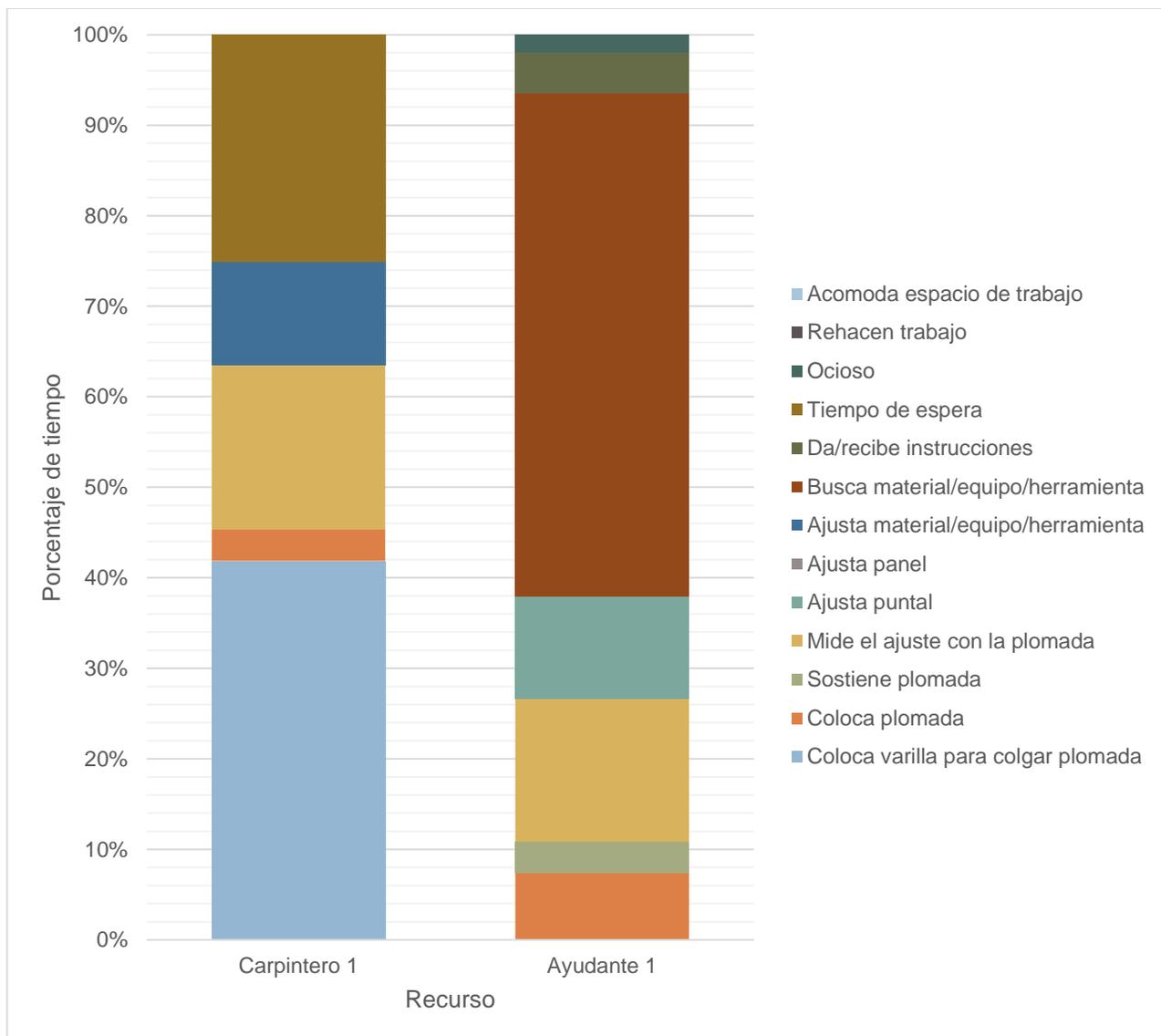
CUADRO 48. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca varilla para colgar plomada	85	21%
	Coloca plomada	22	5%
	Sostiene plomada	7	2%
	Mide el ajuste con la plomada	69	17%
	Ajusta puntal	23	6%
	Ajusta panel	0	0%
TC	Ajusta material/equipo/herramienta	23	6%
	Busca material/equipo/herramienta	113	28%
	Da/recibe instrucciones	9	2%
TNC	Tiempo de espera	51	13%
	Ocioso	4	1%
	Rehacen trabajo	0	0%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
Total		406	100%

En la figura 49 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 50 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 49.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de aplomado y nivelado de paneles para encofrado de muro.



**Figura 50.** Crew Balance para la tarea de aplomado y nivelado de paneles para encofrado de muro.

## Rendimiento: Aplomado y nivelación de paneles de encofrado de muros

En el cuadro 49 se muestran los rendimientos para la tarea de aplomado y nivelación de paneles de encofrado de muros en unidades de horas hombre por metro cuadrado. Además, se muestra el cuadro 50 que da los costos de mano

de obra por hora y por metro cuadrado. Los rendimientos se presentan de forma detallada en el apéndice C y los salarios de mano de obra utilizados en el cálculo en el apéndice E.

CUADRO 49. RENDIMIENTO GENERAL DE LA TAREA						
Muestreo	Tiempo medido	Tiempo en horas	Nº de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (m <sup>2</sup> )	Rendimiento (HH/ m <sup>2</sup> )
1	1:50:00	1,833	2	3,667	17,685	0,207
2	1:38:00	1,633	3	4,900	17,685	0,277
3	1:55:00	1,917	2	3,833	17,685	0,217
Promedio						0,234
Desviación Estándar						0,038
Coeficiente de Variación						16,2%
Factor de Incremento						0,129
Rendimiento Modificado						0,264

CUADRO 50. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA TAREA MEDIDA.					
Mano de obra utilizada				Costo de hora	Costo por unidad de volumen de trabajo
Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
0	1	0	1	2.721,41 CRC	360,46 CRC

# Encofrado de Entrepisos

En la figura 51 se muestra el diagrama de flujo que describe el proceso de encofrado de entrepiso, que incluye las tareas de colocación de

viguetas, colocación de paneles, encofrado de nudo de unión entre viga y columna y colocación de paneles en borde de losa.

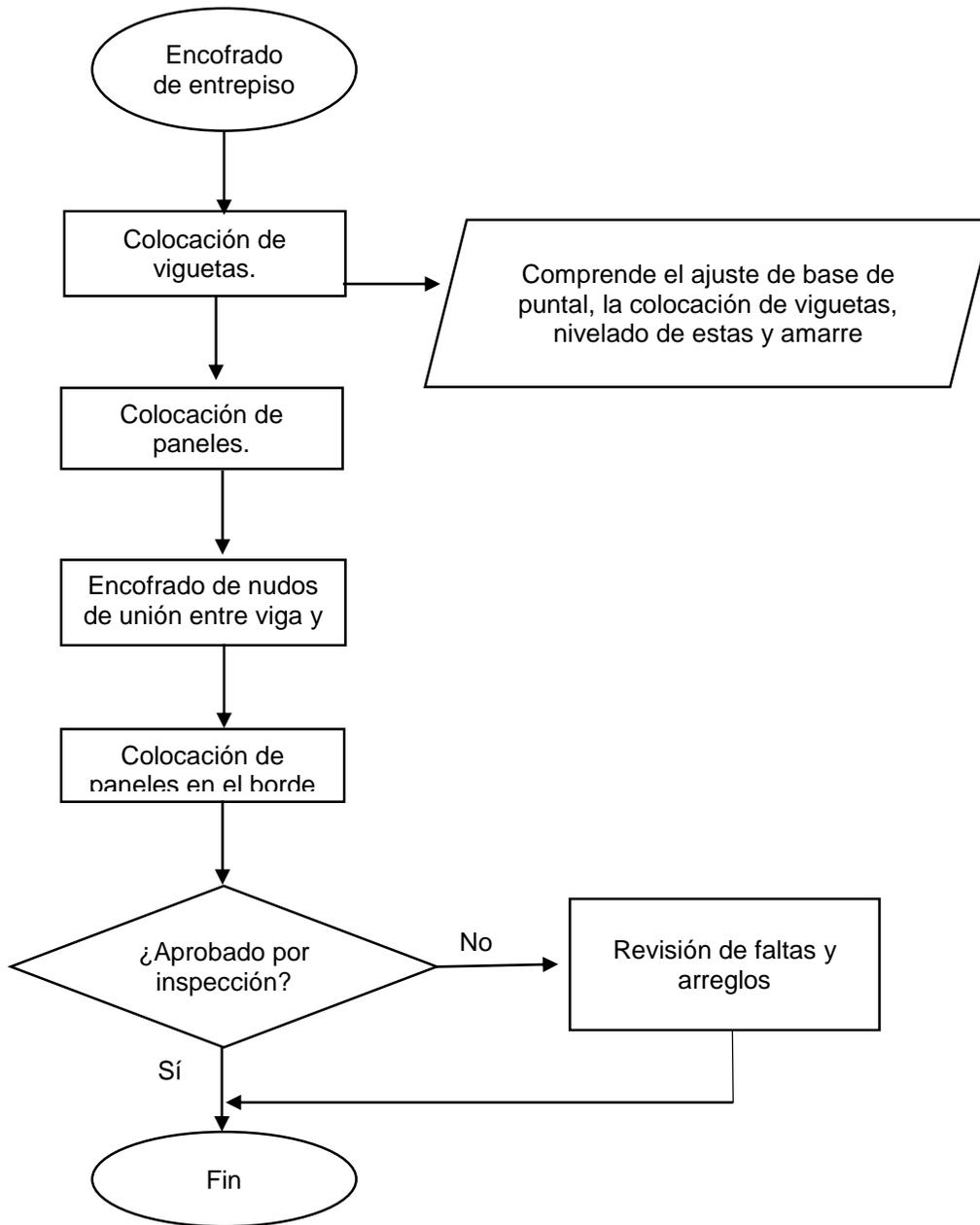


Figura 51. Diagrama de flujo para el encofrado de entrepisos.

<b>CUADRO 51. RECURSOS UTILIZADOS EN EL PROCESO DE ENCOFRADO DE ENTREPISO</b>			
Tarea	Recursos		
	Equipo	Material	Mano de Obra
Colocación de viguetas	Martillo Tenazas Cinta métrica Nivel	Viguetas Alambre negro Burras de carga o puntales	3-5 Carpinteros 1 Ayudante
Colocación de paneles	Cubos Taladro Tenazas	Puntales Tornillos Alambre negro	3 Carpinteros 1 Ayudante
Encofrado de nudo viga-columna	Serrucho Patín de corte Cinta Métrica Martillo	Angulares de encofrado Madera Alambre negro	1 Carpintero 1 Ayudante
Colocación de paneles en borde de losa	Martillo Tenazas Cinta métrica Nivel	Paneles Alambre negro Bandas de amarre	1-3 Carpinteros 1-2 Ayudantes

## Colocación de viguetas

Es la primera tarea que se hace al empezar el proceso de formateo de entrepiso. A continuación, se muestra los resultados de los

tres muestreos de trabajo realizados, de los cuales se obtuvieron datos de productividad y rendimiento.

## Muestreo 1: Colocación de viguetas de encofrado de entrepiso

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

<b>CUADRO 52. INFORMACIÓN GENERAL</b>	
Fecha:	18 de agosto
Estado del tiempo	Nublado

El cuadro 53 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

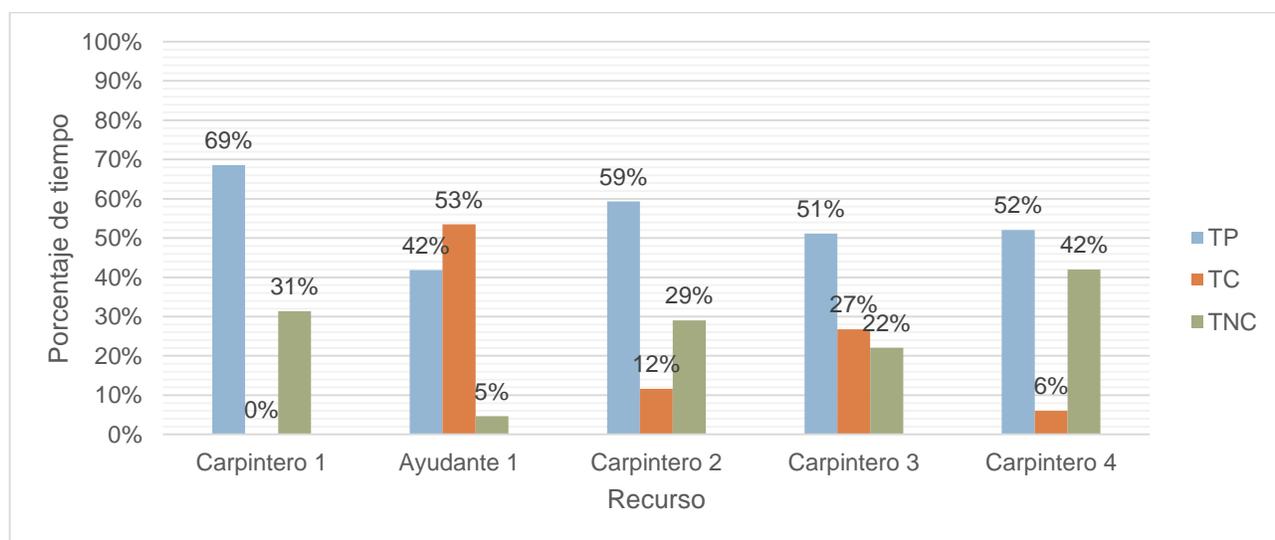
Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

**CUADRO 53. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES**

Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta puntal	11	3%
	Coloca vigueta	107	27%
	Ajusta vigueta	53	13%
	Amarra vigueta	45	11%
	Sostiene vigueta	0	0%
TC	Transporta vigueta	0	0%
	Hace amarras	44	11%
	Toma medidas	6	2%
	Ajusta material/equipo/herramienta	2	1%
	Busca material/equipo/herramienta	23	6%
	Da/recibe instrucciones	7	2%
TNC	Tiempo de espera	62	16%
	Ocioso	33	8%
	Acomoda espacio de trabajo	1	0%
Total		394	100%

En la figura 52 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 53 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 52.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de viguetas para encofrado de entrepiso.

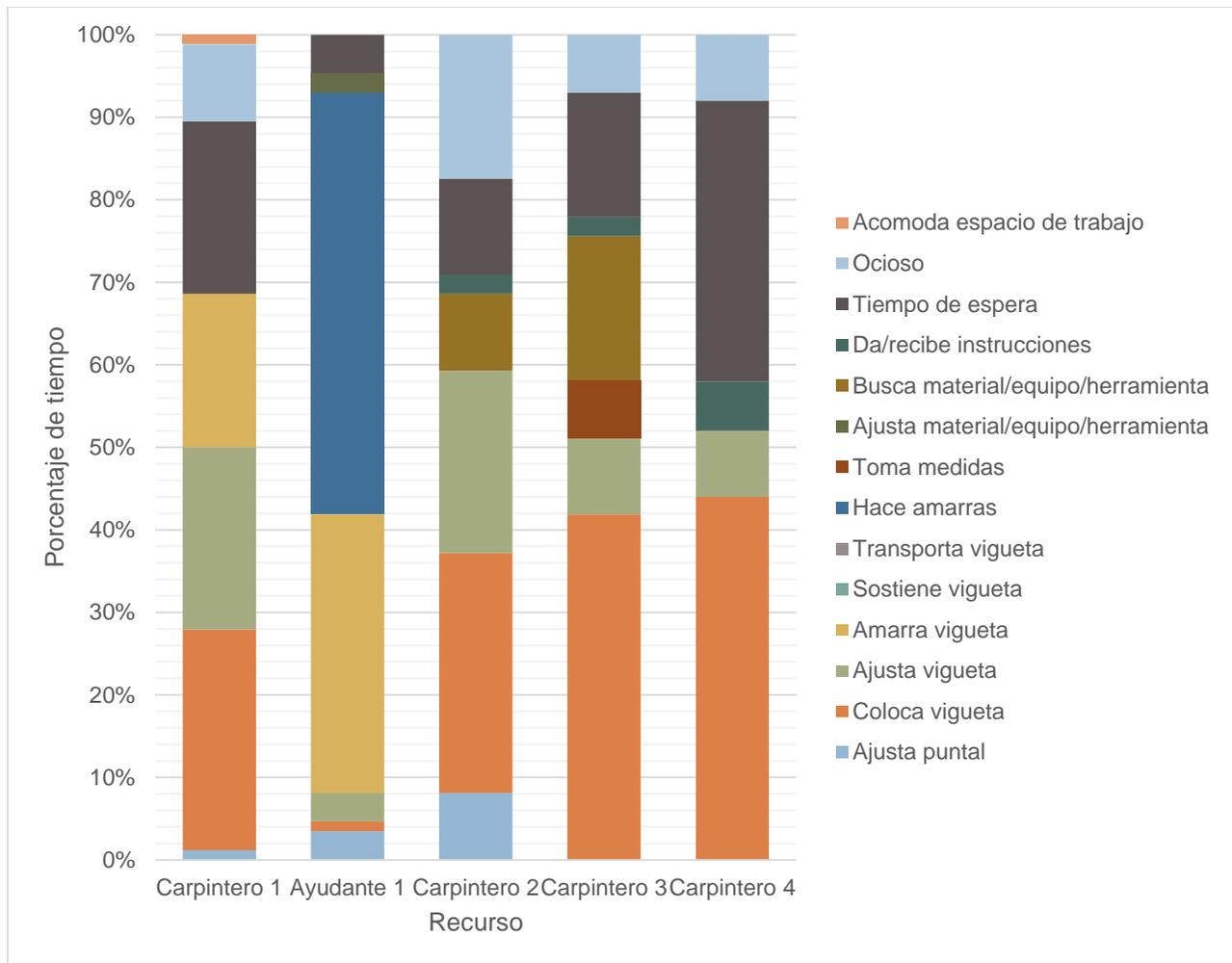


Figura 53. Crew Balance para la tarea de colocación de viguetas para encofrado de entrepiso.

## Muestreo 2: Colocación de viguetas de encofrado de entrepiso

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 54. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	22 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

El cuadro 55 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

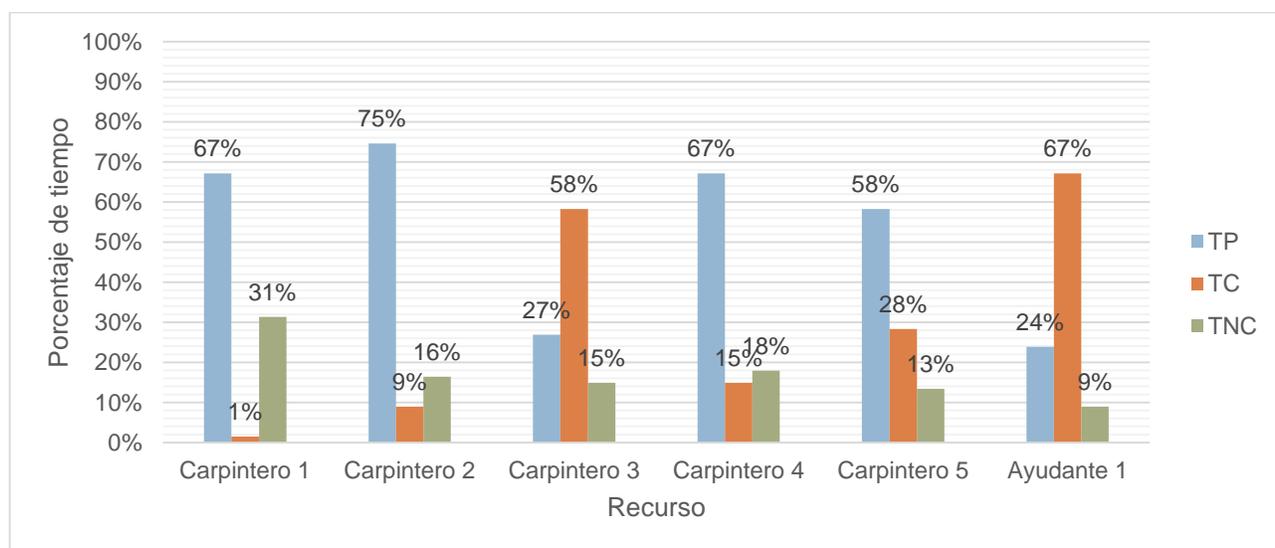
Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

**CUADRO 55. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES**

Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta puntal	27	7%
	Coloca vigueta	88	22%
	Ajusta vigueta	50	12%
	Amarra vigueta	38	9%
	Sostiene vigueta	10	2%
TC	Transporta vigueta	32	8%
	Hace amarras	5	1%
	Toma medidas	22	5%
	Ajusta material/equipo/herramienta	17	4%
	Busca material/equipo/herramienta	29	7%
	Da/recibe instrucciones	15	4%
TNC	Tiempo de espera	67	17%
	Ocioso	1	0%
	Acomoda espacio de trabajo	1	0%
Total		402	100%

En la figura 54 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 55 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 54.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de viguetas para encofrado de entrepiso.

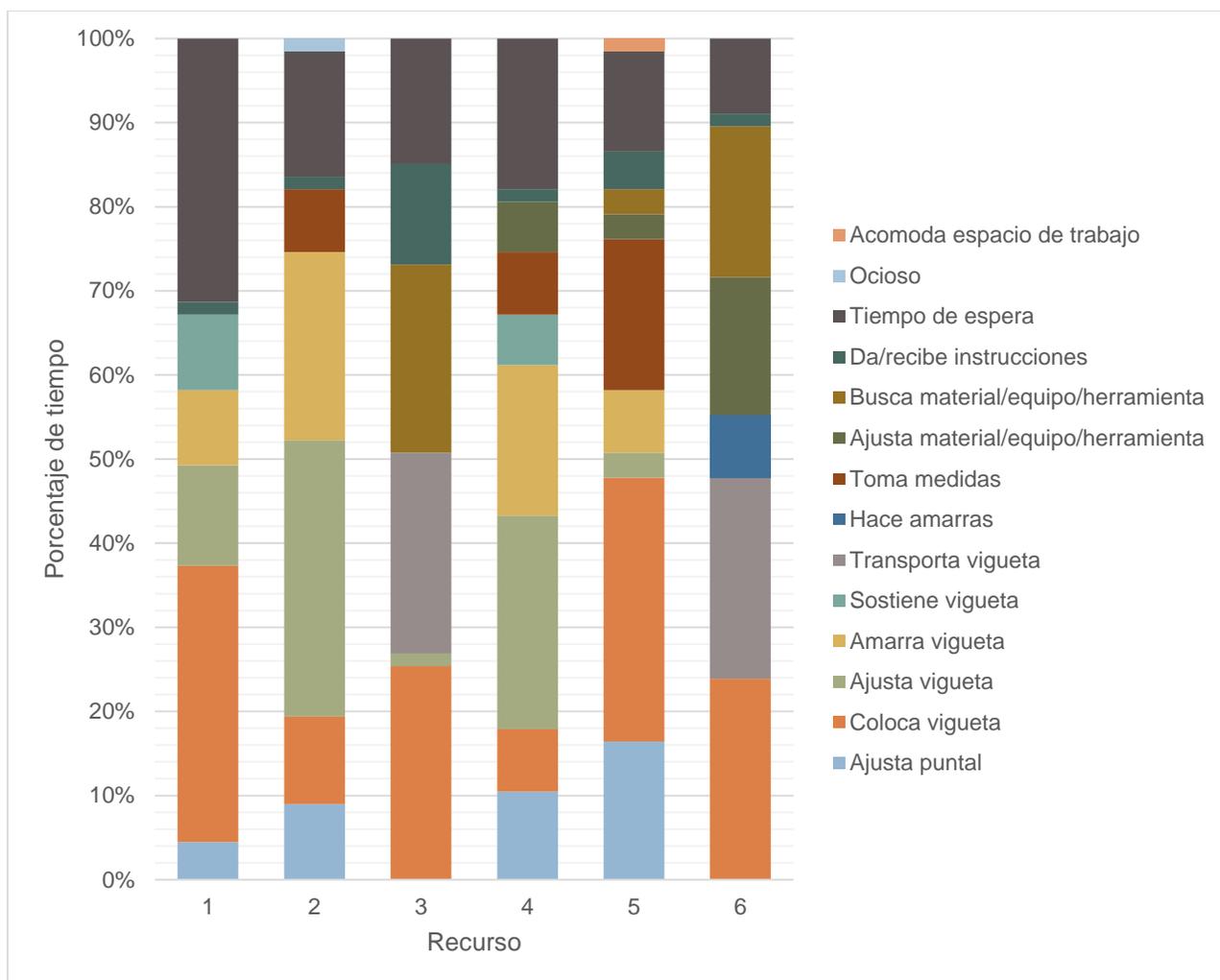


Figura 55. Crew Balance para la tarea de colocación de viguetas para encofrado de entrepiso.

### Muestreo 3: Colocación de viguetas de encofrado de entrepiso

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 56. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	23 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

El cuadro 57 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

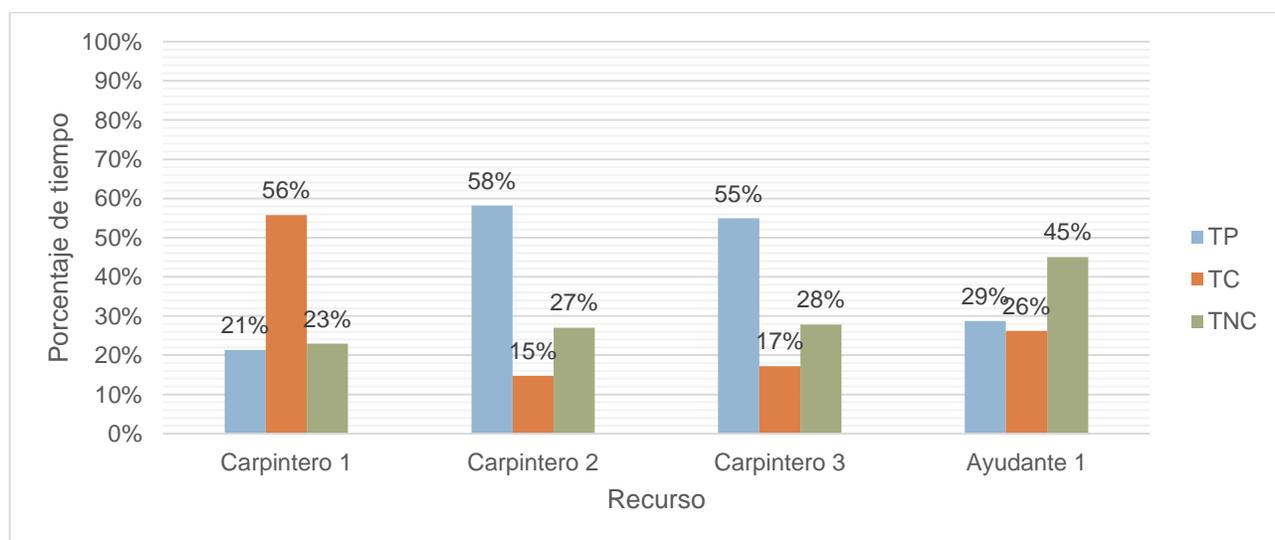
Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

**CUADRO 57. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES**

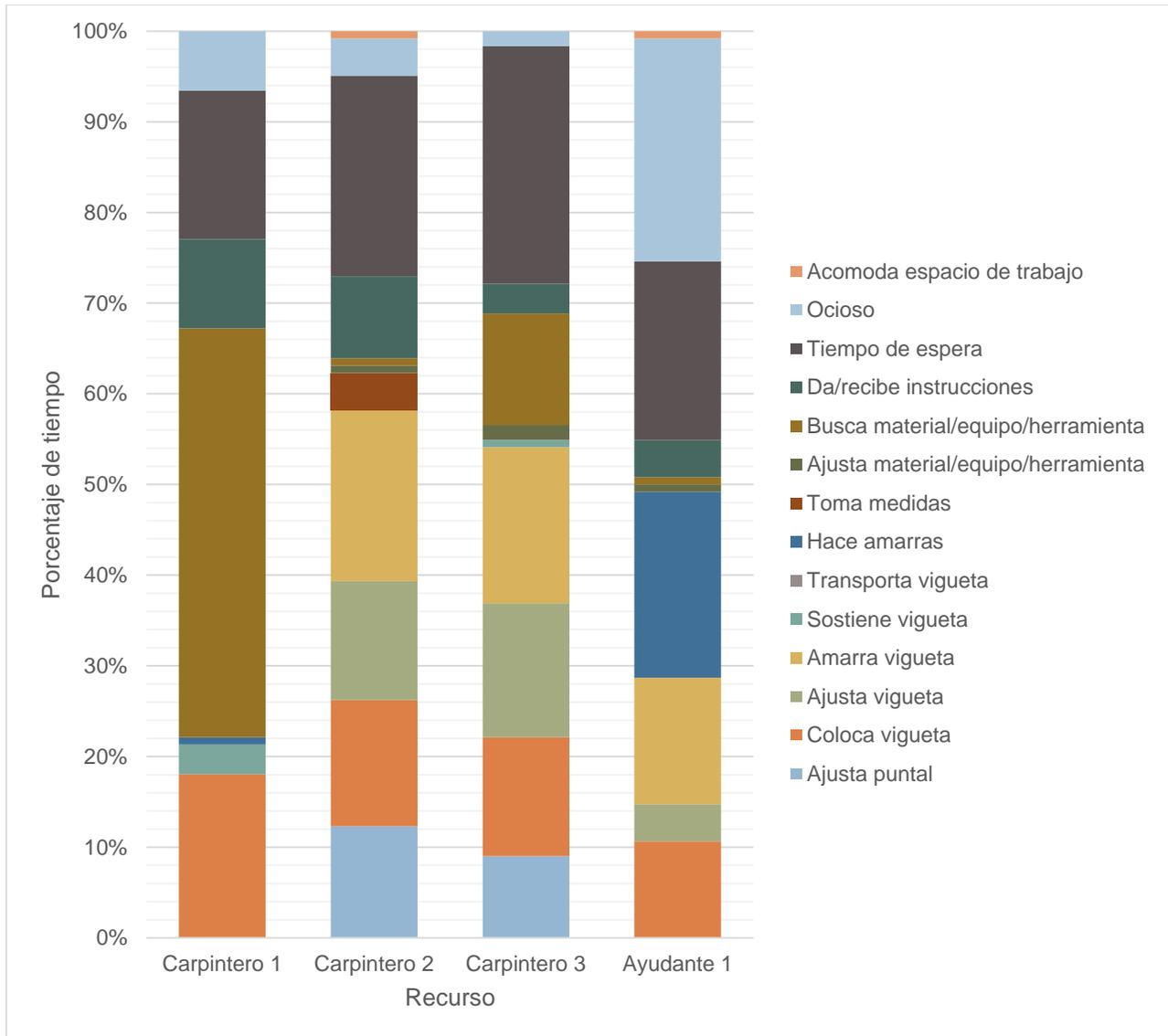
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta puntal	11	5%
	Coloca vigueta	107	14%
	Ajusta vigueta	53	8%
	Amarra vigueta	45	13%
	Sostiene vigueta	0	1%
TC	Transporta vigueta	0	0%
	Hace amarras	44	5%
	Toma medidas	6	1%
	Ajusta material/equipo/herramienta	2	1%
	Busca material/equipo/herramienta	23	15%
	Da/recibe instrucciones	7	7%
TNC	Tiempo de espera	62	21%
	Ocioso	33	9%
	Acomoda espacio de trabajo	1	0%
Total		488	100%

En la figura 56 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 57 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 56.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de viguetas para encofrado de entrepiso.



**Figura 57.** Crew Balance para la tarea de colocación de viguetas para encofrado de entepiso.

## Rendimiento: Colocación de viguetas de encofrado de entepiso

En el cuadro 58 se muestran los rendimientos para la tarea de colocación de viguetas de encofrado de entepiso en unidades de horas hombre por metro cuadrado. Además, se muestra el cuadro 59 que da los costos de mano de obra

por hora y metro cuadrado. Los rendimientos se presentan de forma detallada en el apéndice C y los salarios de mano de obra utilizados en el cálculo en el apéndice E.

CUADRO 58. RENDIMIENTO GENERAL DE LA TAREA						
Muestreo	Tiempo medido	Tiempo en horas	Nº de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (m <sup>2</sup> )	Rendimiento (HH/ m <sup>2</sup> )
1	03:46:00	3,767	5	18,833	39,955	0,471
2	02:50:00	2,833	6	17,000	39,955	0,425
3	03:27:00	3,450	4	13,800	30,195	0,457
Promedio						0,451
Desviación Estándar						0,023
Coeficiente de Variación						5,2%
Factor de Incremento						0,129
Rendimiento Modificado						0,510

CUADRO 59. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA TAREA MEDIDA.					
Mano de obra utilizada				Costo de hora	Costo por unidad de volumen de trabajo
Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
0	1	0	4	6.925,19 CRC	701,78 CRC

## Colocación de paneles de fondo de losa

Una vez puesta las viguetas, se colocan los paneles que encofran el fondo de losa. A continuación, se muestra los resultados de los

tres muestreos de trabajo realizados, de los cuales se obtuvieron datos de productividad y rendimiento.

### Muestreo 1: Colocación de paneles de encofrado de entrepiso

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 60. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	29 de agosto
Estado del tiempo	Nublado con viento

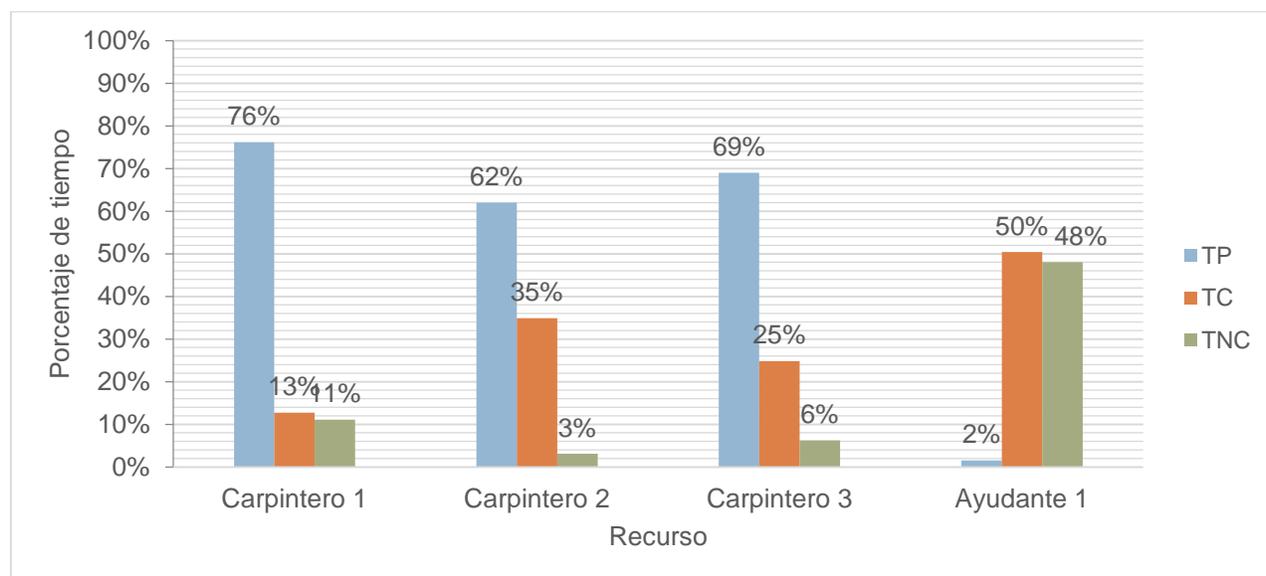
El cuadro 61 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 61. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta panel	77	17%
	Coloca panel	18	4%
	Ajusta vigueta	124	28%
TC	Sostiene panel	36	8%
	Transporta panel	13	3%
	Toma medidas	22	5%
	Ajusta material/equipo/herramienta	0	0%
	Busca material/equipo/herramienta	10	2%
	Hace amarras	0	0%
	Da/recibe instrucciones	69	15%
TNC	Tiempo de espera	77	17%
	Ocioso	4	1%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
Total		450	100%

En la figura 58 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 59 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 58.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles para encofrado de entrespiso.

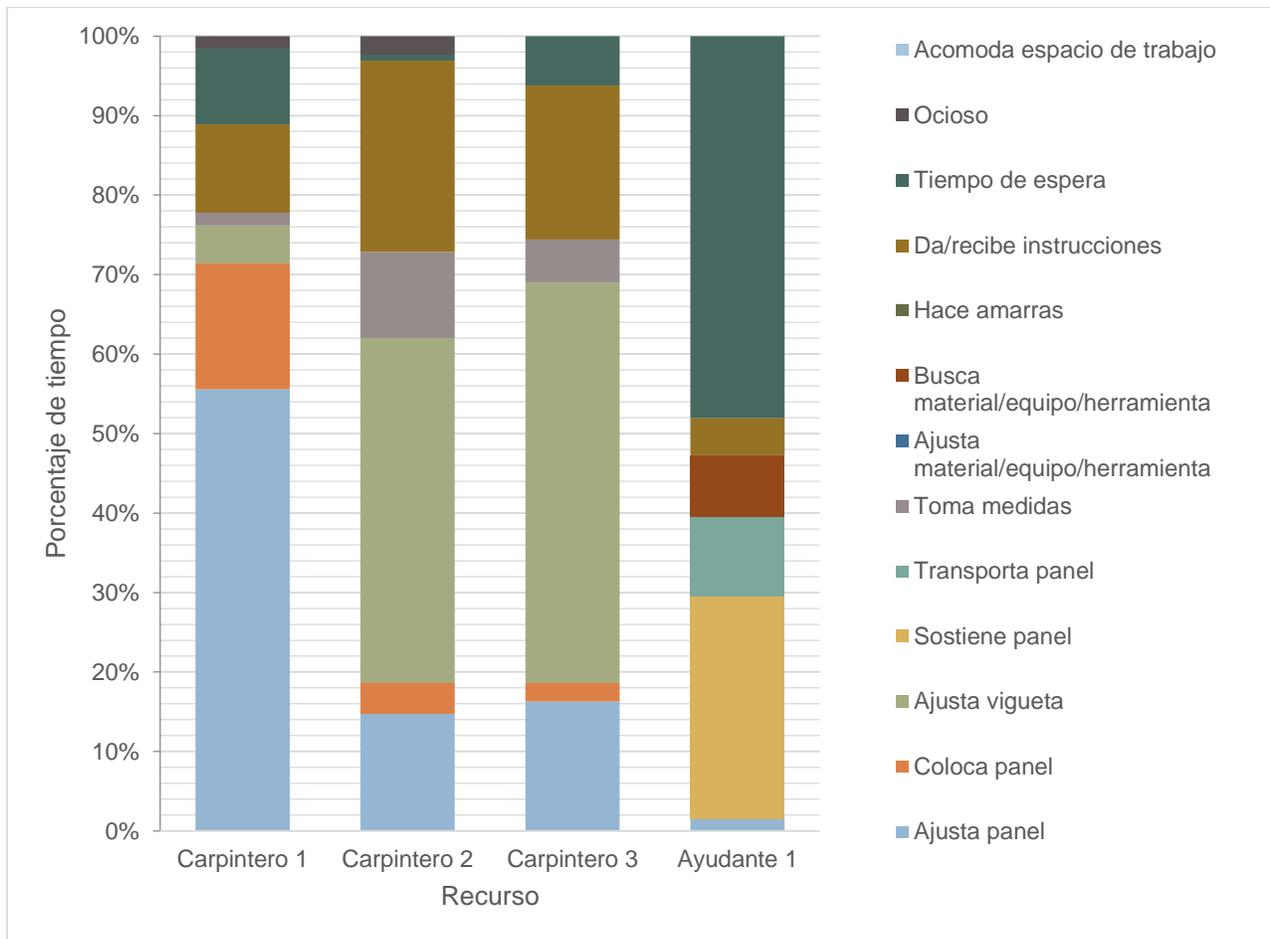


Figura 59. Crew Balance para la tarea de colocación de paneles para encofrado de entrepiso.

## Muestreo 2: Colocación de paneles de encofrado de entrepiso

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 62. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	19 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

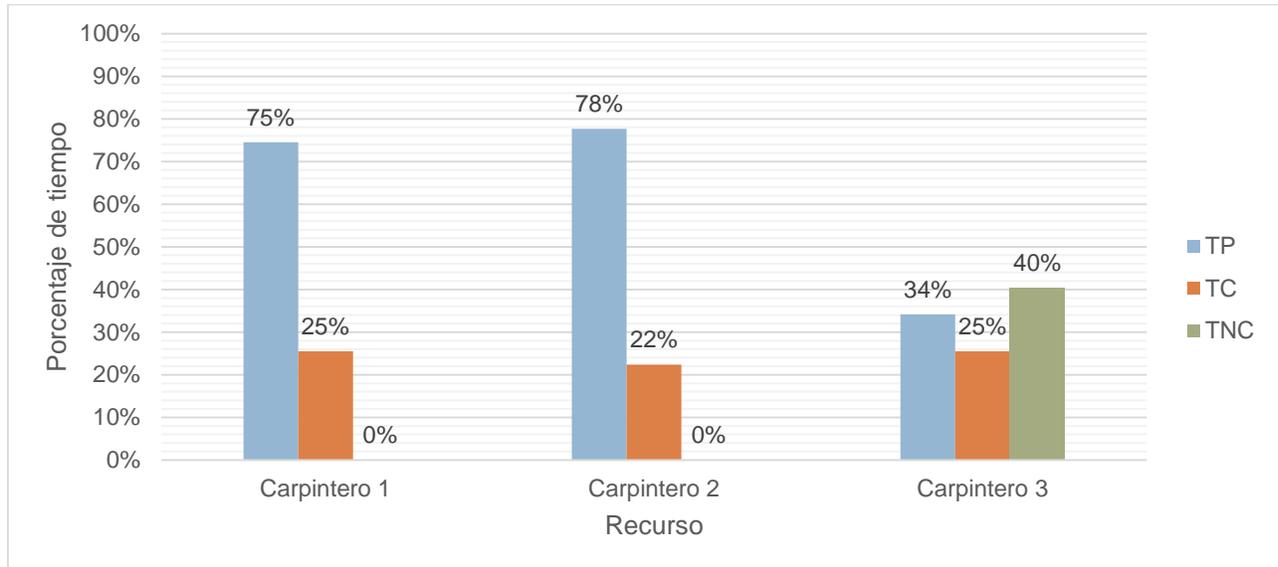
El cuadro 63 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

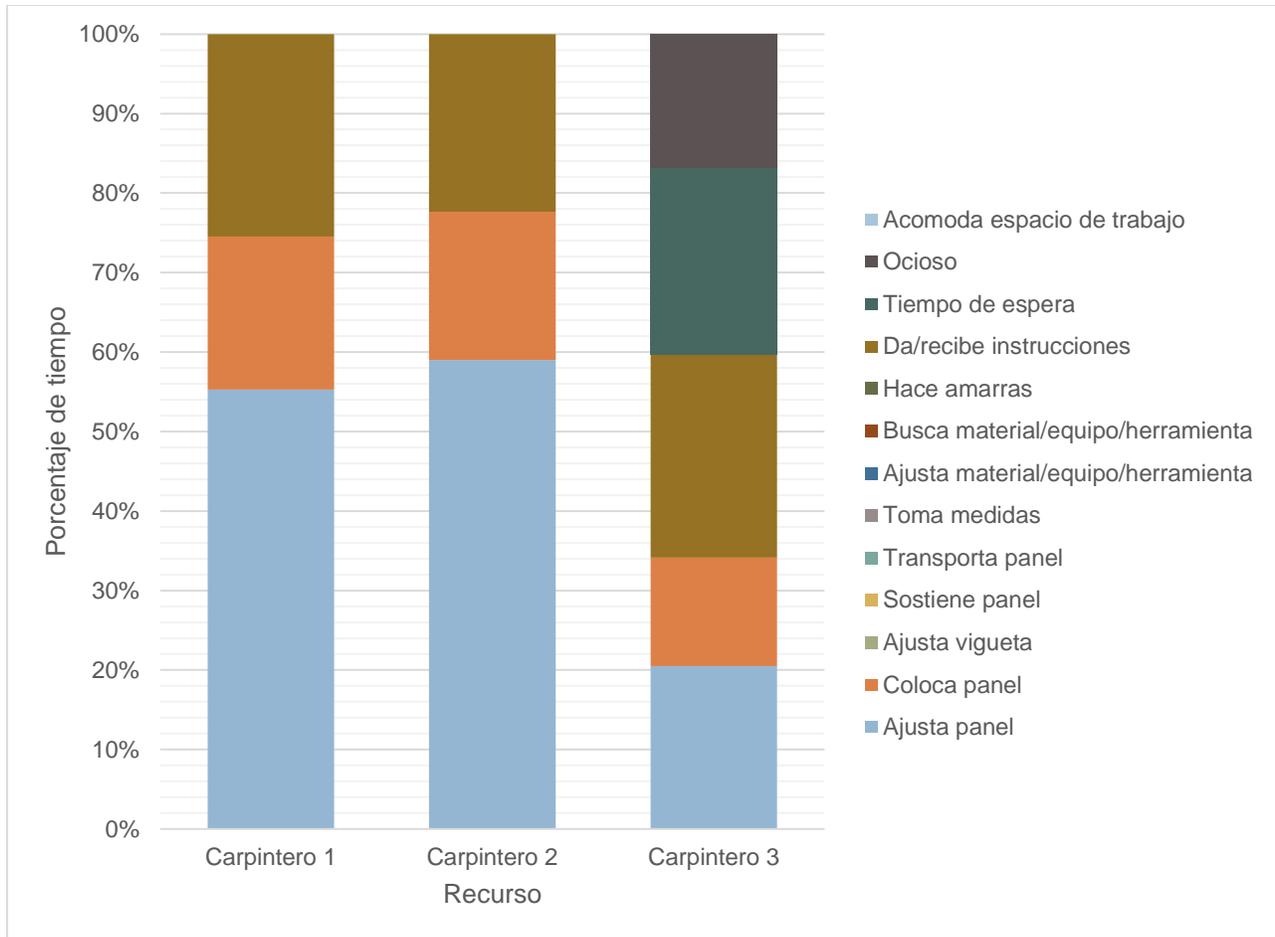
CUADRO 63. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta panel	217	45%
	Coloca panel	83	17%
	Ajusta vigueta	0	0%
TC	Sostiene panel	0	0%
	Transporta panel	0	0%
	Toma medidas	0	0%
	Ajusta material/equipo/herramienta	0	0%
	Busca material/equipo/herramienta	0	0%
	Hace amarras	0	0%
	Da/recibe instrucciones	118	24%
TNC	Tiempo de espera	38	8%
	Ocioso	27	6%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
Total		483	100%

En la figura 60 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 61 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 60.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles para encofrado de entrespiso.



**Figura 61.** Crew Balance para la tarea de colocación de paneles para encofrado de entrepiso.

### Muestreo 3: Colocación de paneles de encofrado de entrepiso

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 64. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	22 de setiembre
Estado del tiempo	Nublado

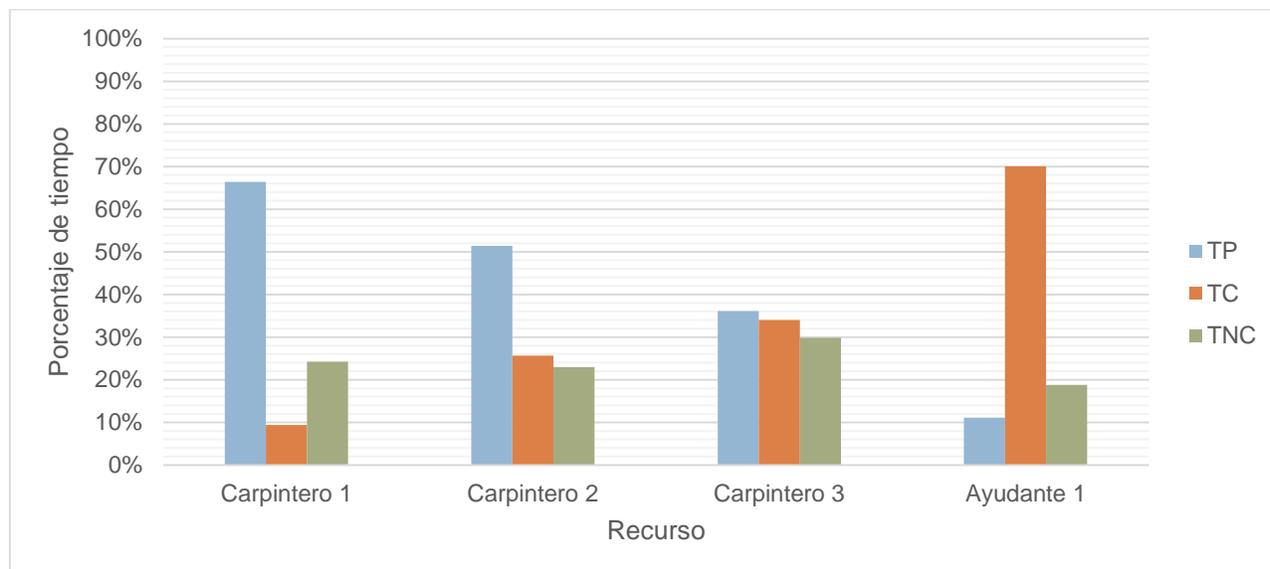
El cuadro 65 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 65. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Ajusta panel	74	15%
	Coloca panel	65	13%
	Ajusta vigueta	67	13%
TC	Sostiene panel	0	0%
	Transporta panel	59	12%
	Toma medidas	35	7%
	Ajusta material/equipo/herramienta	1	0%
	Busca material/equipo/herramienta	26	5%
	Hace amarras	2	0%
	Da/recibe instrucciones	48	10%
TNC	Tiempo de espera	99	20%
	Ocioso	22	4%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
Total		498	100%

En la figura 62 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 63 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 62.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles para encofrado de entepiso.

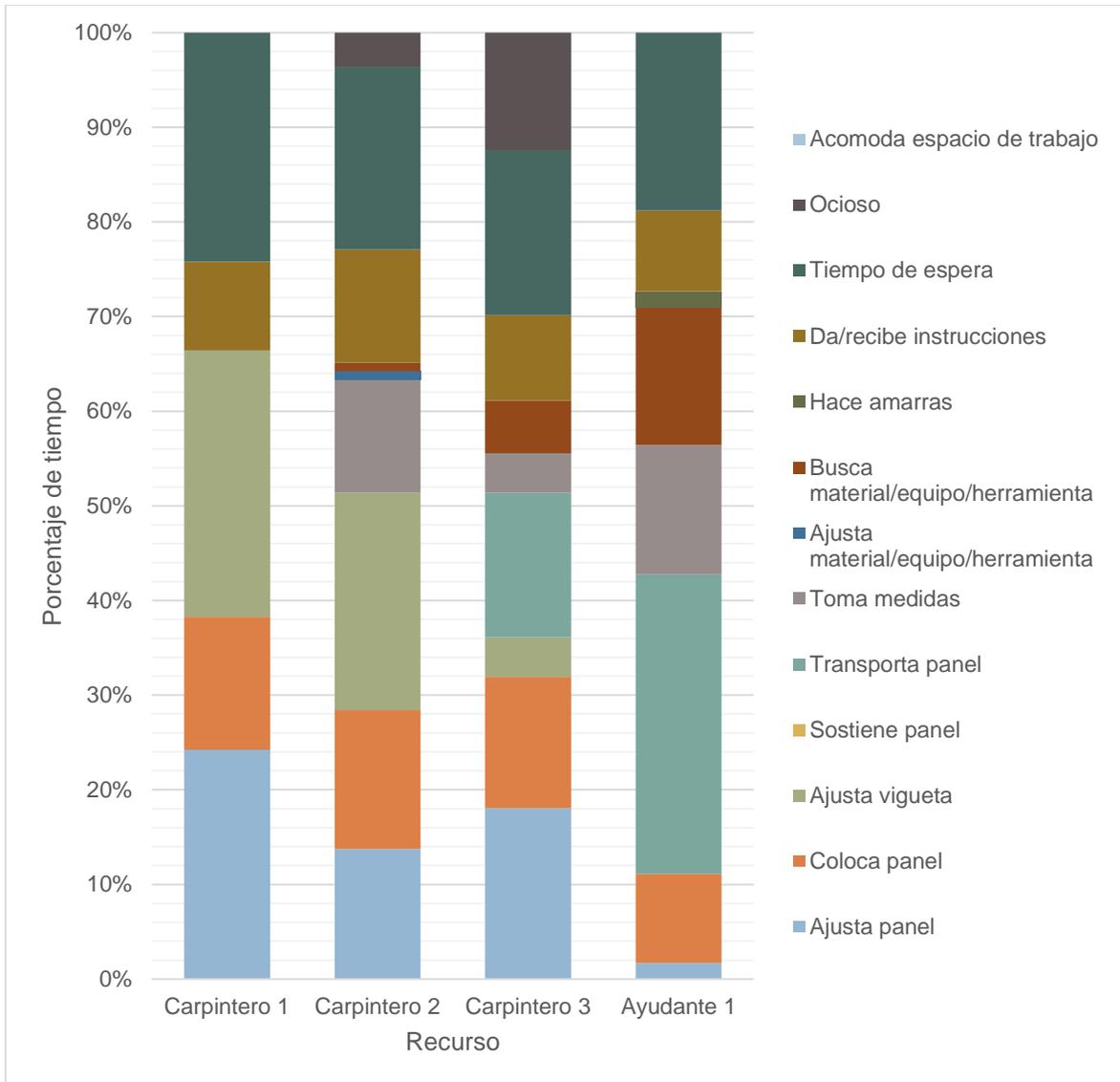


Figura 63. Crew Balance para la tarea de colocación de paneles para encofrado de entrepiso.

## Rendimiento: Colocación de paneles de encofrado de entrepiso

En el cuadro 66 se muestran los rendimientos para la tarea de colocación de paneles de encofrado de entrepiso en unidades de horas hombre por metro cuadrado. Además, se muestra el cuadro 67 que da los costos de mano de obra

por hora y por metro cuadrado. Los rendimientos se presentan de forma detallada en el apéndice C y los salarios de mano de obra utilizados en el cálculo en el apéndice E.

CUADRO 66. RENDIMIENTO GENERAL DE LA TAREA						
Muestreo	Tiempo medido	Tiempo en horas	Nº de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (m <sup>2</sup> )	Rendimiento (HH/ m <sup>2</sup> )
1	03:19:00	3,317	4	13,267	42,25	0,314
2	05:10:00	5,167	3	15,500	42,25	0,367
3	03:15:00	3,250	4	13,000	42,25	0,308
Promedio						0,330
Desviación Estándar						0,032
Coeficiente de Variación						9,9%
Factor de Incremento						0,129
Rendimiento Modificado						0,372

CUADRO 67. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA TAREA MEDIDA.					
Mano de obra utilizada				Costo de hora	Costo por unidad de volumen de trabajo
Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
0	1	0	3	5.523,93 CRC	516,56 CRC

## Encofrado de nudo de unión entre viga y columna

Ya culminados los dos procesos anteriores, se empieza con el taponamiento de elementos para que no se salga el concreto. En este caso queda abierta la unión de vigas con la columna inferior

al nivel. A continuación, se muestran los resultados de los tres muestreos de trabajo realizados, de los cuales se obtuvieron datos de productividad y rendimiento.

### Muestreo 1: Encofrado de nudo de unión entre viga y columna

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 68. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	1 de agosto
Estado del tiempo	Soleado

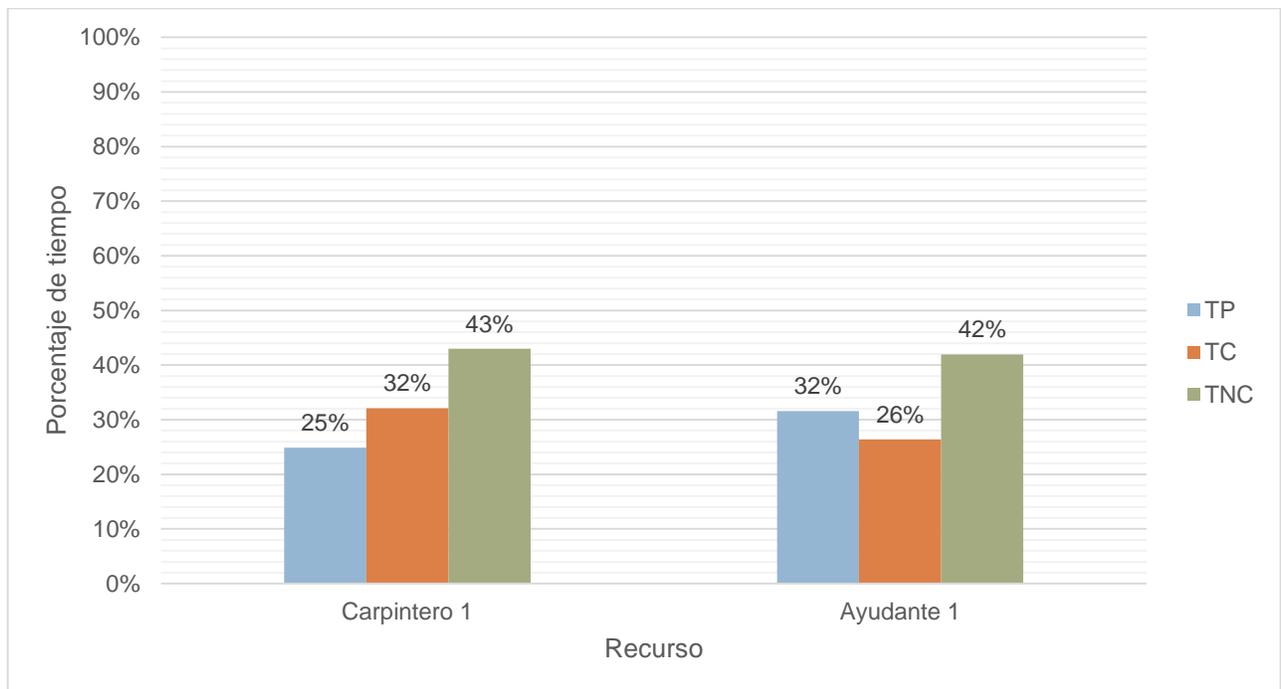
El cuadro 69 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 69. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca angular/calza	48	12%
	Hace calza	61	16%
TC	Hace amarras	4	1%
	Toma medidas	20	5%
	Ajusta material/equipo/herramienta	14	4%
	Busca material/equipo/herramienta	1	0%
	Da/recibe instrucciones	74	19%
TNC	Tiempo de espera	157	41%
	Ocioso	7	2%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
		386	100%

En la figura 64 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 65 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 64.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de encofrado de nudos de unión entre viga y columna para encofrado de entrepiso.

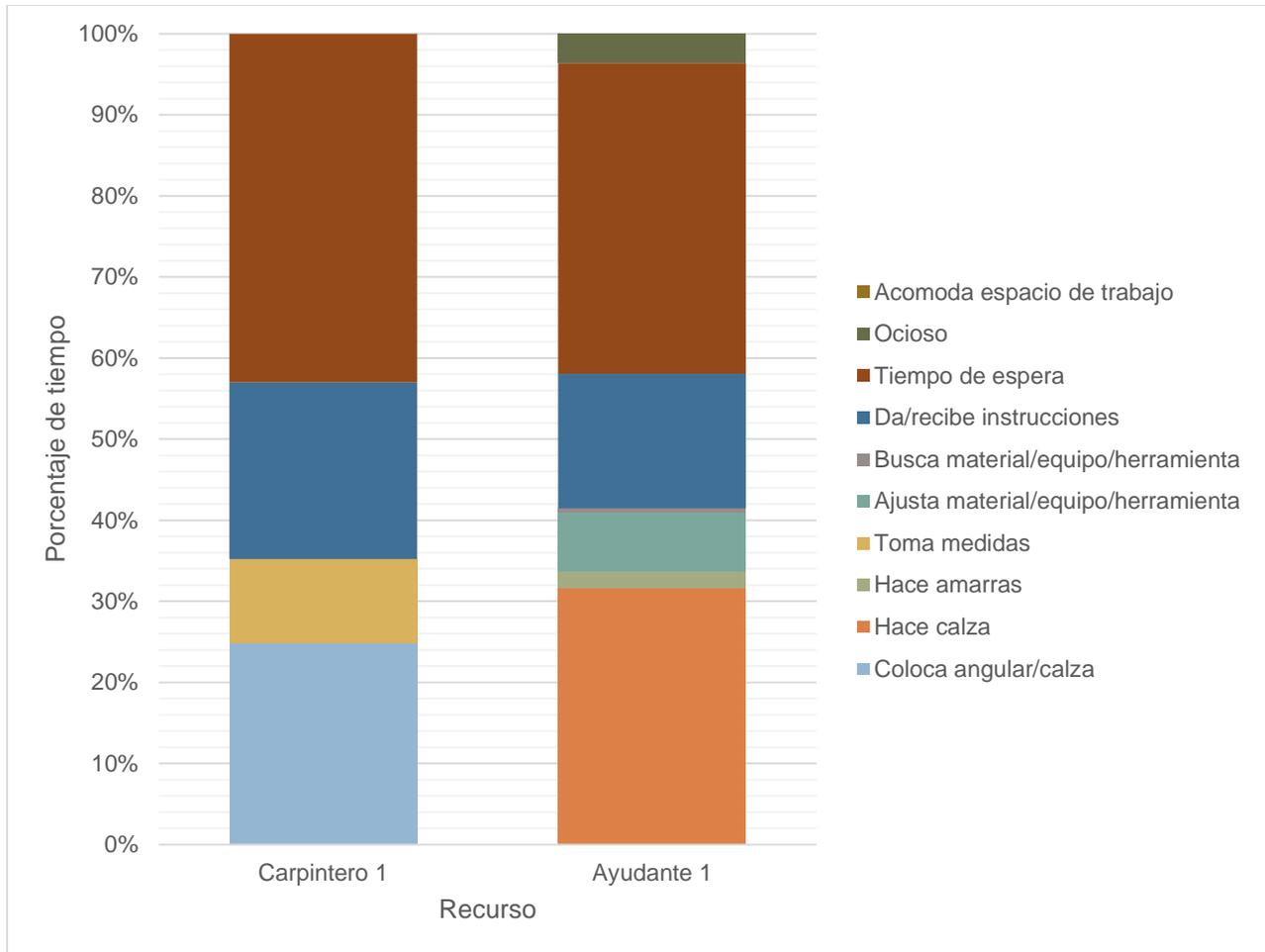


Figura 65. Crew Balance para la tarea de proceso de encofrado de nudos de unión entre viga y columna para encofrado de entepiso

## Muestreo 2: Encofrado de nudo de unión entre viga y columna

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 70. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	24 de agosto
Estado del tiempo	Soleado

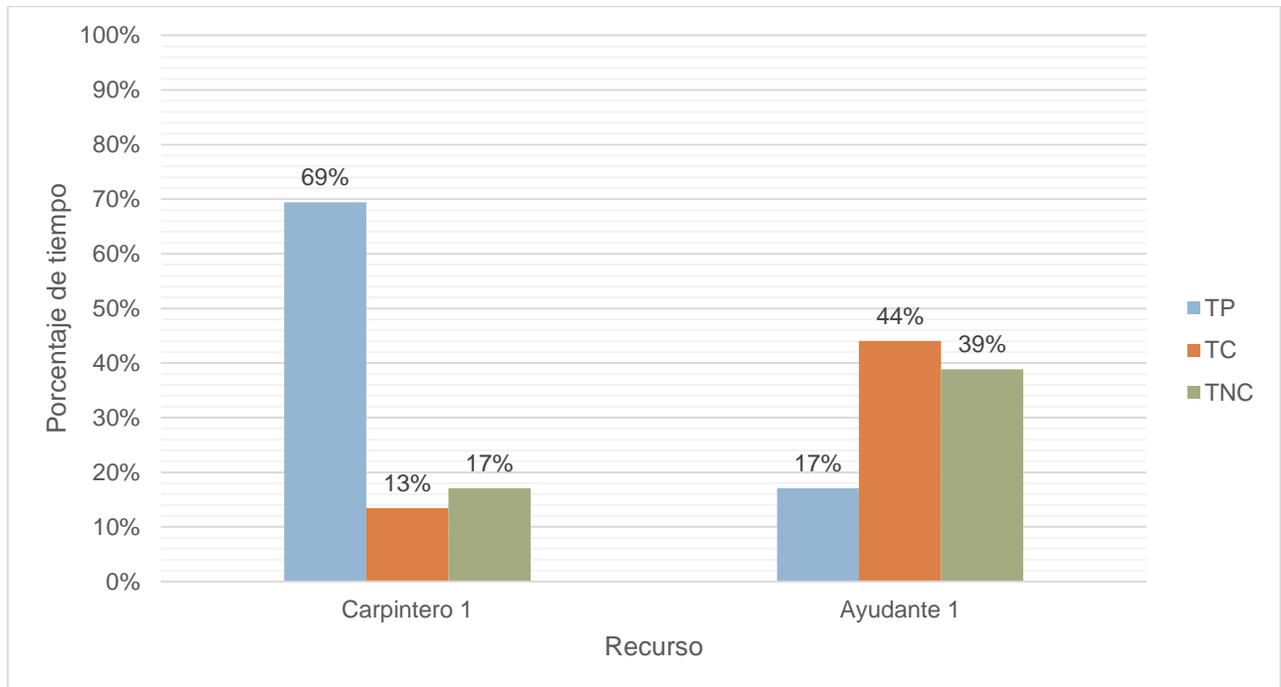
El cuadro 71 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 71. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca angular/calza	134	35%
	Hace calza	33	9%
TC	Hace amarras	10	3%
	Toma medidas	0	0%
	Ajusta material/equipo/herramienta	28	7%
	Busca material/equipo/herramienta	19	5%
	Da/recibe instrucciones	54	14%
TNC	Tiempo de espera	108	28%
	Ocioso	0	0%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
		386	100%

En la figura 66 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 67 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura66.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de encofrado de nudos de unión entre viga y columna para encofrado de entrepiso.

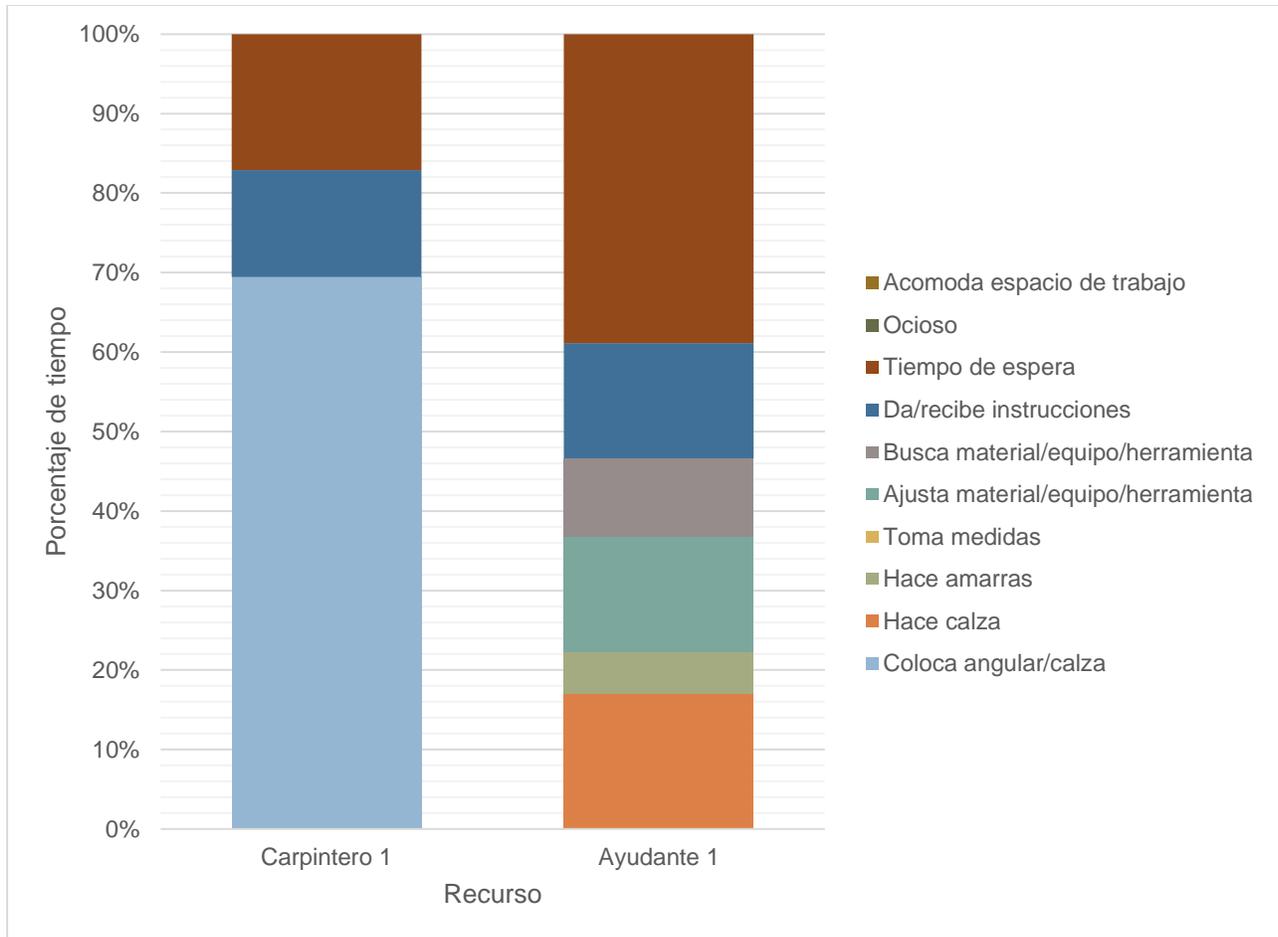


Figura 67. Crew Balance para la tarea de proceso de encofrado de nudos de unión entre viga y columna para encofrado de entrepiso

### Muestreo 3: Encofrado de nudo de unión entre viga y columna

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 72. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	23 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

El cuadro 73 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

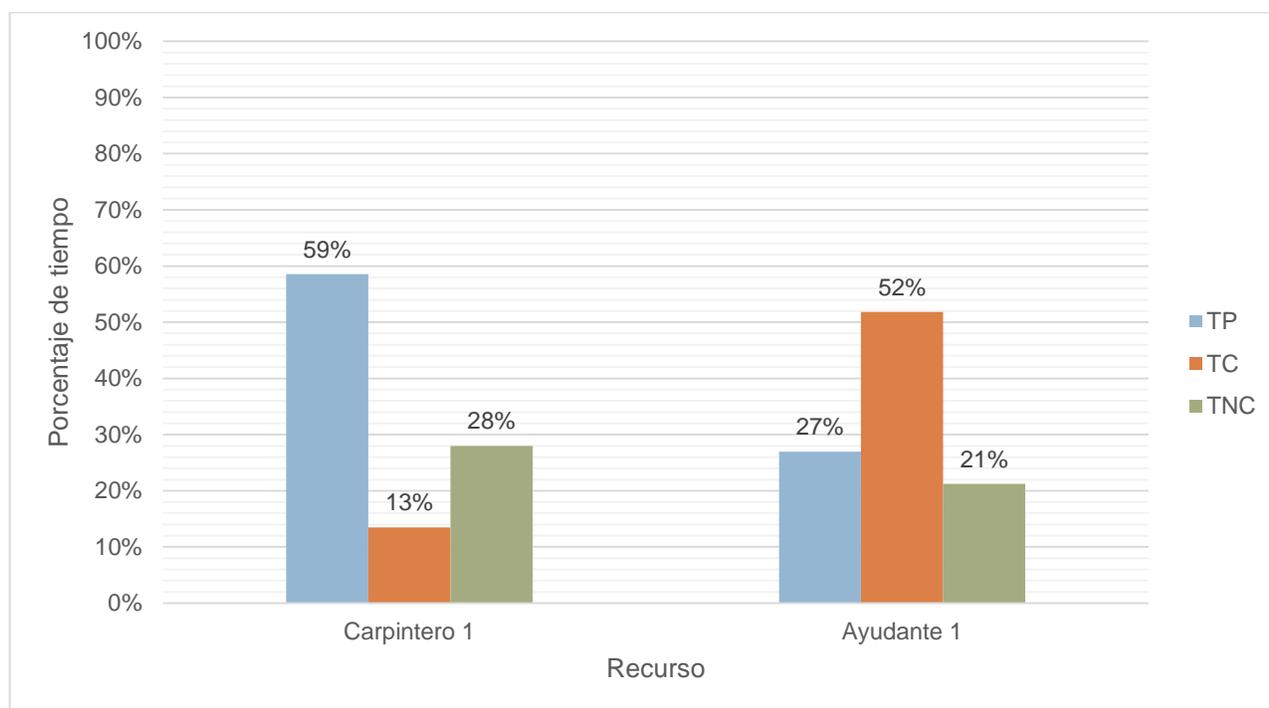
Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

**CUADRO 73. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES**

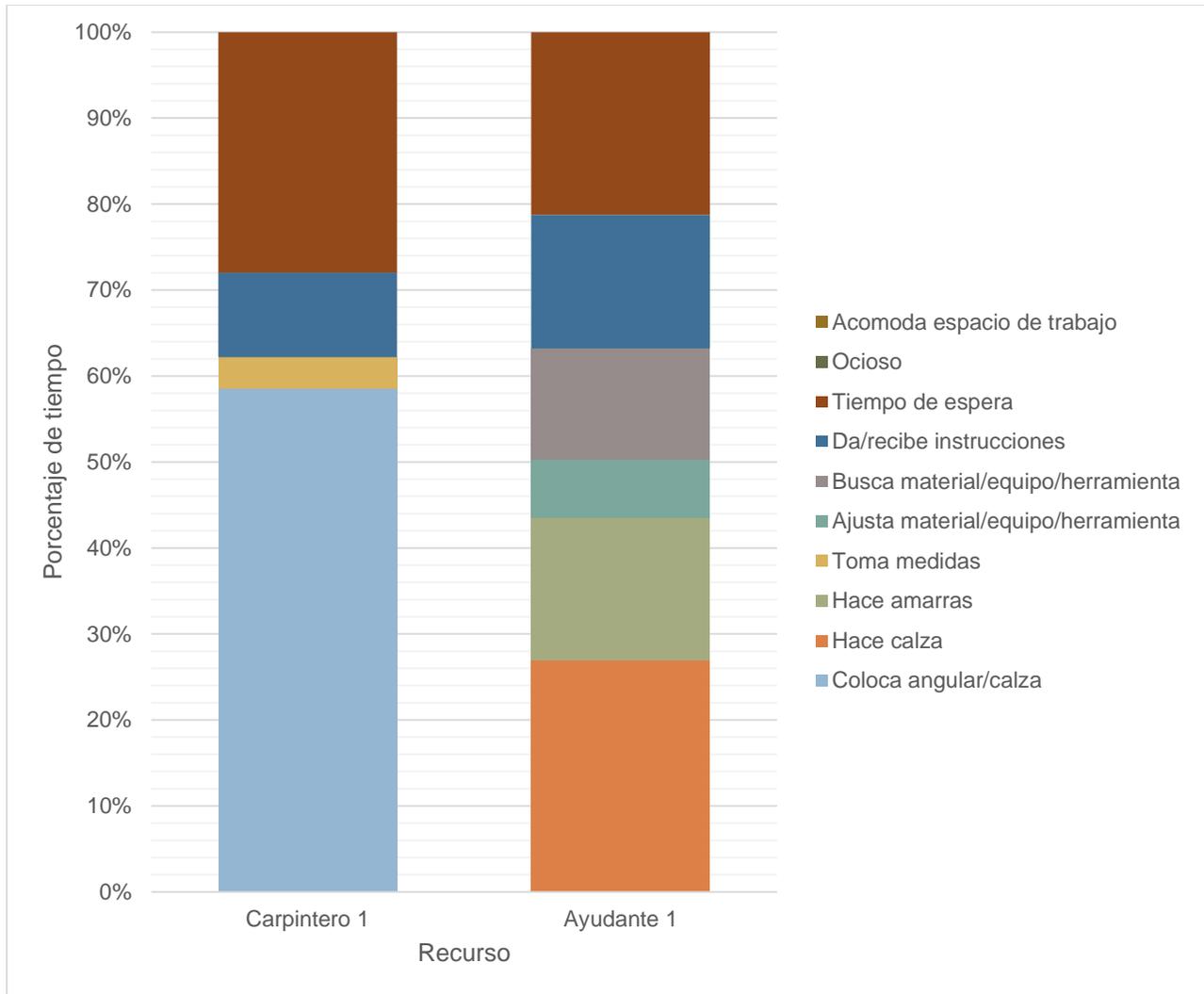
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca angular/calza	113	29%
	Hace calza	52	13%
TC	Hace amarras	32	8%
	Toma medidas	7	2%
	Ajusta material/equipo/herramienta	13	3%
	Busca material/equipo/herramienta	25	6%
	Da/recibe instrucciones	49	13%
TNC	Tiempo de espera	95	25%
	Ocioso	0	0%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
		386	100%

En la figura 68 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 69 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 68.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de encofrado de nudos de unión entre viga y columna para encofrado de entrepiso.



**Figura 69.** Crew Balance para la tarea de proceso de encofrado de nudos de unión entre viga y columna para encofrado de entrespiso

## Rendimiento: Encofrado de nudo de unión entre viga y columna

En el cuadro 74 se muestran los rendimientos para la tarea de encofrado de nudo de unión entre viga y columna en unidades de horas hombre por unidad. Además, se muestra el cuadro 75 que da los costos de mano de obra por

hora y unidad. Los rendimientos se presentan de forma detallada en el apéndice C y los salarios de mano de obra utilizados en el cálculo en el apéndice E.

CUADRO 74. RENDIMIENTO GENERAL DE LA TAREA						
Muestreo	Tiempo medido	Tiempo en horas	Nº de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (unidad)	Rendimiento (HH/ unidad)
1	02:31:00	2,517	2	5,033	1	5,033
2	02:45:00	2,750	2	5,500	1	5,500
3	03:15:00	3,250	2	6,500	1	6,500
Promedio						5,678
Desviación Estándar						0,749
Coeficiente de Variación						13,2%
Factor de Incremento						0,129
Rendimiento Modificado						6,410

CUADRO 75. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA TAREA MEDIDA.					
Mano de obra utilizada				Costo de hora	Costo por unidad de volumen de trabajo
Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
0	1	0	1	2.721,41 CRC	8.722,41 CRC

## Colocación de paneles en el borde de la losa

Paralelo al encofrado de nudos se colocan paneles en el borde de la losa. A continuación, se muestran los resultados de los tres muestreos de

trabajo realizados, de los cuales se obtuvieron datos de productividad y rendimiento.

### Muestreo 1: Colocación de paneles en el borde de la losa

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 76. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	1 de agosto
Estado del tiempo	Soleado

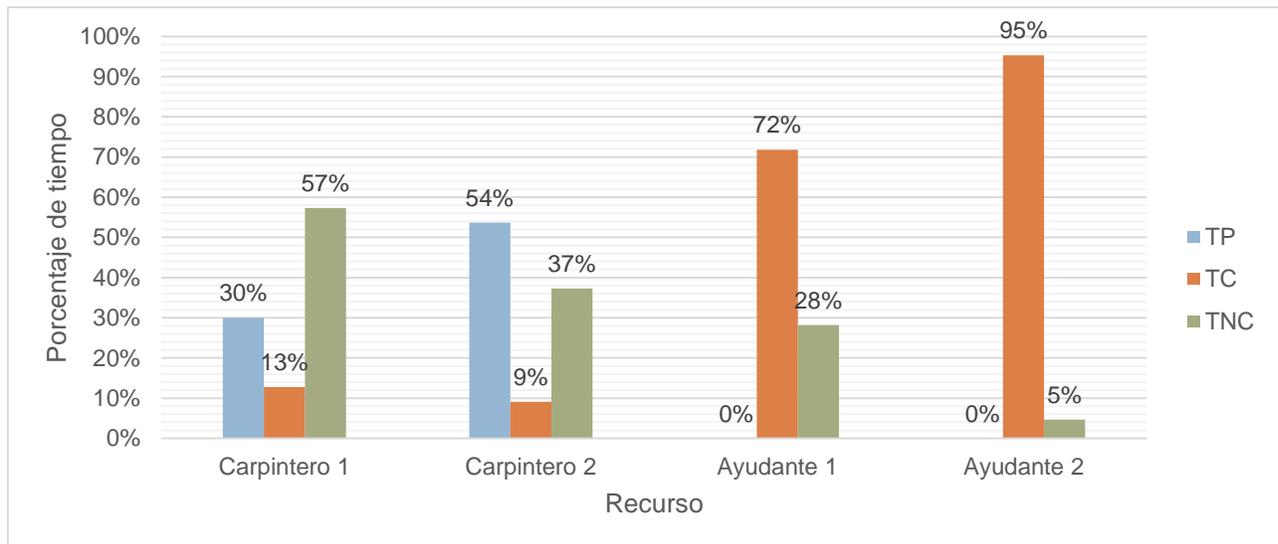
El cuadro 77 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

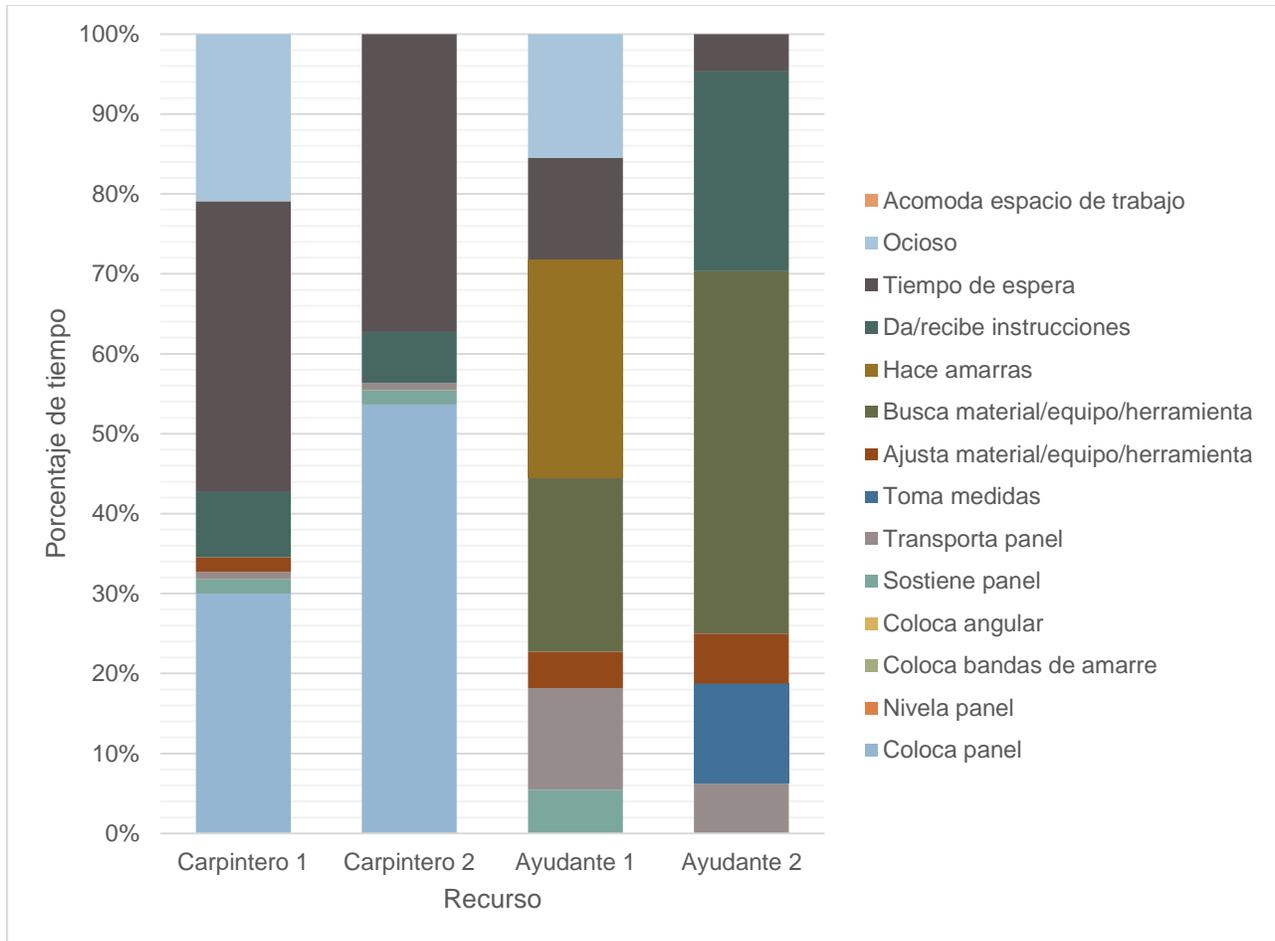
CUADRO 77. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca panel	92	23%
	Nivela panel	0	0%
	Coloca bandas de amarre	0	0%
TC	Sostiene panel	10	3%
	Transporta panel	20	5%
	Toma medidas	8	2%
	Ajusta material/equipo/herramienta	11	3%
	Busca material/equipo/herramienta	53	13%
	Hace amarras	30	8%
	Da/recibe instrucciones	32	8%
TNC	Tiempo de espera	98	25%
	Ocioso	40	10%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
		394	100%

En la figura 70 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 71 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 70.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles en el borde de la losa para encofrado de entrepiso.



**Figura 71.** Crew Balance para la tarea de proceso de proceso de colocación de paneles en el borde de la losa para encofrado de entrepiso

## Muestreo 2: Colocación de paneles en el borde de la losa

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 78. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	22 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

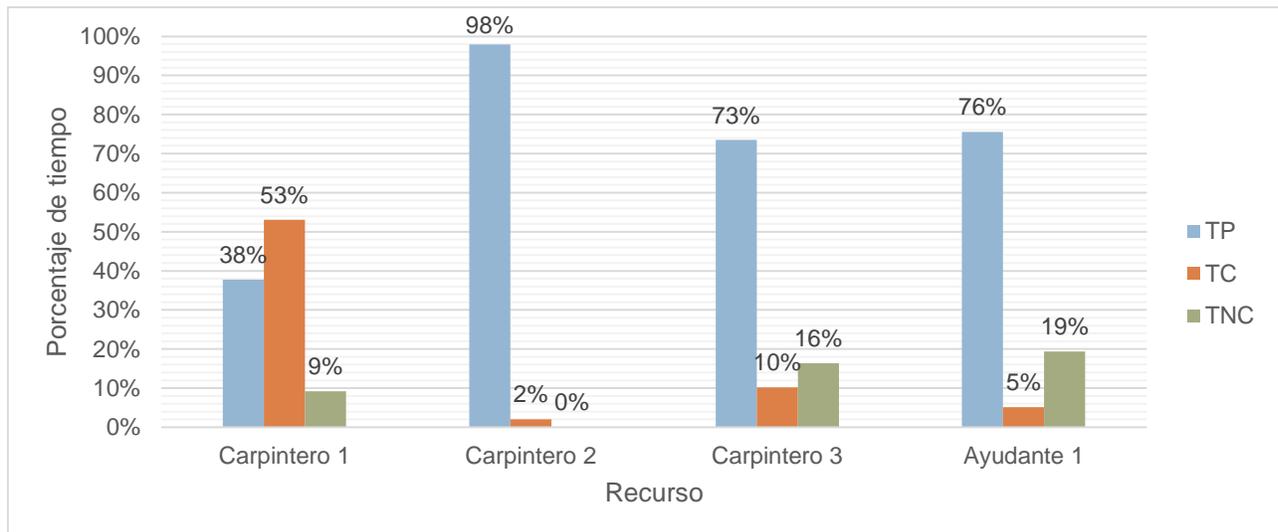
El cuadro 79 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

CUADRO 79. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca panel	73	19%
	Nivela panel	147	38%
	Coloca bandas de amarre	59	15%
TC	Sostiene panel	0	0%
	Transporta panel	0	0%
	Toma medidas	4	1%
	Ajusta material/equipo/herramienta	16	4%
	Busca material/equipo/herramienta	28	7%
	Hace amarras	4	1%
	Da/recibe instrucciones	17	4%
TNC	Tiempo de espera	40	10%
	Ocioso	0	0%
	Acomoda espacio de trabajo	4	1%
		392	100%

En la figura 72 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 73 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 72.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles en el borde de la losa para encofrado de entepiso.

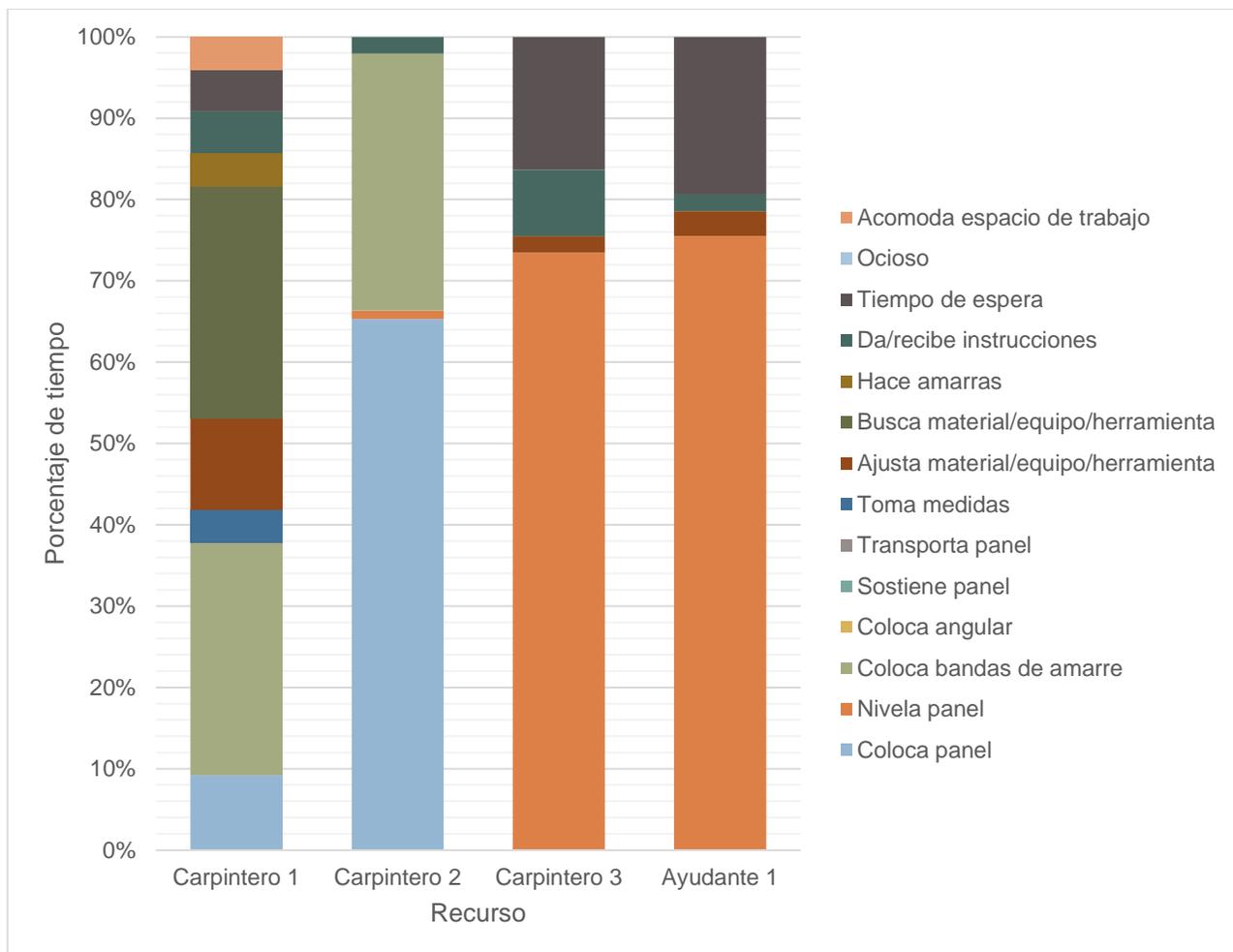


Figura 73. Crew Balance para la tarea de proceso de colocación de paneles en el borde de la losa para encofrado de entrepiso.

### Muestreo 3: Colocación de paneles en el borde de la losa

El siguiente cuadro contiene datos que son de consideración al momento de hacer el muestreo y

algunos datos. Este incluye la fecha y el estado del tiempo.

CUADRO 80. INFORMACIÓN GENERAL	
Fecha:	24 de setiembre
Estado del tiempo	Soleado

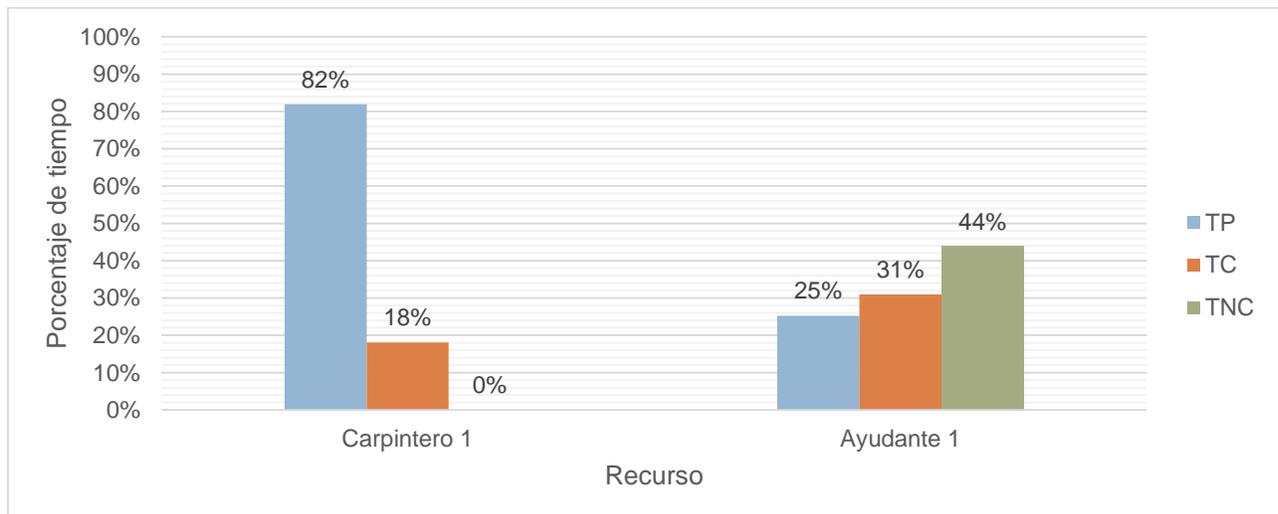
El cuadro 81 muestra un resumen de las labores realizadas por los trabajadores durante este muestreo, la cantidad de veces que fueron realizadas por la cuadrilla y qué porcentaje de las mediciones totales representa.

Además, clasifica estas labores en trabajo productivo (TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

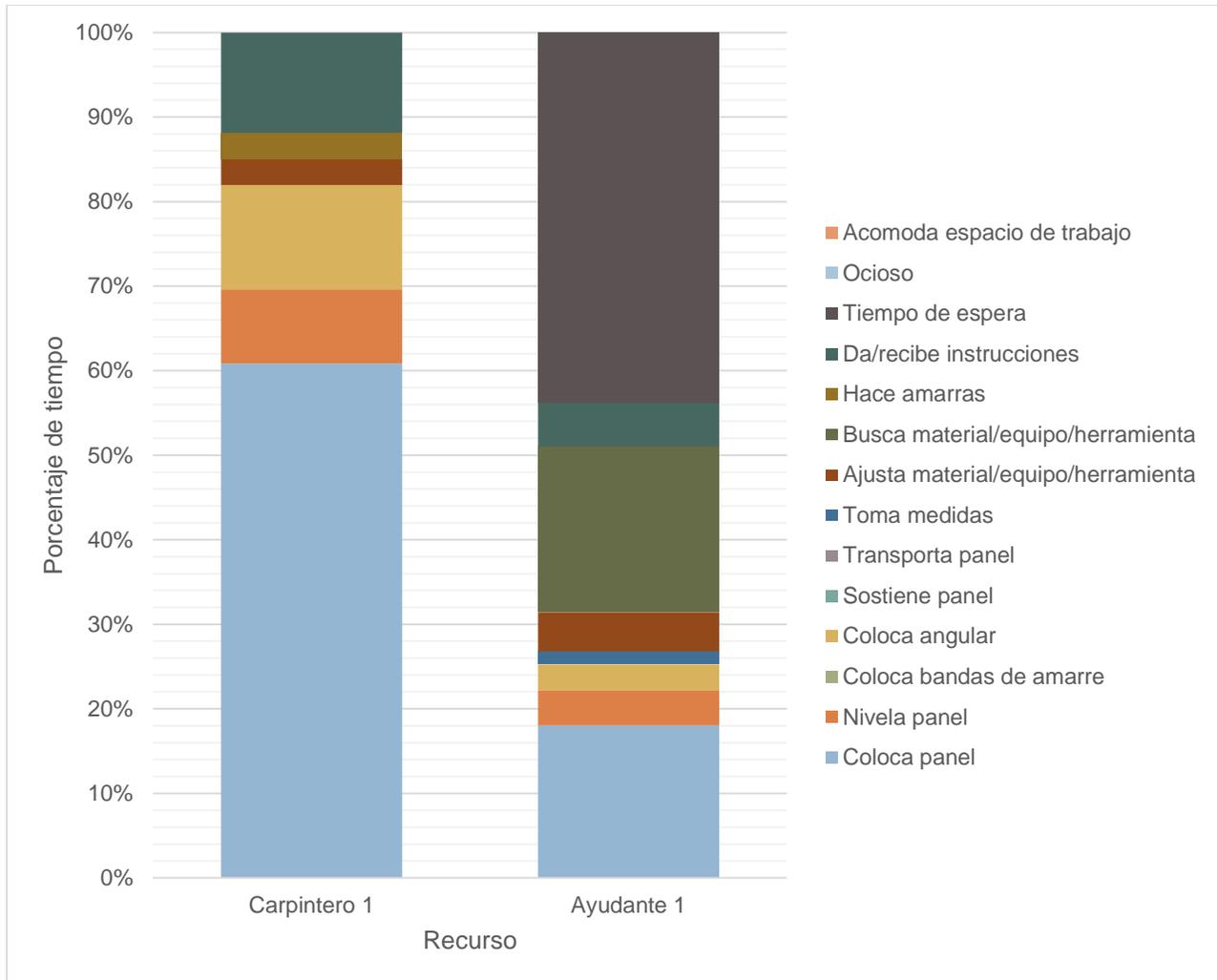
CUADRO 81. LABORES REALIZADAS POR LOS TRABAJADORES			
Clasificación	Labor	Número de observaciones	Porcentaje (%)
TP	Coloca panel	153	39%
	Nivela panel	25	6%
	Coloca bandas de amarre	0	0%
TC	Sostiene panel	30	8%
	Transporta panel	0	0%
	Toma medidas	0	0%
	Ajusta material/equipo/herramienta	3	1%
	Busca material/equipo/herramienta	15	4%
	Hace amarras	38	10%
	Da/recibe instrucciones	6	2%
TNC	Tiempo de espera	33	9%
	Ocioso	85	22%
	Acomoda espacio de trabajo	0	0%
		388	100%

En la figura 74 se puede ver más detalladamente el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo aportado por cada trabajador durante el desarrollo de esta tarea, basado en la técnica de medición Five Minute Rating.

En la figura 75 se puede ver un gráfico de Crew Balance en el que se observa el porcentaje tiempo que se invirtió en cada labor por trabajador.



**Figura 74.** Niveles de productividad medidos para cada trabajador en el proceso de colocación de paneles en el borde de la losa para encofrado de entepiso.



**Figura 75.** Crew Balance para la tarea de proceso de proceso de colocación de paneles en el borde de la losa para encofrado de entrepiso.

## Rendimiento: Colocación de paneles en el borde de la losa

En el cuadro 82 se muestran los rendimientos para la tarea de colocación de paneles en el borde de la losa en unidades de horas hombre por metro. Además, se muestra el cuadro 83 que da los costos de mano de obra por hora y metro.

Los rendimientos se presentan de forma detallada en el apéndice C y los salarios de mano de obra utilizados en el cálculo en el apéndice E.

CUADRO 82. RENDIMIENTO GENERAL DE LA TAREA						
Muestreo	Tiempo medido	Tiempo en horas	Nº de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (m)	Rendimiento (HH/ m)
1	06:10:00	6,167	4	24,667	19,45	1,268
2	07:00:00	7,000	4	28,000	20,45	1,369
3	08:31:00	8,517	2	17,033	16,5	1,032
Promedio						1,223
Desviación Estándar						0,173
Coeficiente de Variación						14,1%
Factor de Incremento						0,129
Rendimiento Modificado						1,381

CUADRO 83. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA TAREA MEDIDA.					
Mano de obra utilizada				Costo de hora	Costo por metro
Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
0	1	0	2	4.122,67 CRC	478,08 CRC

# Base de datos

Todos los resultados presentados anteriormente fueron almacenados en una base de datos para

que fueran de fácil acceso, lectura, comparación y utilización. Esta base de datos se compone de una portada mostrada en la figura 76.



Figura 76. Portada completa de la base de datos de resultados.

En la figura anterior se puede ver que los datos se encuentran organizados en dos secciones: productividad y rendimientos con costos y que además estos se presentan por tareas de cada proceso.

Cada botón de la sección de productividad permite acceso a una pestaña que tiene los datos tomados organizados en las tres

mediciones y que al final tiene los gráficos de niveles de productividad y de crew balance por trabajador. Las figuras 77, 78 y 79 muestran parte de las tres mediciones hechas para la tarea de colocación de paneles para encofrado de columnas.

Volver a Portada     
 Ver Medición 1     
 Ver Medición 2     
 Ver Medición 3

**Proceso:** Encofrado de columna  
**Tarea:** Colocación de panel de encofrado  
  
**Fecha:** 2 de setiembre de 2016  
**Estado del tiempo:** Soleado

## Medición 1

Observación N°	Tiempo	Five Minute Rating									Crew Balance		
		Carpintero 1			Ayudante 1			Carpintero 2			Carpintero 1	Ayudante 1	Carpintero 2
		TP	TC	TNC	TP	TC	TNC	TP	TC	TNC			
1	0:00:00	1	0	0	1	0	0	0	0	0	Ajusta panel	Ajusta panel	
2	0:00:10	1	0	0	1	0	0	0	0	0	Ajusta panel	Ajusta panel	
3	0:00:20	1	0	0	1	0	0	0	0	0	Ajusta panel	Ajusta panel	

**Figura 77.** Medición 1 de colocación de paneles para encofrado de columnas.

Inicio

**Proceso:** Encofrado de columna  
**Tarea:** Colocación de panel de encofrado  
  
**Fecha:** 26 de setiembre de 2016  
**Estado del tiempo:** Soleado

## Medición 2

Observación N°	Tiempo	Five Minute Rating									Crew Balance		
		Carpintero 1			Ayudante 1			Ayudante 2			Carpintero 1	Ayudante 1	Ayudante 2
		TP	TC	TNC	TP	TC	TNC	TP	TC	TNC			
1	0:00:00	0	1	0	0	1	0	0	0	0	Da/recibe instrucciones	Da/recibe instrucciones	
2	0:00:12	1	0	0	0	1	0	0	0	0	Ajusta panel	Busca material/equipo/herramienta	
3	0:00:24	1	0	0	0	1	0	0	0	0	Ajusta panel	Busca material/equipo/herramienta	

**Figura 78.** Medición 2 de colocación de paneles para encofrado de columnas.

Inicio

Proceso: Encofrado de columna  
 Tarea: Colocación de panel de encofrado  
 Fecha: 27 de setiembre de 2016  
 Estado del tiempo: Nublado

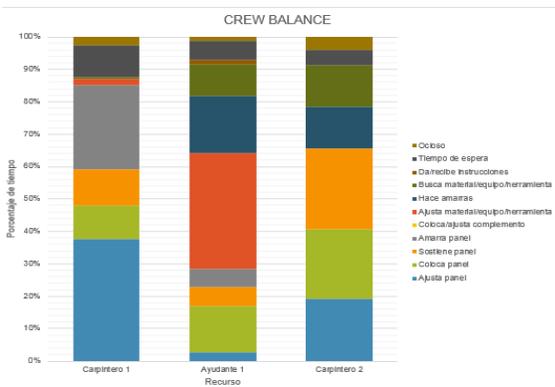
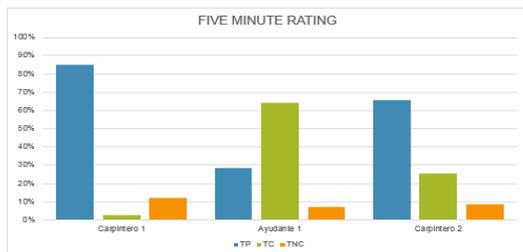
### Medición 3

Observación N°	Tiempo	Five Minute Rating												Crew Balance			
		Carpintero 1			Ayudante 1			Carpintero 2			Ayudante 2			Carpintero 1	Ayudante 1	Carpintero 2	Ayudante 2
		TP	TC	TNC	TP	TC	TNC	TP	TC	TNC	TP	TC	TNC				
1	0:00:00	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	Ajusta material/equipo/herramienta	Tiempo de espera	Tiempo de espera	Ajusta material/equipo/herramienta
2	0:00:11	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	Ajusta material/equipo/herramienta	Tiempo de espera	Tiempo de espera	Ajusta material/equipo/herramienta
3	0:00:22	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	Ajusta material/equipo/herramienta	Tiempo de espera	Tiempo de espera	Ajusta material/equipo/herramienta

Figura 79. Medición 3 de colocación de paneles para encofrado de columnas.

Además, en la figura 80 se puede ver que como se presentan los datos al final de cada

columna de medición con el fin de poder interpretar los resultados fácilmente.



	Carpintero 1		Carpintero 2		Carpintero 3	
	Mediciones	Porcentaje	Mediciones	Porcentaje	Mediciones	Porcentaje
Ajusta panel	58	38%	4	3%	24	13%
Coloca panel	16	10%	22	14%	27	22%
Sostiene panel	17	11%	9	6%	31	25%
Amarra panel	40	26%	9	6%	0	0%
Coloca/ajusta complemento	0	0%	0	0%	0	0%
Ajusta material/equipo/herramienta	3	2%	55	36%	0	0%
Hace amarra	0	0%	27	18%	16	13%
Busca material/equipo/herramienta	1	1%	15	10%	16	13%
Da/recibe instrucciones	0	0%	2	1%	0	0%
Tiempo de espera	15	10%	9	6%	6	5%
Ocioso	4	3%	2	1%	5	4%
<b>Total</b>	<b>154</b>	<b>100%</b>	<b>154</b>	<b>100%</b>	<b>125</b>	<b>100%</b>

Figura 80. Resumen de resultados y gráficos creados para cada medición.

En el caso de los rendimientos hay una pestaña para cada proceso, en la cual se muestra el rendimiento de cada tarea en forma general

(figura 81) y el rendimiento de cada tarea por trabajador (figura 82 y 83).

Volver a Portada	Rendimiento	Costos
------------------	-------------	--------

Rendimiento General de Colocación de Paneles						
Medición	Tiempo medido	Tiempo en horas	N° de trabajadores	Horas hombre (HH)	Volumen de trabajo (unidad)	Rendimiento (HH/unidad de columna)
1	0:25:00	0,417	3	1,250	1	1,250
2	0:30:00	0,500	3	1,500	1	1,500
3	0:19:00	0,317	4	1,267	1	1,267
				Promedio		1,339
				Desviación Estándar		0,140
				Coeficiente de Variación		0,104
				Factor de Incremento		0,129
				<b>Rendimiento Modificado</b>		1,512

**Figura 81.** Rendimiento general de colocación de paneles para encofrado de columnas.

Rendimiento de Ayudante en Colocación de Paneles						
Medición	Tiempo medido	Tiempo en horas	N° de trabajadores	Horas Ayudante (HA)	Volumen de trabajo (unidad)	Rendimiento (HA/unidad de columna)
1	0:25:00	0,417	1	0,417	1	0,417
2	0:30:00	0,500	2	1,000	1	1,000
3	0:19:00	0,317	2	0,633	1	0,633
				Promedio		0,683
				Desviación Estándar		0,295
				Coeficiente de Variación		0,432
				Factor de Incremento		0,129
				<b>Rendimiento Modificado</b>		0,771

**Figura 82.** Rendimiento de ayudante en colocación de paneles para encofrado de columnas.

Rendimiento de Carpintero en Colocación de Paneles						
Medición	Tiempo medido	Tiempo en horas	N° de trabajadores	Horas Carpintero (HC)	Volumen de trabajo (unidad)	Rendimiento (HC/unidad de columna)
1	0:25:00	0,417	2	0,833	1	0,833
2	0:30:00	0,500	1	0,500	1	0,500
3	0:19:00	0,317	2	0,633	1	0,633
				Promedio		0,656
				Desviación Estándar		0,168
				Coeficiente de Variación		0,256
				Factor de Incremento		0,129
				<b>Rendimiento Modificado</b>		0,740

**Figura 83.** Rendimiento de carpintero en colocación de paneles para encofrado de columnas.

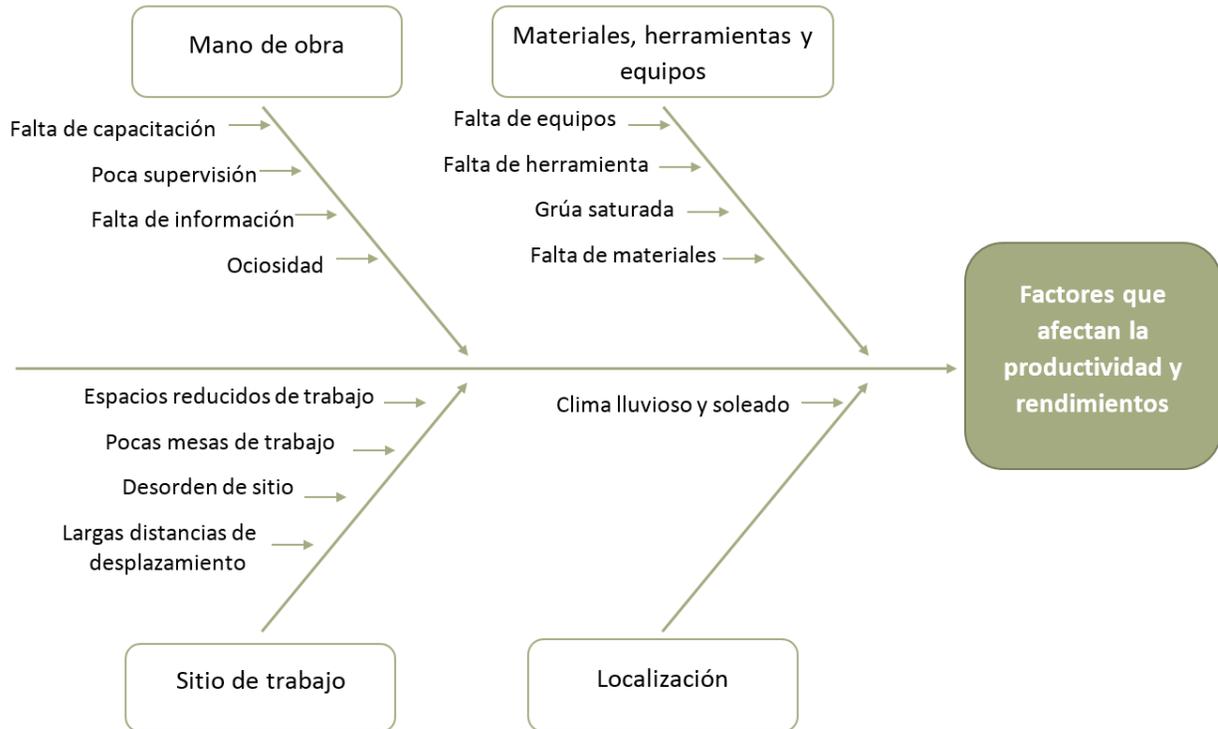
Después de la sección de rendimientos se puede ver el cálculo de los costos basado en los datos obtenidos anteriormente (figura 84).

Costos de mano de obra directa						
Tarea	Mano de obra promedio				Costo / hora	Costo por unidad de volumen de trabajo
	Peones	Ayudantes	Albañiles	Carpinteros		
Proceso: Colocación y ajuste de paneles	0	1	0	2	4.122,67 CRC	3.092,68 CRC
Proceso: Colocación de puntales y anclajes	0	1	0	1	2.721,41 CRC	2.662,81 CRC
Proceso: Nivelado, aplomado y ajustes	0	1	0	1	2.721,41 CRC	1.177,78 CRC

**Figura 84.** Costos de cada tarea que conforma el proceso de encofrado de columnas.

# Problemas encontrados en el sitio de trabajo

Con el estudio del sitio de trabajo y luego de analizar cuáles eran las causas de la baja productividad y los rendimientos fue posible la creación de un diagrama de Ishikawa, que se presenta a continuación como figura 85.



**Figura 85.** Diagrama de Ishikawa de problemas y causas encontrados en el sitio de trabajo

# Análisis de Resultados

## Encofrado de columnas

La figura 13 muestra el diagrama de flujo para el proceso de encofrado de columnas conformado por las tareas identificadas que deben ser llevadas a cabo, en la secuencia presentada, para poder desarrollar el proceso. Se debe colocar paneles, apuntalarlos y luego aplomar la estructura. El nivelado debe ser aprobado por algún encargado o inspector para poder proseguir con tareas como el colado de la columna.

El cuadro 1 muestra el equipo, material y mano de obra necesaria para poder llevar a cabo el proceso. Durante todo el proceso, la necesidad de mano de obra es muy baja debido a que el trabajo no es tan grande y es relativamente rápido. El equipo más importante con el que se cuenta es la grúa, pues sin esta no se pueden movilizar los paneles por su peso.

## Colocación de paneles

En los cuadros 2, 4 y 6 se muestra la información general de los tres muestreos de trabajo que fueron realizados en tres días diferentes, tratando de que se dieran en distintos momentos del día, aunque no siempre fue posible por como estaba planeado el día, así que esta característica no pudo ser evaluada.

Los cuadros 3, 5 y 7 muestran las labores realizadas por los trabajadores durante el desarrollo de la tarea. Se hizo una tabla de tareas estándar para cada medición, por ello, lo que varían son los porcentajes acumulados de niveles de productividad.

Para el muestreo 1 se obtuvo un 59% de trabajo productivo, un 31% de trabajo contributivo y un 10% de trabajo no contributivo. En la figura 14 se puede observar que el carpintero, que es el que desarrolla la tarea principal, obtuvo un 85%

de productividad y que un ayudante presentó altos niveles de trabajo contributivo. En la figura 15 que es el crew balance del muestreo 1, se puede ver que este ayudante pasó la mayor parte de su tiempo haciendo amarras y ajusta equipo y materiales, lo cual facilita el trabajo de los carpinteros y aumenta sus niveles de productividad.

En el muestreo 2, se puede ver en el cuadro 5 que, de forma general, se obtuvo un 76% de productividad, un 15 % de trabajo contributivo y un 13% de trabajo no contributivo. En la figura 16 se puede ver que participaron un carpintero y dos ayudantes. Los tres trabajadores presentan niveles de productividad mayores al 60%, ya que pasan el 36% de su tiempo colocando los complementos en los paneles. En la figura 17 se puede ver el crew balance de la tarea, y además se distingue el tipo de tarea que desarrolla cada trabajador, los ayudantes colocan el panel con ayuda de la grúa y el carpintero se encarga del ajuste del mismo para que quede en posición deseada. Los tres trabajadores tienen niveles parecidos de trabajo contributivo y no contributivo que se dan mientras estos esperan que la grúa traiga otro panel.

El muestreo 3 tuvo, como es presentado en el cuadro 7, un 62% de productividad, un 22% de trabajo contributivo y un 16% de trabajo no contributivo. La figura 18 muestra que 3 de los 4 trabajadores muestran niveles altos de productividad y el ayudante dos se sale un poco de patrón. En los muestreos anteriores se puede ver que tres trabajadores cumplen la tarea de manera correcta por lo que añadir un trabajador más puede no ser necesario. El crew balance presentado en la figura 19 muestra que el porcentaje de veces que realiza una labor por trabajador cambia bastante, por lo que se podría decir que las labores se encuentran bien distribuidas y que se complementan entre ellas. En general, la productividad general se mantuvo entre el 59% y 76% lo que se puede deber a que es una tarea corta, lo cual permite que el trabajador no se distraiga y además no necesita

de equipos y materiales de baja disponibilidad. Cabe mencionar que uno de los problemas encontrados aquí es la dificultad para empezar con la tarea, ya que la grúa tiende a estar muy ocupada, pero una vez que inicia se desarrolla de manera continua y sin interrupciones. Los tiempos no contributivos se mantuvieron en un intervalo de 13% a 31% que se dan en momentos en los que se espera por algún panel que trae la grúa o en breves momentos de ocio. Dado los datos anteriores parece que las cuadrillas están bien distribuidas para esta tarea y los niveles de improductividad son relativamente bajos.

El rendimiento para la colocación de paneles de encofrado de columnas, mostrado en el cuadro 8 esta expresado en unidades de HH por columna, ya que al ser todas las columnas iguales es la unidad de medida que facilita el análisis. Para el muestreo 1, se tuvo un rendimiento de 1,25 HH/columna, el muestreo 2 tuvo un rendimiento de 1,5 HH/columna y para el muestreo 3 se tuvo 1,267 como rendimiento, y todo lo anterior para un promedio de 1,339 HH/columna. La desviación estándar de los rendimientos es de 0,14 y se considera un valor bajo aunque da señal de una variación pero aun así dice que los datos están bastante cercanos al promedio y no son alejados entre ellos, lo que se confirma con el coeficiente de variación que tiene un valor de 10,4% y da indicio de valores con homogeneidad. Una vez aplicado el factor de incremento, se obtiene un rendimiento final de 1,512 HH/columna.

El cuadro 9 muestra que el costo por hora de colocación de paneles es de \$4.122,67 y que el costo de ponerle paneles a una columna es de \$2.055,58.

## Apuntalamiento de paneles

En los cuadros 10, 12 y 14 se muestra la información general de los tres muestreos de trabajo que fueron realizados en tres días diferentes.

Los cuadros 11, 13 y 15 muestran las labores realizadas por los trabajadores durante el desarrollo de la tarea. Se hizo una tabla de tareas estándar para cada medición, por lo que varía

son los porcentajes acumulados de niveles de productividad.

En el muestreo 1 se obtuvo un 68% de trabajo productivo, un 16% de trabajo contributivo y un 17% de trabajo no contributivo, siendo el ajuste de puntales la tarea con mayor porcentaje de observaciones. En la figura 20 se puede ver que tanto el carpintero como su ayudante tienen altos niveles de productividad. Con ayuda de la figura 21 se puede ver que el tiempo de trabajo se dedica mayoritariamente al ajuste de puntales, y que el tiempo no contributivo se genera de esperas por instrucciones y búsqueda de equipo y materiales.

En el muestreo 2 se obtuvo un 58% de productividad, un 33% de trabajo contributivo y un 9% de trabajo no contributivo. En la figura 22 se puede ver que el carpintero tiene un alto nivel de productividad, mientras que el ayudante hace labores contributivas. El crew balance en la figura 23 se ve que el carpintero realiza, en su mayoría la principal labor de esta tarea, y que el ayudante hace labores productivas, pero en general contribuye al trabajo del carpintero ayudándole a buscar materiales y equipos que le falta para poder desarrollar su labor de forma continua.

El muestreo 3 presentó una productividad de 47%, un 30% de trabajo contributivo y un 22% de trabajo no contributivo. La figura 24 muestra, de forma muy similar al muestreo 2, que el carpintero tiene una alta productividad mientras que el ayudante hace el trabajo contributivo. El crew balance presentado en la figura 25 confirma que el carpintero pasa la mayor parte de su tiempo ajustando puntales y paralelamente el ayudante busca materiales y equipos, y pasa mucho tiempo esperando para recibir instrucciones. En esta tarea se encontró que, al necesitarse muchos accesorios y complementos, se pasa un gran porcentaje de tiempo buscando estos.

Esta tarea muestra como observación general altos niveles de espera para poder iniciar debido a que la grúa no está disponible para trabajar, estos tiempos muertos de espera no fueron medidos, ya que se dificulta un poco definir cómo y cuándo medirlo por lo que en realidad se debería analizar la efectividad del trabajo de la grúa.

El cuadro 16 da los resultados del cálculo de rendimiento en unidades de HH por columna. Para el muestreo 1 se tuvo un rendimiento de 1,73 HH/columnas, para el muestreo dos se

obtuvo un rendimiento de 1,567 HH/columnas y para el muestreo 3 se obtuvo un valor de 1,6 HH/columnas. En este caso la desviación estándar fue bastante baja, con un valor de 0,088 que confirma datos válidos. El coeficiente de variación tuvo un valor de 5,4% y asegura que los datos tienen validez estadística y que son homogéneos entre ellos. Una vez aplicado el factor de incremento, se obtiene un rendimiento final de 1,844 HH/columna.

El cuadro 17 muestra que el costo por hora de apuntalado de paneles es de ₡2.721,41 y que el costo de apuntalar una columna es de ₡2.662,81.

## Aplomado de paneles

Los cuadros 18, 20 y 22 dan la información general de los 3 muestreos. Estos fueron realizados en días diferentes.

Los cuadros 19, 21 y 23 muestran las labores realizadas por los trabajadores durante el desarrollo de la tarea. Se hizo una tabla de tareas estándar para cada medición, por lo que varía son los porcentajes acumulados de niveles de productividad.

En el muestreo 1 se obtuvo un 67% de trabajo productivo, un 27% de trabajo contributivo y un 5% de trabajo no contributivo. En la figura 26 se puede ver que el carpintero tiene un alto nivel de productividad, mientras que el ayudante centra su trabajo en labores productivas y contributivas. El gráfico de crew balance de la figura 27 muestra que efectivamente se pasa gran parte del tiempo ajustando puntales y midiendo con la guía.

En el muestreo 2 se obtuvo un 78% de productividad, un 16% de trabajo contributivo y un 6% de trabajo no contributivo. En la figura 28 se puede ver que ambos trabajadores tuvieron altos niveles de productividad y que nuevamente, según el crew balance de la figura 29, la tarea se centra en la medición y el ajuste de puntales.

El muestreo 3 presentó una productividad de 73%, un 11% de trabajo contributivo y un 16% de trabajo no contributivo. La figura 30 muestra, que los dos trabajadores desarrollan labores de categorización productiva y en el crew balance de la figura 31 se puede ver que nuevamente la tarea trata de ajustar el puntal medir la nivelación con la guía de la plomada.

Esta tarea presenta altos niveles de productividad ya que no necesita más que una plomada y las herramientas básicas de un trabajador por lo que la falta de equipo y materia no son problemas. Es una tarea rápida y fácil por lo que se desarrolla con bajas pérdidas de tiempo. Se puede ver que para la carga de trabajo las cuadrillas están bien distribuidas y no es necesario añadir o quitar gente.

El cuadro 24 da los resultados del cálculo de rendimiento en unidades de HH por columna. Para el muestreo 1 se tuvo un rendimiento de 0,667 HH/columnas, para el muestreo 2 se obtuvo un rendimiento de 0,867 HH/columnas y para el muestreo 3 se obtuvo un valor de 0,833 HH/columnas. La desviación estándar de los datos fue de 0,107 y aunque es un dato bajo, se prefiere un dato menor. El coeficiente de variación fue de 13,6% que es aceptable. Al aplicar el factor de incrementación se obtiene un rendimiento de 0,891 HH/columna.

El cuadro 25 muestra que el costo por hora de aplomado de paneles es de ₡2.721,41 y que el costo de aplomar una columna es de ₡1.177,78.

## Encofrado de muros

La figura 32 muestra el diagrama de flujo para el proceso de encofrado de muros conformado por las tareas identificadas que deben ser llevadas a cabo, en la secuencia presentada, para poder desarrollar el proceso. Se deben colocar paneles, apuntalarlos y luego aplomar la estructura. El nivelado debe ser aprobado por algún encargado o inspector para poder continuar con tareas que dependen de este proceso como el colado del muro y la colocación de vigas

El cuadro 26 muestra el equipo, material y mano de obra necesaria para poder llevar a cabo el proceso. La necesidad de mano de obra aumenta un poco en comparación con el proceso de encofrado de columnas debido a la magnitud de los elementos con los que se trabaja. Además, también se añaden algunos equipos y materiales al recurso necesario. El equipo más importante con el que se cuenta es la grúa, ya

que sin esta no se pueden movilizar los paneles por su peso.

## Colocación de paneles

Los cuadros 27, 29 y 31 dan la información general de los 3 muestreos. Estos fueron realizados en días diferentes.

Los cuadros 28, 30 y 32 muestran las labores realizadas por los trabajadores durante el desarrollo de la tarea. Se hizo una tabla de tareas estándar para cada medición, por lo que varía son los porcentajes acumulados de niveles de productividad.

En el muestreo 1 se obtuvo un 63% de trabajo productivo, un 20% de trabajo contributivo y un 18% de trabajo no contributivo. En la figura 26 se puede ver que dos trabajadores tienen buenos tiempos productivos y el otro realiza todo tipo de labores. La figura 34 es el crew balance de la tarea y se puede ver que mientras el carpintero 1, sostiene el panel, el otro lo amarra y ajusta, y ambas tareas se identifican como productivas. El carpintero 3 se dedica, de igual forma a labores productivas, pero realiza un porcentaje de labores contributivas que ayudan y facilitan el desarrollo de las tareas y el trabajo de los otros dos trabajadores, mediante la búsqueda de elementos que faltan mayoritariamente.

En el muestreo 2 se obtuvo un 51% de productividad, un 19% de trabajo contributivo y un 29% de trabajo no contributivo. En esta tarea participaron 5 carpinteros y en la figura 35 se puede ver sus niveles de productividad. La figura expone que solo 2 de 5 trabajadores tuvieron porcentajes de productividad mayores a 60% pero los demás no están muy lejos. Según el cuadro de labores, se tiene un 21% del tiempo utilizado en tiempos de espera. Pero en el crew balance de la figura 36 se puede ver que el tiempo de búsqueda es bajo, por lo que probablemente esto se debe a que la cuadrilla es un poco más grande de lo necesario, pues algunos deben esperar a que otros trabajen para poder trabajar.

El muestreo 3 presentó una productividad de 71%, un 21% de trabajo contributivo y un 7% de trabajo no contributivo. Los niveles de productividad de la figura 37 muestran que dos carpinteros tienen altos porcentajes de labores productivas y que el tercer carpintero desarrolla

tiempos contributivos mayoritariamente. La figura 38 muestra el crew balance del muestreo, en donde se puede ver que los carpinteros con altos niveles de productividad colocan y ajustan los complementos de panel, mientras que el otro carpintero ajusta y busca estos complementos para que cuando los otros dos trabajadores los necesiten, puedan trabajar de manera más efectiva y rápida. Los dos trabajadores desarrollan labores de categorización productiva y en el crew balance de la figura 31 se puede ver que nuevamente la tarea trata de ajustar el puntal medir la nivelación con la guía de la plomada.

De la comparación entre los tres muestreos se puede decir que se debe estudiar un poco el tamaño de cuadrilla asignada para una tarea, ya que si se observa bien los muestreos realizados con cuadrillas de tres personas fueron más productivas que el muestreo donde participaron 5. Además, se debe ver si la configuración asignada a la cuadrilla es la indicada, pues en los tres muestreos solo participaron carpinteros y uno siempre estaba haciendo labores de apoyo que puede realizar un ayudante. Esta tarea tuvo periodos de espera altos para poder empezar con el transporte de paneles, ya que la grúa se encontraba haciendo y colaborando con otras tareas, pero una vez iniciada la tarea se desarrolló de forma continua.

El cuadro 33 da los resultados del cálculo de rendimiento en unidades de HH por metro cuadrado. Para el muestreo 1 se tuvo un rendimiento de 0,679 HH/m<sup>2</sup>, para el muestreo 2 se obtuvo un rendimiento de 0,942 HH/m<sup>2</sup> y para el muestreo 3 se obtuvo un valor de 0,715 HH/m<sup>2</sup>. El promedio de la tarea fue de 0,779 HH/m<sup>2</sup> y su desviación estándar es de 0,143 debido al valor del muestreo 2 que se sale un poco del patrón. El coeficiente de variación fue de 18,4%, que está muy cerca del valor 0,2 que indica si un conjunto de datos está muy disperso o no para su uso. El muestreo dos, a pesar de tener mayor cantidad de gente, tiene un rendimiento mayor que los otros dos, lo cual indica que se invierten más horas hombre para el mismo volumen de trabajo y apoya la conclusión de que esa cuadrilla tenía más gente de la necesaria para desarrollar la tarea. Al aplicar el factor de incrementación se obtiene un rendimiento de 0,879 HH/m<sup>2</sup>.

El cuadro 34 muestra que el costo por hora de colocación de paneles es de ₡5.605,04 y que el costo de ponerle paneles a un metro cuadrado de muro es de ₡1.232,00.

## Apuntamiento de paneles.

Los cuadros 35, 37 y 39 dan la información general de los 3 muestreos. Estos fueron realizados en días diferentes.

Los cuadros 36, 37 y 38 muestran las labores realizadas por los trabajadores durante el desarrollo de la tarea. Se hizo una tabla de tareas estándar para cada medición, por lo que varía son los porcentajes acumulados de niveles de productividad.

En el muestreo 1 se obtuvo un 47% de trabajo productivo, un 41% de trabajo contributivo y un 13% de trabajo no contributivo. En la figura 39 se ve que ambos trabajadores tienen niveles de productividad medios, pero si se considera el tiempo productivo y el contributivo, se tiene más del 60% de productividad. Con ayuda de la figura 21 se puede ver que al carpintero realiza gran parte de las labores productivas y el carpintero para un porcentaje de tiempo considerable esperando por instrucciones por parte del carpintero probablemente.

En el muestreo 2 participó solo un carpintero, el cual tuvo un porcentaje de trabajo productivo de 80% de productividad, un 18% de trabajo contributivo y un 2% de trabajo no contributivo. En la figura 41 se puede ver lo anterior de forma gráfica y en la figura 42 se ve que el carpintero realiza, en su mayoría labores productivas, y aunque está solo tiene tiempos de espera debido a que debe esperar a que otros terminen labores para poder continuar.

El muestreo 3 presentó una productividad de 54%, un 38% de trabajo contributivo y un 8% de trabajo no contributivo. La figura 43 muestra la participación de 1 carpintero y 1 un ayudante y que sus niveles de productividad son bastante altos. La figura 44 complementa lo anterior mostrando que se realizan tareas como ajustar puntales y tomar medidas generalmente, pero se pasa parte del tiempo ajustando y buscando otros materiales y equipos.

En esta tarea se encontró que, al necesitarse muchos accesorios y complementos, se pasa un gran porcentaje de tiempo buscando estos o desocupándolos de otros lados para poder continuar.

El cuadro 41 da los resultados del cálculo de rendimiento en unidades de HH por metro cuadrado. Para el muestreo 1 se tuvo un rendimiento de 0,251 HH/m<sup>2</sup>, para el muestreo dos se obtuvo un rendimiento de 0,296 HH/ m<sup>2</sup> y para el muestreo 3 se obtuvo un valor de 0,236 HH/m<sup>2</sup>. A pesar de que el muestreo dos cuentas con solo un carpintero, el rendimiento es solo ligeramente mayor a los otros dos muestreos y puede que se deba a que el volumen de trabajo era mucho menor y se facilitó la tarea. La desviación estándar de los datos fue de 0,031 y es bastante baja por lo que se podría decir que los datos son representativos. El coeficiente de variación tuvo un valor de 12% que es un poco alto, pero se mantiene dentro de un rango. Cuando se aplica el factor de incremento, se obtiene un rendimiento final de 0,294 HH/m<sup>2</sup>.

El cuadro 42 muestra que el costo por hora de apuntalado de paneles es de ₡2.721,41 y que el costo de apuntalar los paneles de un metro cuadrado de muro es de ₡404,91.

## Aplomado de paneles

Los cuadros 43, 45 y 47 dan la información general de los 3 muestreos. Estos fueron realizados en días diferentes.

Los cuadros 44, 46 y 48 muestran las labores realizadas por los trabajadores durante el desarrollo de la tarea. Se hizo una tabla de tareas estándar para cada medición, por lo que varía son los porcentajes acumulados de niveles de productividad.

El muestreo 1 dio valores de productividad de 66%, las labores contributivas representaron un 4% y no se presentaron observaciones de labores no contributivas. El gráfico de la figura 45 muestra que los trabajadores tuvieron los mismos niveles de productividad y si se ve la figura 46 se puede decir que se debe a que realizaron tareas productivas complementarias como el ajuste del puntal y la medición de la nivelación y que se tenían periodos de conversación sobre la tarea donde se daba y recibía instrucciones.

El muestreo 2 tiene un 76% de observaciones productivas, un 18% de observaciones contributivas y un 2% de observaciones no contributivas. En la figura 47 se ve que los tres trabajadores tuvieron altos niveles

de productividad y según la figura 48, que es el crew balance del muestreo, esto se dio por que se pasó la mayor parte del tiempo preparando la plomada y midiendo la nivelación de los paneles con respecto a esta guía.

El muestreo 3 tuvo un 51% de trabajo productivo, un 36 % de trabajo contributivo y un 14% de trabajo no contributivo. La figura 1 muestra que el carpintero tuvo un alto nivel de trabajo productivo y que el ayudante tuvo un alto nivel de trabajo contributivo. Según el crew balance de la figura 50, el carpintero pasa la mayor parte del tiempo colocando la varilla para colgar la plomada, mientras el ayudante busca probablemente un nivel y una plomada ya que son los recursos más importantes de la tarea.

Las tres mediciones, a pesar de ser sobre la misma tarea, fueran hechas en diferentes momentos de avance. Se tomaron datos al inicio cuando se preparaba la plomada, luego cuando se terminó de preparar la plomada y se empezó con el ajuste y también cuando solo se estaba haciendo el ajuste de puntales, por eso se presenta la diferencia entre los porcentajes de los cuadros de labores observadas.

El cuadro 49 da los resultados del cálculo de rendimiento en unidades de HH por metro cuadrado. Para el muestreo 1 se tuvo un rendimiento de 0,207 HH/m<sup>2</sup>, para el muestreo dos se obtuvo un rendimiento de 0,277 HH/ m<sup>2</sup> y para el muestreo 3 se obtuvo un valor de 0,217 HH/m<sup>2</sup>. Se puede ver que el muestreo 2 tiene el mayor rendimiento y es el que cuenta con la cuadrilla más grande, por lo que tal vez el trabajador extra que tienen no sea necesario. La desviación estándar de los datos fue de 0,038 y es bastante baja por lo que se podría decir que los datos son representativos. El coeficiente de variación tuvo un valor de 16,2% y es un valor muy cercano pero menor al 0,2 que dice si los datos analizados pueden o no tener validez estadística. El rendimiento final fue de 0,264 HH/m<sup>2</sup> una vez que se aplicó el factor de incrementación.

El cuadro 50 muestra que el costo por hora de aplomado de paneles es de ₡2.721,41 y que el costo de aplomar un metro cuadrado de muro es de ₡360,46.

# Encofrado de entrepisos

La figura 51 muestra el diagrama de flujo para el proceso de encofrado de muros conformado por las tareas identificadas que deben ser llevadas a cabo, en la secuencia presentada, para poder desarrollar el proceso. Se debe colocar viguetas, colocar paneles, luego se encofran nudos y se colocan los paneles en lo que será el borde de la losa. Este proceso se inspecciona de manera general y en caso de encontrar algún problema, se soluciona y se aprueba trabajo para hacer la colada del entrepiso.

El cuadro 51 muestra el equipo, material y mano de obra necesaria para poder llevar a cabo el proceso. La necesidad de mano de obra es mayor que en los procesos anteriores y hay más tareas a realizar. Para este proceso no se utiliza la grúa, que es un factor que causa problemas en varias actividades por su alta demanda de ayuda en algunas tareas.

## Colocación de viguetas

Los cuadros 52, 54 y 56 dan la información general de los 3 muestreos. Estos fueron realizados en días diferentes.

Los cuadros 53 55 y 57 muestran las labores realizadas por los trabajadores durante el desarrollo de la tarea. Se hizo una tabla de tareas estándar para cada medición, por lo que varía son los porcentajes acumulados de niveles de productividad.

El muestreo 1 dio valores de productividad de 54%, las labores contributivas representaron un 22% y las labores no contributivas representaron un 24%. El gráfico de la figura 52 muestra los niveles de productividad de los 4 carpinteros y el ayudante que participan en la tarea. Se puede ver que los carpinteros tienen altos niveles de productividad y que el ayudante hace mucho trabajo contributivo. En la figura 53 se ve que efectivamente los carpinteros se encargan de la colocación y ajuste de viguetas, mientras el ayudante hace amarrias con alambre negro y amarra las viguetas en posición.

El muestreo 2 tuvo un 53% de productividad, un 30% en trabajos contributivos y un 17% en trabajos no contributivos. Según la figura 54 se ve que hay cuatro carpinteros que realizan trabajos productivos y un ayudante que realiza trabajos contributivos, pero a diferencia del muestreo anterior se cuenta con un carpintero extra que hace trabajos contributivos. En la figura 55 se puede ver que todos los trabajadores hacen trabajo de colocación de viguetas, pero el carpintero 3 y el ayudante 1 se encargan de buscar y transportar viguetas mientras los otros carpinteros ajustan y amarran las que se colocaron entre todos.

En el muestreo 3 se tuvo un 41% de productividad, un 29% de trabajo contributivo y un 30 % de trabajos no contributivos. En figura 56 se ve que el carpintero uno hace trabajo que en su mayoría es contributivo, los carpinteros 2 y 3 hacen trabajo productivo y el ayudante tiene un alto porcentaje de trabajo no contributivo. En la figura 57 se ve que el ayudante tiene un alto porcentaje de tiempo de ocio mientras que los demás trabajan por lo que se podría decir que hay trabajo para hacer, pero el ayudante no lo está haciendo.

Para este conjunto de datos analizado se puede decir que la mayor productividad se da en cuadrillas grandes para esta tarea, pero comparado con los niveles de productividad de los otros procesos ha disminuido notablemente, cuestión que puede ser producto de que al haber mayor cantidad de personas los trabajadores se distraen más hablando y la organización de la cuadrilla se dificulta.

Los rendimientos mostrados en el cuadro 58 están dados en unidades de HH por metro cuadrado. Para el muestreo 1 se tuvo un rendimiento de 0,471 HH/m<sup>2</sup>, para el muestreo dos se obtuvo un rendimiento de 0,425 HH/ m<sup>2</sup> y para el muestreo 3 se obtuvo un valor de 0,457 HH/m<sup>2</sup>. En este caso se puede ver que la cuadrilla con más trabajadores fue la que tuvo un mejor rendimiento, situación que justifica su tamaño. La desviación estándar y el coeficiente de variación son de 0,023 y 5,2% respectivamente, ambos valores denotan que los datos calculados son homogéneos y se pueden correlacionar. Una vez aplicado el factor de incremento se tuvo un rendimiento final del 0,510 HH/m<sup>2</sup>.

El cuadro 59 muestra que el costo por hora de colocación de viguetas es de ₡6.925,19 y

que el costo de colocar un metro cuadrado de viguetas es de ₡701,78.

## Colocación de paneles de fondo de losa

Los cuadros 60, 62 y 64 dan la información general de los 3 muestreos. Estos fueron realizados en días diferentes.

Los cuadros 61 63 y 65 muestran las labores realizadas por los trabajadores durante el desarrollo de la tarea. Se hizo una tabla de tareas estándar para cada medición, por lo que varía son los porcentajes acumulados de niveles de productividad.

El muestreo 1 dio valores de productividad de 49%, las labores contributivas representaron un 33% y las labores no contributivas representaron un 18%. El gráfico de la figura 58 muestra los niveles de productividad de los 3 carpinteros y un ayudante que participan en la tarea. Se observa que los carpinteros tienen niveles de productividad mayores al 60%, pero el ayudante tiene niveles elevados de trabajo contributivo y no contributivo. En la figura 59 se puede ver que los carpinteros se dedican a colocar paneles y a ajustar viguetas para que estos no caigan. El ayudante pasa largos periodos de tiempo esperando para recibir instrucciones.

El muestreo 2 tuvo un 62% de productividad, un 24% en trabajos contributivos y un 24% en trabajos no contributivos. Según la figura 54 se ve que hay cuatro carpinteros que realizan trabajos productivos y un ayudante que realiza trabajos contributivos, pero a diferencia del muestreo anterior, se cuenta con un carpintero extra que hace trabajos contributivos. En la figura 55 se puede ver que todos los trabajadores hacen trabajo de colocación de viguetas, pero el carpintero 3 y el ayudante 1 se encargan de buscar y transportar viguetas mientras los otros carpinteros ajustan y amarran las que se colocaron entre todos.

En el muestreo 3 se tuvo un 41% de productividad, un 29% de trabajo contributivo y un 14% de trabajos no contributivos. En figura 60 se ve que dos carpinteros hacen la mayoría del trabajo productivo mientras que el tercer carpintero hace todo tipo de labores. En la figura

61 se puede ver más a fondo que los dos carpinteros ajustan paneles y mientras el tercer carpintero busca equipo y materiales, tiene altos tiempos de espera lo que desarrolla espacios de ocio.

En esta tarea la productividad varía entre los muestreos independientemente de la cantidad de gente, pero si se puede ver que al ser más grandes las cuadrillas crea espacios de espera entre trabajos que llevan tiempos de ocio y de situación, además este es un proceso más largo que los anteriores, entonces el cansancio es un factor que influye.

Los rendimientos mostrados en el cuadro 66 están dados en unidades de HH por metro cuadrado. Para el muestreo 1 se tuvo un rendimiento de 0,314 HH/m<sup>2</sup>, para el muestreo dos se obtuvo un rendimiento de 0,367 HH/ m<sup>2</sup> y para el muestreo 3 se obtuvo un valor de 0,308 HH/m<sup>2</sup>. En este caso se puede ver que la cuadrilla con menos personal fue la que tuvo un rendimiento más bajo por lo que se podría decir que hace falta el trabajador que tiene menos en comparación con las cuadrillas de los otros muestreos. El valor promedio de rendimiento fue de 0,330 HH/m<sup>2</sup>, además la desviación estándar fue de 0,032 y el coeficiente de variación es de 9,9% lo que indica que los datos son cercanos al promedio y cercanos entre ellos. El rendimiento final, una vez aplicado el factor de incremento fue de 0,375 HH/m<sup>2</sup>.

El cuadro 67 muestra que el costo por hora de colocación de paneles es de ₡5.523,93 y que el costo de colocar un metro cuadrado de panel es de ₡516,56.

## **Encofrado de nudo de unión entre viga y columna.**

Los cuadros 68, 70 y 72 dan la información general de los 3 muestreos. Estos fueron realizados en días diferentes.

Los cuadros 69, 71 y 73 muestran las labores realizadas por los trabajadores durante el desarrollo de la tarea. Se hizo una tabla de tareas estándar para cada medición, por lo que varían los porcentajes acumulados de niveles de productividad.

El muestreo 1 dio valores de productividad de 28%, las labores contributivas representaron un 29% y las labores no contributivas representaron un 43% que sigue estando cerca de la proporción 60-40% que se considera como rango normal. El gráfico de la figura 64 muestra los trabajadores pasan gran parte del su trabajo en labores no contributivas. En el gráfico de crew balance presentado como figura 65 muestra que al carpintero coloca angulares y calzas y el ayudante hace calzas. Estas dos tareas productivas no se dan a la vez ya que el carpintero ocupa las calzas que hace el ayudante y no se puede saber de forma adelantada lo que se necesitara, entonces mientras uno hace una tarea, el otro espera.

El muestreo 2 tuvo un 44% de productividad, un 29% en trabajos contributivos y un 28% en trabajos no contributivos. Los niveles de productividad mostrados en la figura 66 ilustran que, en este caso, el carpintero tuvo alto nivel productivo mientras el ayudante contribuye y acumula tiempo perdido. La figura 67 muestra que el carpintero pasa mucho tiempo colocando angulares o calzas de madera, mientras que el ayudante espera por instrucciones como ir a hacer una calza o buscar alguna herramienta.

En el muestreo 3 se tuvo un 42% de productividad, un 32% de trabajo contributivo y un 25% de trabajos no contributivos. La figura 68 muestra de manera similar a los muestreos anteriores que el carpintero es el que realiza la mayoría del trabajo productivo y el ayudante hace trabajos contributivos para su apoyo. En la figura 69 se ve que el carpintero es el que realiza la colocación de angulares y calzas mientras el ayudante las hace y además busca equipo y materiales y recibe instrucciones de trabajo.

La productividad del muestreo 1 es más baja por el espacio en el que se trabajó, pero aun así no es una productividad inaceptable. Los otros dos muestreos tienen valores similares y que están dentro de un rango aceptable.

Los rendimientos mostrados en el cuadro 74 están dados en unidades de HH por unión encofrada. Para el muestreo 1 se tuvo un rendimiento de 5,033 HH/unidad, para el muestreo dos se obtuvo un rendimiento de 5,500 HH/unidad y para el muestreo 3 se obtuvo un valor de 6,500 HH/unidad. Esta es la tarea a la que se le invierte la mayor cantidad de horas hombre, pero no debido a su dificultad, si no a la dificultad de proceder a trabajar por los espacios

reducidos. El valor promedio de rendimiento fue de 5,678 HH/unidad, además la desviación estándar fue de 0,749 que indica que los datos están muy dispersos y que no hay uniformidad en el rendimiento, aun así, el coeficiente de variación es de 13,2% que está por debajo del 0,2 que indica que el promedio es representativo de los datos. El rendimiento final, una vez aplicado el factor de incremento, fue de 6,410 HH/unidad.

El cuadro 75 muestra que el costo por hora de colocación de paneles es de  $\text{C}\$2.721,41$  y que el costo de colocar un metro cuadrado de panel es de  $\text{C}\$8.722,41$ .

## Colocación de paneles en borde de losa

Los cuadros 76 78 y 80 dan la información general de los 3 muestreos. Estos fueron realizados en días diferentes.

Los cuadros 77, 79 y 81 muestran las labores realizadas por los trabajadores durante el desarrollo de la tarea. Se hizo una tabla de tareas estándar para cada medición, por lo que varía son los porcentajes acumulados de niveles de productividad.

El muestreo 1 tuvo un 23% de observaciones productivas, las labores contributivas representaron un 42% y las labores no contributivas representaron un 35% que sigue estando cerca de la proporción 60-40% que se considera como rango normal. El gráfico de la figura 70 muestra que los carpinteros desarrollan las actividades productivas, pero también llevan muchos tiempos y los ayudantes desempeñan la mayoría de las labores contributivas. Si se observa la figura 71 se puede apreciar que los carpinteros colocan paneles y tienen tiempos de espera que desarrollan espacios de ocio; en cambio los ayudantes pasan su tiempo buscando equipo y materiales necesarios, y haciendo amarras para que los carpinteros puedan trabajar bien, aun así, la búsqueda de paneles y bandas es un problema.

El muestreo 2 tuvo un 72% de productividad, un 17% en trabajos contributivos y un 11% en trabajos no contributivos. La figura 72 muestra que los niveles de productividad son más altos para esta cuadrilla que para la anterior. El crew balance de la figura 73 muestra que cada

trabajador cumple una labor diferente: uno coloca panel, el otro pone bandas de amarre y por último, pasa un carpintero y un ayudante a hacer la nivelación.

En el muestreo 3 se tuvo un 45% de productividad, un 25% de trabajo contributivo y un 30% de trabajos no contributivos. La figura 74 muestra que el carpintero es el que hace el trabajo contributivo y el ayudante tiene niveles más repartidos con un porcentaje de trabajo no contributivo de 44%. La figura 75 muestra que el carpintero ejerce la labor de colocar paneles mientras que el ayudante pasa la mayoría de tiempo espetando por instrucciones.

En esta tarea, por la incomodidad de trabajo (ver figura 12) es necesario tener trabajadores colgando de la losa para que coloquen paneles y trabajadores sobre la losa que cooperen con tareas contributivas, pero a veces no hay tanto que hacer entonces el tiempo destinado para tareas contributivas pasa a ser tiempo de espera que es tiempo perdido.

Los rendimientos mostrados en el cuadro 82 están dados en unidades de HH por metro lineal. Para el muestreo 1 se tuvo un rendimiento de 1,268 HH/m, para el muestreo dos se obtuvo un rendimiento de 1,369 HH/m y para el muestreo 3 se obtuvo un valor de 1,032 HH/m. El muestreo 3 tiene el mejor valor de rendimiento de la tarea y puede deberse a que la distancia abarcada fue más pequeña y la cantidad de trabajadores es la indicada para el caso, los muestreos 1 y 2 son similares, pero, aunque las distancias cubiertas son más largas y la cuadrilla es más grande, los valores no están tan alejados entre sí. El promedio obtenido es de 1,223 HH/m con una desviación estándar y coeficiente de variación de 0,173 y 14,1% respectivamente, y que se encuentran dentro de un rango aceptable. El rendimiento final, una vez aplicado el factor de incremento, fue de 1,381 HH/m.

El cuadro 83 muestra que el costo por hora de colocación de paneles es de  $\text{C}\$5.523,93$  y que el costo de colocar un metro cuadrado de panel es de  $\text{C}\$478,08$ .

El encofrado de entrepiso no usa la grúa como elemento principal, se utiliza solo si llegaron algunos materiales y se desea colocarlos donde se van a utilizar por lo que no es un elemento que afecta directamente. En este caso se observó que el tamaño de las cuadrillas hace que se tengan más tiempo desocupados en los que se conversa y se distraen más ya que cada

trabajador no pasa ocupado el 100% de su tiempo, por lo que si hay varios trabajadores desocupados, se da un ambiente que fomenta el ocio y alarga los tiempos perdidos.

## Diagrama de Ishikawa

Con todos los datos recolectados, el análisis de estos y la observación del sitio de trabajo fue posible la creación de un diagrama que expone la principal problemática analizada y las causas de estas organizadas por su origen. La baja en la productividad y rendimientos se da principalmente por dos razones. Primeramente, el sitio de trabajo, ya que si se sabe que se va a contar con espacio de trabajo tan pequeño se debe proceder a hacer un diseño de sitio de que asegure y permita que los trabajadores se desplacen con facilidad y rápidamente a los sitios de interés de su labor. Y no solo hacer un diseño inicial, este se debe actualizar a cómo avanza el proyecto y debe cuidarse que se respete. La otra razón en la alta demanda de uso que tiene la única grúa torre, en este caso, debido al espacio

disponible y por cuestión de costos no es posible poner una segunda grúa por lo que se debe estudiar el ciclo de trabajo de la grúa a ver si es posible hacer mejoras.

La mano de obra es un factor que también afecta la productividad y rendimiento. Si hace falta o hay mucha, si la que se tiene no está capacitada o no se instruye bien, afecta directamente el desempeño que esta pueda tener.

Otro factor que se encontró fue que faltaba o había poca cantidad de algunos equipos y herramientas. Para las actividades de formateo, los trabajadores no contaron con sierras, taladros, niveles, viguetas, paneles y complementos para paneles suficientes para los trabajos se hicieran de la mejor manera. Si se ve en la sección de resultado el porcentaje de tiempo que se pasa buscando cosas es muy alto.

Otro problema que afecta en menor porcentaje es la ubicación del proyecto, al estar en una zona transitada se dificulta el paso de maquinaria, el paso de equipo, la entrega de materiales y los trabajos en obras externas. Además, el sitio de construcción está ubicado cerca de casa y locales y esto puede crear molestias y problemas con los colindantes.

# Conclusiones

- Los diagramas de flujo en conjunto con las listas de recursos necesarios son buenas herramientas en la planificación, pues permiten entender el orden de un proceso y ayudaron a definir las tareas que se iban a analizar en este proyecto
- La productividad, rendimientos y costos calculados para este proyecto sirvieron para que la empresa verifique presupuestos y cronogramas. Además, se aplicaron medidas correctivas en los salarios pagados para el encofrado de columnas ya que lo que se estaba pagando no era suficiente, y se usaron los rendimientos para programar el flujo de elementos.
- La observación continua de los procesos de encofrado de columnas, muros y entrepisos en la construcción del Centro Nacional para el Control del Dolor y Cuidados Paliativos permite identificar problemas comunes que afectan la productividad y el rendimiento de las actividades mencionadas y ayuda a buscar soluciones y mejoras que optimizan las tareas.
- Los porcentajes de productividad obtenidos fueron bastante altos en comparación con lo mencionado por Oglesby, Parker, & Howell (1989) en el libro "*Productivity Improvement in Construction*" que especifica un rango que encierra valores que se consideran normales en el ámbito de la construcción por lo que se puede concluir que los problemas que presentan los procesos analizados no son necesariamente de las tareas realizadas, sino más bien las dificultades que pone el sitio y los demás procesos que ocurren en paralelo o de los cuales depende la tarea muestreada por ejemplo la espera que se da para que las armaduras estén terminadas o la espera para poder utilizar la grúa.
- La productividad mide la eficiencia de los rendimientos por lo que, si el rendimiento es alto, la productividad debería ser alta. En este caso, al no existir algún rendimiento previo para hacer una comparativa con los rendimientos calculados en este proyecto no se puede comprobar si el rendimiento es bueno o malo, aunque las productividades son en su mayoría bastante buenas.
- Los rendimientos finales obtenidos fueron:
  - Colocación de paneles de encofrado para columna: 1,512 HH/columnas.
  - Apuntalado de encofrado para columna: 1,844 HH/columnas.
  - Aplomado de encofrado para columna: 0,891 HH/columna.
  - Colocación de paneles de encofrado para muro: 0,879 HH/m<sup>2</sup>.
  - Apuntalado de encofrado para columna: 0,294 HH/ m<sup>2</sup>.
  - Aplomado de encofrado para columna: 0,264 HH m<sup>2</sup>.
  - Colocación de viguetas para encofrado de entrepiso: 0,510 HH/m<sup>2</sup>.
  - Colocación de paneles para encofrado de entrepiso: 0,372 HH/m<sup>2</sup>.
  - Colocación de viguetas para encofrado de entrepiso: 6,410 HH/unidad.
  - Colocación de viguetas para encofrado de entrepiso: 1,381 HH/m.
- La cantidad de personas que conforma una cuadrilla afecta directamente la productividad y el rendimiento. Por ejemplo, para el encofrado de una columna una cuadrilla mayor a tres personas es demasiado y, en el caso de un muro que en este caso, tenía un área de 17,68 m<sup>2</sup> a una cara, de 3 a 4 trabajadores es suficiente; y para encofrado de entrepiso en secciones de 40 m<sup>2</sup> una cuadrilla de 5 personas que se redistribuyen dependiendo de la tarea es lo necesario.

- Los costos obtenidos fueron:
  - Colocación de paneles de encofrado para columna: ₡3.0925,68/columnas.
  - Apuntalado de encofrado para columna: ₡2.662,81/columnas.
  - Aplomado de encofrado para columna: ₡1.177,78/columna.
  - Colocación de paneles de encofrado para muro: ₡4.928,01/m<sup>2</sup>.
  - Apuntalado de encofrado para columna: ₡404,91/ m<sup>2</sup>.
  - Aplomado de encofrado para columna: ₡569,68/m<sup>2</sup>.
  - Colocación de viguetas para encofrado de entrepiso: ₡2.496,32/m<sup>2</sup>.
  - Colocación de paneles para encofrado de entrepiso: ₡1.395,26/m<sup>2</sup>.
  - Colocación de viguetas para encofrado de entrepiso: ₡8.722,41/unidad.
  - Colocación de viguetas para encofrado de entrepiso: ₡4122,67/m.
  
- El principal problema encontrado que afecta directamente una tarea desarrollada en el sitio de trabajo fue el poco espacio que se tenía para trabajar. Un diseño de sitio incorrecto crea un mal aprovechamiento de lugar, aumenta tiempos de desplazamiento, hace que los procesos choquen entre ellos creando un ambiente de desorden en el lugar, a pesar de lo anterior los porcentajes de productividad son bastante altos, pues, mediante observaciones, se identificó que las tareas estudiadas se desarrollaron de manera fluida durante su realización, pero al observar el antes y después de una tarea se identificó que habían muchos tiempos muertos en la espera de que la grúa se desocupara de tareas como transporte de equipo, descarga de materiales y demás labores que demandan mucho tiempo de uso.

# Recomendaciones

- Analizar cuál será el tamaño adecuado para una cuadrilla y la configuración que debe tener esta para que la productividad y el rendimiento sean los más óptimos. En el caso de las tareas estudiadas la productividad permite ver si un trabajador es necesario y que tipo de trabajador se necesita, además se pudo definir el tamaño de cuadrilla indicado para esta situación específica, de cambiar el tamaño del volumen de trabajo o las condiciones de sitio se debe volver a analizar.
- Hacer de manera periódica más muestreos con el fin de alimentar la base de datos para aumentar la validez de los resultados de productividad y rendimientos obtenidos y así disminuir cualquier incertidumbre creada.
- Actualizar constantemente la base de datos creada con el fin de que sea lo más exacta y cercana a la realidad posible para que al planificar un proyecto se pueda contar con este tipo de dato confiable.
- Analizar cuál es la verdadera necesidad de equipo y herramientas que existe en un proyecto para no se tengan problemas por falta de este tipo de elementos como los taladros, las sierras y patines para cortar madera, extensiones para conectar equipo eléctrico y demás que normalmente se prestan entre cuadrillas.
- Analizar los tiempos muertos entre procesos y tareas es importante ya que, según los resultados y observaciones hechas en sitio, es ahí donde puede estar el problema.
- Estudiar el ciclo de trabajo de la grúa para ver si se puede hacer mejoras y ver como se podría aprovechar más el tiempo pues muchos de las tareas evaluadas están en función de la eficiencia de la grúa.
- Realizar un estudio del sitio de trabajo que contemple el diseño de sitio que permita que la zona de trabajo sea apta para el desarrollo de procesos y no que más bien cree obstáculos que disminuyen productividades y rendimientos. Además de una constante actualización del diseño, ya que los sitios de construcción cambian constantemente y la propuesta puede perder eficiencia.
- Consultar con expertos sobre los procesos evaluados para ver si hay algún problema que no se haya identificado durante las observaciones hechas y sobre posibles estrategias de mejoras de productividad en caso de que haya algo que se pueda optimizar en la forma en la que se desarrolla el proceso y que no se estén haciendo de manera correcta.
- Los rendimientos obtenidos son muy específicos del lugar, ya que fueron obtenidos bajo condiciones muy particulares como el espacio tan reducido, la zona donde se ubica la construcción y el sistema de encofrado utilizado, por lo que se debe tener en cuenta que los datos obtenidos no van a servir para planificar cualquier tipo de proyecto.

# Apéndices

Apéndice A: Datos recolectados para obtención de niveles de productividad y gráficos de Crew Balance.

Apéndice B: Cálculo de factor de incremento usado para rendimientos.

Apéndice C: Rendimientos obtenidos de forma general.

Apéndice D: Rendimientos obtenidos en horas ayudante y horas carpintero para cada tarea.

Apéndice E: Base salarial utilizada para el cálculo de costos directos de mano de obra por tarea.

Apéndice F: Costos de mano directa obtenidos para cada tarea.

# Referencias

- Alfaro Beltrán, F., & Alfaro Escolar, M. (1999). *Diagnósticos de productividad por multimomentos*. Barcelona: Marcombo S.A.
- Botero Botero, L. F. (2002). Análisis de rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. *Revista Universal EAFIT*, 9-21.
- Botero Botero, L. F., & Álvarez Villa, M. E. (2004). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda. *Universidad EAFIT*, 50-64.
- García, R. (2005). *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición de trabajo*. México: McGraw Hill.
- Leandro, A. G. (2015). *Apuntes del curso: Diseño de Procesos Constructivos*. Escuela de Ingeniería en Construcción: Tecnológico de Costa Rica.
- Mendenhall, W., Beaver, R., & Beaver, B. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística*. Ciudad de México: Cengage Learning.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: Alfaomega.
- Oglesby, C., Parker, H., & Howell, G. (1989). *Productivity Improvement in Construction*. New York: Mcgraw Hill.
- Ortiz Quesada, G., Paniagua Madrigal, E., & Sandoval Quirós, M. (2009). *Costos de Construcción*. Cartago.
- PERI. (2017). *Manual de endofrados, andamios e ingeniería*. Weissenhorn, Alemania.
- Quiroga, V. (1977). *Manual de Estadística Descriptiva*. San José: Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Schwartzkopt, W. (2004). *Calculatio lost labor productivity in constrution claims*. California: Aspen Publishers.
- Serpell, A. (1986). Productividad en la construcción. *Revista de Ingeniería en Construcción*, 53-59.
- Sociedad Latinoamerica para la Calidad. (11 de Enero de 2000). *Diagrama de flujo*. Obtenido de Campos del Conocimiento: <http://www.camposc.net/dmt4/flujo.pdf>
- Tecnológico de Monterrey. (2011). *Algoritmo*. Obtenido de Introducción a la computación: <http://campus.cva.itesm.mx/nazira/Tc1001/Diagramas%20de%20flujo.pdf>