

Propuesta de mejoramiento de la productividad de procesos constructivos en proyectos de la empresa Volio y Trejos

Abstract

The topic developed consists in the improvement of productivity of construction processes in the projects, CEDI Coris and iFreses developed by Volio y Trejos Asociados construction company, through an improvement plan that suggests good practices.

The processes analyzed are masonry block placement, cell filling, formwork, casting and demoulding of columns, and formwork and demoulding of slabs with Forsa and Conventional systems.

For this, it was necessary to measure the productivity and yields, by techniques such as Crew Balance. The activity that had the greater efficiency was the masonry, and the one of lower productivity was the formwork and demoulding of slabs.

Waiting, transportation, site design and oversizing of crews were identified as causes of decreased efficiency, by methods such as surveys, Ishikawa diagrams and expert queries. Likewise, the use of GPS watches was implemented in the collaborators as a tool to know the routes they were taking.

With these data, an improvement plan was designed, composed of recommendations, which were gradually implemented.

It was concluded that it was possible to improve productivity in CEDI Coris, but it could not be verified in iFreses, due to the lack of implementation.

Key words: productivity improvement, lean construction, GPS watch, construction processes

Resumen

El tema desarrollador consiste en una propuesta del mejoramiento de la productividad de procesos constructivos en los proyectos CEDI Coris e iFreses de la empresa constructora Volio y Trejos Asociados, mediante un plan de mejora que recomienda buenas prácticas.

Los procesos analizados son pega de bloques de mampostería, relleno de celdas con máquina, encofrado, colado y desencofrado de columnas, y encofrado y desencofrado de losas con sistema Forsa y Convencional.

Para esto fue necesario medir la productividad y rendimientos, por medio de técnicas como el Crew Balance. La actividad que tuvo mayor eficiencia fue la mampostería, y la de menor productividad fue el encofrado y desencofrado de losas.

Se identificaron las esperas, los transportes, el diseño de sitio y el sobredimensionamiento de cuadrillas como causantes de disminución de la eficiencia, por métodos como encuestas, diagramas de Ishikawa y consultas a expertos. Asimismo, se implementó el uso de relojes GPS en los colaboradores como herramienta para conocer los recorridos que estaban realizando.

Con estos datos se diseñó un plan de mejora compuesto por recomendaciones, que fueron implementándose paulatinamente.

Se concluyó que sí fue posible mejorar la productividad en CEDI Coris, más no se pudo comprobar en iFreses, debido a la falta de implementación.

Palabras clave: mejoramiento de la productividad, lean construction, reloj GPS, procesos constructivos.

Propuesta de mejoramiento de la productividad de procesos constructivos en proyectos de la empresa Volio y Trejos

Propuesta de mejoramiento de la productividad de procesos constructivos en proyectos de la empresa Volio y Trejos

JUAN MANUEL SALAS BOZA

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

Junio del 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN	3
MARCO TEÓRICO	4
METODOLOGÍA	10
RESULTADOS	15
ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	103
APÉNDICES	104
ANEXOS	104
REFERENCIAS.....	107

Prefacio

La constructora Volio y Trejos Asociados S.A. es una organización reconocida nacionalmente, debido a los importantes y complejos proyectos que ha construido, en diferentes áreas como industria, hoteles, comercio, instituciones, oficinas y residencias, entre ellos: el hotel Real Intercontinental, hotel Hyatt Place, Multiplaza Escazú II y III etapa, Lincoln School, Hospital Cima y Avenida Escazú.

Actualmente la empresa ha implementado la filosofía de Lean Construction, promoviendo la mejora continua de los procesos constructivos en sus proyectos. La filosofía propia de la empresa está basada en los pilares de orientación al cliente, el ambiente, la eficiencia, calidad, salud y seguridad, gente y código de conducta. Asimismo, cuenta con un sistema de gestión de la construcción que ha permitido que la empresa haya creado una amplia base de datos de la productividad de varios procesos en la construcción.

De acuerdo con el benchmarking realizado y experiencia ha determinado que para que una construcción sea eficiente, los porcentajes de tiempos deberían de ser más de 60% de trabajo de productivo, menos de 25% de trabajo de soporte, y 15% de trabajo no contributivo. La empresa Volio y Trejos requiere de una solución que le permita alcanzar estas metas, y reducir la brecha entre los porcentajes de tiempo que tienen en este momento. Esto le representaría un ahorro en costos y tiempos de ejecución, así como en un aumento de la calidad de los procesos. Por otro lado, le daría una presencia en el mercado, inclusive mayor a la que posee actualmente.

El cambio propuesto corresponde a analizar minuciosamente las causantes de la disminución de la eficiencia, y atacarlas directamente, por medio de un plan de mejora, que optimizará el proceso constructivo. Esto se hará por medio de un análisis actual de la productividad sumado a una recopilación de datos históricos que posee la empresa.

Deseo agradecerle a mis padres, hermanos, familiares y amigos por los consejos y el apoyo incondicional. Asimismo, agradecerle a la profesora Ana Grettel Leandro por su dedicación y seguimiento durante el desarrollo de este proyecto. Agradezco a la constructora Volio y Trejos Asociados y todo su personal, la colaboración y la oportunidad de llevar a cabo la práctica profesional dirigida en su empresa.

Resumen ejecutivo

El presente proyecto tuvo como fin mejorar la productividad de ciertos procesos constructivos en obras de la empresa constructora Volio y Trejos Asociados. El trabajo realizado fue importante para la compañía, ya que a pesar de ser una de las empresas nacionales que más se preocupa en el tema de productividad, no había podido seguir mejorando su eficiencia en la mano de obra, alcanzó un límite. La empresa tiene como meta obtener 60% de tiempo productivo, 25% de soporte y 15% de tiempo perdido. Este trabajo le permite ampliar su base de datos de productividad y rendimientos, así como recomendaciones de mejora que servirán para las actuales y futuras obras a construir.

El principal objetivo fue aumentar la productividad de procesos constructivos en las obras en construcción, por medio del análisis de los procesos e implementación de un plan de mejora. Para lograrlo fue necesario primero obtener información que permitiera realizar el análisis. Se escogieron los proyectos CEDI Coris, el cual es un centro de distribución para la empresa Walmart, e iFreses que corresponde a un edificio de apartamentos de 25 niveles.

La elección de los procesos fue basada en criterios como la consulta a expertos, el avance de la obra, y el peso de cada actividad en el costo total. El resultado de este análisis fue para CEDI Coris, pega de bloques de mampostería, relleno de celdas con máquina, encofrado, colado y desencofrado de columnas rectangulares. En el caso de iFreses se eligió el encofrado y desencofrado de losa por medio de dos sistemas, Forsa y Convencional. Se representó su secuencia lógica por medio de diagramas de flujo, y además se identificaron los recursos invertidos de mano de obra, materiales, equipo y herramientas, por cada proceso.

Se obtuvieron en promedio cuatro muestras por procesos, por medio de la toma de videos, que fueron estudiados en cuanto a productividad y rendimientos. Fue posible gracias a las técnicas de Crew Balance, Five minute

rating y Work sampling. Se clasificaron los tiempos en productivo, de soporte y perdido.

Gracias a la observación y herramientas como diagramas de Ishikawa, encuestas y diagramas de recorrido, se identificaron causas de disminución de la productividad. Asimismo, la empresa, está en pro de la tecnología por lo que se implementó el uso de relojes GPS en los trabajadores, que generaron información de los recorridos realizados durante la jornada laboral.

Todo esto agregado a herramientas propias de la empresa como lo son el SINA, permitieron elaborar un plan de mejora compuesto por recomendaciones de buenas prácticas que se fueron implementando paulatinamente durante el proyecto.

El proceso que alcanzó la mejor productividad fue la pega de bloques y el relleno de celdas con un 58% y 59% respectivamente. El proceso que tuvo una menor eficiencia fue el encofrado de losa Forsa con 41% y Convencional con 44%.

Las principales causas identificadas que disminuían la productividad fueron las esperas y los transportes. Las razones se le atribuyen al diseño de sitio, el sobredimensionamiento de cuadrillas, así como la inexperiencia de los colaboradores para trabajar bajo la filosofía de Lean Construction, que busca disminuir los desperdicios.

El plan de mejora estaba compuesto por varias recomendaciones de buenas prácticas, sin embargo, no todas fueron implementadas, por factores como que los maestros e ingenieros no le otorgan la suficiente importancia a la puesta en funcionamiento de las sugerencias dadas.

En el proyecto CEDI Coris sí se logró aumentar la productividad, demostrado en el SINA, mas no se probó que haya sido por el plan de mejora presentado. En el proyecto iFreses no fue posible conocer si se mejoró la productividad del proceso encofrado de losa con las mejoras recomendadas durante esta práctica.

Introducción

La construcción ha sido marcada por ser una de las industrias con un menor incremento de la productividad en las últimas décadas. La empresa constructora Volio y Trejos Asociados, a pesar de ser líder en el área de construcción y alta productividad en los procesos constructivos en Costa Rica, se ha visto afectada por la tendencia de a no avanzar, en el aumento de la eficiencia.

Este proyecto de graduación consistió en la medición y mejoramiento de los procesos constructivos que tuvieran mayor relevancia en proyectos de la empresa Volio y Trejos. Se valoraron dos obras en construcción CEDI Coris e iFreses. El primero es una nave industrial de 25 000 m² de construcción. Tiene como función ser el centro de distribución para la empresa Walmart, y se encuentra en Cartago. Constructivamente está compuesta por cuatro frentes de trabajo, Hortifruti, Cajillas, Granos y Exteriores. En el estudio se analizaron los procesos de mampostería y columnas rectangulares. El segundo es una torre de apartamentos de 25 pisos, con 12 apartamentos por piso, ubicada en Curridabat, San José. La actividad analizada corresponde al encofrado de losa, por medio de dos sistemas, Forsa y Convencional.

El cambio propuesto correspondió a analizar minuciosamente las causantes de la disminución de la eficiencia, y atacarlas directamente, por medio de un plan de mejora, que mejorara el proceso constructivo. Esto se hizo por medio de un análisis actual de la productividad sumado a una recopilación de datos históricos que posee la empresa.

Para el logro de los objetivos del proyecto, se utilizaron técnicas como encuestas, entrevistas, consultas a expertos, grabación de audiovisuales, complementado por herramientas como diagramas de flujo, Ishikawa, Pareto, Crew Balance, Five Minute Rating, Work Sampling, diagramas de recorrido, y conceptos de la filosofía Lean Construction.

Además de esto se implementó el uso de relojes GPS por parte de los trabajadores que facilitaron la tarea de recopilar datos de recorridos.

Como objetivo principal se tenía aumentar la productividad de procesos constructivos en las obras en construcción de la empresa Volio y Trejos, por medio del análisis de los procesos e implementación de plan de mejora.

Asimismo, los objetivos específicos eran los siguientes. Primero se tenía que definir los procesos constructivos a medir y analizar en el proyecto, que requerían una mayor atención por parte de la empresa. Segundo, se debía realizar medición de productividad y rendimientos de las actividades seleccionadas y compararlos con datos del historial de la empresa. De tercero se debía diseñar una propuesta de mejora donde se planteaban acciones correctivas que ayudarían a disminuir tiempos de soporte y no contributivos. Del mismo modo, era necesario aumentar la productividad de los procesos, a partir del análisis e identificación de las causas. Por último, se implementaron recomendaciones en los procesos constructivos.

Marco Teórico

Para lograr los objetivos establecidos para este proyecto fue necesario comprender y manejar los conceptos mostrados a continuación, con el fin de tener una base de referencia sólida, que justifique y apoye la metodología, los resultados y conclusiones obtenidas.

Productividad

La construcción es una industria clave que sirve como punto de desarrollo para todos los países. No obstante, tiene un comportamiento distinto a las demás. Así como lo menciona el McKinsey Global Institute (MGI, 2017), esta ha tenido problemas para evolucionar sus enfoques, como otras industrias lo han hecho. A nivel mundial, el crecimiento de la productividad del trabajo, en la economía, ha sido un 2,8%, en la industria manufacturera un 3,6%, y en la construcción un 1% anual en las últimas dos décadas. Con esto se puede decir que la industria de la construcción se encuentra estancada, por lo que es necesario tomar medidas.

La productividad en su forma más pura y sencilla se puede definir de acuerdo a Tello (2016) como una relación entre recursos y cantidad producida por estos recursos. Normalmente estas salidas consisten en productos o servicios y las entradas en materiales, mano de obra, maquinaria, energía, capital, entre otros.

Asimismo, como Tello (2016) lo menciona, para lograr una alta productividad es necesario que exista una alta efectividad y eficiencia. Se dice que la efectividad es lograr un objetivo cumpliendo programas y plazos, mientras que la eficiencia es alcanzar lo propuesto aprovechando de la mejor forma los recursos.

El MGI (2017) clasifica los factores que afectan la productividad en tres grandes grupos. El primero son los factores externos los cuales se descomponen en: la complejidad de los proyectos

y los sitios donde se construye, las regulaciones, la fragmentación de los lotes, y la informalidad. La segunda son los intereses de los dueños, constructores y proveedores, los cuales ocasionan desalineamientos en los contratos e incentivos. El tercero se dice que es la falta de capacidades en la ejecución, y esto se basa en que los diseños de los procesos y la inversión no son adecuados, la administración de proyectos no es buena, la mano de obra no está lo suficientemente calificada, y no se invierte lo suficiente en digitalización e innovación.

Definición de tipos de trabajos

De acuerdo con el Lean Construction Enterprise, el principio básico de Lean Construction es minimizar el tiempo que se invierte en actividades que no agregan valor, o en otras palabras disminuir las pérdidas, las cuales se definen como el tiempo invertido en actividades, que el cliente no está dispuesto a pagar (LCE, 1999). Es por esto por lo que se debe definir cuáles son los tipos de trabajos.

- a) Trabajo Productivo: Es todo trabajo que aporta directamente a la producción, o en otras palabras que agrega valor al producto final.
- b) Trabajo Contributivo: Son todos los trabajos que son necesarios para completar la obra, pero no que agregan valor.
- c) Trabajo No Contributivo: Es aquel trabajo que no agrega valor al producto final, y que no es necesario.

Estos trabajos se pueden ver traducidos en tiempos, y asimismo en porcentajes.

Técnicas de medición de la productividad

Las técnicas que se mencionan a continuación son utilizadas para medir la productividad de la mano de obra en la actividad que están desempeñando, la cual se representa por medio de porcentajes.

Para un tamaño de población que tiende a infinito, con un nivel de confianza de 95%, y un margen de error de 5% se tiene que el tamaño de muestra representativo debería ser mínimo de 385 observaciones. Estos márgenes son los apropiados para los siguientes tipos de medición de acuerdo con Oglsey, Parker y Howell (1988).

Work Sampling

El objetivo básico de este método es observar un proceso por un tiempo limitado, y de acuerdo con las observaciones deducir que tan productivos son los colaboradores. Se debe realizar un análisis estadístico, para conocer la cantidad de observaciones necesarias que brinden un nivel de confianza aceptable, que asegure que la muestra representa a la población, de la cual se pueda concluir (Dozzi y AbouRizk, 1993).

El principal resultado que ofrece este método es la productividad de la cuadrilla en general. Las observaciones se realizan aleatoriamente.

Five Minute Rating

Este método tiene la característica de medir la productividad de cada trabajador de la cuadrilla por separado, dando como resultado un porcentaje de tiempo productivo, contributivo o no contributivo para cada uno. En este caso no es necesario realizar un análisis estadístico, y las observaciones se realizan durante un corto período de tiempo, en intervalos definidos. (Dozzi y AbouRizk, 1993).

Crew Balance

Serpell y Verbal (1990) identifican este método como un gráfico de barras verticales donde se tiene en el eje vertical un porcentaje de tiempo y en el horizontal el recurso utilizado, ya sea mano de obra o equipo. Para poder construirlo es necesario analizar primero el proceso

constructivo y observar cuáles tareas se llevan a cabo, así como también el tamaño de la cuadrilla.

La importancia de esta herramienta es que muestra de forma más detallada cuáles actividades está desarrollando cada trabajador por separado, y la cantidad de tiempo que le dedica. De este modo es posible realizar un reajuste al tamaño de la cuadrilla, conociendo si hubo mucha o poca actividad productiva, por parte de cada colaborador.

Herramientas en Volio y Trejos

La empresa constructora Volio y Trejos adoptó la filosofía Lean Construction, y en su busca por eliminar lo que no tiene valor, ha dedicado sus recursos a realizar mediciones de rendimientos y productividad en sus proyectos. Los dos métodos que utiliza son los siguientes:

SINA (Sistema de Información de Niveles de Actividad)

De acuerdo a la empresa Volio y Trejos Asociados (2018), la herramienta de SINA, por medio de una observación general de todas las actividades en la obra, mide el nivel de actividad del proyecto. Esta clasifica el tiempo dedicado al trabajo en tres, Tiempo Productivo (TP), Tiempo de Soporte (TS) y Tiempo Perdido (Tpe).

El SINA es realizado por los Analistas de Productividad de la empresa una vez al mes por proyecto. Ellos hacen un recorrido planificado por todo el proyecto, observando a los colaboradores y el tipo de trabajo que están realizando. Para que el resultado sea representativo se debe realizar este recorrido durante 3 días, en 3 turnos diferentes, mañana, media mañana, y tarde.

La meta establecida en Volio y Trejos, basada en el benchmarking, es de obtener un 60% de Tiempo Productivo, un 25% de Tiempo de Soporte y un 15% de Tiempo Perdido.

Una vez que se tienen los porcentajes, se complementan con "Hallazgos" los cuales son evidencias de aspectos que requieren mejora para alcanzar las metas de productividad de la empresa.

Este trabajo se presenta a los ingenieros y maestros de obra del proyecto en una reunión de 30 minutos, para que conozcan la situación e

implementen las mejoras recomendadas, que son evaluadas en la reunión del siguiente mes.

Análisis de Procesos

Esta herramienta permite analizar más detalladamente un proceso o actividad en específico. Para esto se debe describir paso a paso la forma en que se ejecuta un proceso constructivo. Luego por medio de una carta de balance, se conoce el uso del tiempo de los diferentes integrantes de la cuadrilla. Asimismo, se determina el nivel de actividad del proceso, complementado por la medida del rendimiento del mismo.

Charla de caja de herramientas

Asimismo, como buena práctica, la empresa ha implementado la Charla de caja de herramientas. Esta consiste en una charla al inicio de la jornada laboral donde se mencionan las actividades que se van a realizar durante el día, así como posibles incidentes que pueden ocurrir. Luego se realizan estiramientos para prevenir lesiones. Todo esto debe tener una duración menor a 20 minutos.

Rendimiento

Cano (como lo citó Manecha, 2010) define el rendimiento como la cantidad de obra de una actividad expresada en una unidad de medida, que es realizada por una cuadrilla, dividida por la unidad de recurso humano, que se expresa en horas hombre.

En el folleto Costos de Construcción (Ing. Giannina Ortiz Quesada, Ing. Eduardo Paniagua Madrigal, & Ing. Milton Sandoval Quirós, 2009), se detalla el siguiente procedimiento para calcular rendimientos de mano de obra.

Como partida inicial se tiene la obtención de datos, que son el avance de obra expresado en cantidad, número de personas en la cuadrilla, el tiempo invertido en el avance, así como el tiempo dedicado en otras actividades.

El rendimiento es posible calcularlo con la siguiente fórmula:

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

Donde:

R = rendimiento (horas-hombre/unidad)

t = duración de la actividad (horas)

n = número de personas en la cuadrilla

v = cantidad de obra avanzada

A continuación, se deben utilizar herramientas estadísticas que muestren los datos que se alejan del promedio, siendo no representativos. Esto por medio de los siguientes parámetros estadísticos.

a) Media aritmética

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

b) Desviación estándar

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

c) Coeficiente de variación

$$C.V = \sigma / \bar{R}$$

d) Factor de incremento por tiempo dedicado a otras actividades

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

Donde:

fi = factor de incremento

tc = tiempo dedicado a otras actividades

hd = horas diarias de trabajo total

e) Rendimiento real

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

Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta visual y numérica, basado en el principio de Pareto. Sales (2013) afirma que permite detectar los problemas que tienen más relevancia, ya que discrimina los aspectos que tienen gran influencia de los que no. Esto basado en que por lo general el 80% de los resultados se originan del 20% de los elementos.

Para poder armar un diagrama de Pareto es necesario tener una frecuencia, o dato numérico que este asociado a la actividad o elemento. Esto para que sea posible ordenar de mayor a menor la actividad de acuerdo con su valor. Luego se calcula el porcentaje relativo, y acumulado de los datos, para crear el diagrama.

En el caso particular del proyecto se basó en el valor monetario de las actividades constructivas de las obras, así como para detectar las principales causas de disminución de la productividad. La figura 1 muestra el ejemplo de un diagrama de Pareto.

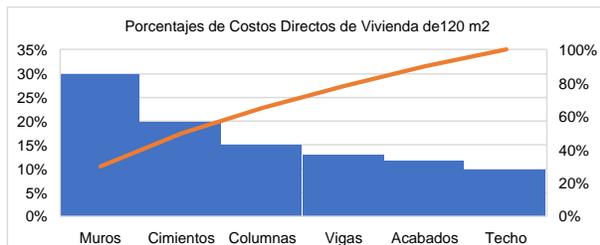
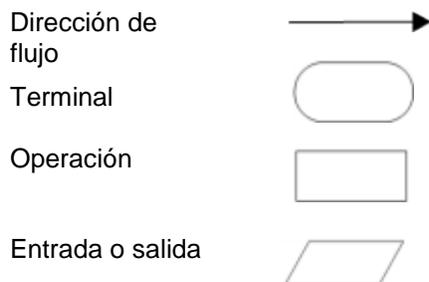


Figura 1. Ejemplo de Diagrama de Pareto (Elaboración propia).

Diagrama de flujo

Los procesos en la construcción tienen muchas variables inclusive dentro de la misma obra. Los diagramas de flujo ayudan, de manera gráfica, a simplificar su seguimiento. Según el Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica son representaciones gráficas que emplean símbolos para representar las etapas o pasos de un proceso, la secuencia lógica en que estas realizan, y la interacción o relación de coordinación entre los encargados de hacerlo (MIDEPLAN, 2009).

La American National Standards Institute establece la siguiente simbología para construir los diagramas de flujo.



Decisión



Conector



Diagrama de recorrido

Esta consiste en una herramienta gráfica que permite observar en planta, el lugar donde se efectúan actividades determinadas y el camino que sigue el trabajador, equipo o el material durante el proceso.

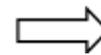
El diagrama de recorrido lo define Retana (2013) como un complemento al diagrama de flujo, ya que permite visualizar en plano los transportes en el plano del sitio de manera que se puedan reducir, ya sea en tiempo o en distancia.

La simbología utilizada para estos diagramas se presenta a continuación.

Operación



Transporte



Almacenamiento



Demora



Inspección



Actividad combinada



Diagrama de Ishikawa

Otra herramienta gráfica es el Diagrama de Ishikawa o también llamado Diagrama de causa-efecto. Zapata y Villegas (como citó Romero y Díaz en 2010) describen su función como un vehículo para ayudar a los equipos de trabajo a tener una visión en común y simplificada de un problema complejo, con todos sus elementos y relaciones claramente visibles a cualquier nivel de detalle requerido.

La característica fundamental de esta técnica es poder clasificar los problemas, de acuerdo con el enfoque que se le quiera dar, y lograr descomponerlos en sub-elementos. Para empezar a construirlo se procede a realizar una lluvia de ideas, y así jerarquizar las causas principales, que serán los ramas o huesos principales, y las causas secundarias que conformarán a las ramas o huesos pequeños. La figura 2 representa un ejemplo genérico de Diagrama de Ishikawa.

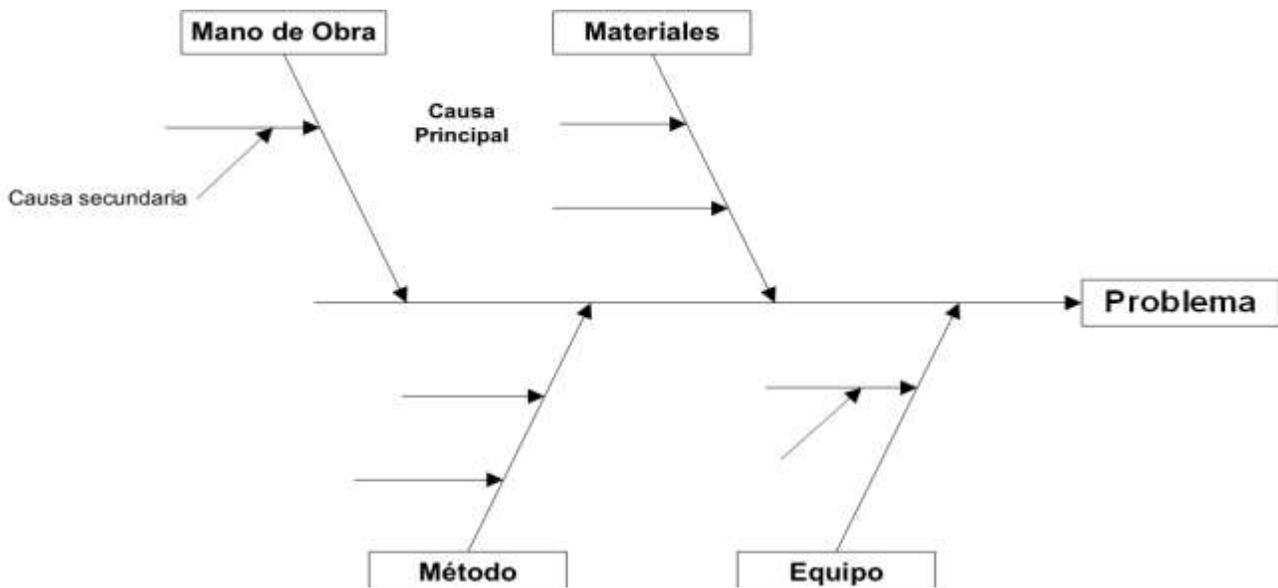


Figura 2. Ejemplo de Diagrama de Ishikawa (Elaboración propia).

Filosofía Lean Construction

Esta es una forma de diseñar sistemas de producción en un entorno de construcción con el objetivo de reducir tiempos, esfuerzo y el desperdicio de materiales (Rydell, 2017).

En pocas palabras, garantiza que un proyecto se realice rápidamente incurriendo en menores costos durante el proceso de construcción. Además, tiene como objetivo maximizar el valor y minimizar los costos involucrados durante el mantenimiento, diseño, planificación y ejecución de la obra. Es utilizada en todo el mundo y ha sido demostrado que

aumenta la productividad en la industria de la construcción.

Asimismo, Lean clasifica los desperdicios en 7 categorías, sobreproducción, esperas, transporte innecesario, sobre procesamiento, exceso de inventario, movimiento innecesario, defectos de calidad y talento (Pons, 2014).

Herramienta 5S's

El sistema 5S es un método utilizado para configurar y mantener la calidad del entorno de trabajo en una organización. Esta metodología puede gestionar el espacio, el esfuerzo humano, el tiempo, la calidad y el capital para hacer el producto final con menos fallas y lograr que el sitio sea ordenado, disciplinado y limpio para

trabajar. 5S's es un sistema para disminuir el desperdicio y optimizar la calidad y productividad mediante el monitoreo de un entorno organizado, donde se obtienen resultados más firmes (Ajay y Sridhar, 2016).

Las 5S hacen referencia al nombre de cinco palabras en japonés que empiezan con la letra S, las cuales son las siguientes: Seiri (clasificación), Seiton (orden), Seiso (limpieza), Seiketsu (estandarización) y Shitsuke (mantener la disciplina).

Reloj GPS

La tecnología es una herramienta que no se aprovecha al máximo en la industria de la construcción. Las empresas que adoptan la tecnología obtienen mejoras en el costo, la seguridad, la eficiencia y la calidad de las obras.

Higgins (2017) menciona dentro de un listado de innovaciones de tecnología en la construcción que vienen para el 2018, los

implementos tecnológicos que pueden ser "vestidos" por los trabajadores.

Los relojes GPS entran en esta categoría. El funcionamiento de estos es por medio de la triangulación, donde se envía una señal a un satélite, y luego la recibe. La diferencia de tiempo de estas acciones determina que tan lejos está el satélite. Ese proceso se repite con los satélites que están más alejados del receptor del reloj, lo que indica su ubicación exacta y continúa rastreando al receptor durante toda la actividad (Steinheimer, 2017). Esto permite generar el camino que el usuario recorrió mientras lo estuvo usando.

Obstáculos como una gran densidad de árboles y los rascacielos reducen o bloquean por completo las señales de los satélites GPS. También crean otros problemas, como cuando la señal rebota en un edificio antes de llegar al reloj, en cuyo caso el receptor GPS del reloj pensará que está más lejos de los satélites de lo que realmente está, generando resultados erróneos.

El camino que recorre el trabajador se representa como lo muestra la figura 3.



Figura 3. Ejemplo de recorrido con reloj GPS (Google Earth, 2018).

Metodología

En este apartado se explicarán los procedimientos aplicados en la práctica profesional dirigida en la empresa constructora Volio y Trejos Asociados. Esto incluye los pasos para elegir al menos tres procesos, las técnicas de medición de productividad y rendimientos, y la identificación de problemas, que dieron como resultado recomendaciones e implementaciones de mejoras en los proyectos visitados. Asimismo, se describen sucintamente los proyectos visitados durante el proyecto.

Método de trabajo en Volio y Trejos

La empresa constructora Volio y Trejos asigna, normalmente, a los practicantes de universidades al área de Productividad, específicamente el puesto de analista de productividad, para que se familiaricen con los métodos y políticas con las que la compañía labora. En este período hubo tres analistas de productividad, de los cuales una era la encargada y dos eran practicantes. Se procuró rotar a las personas en los proyectos, con una permanencia máxima continua de 15 días por proyecto.

Las principales responsabilidades de este puesto fueron realizar el SINA cada mes, principalmente en los proyectos que se encontraban en obra gris. Del mismo modo, se dedicó el resto del tiempo a hacer Análisis de Procesos a actividades en las que se encontraron deficiencias en la productividad, o que eran de interés para los ingenieros o maestros de obra del proyecto.

Por otro lado, siempre se estuvo al tanto de encontrar mejoras que pudieran implementarse por medio del programa “Se busca el desperdicio”, donde participan todos los colaboradores de la empresa y se premia a las mejores ideas.

Selección de procesos

Para este objetivo, lo primero que se hizo fue visitar los proyectos, con el fin de realizar un reconocimiento general del tipo de obras que se estaban construyendo. Además, esto ayudaba a conocer las reglas de seguridad y dinámica de trabajo propias de cada proyecto.

Criterios de elección de procesos

Para la elección de los procesos fue necesario basarse en varios criterios que fueron haciendo un descarte de opciones hasta obtener la lista de procesos elegidos.

En principio, el criterio que se utilizó para fue el avance de obra que iba a existir durante el período de práctica. Además, se consideró la frecuencia de visitas que se iban a realizar a cada proyecto, con el fin de facilitar la recolección de datos.

El segundo criterio fue la consulta a expertos, que en este caso fue al Gerente de Gestión Integral de la empresa y a los Gerentes de Producción de cada proyecto, para poder definir cuales procesos eran de mayor urgencia que se mejoraran en la empresa, basados en el impacto a la obra en construcción y a futuros proyectos.

El tercer método de descarte fue por medio del Diagrama de Pareto. En este se tomó en cuenta el porcentaje de influencia, en términos de costo de cada actividad, en el presupuesto de proyecto.

Para terminar de reducir las opciones se basó en el registro histórico que tiene la empresa, para poder tener un punto de comparación respecto a los resultados obtenidos.

Proyectos donde se analizaron los procesos

En total se visitaron cinco proyectos los cuales fueron: iFreses, Facultad de Ingeniería UCR, CEDI Coris, Hyde Park y Edificio A La Lima. Debido a que la Facultad de Ingeniería de la UCR, Hyde Park y Edificio A La Lima estaban en etapa de acabados, se eligió CEDI Coris e iFreses como proyectos para el análisis.

CEDI Coris

Este proyecto es un centro de distribución, compuesto por bodegas y oficinas para la empresa Walmart. Se encuentra ubicado en Coris en la provincia de Cartago. Está compuesto por tres grandes edificios los cuales son Hortifruti, Granos y Cajillas, y una laguna de retención. El área del terreno es de aproximadamente 100 000 m², y los tres edificios sumados son 25 221 m² de construcción. El inicio de la construcción fue en diciembre del 2017, y se planea que finalice en agosto del 2018.



Figura 4. Vista del modelo de Hortifruti (Volio y Trejos, 2017).

iFreses

iFreses es un edificio de aparta-estudios de 25 niveles con diversas amenidades, ubicado en Curridabat, San José. Asimismo, tiene una torre de parqueos automatizada y centros comerciales en los niveles inferiores. Se encuentra sobre un

terreno de 2 300 m² y cuando se finalice va a poseer 20 000 m² de construcción aproximadamente.

Este proyecto posee la particularidad de que se están utilizando dos sistemas de encofrado para losas y muros, los cuales son el sistema Forsa, y el Convencional. Este se subdivide en paneles Symmons para muros y para losa.



Figura 5. Vista del modelo del edificio iFreses (Volio y Trejos, 2017).

Diagramación de los procesos y sus recursos

Con el fin de poder analizar los procesos y la secuencia de sus tareas, se recurrió a la herramienta de diagramas de flujo. Por medio de la observación en campo de los procesos, y consultas a los ingenieros en producción y colaboradores, se logró identificar y detallar cuál era el flujo de cada actividad.

Al ser esta una herramienta gráfica, facilitó el análisis posterior que se le realiza a cada proceso, y además ayudó a identificar tareas que están sobrando o que faltan por hacer.

Por otra parte, se realizó un reconocimiento en sitio de cuáles eran los recursos utilizados en cada proceso, incluyendo mano de obra, materiales, equipos y herramientas. Esto con el fin de hacer recomendaciones futuras de mejoramiento o innovación en los recursos.

Medición de la productividad

Recopilación de datos por medio de grabación de videos

Los datos necesarios para poder medir la productividad se obtuvieron de videos donde registraban los procesos elegidos, procurando que en la toma se vieran la mayor cantidad de trabajadores involucrados. Estos fueron grabados en sitio, por medio de una cámara de celular. Los videos tuvieron una duración promedio de 30 minutos cada uno, que buscaban asegurar un mínimo de 385 observaciones por video.

Cabe destacar que el procedimiento siempre fue preguntarles primero a los colaboradores si no les incomodaba que se les estuviera grabando para un proyecto universitario, con el fin de evitar quejas o disgustos posteriores.

Se intentó que los videos se grabaran distintos días, y a diferentes horas del día, con el fin de obtener un resultado representativo. Por lo que en promedio se grabaron cuatro videos por proceso.

Técnicas de medición de productividad y rendimiento

Una vez que se tienen los videos de los procesos, se procedió a transferirlos a una computadora y analizarlos.

Las tres técnicas que se tenían para medir la productividad eran Work Sampling, Five Minute Rating y Crew Balance. No obstante, se aprovechó la herramienta de multimedia que se poseía y se realizó un análisis en conjunto de las tres técnicas.

En primera instancia se realiza el Crew Balance, y se clasifican las actividades observadas en tiempo productivo, tiempo de soporte y tiempo perdido. Con los datos obtenidos del Crew Balance, se procedió a analizar la productividad de la cuadrilla por medio del Work Sampling, y la de cada trabajador con Five Minute Rating.

Asociado a cada muestra de video, se obtuvo un rendimiento, que fue resultado de la observación de avance en campo, la cantidad de personas involucradas, y el tiempo invertido por cada uno. Esto con el fin de comparar la productividad con el rendimiento, y poder analizarlo.

Recopilación de datos históricos de la empresa

Se solicitó permiso a la empresa Volio y Trejos para tener acceso al servidor, donde se encuentran datos de productividad y rendimientos calculados anteriormente, con el fin de que sirvieran de comparación. Los datos históricos de la empresa fueron obtenidos por los métodos de trabajo que ellos manejan, los cuáles son el SINA y el Análisis de Proceso.

Diseño de propuesta de mejora

Representación de recorridos de los trabajadores

Una vez finalizada la grabación del video se realizó un levantamiento general del diseño de sitio donde se estaba trabajando, midiendo las distancias de los movimientos de los trabajadores y materiales. Se consultó a los colaboradores, maestros de obras e ingenieros de los recorridos que se realizaban con el fin de complementar la información obtenida de las observaciones.

Por otro lado, se implementó el uso de relojes GPS en los trabajadores para realizar un rastreo, durante todo el día, de los movimientos que se realizaban. Esta implementación, implicó el uso de softwares y páginas de acceso libre las cuáles fueron: <http://active.magellangps.com/>, <https://maplorer.com/> y Google Earth para la interpretación de los datos recopilados.

Esta herramienta fue un punto de partida para poder mejorar la productividad y

rendimiento, con el fin de eliminar movimientos que no agregan valor al proceso.

En la figura 6 y figura 7 se muestran planos en planta de los proyectos trabajados, CEDI Coris e iFreses respectivamente.

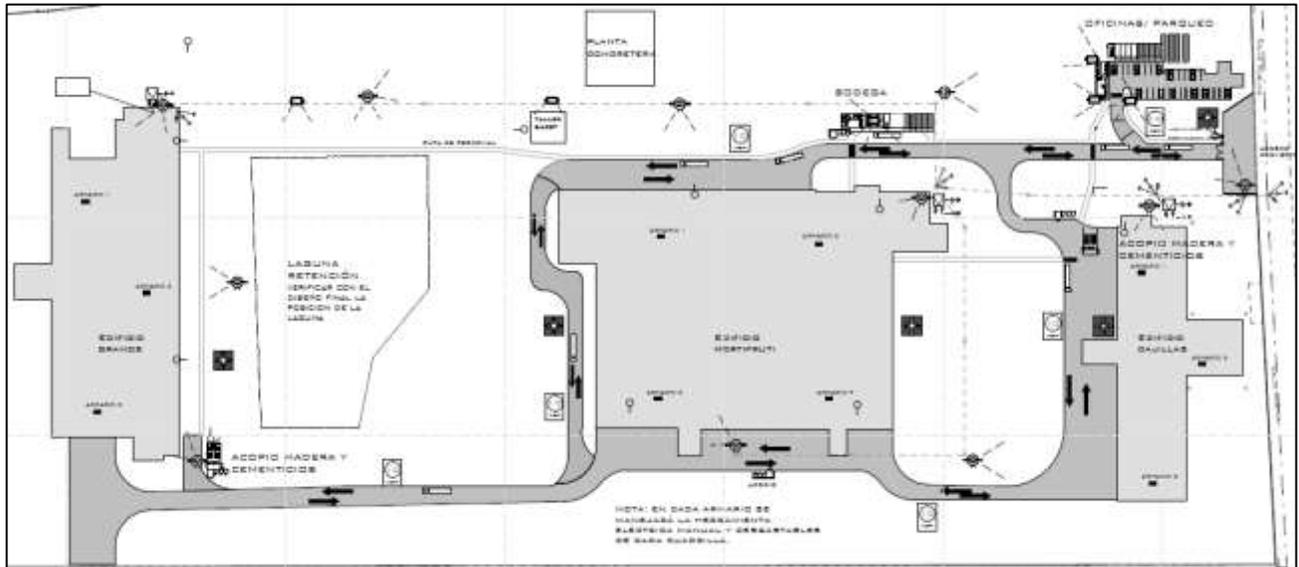


Figura 6. Diseño de sitio planificado de CEDI Coris (Volio y Trejos, 2017).

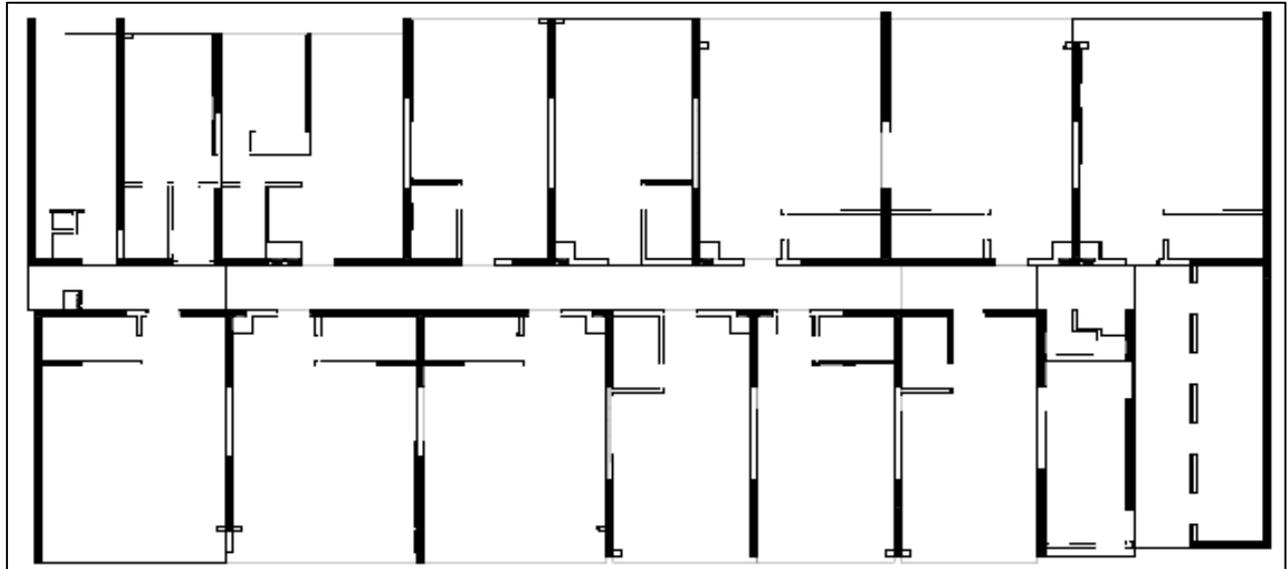


Figura 7. Planta de muros y losa de iFreses (Volio y Trejos, 2017).

Obtención de causas que afectan la productividad

El primer paso fue la observación en sitio por medio de tres recorridos diarios al proyecto donde se observaba el acomodo del sitio y la dinámica de trabajo en el proceso. Asimismo, en estos recorridos se realizaban conversaciones informales con los trabajadores y se hablaba de problemas que ellos percibían o de su modo de trabajar.

Se procedió a realizar una encuesta de diez preguntas por medio de Google Forms, la cual se puede observar en el Apéndice J, con temas relacionados a diseño de sitio, disponibilidad de materiales, equipo y herramientas, así como entendimiento de la productividad.

A partir de los informes históricos de SINA y Análisis de Procesos de Volio y Trejos se logró identificar causas que, de acuerdo con lo observado en sitio, eran repetitivas.

Asimismo, se utilizaron fuentes bibliográficas como referencia para identificar actividades o métodos de trabajo que no agregaban valor a los procesos.

Además, se realizó un análisis al uso de los montacargas telescópicos y el camión repartidor en el proyecto CEDI Coris.

Representación gráfica por medio de Diagrama de Ishikawa

Dado que se tenían identificadas las causas que disminuyen la productividad y eficiencia de los procesos, se recopilaron estos datos en diagramas de Ishikawa, uno por proceso. De esta forma, se procedió a obtener las consecuencias de las causas y, por consiguiente, iniciar a diseñar la propuesta.

Diseño de alternativas de mejora

Las mejoras o recomendaciones que se realizaron, basándose en las causas y

consecuencias obtenidas, fueron fundamentadas en los siguientes criterios.

El primero fue la experiencia adquirida en campo durante la práctica, la cual ayudó a resaltar cuáles podrían ser mejoras a implementar. En segundo lugar, la búsqueda de bibliografía de proyectos en otras empresas, o en otros países y sus métodos de trabajo, así como el uso e innovación de las tecnologías en la construcción. Luego se realizaron consultas a los maestros de obras e ingenieros que son los encargados de estar en campo todo el día y tienen más claro las variables y limitaciones que se manejan. Asimismo, se basó en Lean Construction y su filosofía de reducir los desperdicios.

Implementación de plan de mejora

Una vez que se tenían las recomendaciones planteadas a los problemas observados, se procedió a la implementación. Para poder lograrlo se recurrió a los siguientes métodos.

Durante las reuniones de SINA mensuales y las reuniones de Análisis de Procesos en los proyectos, se le enseñó y evidenció a los ingenieros y maestros de obras, por medio de una presentación-informe, observado en el Apéndice Ñ, los problemas que se observaron y posibles mejoras que se deberían implementar. Posterior a esto, se le dio seguimiento para verificar que sí hayan sido corregidos los hallazgos que afectaban la productividad.

Del mismo modo, cuando se realizaban recorridos en sitio, se realizaron comentarios de posibles mejoras a los maestros de obra y colaboradores, para procurar que la implementación fuera lo más pronto posible, y no esperar a una reunión.

Por otro lado, por medio del concurso “Se busca el desperdicio”, se propusieron ideas que mejorarían la productividad de los procesos. Para finalizar, todas las mejoras planteadas fueron recopiladas, para que quedaran documentadas y así ser implementadas en futuros proyectos.

Resultados

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos a partir de la metodología mencionada anteriormente. Estos se visualizan en el orden de los proyectos con sus procesos, y cada proceso con los objetivos planteados. Asimismo, se adjunta información necesaria para el entendimiento e interpretación de los datos.

En los apartados de productividad y rendimientos se muestran los resultados obtenidos. En promedio se tomaron cuatro mediciones por proceso, pero sólo se muestra el resultado de productividad de una muestra. El resto de muestras se adjuntan en el apartado de Apéndices. No obstante, sí se muestra un cuadro resumen con los resultados de productividad de las cuatro muestras.

En el caso de los apartados de diagramas de recorridos se hace la siguiente aclaración. Debido a que los procesos que se analizaron poseían un diseño de sitio local dinámico, fue necesario construir un diagrama de

recorrido para cada muestra. No obstante, en este apartado se mostrará solamente el diagrama de recorrido que corresponde a la muestra de productividad colocada en el apartado anterior. El resto de diagrama de recorrido se muestran en los Apéndices.

Selección de procesos en CEDI Coris

En la figura 8 se muestra el avance que llevaba el proyecto CEDI Coris el día 05 de febrero que se llegó al proyecto.

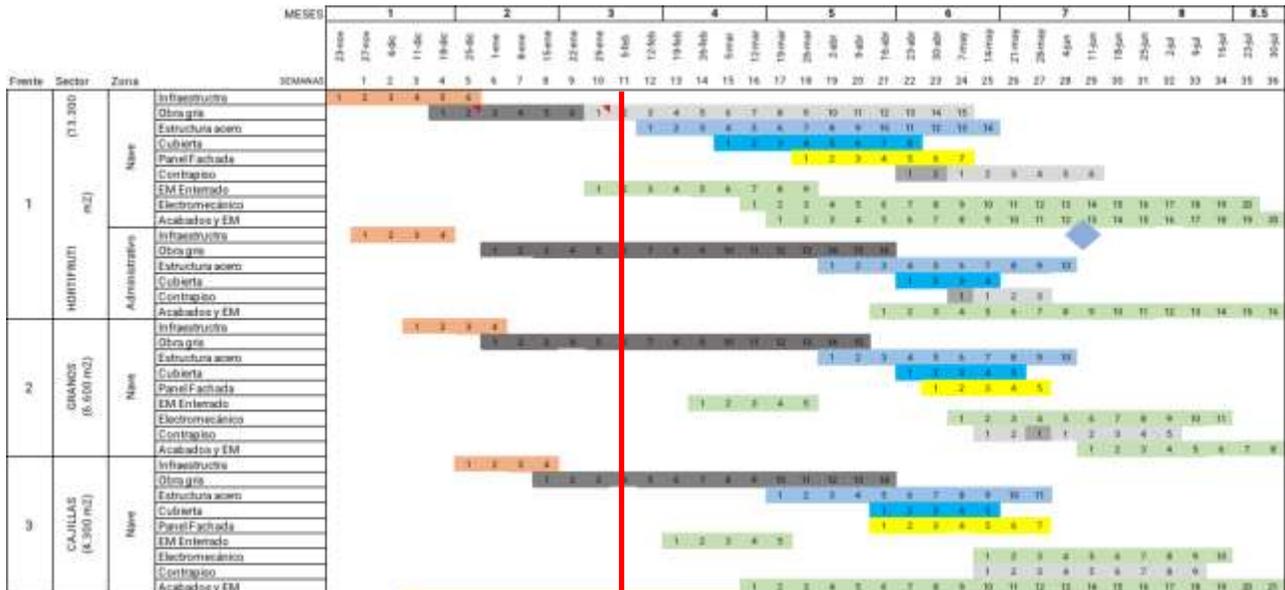


Figura 8. Programación de obra en CEDI Coris al 05 de febrero. (Volio y Trejos, 2017).

En la figura 9 se muestra el diagrama de Pareto obtenido para el proyecto CEDI Coris, basado en

los porcentajes de participación del costo total de la obra, obtenido del presupuesto.

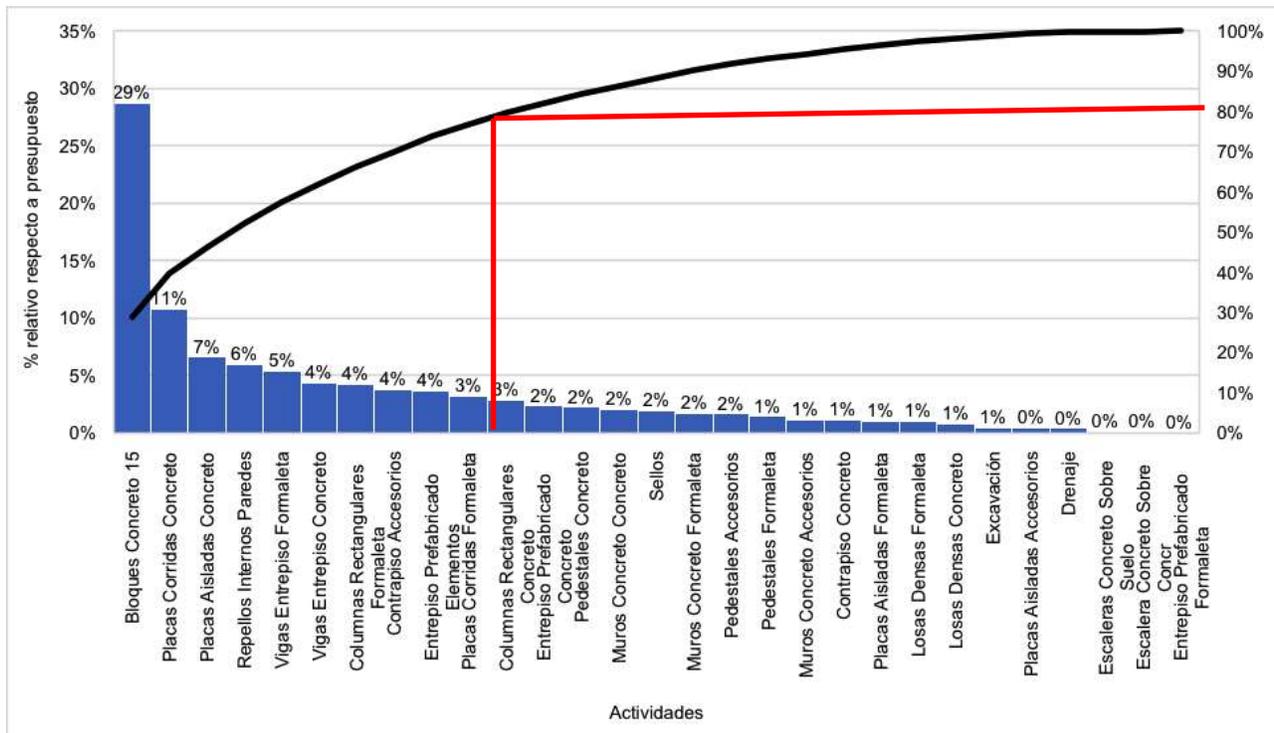


Figura 9. Diagrama de Pareto de costos del proyecto CEDI Coris.

Cuando se consultó a los expertos eligieron, para CEDI Coris mampostería, columnas, placas corridas, muros de andén y repellos.

A continuación, se muestran los procesos elegidos para el proyecto de CEDI Coris.

La siguiente figura 10 muestra el proceso de una pareja en colocación bloques y su sisado.

Análisis de procesos en CEDI Coris

Pega de bloques de mampostería

Ilustración de proceso



Figura 10. Colocación y sisado de bloques.

Recursos y diagramas de flujo

En la figura 11 se explica el proceso por medio de un diagrama de flujo. En el cuadro 1 se muestran los recursos utilizados en la colocación de bloques de mampostería.

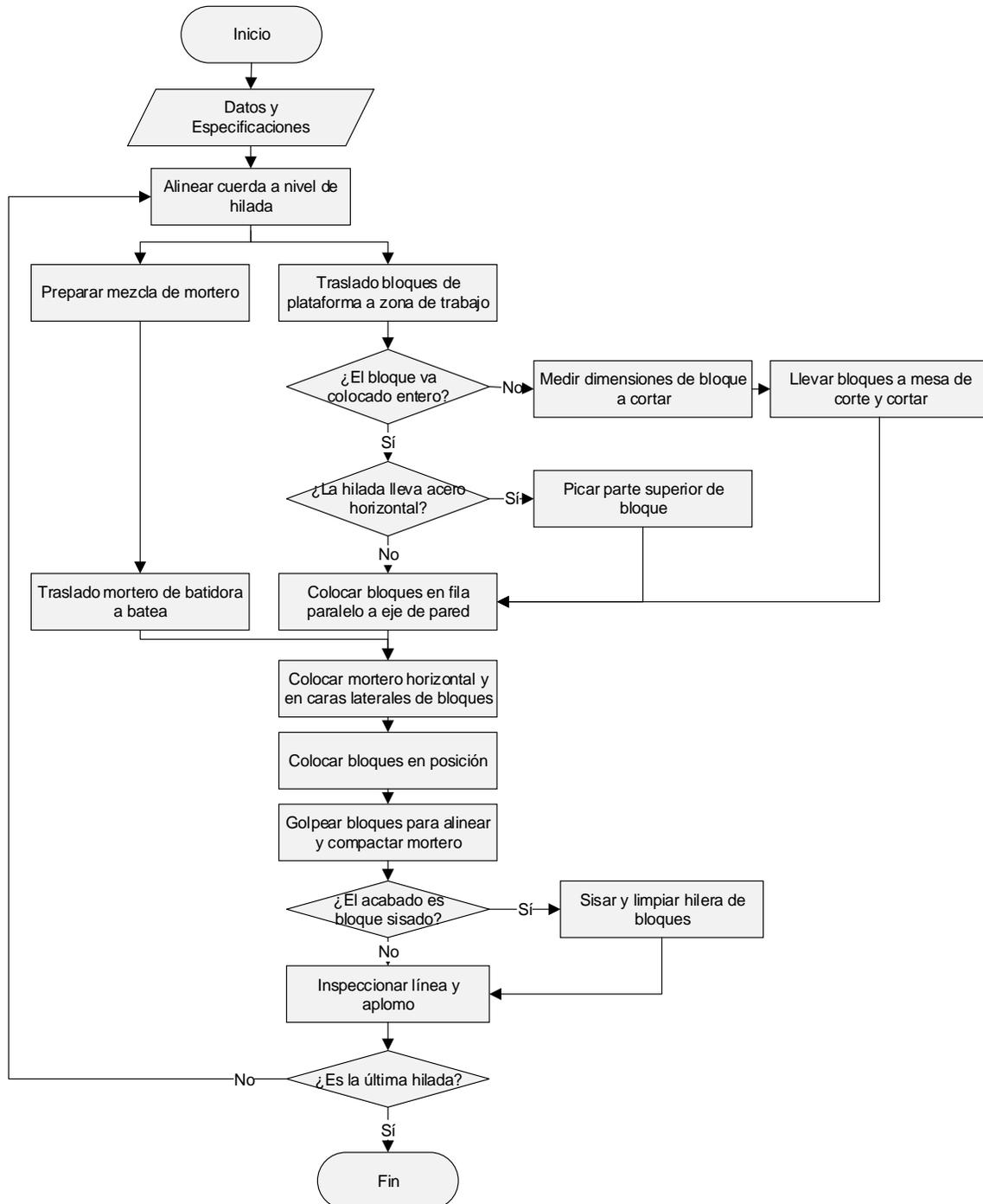


Figura 11. Diagrama de flujo de pega de bloques de mampostería.

CUADRO 1. RECURSOS UTILIZADOS EN PEGA DE BLOQUES		
Mano de Obra	Material	Equipo y Herramientas
1 Albañil 1 Ayudante	Bloques de 15x20x40 cm Mortero de pega Agua	Cuchara Batea Carretillo Patín Batidora Pala Sisador Balde de hule Martillo

Productividad y rendimientos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para de productividad y rendimiento en

el proceso de pega de bloques. Para empezar, se muestra el resumen de los rendimientos de cinco muestras en el cuadro 2, con su promedio y coeficiente de variación.

CUADRO 2. RENDIMIENTO DE COLOCACIÓN DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA						
# Muestra	Fecha	Cant. Trabajadores	Duración (horas)	Horas hombre (HH)	Cantidad (m2)	Rendimiento (HH/m2)
1	viernes, feb 23 2018	2	10,0	20,0	11,4	1,76
2	miércoles, mar 07 2018	2	10,0	20,0	10,4	1,92
3	lunes, mar 19 2018	2	10,0	20,0	13,6	1,47
4	martes, mar 20 2018	2	10,0	20,0	9,4	2,14
5	sábado, mar 24 2018	2	10,0	20,0	14,8	1,35
Rendimiento Promedio						1,73
Desviación estándar						0,32
Coeficiente de variación						19%
fi						0%
Rendimiento real						1,73

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos de productividad de pega de bloques de la muestra 3. Para comenzar, se tiene en el cuadro 3, la clasificación de las actividades en

tiempo productivo, tiempo de soporte y tiempo perdido.

CUADRO 3. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE PEGA DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA

Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Colocar mortero	Alcanzar objetos	Espera
Colocar bloque	Limpieza de exceso	Viaje
Sisar bloque	Medición	Descanso
Cortar bloque	Verificación / Instructivo	Hablando

Asimismo, se adjunta el gráfico de barras, en la figura 12, obtenido por el método de Crew Balance, en el cual se muestra el porcentaje de tiempo que le dedicó el trabajador a la actividad

durante el muestreo. Cada actividad está representada por un color diferente, como lo muestra la simbología del gráfico.

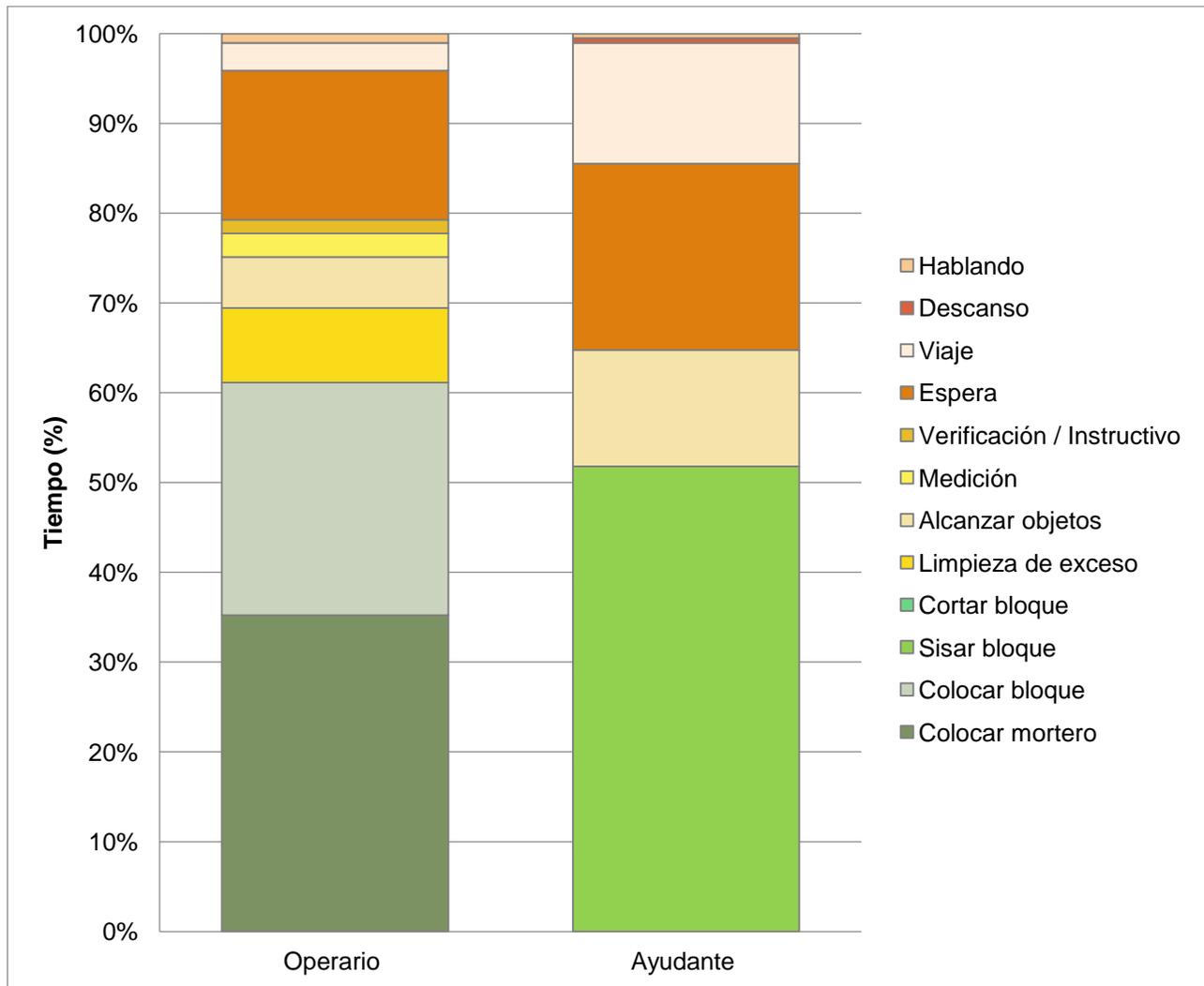


Figura 12. Crew balance de muestra 3 de la pega de bloques.

En la figura 13 se muestran los resultados de productividad de cada integrante de la cuadrilla por el método de Five Minute Rating. El color

verde es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

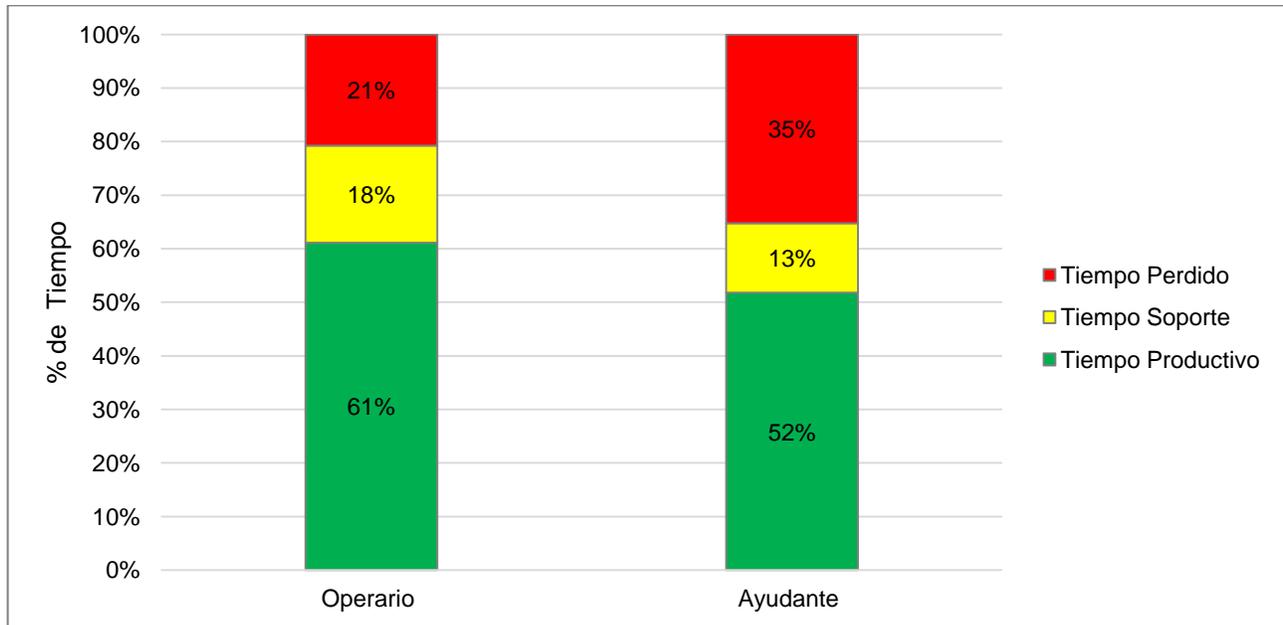


Figura 13. Five minute rating de muestra 3 de la pega de bloques.

Luego se tiene en la figura 14, el porcentaje de productividad de la cuadrilla en general, obtenida por el método de Work Sampling. El color verde

es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

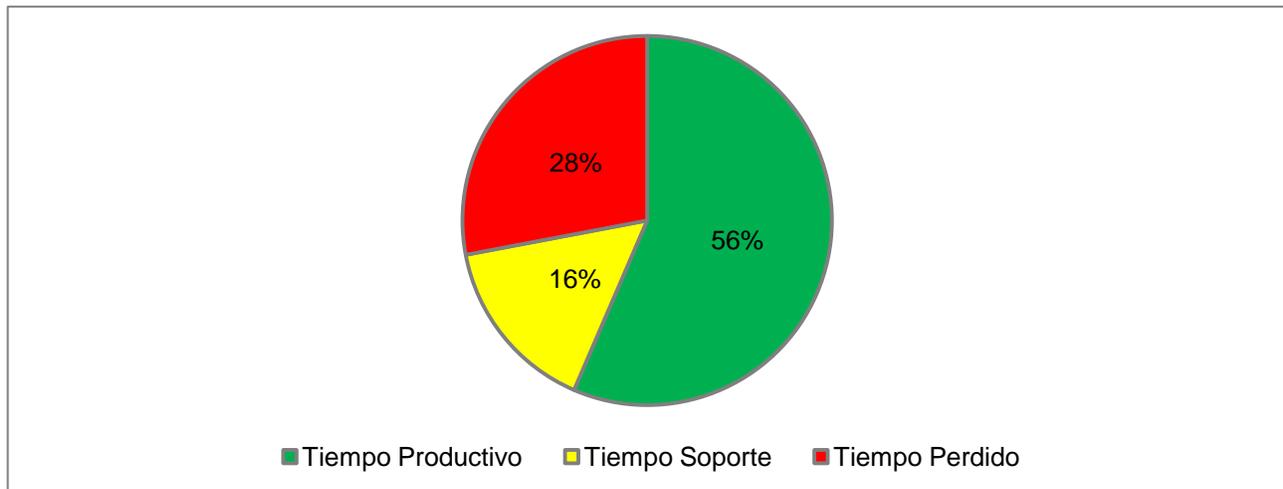


Figura 14. Work Sampling de muestra 3 de la pega de bloques

Como punto de comparación se tiene la figura 15, en el cual se recopilan los resultados de productividad general de las cinco muestras de

pega de bloques, así como el rendimiento de cada uno.

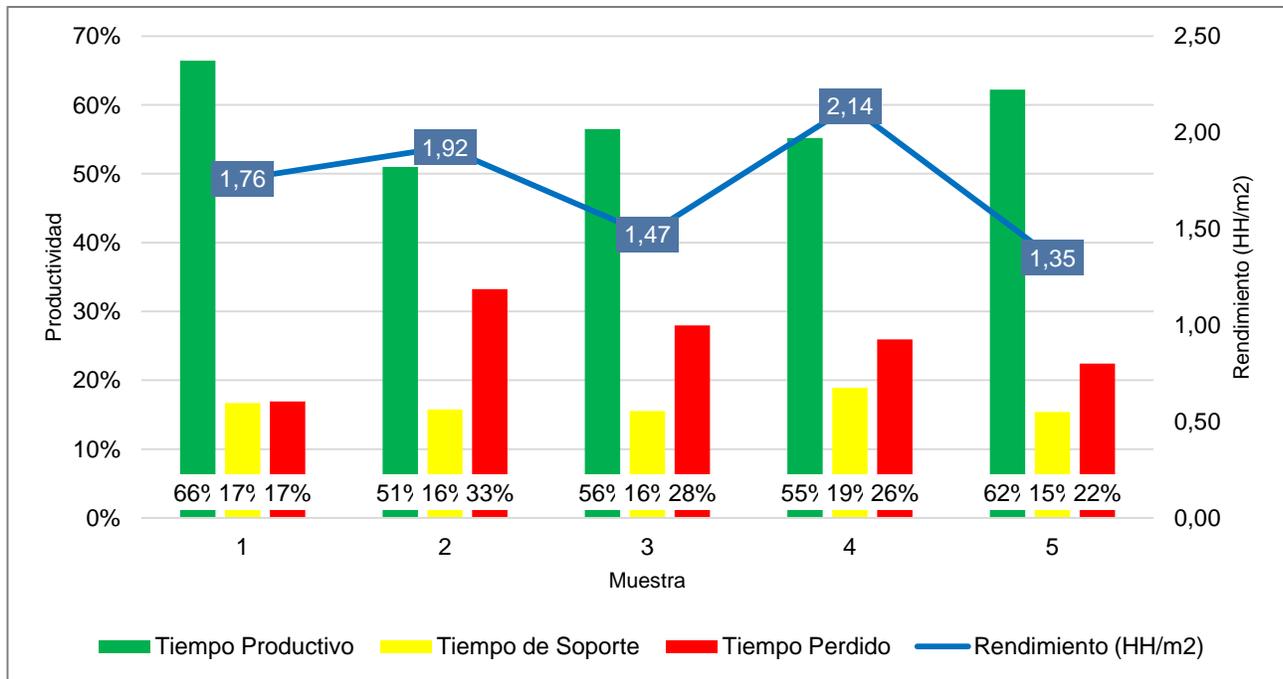


Figura 15. Resumen de productividad y rendimientos de las cinco muestras de pega bloques.

Diagrama de recorrido

A continuación, se enseña en el cuadro 4 los datos de tiempo y distancia obtenidos de la

muestra 3, y en la figura 16 el diagrama de recorrido.

CUADRO 4. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE PEGA DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA EN MUESTRA 3			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Colocación de bloques	–	–
2	Almacenamiento de bloques	–	–
3	Transporte de bloques	24	25
4	Batidora	–	–
5	Transporte de mezcla	48	50
6	Mesa de corte	–	–
7	Transporte de bloque cortado	26	30

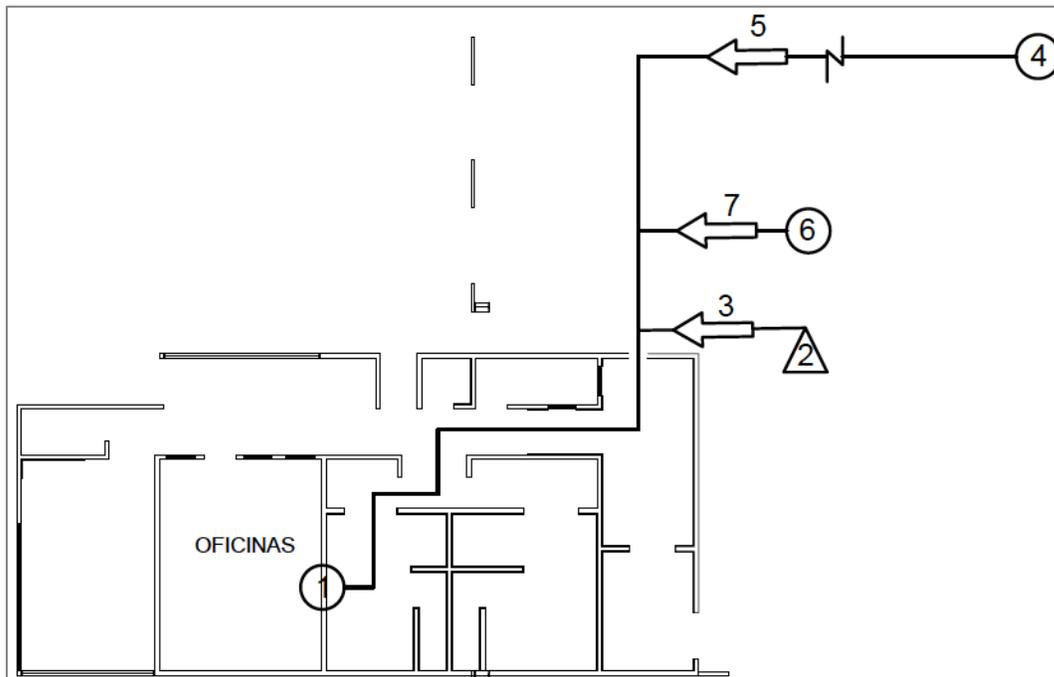
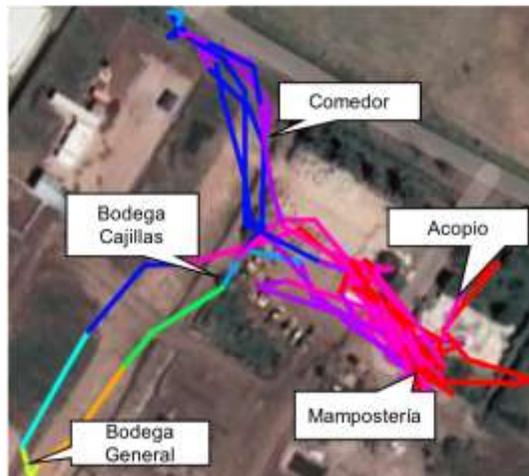


Figura 16. Diagrama de recorrido de muestra 3 de pega de bloques de mampostería.

Reloj GPS

En la figura 17 se observan los datos y el recorrido realizado por un ayudante en la actividad de pega de bloques de mampostería.

Fecha: 07/03/2018	
Periodo: 7:24 a.m. – 13:12	Duración: 05:48 horas



Lugar	Cantidad
Acopio	1
Bodega General	1

Figura 17. Diagrama de recorrido con reloj GPS en mampostería.

Relleno de celdas

Elección de proceso

La siguiente figura 18 muestra el proceso de relleno de celdas con máquina de proyectar mono-mix fu y la cuadrilla de tres personas.



Figura 18. Relleno de celdas con cuadrilla de tres personas.

Recursos y diagramas de flujo

En la figura 19 se explica el proceso por medio de un diagrama de flujo. En el cuadro 5 se muestran los recursos utilizados en el relleno de celdas.

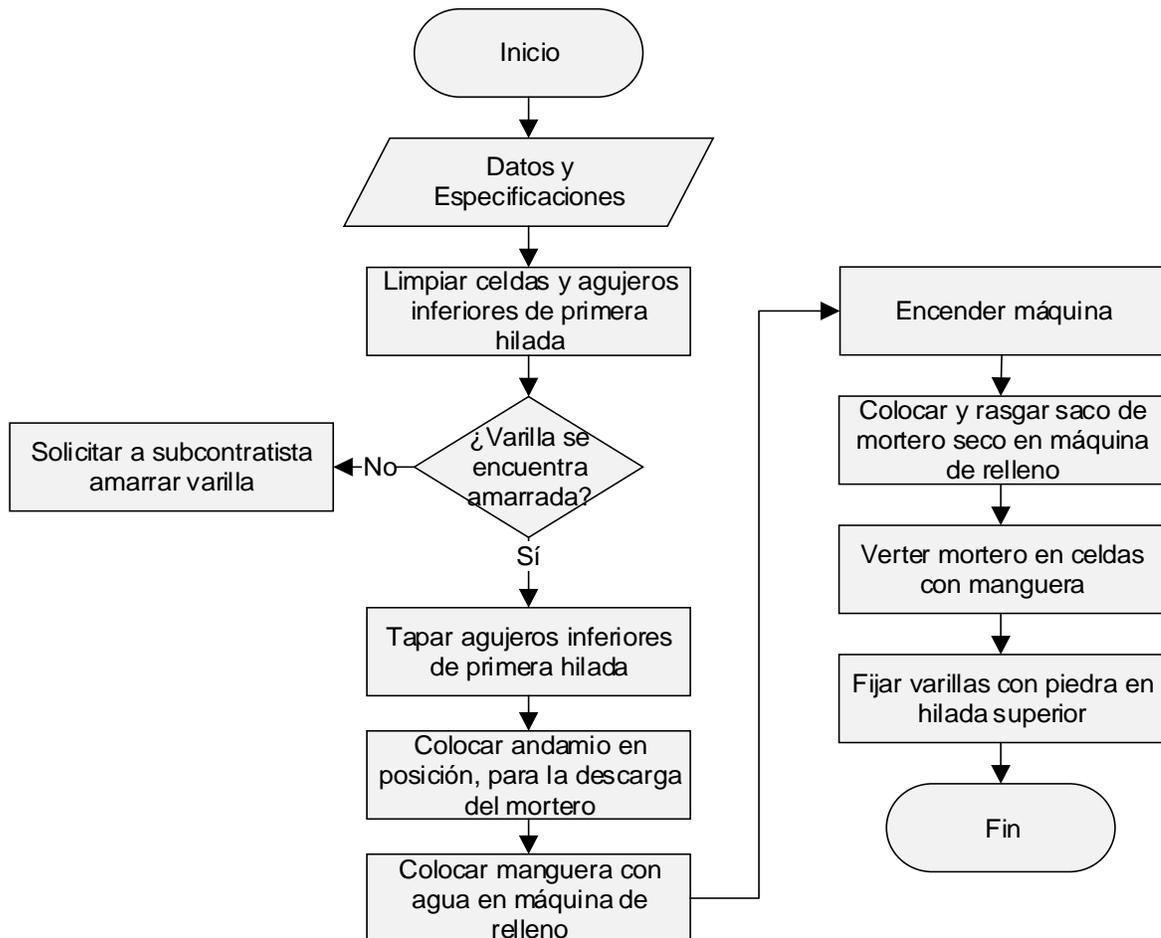


Figura 19. Diagrama de flujo del relleno de celdas con máquina.

CUADRO 5. RECURSOS UTILIZADOS EN RELLENO DE CELDAS		
Mano de Obra	Material	Equipo y Herramientas
1 Operario 2 Ayudantes	Agua Mortero seco para relleno de celdas Sacos Plywood Alambre Pines de varilla	Máquina de proyectar mono-mix Manguera Martillo Andamio

Productividad y rendimientos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para de productividad y rendimiento en

el proceso de relleno de celdas. Para empezar, aparece el resumen de los rendimientos de cuatro muestras en el cuadro 6, con su promedio y coeficiente de variación.

CUADRO 6. RENDIMIENTO DE RELLENO DE CELDAS						
# Muestra	Fecha	Cant. Trabajadores	Duración (horas)	Horas Hombre (HH)	Cantidad (m3)	Rendimiento (HH/m3)
1	lunes, mar 19 2018	3	1,2	3,5	0,8	4,50
2	sábado, mar 24 2018	3	1,2	3,5	0,8	4,50
3	jueves, abr 05 2018	3	0,6	1,8	0,4	4,15
4	jueves, abr 05 2018	3	0,7	0,7	0,1	4,99
Rendimiento Promedio						4,54
Desviación estándar						0,34
Coeficiente de variación						8%
fi						17%
Rendimiento real						5,29

Seguidamente aparecen los resultados obtenidos de productividad de relleno de celdas de la muestra 4.

Para comenzar se tiene en el cuadro 7, la clasificación de las actividades en tiempo productivo, tiempo de soporte y tiempo perdido.

CUADRO 7. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE RELLENO DE CELDAS

Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Verter sacco en máquina	Mover máquina	Hablando
Supervisar colada	Alcanzar objeto	Espera
Tapar huecos	Instructivo	Arreglar máquina
Fijar varillas		Viaje
Limpieza de rebaba		

Asimismo, se adjunta el gráfico de barras, en la figura 20, obtenido por el método de Crew Balance, con el porcentaje de tiempo que le dedicó el trabajador a la actividad durante el

muestreo. Cada actividad está representada por un color diferente, como lo indica la simbología del gráfico.

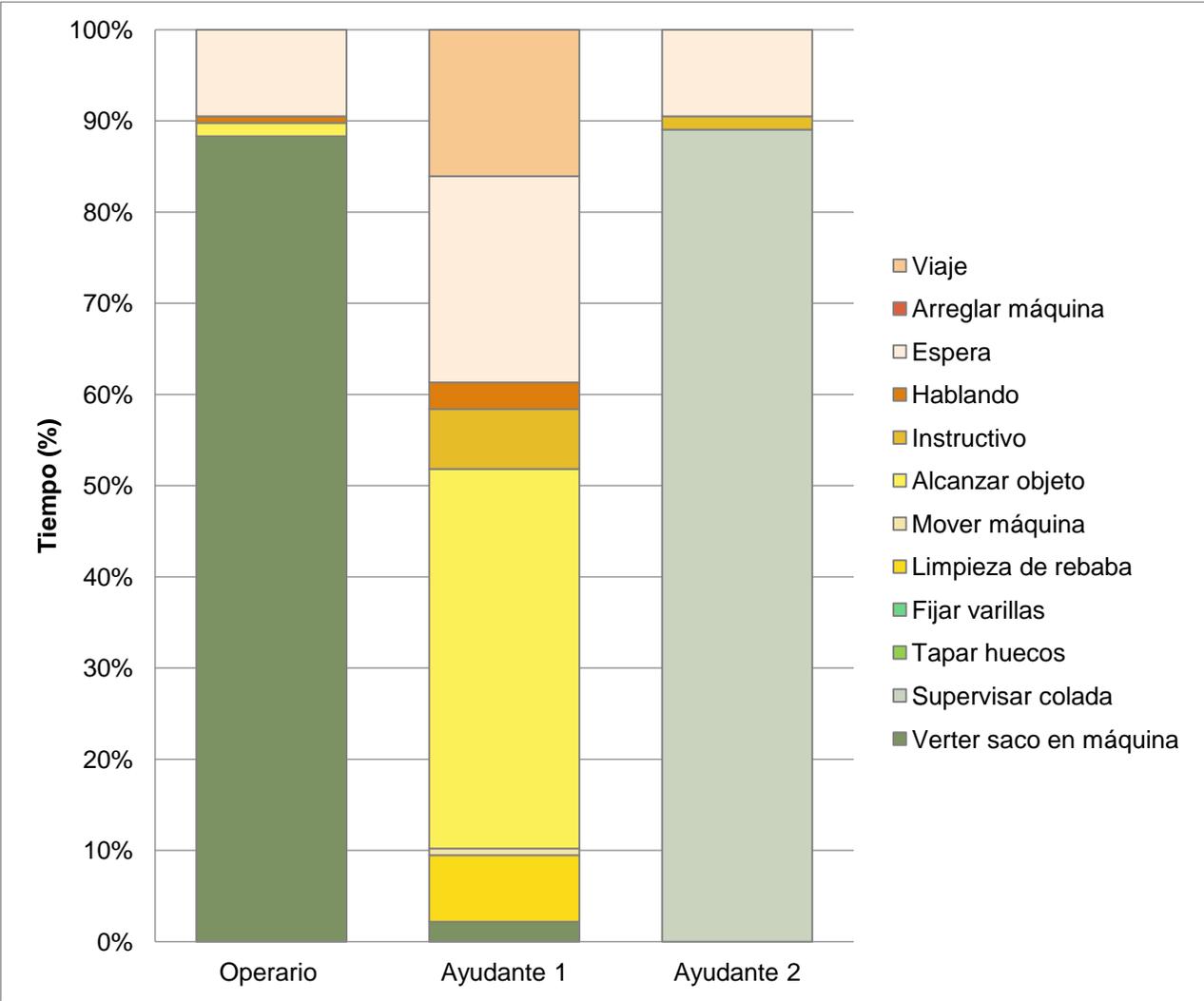


Figura 20. Crew Balance de muestra 4 del relleno de celdas.

En la figura 21 están los resultados de productividad de cada integrante de la cuadrilla por el método de Five Minute Rating. El color

verde es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

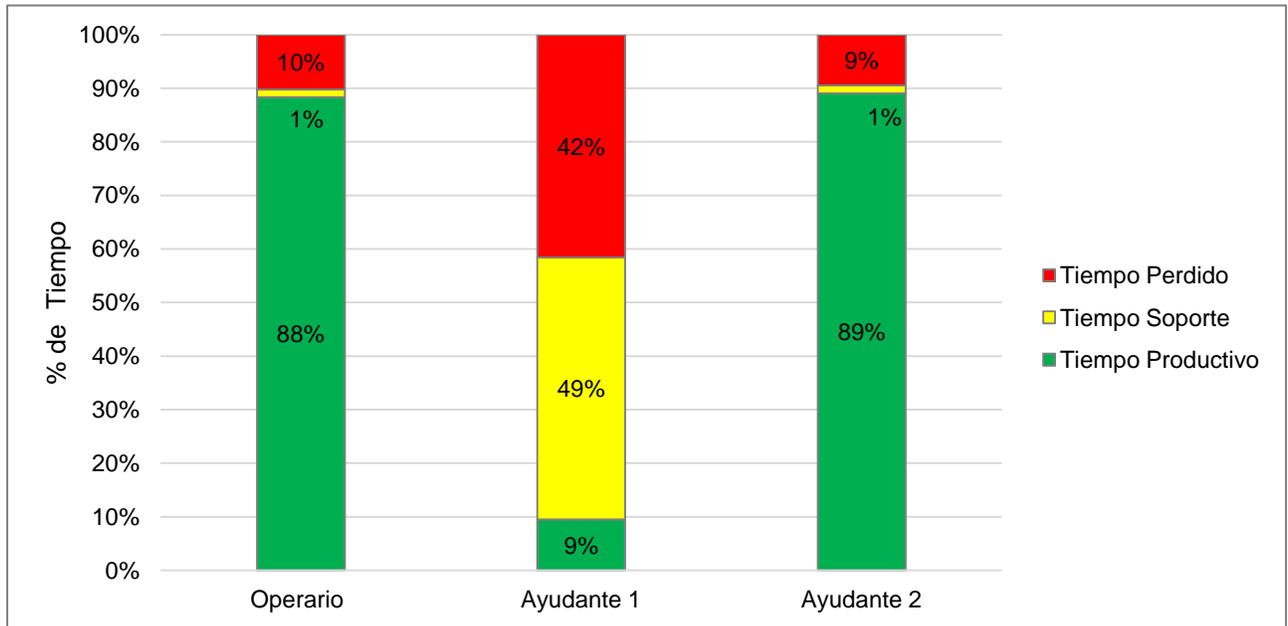


Figura 21. Five minute rating de muestra 4 del relleno de celdas.

En la figura 22, el porcentaje de productividad de la cuadrilla en general, obtenida por el método de Work Sampling. El color verde es tiempo

productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

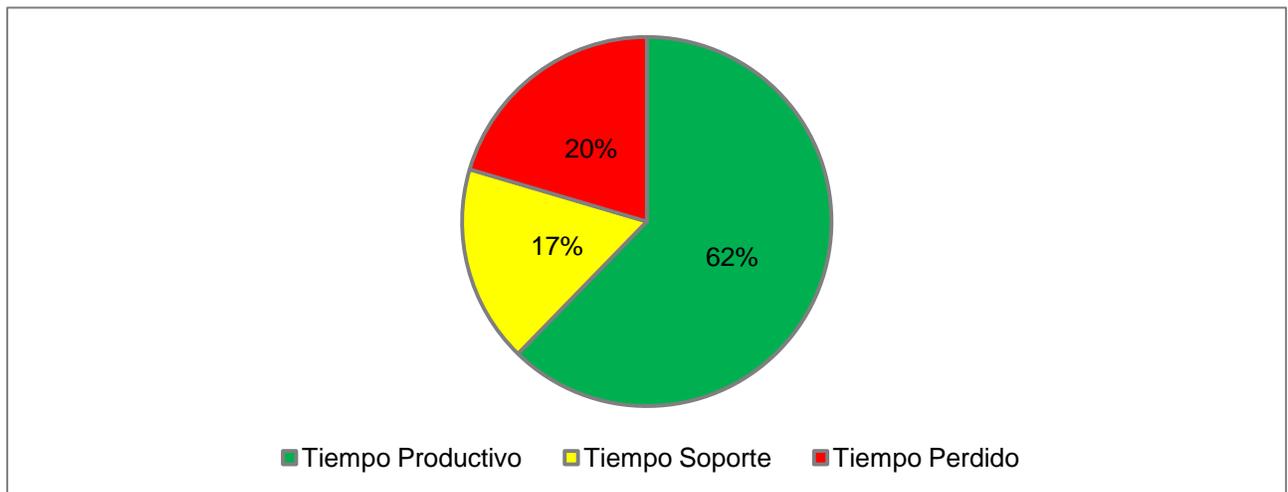


Figura 22. Work Sampling de muestra 4 del relleno de celdas

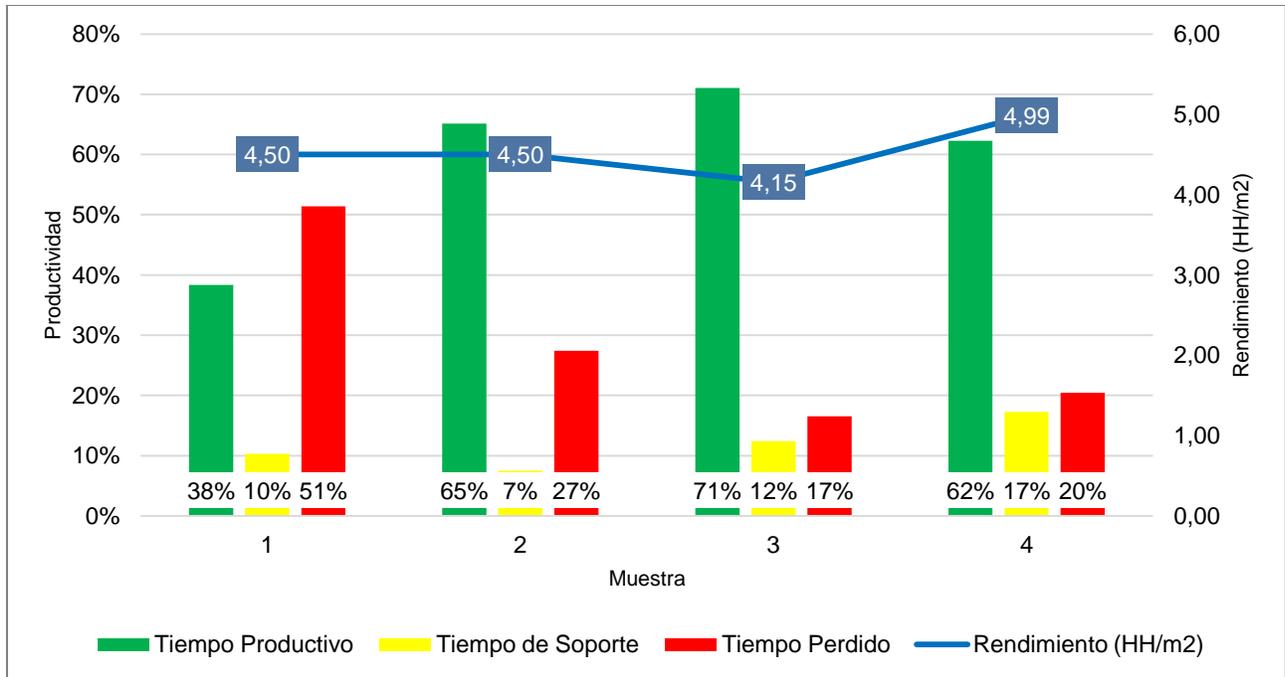


Figura 23. Resumen de productividad y rendimientos de las cuatro muestras de relleno de celdas.

Diagrama de recorrido

Cabe destacar que el proceso relleno de celdas no presenta diagrama de recorrido.

Reloj GPS

En la figura 24 se observan los datos y el recorrido realizado por el trabajador en la actividad de relleno de celdas.

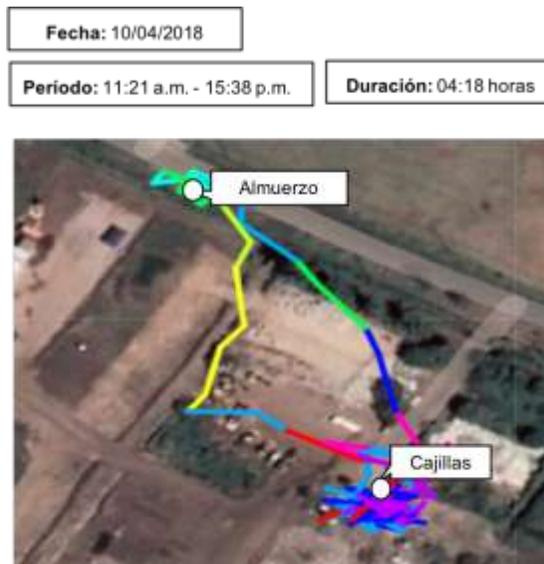


Figura 24. Diagrama de recorrido con reloj GPS en relleno de celdas.

Encofrado de columnas

Ilustración de proceso

La siguiente figura 25 muestra el proceso de encofrado de columnas con formaleta Steel-Ply, entre dos personas.



Figura 25. Encofrado de columna con formaleta Steel-Ply.

Recursos y diagramas de flujo

En la figura 26 se explica el proceso por medio de un diagrama de flujo. En el cuadro 8, se muestran los recursos utilizados en el encofrado de columnas.

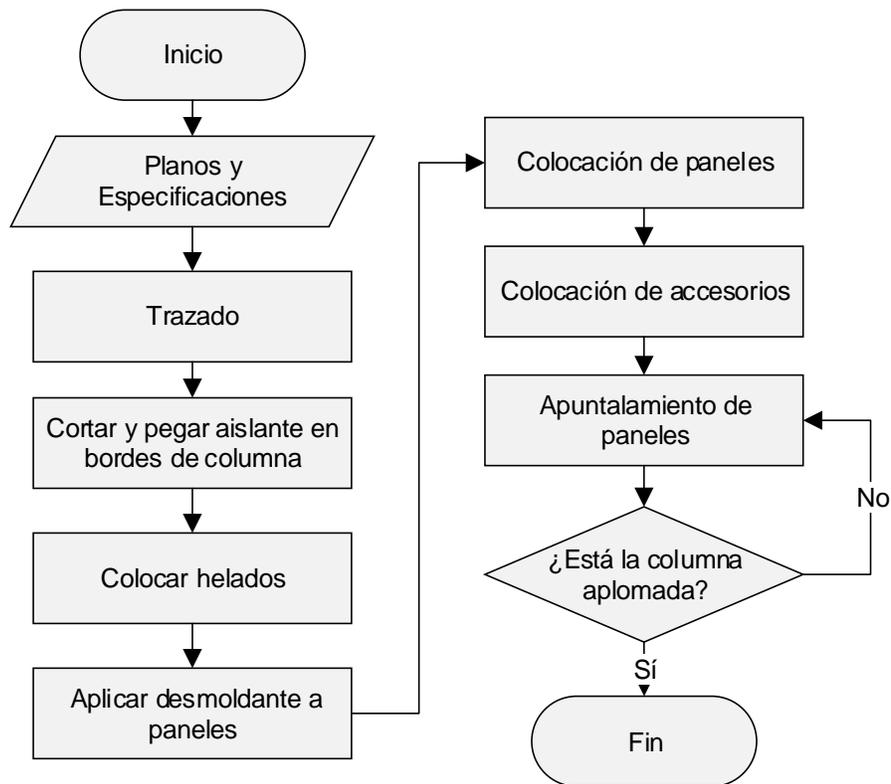


Figura 26. Diagrama de flujo de encofrado de columnas rectangulares.

CUADRO 8. RECURSOS UTILIZADOS EN ENCOFRADO DE COLUMNAS		
Mano de Obra	Material	Equipo y Herramientas
1 Carpintero 1 Ayudante	Desmoldante Alambre Helados Madera Agua Aislante Pegamento	Paneles de formaleta Anclajes Grapas Martillo Rodillo Tenaza Puntales Andamios/Escalera Flexómetro

Productividad y rendimientos

A continuación, los resultados obtenidos para productividad y rendimiento de encofrado de

columnas. El resumen de los rendimientos de cuatro muestras en el cuadro 9, con su promedio y coeficiente de variación.

CUADRO 9. RENDIMIENTO DE ENCOFRADO DE COLUMNAS						
# Muestra	Fecha	Cant. Trabajadores	Duración (horas)	Horas Hombre (HH)	Cantidad (m2)	Rendimiento (HH/m2)
1	jueves, mar 08 2018	2	6,7	13,3	3,6	3,70
2	viernes, mar 09 2018	2	6,7	15,7	4,7	3,35
3	lunes, mar 19 2018	2	5,7	11,3	4,8	2,35
4	lunes, mar 26 2018	2	7,0	14,0	6,0	2,32
Rendimiento Promedio						2,93
Desviación estándar						0,70
Coeficiente de variación						24%
fi						16%
Rendimiento real						3,40

Los resultados obtenidos de productividad de encofrado de columnas de la muestra 2.

Se tiene en el cuadro 10, la clasificación de las actividades en tiempo productivo, tiempo de soporte y tiempo perdido.

CUADRO 10. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ENCOFRADO DE COLUMNAS		
Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Colocar panel	Medición	Hablando
Colocar accesorios	Transporte de objeto	Espera
Apuntalamiento	Instructivo	Descanso
Trabajos con madera	Seguridad	Viaje

Se adjunta el gráfico de barras, en la figura 27, obtenido por el método de Crew Balance, en el cual aparece el porcentaje de tiempo que le dedicó

el trabajador a la actividad durante el muestreo. Cada actividad está representada por un color diferente, como lo indica la simbología del gráfico.

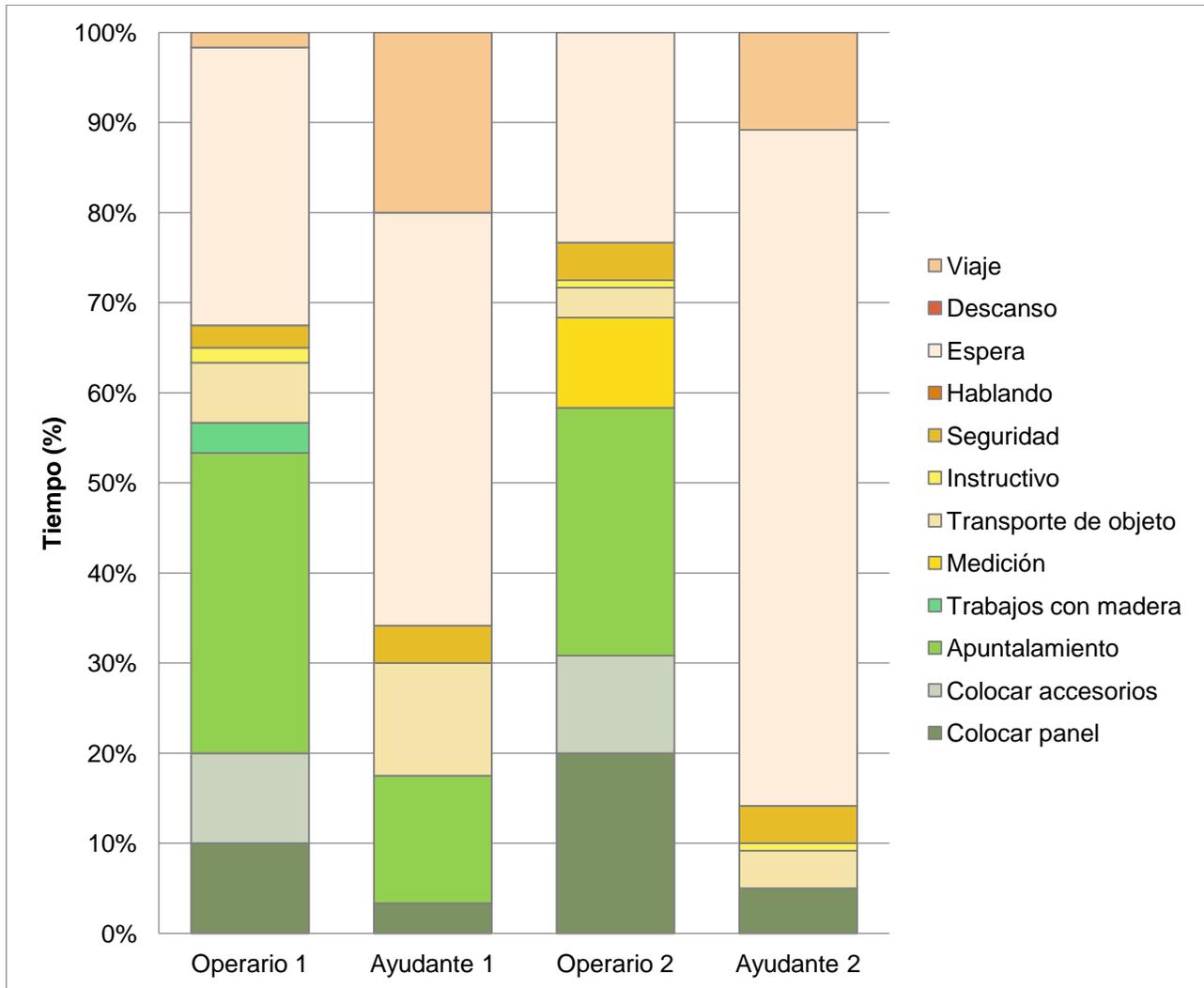


Figura 27. Crew balance de muestra 2 de encofrado de columnas.

En la figura 28 están los resultados de productividad de cada integrante de la cuadrilla por el método de Five Minute Rating. El color

verde es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

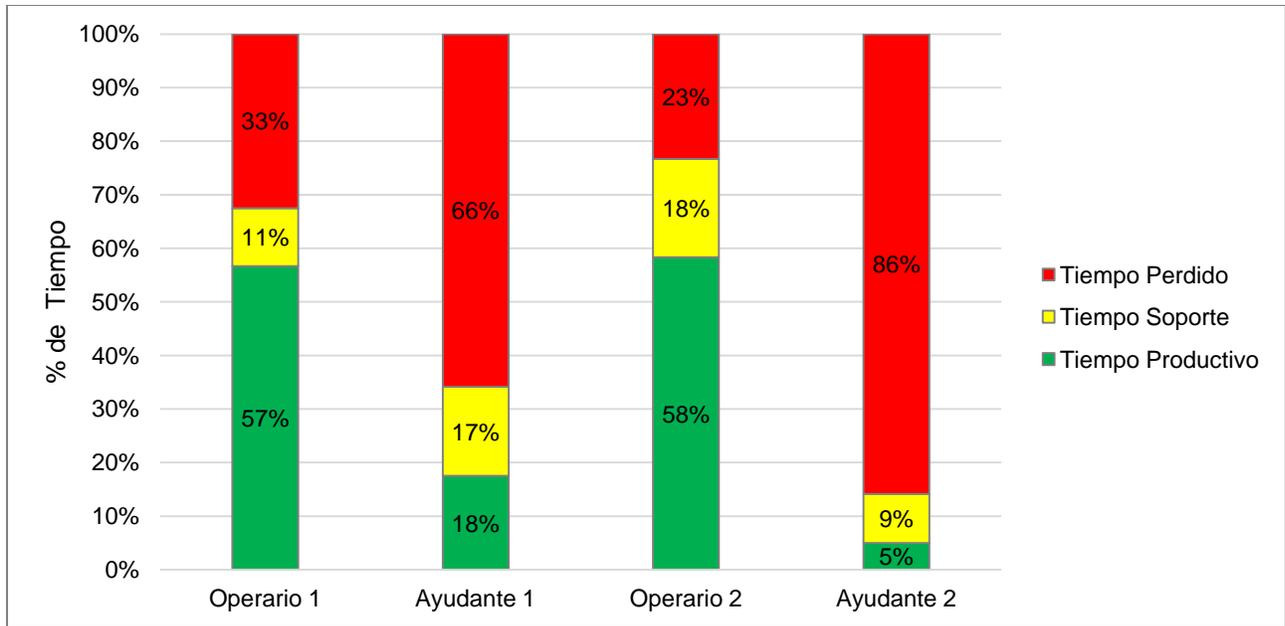


Figura 28. Five minute rating de muestra 2 de encofrado de columnas

Luego se tiene en la figura 29, el porcentaje de productividad de la cuadrilla en general, obtenida por el método de Work Sampling. El color verde

es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

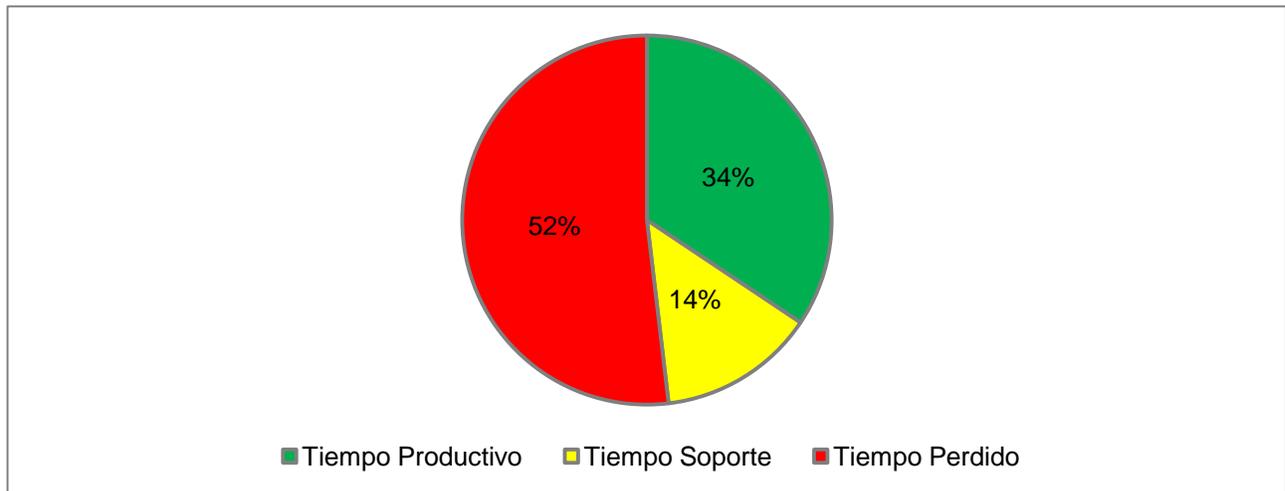


Figura 29. Work sampling de muestra 2 de encofrado de columnas.

Como punto de comparación se tiene la figura 30, en el cual se recopilan los resultados de productividad general de las cuatro muestras de

encofrado de columnas, así como el rendimiento de cada uno.

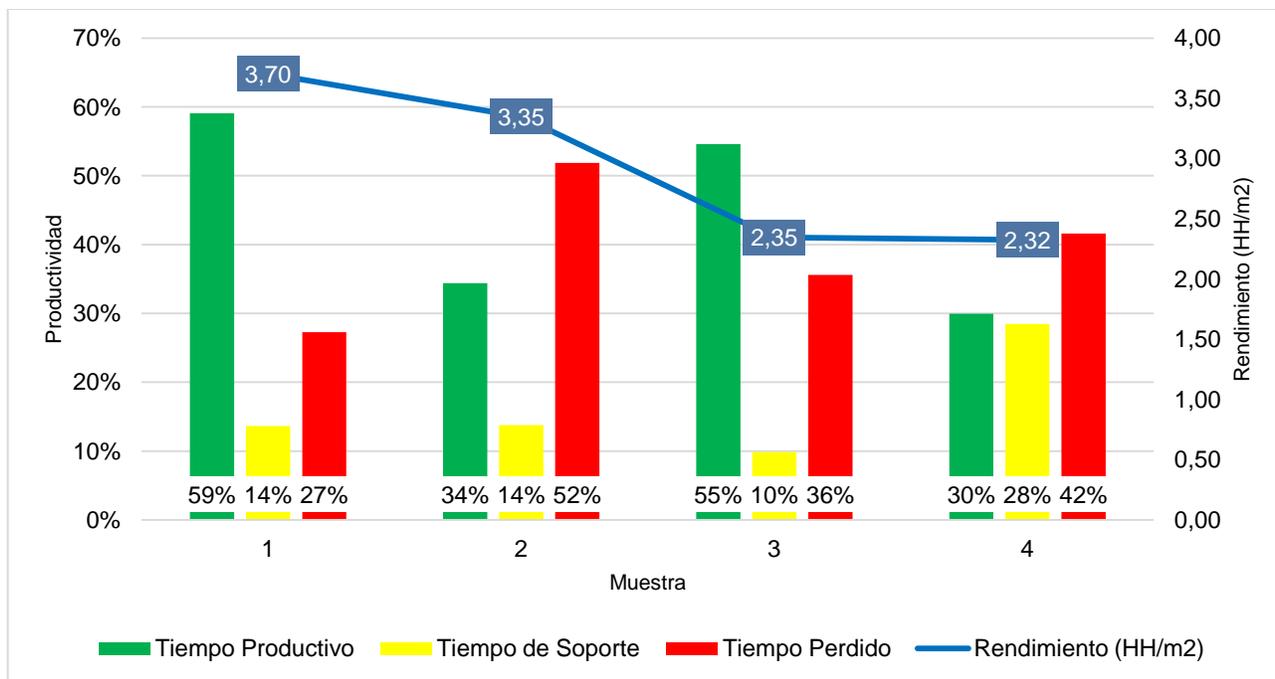


Figura 30. Resumen de productividad y rendimientos de las cuatro muestras de encofrado de columnas.

Diagrama de recorrido

A continuación, están en el cuadro 11 los datos de tiempo y distancia obtenidos de la muestra 2, y en la figura 31 el diagrama de recorrido.

CUADRO 11. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE ENCOFRADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 2			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Encofrado Columna	–	–
2	Acopio de panel, puntal y accesorios	–	–
3	Transporte de panel, puntal, accesorio	9	6
4	Mesa de corte de madera	–	–
5	Transporte de madera	7	5

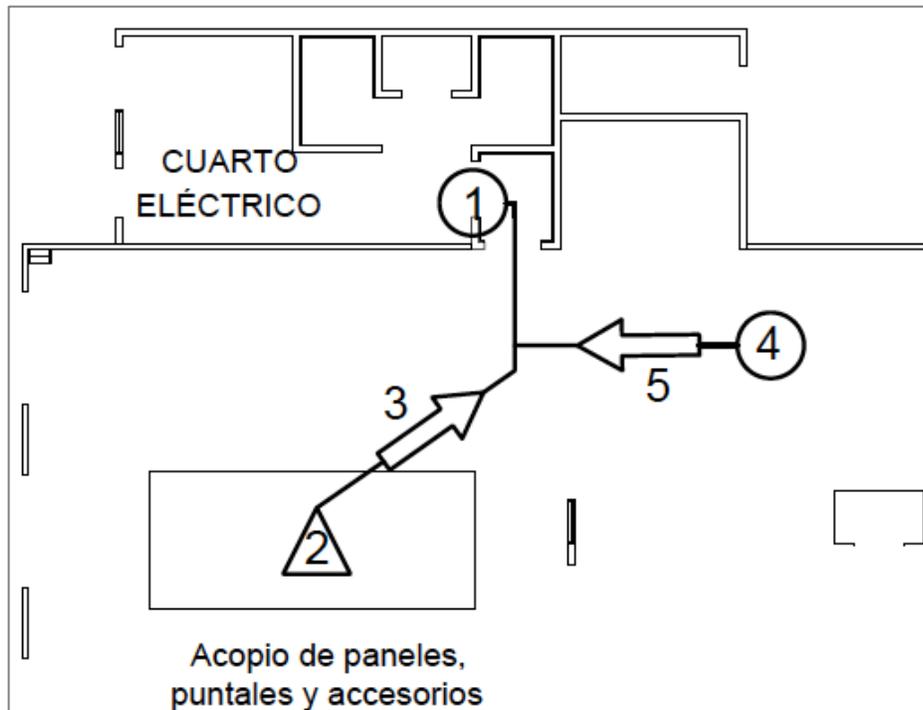


Figura 31. Diagrama de recorrido de muestra 2 de encofrado de columnas rectangulares.

Colado de columnas

Ilustración de proceso

La siguiente figura 32 muestra el proceso de colado de columnas con baldes de hule y concreto del camión mezclador.



Figura 32. Colado de columna con carrito y baldes.

Recursos y diagramas de flujo

En la figura 33 se explica el proceso por medio de un diagrama de flujo. En el cuadro X, los recursos utilizados en el colado de columnas.

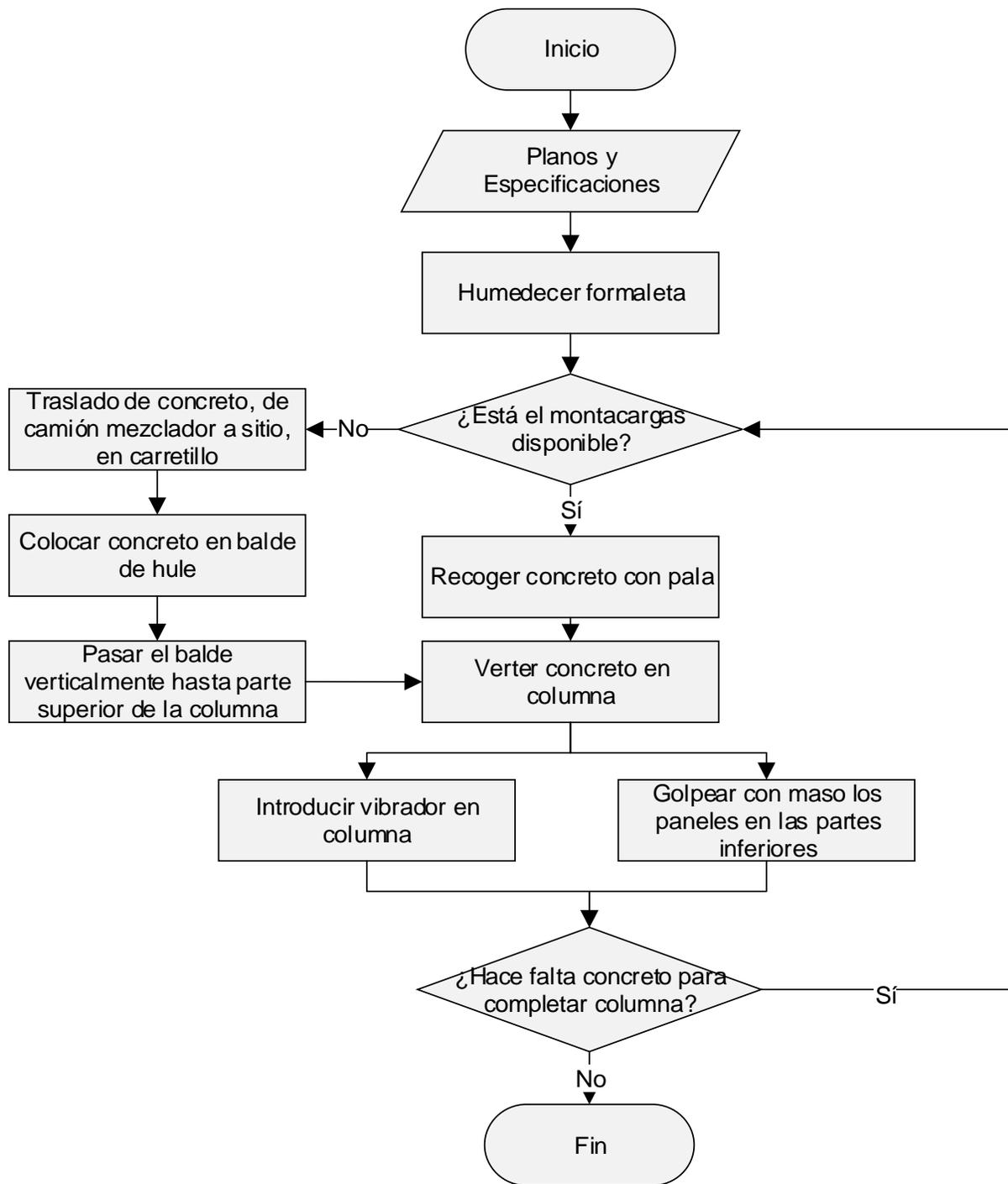


Figura 33. Diagrama de flujo de colado de columnas rectangulares.

CUADRO 12. RECURSOS UTILIZADOS EN COLADO DE COLUMNAS		
Mano de Obra	Material	Equipo y Herramientas
2-4 Carpinteros 2-4 Ayudantes 1 Supervisor	Concreto premezclado con f'c de 280 kg/cm ²	Baldes Carretillo Masos Vibrador Andamio/Escalera Manguera Pala

Productividad y rendimientos

colado de columnas. Incluye el resumen de los rendimientos de cinco muestras en el cuadro 13, con su promedio y coeficiente de variación.

A continuación, los resultados obtenidos en productividad y rendimiento para el proceso de

CUADRO 13. RENDIMIENTO DE COLADO DE COLUMNAS						
# Muestra	Fecha	Cant. Trabajadores	Duración (horas)	Horas Hombre (HH)	Cantidad (m3)	Rendimiento (HH/m3)
1	jueves, feb 22 2018	5	0,5	2,5	0,4	6,90
2	jueves, mar 08 2018	7	0,7	4,7	0,7	7,00
3	viernes, mar 09 2018	4	0,3	1,3	0,3	4,06
4	lunes, mar 19 2018	6-7	0,8	5,3	0,8	6,58
5	miércoles, mar 28 2018	4	0,8	3,2	0,9	3,50
Rendimiento Promedio						5,61
Desviación estándar						1,69
Coeficiente de variación						30%
fi						4%
Rendimiento real						5,81

Los resultados obtenidos de productividad de colado de columnas de la muestra 2. Se tiene en el cuadro 14, la clasificación de las actividades en

tiempo productivo, tiempo de soporte y tiempo perdido.

CUADRO 14. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE COLADO DE COLUMNAS

Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Verter concreto	Transporte concreto	Hablando
Pasar concreto con balde	Transporte otros	Espera
Vibrar	Instructivo	Descanso
Golpear con maso	Seguridad	Viaje

Asimismo, se adjunta el gráfico de barras, en la figura 34, obtenido por el método de Crew Balance, en el cual se presenta el porcentaje de tiempo que le dedicó el trabajador a la actividad

durante el muestreo. Cada actividad está representada por un color diferente, como lo indica la simbología del gráfico.

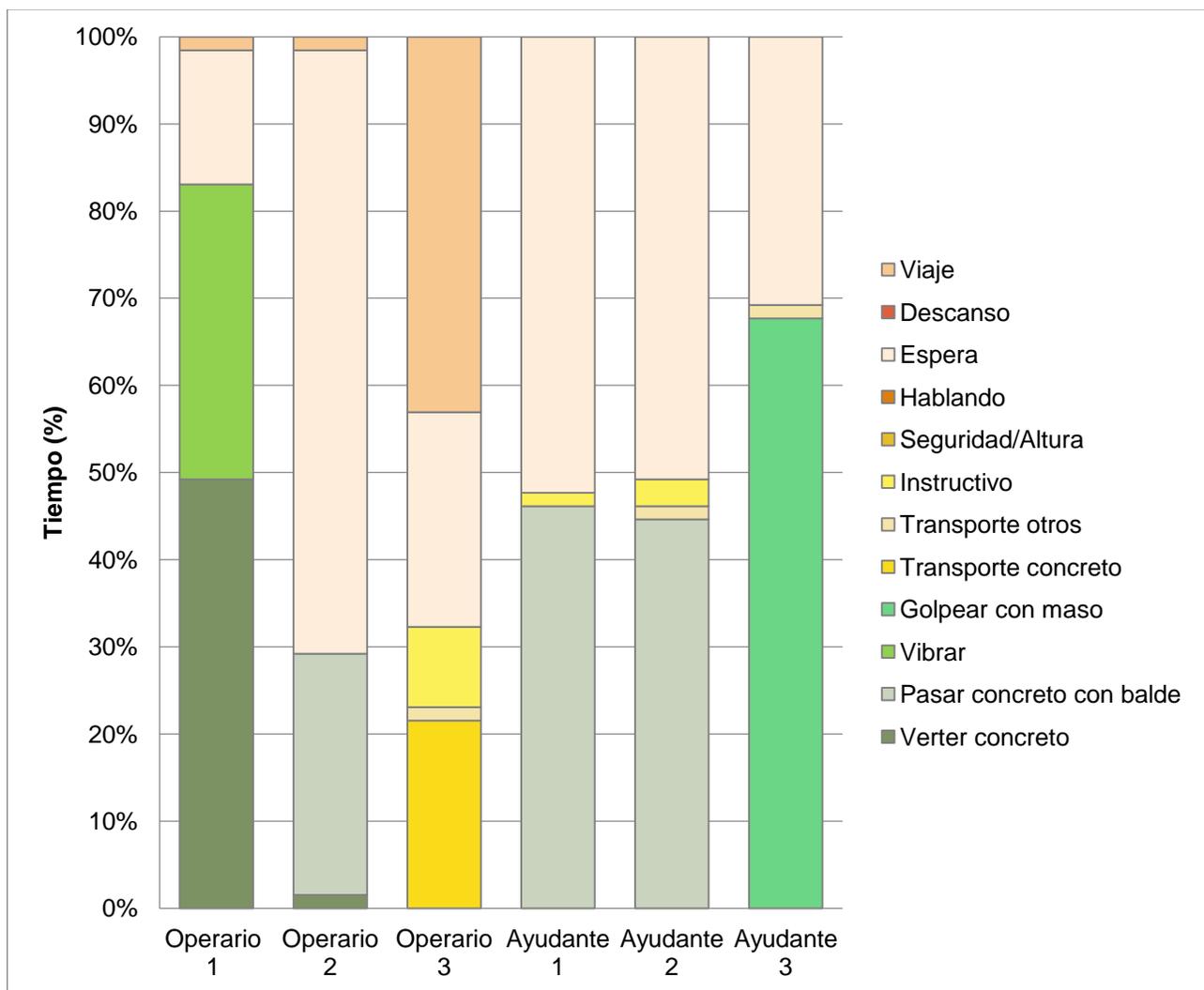


Figura 34. Crew balance de muestra 2 de colado de columnas.

En la figura 35 están los resultados de productividad de cada integrante de la cuadrilla por el método de Five Minute Rating. El color

verde es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

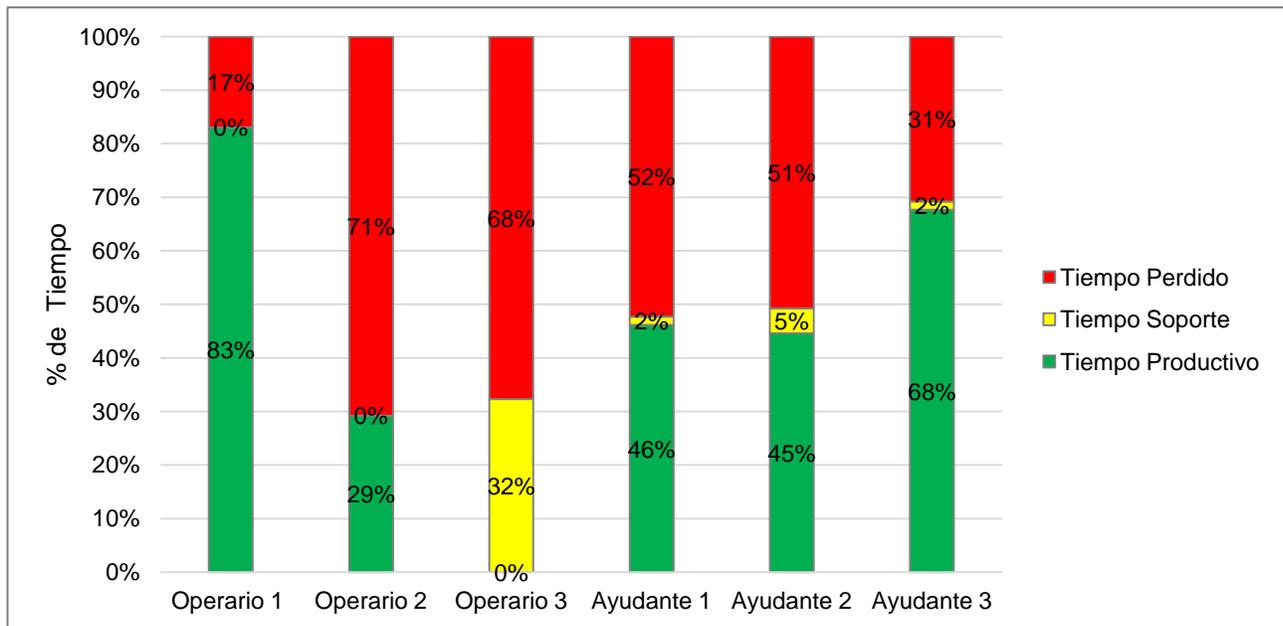


Figura 35. Five minute rating de muestra 2 de colado de columnas.

Luego se tiene en la figura 36, el porcentaje de productividad de la cuadrilla en general, obtenida por el método de Work Sampling. El color verde

es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

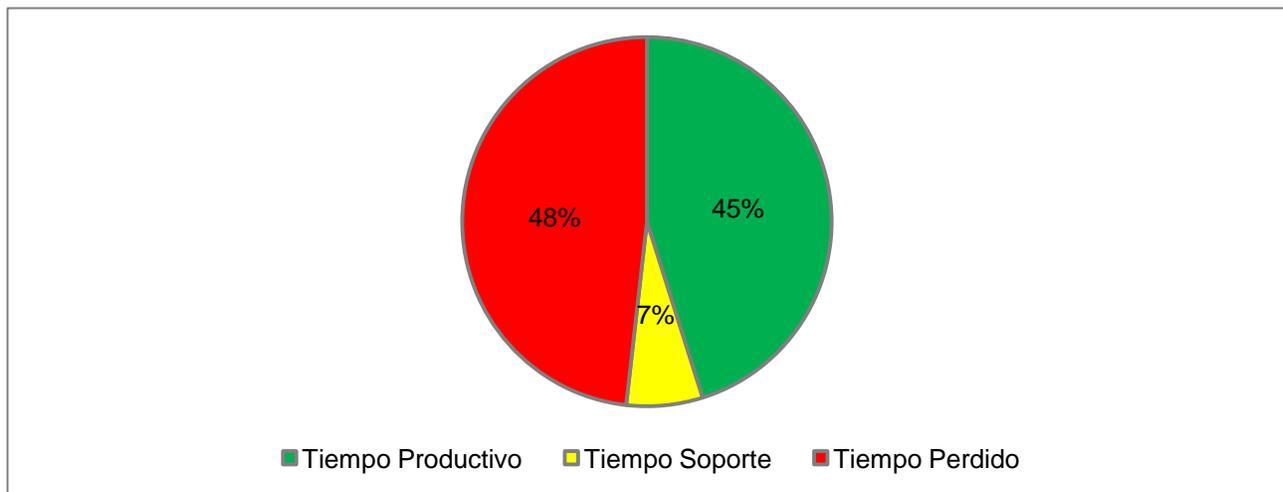


Figura 36. Work sampling de muestra 2 de colado de columnas.

Como punto de comparación se tiene la figura 37, en el cual se recopilan los resultados de productividad general de las cinco muestras de

colado de columnas, así como el rendimiento de cada uno.

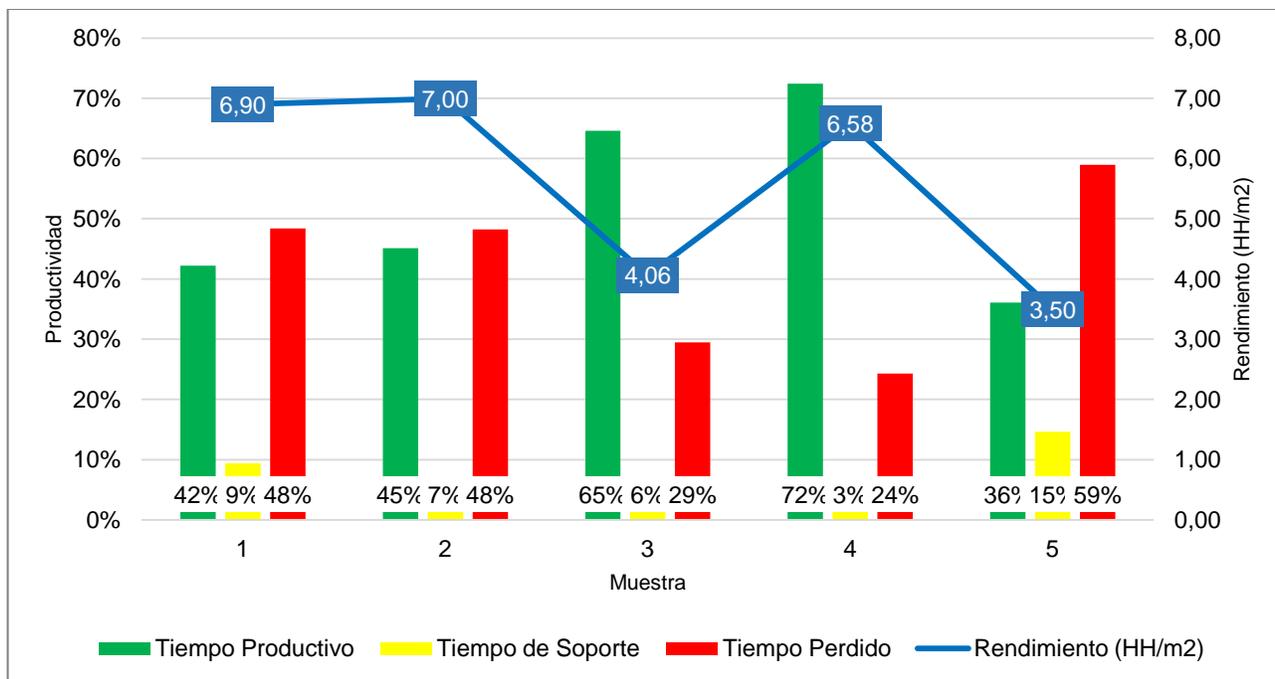


Figura 37. Resumen de productividad y rendimientos de las cinco muestras de colado de columnas.

Diagrama de recorrido

A continuación, en el cuadro 15, los datos de tiempo y distancia obtenidos de la muestra 2, y en la figura 38 el diagrama de recorrido.

CUADRO 15. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE COLADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 2			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Colado columna	–	–
2	Inspección de calidad de concreto Camión mezclador con concreto	–	–
3	Transporte de concreto en carretillo	31	20



Figura 38. Diagrama de recorrido de muestra 2 de colado de columnas rectangulares.

Desencofrado de columnas

Ilustración de proceso

La siguiente figura 39 muestra el proceso de desencofrado de columnas.



Figura 39. Desencofrado de columna con cuadrilla de dos personas.

Recursos y diagramas de flujo

En la figura 40 se explica el proceso por medio de un diagrama de flujo. En el cuadro 16 se muestran los recursos utilizados en el desencofrado de columna

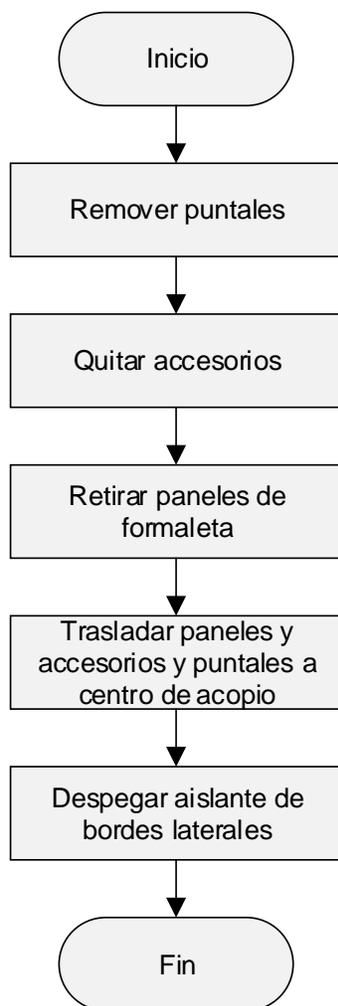


Figura 40. Diagrama de desencofrado de columnas rectangulares.

CUADRO 16. RECURSOS UTILIZADOS EN DESENCOFRADO DE COLUMNAS	
Mano de Obra	Equipo y Herramientas
1 Carpintero 1 Ayudante	Martillo Tenaza Espátula Escalera

Productividad y rendimientos

A continuación, los resultados obtenidos de productividad y rendimiento para el proceso de

desencofrado de columnas. Incluye el resumen de los rendimientos de cuatro muestras en el cuadro 17, con su promedio y coeficiente de variación.

CUADRO 17. RENDIMIENTO DE DESENCOFRADO DE COLUMNAS						
# Muestra	Fecha	Cant. Trabajadores	Duración (horas)	Horas Hombre (HH)	Cantidad (m ²)	Rendimiento (HH/m ²)
1	miércoles, mar 07 2018	2	1,3	2,7	3,1	0,85
2	martes, mar 27 2018	4-2	1,2	4,0	5,7	0,71
3	viernes, abr 06 2018	2	1,5	3,0	3,4	0,87
4	jueves, abr 12 2018	2	1,9	3,8	7,7	0,50
Rendimiento Promedio						0,73
Desviación estándar						0,17
Coeficiente de variación						24%
fi						14%
Rendimiento real						0,84

Seguidamente, los resultados obtenidos de productividad de desencofrado de columnas de la muestra 4.

En el cuadro 18, la clasificación de las actividades en tiempo productivo, tiempo de soporte y tiempo perdido.

CUADRO 18. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE DESENCOFRADO DE COLUMNAS		
Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Remover puntales	Instructivo	Hablando
Quitar accesorios	Transporte de puntal	Espera
Retirar paneles de formaleta	Transporte de accesorios	Descanso
Limpieza de paneles	Transporte de paneles	Viaje
	Seguridad	

Asimismo, se adjunta el gráfico de barras, en la figura 41, obtenido por el método de Crew Balance, en el cual se muestra el porcentaje de tiempo que le dedicó el trabajador a la actividad

durante el muestreo. Cada actividad está representada por un color diferente, como lo muestra la simbología del gráfico.

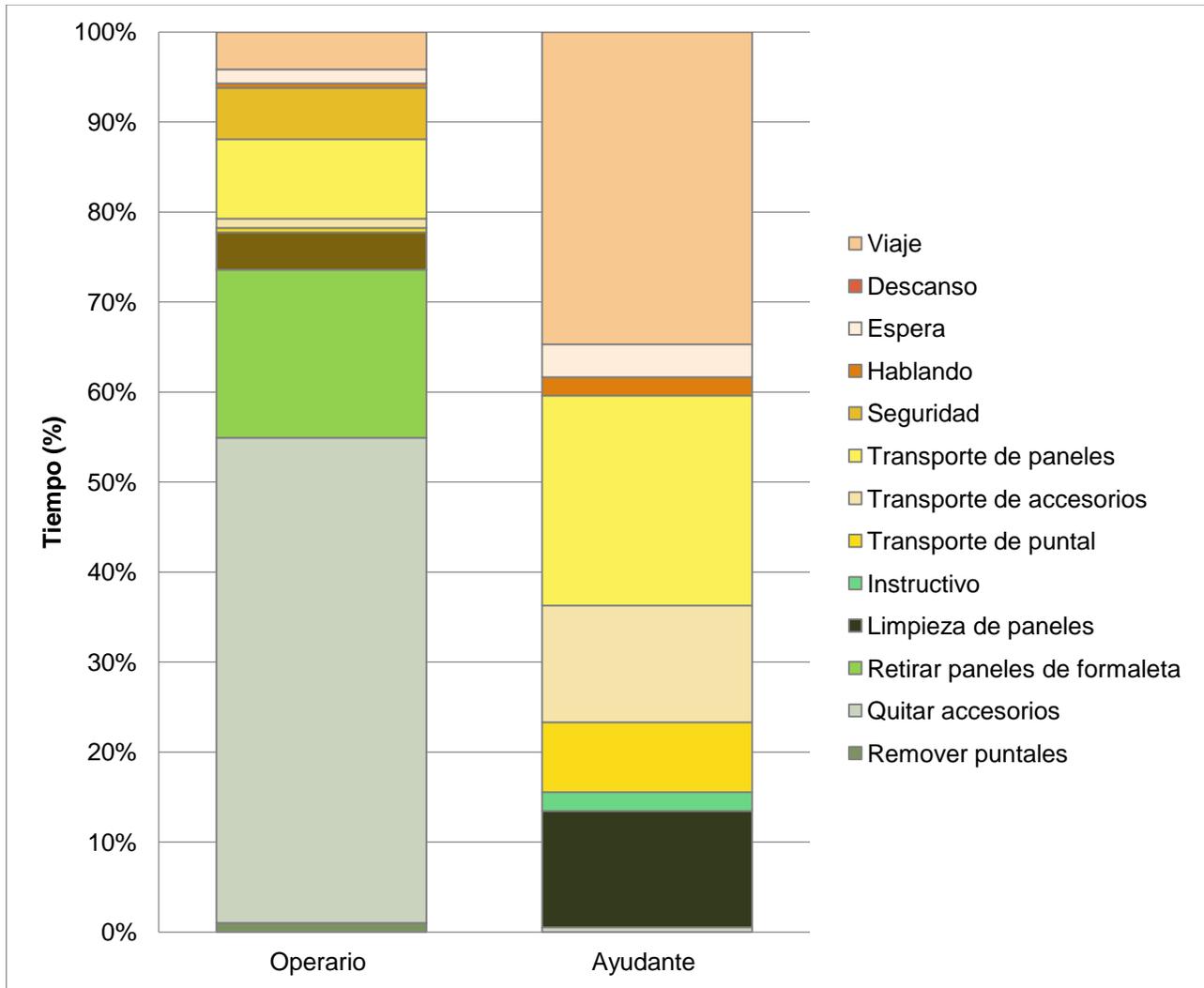


Figura 41. Crew balance de muestra 4 de desencofrado de columnas.

En la figura 42, los resultados de productividad de cada integrante de la cuadrilla por el método de Five Minute Rating. El color verde es tiempo

productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

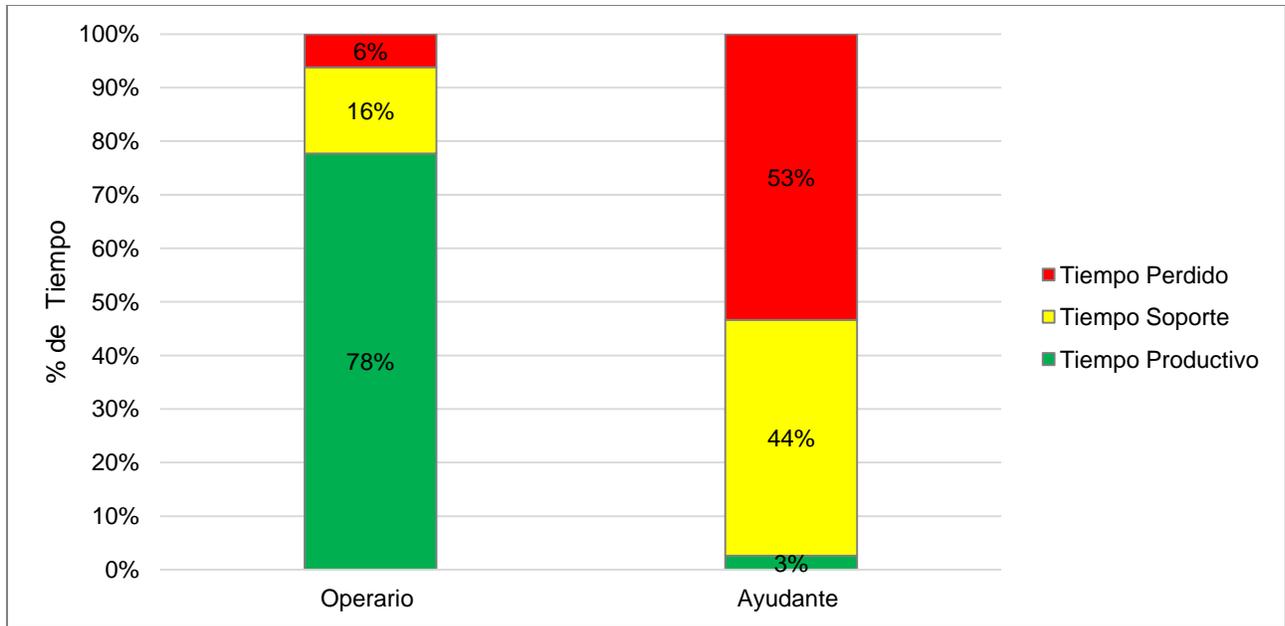


Figura 42. Five minute rating de muestra 4 de desencofrado de columnas.

Luego se tiene en la figura 43, el porcentaje de productividad de la cuadrilla en general, obtenida por el método de Work Sampling. El color verde

es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

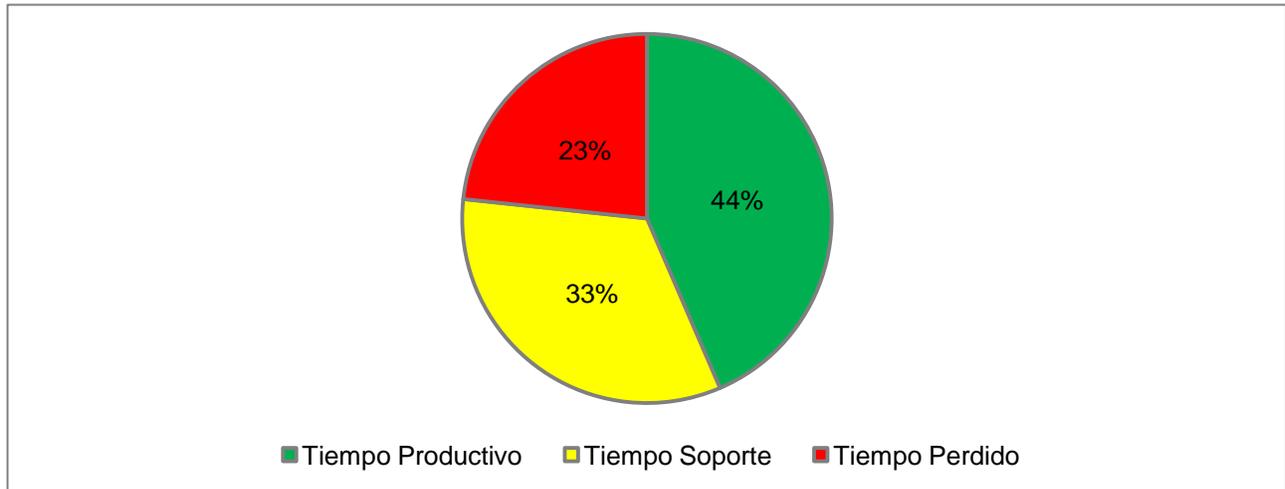


Figura 43. Work sampling de muestra 4 de desencofrado de columnas.

Como punto de comparación se tiene la figura 44, en el cual se recopilan los resultados de productividad general de las cuatro muestras de

desencofrado de columnas, así como el rendimiento de cada uno.

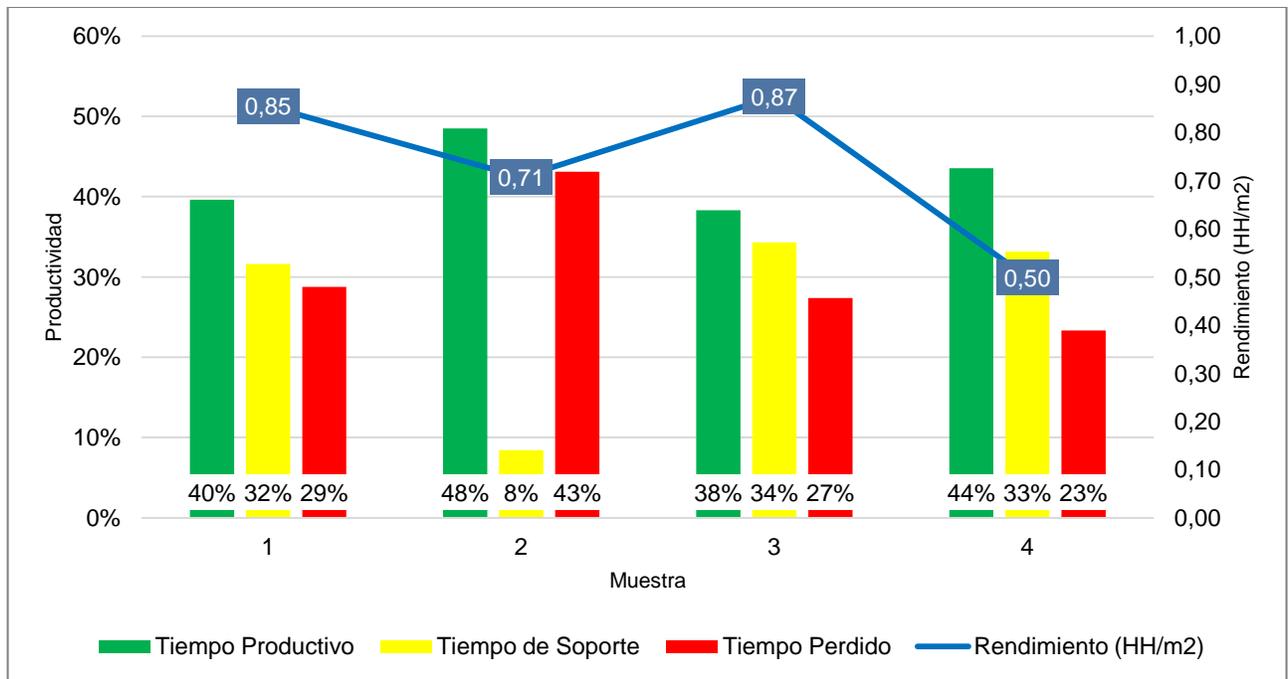


Figura 44. Resumen de productividad y rendimientos de las cuatro muestras de desencofrado de columnas.

Diagrama de recorrido

A continuación, se enseña en el cuadro 19 los datos de tiempo y distancia obtenidos de la muestra 1, y en la figura 45 el diagrama de recorrido.

CUADRO 19. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE DESENCOFRADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 4			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Desencofrado Columna	–	–
2	Transporte de panel, puntal, accesorio	52	40
3	Acopio de panel, puntal y accesorios	–	–

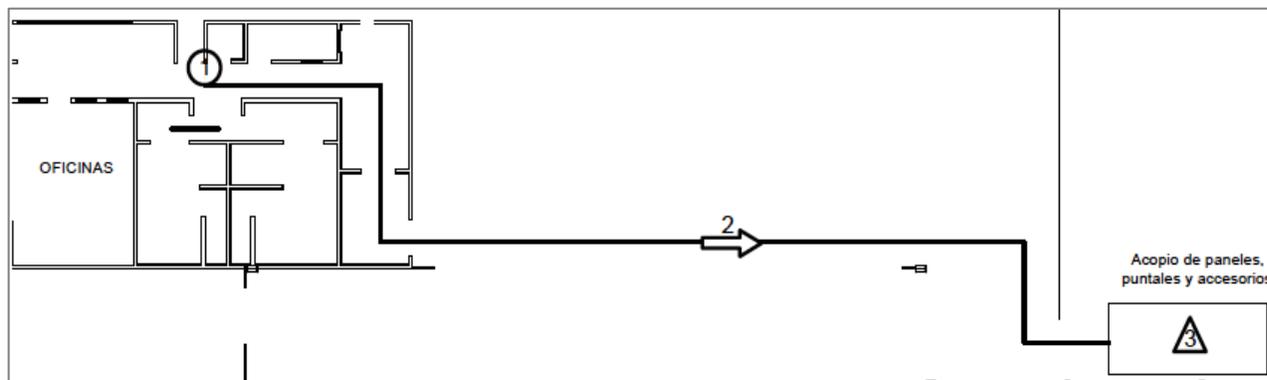


Figura 45. Diagrama de recorrido de muestra 1 de desencofrado de columnas rectangulares.

Reloj GPS

En la figura 46 se observan los datos y el recorrido realizado por un ayudante en la actividad de encofrado y colado de columnas.

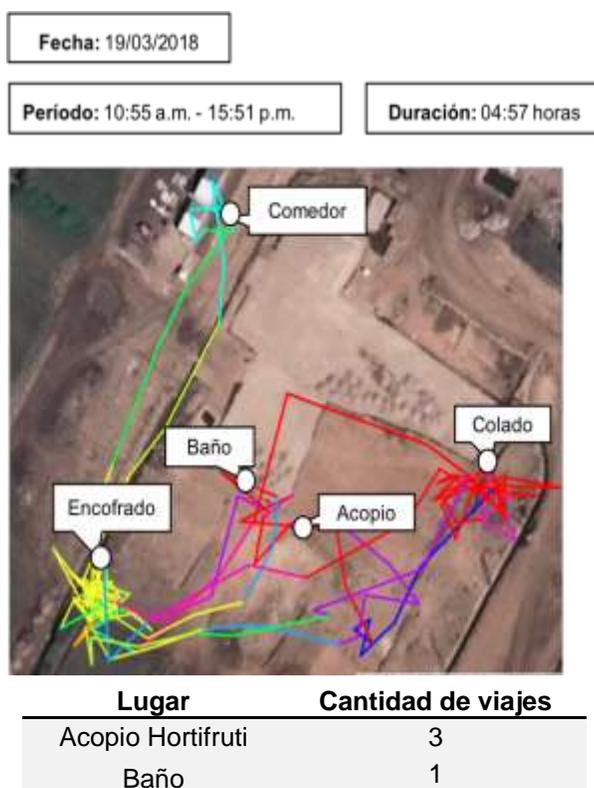


Figura 46. Diagrama de recorrido con reloj GPS en columnas.

Causas de disminución de la productividad en CEDI Coris

Encuesta

El cuadro 20 sintetiza los resultados de ocho preguntas realizadas a 36 trabajadores de CEDI Coris.

CUADRO 20. RESUMEN DE ENCUESTA REALIZADA A TRABAJADORES EN CEDI CORIS				
Pregunta	Moda CEDI Coris	Categorías		
1. ¿Cómo califica las áreas de uso común (baño, comedor, hidratación)?	3	1 = Mal	2 = Regular	3 = Bien
2. ¿Cómo califica la cercanía y disponibilidad de material?	3	1 = Mal	2 = Regular	3 = Bien
3. ¿Cómo califica la cercanía y disponibilidad de herramientas y equipo?	3	1 = Mal	2 = Regular	3 = Bien
4. ¿Cómo califica el orden y la limpieza del proyecto?	3	1 = Mal	2 = Regular	3 = Bien
5. ¿Siente que su cuadrilla está bien dimensionada?	2	1 = Subdimensionada	2 = Adecuada	3 = Sobredimensionada
6. ¿Interviene con su trabajo la labor de las otras cuadrillas?	2	1 = Nada	2 = Ocasionalmente	3 = Repetidas veces
7. ¿Siente que el clima afecta su productividad?	2	1 = Nada	2 = Más o menos	3 = Mucho
8. ¿Se siente motivado trabajando?	3	1 = Nada	2 = Más o menos	3 = Mucho

Asimismo, se tiene en la figura 47 los resultados a la siguiente pregunta: ¿Cuánto tiempo lleva laborando para la empresa?

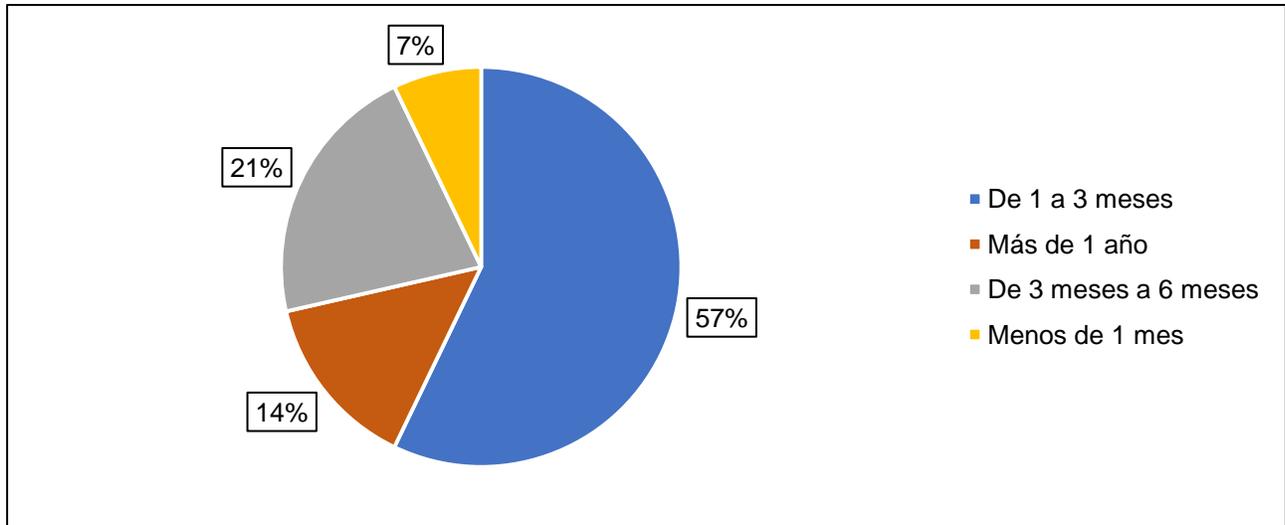


Figura 47. Tiempo laborando para la empresa en el proyecto en CEDI Coris.

Del mismo modo se tiene en la figura 48 los resultados a la siguiente pregunta ¿Cuáles

factores creen que deberían mejorarse para aumentar la productividad?

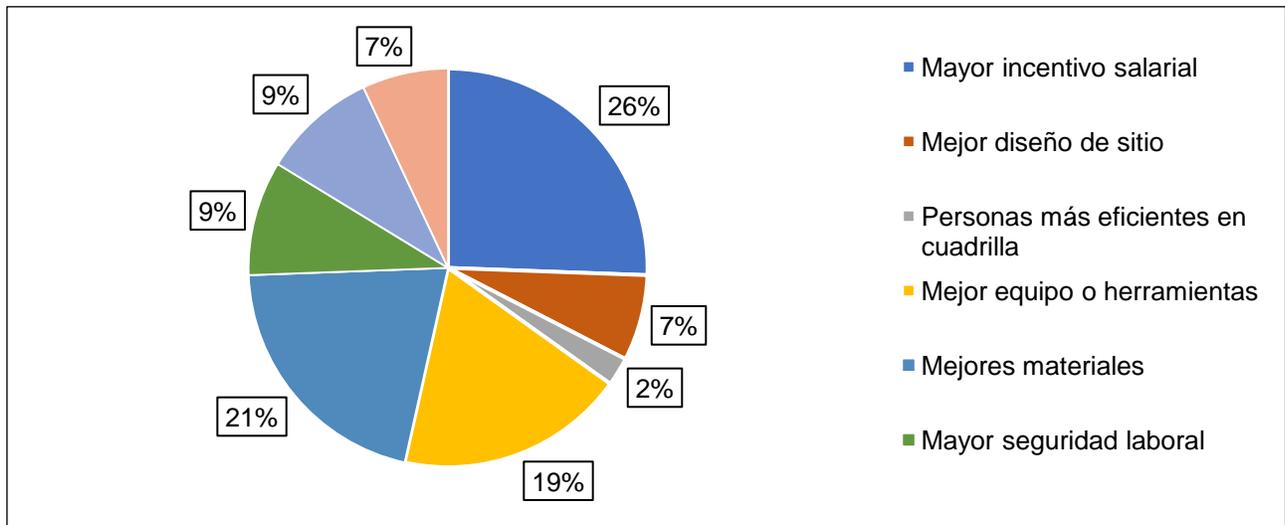


Figura 48. Factores que aumentarían la productividad en proyecto CEDI Coris.

En la figura 49, se observan causas de disminución de la productividad en los procesos

de pega de bloques de mampostería y relleno de celdas.

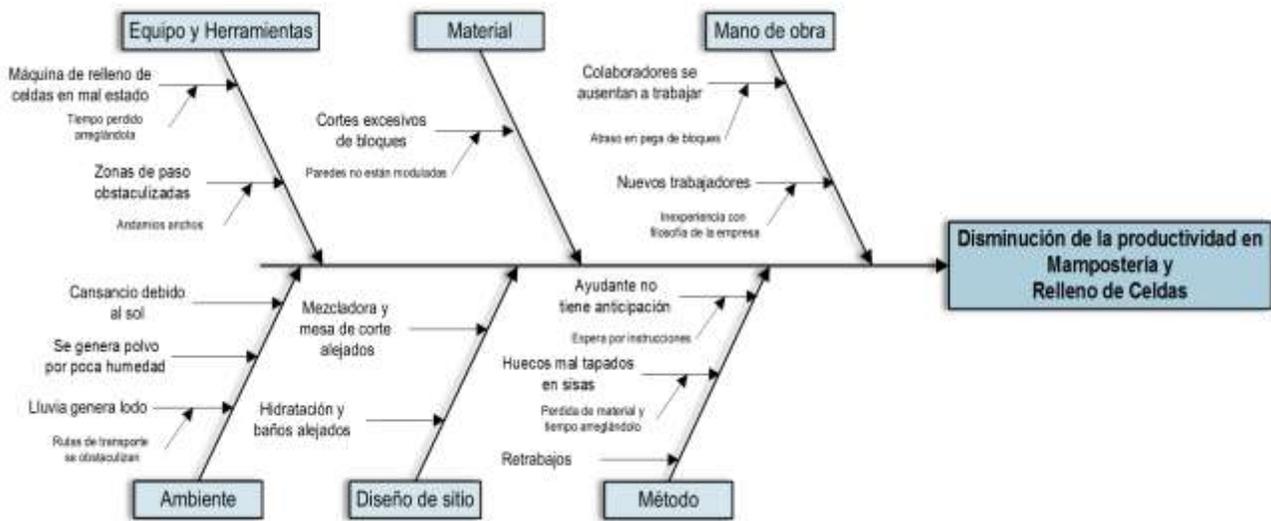


Figura 49. Diagrama de Ishikawa de factores que disminuyen la productividad en mampostería y relleno de celdas.

Igualmente se tienen las causas en la figura 50 para los procesos de encofrado, colado y desencofrado de columnas.



Figura 50. Diagrama de Ishikawa de factores que disminuyen la productividad en columnas rectangulares.

Propuesta de mejora CEDI Coris

A continuación, se presentan los principales hallazgos encontrados, junto con la recomendación brindada, que se considera que

mejoraría la productividad. De igual forma se indica el estado de la recomendación, ya sea que fue implementada, representado por un símbolo de ✓ o quedó pendiente de implementación al finalizar la práctica, con el símbolo de una X. Del cuadro 21 al cuadro 25 se menciona el plan de mejora, separado por proceso de CEDI Coris.

CUADRO 21. PLAN DE MEJORA PARA EL PROCESO DE PEGA DE BLOQUES EN CEDI CORIS		
Hallazgo	Recomendación	Estado
Los transportes en carrito de bloques de mampostería y mortero se ven interrumpidos debido a los andamios colocados, que bloquean las zonas de paso.	Actualmente se cuenta con andamios de 1,5 m de ancho, por lo que se recomendó adquirir andamios con un ancho de 0,75 m para disminuir la obstaculización de las zonas de paso, y al mismo tiempo reduciendo los transportes.	X
Se realizan excavaciones para colocar tuberías mecánicas que crean complicaciones en el tránsito de personas, ya que se reduce el espacio para transitar. Además, de que, por seguridad, se barrican creando espacios pequeños para poder transportar material.	Programar las excavaciones una vez que se termine la actividad de colocación de bloques de mampostería, ya que la actividad de tubería mecánica no se encuentra en la ruta crítica, a diferencia de la mampostería.	✓
Relacionado al anterior hallazgo, se tiene que la excavación se realiza con un operario y ayudante, trabajando alternadamente y generando tiempos de esperas.	Se recomienda considerar la posibilidad de alquilar una mini excavadora, para acelerar el proceso de excavación y disminuir tiempos de espera entre la cuadrilla.	X
Las mesas de cortante y principalmente las mezcladoras de mortero se encuentran a más de 20 metros del lugar de pega de bloques, implicando en transportes excesivos.	Procurar mantener la mezcladora y la mesa de corte lo más cercano posible, y mejor aún si se pueden tener ambas en el mismo lugar para disminuir en gran cantidad los transportes, así como para analizar una posible mejora de redistribución de funciones.	X
En la mesa de corte de bloques de mampostería se observan filas de ayudantes, esperando para que su bloque sea cortado. Asimismo, el cortador tiene tiempos muertos durante su jornada laboral.	Debido a que el cortador tiene tiempo libre, que este se encargue de realizar mediciones de los bloques previamente y tenerlos listos para que el ayudante solo llegue a la mesa a recogerlos	✓
Se observaron residuos de concreto del colado de placas corridas en lugares donde se estaban pegando bloques de mampostería.	Se debe informar al conductor del camión mezclador que debe depositar esos residuos en el lugar que corresponde y que está destinado para ese tipo material, el cual es la fosa de sobrantes de concreto.	✓

En la batidora se generan tiempos de espera, debido a que cuando el trabajador llega la mezcla no está preparada.	Asignar la tarea al mezclador de ir verificando que las parejas de pega de mampostería tengan suficiente mezcla, y también asignarle la tarea de repartir el mortero a las cuadrillas.	✓
---	--	---

CUADRO 22. PLAN DE MEJORA PARA EL PROCESO DE RELLENO DE CELDAS EN CEDI CORIS

Hallazgo	Recomendación	Estado
Durante el proceso, cuadrillas de otros procesos utilizan el agua y desconectan la manguera de la máquina de relleno de celdas de la llave, por lo que esta pierde su flujo y se debe detener completamente el proceso.	Elaborar un rótulo emplastado que se coloque en la llave de agua donde se indique que no se debe desconectar la manguera por ningún motivo sin antes solicitarle a la cuadrilla de relleno de celdas, para evitar estos incidentes. Una vez que se finalice el proceso el rótulo se guarda con la máquina.	X
No se cuenta con un instrumento adecuado para purgar la manguera de la máquina de relleno de celdas, por lo tanto, se realiza con golpes de maso, lo cual es un método poco productivo.	Solicitarle a Comex que les brinden la varilla destinada para limpiar por dentro la manguera de forma correcta.	✓
El trabajador que está vertiendo los sacos se le nota cansado, además de que está todo el día expuesto al polvo del mortero seco.	Para salvaguardar la salud de los trabajadores y aumentar la productividad del proceso, se recomienda que el que sostiene la manguera de la máquina y el que vierte el saco, alternen funciones durante el día, con el fin de disminuir la fatiga.	X
Una de las dos máquinas de relleno de celdas presenta desperfectos, y se detiene varias veces durante el día, por lo el flujo de trabajo se pierde, así como material.	Es recomendable traer a personal de Comex, los cuales son los que alquilan el equipo, para arreglar la máquina, así como también brindar una capacitación básica de cómo arreglarla en caso de que sean fallas menores.	X
No se revisaban que las sisas de los bloques se encontrarán totalmente selladas, de manera que el relleno salía por estos agujeros, implicando pérdida de material y retrabajos.	Mientras una persona se encarga de encender la máquina, las otras dos deben ir verificando que las sisas, huecos de anclaje de encofrado, y ventanas de inspección de amarre de varillas, se encuentren totalmente selladas.	X
Se está perdiendo material y disminuyendo la calidad durante el proceso debido a que no se le está colocando agua a las celdas antes de rellenarlas con el mortero.	Verter agua en las celdas para que los bloques la absorban y de este modo no le quiten agua a la mezcla de mortero.	✓

CUADRO 23. PLAN DE MEJORA PARA EL PROCESO DE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE COLUMNAS EN CEDI CORIS

Hallazgo	Recomendación	Estado
Los paneles de formaleta se encuentran desordenados y no apilados, por lo que se incrementan los tiempos de búsqueda por parte de los colaboradores.	Una vez que se desencofra apilar los paneles en orden de tamaño para que sea más fácil encontrarlos y así aumentar el flujo de trabajo del encofrado.	✓
El centro de acopio de paneles de formaleta y puntales se encuentra estático en un solo lugar, por lo que muchas veces se generan transportes de más de 20 metros a la zona de encofrado.	Por esto se recomienda que el centro de acopio se divida en centros de acopio más pequeños que se encuentren más cerca de la concentración de actividades de encofrado.	✗
La falta de coordinación entre maestro y cuadrillas ocasiona que los trabajadores por querer avanzar en el trabajo rápido transporten los paneles y puntales, elemento por elemento a la zona de encofrado o al centro de acopio.	Apilar los paneles de formaleta y puntales en un único punto, donde luego sean transportados por el camión repartidor o los montacargas telescópicos al lugar deseado, disminuyendo significativamente los transportes.	✗
Cuando se va a encofrar hay andamios de otros subcontratistas que en cierto momento de la actividad estorban a los trabajadores.	Verificar que la zona de trabajo se encuentre totalmente habilitada cuando se va a trabajar, y en caso de que no lo esté, coordinar entre maestros de obra para que se les habilite lo más pronto posible, para no detener la actividad.	✗
Los helados del encofrado de columnas, y de otras actividades se encontraban en un acopio de más de 300 metros de las zonas de trabajo.	Se recomendó acercar los helados a las zonas de trabajo por medio del camión repartidor, para disminuir los tiempos de transportes, que no le estaban agregando valor a los procesos.	✓
Algunas extensiones eléctricas se encuentran defectuosas o son insuficientes para las actividades que se están desarrollando.	La recomendación es verificar diariamente el funcionamiento de las extensiones, arreglar inmediatamente las que sea posible, y considerar la posibilidad de adquirir más para satisfacer el nivel de actividad del proyecto.	✗
El enroscado de los anclajes del encofrado consume mucho tiempo de los trabajadores, ya que se realiza de forma manual.	Utilizar equipo eléctrico, como un taladro, donde se coloque el anclaje y este gire, mientras con otro equipo se sostiene la rosca, para disminuir el tiempo en esta tarea.	✗

CUADRO 24. PLAN DE MEJORA PARA EL PROCESO DE COLADO DE COLUMNAS EN CEDI CORIS		
Hallazgo	Recomendación	Estado
Cuando se van a colar las columnas directamente con el balde del montacargas telescópico, no se tiene una tabla lista para dirigir el concreto, resultando en tiempo perdido mientras se encuentra la tabla.	Así como se va a buscar el vibrador a los armarios durante las coladas, se debe tener guardada una tabla de plywood que su único uso sea para el colado de columnas, y cuando se vaya a colar se lleve junto con el vibrador.	✓
Se observó que las varillas verticales que están dentro de los bloques y colindan con las columnas, no se encontraban amarradas, por lo que durante la colada se debía correr para realizar esta tarea.	Antes de la colada, revisar la correcta ubicación y colocación de las varillas verticales, así como indicarle al subcontratista de acero que se van a colar los elementos para que ellos agilicen esta tarea.	✓
El camión mezclador de concreto no se coloca lo más cerca posible, durante las coladas de columnas, de la zona de trabajo, aumentando los tiempos de transporte en carretillo.	El encargado de la colada debe indicarle al conductor del camión mezclador que se ubique en el sitio más cercano que tenga acceso, además de estarlo moviendo conforme se va desplazando la colada de las columnas.	✓
En las cuadrillas de colado de concreto siempre se observaron muchos tiempos de espera, debido a que las cuadrillas se encontraban sobredimensionadas, con inclusive 9 personas por colada.	Realizar una redistribución de funciones	×
	Si se está colando con carretillo: - 1 persona transportando concreto con carretillo - 1 persona sirviendo el concreto en los baldes de hule - 1-2 personas pasando el balde dependiendo de la altura - 1 persona vertiendo el concreto - 1 persona con el vibrador y si es necesario 1 con el mazo - 1 encargado Esto para tener un total de 6-8 personas por colada.	×
	Si se está colando con el balde del montacargas telescópico: - 1 persona vertiendo el concreto - 1 persona con el vibrador y si es necesario 1 con el mazo - 1 encargado Esto para una total de 3-4 personas por colada	×

CUADRO 25. PLAN DE MEJORA EN GENERAL PARA EL PROYECTO CEDI CORIS		
Hallazgo	Recomendación	Estado
Se observan filas en la bodega por equipo, herramientas y materiales, aumentando los tiempos de espera del proyecto, asimismo van en cualquier momento del día, incrementando los transportes.	Se sugiere implementar un horario de bodega, para inducir a los trabajadores a que planifiquen lo que van a necesitar durante el día, y no tengan la libertad de estar yendo en cualquier momento.	✓
Las hieleras de hidratación no tienen basurero, y se ven los vasos en el suelo, disminuyendo la limpieza del proyecto.	Se sugiere colocar estañones o bolsas que sirvan como centro para depositar los vasos, una vez que hayan sido utilizados para tomar agua.	✓
Se generan esperas de varias cuadrillas al transporte de elementos debido a que los dos montacargas telescópicos dedican el 50% del tiempo a coladas de concreto.	Considerar la posibilidad de alquilar un back hoe a medio tiempo al contratista de movimiento de tierras, para dedicarlo únicamente a las coladas de concreto, cediéndole mayor tiempo a los montacargas en tareas de transportes.	✗
Los baños no se mueven de acuerdo al avance del proyecto, aumentando la duración de los viajes al baño.	Procurar que las cabinas sanitarias se encuentren en un radio de 20 metros máximo, de los puntos de concentración de actividades, disminuyendo los viajes.	✓
El acceso al segundo piso del edificio llamado Administrativo son dos escaleras de un tramo, implicando un flujo de trabajo lento y poco eficiente.	Se sugiere la adquisición de escaleras de tipo andamio, donde el paso es más seguro y fácil, además de que el transporte de elementos se agiliza.	✓
Los trabajadores tiran los tapones de varillas al suelo ya que les estorban, y se pierde una gran cantidad, además de que estos están para protegerlos.	Durante la charla de caja de herramientas, comentar a los trabajadores la importancia de los tapones, e implementar un balde donde se coloque los tapones para disminuir el desorden.	✗
Los colaboradores no tienen noción de la importancia de disminuir los viajes y transportes. Piensan que entre más caminen, más están trabajando.	Comentar durante la charla de la mañana conceptos de Lean Construction como lo son los 7 tipos de desperdicios.	✗

Los resultados de productividad de las recomendaciones que se lograron implementar, se lograron comprobar por medio del método de trabajo de Volio y Trejos, el SINA.

La figura 51 muestra el comportamiento de los porcentajes de tiempos a lo largo de los meses que se estuvo realizando la práctica en el proyecto CEDI Coris.

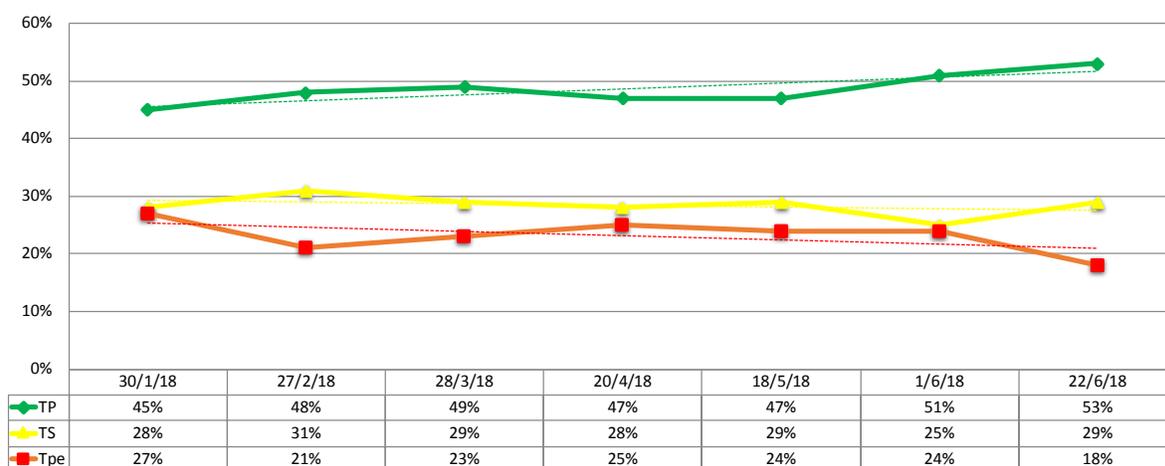


Figura 51. Histórico de SINA del proyecto CEDI Coris.

Respecto a cada proceso por separado se presenta el siguiente cuadro 26, donde se comparan resultados de la empresa en el año

2017, con los obtenidos en los proyectos CEDI Coris. Asimismo, se compara con la meta establecida por la empresa.

CUADRO 26. COMPARATIVA DE VOLIO Y TREJOS EN GENERAL CON LOS PROYECTOS CEDI CORIS E IFRESES					
Proceso	# Muestra	Rendimiento (HH/m ²)	Productividad General		
			Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Pega de bloques	CEDI Coris	1,73	58%	16%	25%
	Promedio CVT	2,19	49%	29%	22%
	Diferencia a promedio	0,46	9%	13%	3%
	Meta CVT	-	60%	25%	15%
	Diferencia a meta	-	2%	9%	10%
Relleno de celdas	CEDI Coris	5,29	59%	12%	29%
	Promedio CVT	15,10	42%	37%	21%
	Diferencia a promedio	10,56	-17%	25%	8%
	Meta CVT	-	60%	25%	15%
	Diferencia a meta	-	1%	13%	14%
Encofrado columnas rectangulares	CEDI Coris	2,93	45%	17%	39%
	Promedio CVT	0,91	48%	25%	27%
	Diferencia a promedio	2,02	4%	9%	12%
	Meta CVT	-	60%	25%	15%
	Diferencia a meta	-	16%	9%	24%
Colado columnas rectangulares	CEDI Coris	5,61	52%	8%	42%
	Promedio CVT	0,63	49%	9%	41%
	Diferencia a promedio	4,98	3%	1%	1%
	Meta CVT	-	60%	25%	15%
	Diferencia a meta	-	8%	17%	27%

Selección de procesos en iFreses

En la figura 52 se muestra el avance que se llevaba en el proyecto iFreses el día 19 de febrero que se llegó al proyecto.

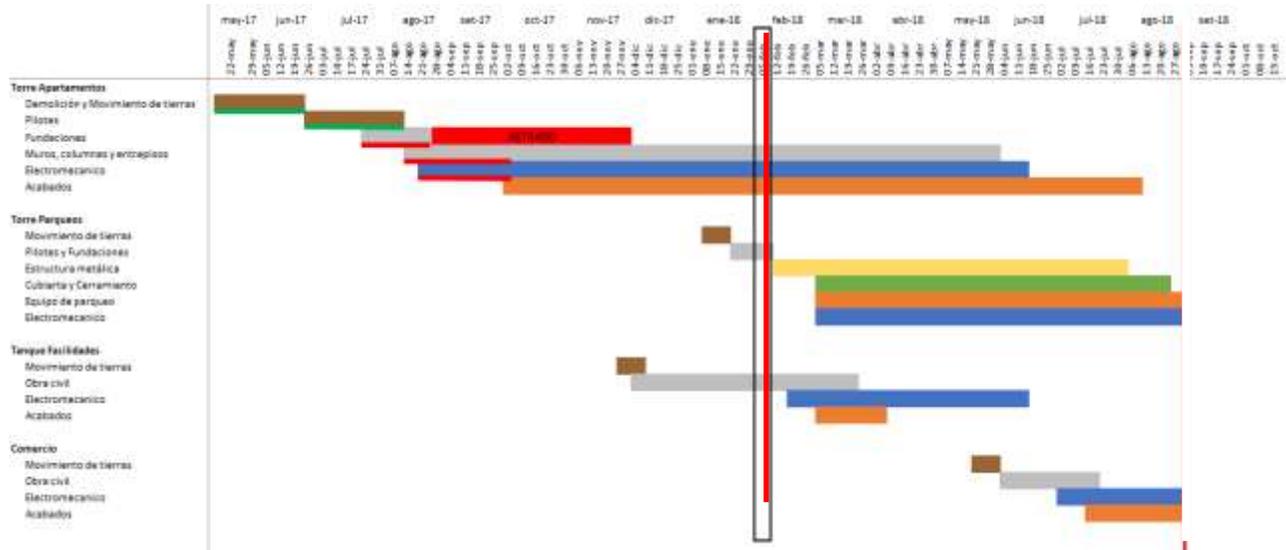


Figura 52. Programación de obra en iFreses al 19 de febrero. (Volio y Trejos, 2018).

En la figura 53 aparece el diagrama de Pareto obtenido para el proyecto iFreses, basado en los porcentajes de participación del costo total de la obra, obtenido del presupuesto.

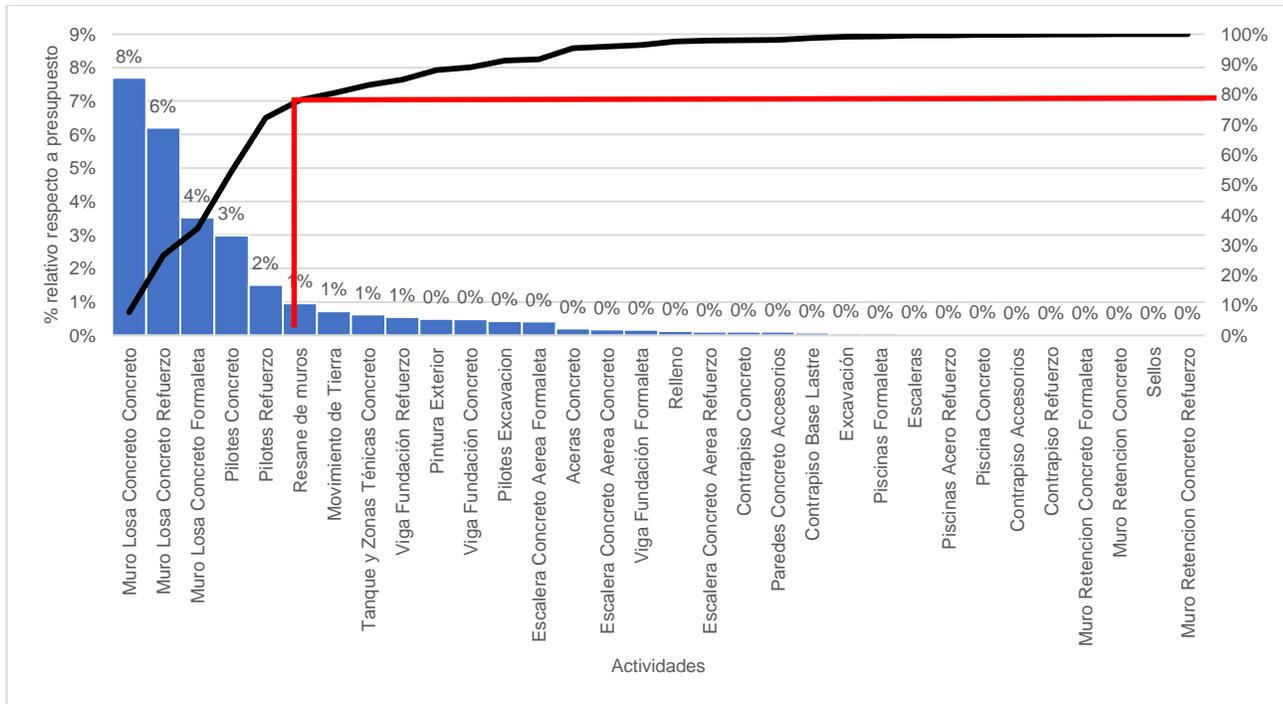


Figura 53. Diagrama de Pareto de costos del proyecto iFreses.

Para iFreses se eligieron las actividades de obra gris, muros estructurales y losas de concreto, como resultado a la consulta a expertos.

Encofrado de losa con sistema Forsa

Ilustración de proceso

La siguiente figura 54 muestra el proceso de encofre de losa con paneles de formaleta Forsa, por el contratista Peña Formaleta.



Figura 54. Encofrado de losa con sistema Forsa.

Recursos y diagramas de flujo

En la figura 55 se explica el proceso por medio de un diagrama de flujo. En el cuadro 27 están los recursos utilizados en el encofrado de losa con sistema Forsa.

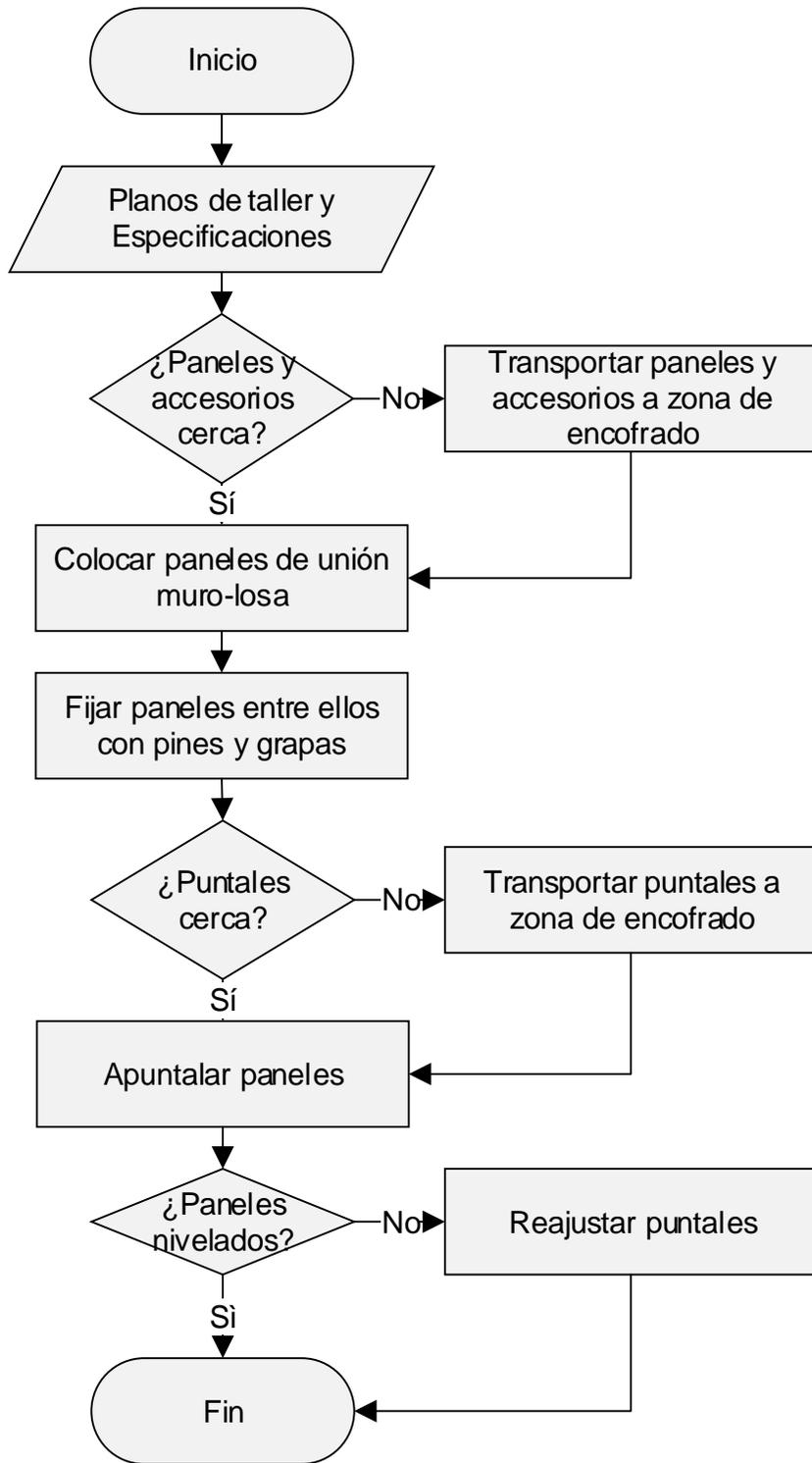


Figura 55. Diagrama de flujo de encofrado de losa con sistema Forsa.

CUADRO 27. RECURSOS UTILIZADOS EN ENCOFRADO FORSA		
Mano de Obra	Material	Equipo y Herramientas
1-4 Operarios 1-4 Ayudante	Desmoldante Alambre negro	Paneles de formaleta Pines y cuñas Pin grapa Martillo Rodillo Tenaza Puntales Banco Flexómetro

Productividad y rendimientos

A continuación, los resultados obtenidos de productividad y rendimiento para el proceso de

encofrado de losa con sistema Forsa. Para empezar, el resumen de los rendimientos de cuatro muestras en el cuadro 28, con su promedio y coeficiente de variación.

CUADRO 28. RENDIMIENTO DE ENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA FORSA						
# Muestra	Fecha	Cant. Trabajadores	Duración (horas)	Horas Hombre (HH)	Cantidad (m ²)	Rendimiento (HH/m ²)
1	miércoles, mar 14 2018	6	2,9	17,3	43,9	0,39
2	viernes, mar 16 2018	4	3,0	12,0	33,1	0,36
3	sábado, abr 21 2018	8	2,5	20,0	43,9	0,46
4	lunes, abr 23 2018	4	2,5	10,0	22,5	0,45
Rendimiento Promedio						0,41
Desviación estándar						0,04
Coeficiente de variación						11%
fi						16%
Rendimiento real						0,48

Seguidamente, los resultados obtenidos de productividad de encofrado de losa con sistema Forsa de la muestra 1.

En el cuadro 29, la clasificación de las actividades en tiempo productivo, tiempo de soporte y tiempo perdido.

CUADRO 29. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA FORSA		
Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Colocar panel Colocar accesorios Colocar puntal Aplicar desmoldante	Transporte de objetos Seguridad Instructivo Apoyo	Espera Viaje Descanso Hablando

Asimismo, se adjunta el gráfico de barras, en la figura 56, obtenido por el método de Crew Balance, en el cual se muestra el porcentaje de tiempo que le dedicó el trabajador a la actividad

durante el muestreo. Cada actividad está representada por un color diferente, como lo indica la simbología del gráfico.

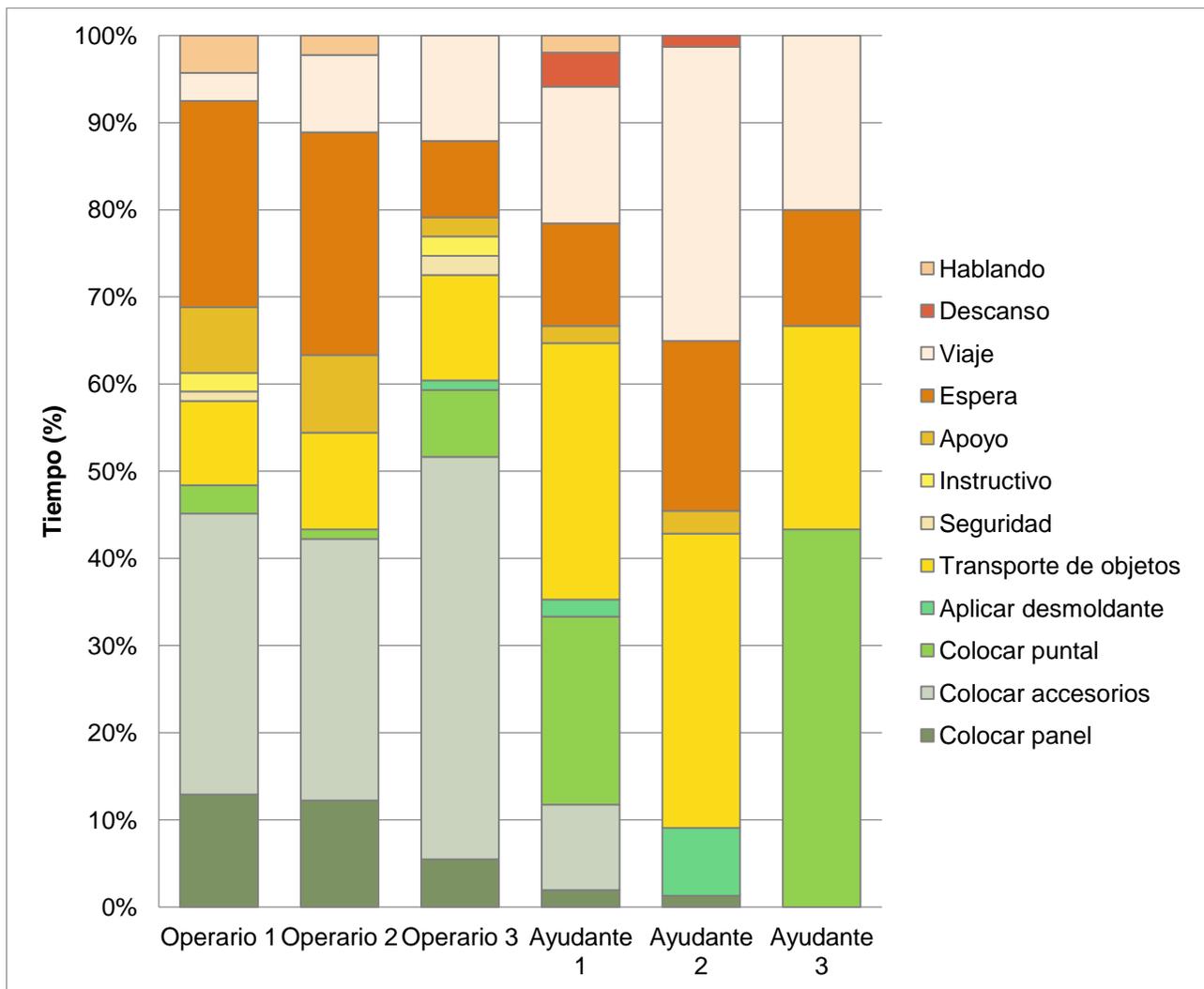


Figura 56. Crew balance de muestra 1 de encofrado de losa con sistema Forsa.

En la figura 57 se muestran los resultados de productividad de cada integrante de la cuadrilla por el método de Five Minute Rating. El color

verde es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

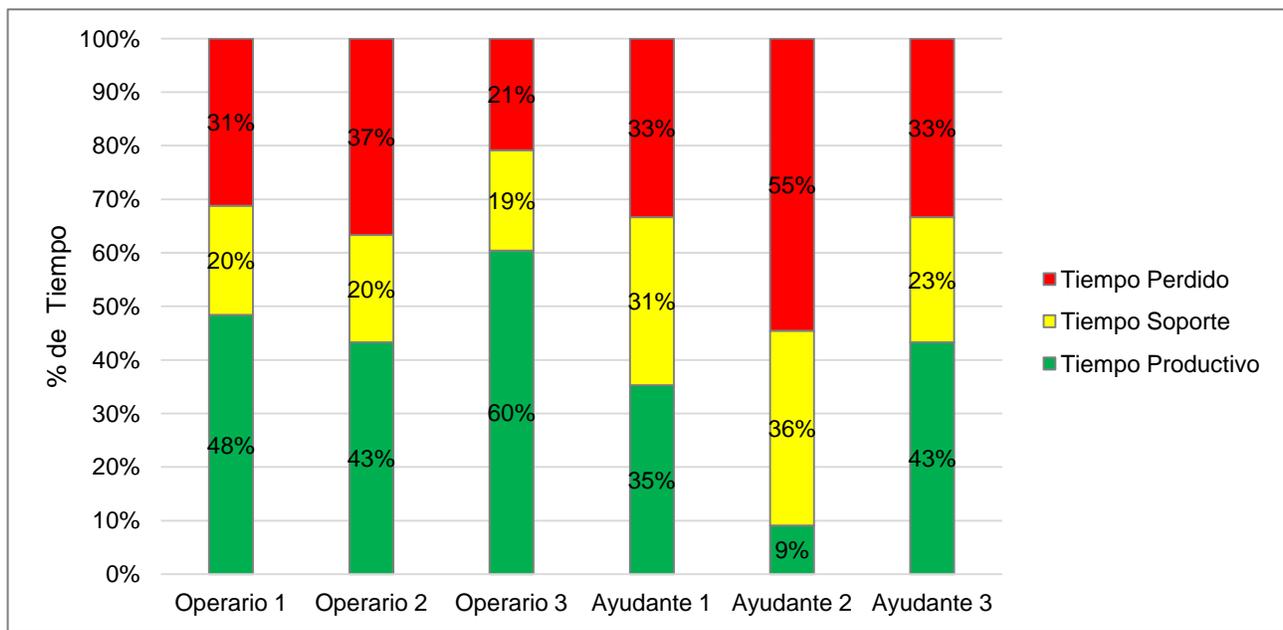


Figura 57. Five minute rating de muestra 1 de encofrado de losa con sistema Forsa.

Luego se tiene en la figura 58, el porcentaje de productividad de la cuadrilla en general, obtenida por el método de Work Sampling. El color verde es tiempo productivo, el amarillo tiempo de

soporte y el rojo tiempo perdido.

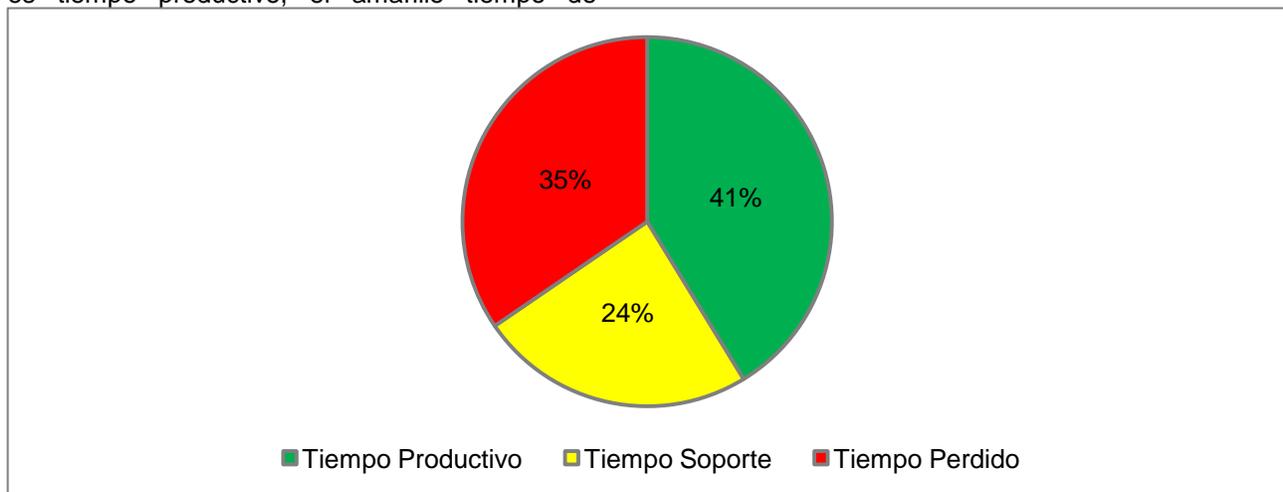


Figura 58. Work sampling de muestra 1 de encofrado de losa con sistema Forsa.

Como punto de comparación se tiene la figura 59, en el cual se recopilan los resultados de productividad general de las cuatro muestras de

encofrado de losa con sistema Forsa, así como el rendimiento de cada uno.

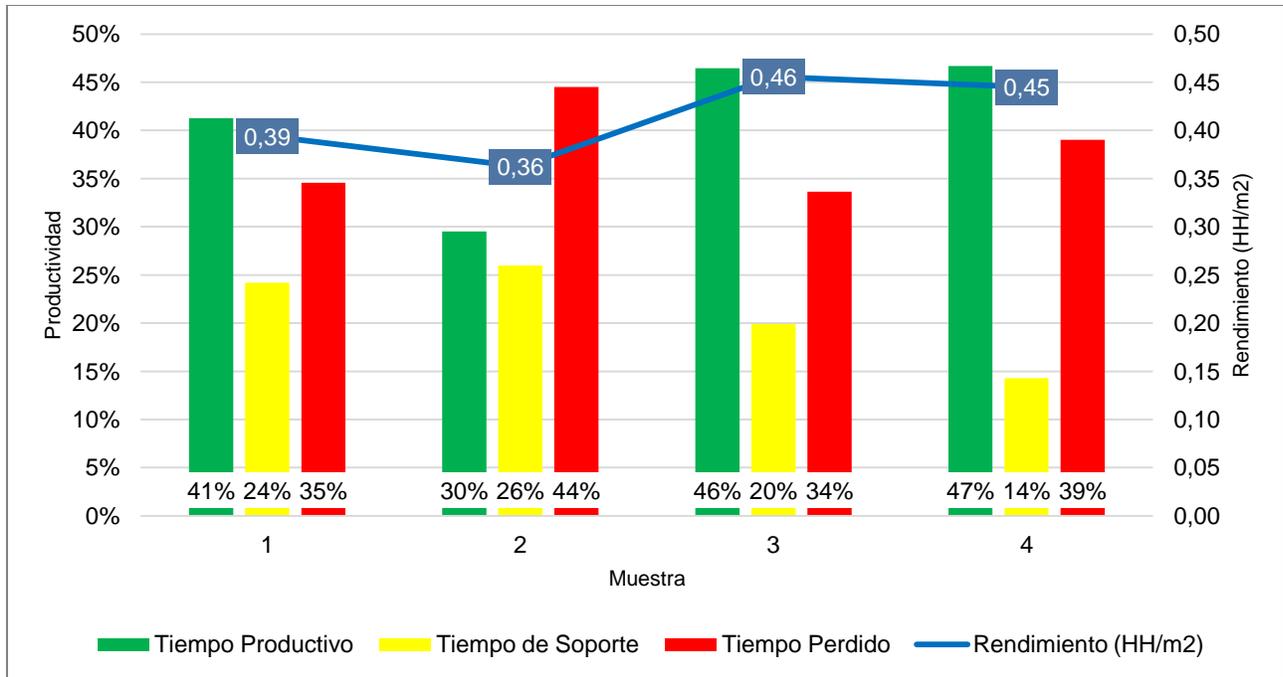


Figura 59. Resumen de productividad y rendimientos de las cuatro muestras de encofrado de losa Forsa.

Desencofrado de losa con sistema Forsa

Ilustración de proceso

La siguiente figura 60 muestra el proceso de desencofre de losa con paneles de formaleta Forsa.



Figura 60. Desencofrado de losa con sistema Forsa.

Recursos y diagramas de flujo

En la figura 61 se explica el proceso por medio de un diagrama de flujo. En el cuadro 30 se muestran los recursos utilizados en el desencofrado de losa con sistema Forsa.

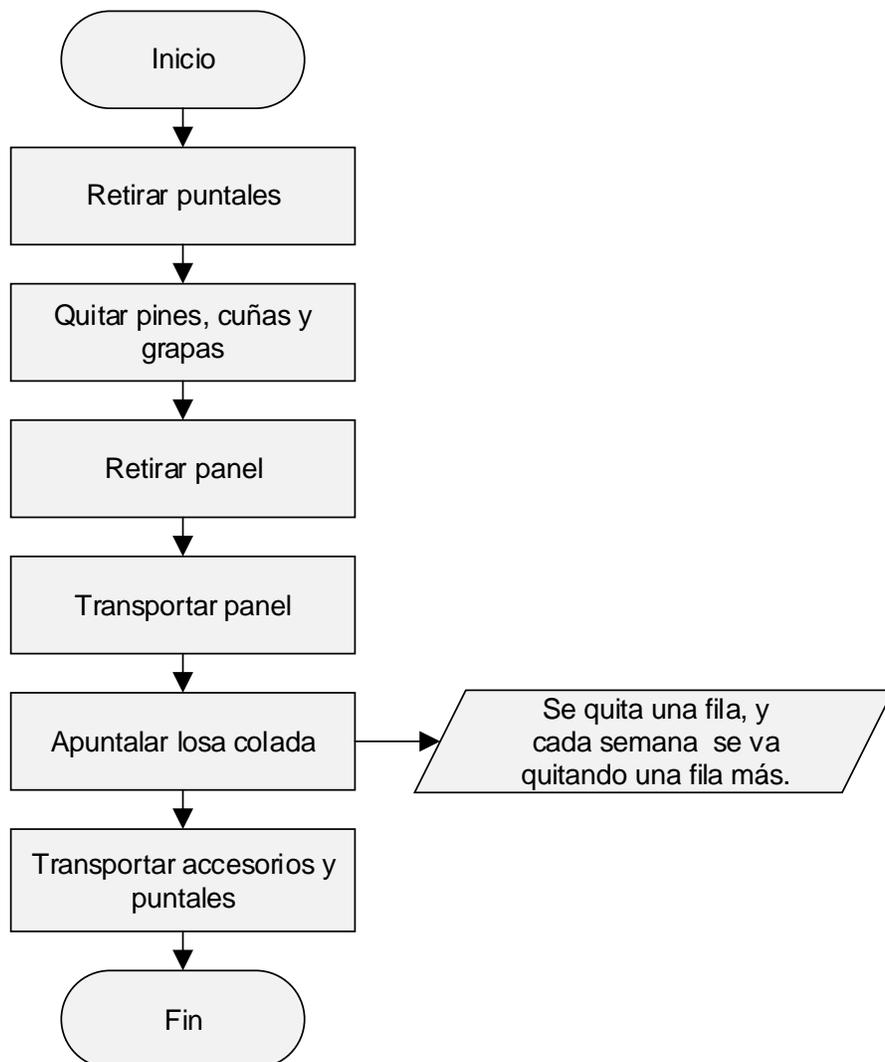


Figura 61. Diagrama de flujo de desencofrado de losa con sistema Forsa.

CUADRO 30. RECURSOS UTILIZADOS EN DESENCOFRADO FORSA		
Mano de Obra	Material	Equipo y Herramientas
1-4 Operarios 1-4 Ayudantes	Alambre negro	Banco Martillo Saca unión muro losa Saca panel Espátula

Productividad y rendimientos

A continuación, los resultados obtenidos para de productividad y rendimiento para el proceso de desencofrado de losa con sistema Forsa. Para

empezar, el resumen de los rendimientos de cuatro muestras en el cuadro 31, con su promedio y coeficiente de variación.

CUADRO 31. RENDIMIENTO DE DESENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA FORSA						
# Muestra	Fecha	Cant. Trabajadores	Duración (Horas)	Horas Hombre (HH)	Cantidad (m ²)	Rendimiento (HH/m ²)
1	miércoles, mar 14 2018	3	3,9	11,8	75,9	0,15
2	jueves, mar 15 2018	3	2,7	8,0	43,9	0,18
3	viernes, mar 16 2018	3	2,4	7,3	39,9	0,18
4	miércoles, abr 18 2018	4	2,2	8,7	41,6	0,21
Rendimiento Promedio						0,18
Desviación estándar						0,02
Coeficiente de variación						12%
fi						14%
Rendimiento real						0,21

Seguidamente, los resultados obtenidos de productividad de desencofrado de losa con sistema Forsa de la muestra 3.

En el cuadro 32 se tiene la clasificación de las actividades en tiempo productivo, tiempo de soporte y tiempo perdido.

CUADRO 32. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE DESENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA FORSA		
Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Quitar panel	Transporte de objetos	Espera
Quitar accesorios	Seguridad	Viaje
Quitar puntal	Instructivo	Descanso
Poner puntal	Apoyo	Hablando

Asimismo, se adjunta el gráfico de barras, en la figura 62, obtenido por el método de Crew Balance, en el cual se muestra el porcentaje de tiempo que le dedicó el trabajador a la actividad

durante el muestreo. Cada actividad está representada por un color diferente, como lo indica la simbología del gráfico.

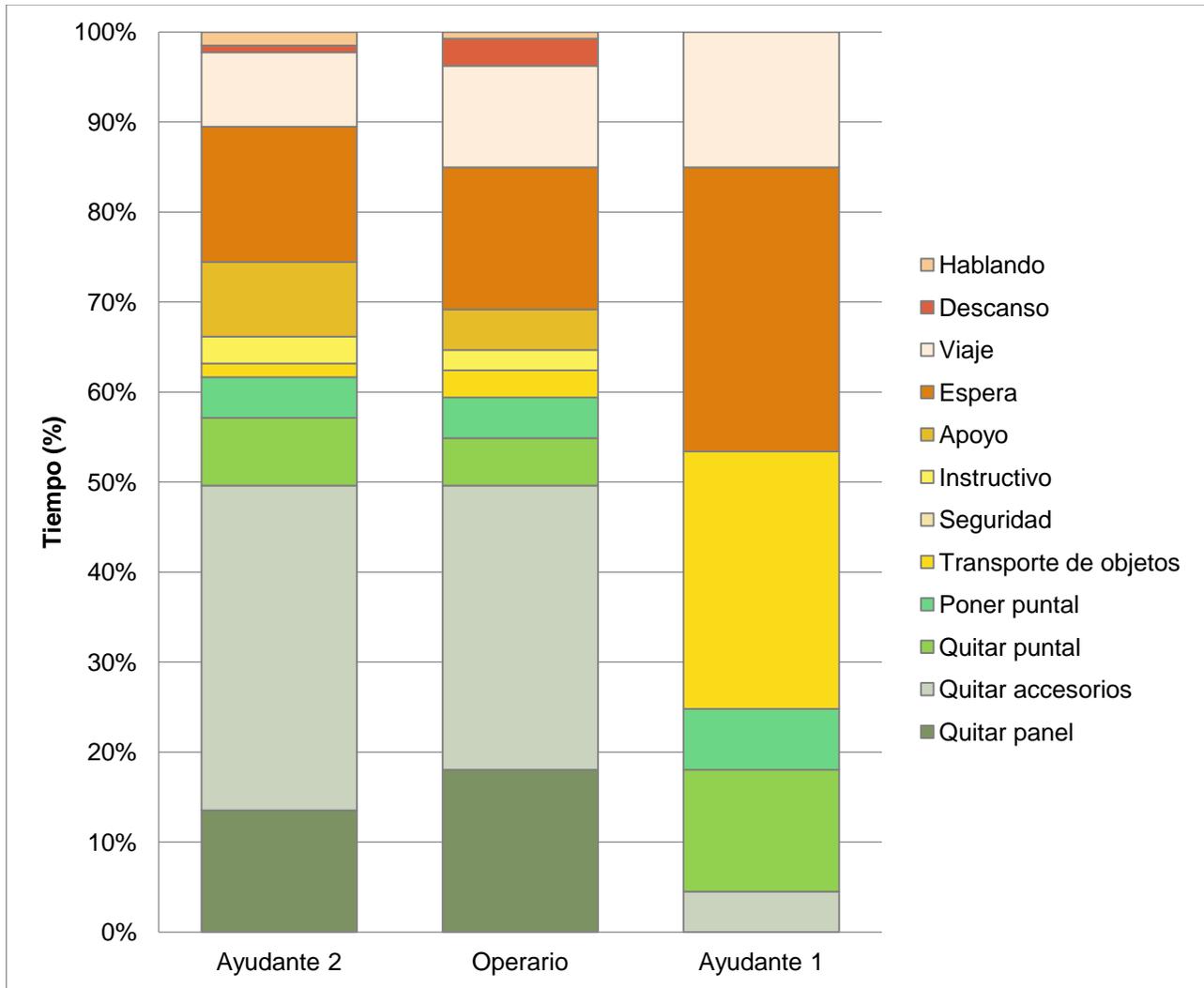


Figura 62. Work sampling de muestra 3 de desencofrado de losa con sistema Forsa.

En la figura 63, los resultados de productividad de cada integrante de la cuadrilla por el método de Five Minute Rating. El color verde es tiempo

productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

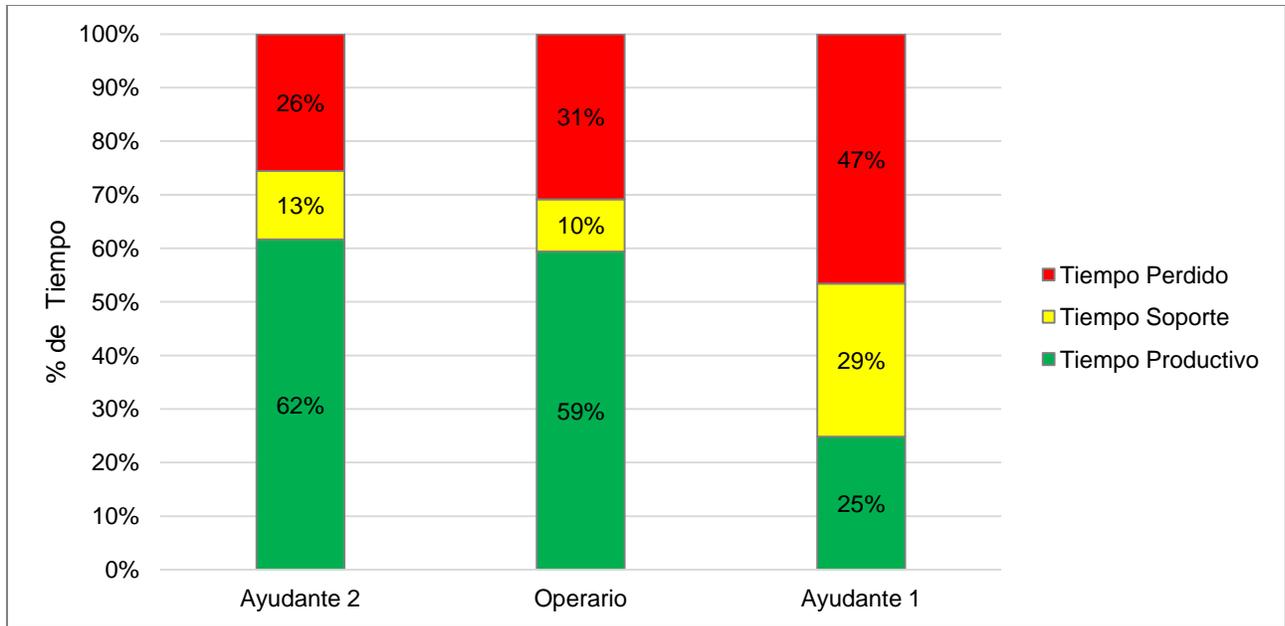


Figura 63. Five minute rating de muestra 3 de desencofrado de losa con sistema Forsa.

Luego se tiene en la figura 64, el porcentaje de productividad de la cuadrilla en general, obtenida por el método de Work Sampling. El color verde

es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

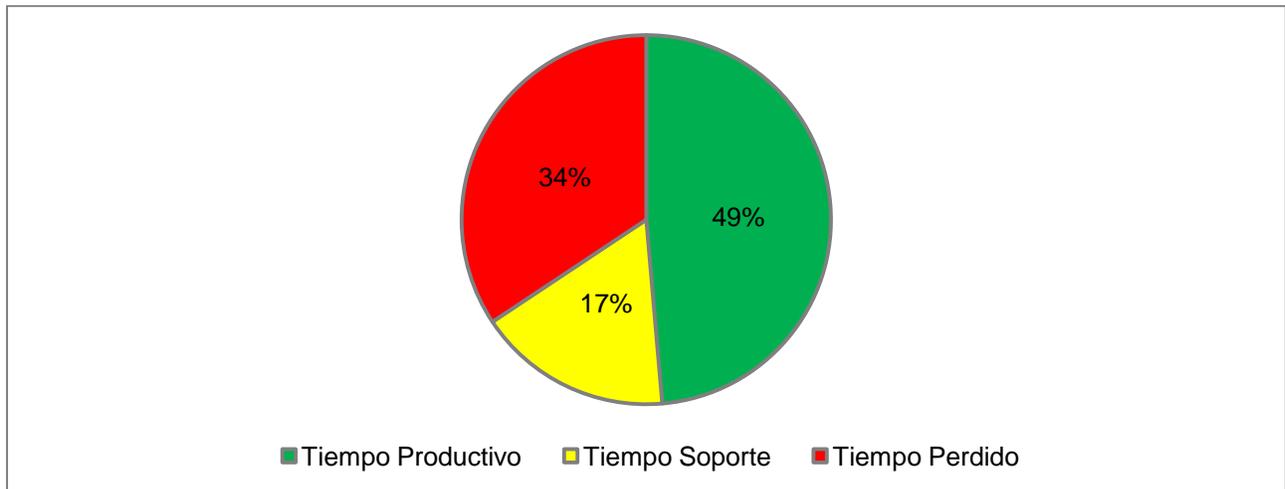


Figura 64. Work sampling de muestra 3 de desencofrado de losa con sistema Forsa

Como punto de comparación se tiene la figura 65, en el cual se recopilan los resultados de productividad general de las cuatro muestras de

desencofrado de losa con sistema Forsa, así como el rendimiento de cada uno.

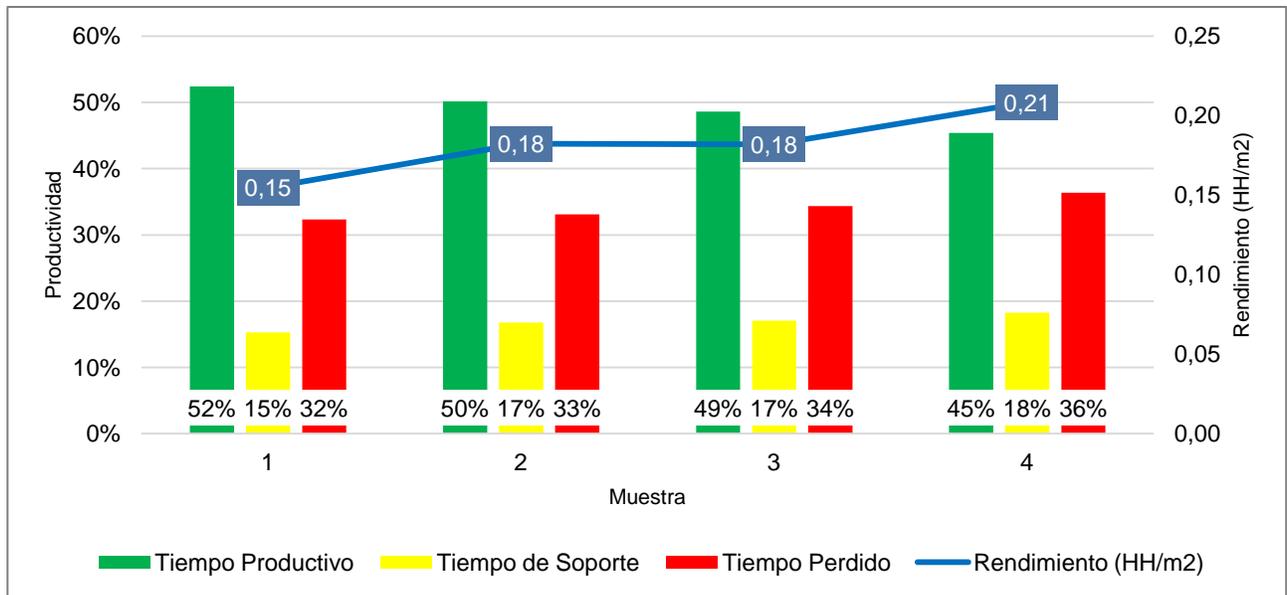


Figura 65. Resumen de productividad y rendimientos de las cuatro muestras de desencofrado de losa Forsa.

Diagrama de recorrido

Debido a que estos procesos y su diseño de sitio variaban de acuerdo con la losa que se estaba

trabajando, se creó un diagrama de recorrido general que aplicara a todos los casos.

A continuación, se enseña en el cuadro 33 los datos de tiempo y distancia promedio obtenidos, y en la figura 66 el diagrama de recorrido.

CUADRO 33. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA FORSA			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Desencofre Losa Forsa	–	–
2	Transporte de puntales	12	30
3	Apilamiento de puntales	–	–
4	Transporte de puntales	12	30
5	Transporte de accesorios	12	25
6	Apilamiento de accesorios	–	–
7	Transporte de accesorios	12	25
8	Transporte de paneles	12	30
9	Apilamiento de paneles	–	–
10	Transporte de paneles	12	30
11	Aplicación de desmoldante	–	–
12	Encofrado de Losa	–	–
13	Espera por fraguado del concreto	–	14 horas

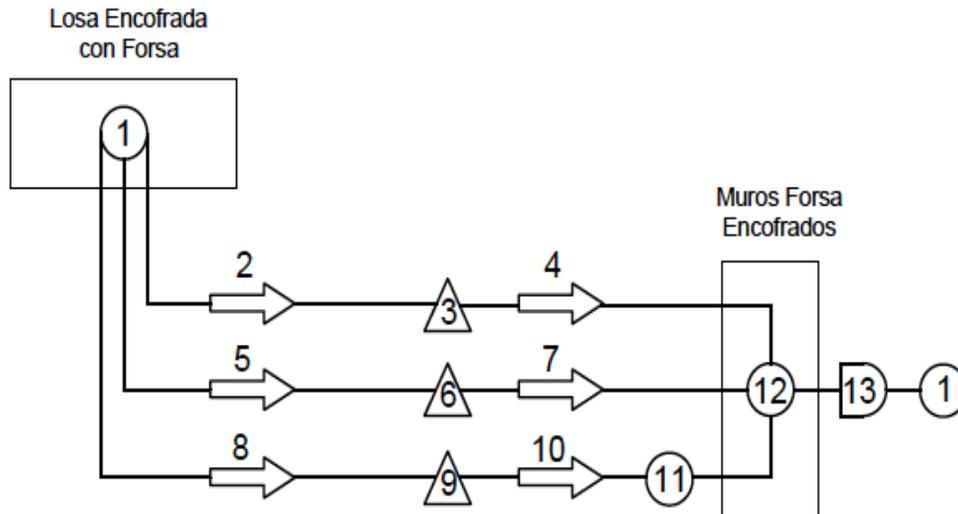


Figura 66. Diagrama de recorrido general de encofrado y desencofrado de losa Forsa.

Encofrado de losa con sistema Convencional

Ilustración de proceso

La siguiente figura 67 muestra el proceso de encofrado de losa con paneles de formaleta Convencional, por el contratista Peña Formaleta.



Figura 67. Encofrado de losa con sistema Convencional.

Recursos y diagramas de flujo

En la figura 68 se explica el proceso por medio de un diagrama de flujo. En el cuadro 34 se muestran los recursos utilizados en el encofrado de losa con sistema Convencional.

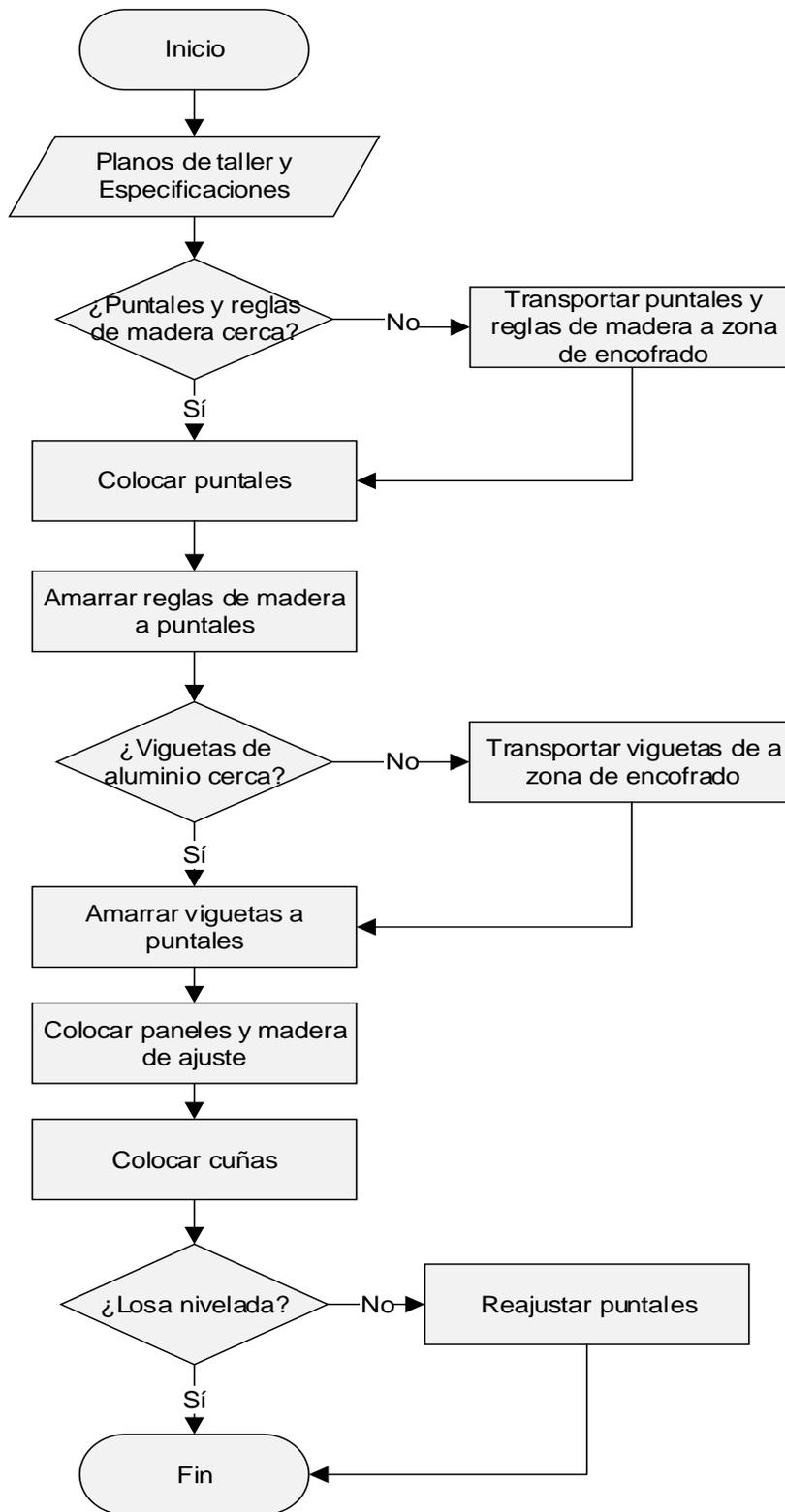


Figura 68. Diagrama de flujo de encofrado de losa con sistema Convencional.

CUADRO 34. RECURSOS UTILIZADOS EN ENCOFRADO CONVENCIONAL		
Mano de Obra	Material	Equipo y Herramientas
1-4 Operarios 1-4 Ayudantes	Desmoldante Alambre negro Reglas de madera	Paneles de formaleta Vigas metálicas Cuñas Martillo Rodillo Tenaza Puntales Banco Flexómetro

Productividad y rendimientos

A continuación, los resultados obtenidos para productividad y rendimiento para el proceso de desencofrado de losa con sistema Convencional.

Para empezar, se muestra el resumen de los rendimientos de cuatro muestras en el cuadro 35, con su promedio y coeficiente de variación.

CUADRO 35. RENDIMIENTO DE ENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA CONVENCIONAL						
# Muestra	Fecha	Cant. Trabajadores	Duración (Horas)	Horas Hombre (HH)	Cantidad (m2)	Rendimiento (HH/m2)
1	miércoles, mar 14 2018	4	6,2	24,7	46,7	0,53
2	jueves, mar 15 2018	3	8,7	26,0	43,8	0,59
3	viernes, mar 16 2018	6	4,0	24,0	34,7	0,69
4	viernes, abr 20 2018	4	2,2	8,7	16,3	0,53
Rendimiento Promedio						0,59
Desviación estándar						0,08
Coeficiente de variación						13%
fi						16%
Rendimiento real						0,68

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos de productividad de desencofrado de losa con sistema Convencional de la muestra 3.

Para comenzar se tiene en el cuadro 36, la clasificación de las actividades en tiempo productivo, tiempo de soporte y tiempo perdido.

CUADRO 36. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE ENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA CONVENCIONAL

Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Colocar panel	Transporte de objetos	Espera
Colocar accesorios	Seguridad	Viaje
Colocar puntal	Medición	Descanso
Colocar vigueta	Apoyo	Hablando
Colocar reglas		

Asimismo, se adjunta el gráfico de barras, en la figura 69, obtenido por el método de Crew Balance, en el cual se muestra el porcentaje de tiempo que le dedicó el trabajador a la actividad

durante el muestreo. Cada actividad está representada por un color diferente, como lo indica la simbología del gráfico.

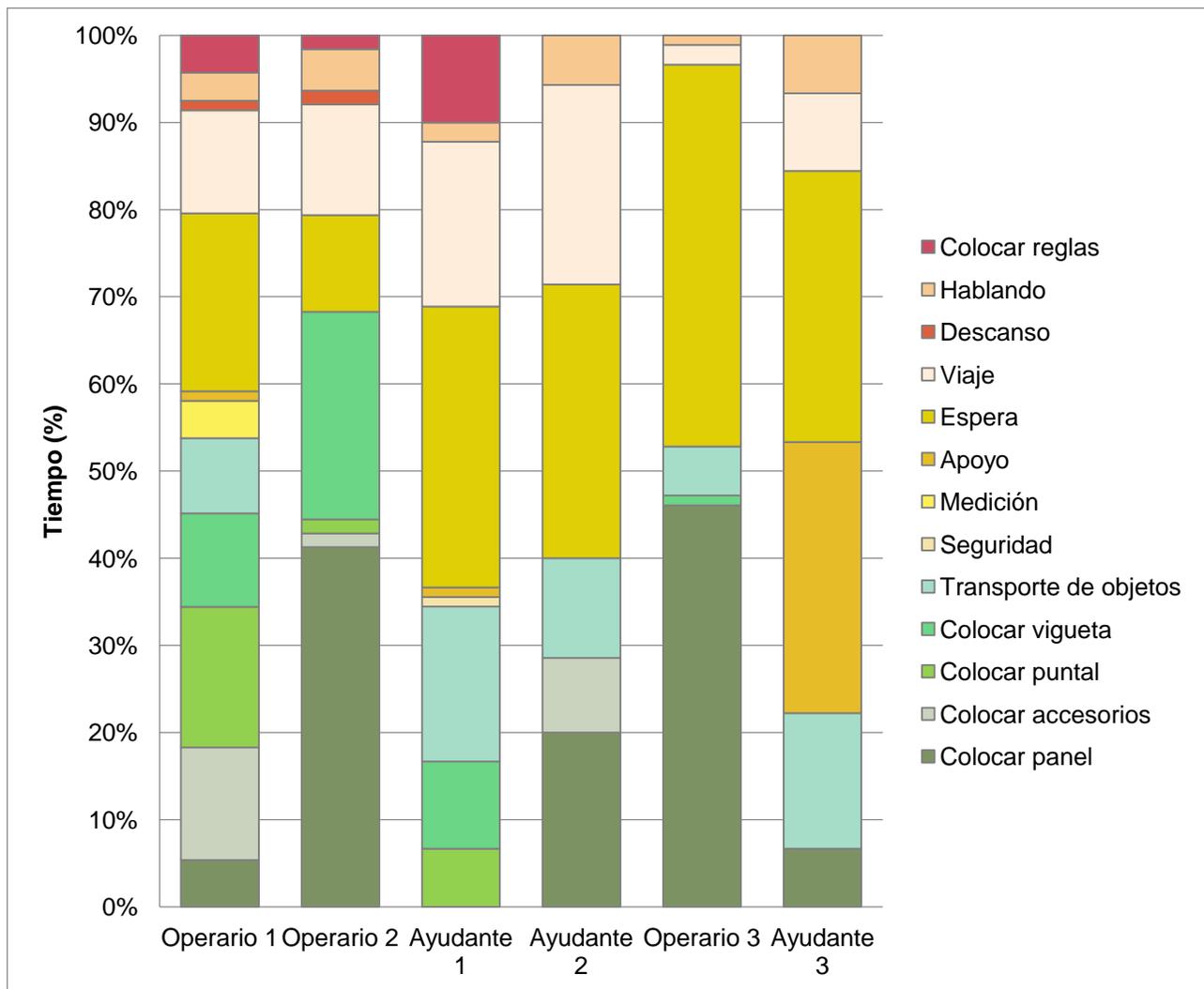


Figura 69. Crew balance de muestra 3 de encofrado de losa con sistema Convencional.

En la figura 70, los resultados de productividad de cada integrante de la cuadrilla por el método de Five Minute Rating. El color verde es tiempo

productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

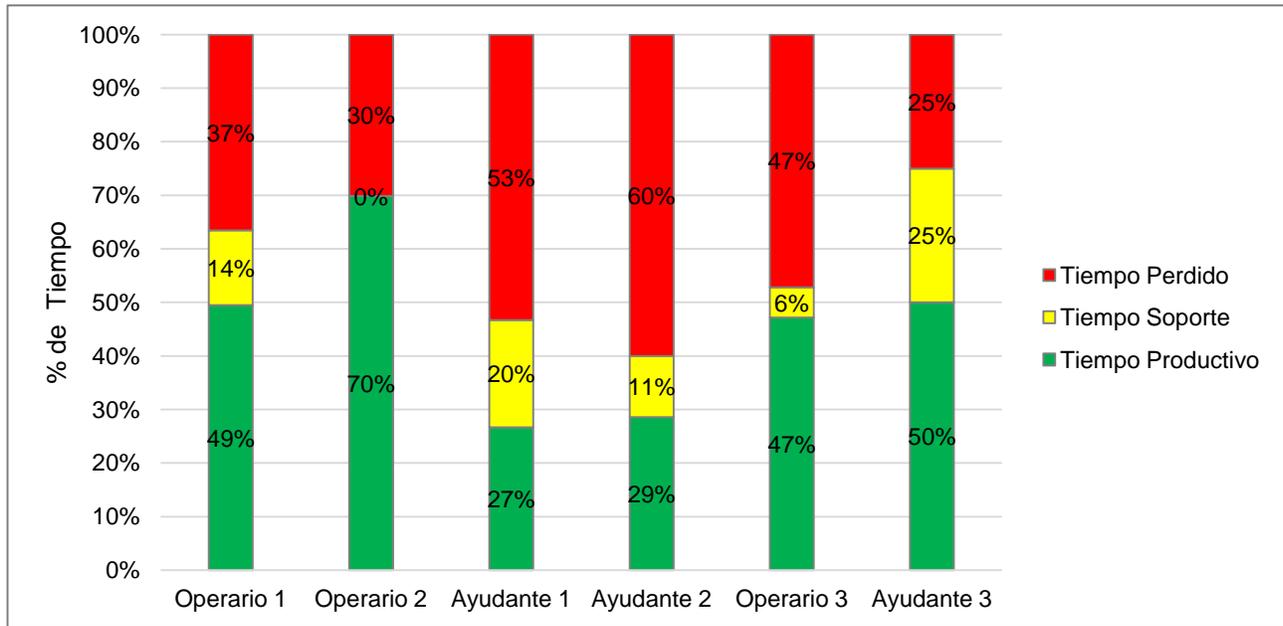


Figura 70. Five minute de rating de muestra 3 de encofrado de losa con sistema Convencional.

Luego se tiene en la figura 71, el porcentaje de productividad de la cuadrilla en general, obtenida por el método de Work Sampling. El color verde

es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

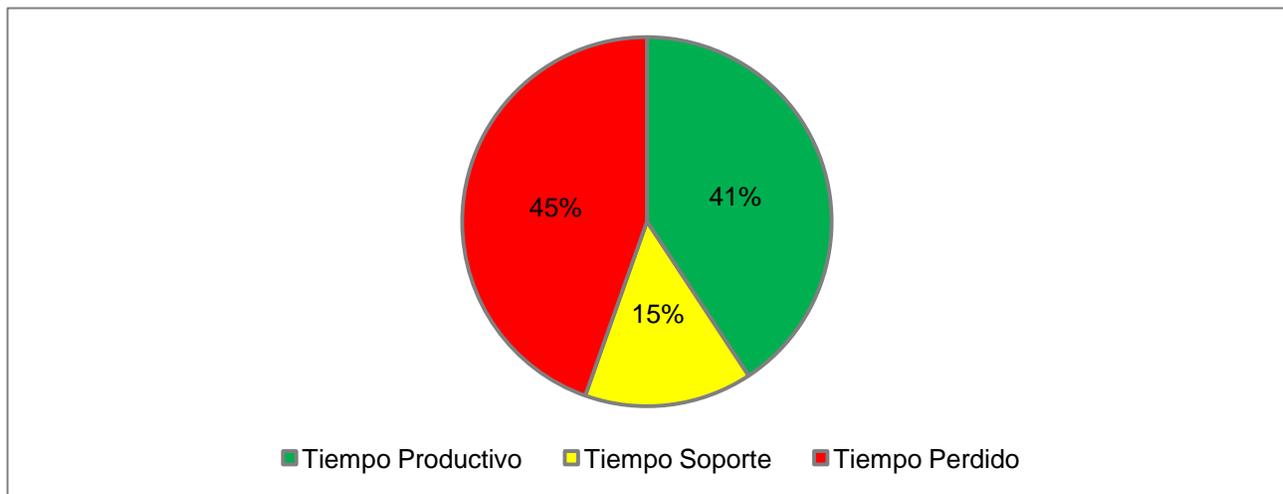


Figura 71. Work sampling de muestra 3 de encofrado de losa con sistema Convencional.

Como punto de comparación se tiene la figura 72, en el cual se recopilan los resultados de productividad general de las cuatro muestras de

encofrado de losa con sistema Convencional, así como el rendimiento de cada uno.

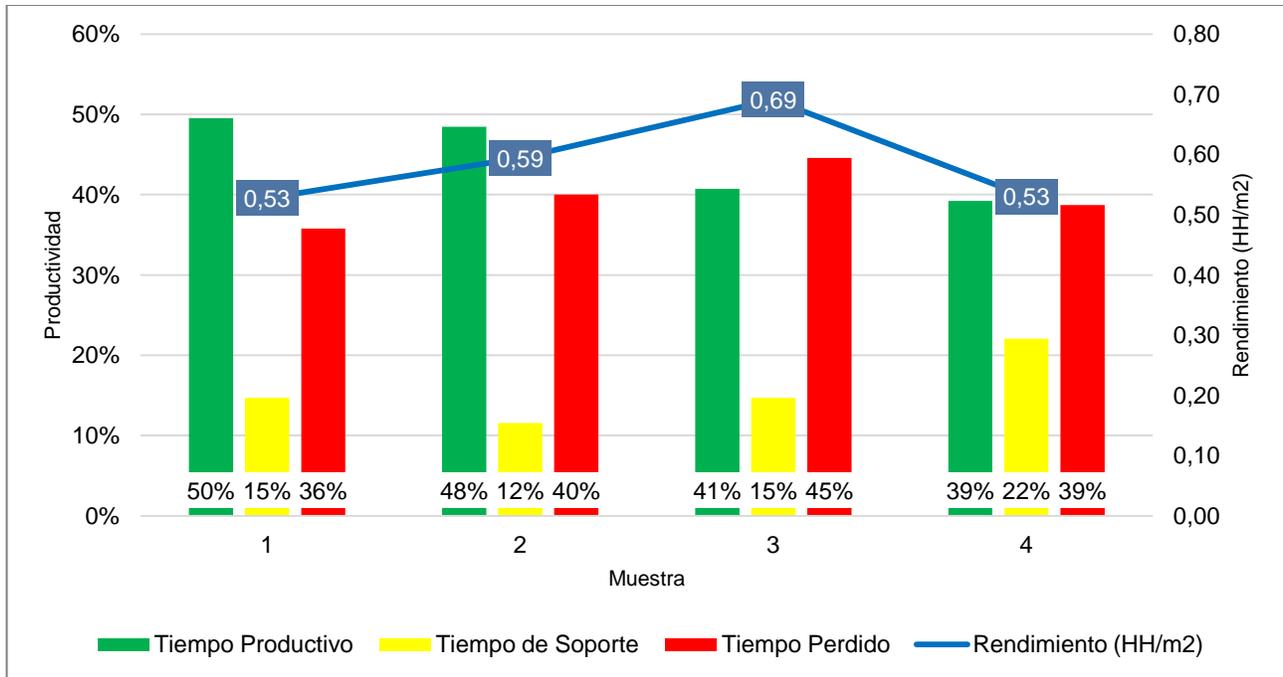


Figura 72. Resumen de productividad y rendimientos de las cuatro muestras de encofrado de losa Convencional.

Desencofrado de losa con sistema Convencional

Ilustración de proceso

La siguiente figura 73 muestra el proceso de desencofrado de losa con paneles de formaleta Convencional.



Figura 73. Desencofrado de losa con sistema Convencional.

Recursos y diagramas de flujo

En la figura 74 se explica el proceso por medio de un diagrama de flujo. En el cuadro 37 se muestran los recursos utilizados en el desencofrado de losa con sistema Convencional.

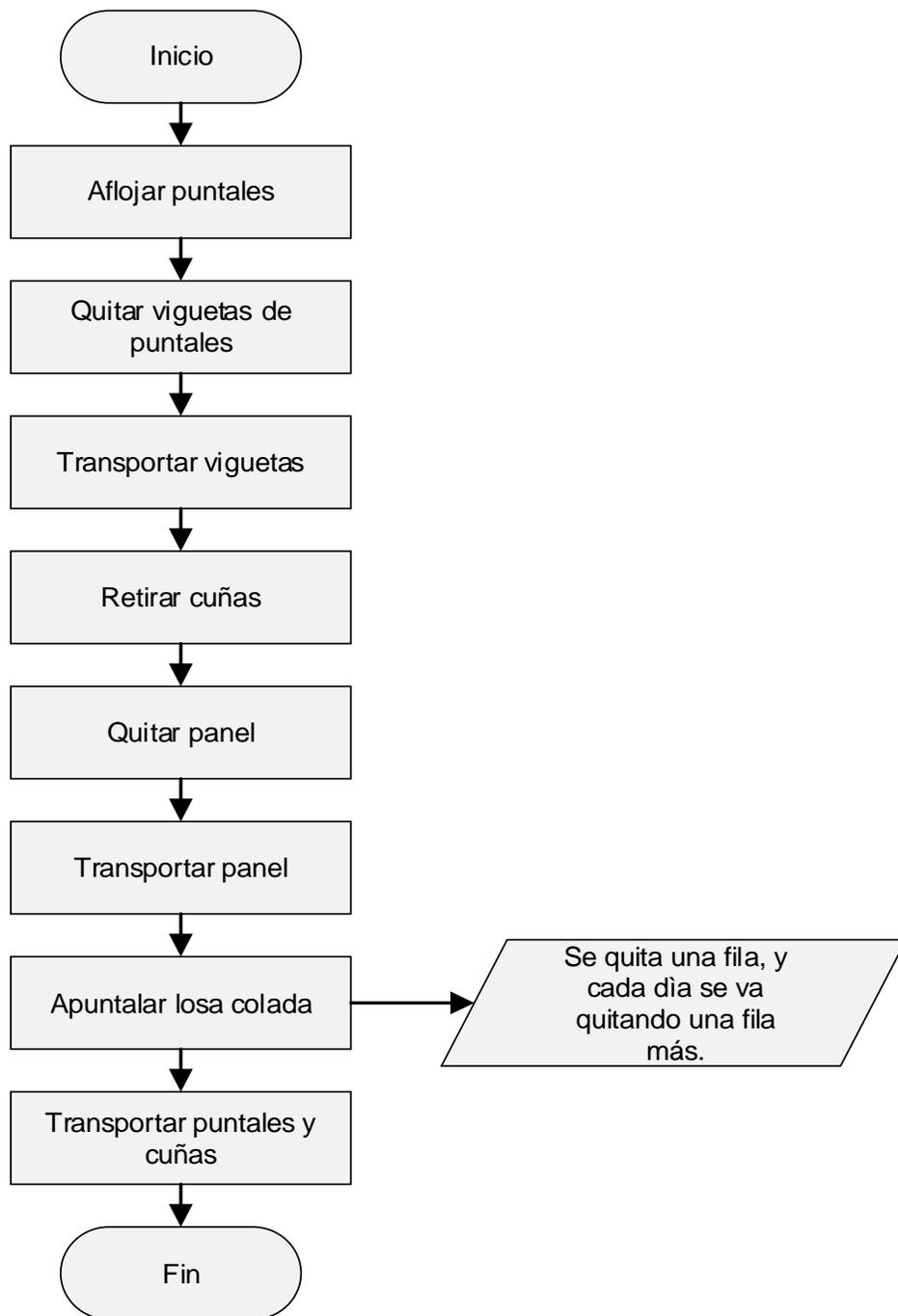


Figura 74. Diagrama de flujo de desencofrado de losa con sistema Convencional.

CUADRO 37. RECURSOS UTILIZADOS EN DESENCOFRADO CONVENCIONAL		
Mano de Obra	Material	Equipo y Herramientas
1-4 Operarios 1-4 Ayudantes	Alambre negro	Banco Martillo Gancho Espátula Cuerda

Productividad y rendimientos

A continuación, los resultados obtenidos de productividad y rendimiento para el proceso de

desencofrado losa con sistema Convencional. Para empezar, el resumen de los rendimientos de cuatro muestras en el cuadro 38, con su promedio y coeficiente de variación.

CUADRO 38. RENDIMIENTO DE DESENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA CONVENCIONAL						
# Muestra	Fecha	Cant. Trabajadores	Duración (Horas)	Horas Hombre (HH)	Cantidad (m ²)	Rendimiento (HH/m ²)
1	miércoles, mar 14 2018	3	3,0	9,0	34,7	0,26
2	viernes, abr 20 2018	2	3,8	7,7	34,7	0,22
3	sábado, abr 21 2018	3	2,3	7,0	43,8	0,16
4	lunes, abr 23 2018	3	2,0	6,0	32,4	0,19
Rendimiento Promedio						0,21
Desviación estándar						0,04
Coeficiente de variación						21%
fi						14%
Rendimiento real						0,23

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos de productividad de desencofrado de losa con sistema Convencional de la muestra 2.

Para comenzar, se tiene en el cuadro 39, la clasificación de las actividades en tiempo productivo, tiempo de soporte y tiempo perdido.

CUADRO 39. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE DESENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA CONVENCIONAL

Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Quitar panel	Transporte de objetos	Espera
Quitar accesorios	Seguridad	Viaje
Quitar puntal	Instructivo	Descanso
Quitar vigueta/ regla madera	Apoyo	Hablando
Poner puntal		

Asimismo, se adjunta el gráfico de barras, en la figura 75, obtenido por el método de Crew Balance, en el cual se muestra el porcentaje de tiempo que le dedicó el trabajador a la actividad

durante el muestreo. Cada actividad está representada por un color diferente, como lo indica la simbología del gráfico.

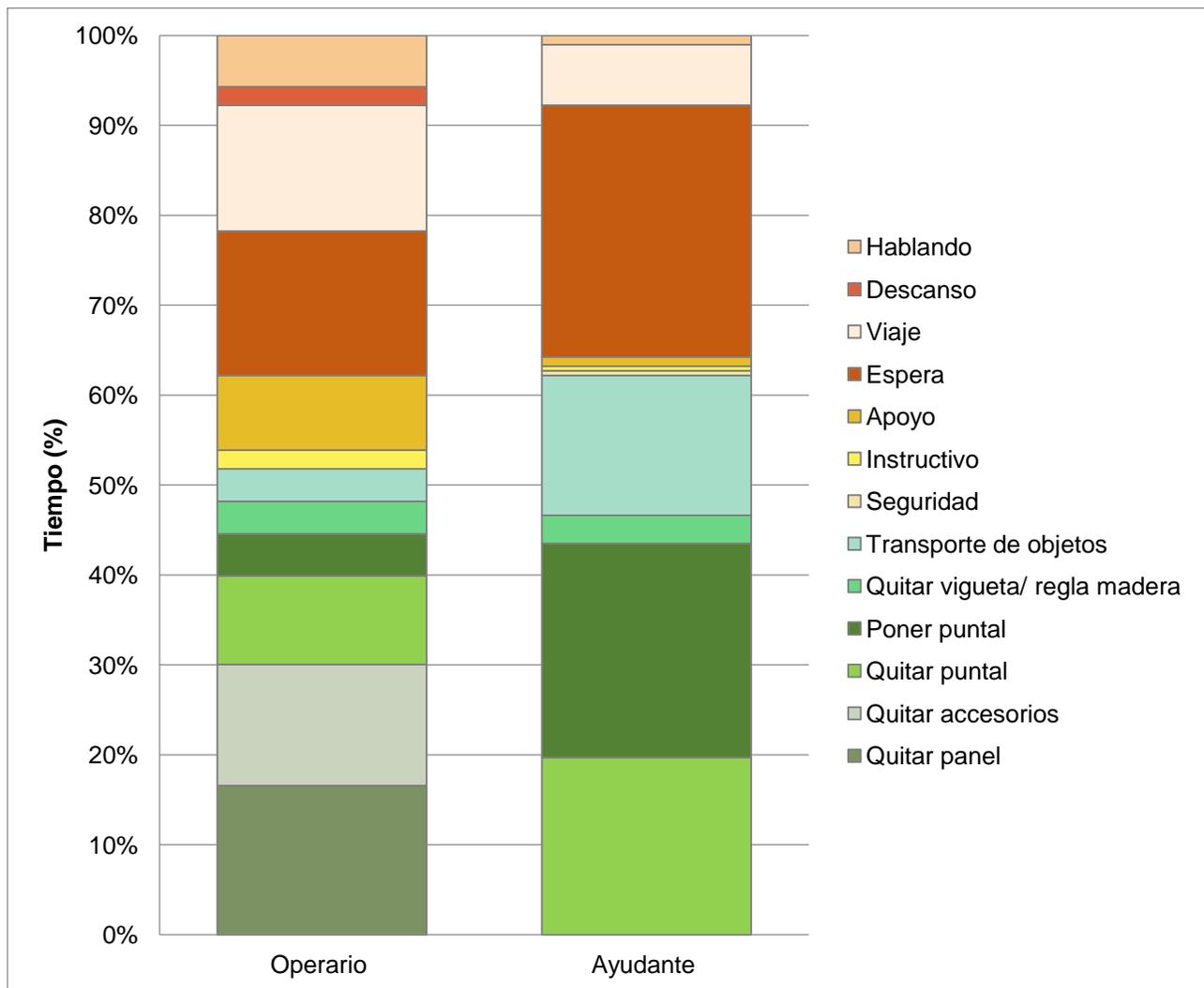


Figura 75. Crew balance de muestra 2 de desencofrado de losa con sistema Convencional.

En la figura 76, los resultados de productividad de cada integrante de la cuadrilla por el método de Five Minute Rating. El color verde es tiempo

productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

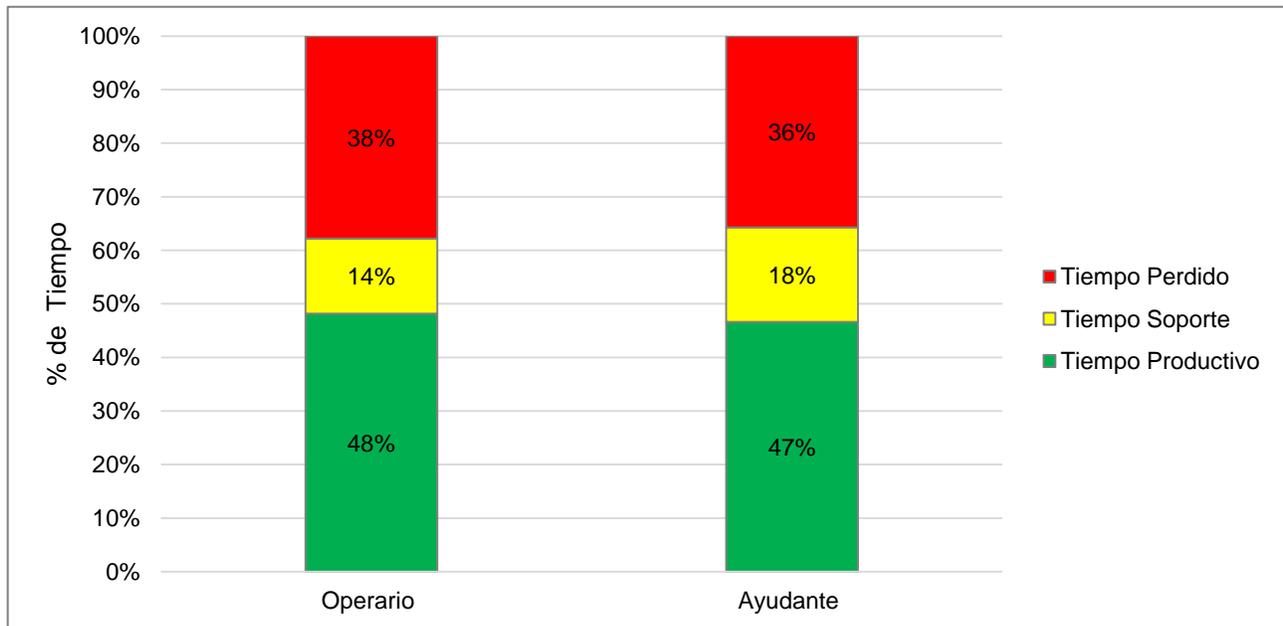


Figura 76. Five minute rating de muestra 2 de desencofrado de losa con sistema Convencional

Luego se tiene en la figura 77, el porcentaje de productividad de la cuadrilla en general, obtenida

por el método de Work Sampling. El color verde es tiempo productivo, el amarillo tiempo de soporte y el rojo tiempo perdido.

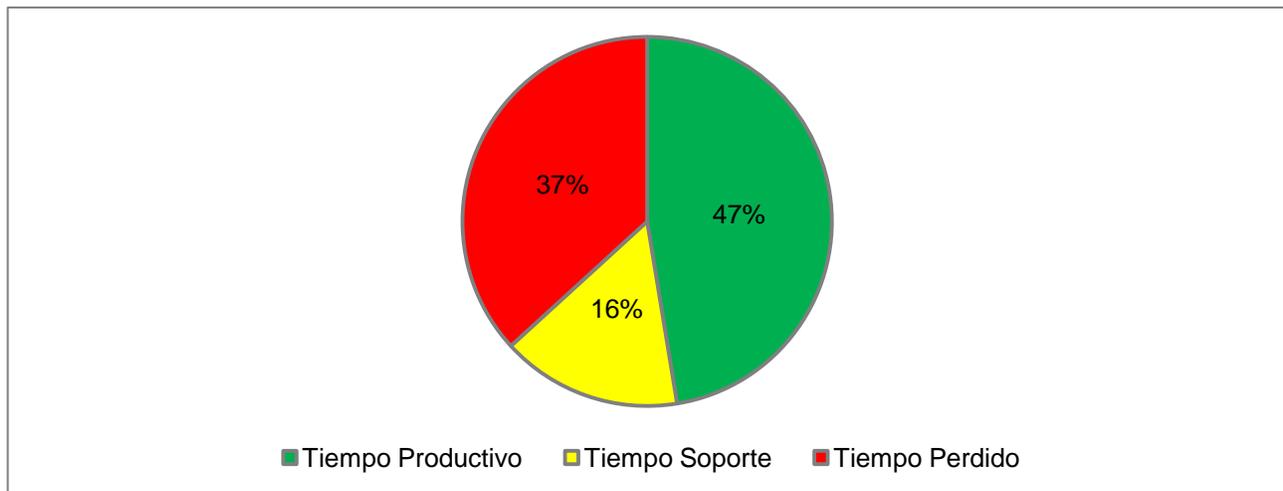


Figura 77. Work sampling de muestra 2 de desencofrado de losa con sistema Convencional

Como punto de comparación se tiene la figura 78, en el cual se recopilan los resultados de productividad general de las cuatro muestras de

desencofrado de losa con sistema Convencional, así como el rendimiento de cada uno.

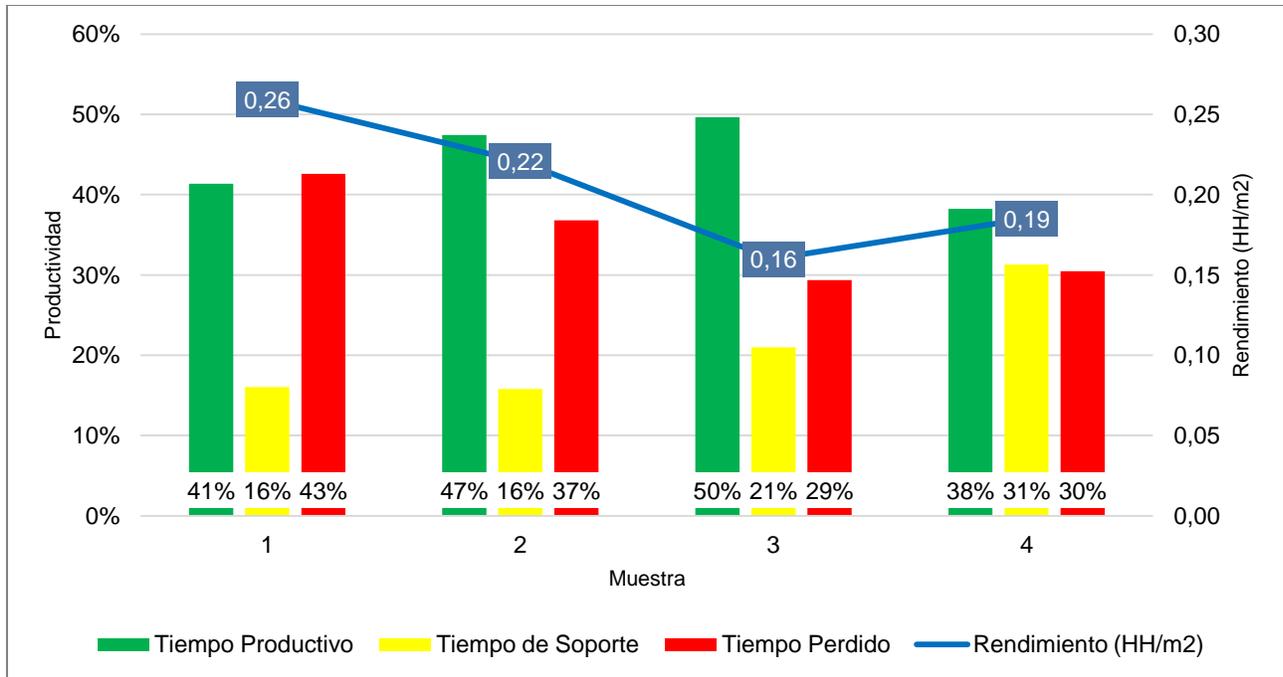


Figura 78. Resumen de productividad y rendimientos de las cuatro muestras de desencofrado de losa Convencional.

Debido a que estos procesos y su diseño de sitio variaban de acuerdo con la losa que se estaba trabajando, se creó un diagrama de recorrido general que aplicara a todos los casos.

En el cuadro 40 están los datos de tiempo y distancia promedios obtenidos, y en la figura 79 el diagrama de recorrido.

CUADRO 40. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA CONVENCIONAL

# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Desencofre Losa Convencional	–	–
2	Transporte de puntales	12	30
3	Apilamiento de puntales	–	–
4	Transporte de puntales	12	30
5	Transporte de accesorios	12	25
6	Apilamiento de accesorios	–	–
7	Transporte de accesorios	12	25
8	Transporte de paneles	12	35
9	Apilamiento de paneles	–	–
10	Transporte de paneles	12	35
11	Aplicación de desmoldante	–	–
12	Transporte de madera	12	30
13	Apilamiento de madera	–	–
14	Transporte de madera	12	30
15	Corta de reglas de madera	–	–
16	Encofrado de Losa	–	–
17	Espera por fraguado del concreto	–	14 horas

Diagrama de recorrido

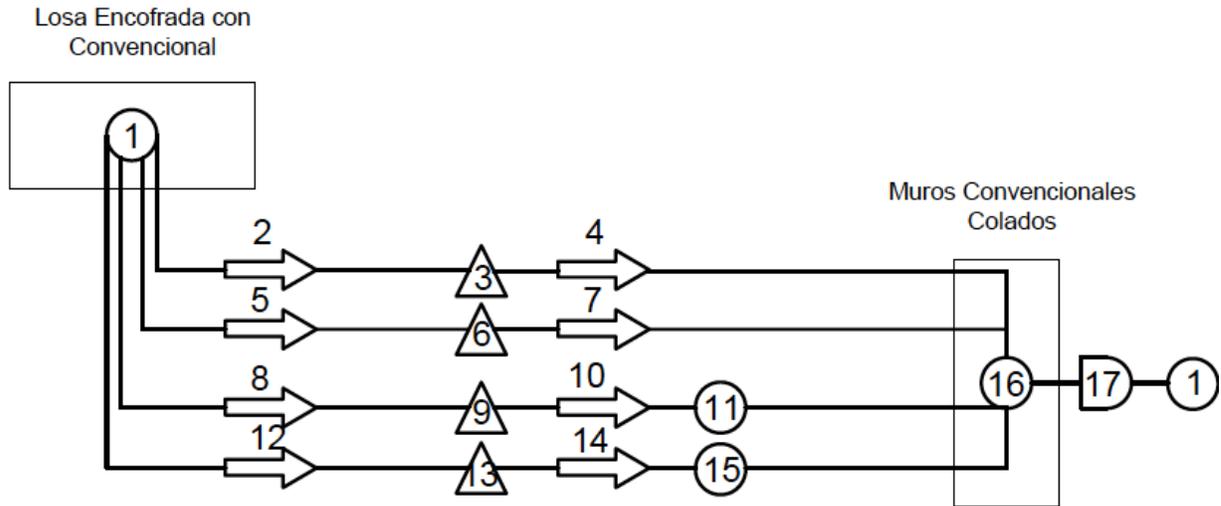


Figura 79. Diagrama de recorrido general de encofrado y desencofrado de losa Convencional.

Reloj GPS

Por otro lado, en la figura 80 se aprecia el resultado de un recorrido hecho en el proyecto iFreses, para un ayudante de encofrado de losa.

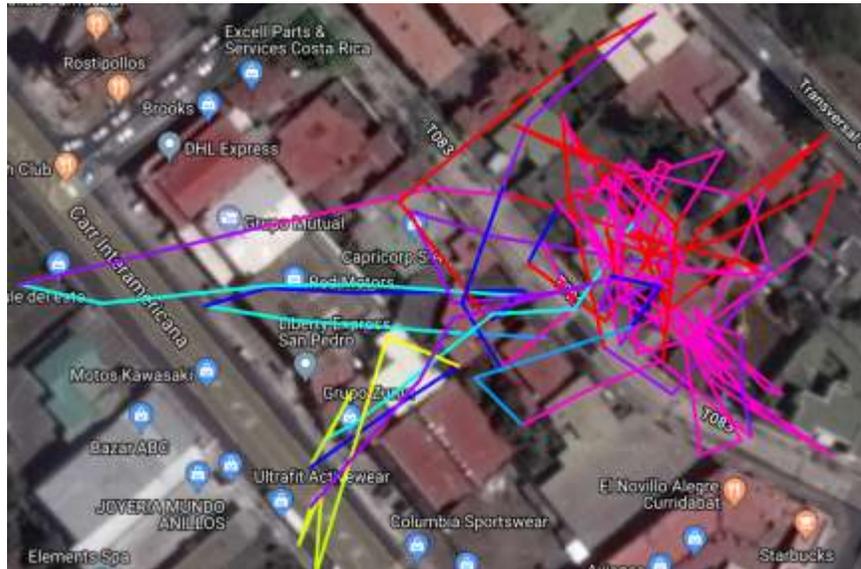


Figura 80. Diagrama de recorrido con reloj GPS en iFreses.

Causas de disminución de la productividad en iFreses

Encuesta

El cuadro 41 sintetiza los resultados de ocho preguntas realizadas a 15 trabajadores de iFreses.

CUADRO 41. RESUMEN DE ENCUESTA REALIZADA A TRABAJADORES EN IFRESES				
Pregunta	Moda iFreses	Categorías		
1. ¿Cómo califica las áreas de uso común (baño, comedor, hidratación)?	3	1 = Mal	2 = Regular	3 = Bien
2. ¿Cómo califica la cercanía y disponibilidad de material?	3	1 = Mal	2 = Regular	3 = Bien
3. ¿Cómo califica la cercanía y disponibilidad de herramientas y equipo?	3	1 = Mal	2 = Regular	3 = Bien
4. ¿Cómo califica el orden y la limpieza del proyecto?	3	1 = Mal	2 = Regular	3 = Bien
5. ¿Siente que su cuadrilla está bien dimensionada?	2	1 = Subdimensionada	2 = Adecuada	3 = Sobredimensionada
6. ¿Interviene con su trabajo la labor de las otras cuadrillas?	2	1 = Nada	2 = Ocasionalmente	3 = Repetidas veces
7. ¿Siente que el clima afecta su productividad?	1	1 = Nada	2 = Más o menos	3 = Mucho
8. ¿Se siente motivado trabajando?	3	1 = Nada	2 = Más o menos	3 = Mucho

Asimismo, se tiene en la figura 81 los resultados a la siguiente pregunta: ¿Cuánto tiempo lleva

laborando para la empresa?

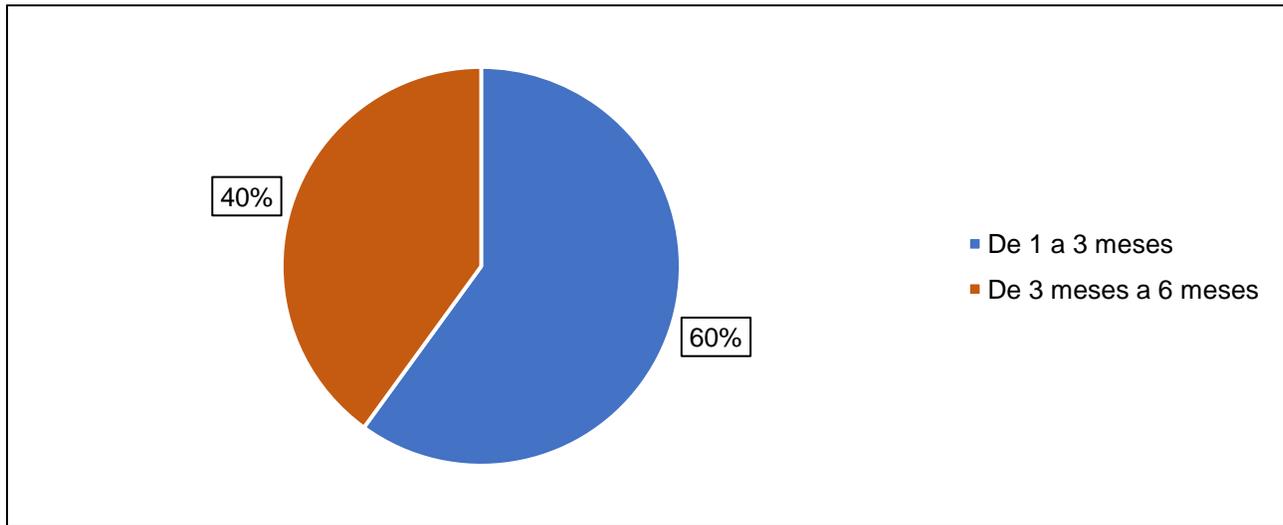


Figura 81. Tiempo laborando para la empresa en el proyecto en iFreses.,

Del mismo modo se tiene en la figura 82 los resultados a la siguiente pregunta ¿Cuáles

factores creen que deberían mejorarse para aumentar la productividad?

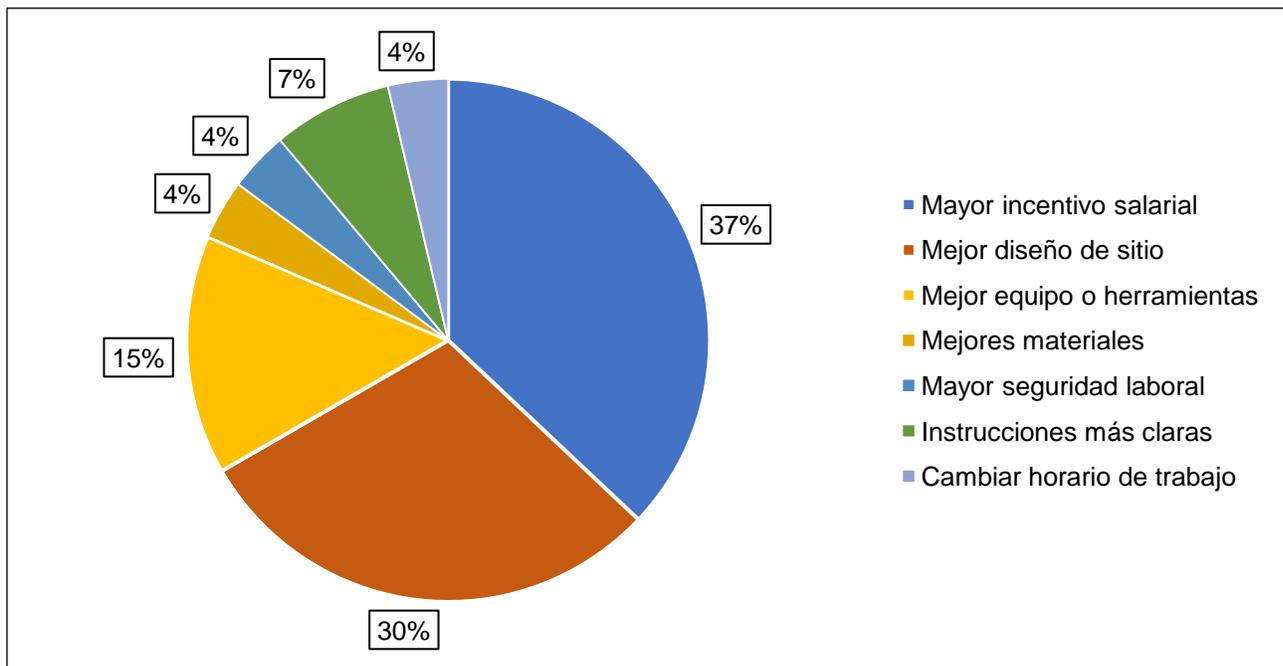


Figura 82. Factores que aumentarían la productividad en proyecto iFreses.

Análogamente se muestra en la figura 83, las causas que afectan la productividad del

encofrado y desencofrado de losa, con sistema de formaleta Forsa y Convencional.



Figura 83. Diagrama de Ishikawa de factores que disminuyen la productividad en el encofrado y desencofrado de losas.

Propuesta de mejora en iFreses

A continuación, se presentan los principales hallazgos encontrados, junto con la recomendación brindada, que se considera que mejoraría la productividad. De igual forma se

indica el estado de la recomendación, ya sea que fue implementada, representado por un símbolo de \checkmark o quedó pendiente de implementación al finalizar la práctica, con el símbolo de una \times .

Del cuadro 42 al cuadro 44 se menciona la totalidad del plan de mejora, separado por proceso en el proyecto iFreses.

CUADRO 42. PLAN DE MEJORA EN GENERAL PARA PROCESOS DE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA FORSA EN EL PROYECTO IFRESES

Hallazgo	Recomendación	Estado
No se está aplicando desmoldante en los laterales de los paneles de formaleta, por lo que resulta más difícil separarlos, además de que el acabado de las losas se ve afectado.	Aplicar desmoldante a los laterales de los paneles de formaleta, tal y como lo menciona las buenas prácticas del manual de Forsa.	✓
Cuando se desencofra los accesorios quedan esparcidos por el suelo, se pierden, generan desorden, tiempos de búsqueda y de orden y limpieza.	Implementar el uso de baldes rotulados donde se coloquen de forma ordenada y clasificada los accesorios.	✗
Se colocan los paneles en la posición para encofrar, pero deben de bajarse debido a que no se ajustan a los otros paneles, en consecuencia, a que no se limpian adecuadamente los restos de concreto.	Antes de aplicar desmoldante a los paneles, limpiar totalmente la superficie y laterales de los paneles para evitar retrabajos innecesarios que no agregan valor al proceso.	✓
El plano de taller no siempre se encuentra en campo, o no siempre es utilizado por los trabajadores, lo que conlleva a que se tenga que medir el espacio en el cuál panel debe colocarse.	El maestro de obras debe asegurar en la mañana que el plano de taller se encuentre en el sitio de encofrado, así como sus trabajadores sepan de este y lo utilicen.	✗

CUADRO 43. PLAN DE MEJORA EN GENERAL PARA PROCESOS DE ENCOFRADO Y DEENCOFRADO DE LOSA CON SISTEMA CONVENCIONAL EN EL PROYECTO IFRESES

Hallazgo	Recomendación	Estado
Se invierte mucho tiempo en el corte intermitente de alambre para amarrar las reglas de madera a los puntales, siendo un factor que interrumpe el flujo de trabajo.	Asignar como tarea previa, el corte de alambre a la medida necesitada, ya que estos siempre tienen el mismo tamaño por lo que se pueden estandarizar.	✓
Se utilizan grandes cantidades de reglas de madera para amarrar los puntales, manifestándose en un gasto de material y de tiempo al cortarlas y buscar la adecuada.	Considerar un elemento metálico como perfiles de aluminio, que cumplan la función de arriostrar, y que tenga tamaños estándar que se adecuen a las dimensiones de losas encofradas.	X
En algunos casos, los bancos que se utilizan como equipo para alcanzar más altura, son de madera de 1,50 m de largo, obstaculizando el paso, y además son incómodos de movilizar ya que no entra en medio de los puntales. Además, se observó que se deben esperar que bancos se encuentren disponibles, generando esperas.	Asegurarse que, si los bancos pequeños del sistema Forsa no son suficientes, construir bancos de madera de un menor largo que permite una movilización fluida en el espacio de encofrado con puntales.	X
Las reglas de madera se colocan en la mitad de la altura de los puntales, interrumpiendo el paso del personal de obra.	Colocar las reglas de madera a 1,75 cm del suelo, una distancia que permite el flujo de la mayoría de los trabajadores, sin comprometer la función de estas.	✓

CUADRO 44. PLAN DE MEJORA EN GENERAL PARA EL PROYECTO IFRESES

Hallazgo	Recomendación	Estado
Los paneles de formaleta, no se apilan en orden, generando tiempos de búsqueda. Además, hay varios que se van moviendo de piso en piso y no se utilizan, sólo se movilizan, obstaculizando el paso innecesariamente.	Antes de desencofrar debe haber un lugar designado y pensado para colocar los paneles y accesorios, el cual esté cerca del próximo lugar a encofrar y donde se apilen de acuerdo con el tamaño y tipo de sistema.	✗
Los puntales se transportan individualmente, de uno en uno, generando viajes y transportes, por lo tanto, reduciendo la productividad del proceso.	Si es en el mismo nivel, es posible transportar cuatro puntales, entre dos personas, por lo que se disminuyen los transportes a la mitad.	✗
Las extensiones utilizadas para los equipos eléctricos quedan a una altura en donde interrumpen el paso, por lo que pueden causar un accidente.	Mantener las extensiones lo más cercano al nivel de cielo, y auxiliarse con puntales o elementos verticales que permitan colocarlas a una altura prudente.	✓
No se está aprovechando el uso de la grúa para el transporte en conjunto de puntales y paneles de formaleta.	Tener las plataformas en voladizo construidas en el nivel de avance más alto posible para transportar los paneles por medio de un cajón que se coloque en esta plataforma. Asimismo, utilizar al máximo el cajón cuando la grúa todavía tiene libre acceso para subirla, sin la plataforma.	✗
El amarrado de alambre se realiza por medio de la tenaza, y se invierte mucho tiempo en esta tarea. Asimismo, el corte de alambre genera sobros de este material que disminuyen el orden y limpieza del proyecto, además de que se debe gastar tiempo en recoger estos sobrantes.	La recomendación es apoyarse de la tecnología y considerar en la adquisición de una tenaza giratoria, o si es posible adquirir un equipo eléctrico que realiza esta tarea, y que está disponible en el mercado.	✗
Los elementos no se desencofran totalmente, y sólo se extraen el equipo que se van a utilizar en el próximo elemento. Esto afecta el flujo continuo del proceso. De igual modo, los elementos que no se desencofran obstaculizan el desarrollo de las actividades sucesoras.	Los elementos se deben de desencofrar en su totalidad. Esto es una práctica sana que aumenta el orden, y ayuda a que el flujo de los procesos no se detenga. Evitar problemas en las actividades que viene, la cual son los resanes.	✗
Hay huecos de ductos que no se tapan correctamente, y las tablas de madera quedan sueltas.	Al inicio de la mañana verificar que todos los huecos de ductos estén tapados y que las tablas de madera se encuentren fijadas, esto para evitar accidentes.	✓

Respecto a cada proceso por separado se presenta el siguiente cuadro 45, donde se comparan resultados de la empresa en el año

2017, con los obtenidos en los proyectos CEDI Coris. Asimismo, se compara con la meta establecida por la empresa.

CUADRO 45. COMPARATIVA DE VOLIO Y TREJOS EN GENERAL CON EL PROYECTO IFRESSES					
Proceso	# Muestra	Rendimiento (HH/m ²)	Productividad General		
			Tiempo Productivo	Tiempo de Soporte	Tiempo Perdido
Encofrado Forsa	iFreses	0,41	41%	21%	38%
	Promedio CVT	0,80	41%	42%	18%
	Diferencia a promedio	0,39	0%	21%	20%
	Meta CVT	-	60%	25%	15%
	Diferencia meta	-	19%	4%	23%
Encofrado Convencional	iFreses	0,59	44%	16%	40%
	Promedio CVT	0,64	46%	29%	25%
	Diferencia a promedio	0,05	2%	13%	15%
	Meta CVT	-	60%	25%	15%
	Diferencia a meta	-	16%	9%	25%

Análisis de Resultados

CEDI Coris

Como punto de partida se eligió el proyecto CEDI Coris debido a que como lo muestra la figura 8 las principales actividades que se iban a poder observar eran de obra gris, las cuáles, de acuerdo con la empresa, son las que más les interesa aumentar la productividad.

La consulta realizada a los expertos confirmó el interés de la empresa por analizar procesos de obra gris, principalmente que fueran actividades realizadas por los trabajadores de la empresa Volio y Trejos. En el caso de CEDI Coris sí fue posible analizar exclusivamente a los trabajadores de la empresa.

La figura 9 donde se observa el diagrama de Pareto de costos del proyecto CEDI Coris, permite apreciar que las actividades de bloques concreto, placas, repellos, columnas y entrepiso son las que entran dentro del 80%, por lo que fueron elegidas preliminarmente. Al final se eligieron columnas y mampostería ya que eran actividades posibles de observar durante los días

de visita al proyecto y que no estaban cerca a finalizar, o recién iniciadas. Los repellos se eligieron en un principio, sin embargo, debido a atrasos que hubo en el proyecto, este proceso no pudo iniciar, y por lo tanto fue descartado.

Pega de bloques de mampostería

La actividad de mampostería está compuesta por los procesos de pega de bloques y relleno de celdas.

El proceso de colocación de bloques que se muestra en la figura 10, 11 y cuadro 1 fue realizado, la mayoría del tiempo, por una cuadrilla compuesta por un operario que pegaba

bloques, un ayudante que sisaba, un mezclador, un cortador y un abastecedor, sin embargo, se observó que esta configuración variaba de acuerdo con el edificio y frente en el que se estuviera trabajando. Cabe destacar que el mezclador, el cortador y el abastecedor apoyaban de 2 a 5 cuadrillas al mismo tiempo. Es importante mencionar que el acabado de las paredes era sisado. Esto implicaba que se debía invertir tiempo en esta tarea. En caso de que se estuviera trabajando de seis hiladas para arriba se recurría al uso de andamios. En este proyecto la mampostería tenía un aspecto particular en la colocación de acero. Además de que era desarrollado por otro contratista, el acero vertical se colocaba una vez finalizadas las doce hiladas, y se amarraba a los arranques de la placa corrida por medio de una ventana de inspección ubicada en la primera hilada de la pared. De este modo la varilla no era un obstáculo cuando se colocaban los bloques.

A modo de aclaración se debe enfatizar que en el apartado de resultados se encuentra solamente una de las muestras de cada proceso, sin embargo, en el análisis se toman en cuenta todas. Los gráficos de las otras muestras se pueden encontrar en el apartado de Apéndices.

Para empezar, se tiene en el cuadro 2, los rendimientos de la colocación de bloques de mampostería. Estos datos fueron basados en la cantidad de bloques que se pegaban por día. Se analizaron diferentes cuadrillas del proyecto para tener una muestra representativa del comportamiento general de CEDI Coris, con el fin de poder atacar los problemas desde varios puntos de vista, y no sólo resolver los conflictos de una pareja. Asimismo, se puede notar en la fecha que las muestras corresponden a distintos días de la semana, para poder conocer que factores influyen, ya sea al principio, al medio, o al final de la semana. La cantidad de horas hombre está basado solamente en las horas del operario y el ayudante, y no se tomó en cuenta

al mezclador, cortador y abastecedor, debido a que estos trabajaban para todas las parejas, entonces este rendimiento es considerado netamente de la pareja. El factor de incremento es de un 18% que representa principalmente las horas que se dedicaban a alimentación y baño. El coeficiente de variación de 19% está afectado por las últimas dos muestras que son las que tienen mayor diferencia entre ellas. El cuadro 3 clasifica las tareas de acuerdo a si aportan valor, si no aportan, pero son necesarias, o si del todo no aportan valor.

Las siguientes muestras se observan en el Apéndice A. Para empezar, se tiene la muestra 1 de pega de bloques donde en la figura 84, el cual es el Crew Balance, se aprecia que el operario dedica la mayor parte del tiempo a pegar mortero y colocar los bloques, y el ayudante a sisar lo cual es lo esperado, ya que son sus tareas asignadas. Estos resultados se resumen en la misma figura donde se ve que la productividad es similar entre operario y ayudante con un 67%. El operario tiene mayor tiempo de soporte reflejado en la limpieza, y el ayudante mayor tiempo perdido que se traduce en viajes por bloques. Luego se resume los resultados de productividad de la cuadrilla, reflejando que tienen tiempos que sobrepasan la meta de Volio y Trejos de 60% de Tiempo Productivo, 25% de Tiempo de Soporte y 15% de Tiempo Perdido.

En la muestra 2 se analizó a la misma pareja de la muestra 1. La figura 86 muestra un comportamiento distinto en los porcentajes de productividad, donde el ayudante tiene un tiempo perdido de 45% el cual es considerado alto, y el operario uno de 22%. Esto se justifica en la figura x en tiempos de espera, que son la mayoría por la mesa de corte, ya que no se tenían cortados con anticipación los bloques, atrasando al operario y al ayudante. En resumen, la cuadrilla no alcanza la meta por el 33% de tiempo perdido.

En el caso de la muestra 3, se analizó a una pareja distinta ubicada inclusive en otro frente de trabajo, por lo que su cortador y mezclador tampoco eran los mismos. La figura 88 muestra el crew balance con un alto porcentaje de espera para tanto para operario como el ayudante. El five minute rating lo confirma con tiempos productivos de 21% para el operario y 35% para el ayudante. Esto en general se ve como un 28% de tiempo de

espera. En lo observado, la espera se debió a que el acero horizontal era colocado por otro subcontratista, y cuando se llega a la hilada donde se debe colocar, el contratista no está cerca, por lo que se invierte tiempo esperando a que llegue y lo coloque.

En la muestra 4 se tiene a la misma cuadrilla de la muestra 1 y 2. En la figura 90, las actividades no productivas más relevantes son, para el operario viajes, y para el ayudante esperas. El viaje que más influyó fue una ida al baño el cual no se encontraba cerca por lo que se tuvo que desplazar más de 100 metros para llegar. Esto afecta en que, si el operario no avanza, el ayudante tiene que esperar para poder seguir sisando los bloques. Esto se ve traducido en tiempo perdido dando como resultado un 26% de tiempo no contributivo para la cuadrilla.

En la muestra 5 se analizan dos cuadrillas al mismo tiempo, una siendo la de la muestra 1,2 y 4 y la otra es una que está siendo abastecida por el mismo cortador y mezclador. La pareja 1 colocaba en la hilada 5, mientras que la pareja colocaba bloques en la hilada 10. Como es de esperarse los operarios dedican su tiempo a pegar bloques, y los ayudantes a sisar, así lo refleja la figura 92. Es más productiva la pareja 2, que la pareja 1. La principal razón que se observó es una persona del contratista de electromecánica, no estaba trabajando y hablaba con la pareja 1, principalmente con el ayudante. En general, el tiempo productivo, cumple con la meta de Volio y Trejos, pero el perdido está más alto, por lo anteriormente mencionado.

En general, se tiene la figura 15, que resume los resultados de productividad y rendimientos de todas las muestras. El mejor rendimiento lo tiene la muestra 5, y tienen la segunda productividad más alta, esto podría verse como mejora en los procesos, ya sea por las implementaciones y la curva de aprendizaje de los trabajadores. No obstante, la mejor productividad la tiene la muestra 1. El hecho de que se le solicitara por primera vez a los trabajadores que se les iba a grabar influye, debido a sospechas de que el video sea entregado a los ingenieros para ver si realmente están trabajando, ellos procuraron siempre estar activos.

Los diagramas fueron herramientas para examinar el diseño de sitio local de las actividades analizadas. Para la mayoría de los

procesos se construyó un diagrama de recorrido por muestra. No obstante, en el apartado de Resultados solamente se adjunta un diagrama por proceso. Los otros diagramas de recorrido se encuentran en el apartado de Apéndices.

Para el caso de pega de bloques de mampostería los principales puntos de transporte son a la mesa de corte, la batidora y las plataformas de bloques, que son traídas por los montacargas telescópicos. En los cuadros 46, 47, 48, 49 y 50 y las figuras 85, 87, 89, 91 y 92. en los cuales se plasman los recorridos de las muestras.

Los viajes más largos son a la mezcladora de mortero. La mezcladora debía abastecer a varios puntos al mismo tiempo, por lo que se intentaba colocar en una localización intermedia, sin embargo, se generaban transportes y viajes largos para todas las cuadrillas. Por otro lado, debido a buenas prácticas que se implementaron en la empresa anteriormente, la mezcladora debe tener en su parte posterior una fosa de 1,5 metros de profundidad, donde se depositen los desechos de concreto y mortero. Esto implicaba que cada vez que se moviera la mezcladora, se debía excavar la fosa, y rellenar la anterior. Por estas razones la movilización no era tan fluida. En el caso de la mesa de corte, estaba normalmente cerca de los 20 metros de la zona de trabajo, ya que si había más mesas disponibles. Lo importante es mantener las zonas de tránsito libres de obstáculos para que los transportes sean eficientes.

La idea de utilizar un reloj GPS fue idea del dueño de la empresa. No obstante, todo el proceso de implementación se realizó en esta práctica. El proceso de saber cómo utilizarlo, como procesar los datos para graficarlos, y la adaptación para entregárselo a los trabajadores fueron parte de los trabajos que se realizaron. El responsable de elegir el usuario del reloj era responsabilidad del maestro de obras y de los ingenieros de producción. A pesar de esto, se aprovechó el uso de este en varias ocasiones para colocarlo en las actividades que se analizaron en el proyecto. Por otro lado, es importante mencionar que se realizaron varios estudios y pruebas, en los que se llegó a concluir que el reloj no era útil para medir distancias, ya que no mostraba resultados reales. Esto se puede ver en el Apéndice M.

La figura 17 corresponde al proceso de mampostería. Los viajes observados son al acopio y a la bodega general. Los viajes al comedor y a la bodega de cajillas se descartan ya que fueron realizados durante el almuerzo, por lo que no ocurrieron dentro del tiempo que se laboraba. Lo que se rescata es el viaje a bodega general que no debería de ocurrir, ya que los implementos deberían de estar en la bodega del frente o en el centro de acopio.

Relleno de celdas con máquina

En cuanto al proceso de relleno de celdas, este era desarrollado con una máquina de proyección, compuesta por una tolva donde se colocaban los sacos, y una manguera la cual permitía agilizar la tarea de llenado, así como lo muestra la figura 18. Al funcionar con agua y electricidad presentaba la desventaja de que era dependiente a estos recursos. En caso de que perdiera el flujo de corriente eléctrica o agua, había que detener todo el proceso para purgar la manguera y volver a encenderla, debido al fraguado del mortero dentro de la máquina. Se debe hacer notar que en el proyecto en total había dos máquinas de relleno de celdas, viéndose reflejado en dos cuadrillas compuestas por tres personas, cada una, así como lo ejemplifica la figura 19 y el cuadro 5.

Los rendimientos del relleno de celdas se abarcan en el cuadro 6. Este rendimiento se ve afectado principalmente por el rendimiento de la máquina, lo que se ve reflejado en el coeficiente de variación de 8%, así como por la experiencia que tengan los trabajadores utilizando el equipo. El % de factor de incremento se considera 0% ya que en el período de observación no se observaron otro tipo de actividades.

Debido al método, se considera productivo estar inspeccionando que el saco se vierta en la tolva, y que la manguera este relleno de las celdas, resultando el cuadro 7.

La totalidad de las muestras se ven en el Apéndice B. La muestra 1 analiza a la cuadrilla de tres personas. En la figura 94 se identifica al operario vertiendo concreto en las celdas, al primer ayudante colocando el saco en la tolva, y al segundo ayudante en esperas o viajes, indicando que tiene momentos en los que no tiene trabajo que hacer. Se identifica una

señal alarmante donde los tres trabajadores tienen tiempos perdidos altos. Esto resulta en un 51% de tiempo perdido y solamente un 36% de tiempo productivo. La razón que se identifica es el tiempo que se le dedica a arreglar la máquina por fallos que tiene, debido a que está defectuosa y no se arregla.

La muestra 2, en la figura 95, confirma lo de la muestra 1, el ayudante 2 no tiene trabajo por realizar y tiene esperas de asignación de instrucciones. Caso contrario ocurre con el ayudante 1 que tiene un 95% de tiempo productivo. Se le atribuye a que es el que vierte el concreto y no tiene nada más que hacer durante el tiempo de muestreo. La cuadrilla en general obtiene un 69% de productividad, llegando a la meta, pero sesgado por dos personas bastante productivas y una que no.

En la muestra 3 se cambia de cuadrilla y de máquina. En la figura 96 se percibe que el contraste más notorio es en uno de los ayudantes, donde dedica más tiempo en alcanzar objetos, traduciéndose en un mayor tiempo de soporte, indicando una mayor anticipación de los trabajos a realizar por parte del trabajador. En general la productividad de 71% cumple con las metas de la empresa,

La muestra 4 en la figura 97, es la misma cuadrilla de la 3, sin embargo, tiene la característica de que se estaban relleno las celdas con la máquina encima de un andamio. A pesar de esto se repite el comportamiento de los trabajadores con porcentajes productivos altos de 88%, y 89% y un ayudante con 49% de soporte y 42% perdido, indicando que todavía puede realizar más tareas de soporte como limpieza. El tiempo productivo sigue cumpliendo con un 62%, pero el no productivo puede mejorarse.

En resumen, se tiene la figura 23 con los rendimientos y la productividad de las cuatro muestras. El rendimiento de 4,99 se debe a que se estaba trabajando en altura, y el más bajo de 4,15 es porque la cuadrilla era más eficiente, demostrado por el 71% de tiempo productivo, el cual es el más alto.

En el relleno de celdas solamente se observó el transporte de sacos de la plataforma a la tolva, siendo de 5 metros máximo, razón por la cual no se consideró necesario su análisis.

Se adjunta el recorrido de una cuadrilla de relleno de celdas en la figura 25, que ilustra solamente un viaje por el almuerzo. Esto

representa que la cuadrilla de relleno de celdas se mantiene en su zona de trabajo, por lo que transportes de más de 5 metros no ocurren, distancia parámetro considerada para decidir si se deben realizar modificaciones.

Encofrado de columnas

Las columnas rectangulares de 2,10 m de alto se dividieron en tres procesos, encofrado, colado y desencofrado. El colocado de acero no se incluye ya que este proceso le correspondía a un contratista diferente.

La figura 26 y el cuadro 8 muestran como el proceso era casi siempre ejecutado por una pareja de un operario y un ayudante. La formaleta del estilo steel-ply no estaba modulada a las columnas del proyecto, y esto implicaba que se tuviera que estar buscando paneles que calzaran, o realizando ajustes con madera, además de que no existía un plano de taller. Debido a que existían problemas de fisuras en los bloques que colindaban con las columnas, los ingenieros implementaron el uso de un aislante que se colocaba en los laterales para evitar el problema de calidad, así como se identifica en el diagrama de flujo de la figura 27.

Para el encofrado de columnas los rendimientos tienen un coeficiente de variación de 24% debido a que fueron distintas cuadrillas las analizadas, en circunstancias con variables diferentes, ejemplificado en el cuadro 9.

La clasificación de actividades está basado en como colocar los elementos son las tareas que agregan valor, mostrado en el cuadro 10.

Las muestras de este proceso están en el Apéndice C. En la figura 98, se tiene la muestra 1 se aprecia una pareja encofrando una columna rectangular de cuatro caras. El crew balance evidencia un porcentaje alto de viajes por parte del ayudante, así como de esperas y transportes. El problema se traduce en que el centro de acopio de paneles y puntales se encuentre lejos de la zona de encofrado, y se refleja en un 27% de tiempo no productivo. No obstante, a pesar de esto, la productividad es de 59%, cercana al 60%.

En la muestra 2 se da la necesidad de terminar el encofrado lo antes posible, ya que el concreto había llegado. El maestro asigna a dos

parejas a encofrar una misma columna de cuatro caras. Es evidente en la figura 100, que los únicos que produjeron fueron los operarios. Los ayudantes quedaron en segundo plano con esperas, que se traducen en tiempos perdidos de 66% y 86%. Asimismo, entre los mismos operarios se interrumpían entre ellos, por lo que también tenían esperas. El resultado final es un 52% de tiempo no productivo. Esto indica una cuadrilla sobredimensionada, con falta de funciones para los ayudantes, así como una falta de coordinación para hacer el proceso más eficiente.

La muestra 3 en la figura 102 analiza a una pareja distinta que está encofrando varias columnas de dos caras. Las esperas y los viajes están presentes, principalmente porque no hay coordinación entre ellos, y el centro de acopio se encuentra alejado. En resumen, el tiempo perdido es alto con un 36%, y el tiempo productivo es posible mejorarlo.

Al momento que se tomó la muestra 4, se dio la interrupción de un andamio que impedía el apuntalamiento de los paneles. El andamio era del contratista de acero. Asimismo, la actividad se estaba iniciando. Estas circunstancias dan como resultado tiempos de seguridad, esperas y viajes altos, tanto en el operario como el ayudante. La productividad se ve significativamente reducida con un tiempo no contributivo de 42% y de soporte de 28%, lo cual puede ser apreciado en la figura 104.

A modo de síntesis, se observa en la figura 30, una disminución en los rendimientos indicando que los trabajadores estaban laborando más rápido, no obstante, la productividad más alta está en la primera muestra, y la más baja en la última. Debido a que las condiciones de trabajo fueron distintas, se justifica por las variables mencionadas anteriormente en el análisis de cada muestra.

El encofrado de columnas se ilustra y registra en los cuadros del 51 al 54 y en las figuras 99, 101, 103 y 105. Los recorridos se traducen a transportes de puntales, paneles y accesorios. Cada frente tiene su centro de acopio local, pero este abastece a todos los edificios que se encuentran dentro del mismo frente. Esto implica que cada cuadrilla tenga que estar desplazándose a más de 20 metros, a traer el equipo. Las mesas de corte de madera sí están cerca de las zonas de encofrado a

distancias menores a 20 metros, ya que hay 2 o 3 por frente de trabajo.

Colado de columnas

El colado presentaba distintas variables en cuanto al tamaño de las cuadrillas donde variaban de siete a nueve personas. También variaban de método, ya fuera descarga directa con el balde del montacargas telescópico o con balde de hule y carrito como se ejemplifica en la figura 32, 33 y el cuadro 12. Lo que siempre fue una constante durante el proceso fue el concreto hecho en planta y traído a sitio con el camión mezclador.

En el cuadro 13, se observan los rendimientos del colado de concreto en columnas. Debido a las variaciones en método y dimensionamiento de cuadrillas el coeficiente de variación es de 30%. La duración es corta, con tiempos menores a una hora, ya que las coladas eran pequeñas de menos de 1 m³. Esto hace que el % de factor de incremento sea de 0%. Las muestras se realizaron en días de toda la semana.

A pesar de presentarse dos métodos las actividades se clasifican igual, debido a que no se toma en cuenta la productividad del montacargas telescópico, tal y como lo muestra el cuadro 14.

Las muestras del colado de columnas se observan en el Apéndice D. En la muestra 1, observado en la figura 106, la cuadrilla era de 5 personas, y los tiempos de espera por método en cuatro trabajadores es alto. El resultado final es una productividad baja de 42% y un tiempo perdido de 48% ilustrados en la figura x. El método utilizado era transporte con carrito, y dos personas se encargaban de esta tarea. Asimismo, se identifica un sobredimensionamiento de cuadrilla.

La muestra 2 tiene un comportamiento similar al de la muestra 1, así como se ve en la figura 108. La productividad en general es baja con un 48%, y las principales causas son sobredimensionamiento de cuadrilla, además de que el camión mezclador se ubicaba a más de 50 metros. La única diferencia era un miembro más en la cuadrilla que se encargaba de vibrar para un total de seis trabajadores.

En el caso de la muestra 3, mostrado en la figura 110, el colado de concreto era auxiliado

por el montacargas telescópico. Este método permite eliminar el puesto de los que pasan el concreto con balde, y transportan con carretillo, con un total de cuatro personas. Este método genera un aumento significativo en la productividad, disminuyendo las esperas, y obteniendo un tiempo productivo total de 65%, mayor a la meta de Volio y Trejos. Además de que dos personas estuvieron la mayoría del tiempo golpeando con maso.

La muestra 4 es con carretillo y balde, en la figura 111, pero esta vez el camión mezclador si se colocó lo más cercano posible al encofrado. Siempre existen las esperas, pero todos los miembros de la cuadrilla fueron productivos, lo que se ve como una productividad general de 72%.

En el caso de la muestra 5, el método es igual al de la muestra 3, pero hubo una diferencia, El maestro de obras tomo la decisión de que el golpe con maso no era necesario, y eliminó esta función, pero mantuvo al trabajador en la actividad. Asimismo, hubo problemas con varillas de la mampostería que no estaban colocadas, incrementando el tiempo perdido de todos los miembros de la cuadrilla. Un 60% de tiempo no contributivo es un indicador de que no se pueden permitir estos descuidos, ya que reducen la eficiencia del proceso. Esto se puede ver en la figura 112.

La recopilación de las muestras en la figura 37, demuestran resultados esperados en la mayoría, a menor productividad, peor rendimiento. Es importante notar como el rendimiento incrementa notoriamente cuando el método es con el montacargas a diferencia de cuando es con carretillos y baldes. Por el contrario, la productividad no es dependiente del método de colado de concreto.

En el colado de concreto solamente se construyeron los diagramas de recorrido, en los que el método era con carretillo y baldes, identificados en el cuadro 55 y 56, y en las figuras 109 y 110. Cuando eran con el balde del montacargas telescópico, no había recorridos relevantes. Cuando eran con baldes de hule y carretillo, el camión mezclador debía abastecer a varios frentes al mismo tiempo, y por el tiempo de fraguado del concreto no se podía hacer el colado en serie, debía realizarse simultáneamente. Esta práctica ocasiona que el camión se ubique en el centro de los puntos de colado, y los transportes de carretillo se

incrementan notoriamente. Las distancias eran de más de 50 metros, lo que requería hasta tres carretillos que estuvieran abasteciendo al operario que vertía el concreto. El rendimiento de la actividad se disminuye, la productividad se ve afectada, y todo esto se ve traducido en un costo para el proyecto.

Desencofrado de columnas

Para el caso del desencofrado de columnas, la situación fue similar al encofrado, donde se utilizaba una pareja normalmente para realizar la tarea, tal y como lo muestra la figura 39. El diagrama de flujo de la figura 49, ilustra el proceso, donde este es básicamente remover y apilar los puntales, paneles y accesorios, que están en el cuadro 16.

La actividad de desencofrado de columnas fue realizada mayoritariamente en parejas, un operario y un ayudante. Esta labor se realizaba al inicio del día para tener equipo disponible y poder encofrar otros elementos. Las mediciones fueron hechas en días diferentes. La duración era menor a dos horas, por lo que el % de factor de incremento se toma como 0%. Estos rendimientos se aprecian en el cuadro 17, donde se ve que se analizó diferentes días de la semana.

En el cuadro 18, se ve que sólo se considera productivo remover los elementos. Los transportes tiempos son tiempos de soporte que no aportan valor, pero son necesarios para completar la actividad.

Las muestras están en el Apéndice E. En la muestra 1 se observa el resultado esperado, donde lo principal es el transporte del equipo, lo que implica del mismo modo viajes. En la figura 113, se destaca que tanto el operario como el ayudante, realizan las mismas funciones. La diferencia se observa en el tiempo perdido y tiempo de soporte. En general, no se llega a la meta, por la falta de coordinación en la cuadrilla, ya que las esperas no deberían de estar.

Para el caso de la muestra 2 en la figura 114, los transportes son reducidos, esto porque el centro de acopio se encuentra a menos de 10 metros. No obstante, al ser de tres a cuatro personas en la cuadrilla, las esperas aumentan considerablemente, ya que se sobredimensiona la cuadrilla y un integrante no tiene funciones a desempeñar.

La muestra 3 en la figura 116, tiene condiciones similares a la 1, y esto se ve reflejado en los porcentajes generales de productividad, con tiempo productivo de 38%, soporte 34% y perdido de 27%.

En la última muestra, la 4, se realizó un reacomodo de funciones entre los trabajadores. El operario se dedica a desencofrar, y el ayudante únicamente a transportar. Esta variación observada en la figura 118, aumenta considerablemente la productividad del proceso llegando a un 44% de eficiencia. Esta mejora se debe a que se da una especialización de las funciones, y se desarrolla una curva de aprendizaje en una única tarea, lo cual simplifica y agiliza el proceso en general. A pesar de esto el centro de acopio, se ubicaba a más de 30 metros, por lo que el transporte se mantuvo y se refleja en el soporte.

Respecto al resumen de las observaciones en la figura 44, el mayor rendimiento lo tiene la cuarta muestra por lo mencionado anteriormente. La mejor productividad se obtuvo cuando el centro de acopio se encontraba cerca del lugar de desencofrado.

Los recorridos observados en el desencofrado de columnas son similares a los de encofrado. El único punto de acopio es el de los paneles, puntales y accesorios. Las distancias están entre los 50 y 80 metros, tal y como se muestra en los cuadros 57, 58 y 59 en las figuras 115, 117 y 119. Los transportes se realizaban elemento por elemento, una práctica poco eficiente.

En la figura 46 se aprecia el recorrido de un ayudante en la actividad de encofrado y colado de columnas. El recorrido que más llama la atención es al baño el cual se encuentra alejado de las dos zonas de trabajo. Además, el encofrado y el colado están en dos áreas alejadas. Analizando la situación se puede ver que, dentro del mismo frente, hay otros frentes, y no se sigue un tren de trabajo, se atacan varios edificios al mismo tiempo.

Causas de disminución de la productividad en CEDI Coris

La encuesta, observada en el Apéndice J, se le realizó a los trabajadores que participaban en

los cinco procesos seleccionados para el proyecto.

En el cuadro 20 se aprecian los siguientes resultados. Las áreas de uso común, disponibilidad y cercanía de materiales, herramientas y equipos, están cercanas al bien, con valores de 2,6 para arriba. Esto es un indicador de que la mayoría de trabajadores se sienten cómodos en su espacio de trabajo, y consideran que tienen a disposición los recursos para trabajar. No obstante, como se vio en los diagramas de recorridos, el material y equipo no siempre están lo más cercano posible. Esta incongruencia demuestra que los colaboradores no tienen la noción de qué tan cerca deberían estar los implementos para trabajar, lo cual sería a menos de 5 metros en edificios, y menos 20 metros en naves industriales, de acuerdo con políticas de la empresa Volio y Trejos. El orden y la limpieza es buena en CEDI Coris, de acuerdo con los resultados. El dimensionamiento de cuadrillas la mayoría lo califica de adecuado, pero como se vio en el análisis de productividad, las esperas dominan en causante de disminución de productividad. Las cuadrillas intervienen ocasionalmente con las labores, indicando que debería haber una mejor planificación de actividades. El clima afecta medianamente la productividad. En este caso se preguntó específicamente, ¿cuál tipo de clima?, y las respuestas siempre fueron lluvioso. Es razonable ya que dificulta la visión con los lentes de seguridad, y los pasos se obstaculizan por el lodo. Ahora bien, cuando se hacían observaciones en campo y había mucho sol, los viajes para la hidratación eran frecuentes, lo que implica que un clima soleado si afecta la productividad. La motivación no se ve como un problema, siendo la calificación de 3 dominante, la cual representa mucha motivación. En la figura 47, la respuesta que tuvo una mayor frecuencia fue la de 1 a 3 meses. Se puede interpretar como un problema en la productividad, ya que todavía se está desarrollando la curva de aprendizaje del método en que trabaja la empresa y sus buenas prácticas. Respecto a cuáles factores deberían de mejorarse para aumentar la productividad, la respuesta que tuvo mayor porcentaje fue la de mayor incentivo salarial con un 26%, seguida por mejores materiales con un 21% y mejor equipo y herramientas con un 19%, para el caso de CEDI Coris, observado en la figura 48.

Los diagramas de Ishikawa observados en las figuras 49 y 50, son una recopilación y clasificación de los problemas detectados, durante los videos, las observaciones en campo, y las respuestas de las encuestas. Entre la mampostería, relleno de celdas, encofrado, colado y desencofrado de columnas, se repiten algunas causas que son dependientes al diseño de sitio general de la obra, la localización geográfica del proyecto, mientras que las principales diferencias se dan en el método, material y equipo y herramientas que es lo razonable.

Propuesta de mejora en CEDI Coris

La propuesta de mejora está basada en la identificación de factores que afectan la productividad y eficiencia de los procesos analizados. Algunos son circunstanciales, mientras que otros pueden ser aplicados en otros proyectos. Las recomendaciones fueron hechas a partir de consultas a expertos, como lo son los ingenieros y maestros de obras, así como por los informes y reuniones de SINA y Análisis de Procesos. En el cuadro 21, las recomendaciones son principalmente de orden y limpieza, y las funciones de los abastecedores. Esto porque son los que ocasionaban esperas, viajes y transportes a las parejas de pega de bloques. Cuatro recomendaciones fueron implementadas, mientras que las otras tres quedaron pendientes al finalizar la práctica.

Para el relleno de celdas, el principal problema detectado es la máquina y las cuadrillas que las utilizan. Solamente se implementaron dos recomendaciones y quedaron cuatro pendientes, tal y como lo muestra el cuadro 22. La razón de falta de implementación fue que las recomendaciones se realizaron dos semanas antes de finalizar la práctica, por lo que no se le pudo dar el seguimiento.

El plan para el encofrado y desencofrado de columnas observado en el cuadro 23, está basado en los altos tiempos de transportes y esperas observados en los videos, y como reducirlos. Se implementaron solamente dos recomendaciones, y quedaron pendientes cinco.

El colado de columnas se intentó mejorar redistribuyendo las funciones de los

miembros de las cuadrillas. Además, se intentó colocar el camión mezclador lo más cerca posible. De las seis recomendaciones, se lograron implementar seis, y seis quedaron pendientes.

El cuadro 24 muestra un plan de aspectos generales del proyecto CEDI Coris, que mejorarían todos los procesos. Estas recomendaciones son del diseño de sitio, y se lograron implementar cuatro de seis.

A grandes rasgos, la principal causa de falta de implementación fue la carencia de iniciativa de los maestros y trabajadores en hacer las tareas de una manera distinta, a la que ya estaban acostumbrados. Otra causa fue que no veían el impacto que podrían llegar a tener las recomendaciones en cuanto a la mejora de la productividad, por lo que simplemente no le tomaron importancia. Este aspecto no permitió que se volviera a medir la productividad para comprobar algún tipo de cambio. Además, por un factor de tiempo y avance de obra no fue posible seguir tomando muestras de los cinco procesos.

Pese a esta limitación, algunas mejoras sí se implementaron. Estas fueron recomendaciones hechas en reuniones de SINA, por lo que su puesta en acción se dio paulatinamente. En el caso del proyecto CEDI Coris, se notó una leve mejora que se evidencia en la figura 51, donde se muestra el histórico de SINA desde enero hasta abril. Se notó una leve mejora que fue de un tiempo productivo de 45% en enero a 49% en marzo. El tiempo de soporte se mantuvo relativamente constante y el perdido disminuyó de enero a marzo en un 4%. No es posible decir que la mejoría se dio únicamente por las mejoras implementadas, ya que hay otros factores como la curva de aprendizaje, pero sí se evidencia que ayudó. No obstante, en el mes de abril hubo un retroceso, que correspondió a la apertura de muchos frentes de trabajo, para poder terminar el proyecto a tiempo, ya que se encontraba atrasado. Esta acción causó que los viajes aumentaran, porque los recursos debían satisfacer distintos puntos al mismo tiempo. También ingresó nueva mano de obra, que debía adaptarse al proyecto y la forma de trabajar, generando esperas.

A modo de síntesis, se tiene el cuadro 26. Esta muestra los porcentajes de productividad y rendimientos de un estudio realizado en el 2017 en la empresa y se

identifica como CVT, que son las iniciales de Constructora Volio y Trejos. Asimismo, se muestra un promedio de las muestras de los procesos analizados durante esta práctica. Se exponen las diferencias entre estas dos series de datos. De igual modo se tienen las diferencias entre el promedio de los datos obtenidos en esta práctica, y la meta que tiene la empresa Volio y Trejos, la cual es 60% de Tiempo Productivo, 25% de Tiempo Soporte y 15% de Tiempo Perdido, para todos los procesos.

Es importante destacar que el promedio no es el dato más representativo, pues cada muestra tiene sus particularidades y variables que afectaron los resultados de productividad y rendimientos. En otras palabras, las muestras no fueron tomadas bajo las mismas condiciones. A pesar de esto, se toma como un indicador para tomar decisiones, y generar criterio.

Para el caso de mampostería en CEDI Coris, el rendimiento es mejor que el rendimiento promedio de la empresa, siendo un buen indicador, sin embargo, las condiciones de los otros proyectos puede que fueran diferentes, por ejemplo, la distribución de funciones en las cuadrillas. Respecto a la productividad, en CEDI Coris se está muy cerca de la meta del 60%, pero el soporte y el perdido tienen una diferencia de 10%, el soporte por debajo y el perdido es más de lo que debería.

En el relleno de celdas con máquina se presenta una gran diferencia de 10,56 HH/m³ en el rendimiento, respecto al promedio de la empresa. El principal factor es el tamaño de las cuadrillas, ya que en otros proyectos la cantidad de personas era de 5 a 7, mientras que en CEDI Coris, solamente son 3. La productividad está muy cercana a la meta con un 58% de tiempo productivo, pero al igual que en la mampostería, el tiempo de soporte y el perdido se alejan, con un aproximado de 15%

El encofrado de columnas presenta un rendimiento peor que el promedio de la empresa. Esto se le podría atribuir a la gran extensión del proyecto, y la cantidad de frentes de trabajo abiertos. Asimismo, se consultó a los maestros de obras, y tuvieron quejas respecto a la mano de obra local en CEDI Coris, ya que no los consideraban eficientes. Esto se refleja en el tiempo perdido de 39% que está compuesto principalmente por esperas. Si las personas

tuvieran mayor anticipación serían más proactivos y estas esperas serían menores.

El rendimiento de colado de columnas tiene una gran diferencia respecto al promedio. No se tiene el registro del tipo de columnas, y este factor influye en el resultado, si se tiene una columna de dimensiones grandes el rendimiento se mejora. Por otro lado, el problema de sobredimensionamiento de cuadrillas observado en CEDI Coris, se refleja en estos resultados. A pesar de esto, la productividad entre el promedio y el de CEDI Coris, son similares, y ambos no llegan a la meta.

iFreses

En el caso del proyecto iFreses este se tomó en cuenta ya que también iba estar siendo visitado constantemente, y su avance era principalmente en obra gris, tal y como lo muestra la Figura 52. Como se mencionó anteriormente, se buscaba analizar mano de obra de Volio y Trejos. A pesar de esto en el proyecto iFreses se analizó el proceso del contratista Peña Formaleta, ya que el encofrado de losa representa un punto crítico de avance de obra gris en la torre de apartamentos, debido a que luego de los muros, es el punto de partida para continuar con las demás actividades.

La figura 53, que muestra el diagrama de Pareto de iFreses, se deduce que las principales actividades que representan la mayoría del costo del proyecto son muros, losas y pilotes. Los pilotes se descartaron debido a que ya estaban finalizados, el concreto y el acero de losas y muros estaban siendo estudiados por otro analista de productividad, y el encofrado de muro no generaba atrasos en el proyecto, por lo que descartando se elige el encofrado de losa, con los sistemas Forsa y Convencional.

La actividad analizada en iFreses corresponde a encofrado y desencofrado de losa, por medio de dos sistemas de formaleta. La primera siendo Forsa la cual es un sistema monolítico donde se colan la losa y los muros. No obstante, para el análisis de encofrado de losa, el encofrado del muro es un proceso independiente desarrollado inclusive por cuadrillas distintas, por lo que no se toma en cuenta.

Encofrado de losa con sistema Forsa

El encofrado de losa era realizado por distinta cantidad de personas, reflejado en la figura 54 y cuadro 27. La figura 55 muestra que, para este tipo de sistema, solamente son necesarios paneles, accesorios y puntales, y el proceso es básicamente armar los paneles con de acuerdo con las dimensiones especificadas en los planos de taller.

En el cuadro 28, es posible visualizar los rendimientos del encofrado Forsa. La variación de 11% es principalmente al tamaño de losa, y a la variación en el tamaño de la cuadrilla. En estos procesos los trabajadores no se iban a desayunar o almorzar, hasta que terminaran de encofrar para no atrasar a la actividad del acero inferior, y todas las sucesoras.

La clasificación de actividades está basada en las actividades que agregar valor, como aplicar y desmoldante y las que no, apreciadas en el cuadro 29. Estos resultados se ven en el Apéndice F. En la muestra 1, la productividad del proceso se ve afectada por la espera por método, y el transporte. Se puede ver que el ayudante 2 es el que más tiempo perdido presenta, por lo que sería posible asignarlo a otro proceso. Esta muestra no alcanza la meta de Volio y Trejos, como se ve en la figura 120.

Para la muestra 2, de la figura 121, se observa que los principales factores que disminuyen la productividad son los transportes, viajes y esperas. La solución a este problema es tener los paneles de formaleta ordenado y cerca del lugar de encofrado, para reducir la búsqueda en el desorden al mismo tiempo que se reducen distancias, como se verá más adelante en los diagramas de recorridos.

El caso de la muestra 3, identificado en la figura 122, se caracteriza porque la cuadrilla estaba compuesta por ocho personas. A pesar de esto, el tiempo perdido es bajo, en comparación con observaciones donde las cuadrillas eran de varias personas. El factor que incide en este resultado era la presencia del maestro de obras durante todo el proceso, supervisando y dirigiendo. A pesar de esto no se

llega a la meta, porque aun así se dan esperas por método o por equipo.

En la muestra 4, se da una especialización de funciones, ya que el ayudante 2 se dedica a traer paneles y aplicarles desmoldante, lo que implica que ya estén listos para ser colocados. El ayudante 1 es menos atento, y contribuye al tiempo perdido, mostrado en la figura 123.

En general, el comportamiento no es el esperado, ya que los mejores rendimientos tienen la peor productividad, ejemplificado en la figura 59. Las causas pueden ser diferencia en el tamaño de losa, o las mencionadas anteriormente en el análisis individual de cada muestra.

Desencofrado de losa con sistema Forsa

El desencofrado de este sistema es relativamente sencillo, como lo muestra la figura 60, la figura 61 y el cuadro 30. El sistema está hecho para que todas sus piezas se puedan sacar con herramientas diseñadas para este fin.

El desencofrado Forsa y sus rendimientos se plasman en el cuadro 31. Los rendimientos no varían tanto entre ellos con un coeficiente de variación de 12%, esto porque las cuadrillas son semejantes en tamaño.

En el cuadro 32 se ve como las actividades productivas son remover elementos, así como volver a apuntalar la losa, hasta que el concreto gane suficiente resistencia para ser auto soportante.

En el apéndice G se observan las muestras. La figura x, ejemplifica como en la muestra 1 destaca las esperas, los viajes y el descanso. El ayudante 1 es el menos productivo, con tiempo perdido de 45%. El work sampling indica un porcentaje de productividad de 52%, y perdido de 32%. Hay que hacer notar que los accesorios son removidos y se dejan en el lugar que caigan, no se ordenan, apreciado en la figura 124.

La muestra 2 y su figura 125, tiene un comportamiento semejante a la muestra 1, siendo esta la misma cuadrilla. Ocurre la misma situación en la muestra 3, tal y como se ve en la figura 126. Las causas de espera son por no tener una iniciativa del ayudante de recoger los

accesorios del suelo, y simplemente esperar a que desencofren los paneles para transportarlos.

En el caso de la muestra 4, en la figura 127, es una cuadrilla diferente compuesta por dos operarios y dos ayudantes. El ayudante 1 se dedicaba únicamente a los puntales, y el ayudante 2 al transporte de paneles. Los operarios tienen esperas porque desencofraban y debían esperar a que llegara el ayudante a recibir el panel.

Cuando se mira el resumen en la figura 65, sí se aprecia un comportamiento esperado. Entre mayor productividad, mejor rendimiento. Esta situación se da en las cuatro muestras, siendo la más eficiente la primera. No obstante, no se llega en ningún caso al 60% de productividad.

En la figura 66 y el cuadro 33 se observa un diagrama de recorrido genérico del sistema Forsa que se mencionará más adelante en una comparación con el Convencional.

Encofrado de losa con sistema Convencional

En el caso del encofrado Convencional, este es llamado así en el proyecto, pero corresponde al sistema de formaleta Symmons del estilo Steelply. Esto se aprecia en la figura 67, en el diagrama de flujo de la figura 68 y en la tabla de recursos del cuadro 34. A diferencia del sistema Forsa, el Convencional se apoya en el uso de viguetas de aluminio y reglas de madera.

En el encofrado convencional los rendimientos son peores, en comparación con los del encofrado Forsa, así como se ve en el cuadro 35. Las cuadrillas variaban de acuerdo con la losa y al avance que se tenía del proyecto. La principal diferencia respecto a la losa Forsa es el uso de viguetas y reglas de madera, propio del sistema.

Las muestras se ven en el Apéndice En la muestra 1 se observa que los viajes, las esperas y hablar fueron las principales causas de pérdida de productividad, principalmente por el ayudante 1. La productividad es relativamente buena, sin embargo, no alcanza la meta. Todo esto se observa en la figura 120. La muestra 2, observado en la figura 121 repite el mismo comportamiento, pero con una persona menos en la cuadrilla. Es importante recalcar el hablar de otros temas cuando se está trabajando. Esto

es consecuencia de la falta de supervisión por parte del maestro de obras.

En la muestra 3, la cuadrilla se conforma por seis personas, y se reitera el mismo patrón de esperas, viajes y hablar, tal y como lo ilustra la figura 122. La productividad disminuye a un 41% ya que la cuadrilla está sobredimensionada,

La muestra 4, analiza a una cuadrilla de cuatro personas, que se muestra en la figura 123. Las esperas y los viajes se hacen notar. El principal hallazgo identificado es la falta de coordinación entre el operario que se encuentra arriba con los paneles, y los ayudantes abajo amarrando reglas de madera y pasando los paneles.

A modo de síntesis, se tiene la figura 72, con los resultados de las muestras. Los mejores rendimientos presentan dos escenarios, la mejor y la peor productividad, un 50% y un 39% respectivamente. No se llega a la meta deseada, y el tiempo perdido es alto.

Desencofrado de losa con sistema Convencional

Al ser el sistema Convencional con elementos adicionales de viguetas y reglas de madera, como se mencionó anteriormente, era necesario retirar estos elementos en el momento que se desencofra, tal y como se muestra en la figura 73, figura 74 y en el cuadro 37. A pesar de esto tiene similitudes con el desencofrado del sistema Forsa ya que el proceso corresponde básicamente en quitar puntales, paneles y accesorios, y volver a apuntalar.

Como último proceso está el desencofrado de losa convencional con sus rendimientos en el cuadro 38. Este desencofrado fue normalmente más lento que el encofrado Forsa. Además, no se invirtió tanta mano de obra, debido a que hay suficientes paneles, para encofrar hasta cuatro losas al mismo tiempo, por lo que no urge desencofrar.

En el cuadro 39 se agregan actividades productivas, quitar vigueta y reglas de madera, debido al sistema. En el apéndice I se ven las muestras del desencofrado de losa convencional. La muestra 1 y la figura 132 dan a conocer que se realizaron viajes y que hay esperas que están haciendo menos eficiente el

proceso. El ayudante 2, tuvo varios viajes debido a la lejanía de los centros de acopio. En total la cuadrilla era conformada por tres personas.

En la muestra 2, se utilizan solamente dos personas como recurso humano. Tanto el operario como el ayudante tuvieron una eficiencia similar. Se repite la espera como afectación de la productividad del proceso. La figura 133 ilustra lo mencionado.

El caso de la muestra 3 es similar a los anteriores con un leve mejoramiento de la productividad llegando a un 50%. Esto se ve en la figura 134.

En las observaciones realizadas al muestreo 4 se vio que se desencofraban paneles ubicados al borde del edificio, y no se utilizaba el equipo de seguridad por negligencia. Esto implicó una baja productividad ya que entre el operario 1 y el ayudante 1 debían estar apoyándose para evitar algún tipo de caída. Esto se refleja en el 31% de tiempo de soporte. El resultado se observa en la figura 135.

El resumen de la figura x cumple con lo esperado, y en la muestra 3 se tiene una mayor productividad con el mejor rendimiento.

Es importante mencionar a modo de resumen del encofrado de losas que ninguno cumplió con la meta establecida por Volio y Trejos. La principal causa que se identifica es que no se implemente la filosofía Lean en los trabajadores de Peña Formaleta, y por lo tanto los centros de acopio están lejos y los paneles, puntales y accesorios no se acomodan de forma ordenada.

Respecto al diagrama de recorrido de la figura 78, este tiene el mismo principio que el del sistema Forsa, y fue construido como un ejemplo genérico del proceso de encofrado y desencofrado debido a la constante variación de tiempos y localizaciones de los apilamientos, que dependían de la losa a desencofrar.

A modo de comparación entre diagramas de recorridos observados en la figura 66 y 79, correspondiendo a sistema Forsa y Convencional, respectivamente, se tiene lo siguiente. La diferencia está en el transporte de las viguetas y reglas de madera que no están en el sistema Forsa. Se dura más transportando los paneles Convencionales, que los Forsa, principalmente porque son de mayor dimensión, siendo más incómoda su movilización. Esto se observa en los cuadros 33 y 40. Los transportes

se realizan elemento por elemento, y los accesorios se dejan apilan en el suelo, no hay algún tipo de recipiente que agilice la recolección de estos.

Se intentó implementar el uso del reloj en el proyecto iFreses. No obstante, no se lograron obtener resultados congruentes, tal y como se aprecia en la figura 80. Debido a que el proyecto es un edificio en altura, cuando el reloj deja de percibir la señal por la obstaculización de las paredes y losas con los satélites, se ven datos en el mapa donde el trabajador cruza dos calles en menos de un segundo y vuelve, lo cual no es razonable. Además, en el espacio reducido que es la huella del edificio, no logran identificar claramente los movimientos del colaborador. Debido a esto, el uso del reloj en este tipo de proyectos no se consideró de gran utilidad.

Causas de disminución de la productividad en iFreses

La encuesta, observada en el Apéndice J, se le realizó a los trabajadores de Peña Formaleta que participaban en los procesos de encofrado de Losa. Es importante mencionar que las cuadrillas se alternaban el sistema de encofrado. No siempre los mismos trabajaban en Forsa o en Convencional.

En el cuadro 40 se aprecian los siguientes resultados. Las áreas de uso común, disponibilidad y cercanía de materiales, herramientas y equipos, están cercanas al bien, con valores de 2,6 para arriba, al igual que en CEDI Coris. Esto es un indicador de que la mayoría de trabajadores se sienten cómodos en su espacio de trabajo, y consideran que tienen a disposición los recursos para trabajar. A pesar de esto los paneles, puntales y accesorios no siempre se colocaban en lugar más óptimo, no se planificaba. El orden y la limpieza en iFreses es entre buena y regular, probablemente por lo paneles que no se apilan adecuadamente. El dimensionamiento de cuadrillas la mayoría lo califica de adecuado, pero como se vio en el análisis de productividad, las esperas dominan en causante de disminución de productividad. Las cuadrillas intervienen ocasionalmente con las labores, indicando que debería haber una mejor planificación de actividades. El clima afecta mínimamente la productividad,

probablemente porque se trabaja debajo de las losas, por lo que están cubiertos de exponerse al sol o la lluvia, durante largos periodos. La motivación no se ve como un problema, siendo la calificación de 3 dominante, la cual representa mucha motivación.

En la figura 81, la respuesta que tuvo una mayor frecuencia fue la de 1 a 3 meses. Se puede interpretar como un problema en la productividad, ya que todavía se está desarrollando la curva de aprendizaje del método en que trabaja la empresa y sus buenas prácticas. Para iFreses el mayor porcentaje de factores que afectan la productividad lo tiene incentivo salarial con un 37%, seguido de mejor diseño de sitio con 30%, seguido por mejor equipo y herramientas con un 15%, observado en la figura 82. El incentivo salarial se puede ver como una opción de mejora, si se otorgaran bonificaciones a la cantidad de trabajo realizado por día, ya que el modo de pago actualmente es por cantidad de horas. Mejores materiales, equipo y herramientas abarcan aspectos como la implementación de nuevas tecnologías que faciliten el trabajo, y tener suficiente cantidad y en buen estado de estos recursos. La bodega en iFreses para el contratista Peña Formaleta es un solo contenedor para 20 personas, siendo esta la causa de la queja.

En el caso de la figura 83, las causas son propias del contratista Peña Formaleta que no cuenta con la capacitación de conceptos Lean, y además por los trabajos en altura que generan problemas de transportes, viajes y seguridad adicional para evitar accidentes.

Propuesta de mejora en iFreses

Las mejoras para el proceso de encofrado y desencofrado del sistema Forsa, son buenas prácticas que se mencionan en su manual de uso, y que no estaban siendo aplicadas. A pesar de esto solamente se implementaron dos, y quedaron dos pendientes. Esto se evidencia en el cuadro 42.

Para el caso del sistema convencional, observado en el cuadro 43, las recomendaciones son respecto a las reglas de madera que se utilizaban para arriostrar los puntales. Esta tarea consumía mucho tiempo del proceso, por lo que mejorarla, aumentaría la

productividad. Sólo se logró implementar dos, la mitad del total.

Para el proyecto iFreses, y el encofrado y desencofrado de losa en general, se sugieren mejoras en el enfoque del transporte de paneles, puntales y accesorios. Las recomendaciones para reacomodar la cuadrilla se descartaron, ya que esto se sale del alcance de la empresa. No obstante, si se puede mejorar el uso de los recursos como la grúa, las plataformas y los centros de acopio, para facilitarle el trabajo a los carpinteros y sus ayudantes. A pesar de esto, el cuadro 44 expone solamente dos recomendaciones implementadas, de un total de cinco.

Al igual que en CEDI Coris, se identificó que para estos cuatro procesos la principal causa de falta de implementación fue la carencia de iniciativa de los maestros y trabajadores en hacer las tareas de una manera distinta, a la que ya estaban acostumbrados. Además, incidía el factor de que era un contratista de Volio y Trejos, por lo que no tenía la obligación de implementar, siempre y cuando cumpliera con la cantidad de actividades completas, la calidad, la limpieza, el trabajo en equipo y la seguridad. Otra causa fue que no veían el impacto que podrían llegar a tener las recomendaciones en cuanto a la mejora de la productividad, por lo que simplemente no le tomaron importancia. En iFreses se dio la misma situación que en CEDI Coris, y por carencia de tiempo y pausas que se dieron para limpiar la formaleta, no se pudo volver a media la productividad.

El SINA mide a los trabajadores de Volio y Trejos y en el caso de iFreses, al ser un subcontratista el encargado de los procesos no fue posible darle seguimiento.

A modo de síntesis, se tiene el cuadro 45. Esta muestra los porcentajes de productividad y rendimientos de un estudio realizado en el 2017 en la empresa y se identifica como CVT, que son las iniciales de Constructora Volio y Trejos. Asimismo, se muestra un promedio de las muestras de los procesos analizados durante esta práctica. Se exponen las diferencias entre estas dos series de datos. De igual modo se tienen las diferencias entre el promedio de los datos obtenidos en esta práctica, y la meta que tiene la empresa Volio y Trejos, la cual es 60% de Tiempo Productivo, 25% de Tiempo Soporte y

15% de Tiempo Perdido, para todos los procesos.

El rendimiento del encofrado Forsa del contratista Peña es mejor que el del promedio de Volio y Trejos. La productividad es igual con un 41%. No obstante, el tiempo perdido es mayor al promedio por un 20%, y no logran llegar a la meta. El factor que incide mayormente es el método de trabajo de Peña formaleta, que no tiene implementada la filosofía Lean Construction, por lo que las esperas se incrementan.

Para el caso del encofrado Convencional, se repite la misma situación y

patrón del encofrado Forsa. La única diferencia es el tiempo no contributivo que es mayor con un porcentaje de 40%. Es posible atribuírselo al método Convencional que requiere amarrar viguetas y reglas de madera.

A modo de observación se notó en los nueve procesos que a pesar de que las mediciones fueron la mayoría hechas en distintos días de la semana, no fue posible notar una relación con el rendimiento, ya que hay variables que tienen un mayor peso, en los resultados.

Conclusiones

- Los criterios que tuvieron mayor influencia en la elección de procesos en el proyecto CEDI Coris, fueron la relevancia en el presupuesto, demostrado en el Diagrama de Pareto, y el avance de obra que permitió realizar varias muestras. En el proyecto iFreses fue la importancia que tenía el encofrado de losa como ruta crítica en el avance de obra gris.
- La actividad que más se acercó a la meta de productividad de la empresa de 60%, fue mampostería, con una productividad promedio de 58% para pega de bloques y de 59% para el relleno de celdas con máquina.
- El factor que afectó más la eficiencia del proceso pega de bloques fue el diseño de sitio de la mesa de corte y la mezcladora, que generó transportes y viajes.
- El relleno de celdas vio afectada su productividad por el mal funcionamiento que presentaba la máquina para proyectar, y la carencia de mantenimiento que se le dio.
- El método más eficiente para colar columnas presentado en el proyecto es la descarga directa del balde del montacargas telescópico, que reduce transportes y cantidad de mano de obra.
- El colado de columnas es ineficiente y su rendimiento es malo por el sobredimensionamiento de cuadrillas que se da durante el proceso.
- En el proyecto CEDI Coris sí se logró aumentar la productividad, demostrado en el SINA, mas no se probó que haya sido por el plan de mejora presentado.
- La actividad que estuvo más lejos de la meta de productividad de Volio y Trejos fue encofrado de losa con una productividad de 41% para formaleta Forsa y 42% para formaleta Convencional.
- El encofrado y desencofrado de columnas no alcanzaron la meta de productividad por la lejanía de ubicación de los centros de acopio de paneles, puntales y accesorios a los frentes de trabajo.
- El encofrado de losa Forsa presenta un mejor rendimiento en comparación con el encofrado de estilo plywood llamado en el proyecto, Convencional, con 41 HH/m² y 0,59 HH/m², respectivamente.
- La falta de aplicación de la filosofía Lean Construction por parte del contratista Peña Formaleta, es el causante de la baja productividad en el proceso de encofrado de losa.
- La falta de implementación de mejoras en los proyectos de la empresa Volio y Trejos se da porque los maestros e ingenieros no le otorgan la suficiente importancia a la puesta en funcionamiento de las recomendaciones dadas.
- En el proyecto iFreses no fue posible conocer si se mejoró la productividad del proceso encofrado de losa con las mejoras recomendadas durante esta práctica.
- La implementación del reloj GPS para medir recorridos demostró ser útil en proyectos horizontales, más no en verticales. Su uso se limita a ver el recorrido del trabajador y la duración de uso, pero no para medir distancias.

- Utilizar el promedio de las muestras en cuanto a productividad y rendimientos es un indicador para tomar decisiones, mas no es

representativo porque cada muestra fue tomada bajo diferentes circunstancias.

Recomendaciones

- Darle mayor seguimiento a los procesos que se analizan en Volio y Trejos y documentarlos con la mayor cantidad de variables que se presentan, para que, si en un futuro se desea comparar, se tenga un criterio claro de las similitudes y diferencias entre las muestras.
- Establecer metas de productividad en el SINA de acuerdo con el desglose de niveles de actividad, para poder identificar cuáles áreas son las que requieren de una mayor intervención.
- Implementar programas en los proyectos de la empresa Volio y Trejos que incentiven a la implementación de mejoras que recomiendan los analistas de productividad, ya sea con un seguimiento mensual y una premiación al que mayor le dio importancia al tema.
- Es importante darle a conocer a los trabajadores los tipos de desperdicios que existen, de acuerdo con Lean Construction, para que tengan consciencia o, por lo menos noción, de que las esperas y los transportes deben reducirse en lo posible.
- Aprovechar la labor de los maestros de obra en campo para darle seguimiento a la cantidad de obra que se realiza por cuadrilla diariamente en cada actividad, para poder tener una base de datos de rendimientos extensa.
- Realizar un análisis más detallado a los datos que brinda el reloj GPS, e investigar de softwares que brinden mayor detalle para

la interpretación de los recorridos. Asimismo, considerar la adquisición de relojes GPS que midan la distancia por medio de un cuenta pasos, para así tener información más confiable.

Apéndices

En el siguiente apartado se presentan los siguientes cuadros, figuras e informes que sirven de apoyo para tener un mejor entendimiento el documento.

Apéndice A. Resultados de productividad y diagramas de recorrido de Pega de bloques de mampostería.

Apéndice B. Resultados de productividad de Relleno de celdas.

Apéndice C. Resultados de productividad y diagramas de recorrido de Encofrado de columnas.

Apéndice D. Resultados de productividad y diagramas de recorrido de Colado de columnas.

Apéndice E. Resultados de productividad y diagramas de recorrido de Desencofrado de columnas.

Apéndice F. Resultados de productividad de Encofrado de losa con sistema Forsa.

Apéndice G. Resultados de productividad de Desencofrado de losa con sistema Forsa.

Apéndice H. Resultados de productividad de Encofrado de losa con sistema Convencional.

Apéndice I. Resultados de productividad de Desencofrado de losa con sistema Convencional.

Apéndice J. Encuesta realizada a los trabajadores por medio de la aplicación Google Forms.

Apéndice K. Manual de uso de reloj GPS elaborado por autor.

Apéndice L. Ejemplo de informe de Reloj GPS.

Apéndice M. Análisis de funcionamiento del Reloj GPS.

Apéndice N. Informe de estudio de montacargas telescópicos en proyecto CEDI Coris.

Apéndice Ñ. Informe de estudio de montacargas telescópicos en proyecto CEDI Coris.

Apéndice O. Ejemplo de informe SINA en proyecto CEDI Coris.

Apéndice P Ejemplo de informe de Análisis de Procesos en la actividad de mampostería.

Apéndice Q. Resumen total de videos analizados.

Apéndice A. Resultados de productividad y diagramas de recorrido de Pega de bloques de mampostería.

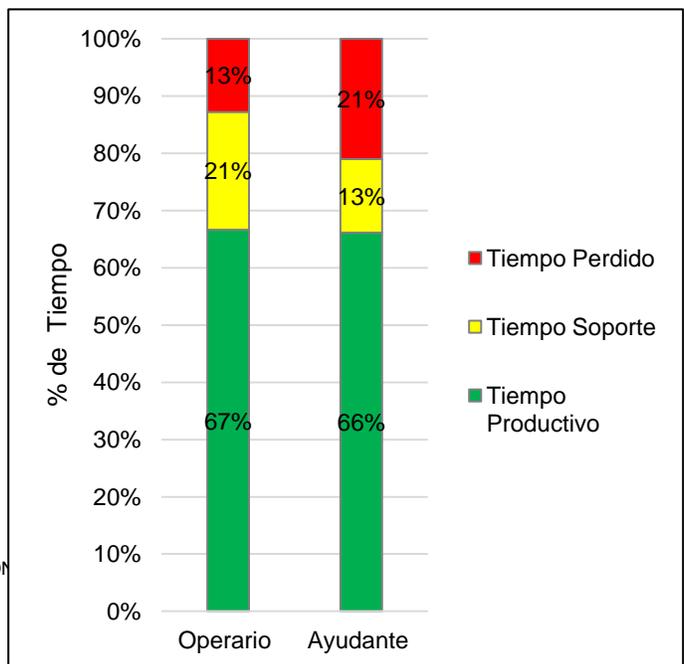
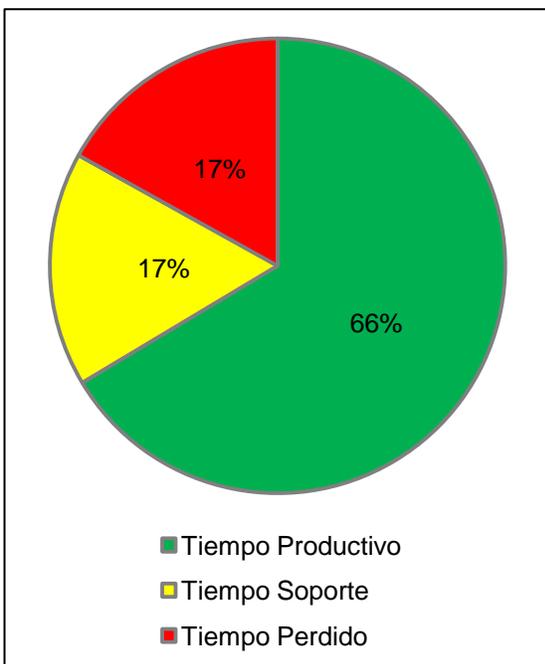
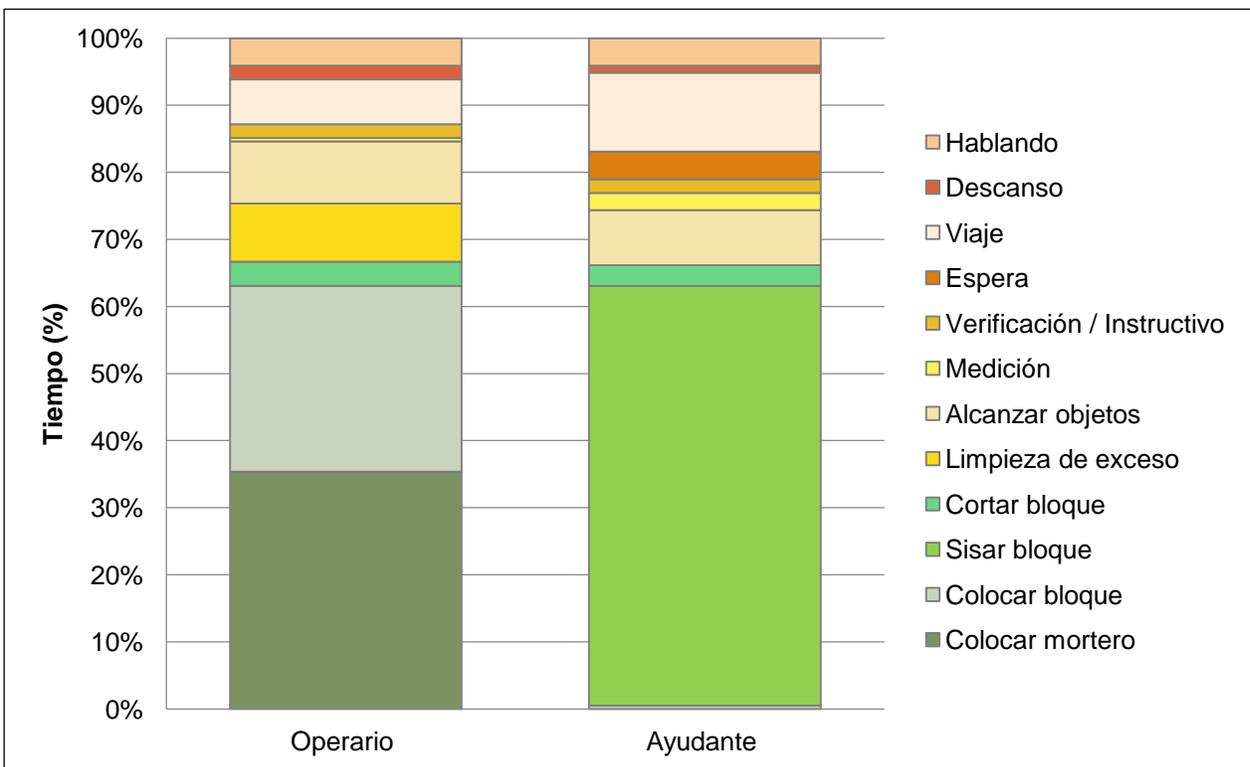


Figura 84. Productividad pega de bloques, Muestra #1.

CUADRO 46. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE PEGA DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA EN MUESTRA 1			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Colocación de bloques	–	–
2	Almacenamiento de bloques	–	–
3	Transporte de bloques	12	22
4	Batidora	–	–
5	Transporte de mezcla	70	80
6	Mesa de corte	–	–
7	Transporte de bloque cortado	7	11

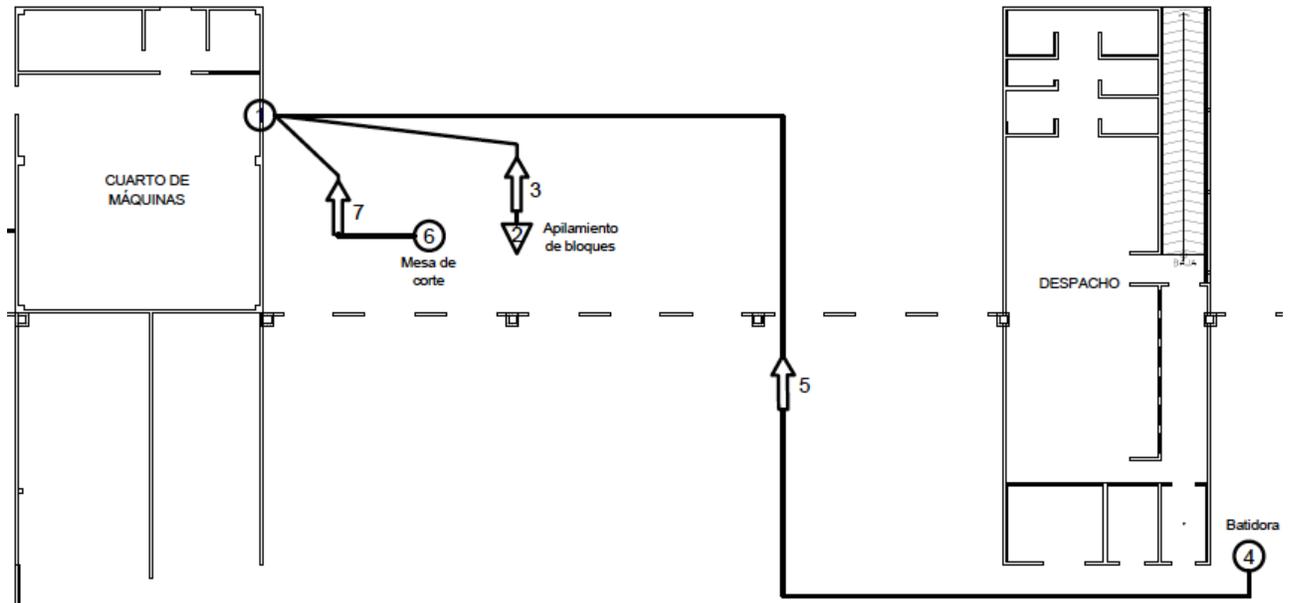


Figura 85. Diagrama de recorrido de pega de bloques, Muestra #1.

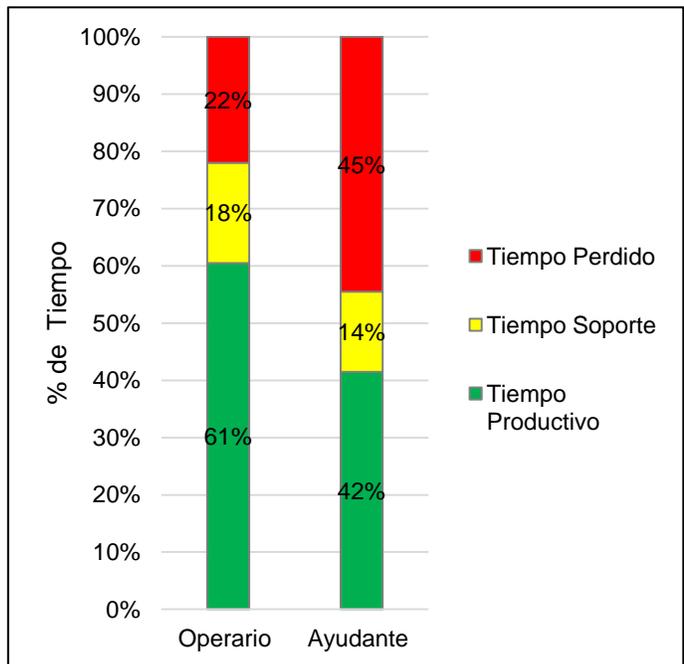
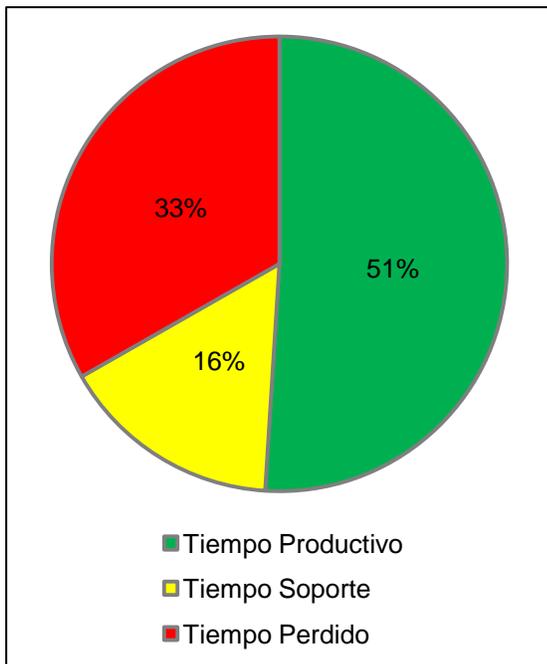
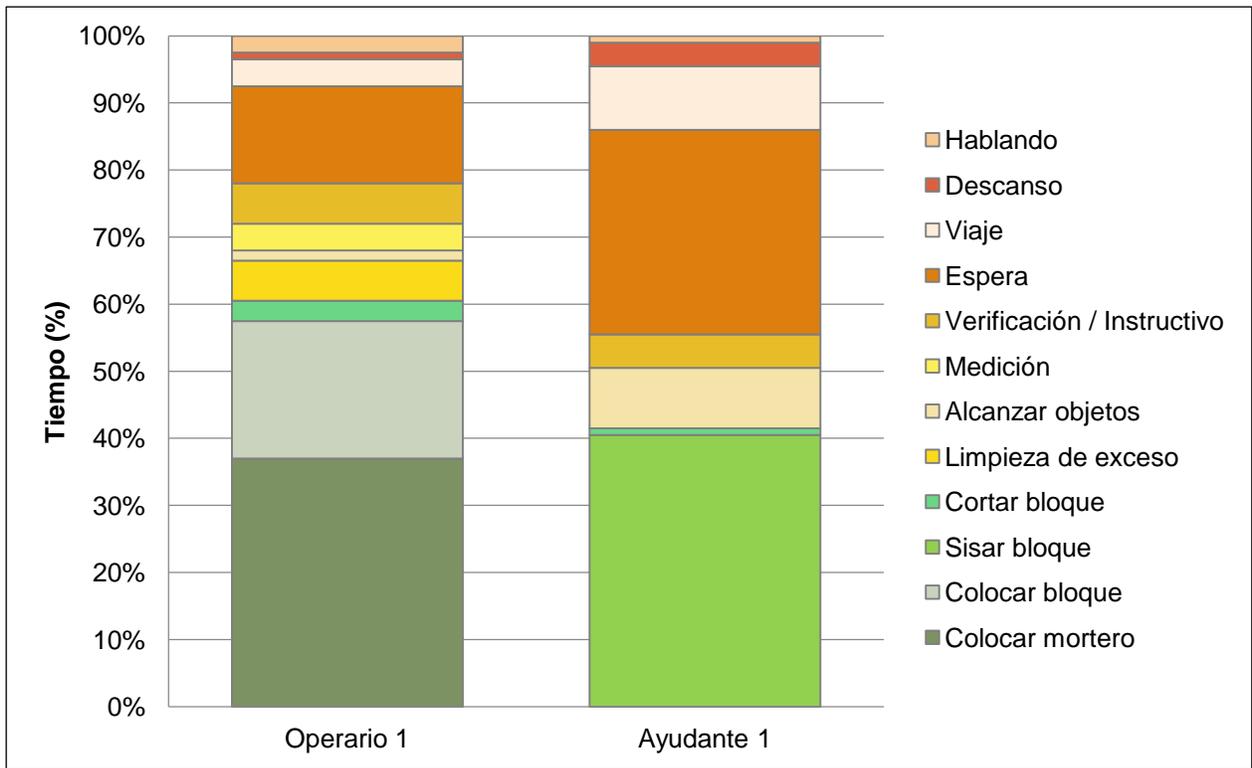


Figura 86. Productividad pega de bloques, Muestra #2.

CUADRO 47. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE PEGA DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA EN MUESTRA 2			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Colocación de bloques	–	–
2	Almacenamiento de bloques	–	–
3	Transporte de bloques	28	24
4	Batidora	–	–
5	Transporte de mezcla	143	120
6	Mesa de corte	–	–
7	Transporte de bloque cortado	24	20

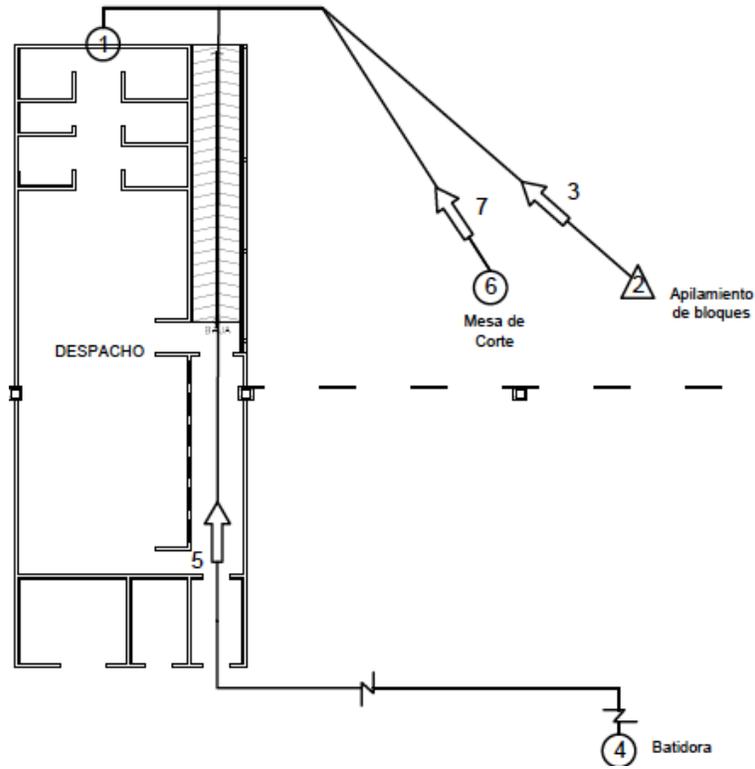


Figura 87. Diagrama de recorrido pega de bloques, Muestra #2.

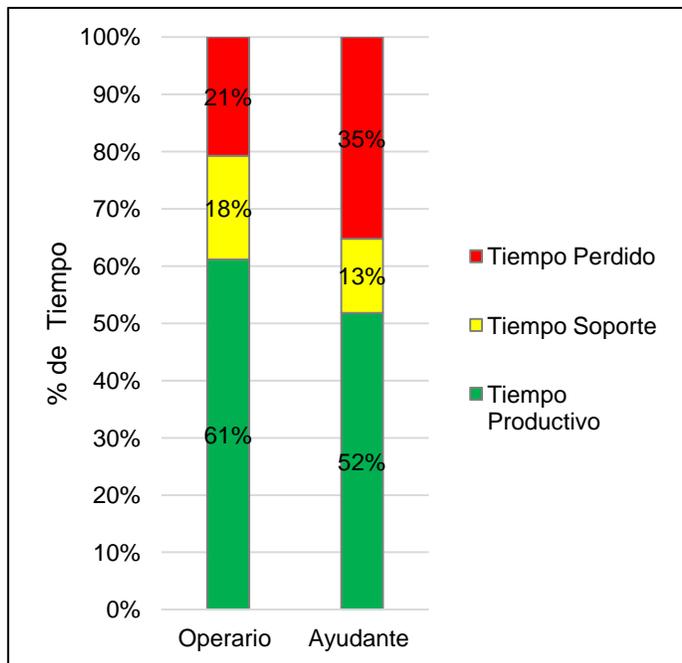
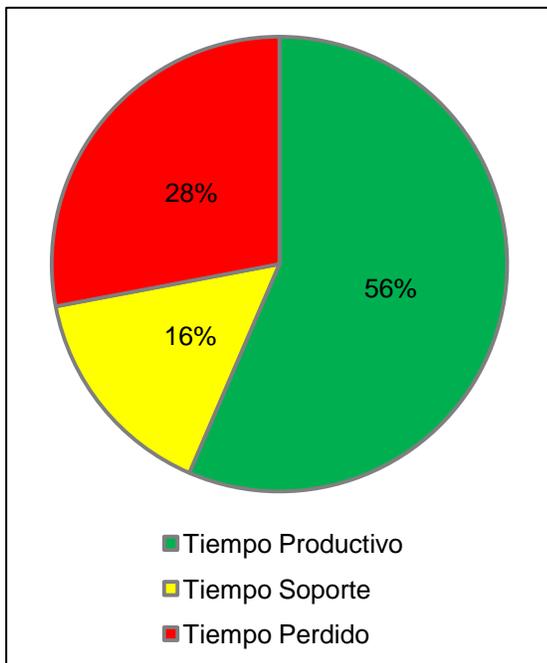
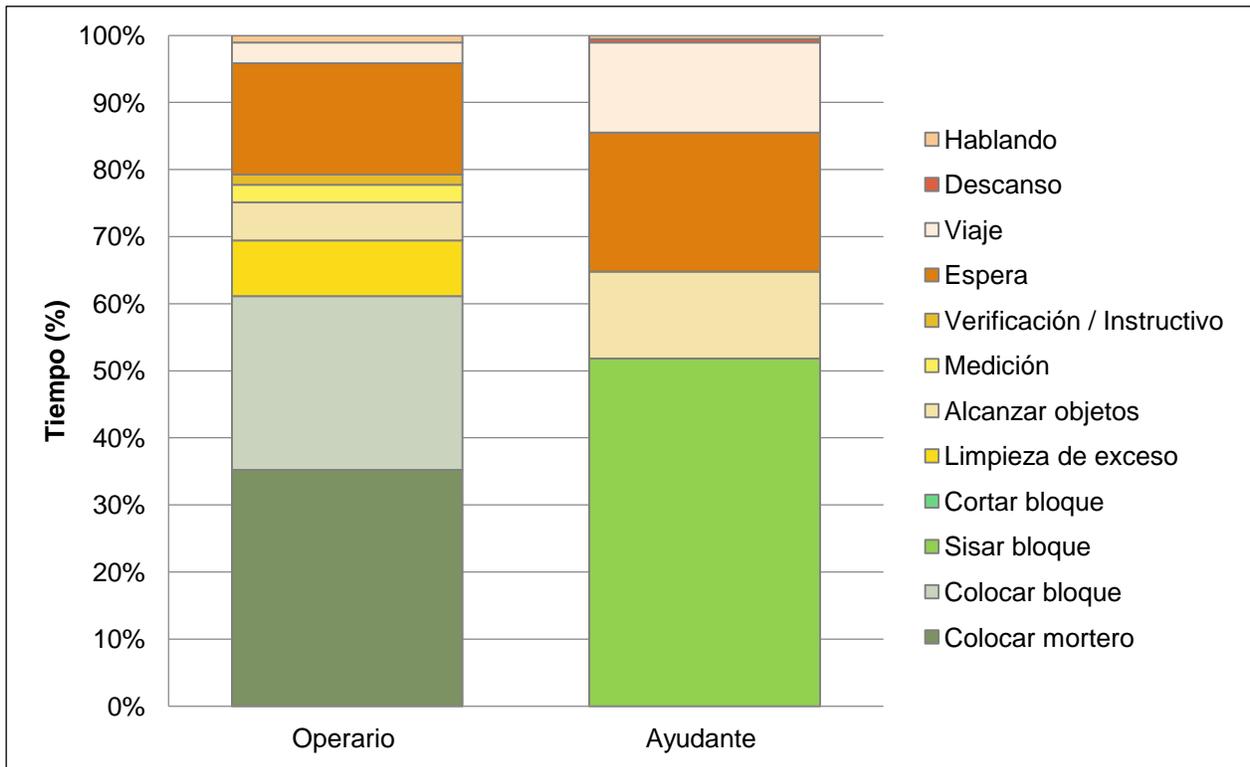


Figura 88. Productividad pega de bloques, Muestra #3.

CUADRO 48. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE PEGA DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA EN MUESTRA 3			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Colocación de bloques	-	-
2	Almacenamiento de bloques	-	-
3	Transporte de bloques	24	25
4	Batidora	-	-
5	Transporte de mezcla	48	50
6	Mesa de corte	-	-
7	Transporte de bloque cortado	26	30

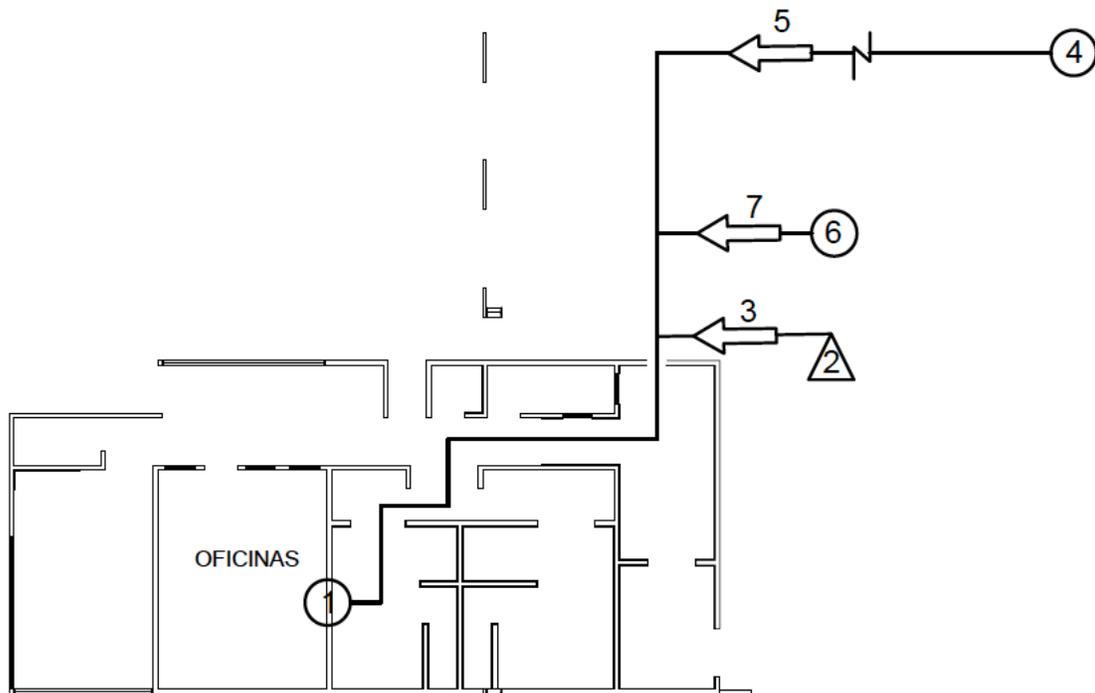


Figura 89. Diagrama de recorrido de pega de bloques, Muestra #3.

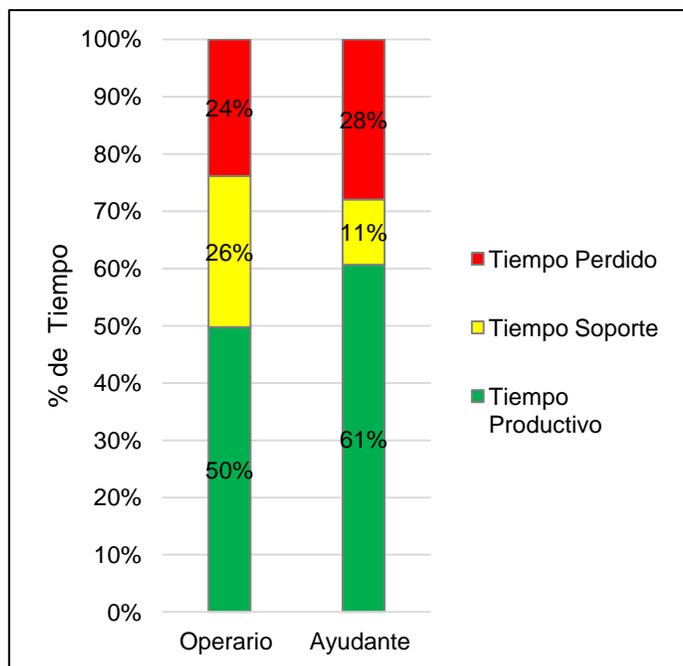
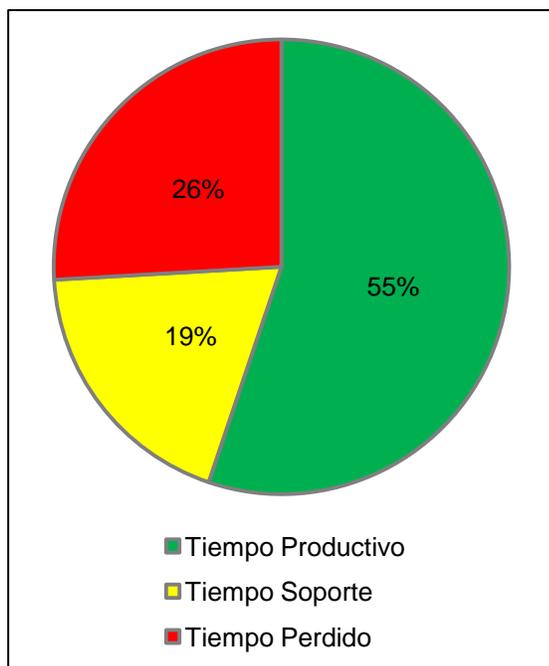
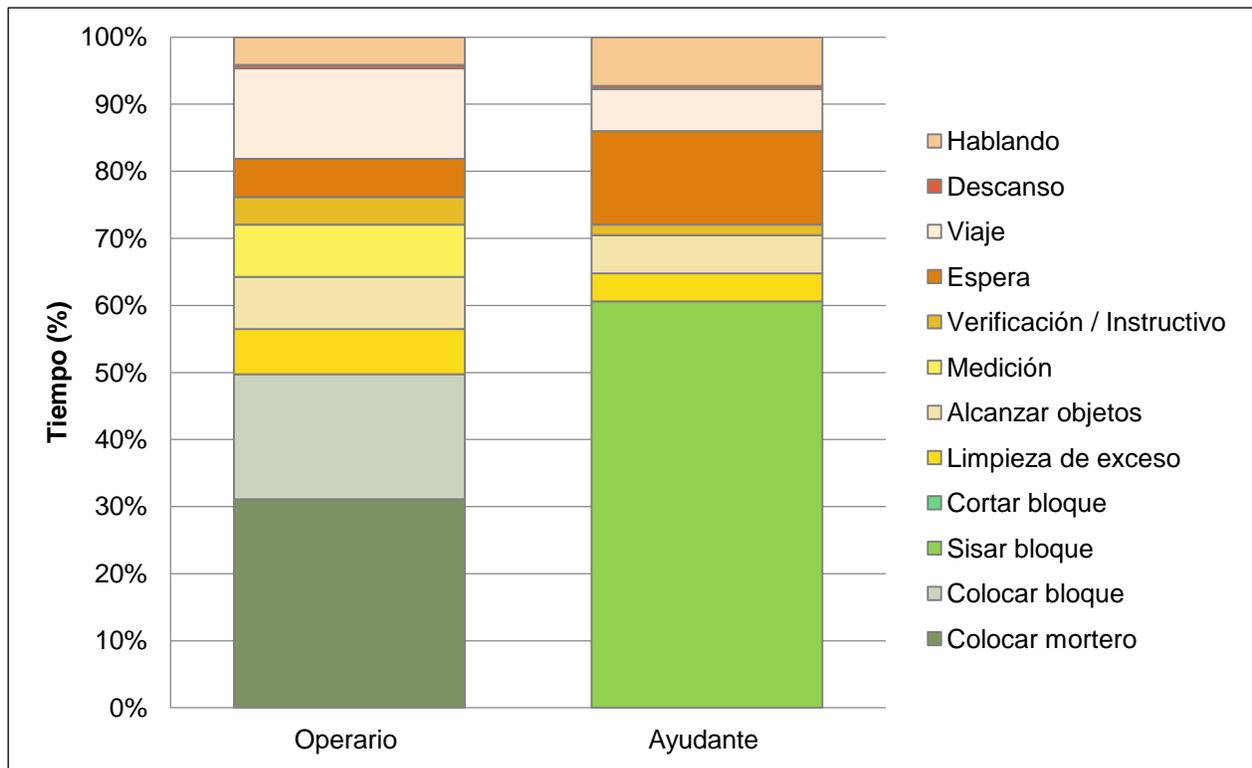


Figura 90. Productividad pega de bloques, Muestra #4.

CUADRO 49. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE PEGA DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA EN MUESTRA 4			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Colocación de bloques	-	-
2	Almacenamiento de bloques	-	-
3	Transporte de bloques	7	3
4	Batidora	-	-
5	Transporte de mezcla	120	80
6	Mesa de corte	-	-
7	Transporte de bloque cortado	9	4

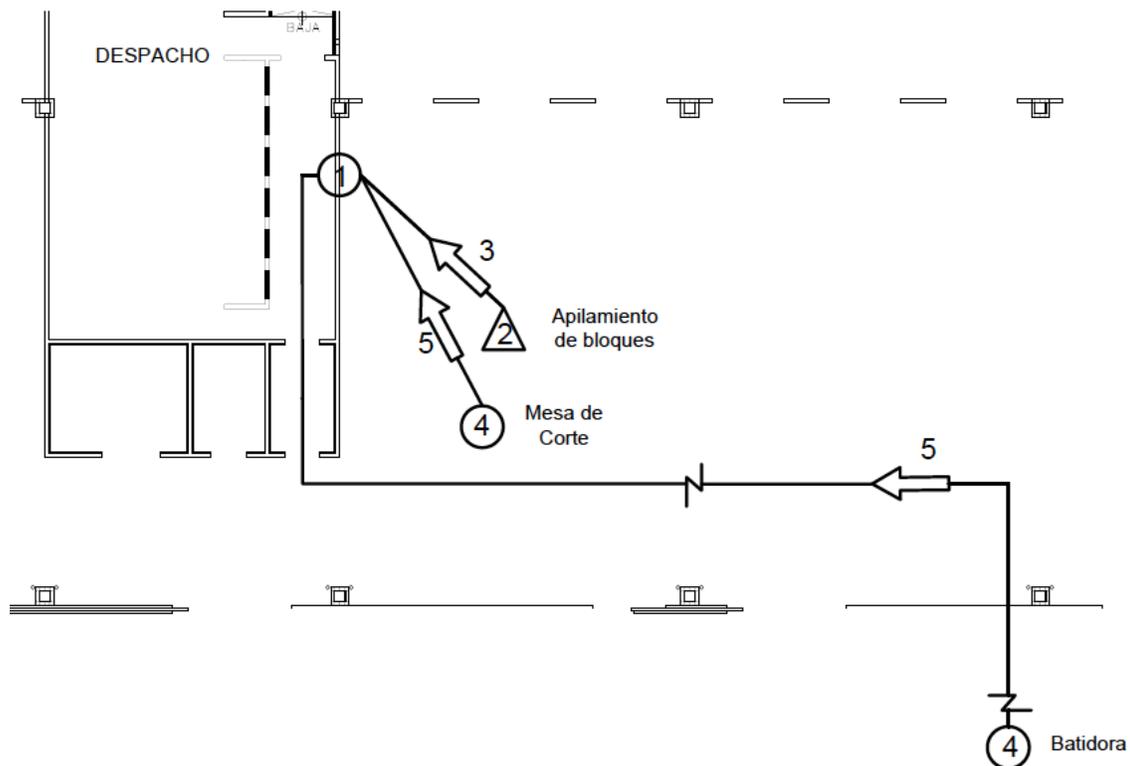


Figura 91. Diagrama de recorrido de pega de bloques, Muestra #4.

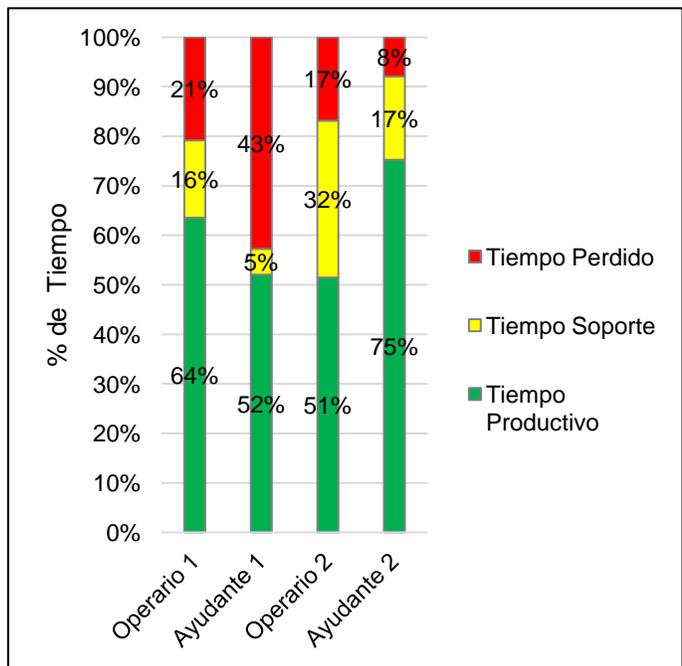
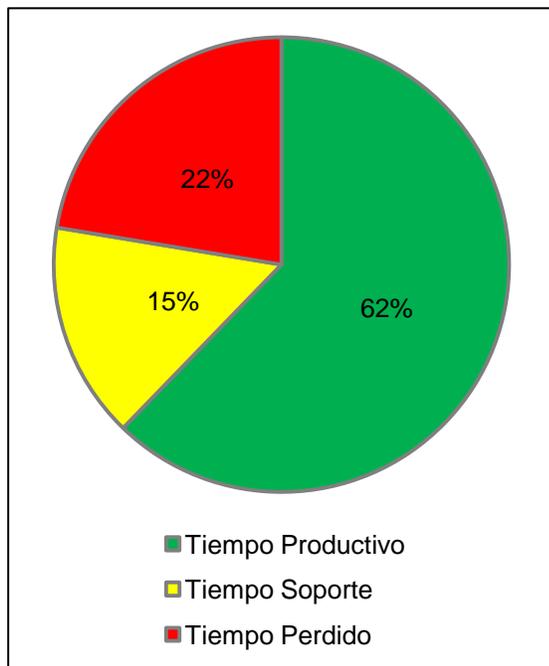
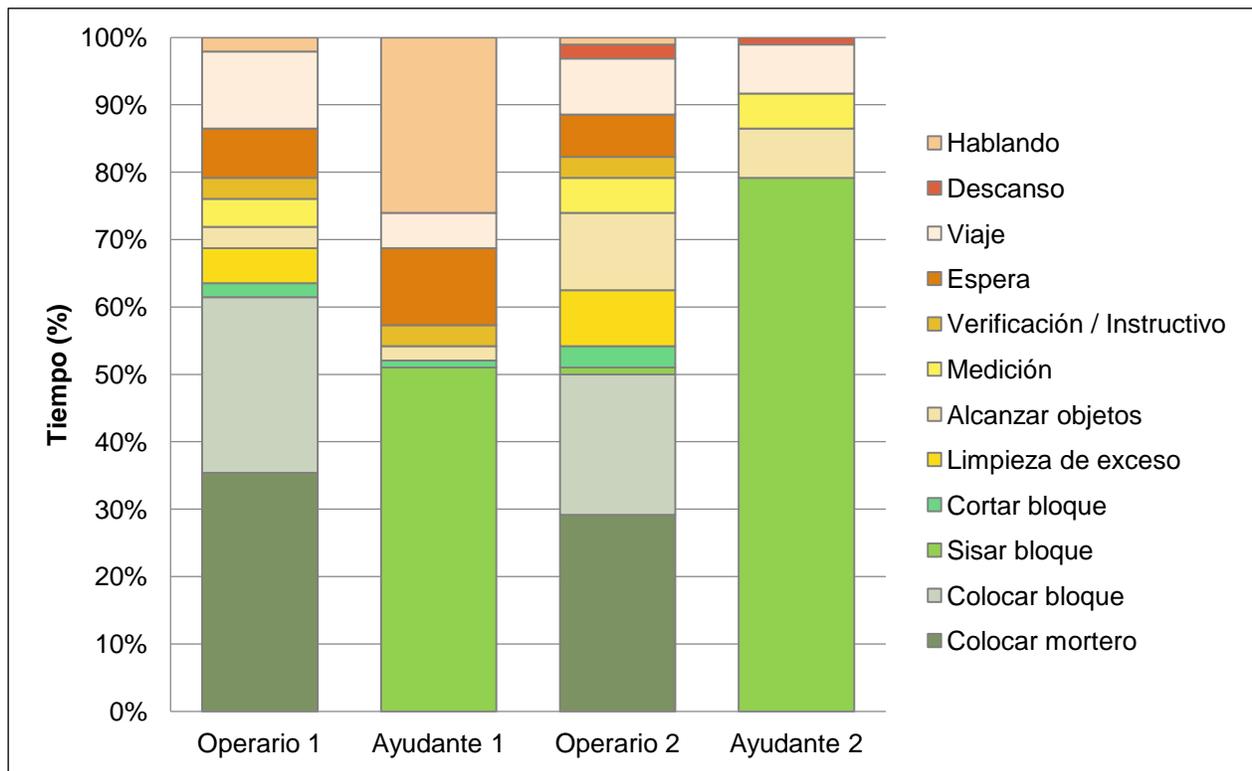


Figura 92. Productividad pega de bloques, Muestra #5.

CUADRO 50. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE PEGA DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA EN MUESTRA 5			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Colocación de bloques	–	–
2	Almacenamiento de bloques	–	–
3	Transporte de bloques	6	2
4	Batidora	–	–
5	Transporte de mezcla	82	60
6	Mesa de corte	–	–
7	Transporte de bloque cortado	33	30

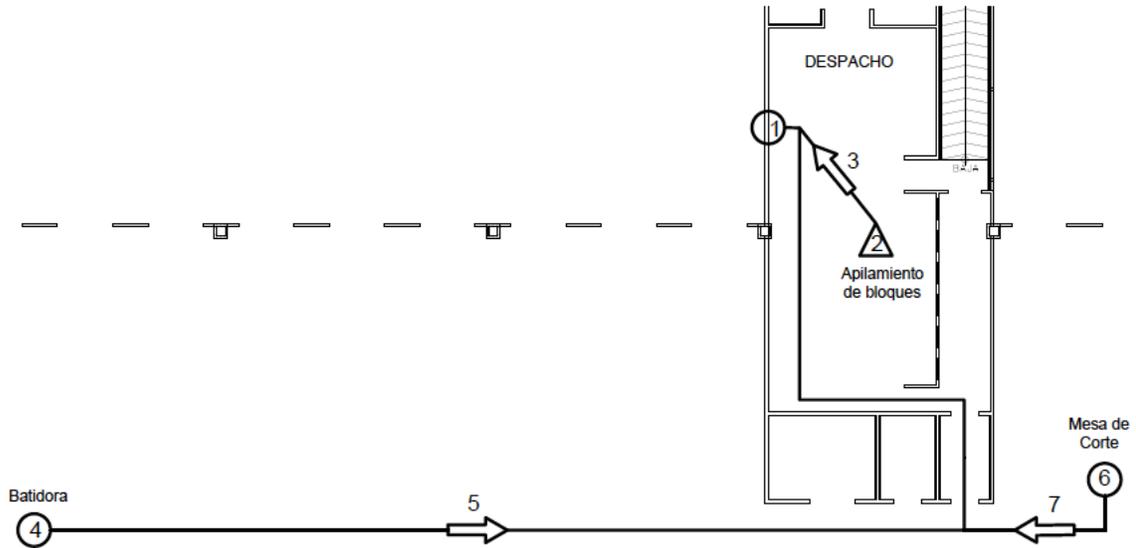


Figura 93. Diagrama de recorrido de pega de bloques, Muestra #4.

Apéndice B. Resultados de productividad de Relleno de celdas.

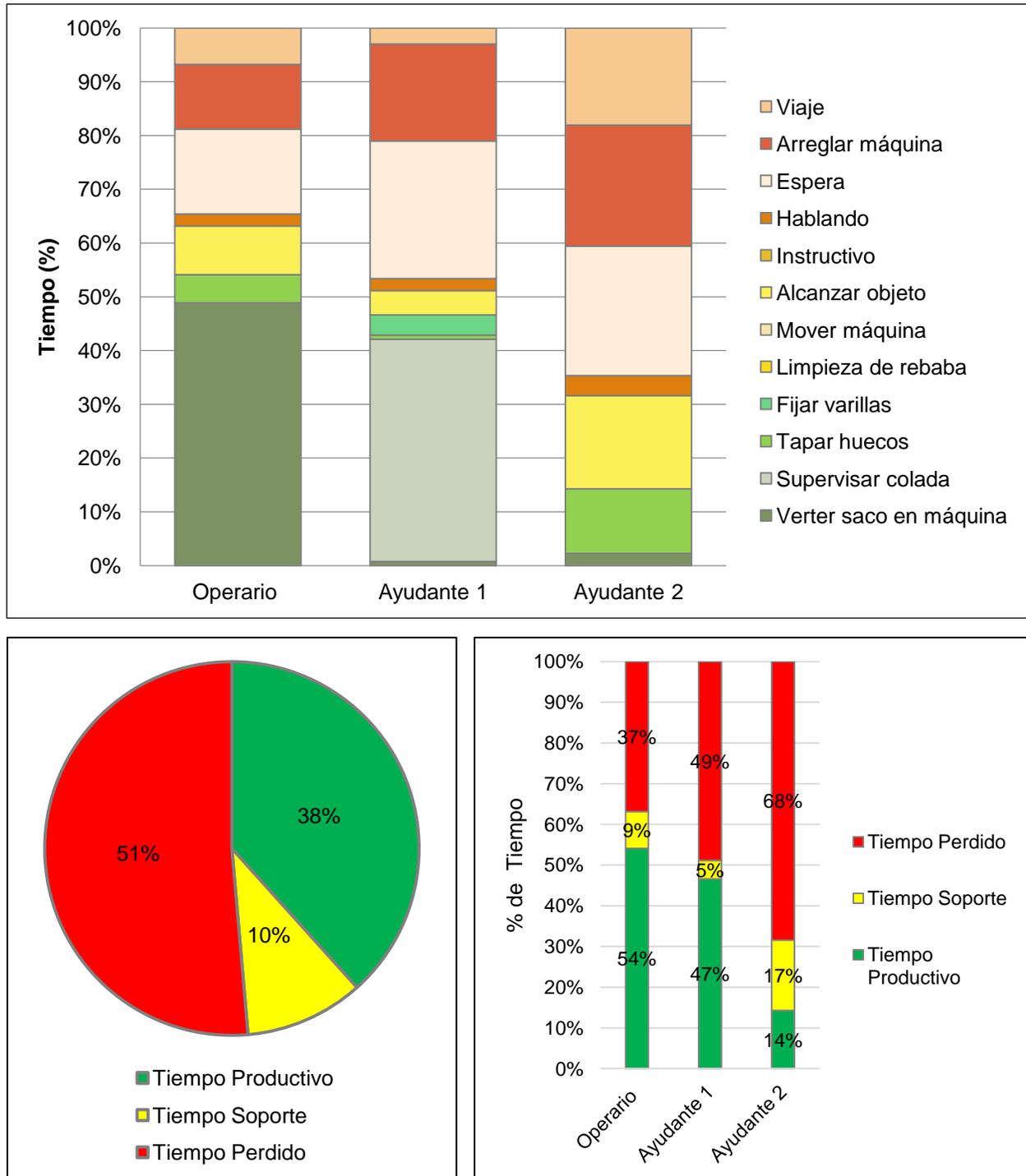


Figura 94. Productividad de relleno de celdas, Muestra #1.

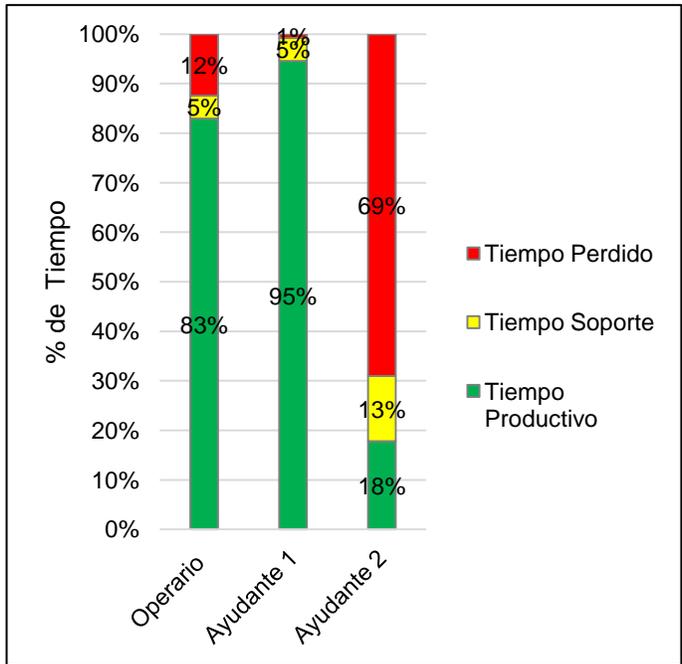
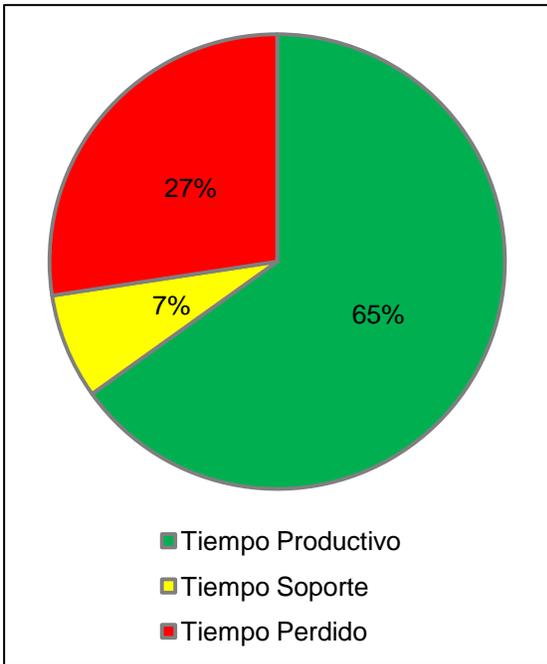
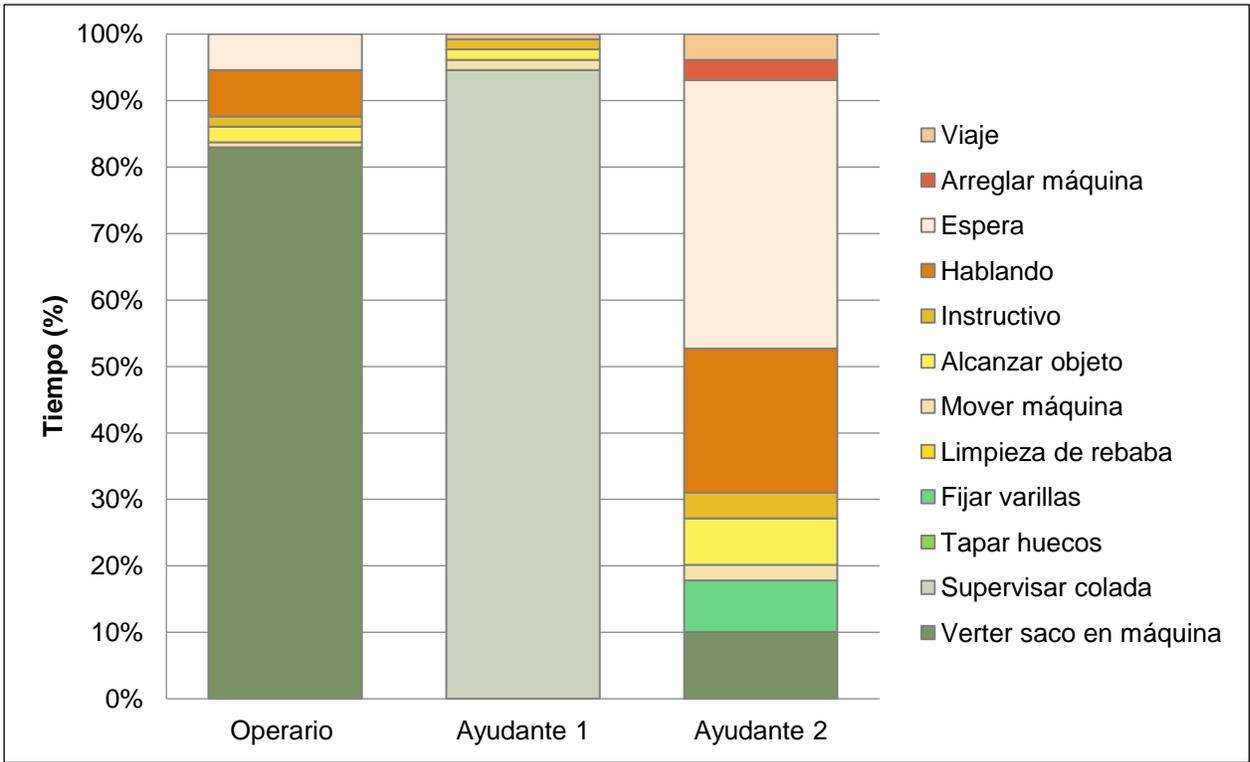


Figura 95. Productividad de relleno de celdas, Muestra #2.

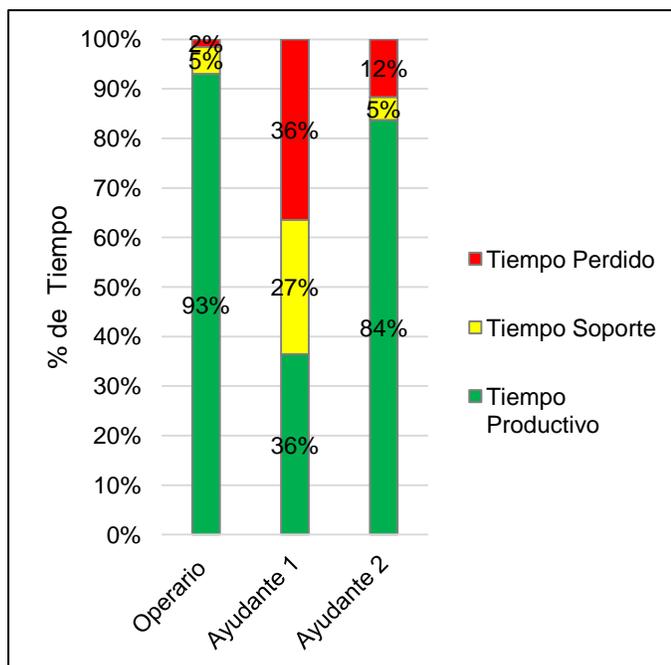
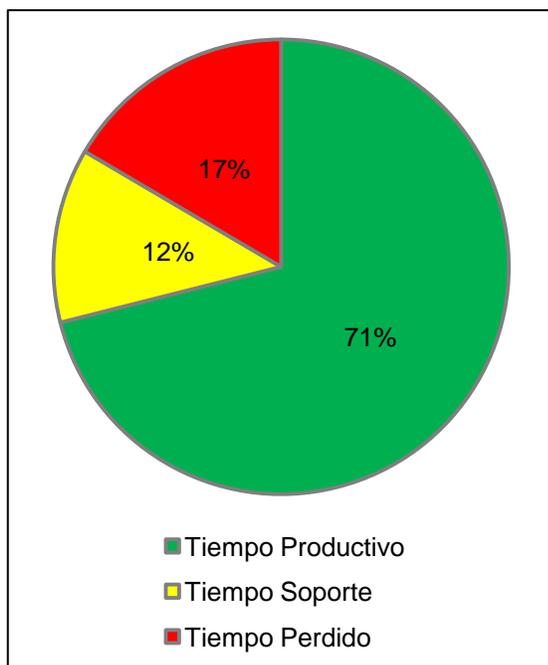
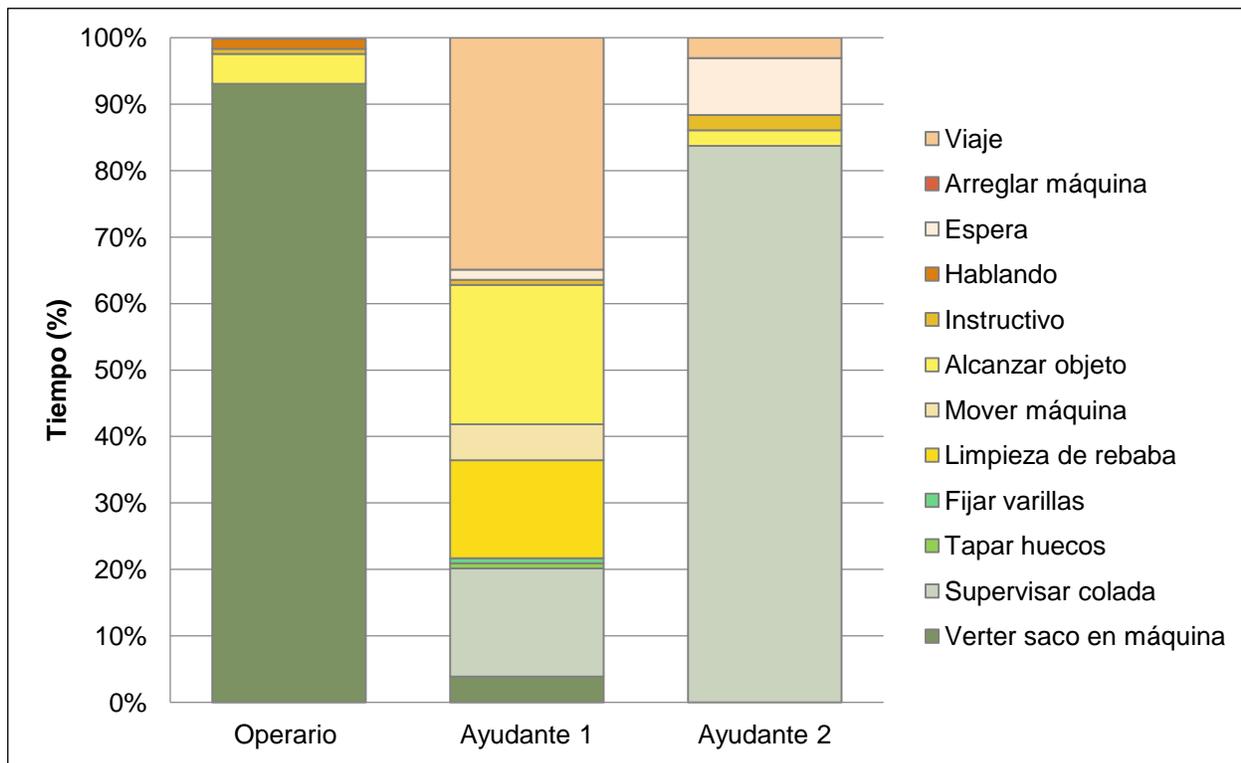


Figura 96. Productividad de relleno de celdas, Muestra #3.

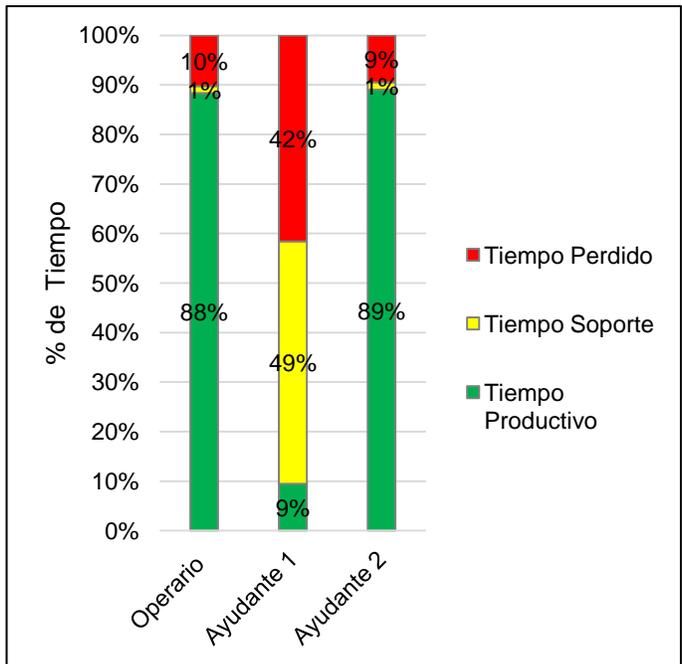
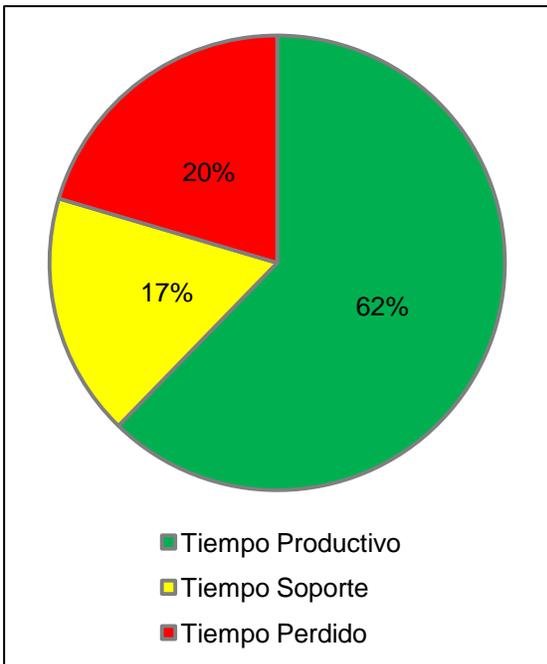
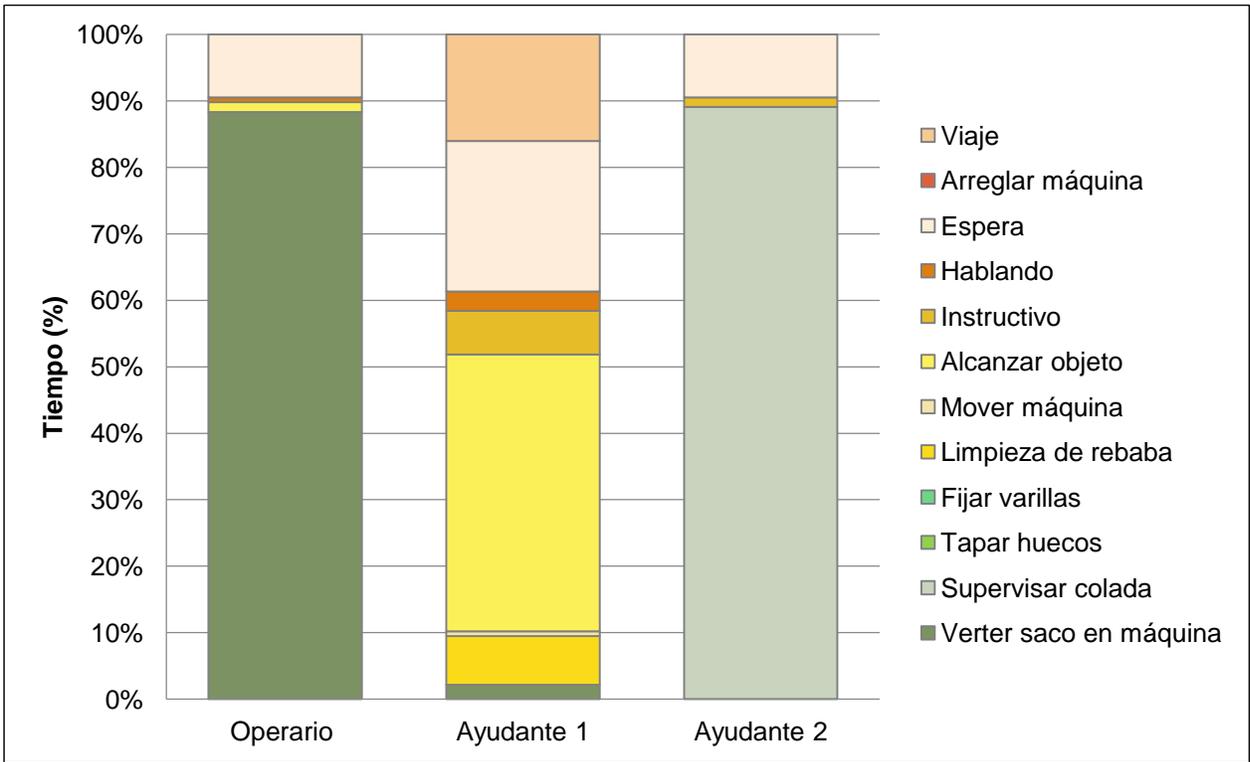


Figura 97. Productividad de relleno de celdas, Muestra #4.

Apéndice C. Resultados de productividad de Encofrado de columnas.

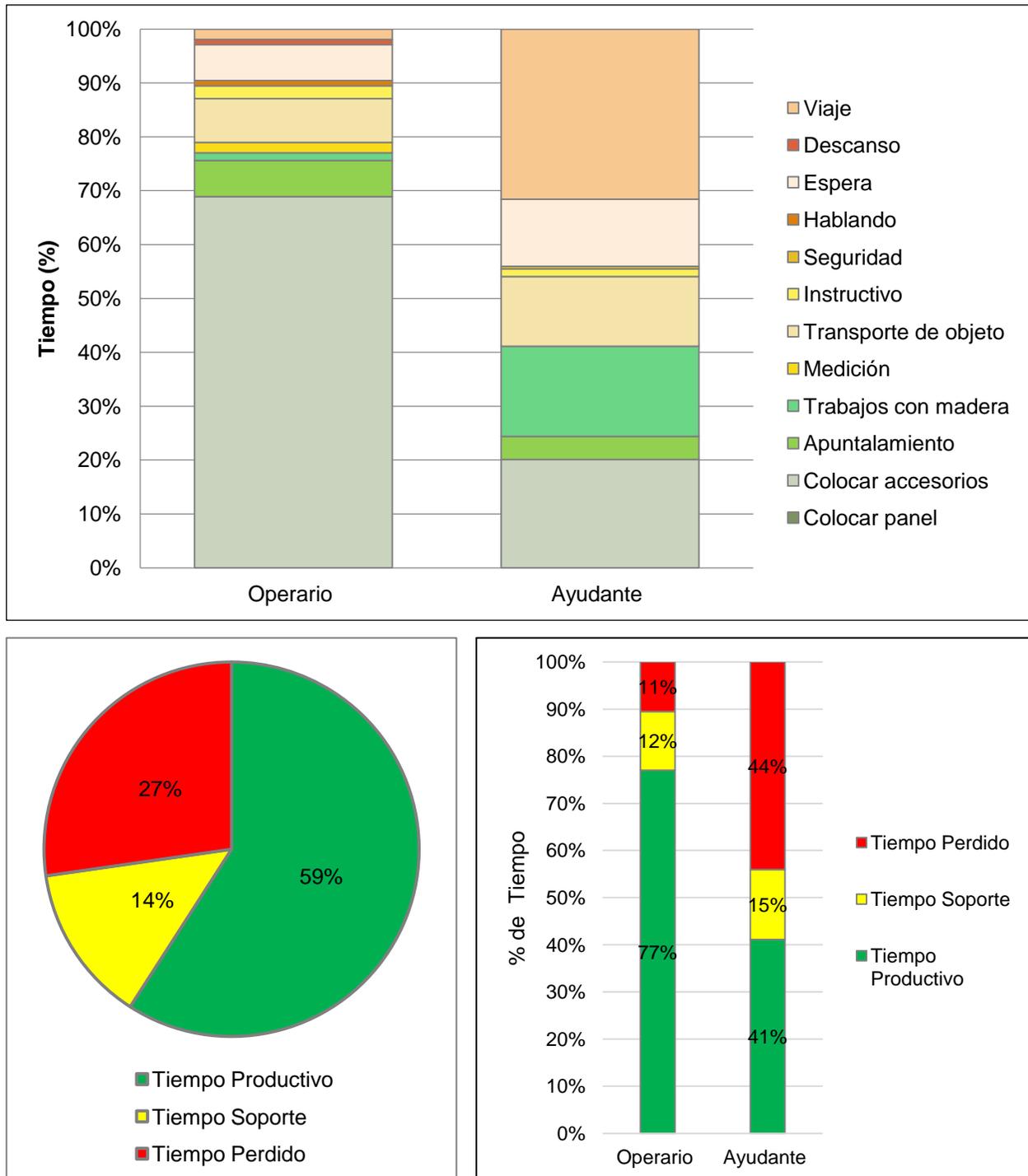


Figura 98. Productividad de encofrado de columnas, Muestra #1.

CUADRO 51. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE ENCOFRADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 1			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Encofrado Columna	-	-
2	Acopio de panel, puntal y accesorios	-	-
3	Transporte de panel, puntal, accesorio	17	15
4	Mesa de corte de madera	-	-
5	Transporte de madera	16	15

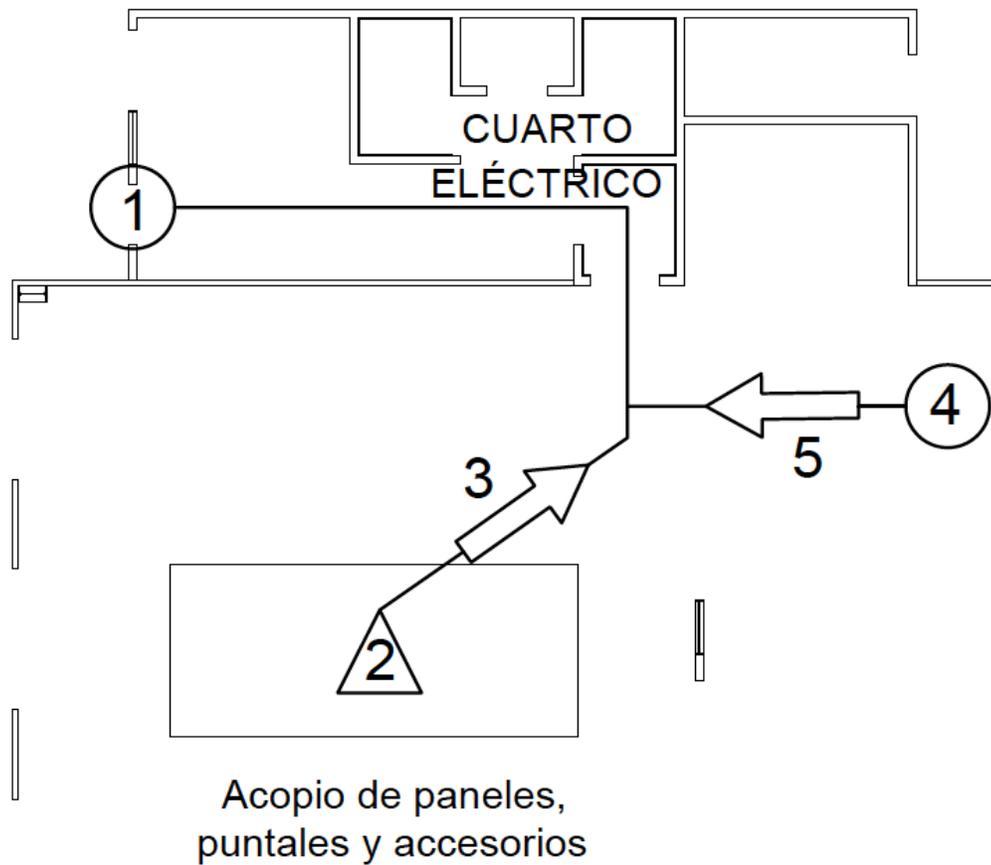


Figura 99. Diagrama de recorrido de encofrado de columnas, Muestra #1.

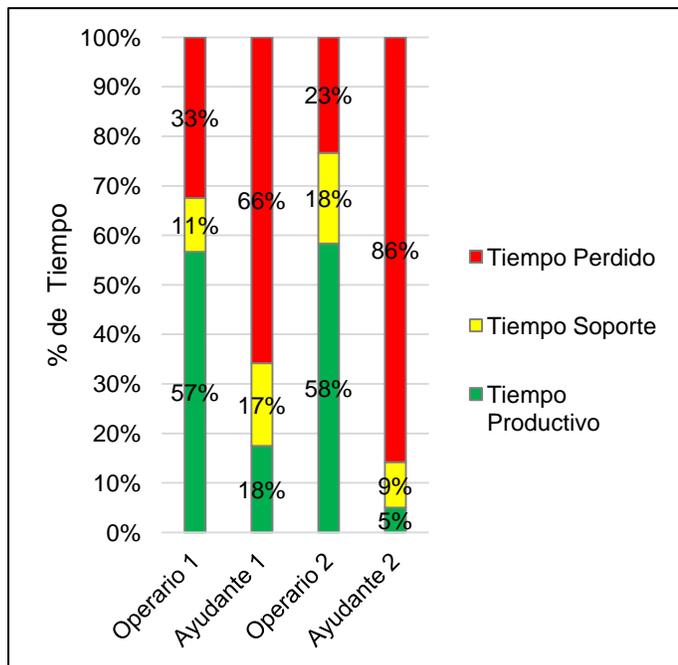
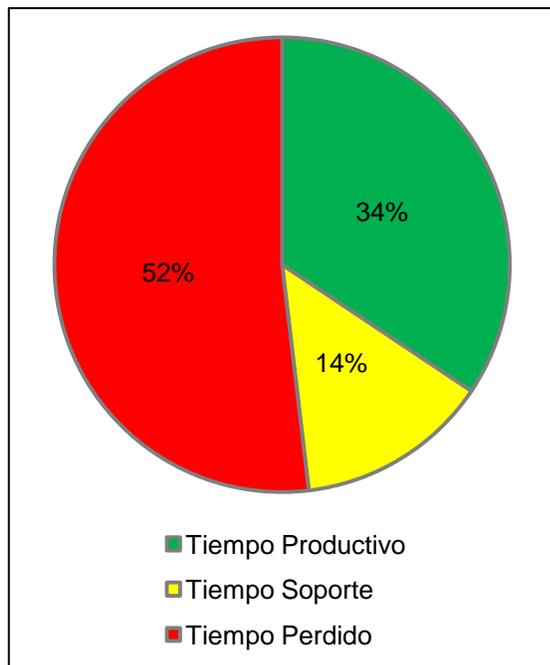
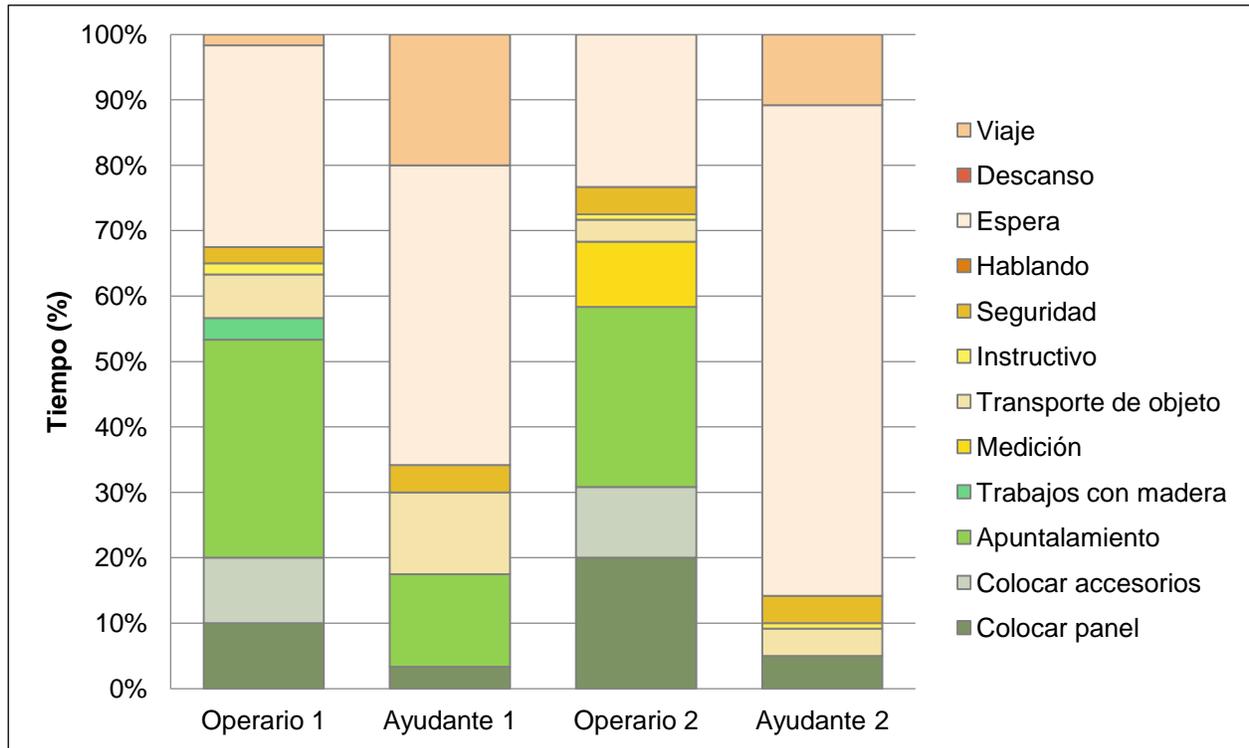


Figura 100. Productividad de encofrado de columnas, Muestra #2.

CUADRO 52. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE ENCOFRADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 2			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Encofrado Columna	-	-
2	Acopio de panel, puntal y accesorios	-	-
3	Transporte de panel, puntal, accesorio	9	6
4	Mesa de corte de madera	-	-
5	Transporte de madera	7	5

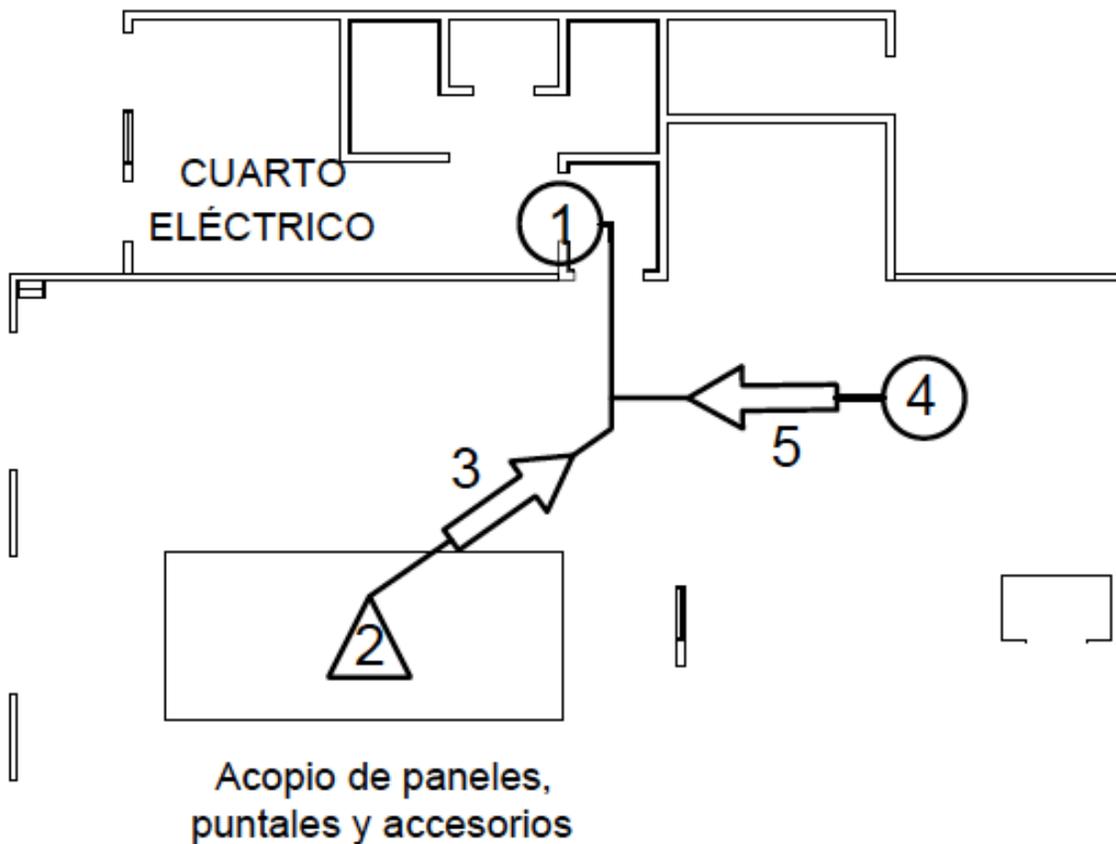


Figura 101. Diagrama de recorrido de encofrado de columnas, Muestra #1.

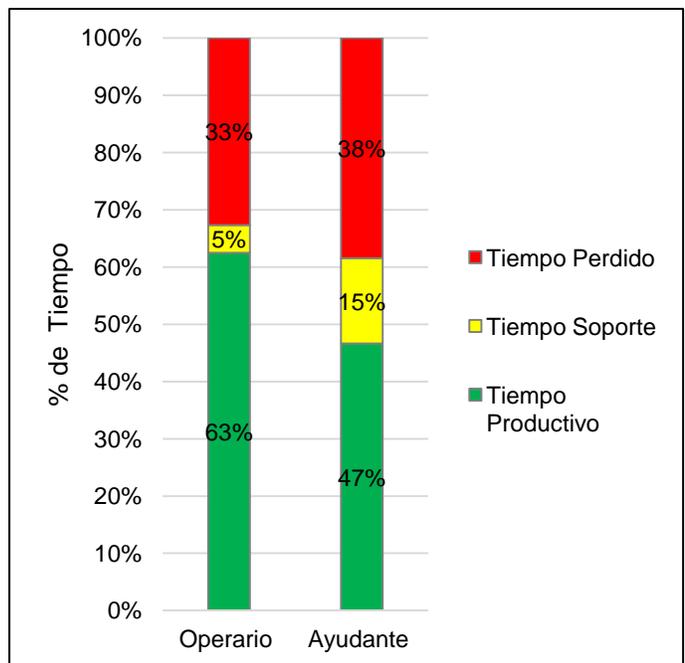
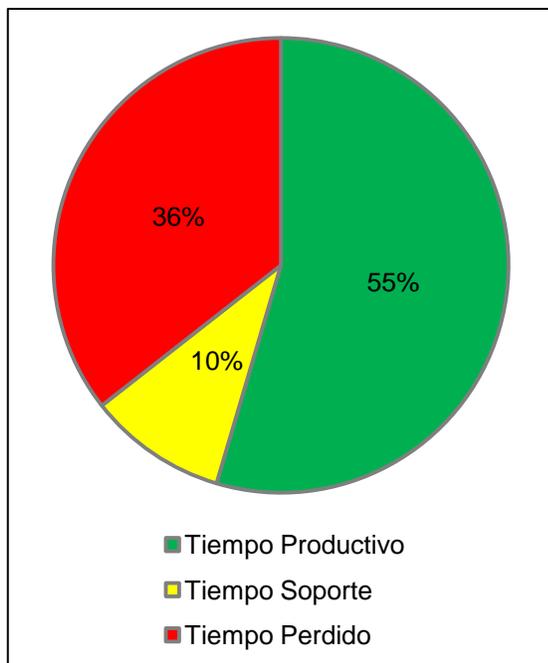
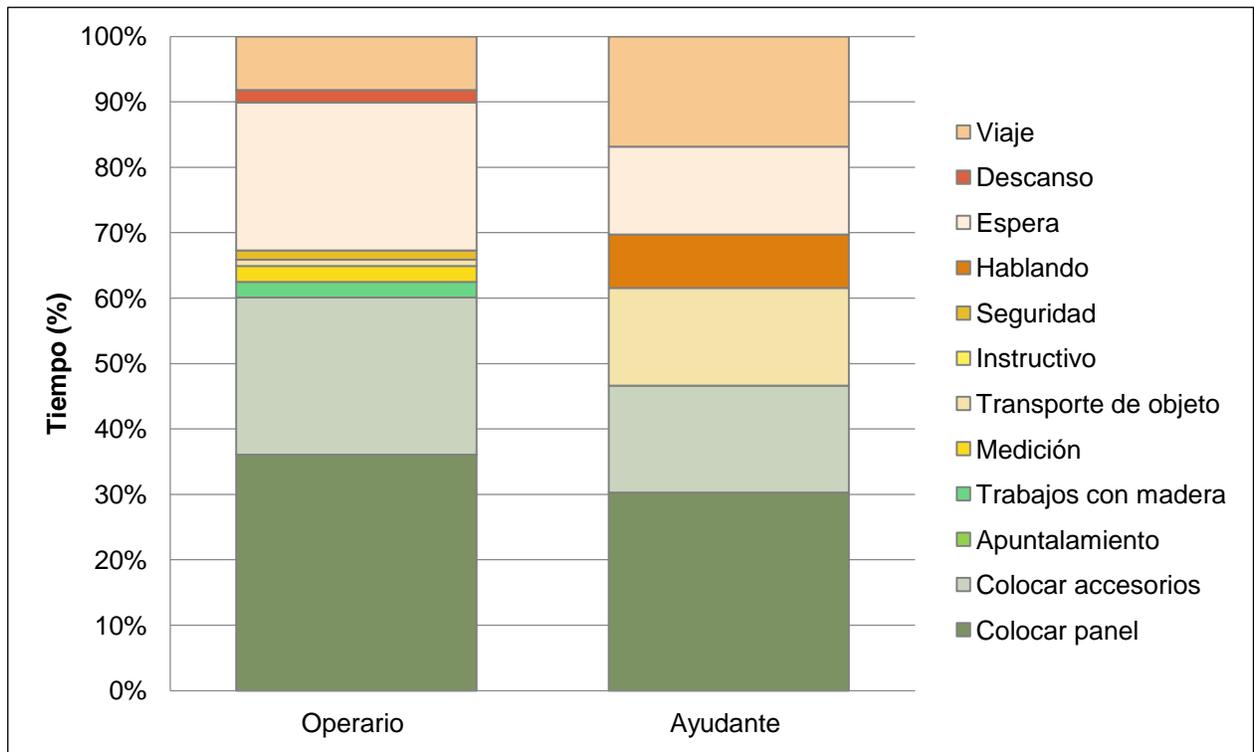


Figura 102. Productividad de encofrado de columnas, Muestra #3.

CUADRO 53. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE ENCOFRADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 3			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Encofrado Columna	–	–
2	Acopio de panel, puntal y accesorios	–	–
3	Transporte de panel, puntal, accesorio	150	90

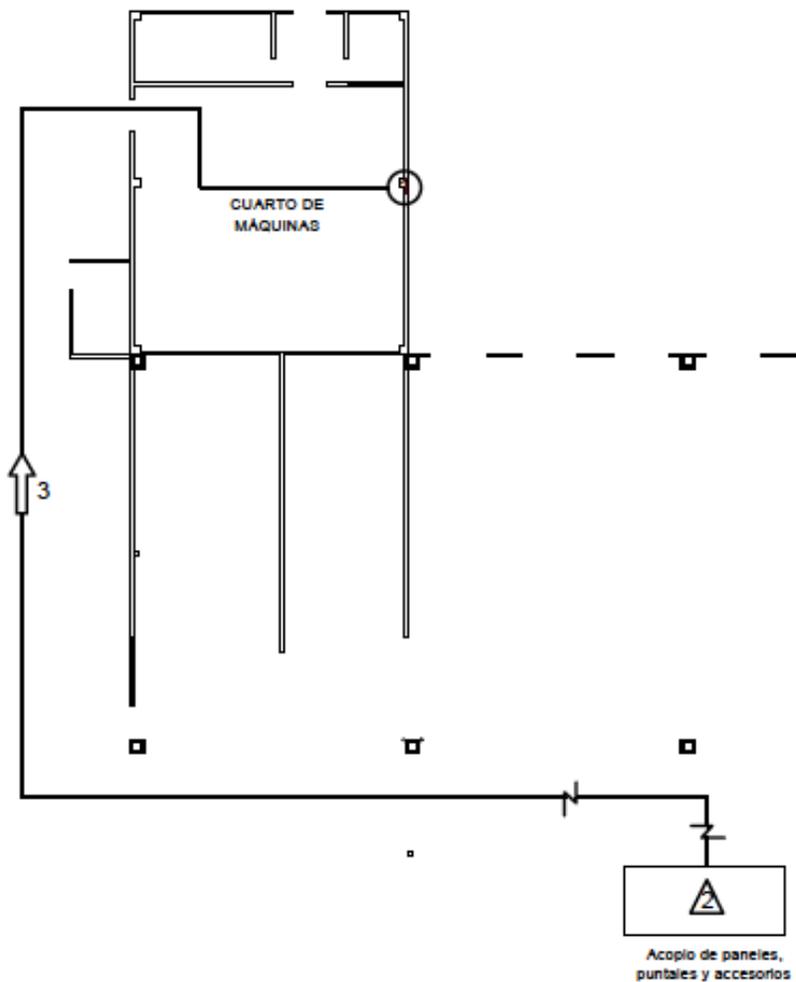


Figura 103. Productividad de encofrado de columnas, Muestra #3.

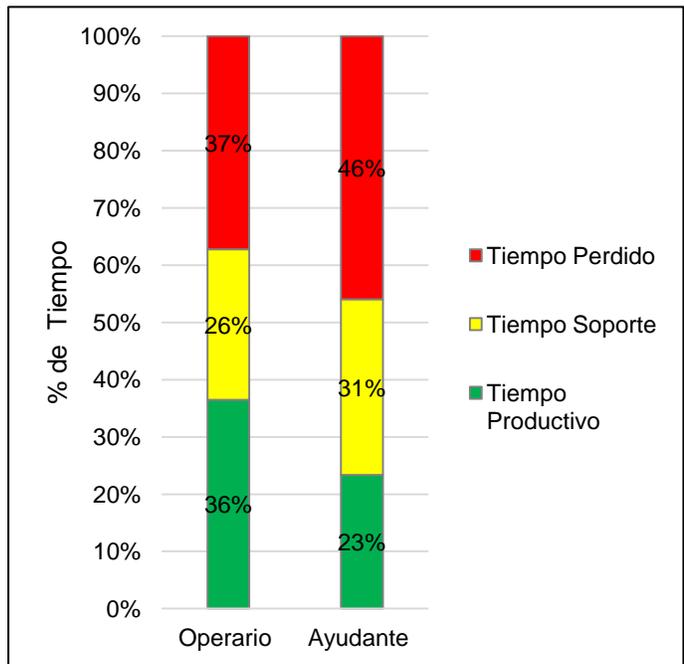
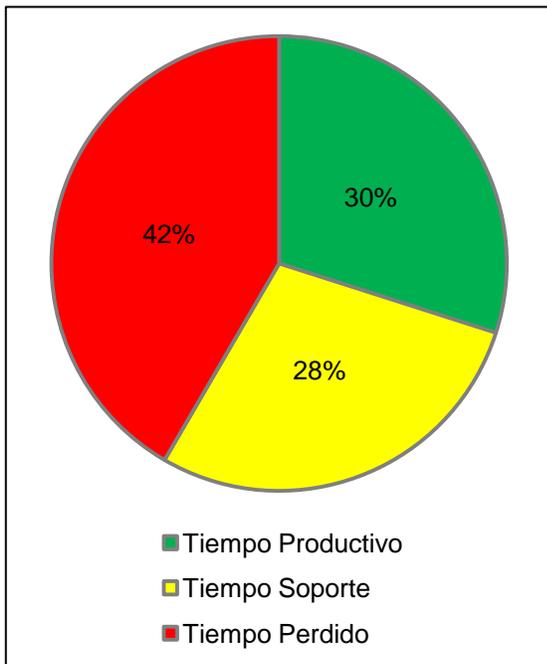
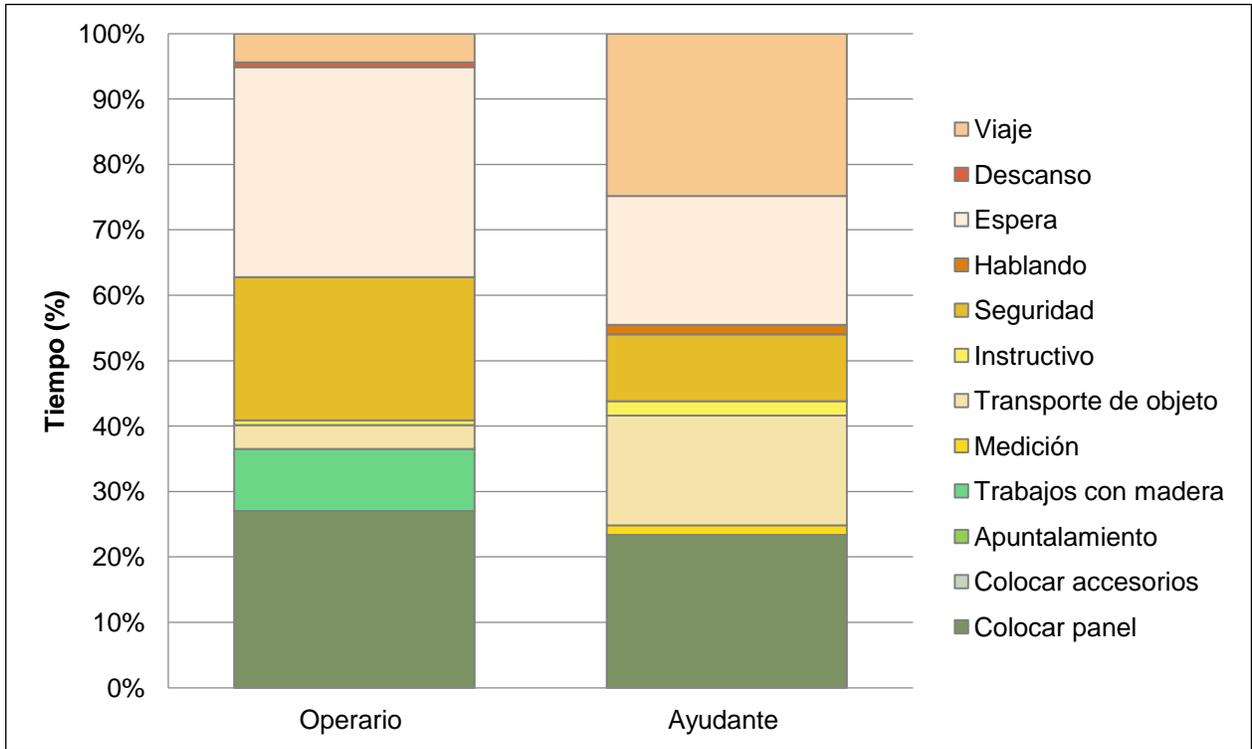


Figura 104. Productividad de encofrado de columnas, Muestra #4.

CUADRO 54. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE ENCOFRADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 4			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Encofrado Columna	-	-
2	Acopio de panel, puntal y accesorios	-	-
3	Transporte de panel, puntal, accesorio	80	50

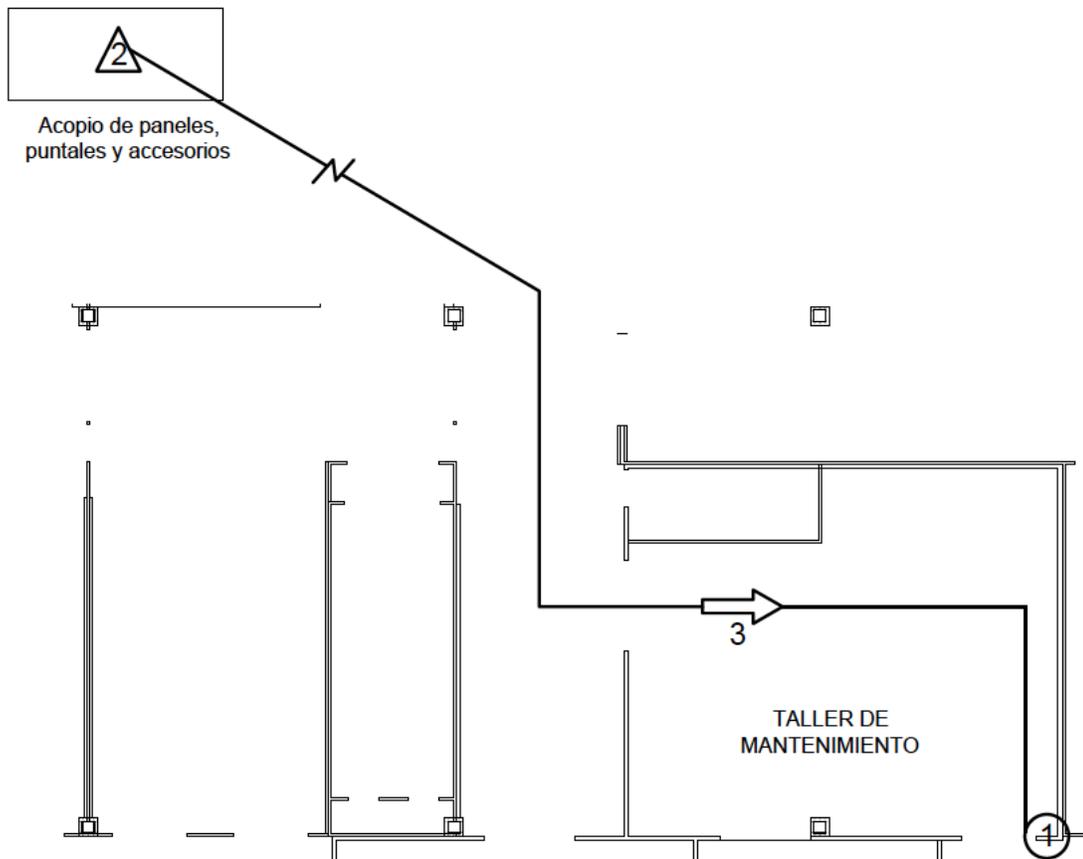


Figura 105. Productividad de encofrado de columnas, Muestra #4.

Apéndice D. Resultados de productividad de Colado de columnas.

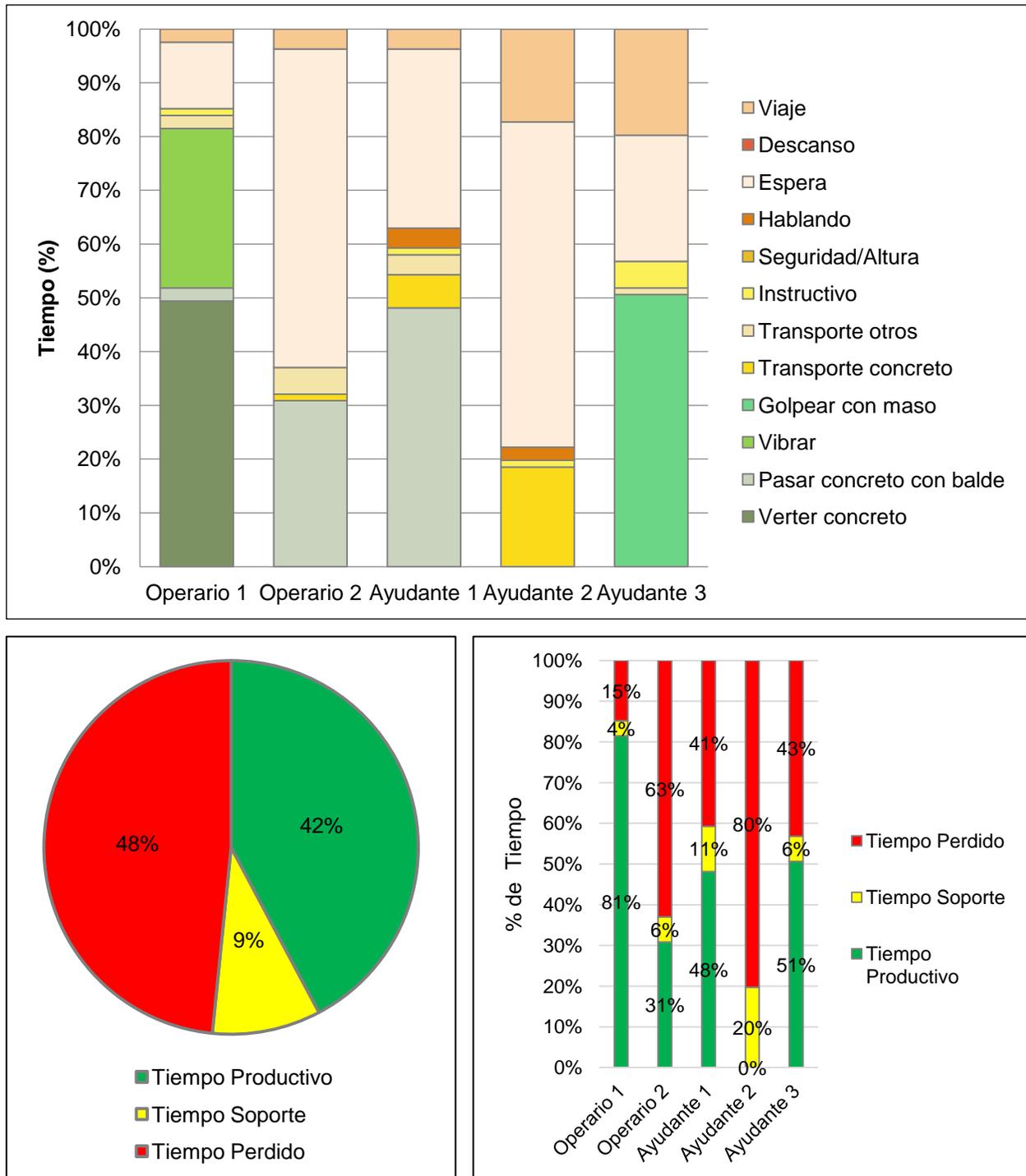


Figura 106. Productividad de colado de columnas, Muestra #1.

CUADRO 55. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE COLADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 1			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Colado columna	-	-
2	Inspección de calidad de concreto Camión mezclador con concreto	-	-
3	Transporte de concreto en carretillo	33	25

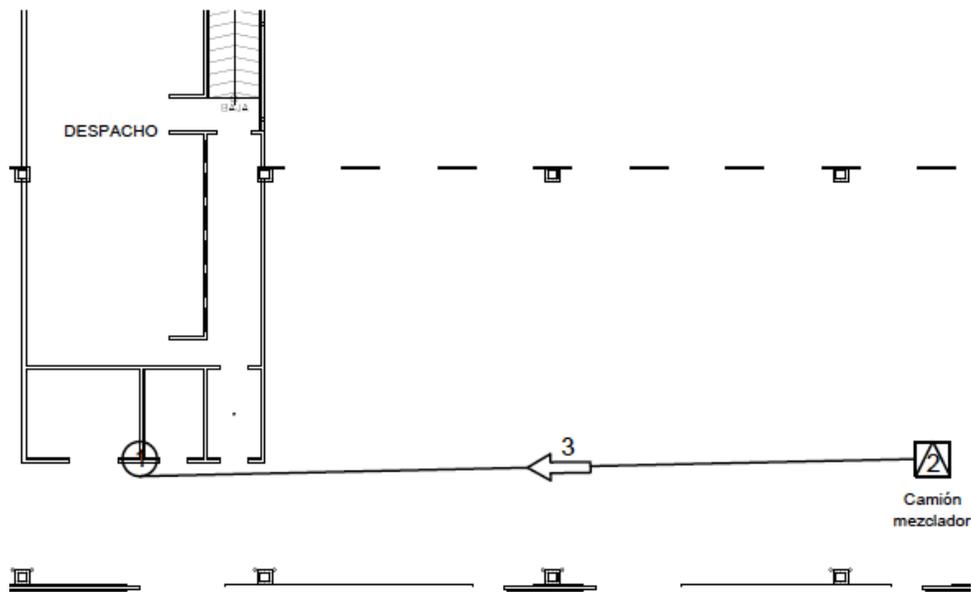


Figura 107. Productividad de colado de columnas, Muestra #1.

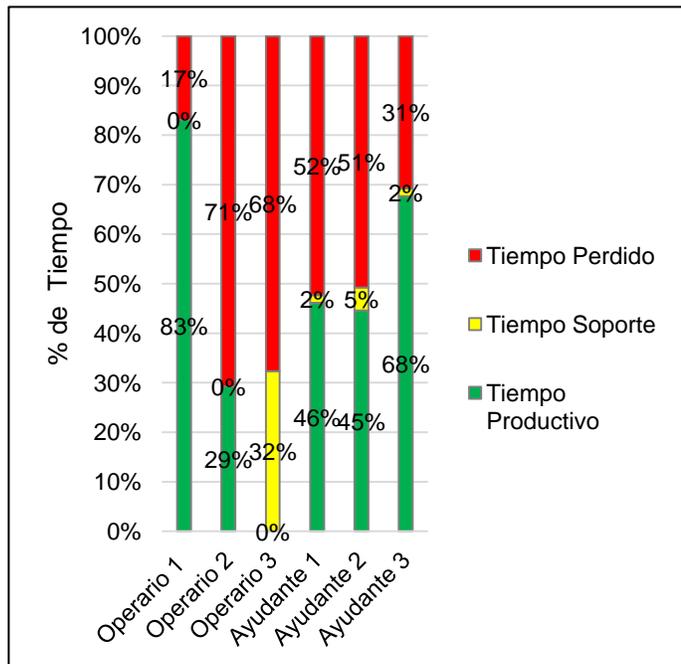
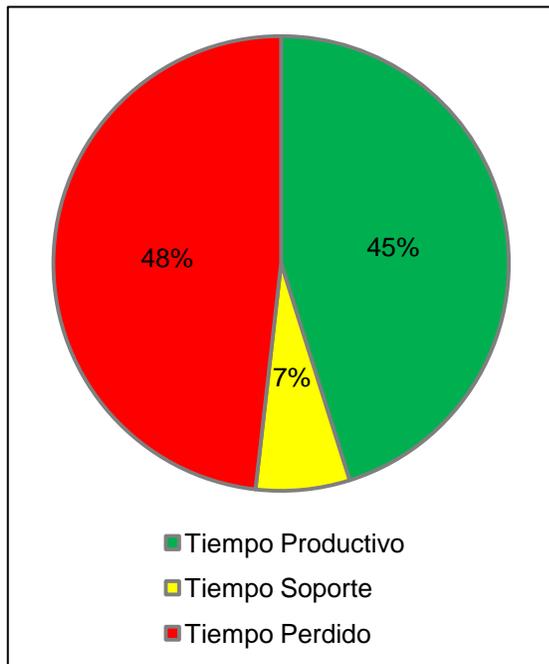
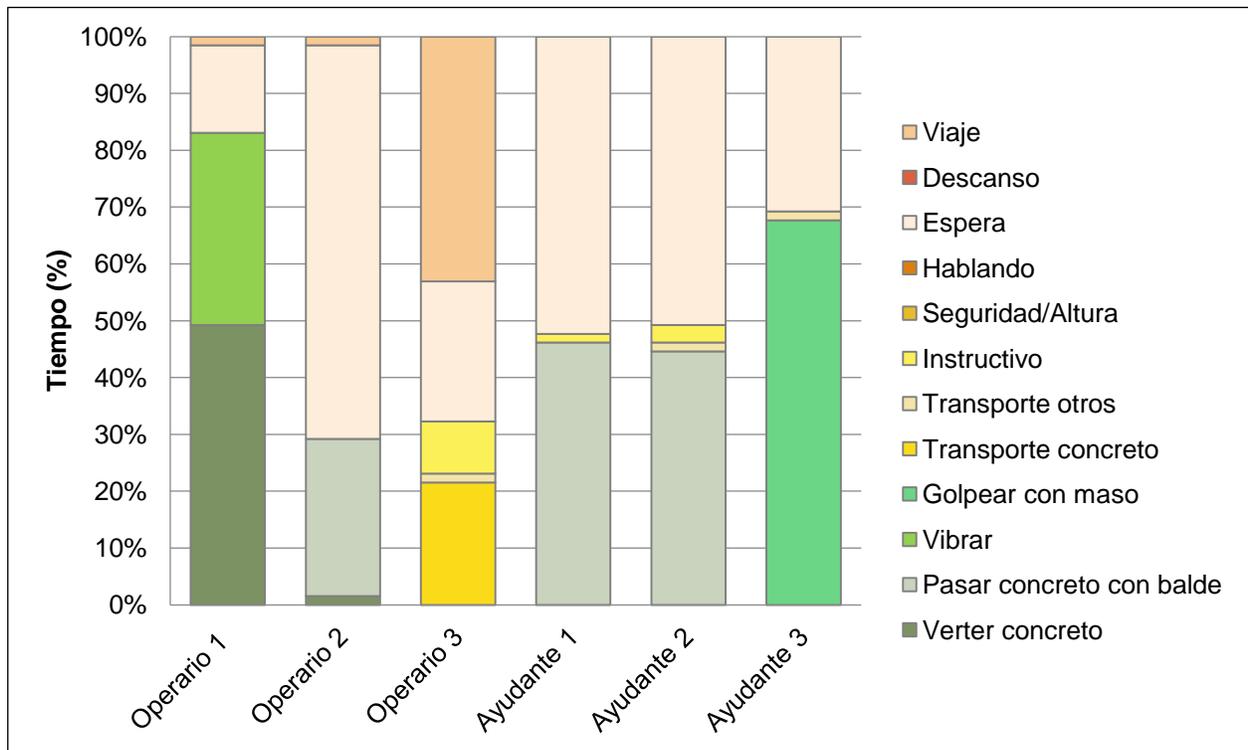


Figura 108. Productividad de colado de columnas, Muestra #2.

CUADRO 56. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE COLADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 2			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Colado columna	-	-
2	Inspección de calidad de concreto Camión mezclador con concreto	-	-
3	Transporte de concreto en carretillo	31	20

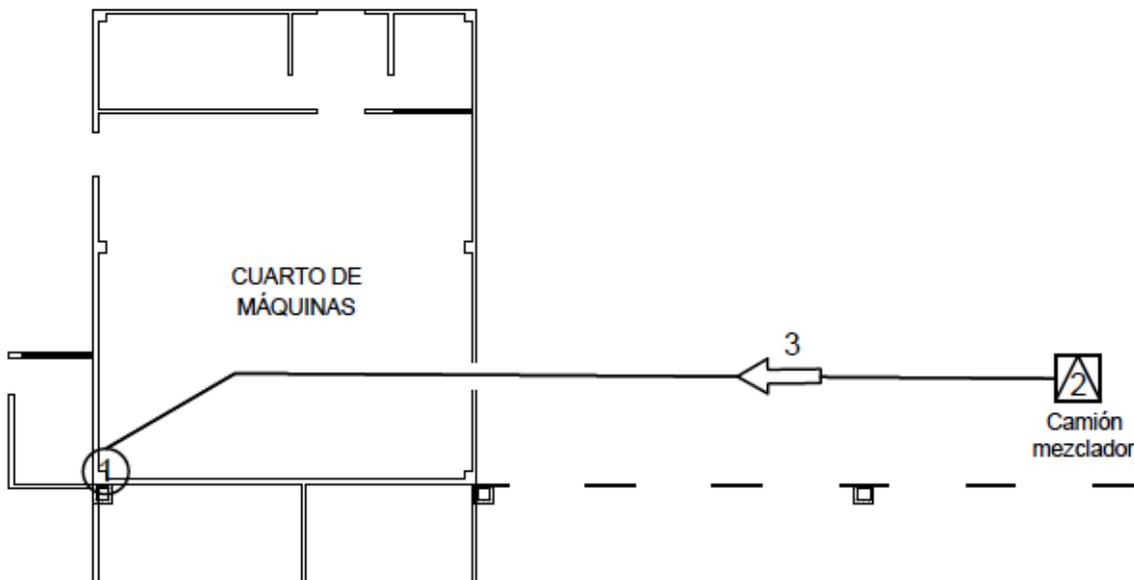


Figura 109. Productividad de colado de columnas, Muestra #2.

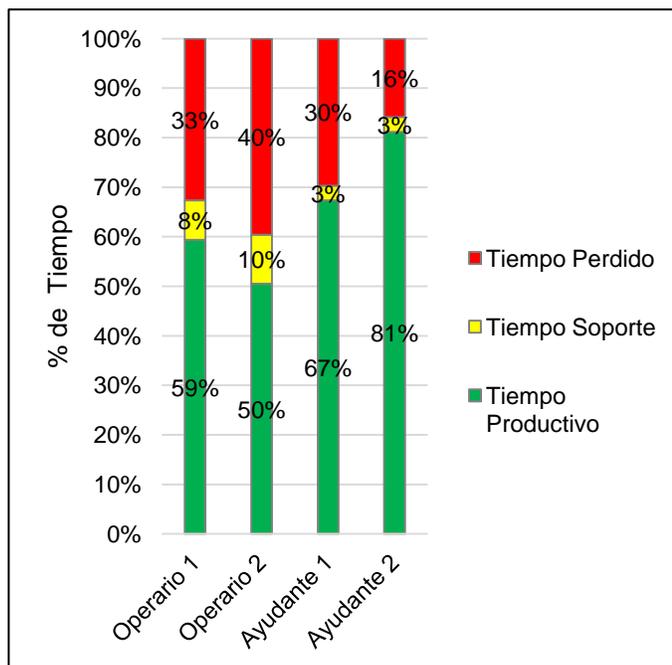
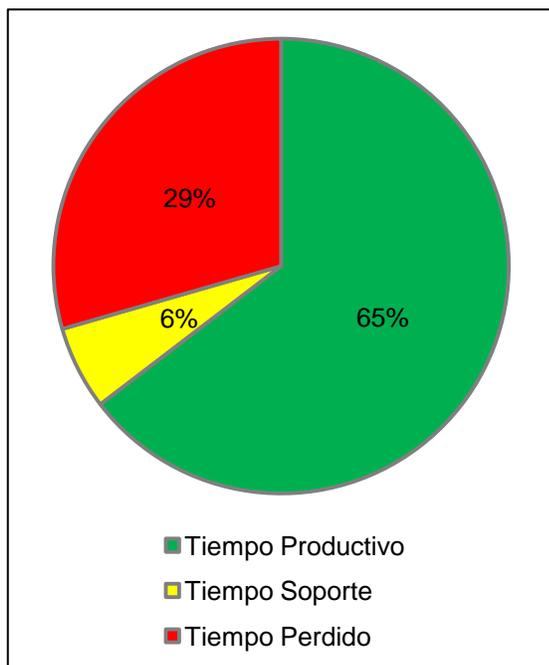
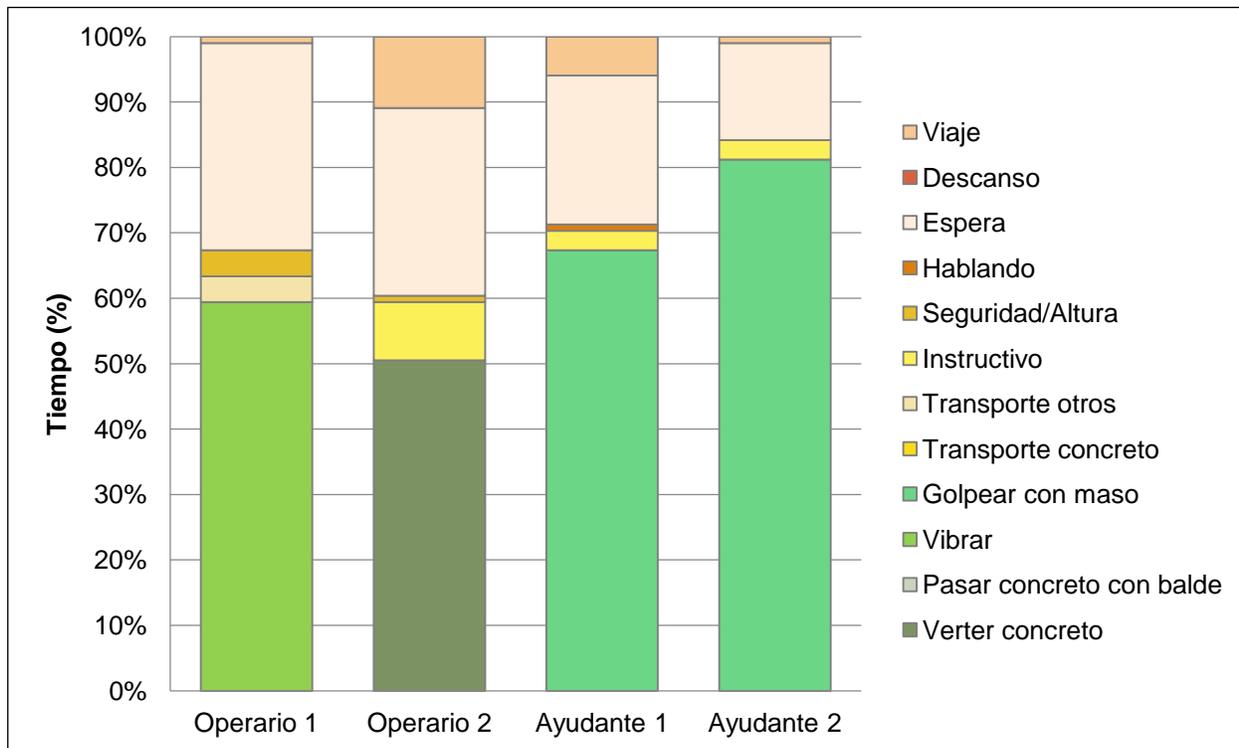


Figura 110. Productividad de colado de columnas, Muestra #3.

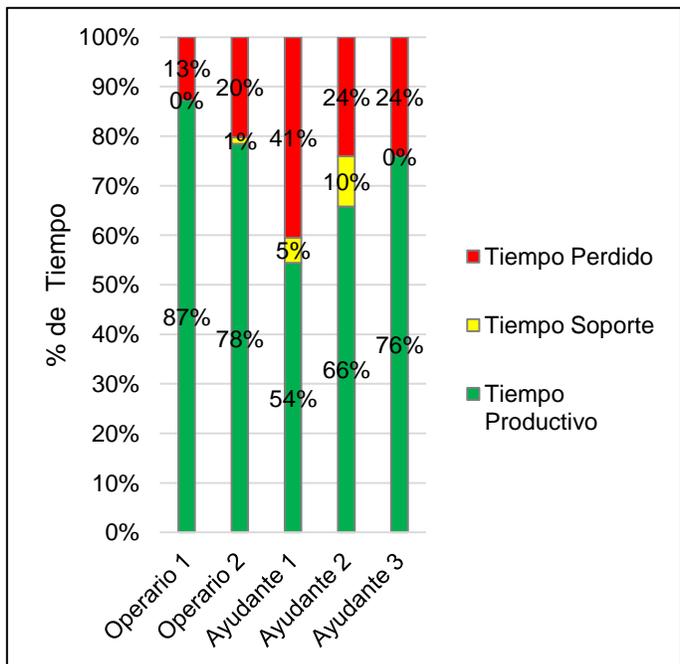
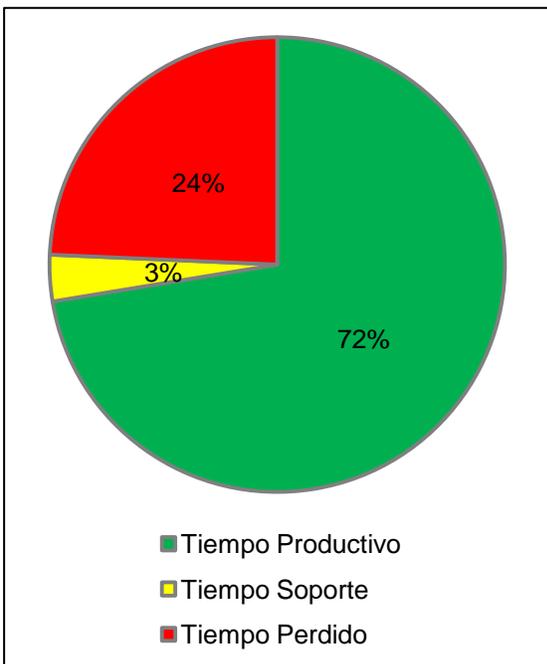
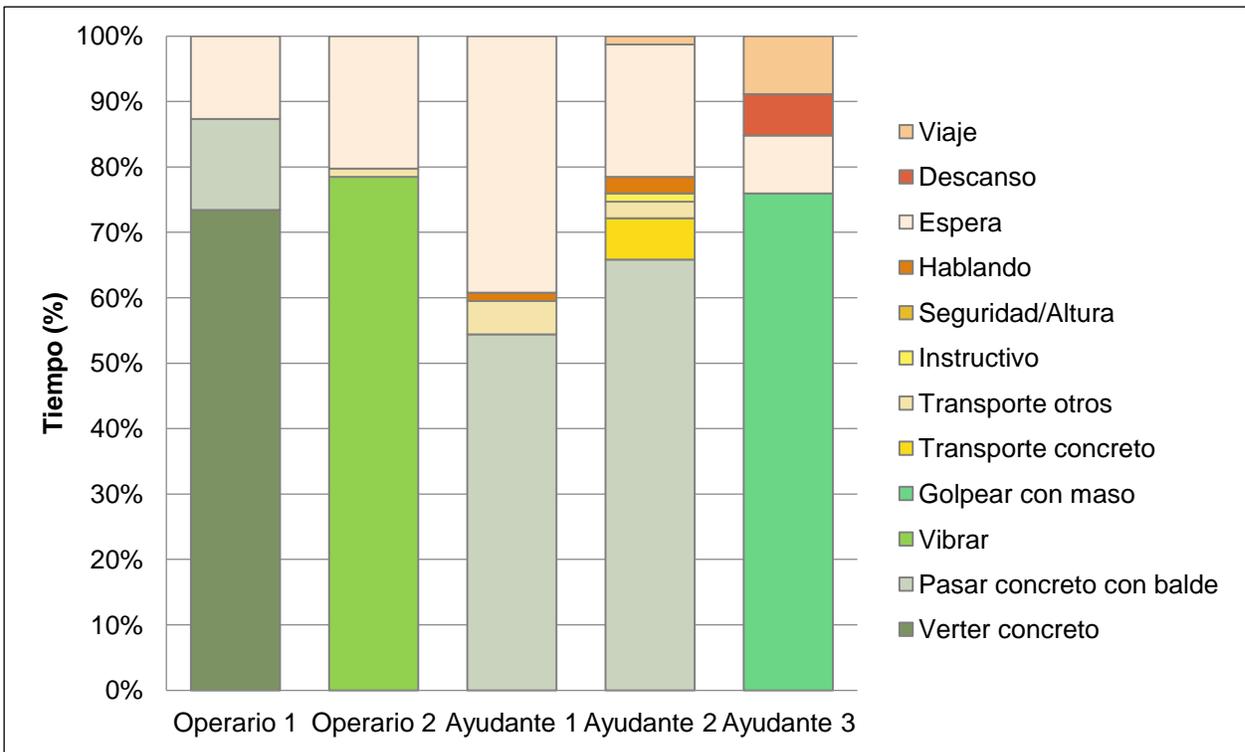


Figura 111. Productividad de colado de columnas, Muestra #4.

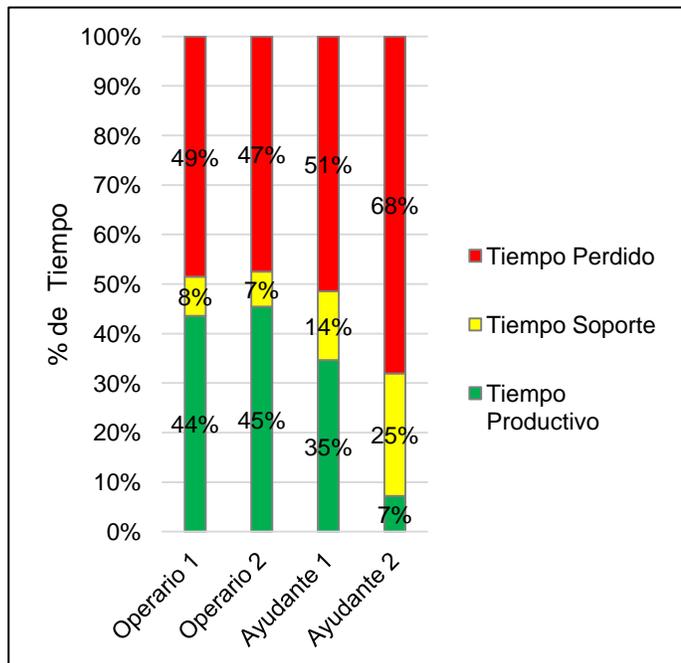
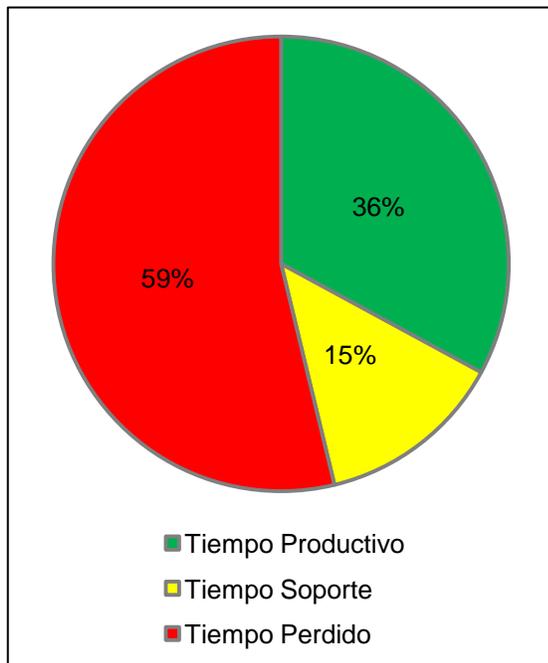
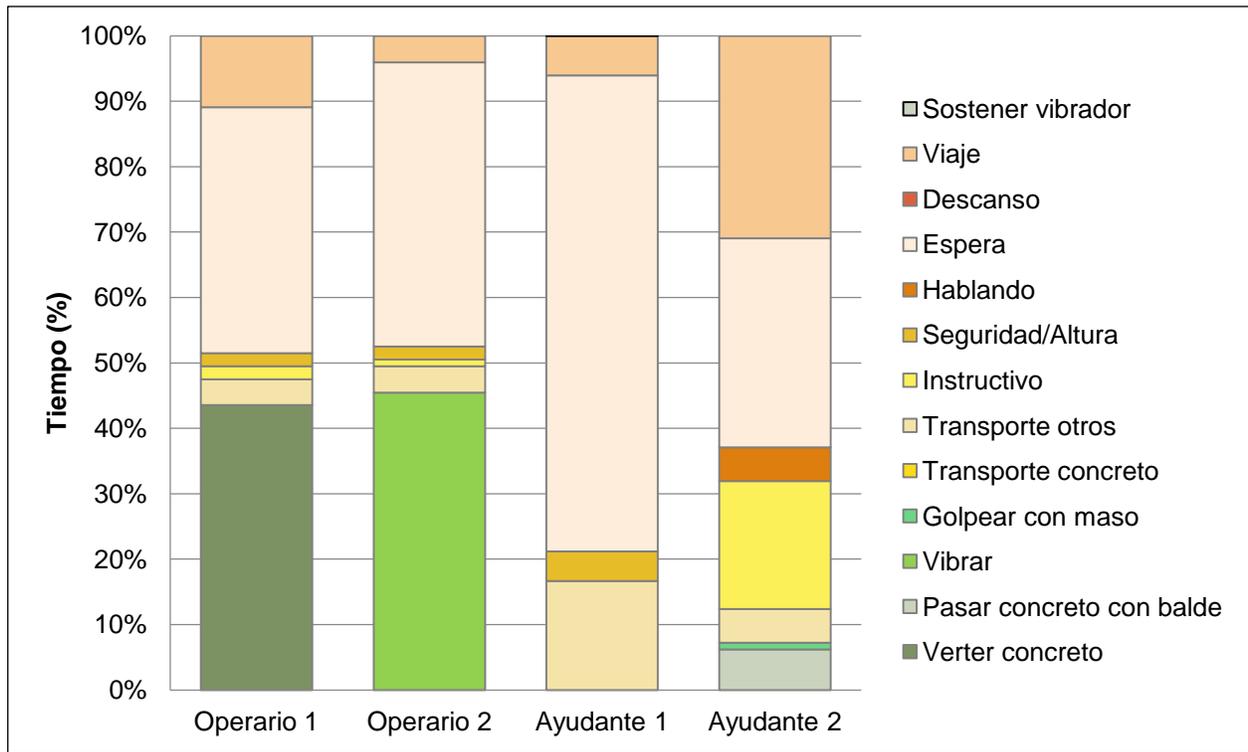


Figura 112. Productividad de colado de columnas, Muestra #5.

Apéndice E. Resultados de productividad de Desencofrado de columnas.

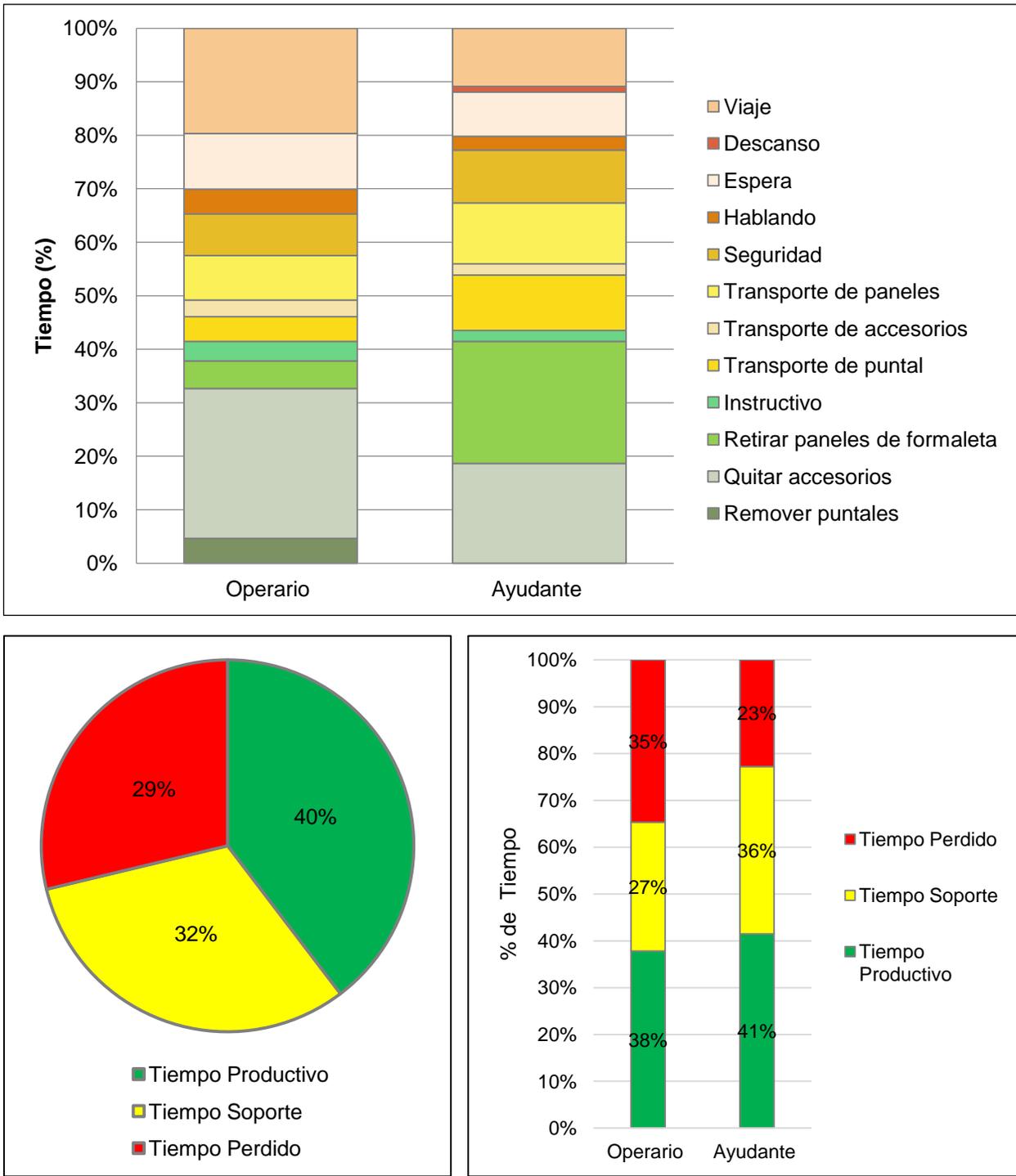


Figura 113. Productividad de desencofrado de columnas, Muestra #1.

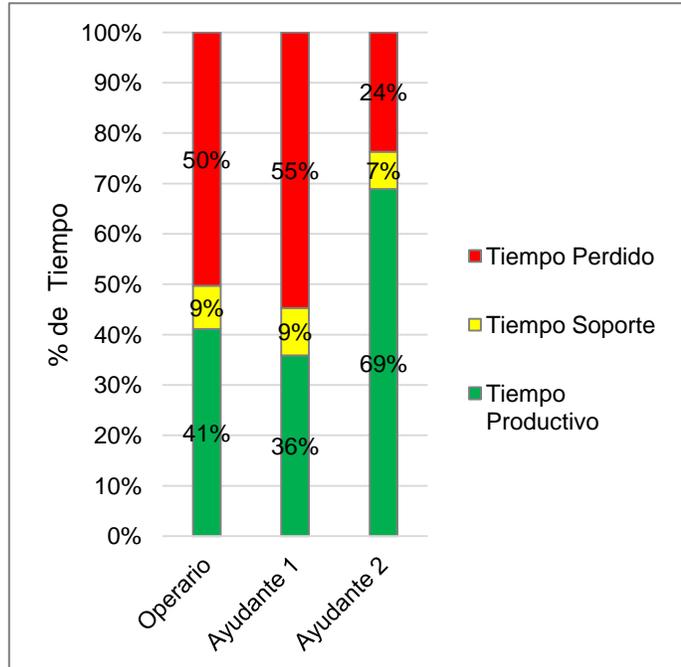
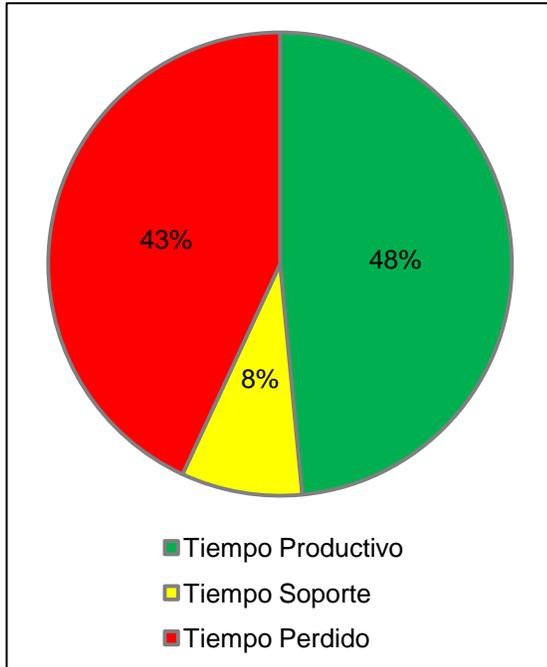
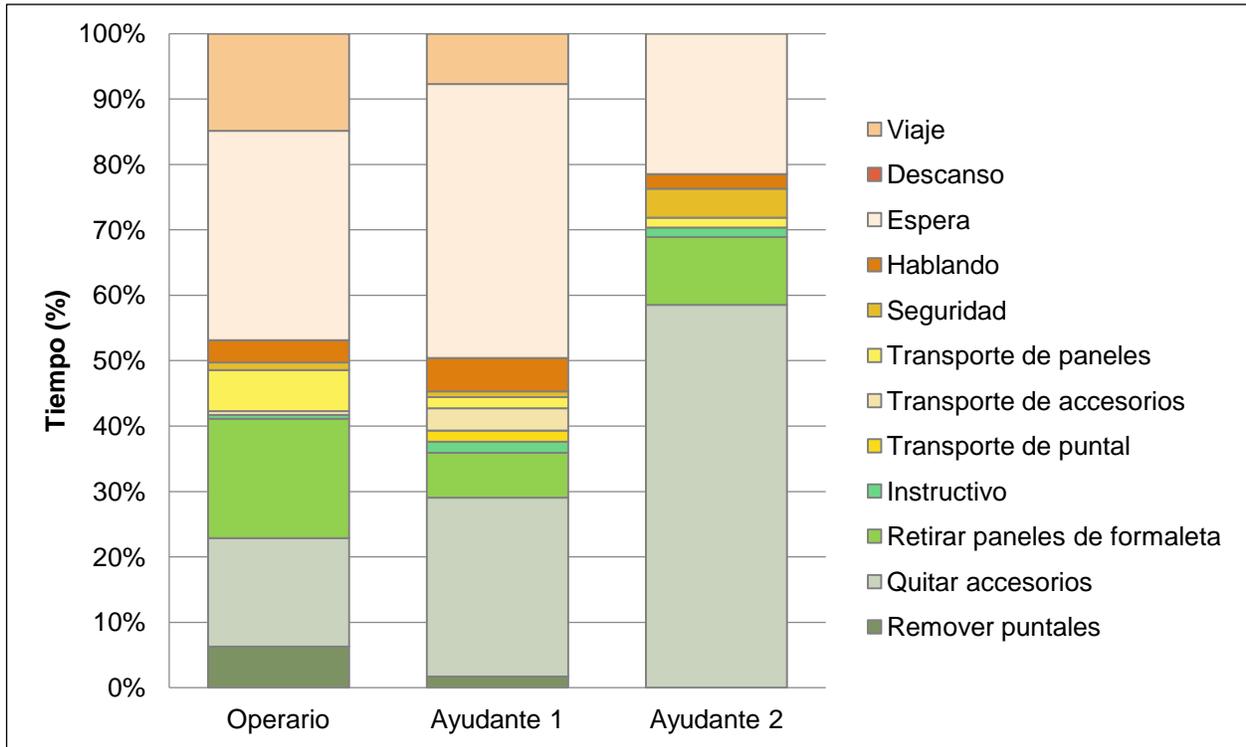


Figura 114. Productividad de desencofrado de columnas, Muestra #2.

CUADRO 57. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE DESENCOFRADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 2

# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Desenfofrado Columna	-	-
2	Transporte de panel, puntal, accesorio	80	50
3	Acopio de panel, puntal y accesorios	-	-

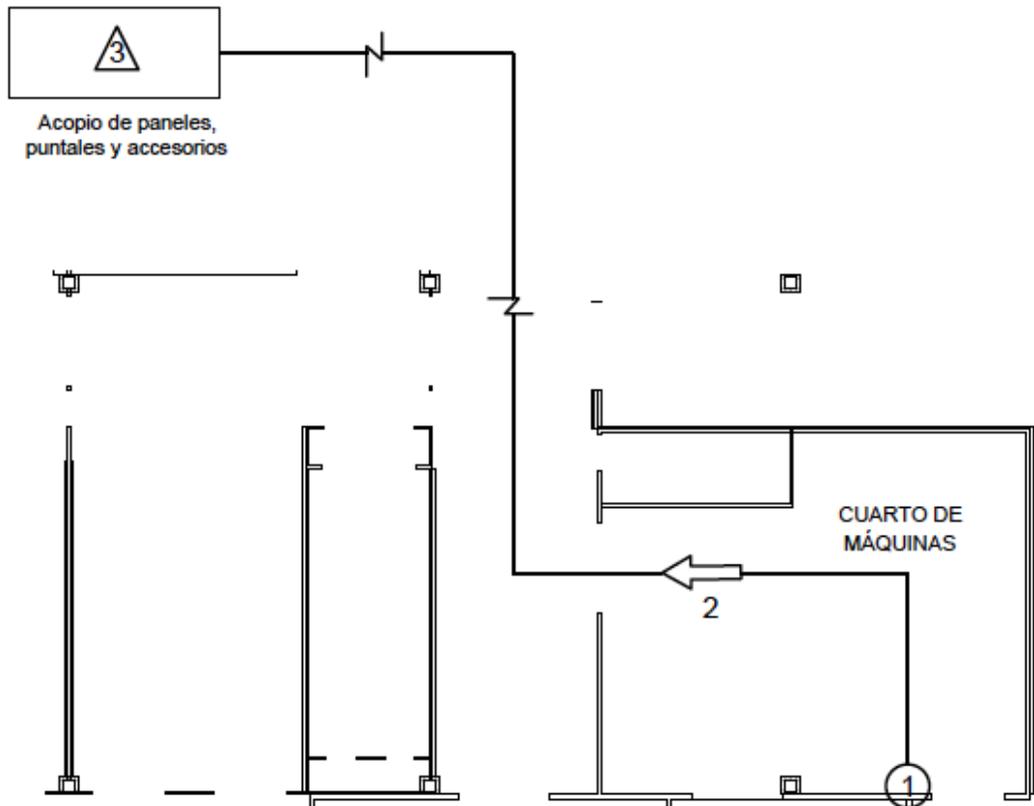


Figura 115. Desenfofrado de columnas, Muestra #2.

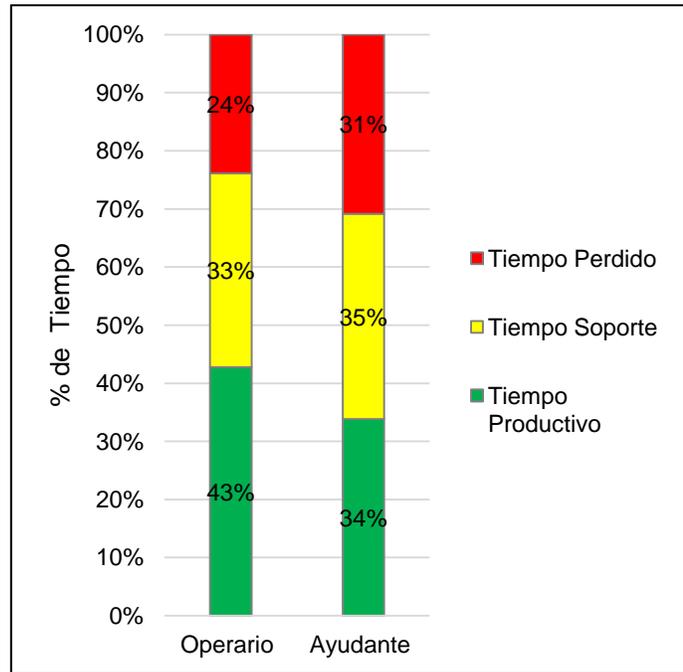
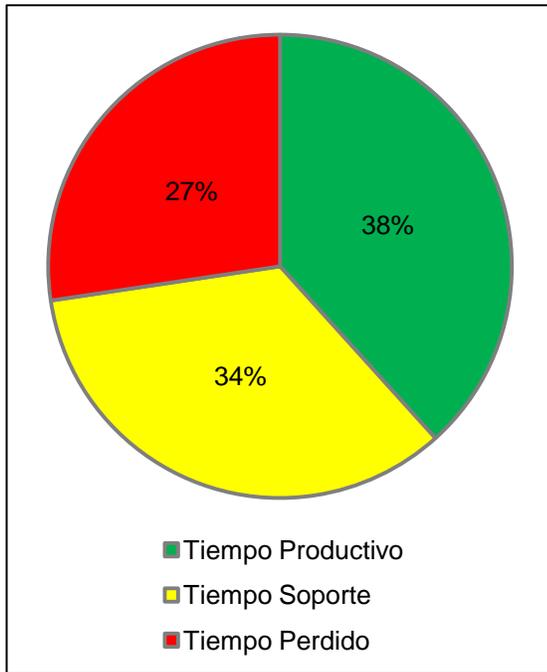
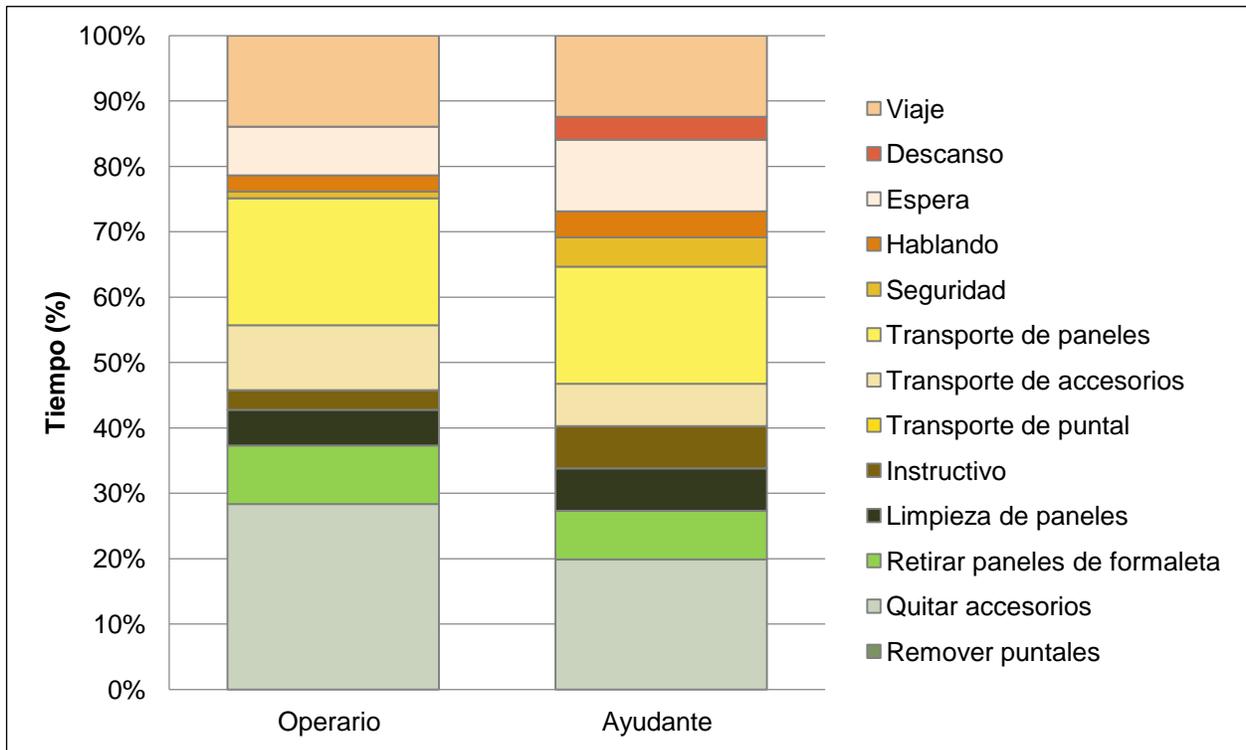


Figura 116. Productividad de desencofrado de columnas, Muestra #3.

CUADRO 58. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE DESENCOFRADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 3			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Desencofrado Columna	–	–
2	Transporte de panel, puntal, accesorio	67	60
3	Acopio de panel, puntal y accesorios	–	–

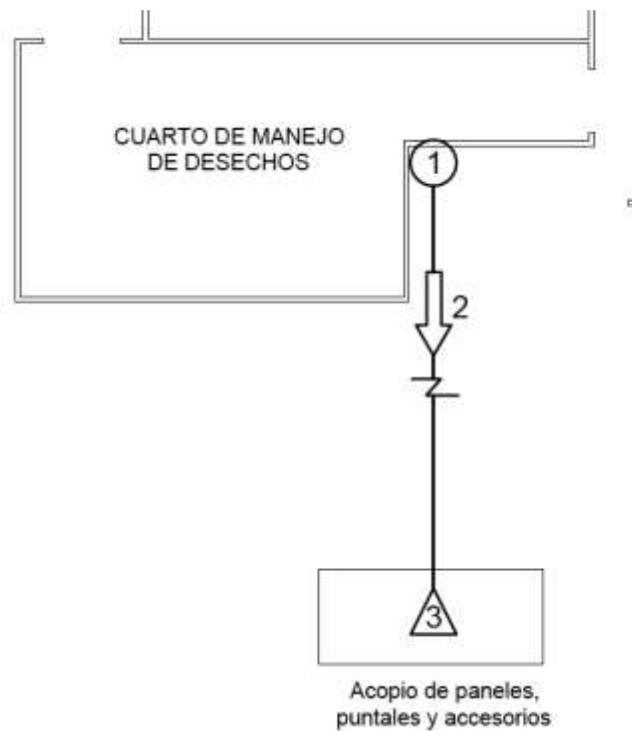


Figura 117. Desencofrado de columnas, Muestra #3.

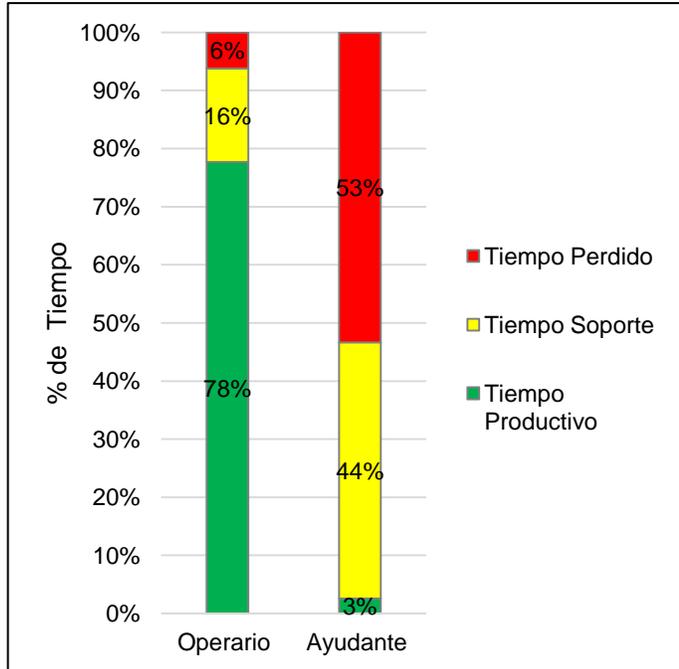
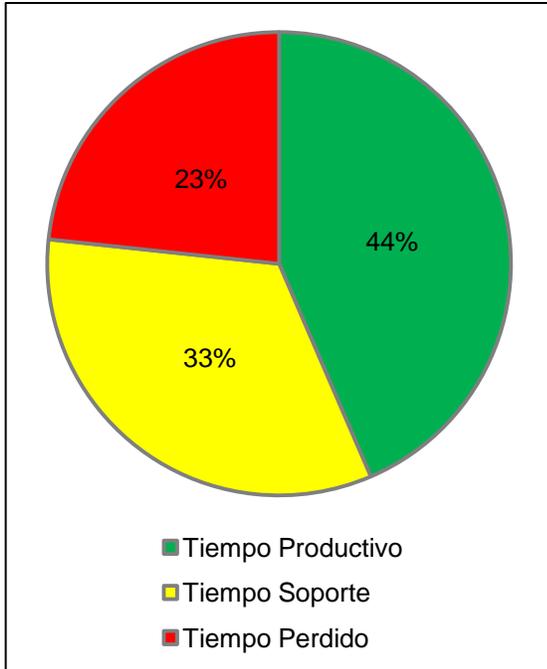
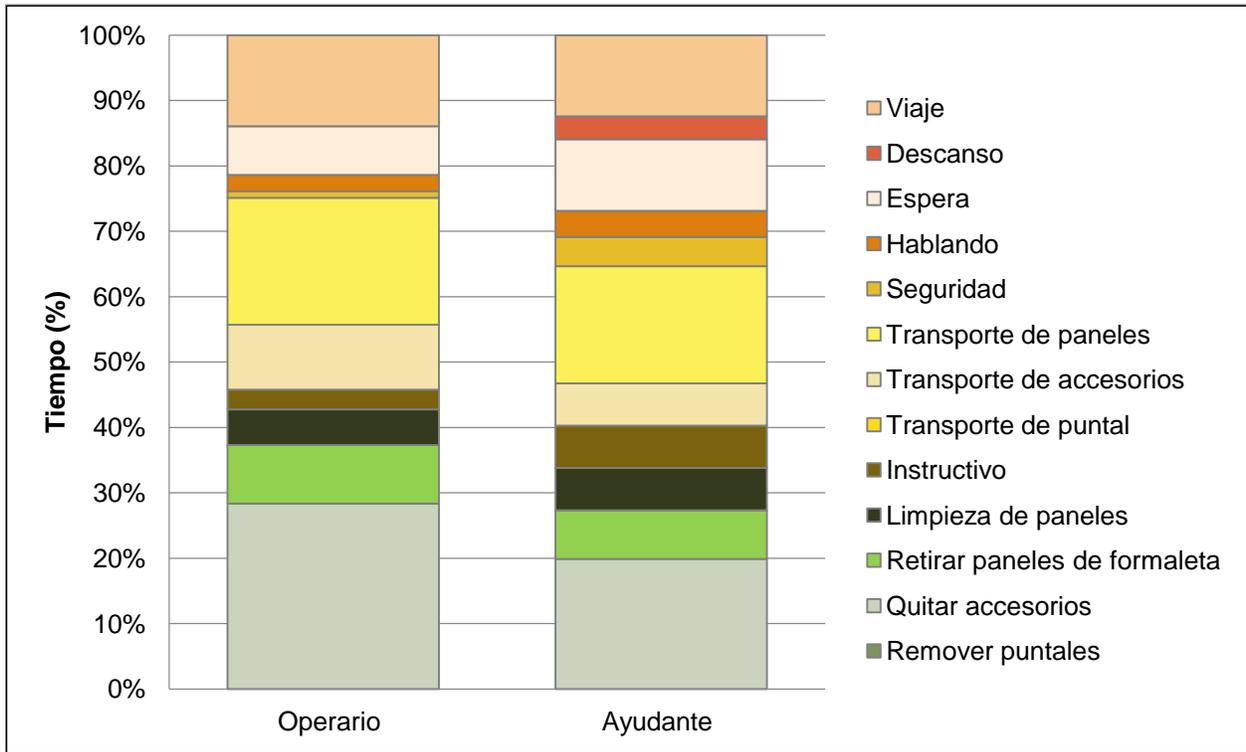


Figura 118. Productividad de desencofrado de columnas, Muestra #4.

CUADRO 59. NUMERACIÓN DE DIAGRAMA DE RECORRIDO DE DESENCOFRADO DE COLUMNAS EN MUESTRA 4			
# de Actividad	Actividad	Distancia (m)	Tiempo promedio (s)
1	Desenfofrado Columna	–	–
2	Transporte de panel, puntal, accesorio	52	40
3	Acopio de panel, puntal y accesorios	–	–

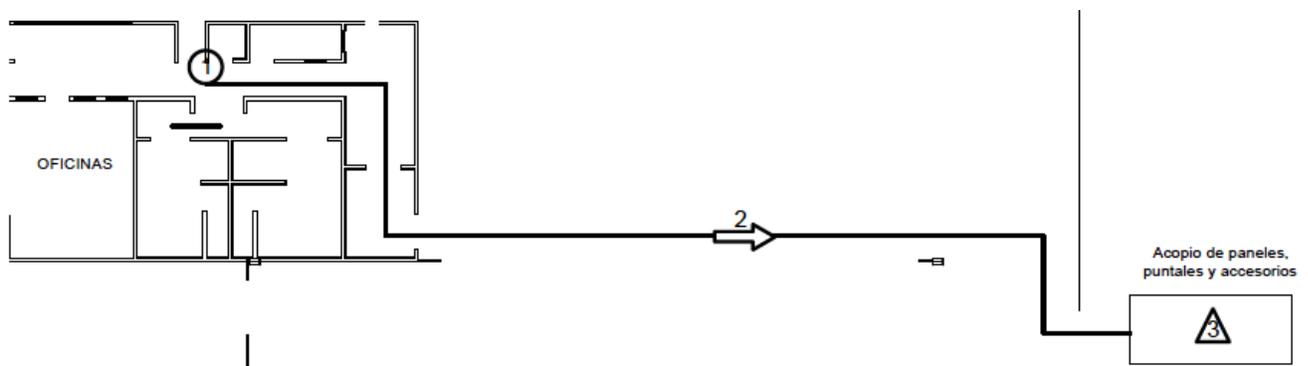


Figura 119. Desenfofrado de columnas, Muestra #4.

Apéndice F. Resultados de productividad de Encofrado de losa con sistema Forsa.

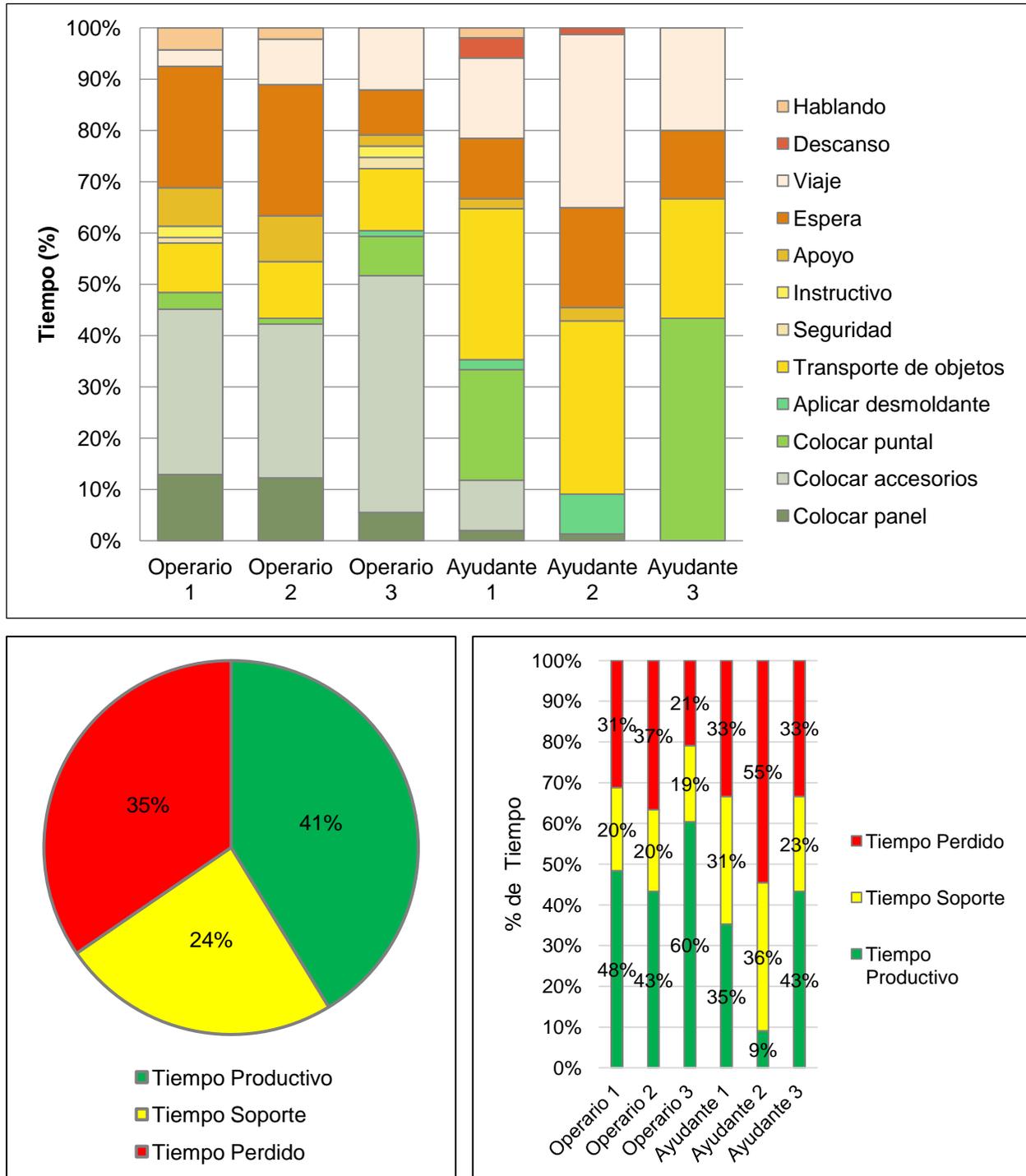


Figura 120. Productividad de encofrado de losa con sistema Forsa, Muestra #1.

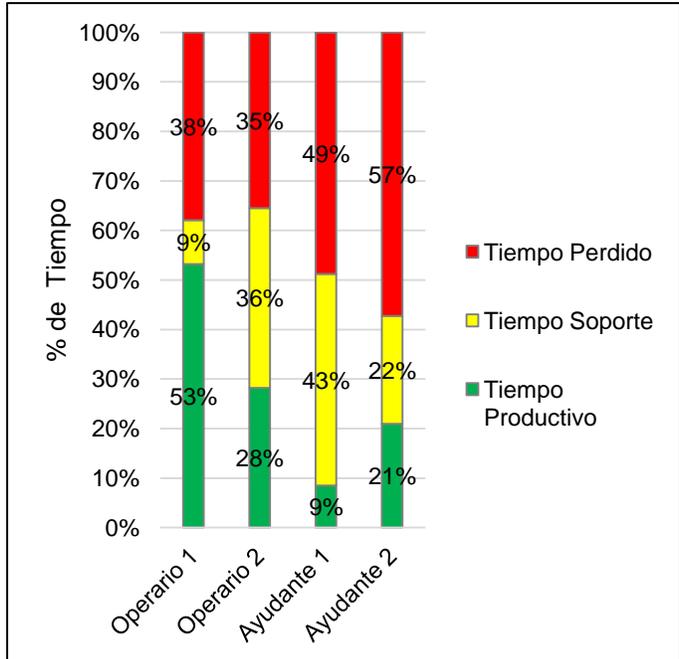
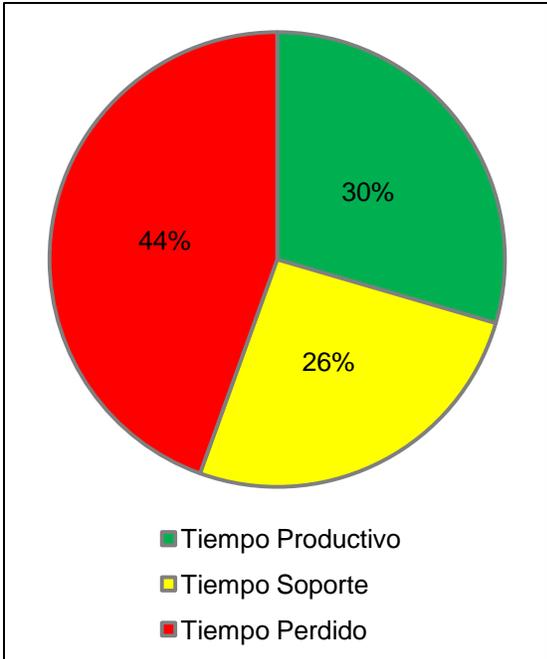
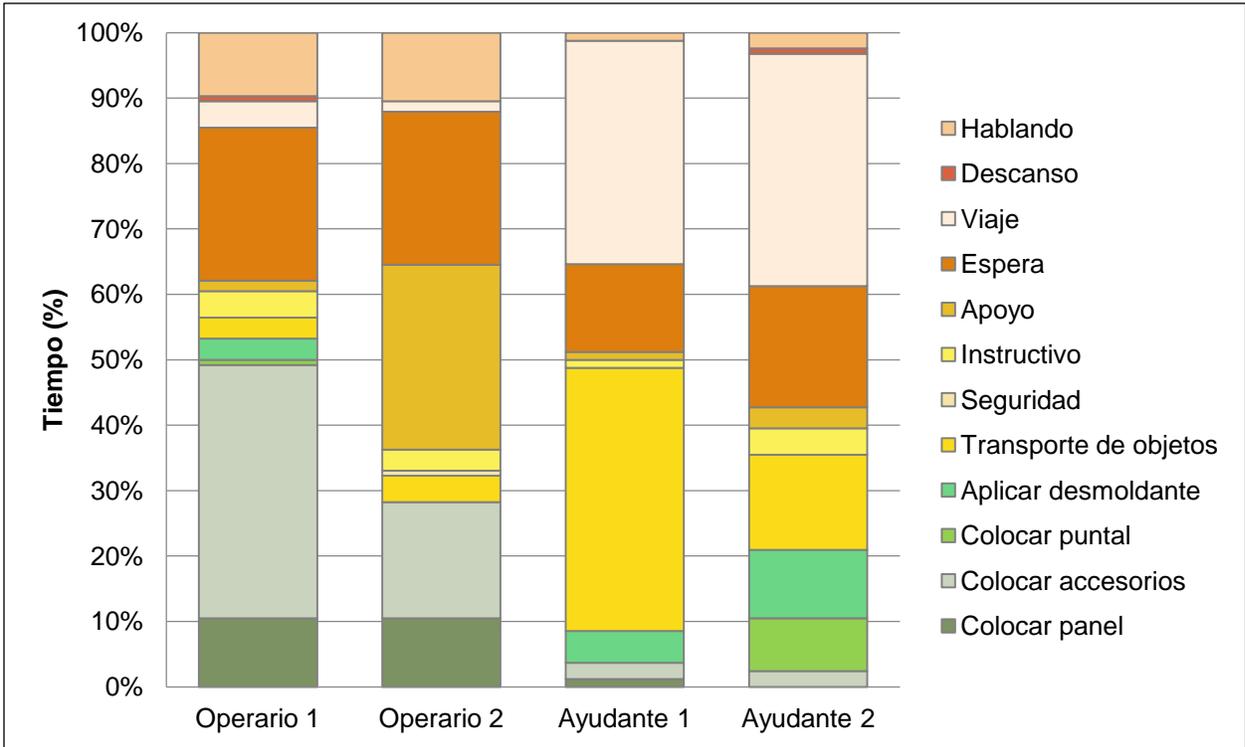


Figura 121. Productividad de encofrado de losa con sistema Forsa, Muestra #2.

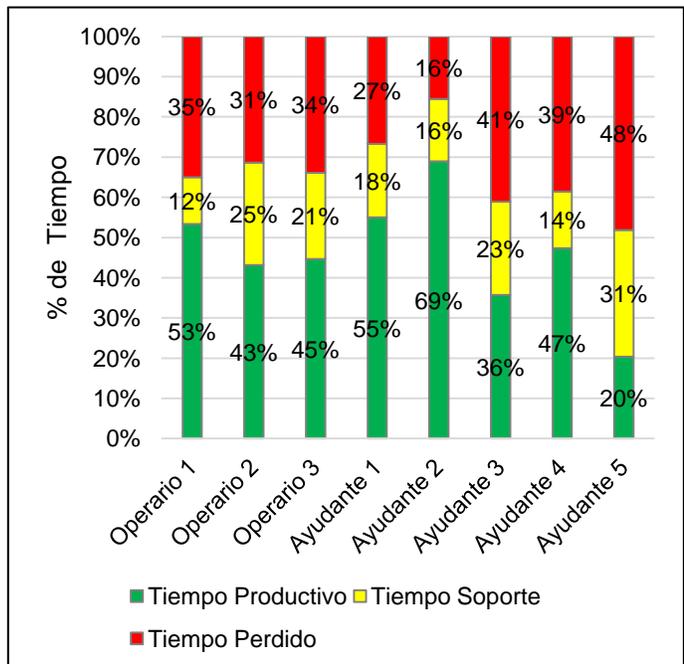
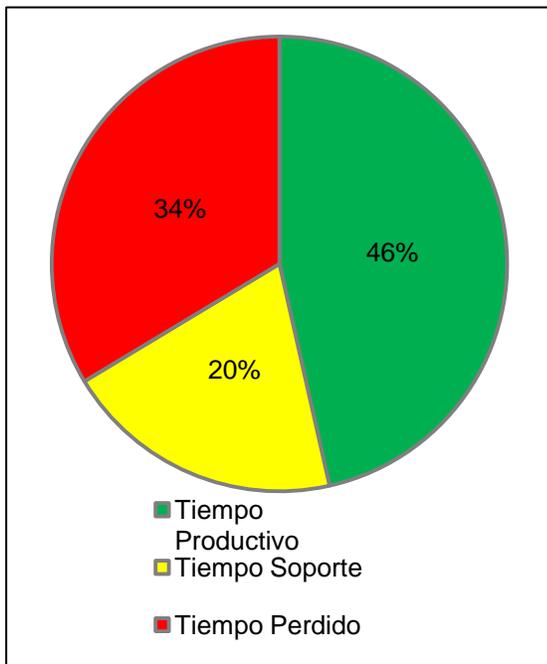
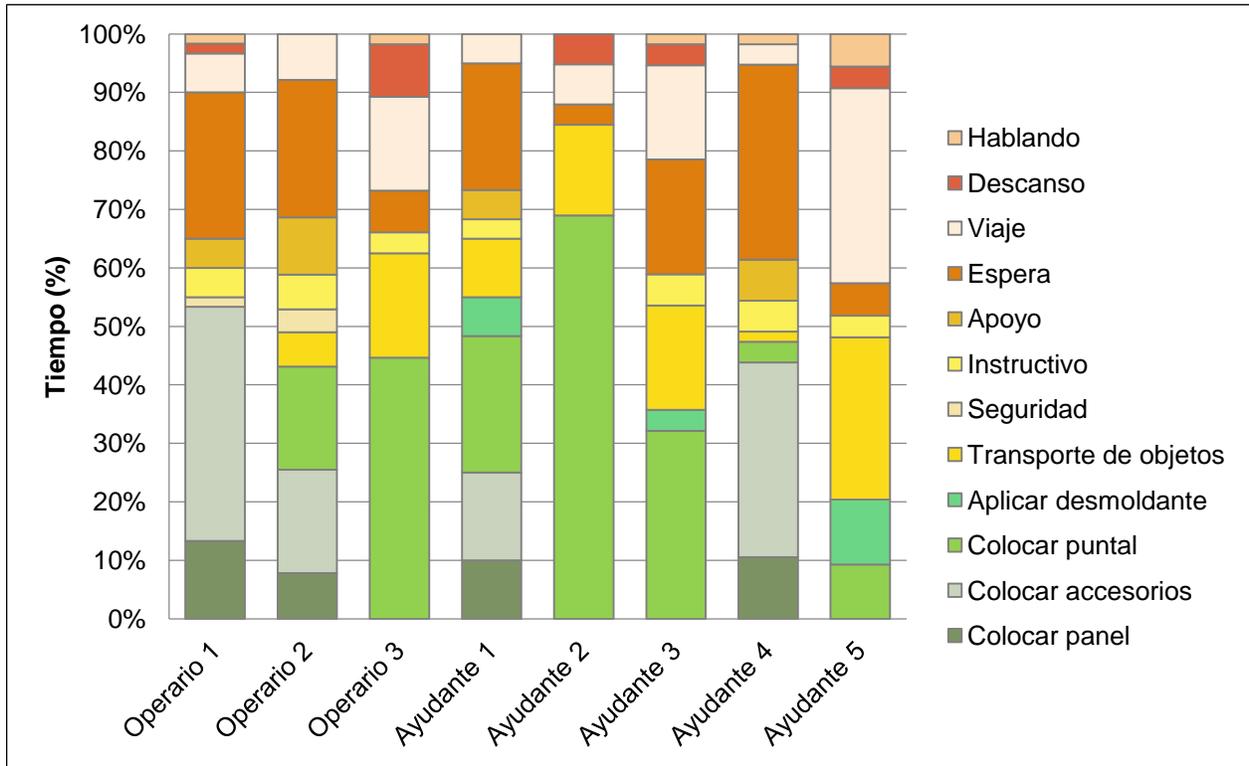


Figura 122. Productividad pega de bloques, Muestra #3.

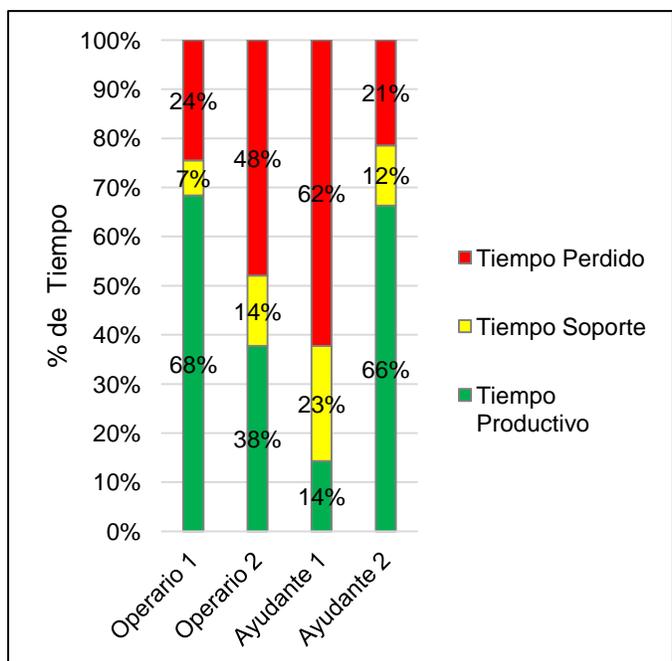
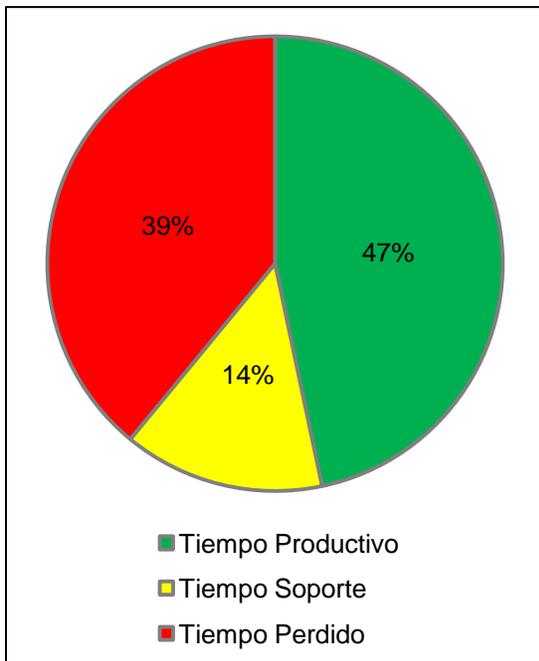
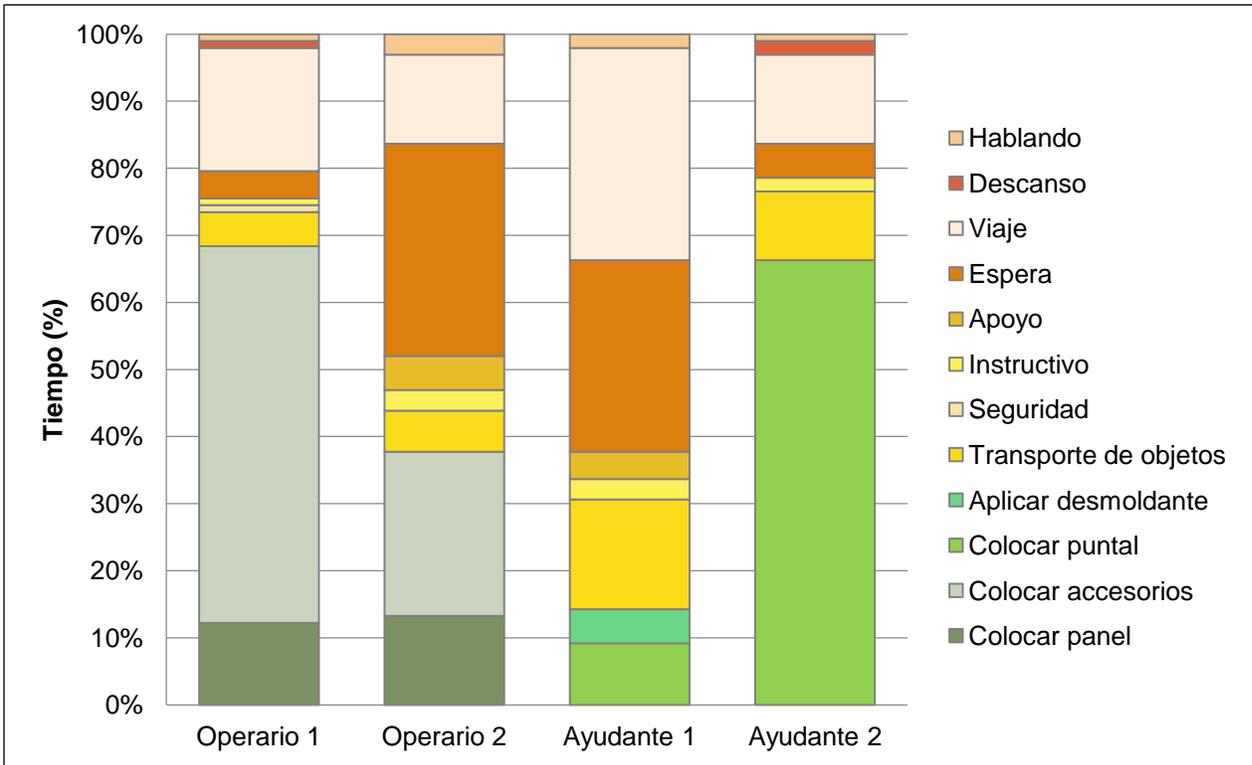


Figura 123. Productividad pega de bloques, Muestra #4.

Apéndice G. Resultados de productividad de Desencofrado de losa con sistema Forsa.

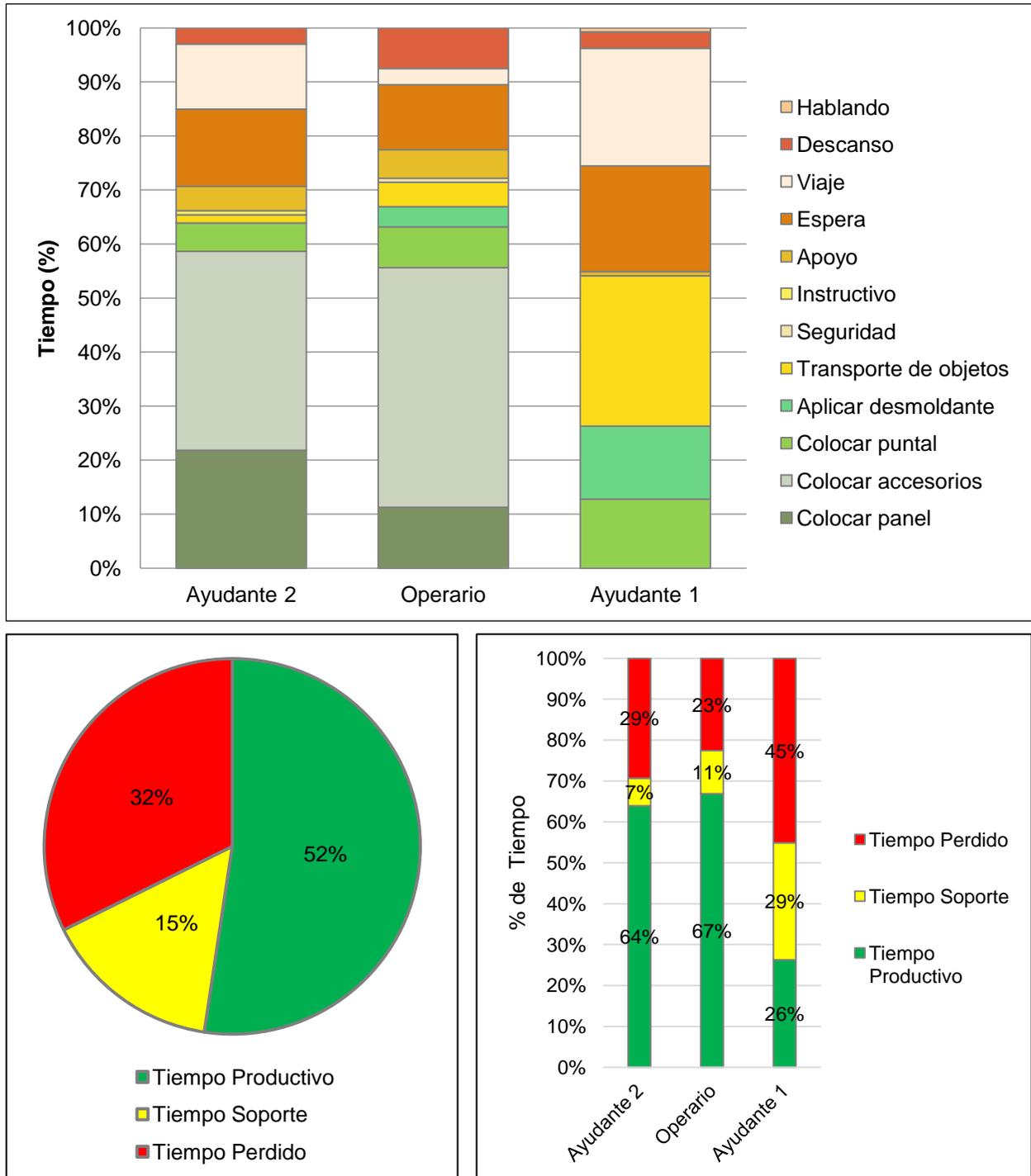


Figura 124. Productividad de desencofrado de losa con sistema Forsa, Muestra #1.

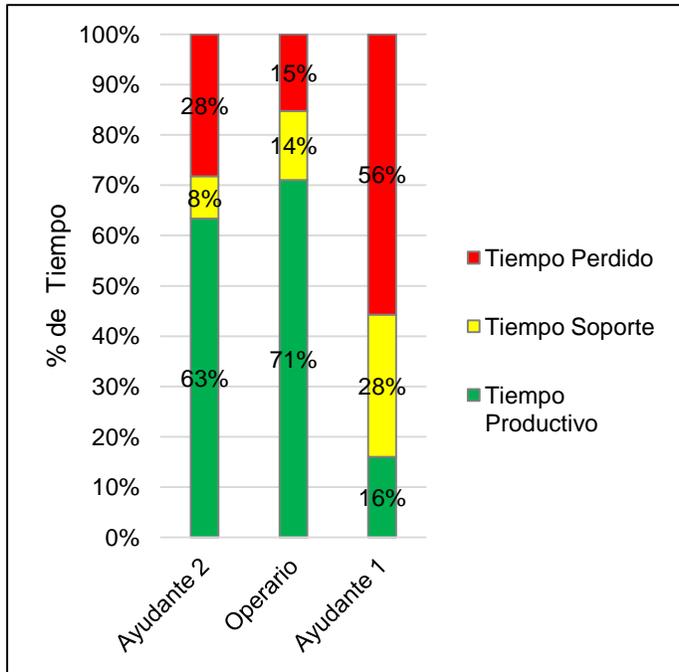
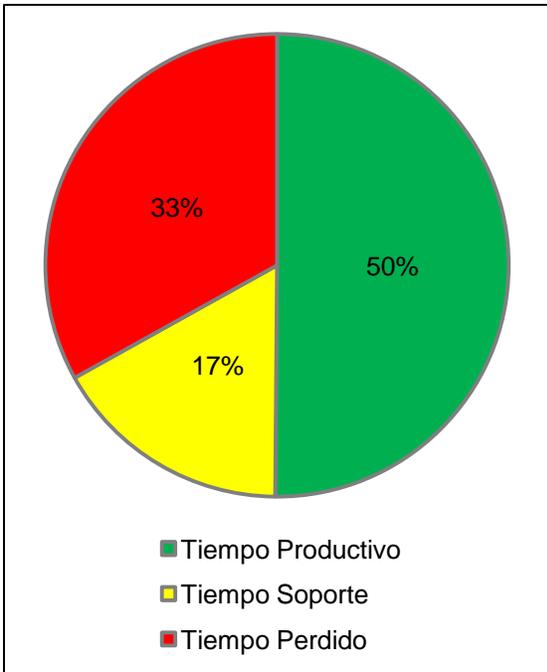
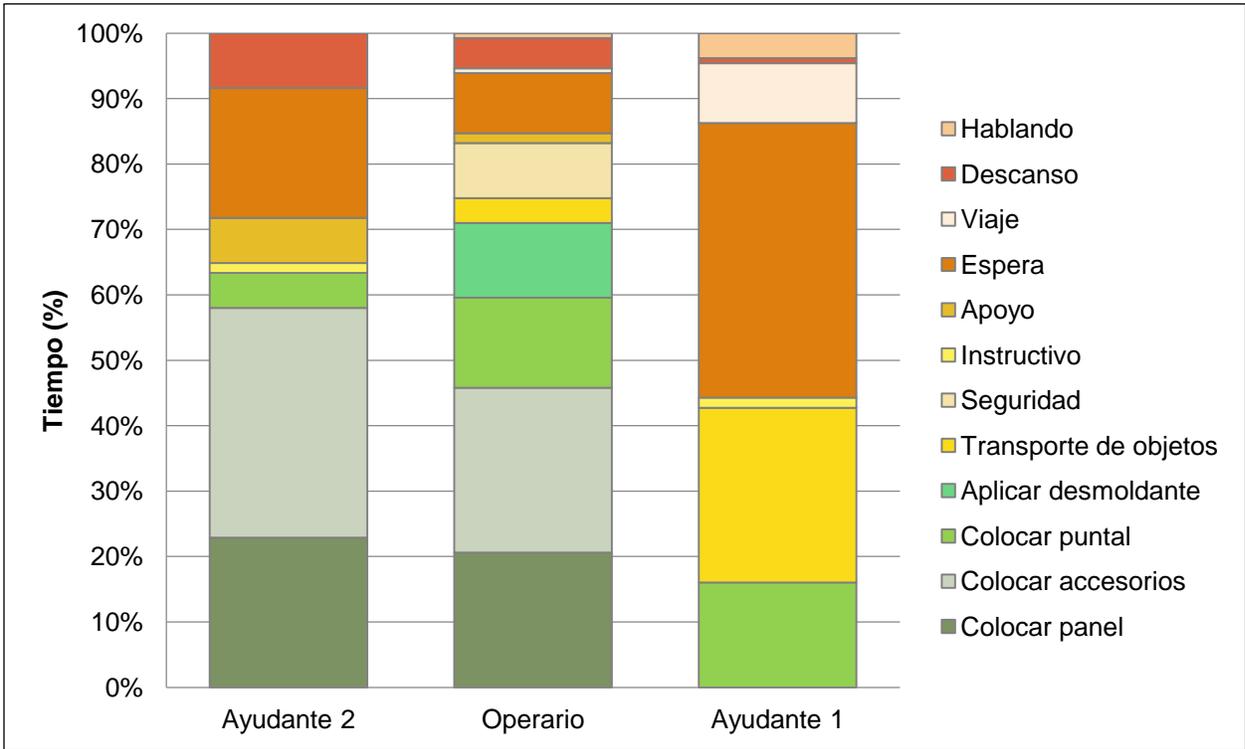


Figura 125. Productividad de desencofrado de losa con sistema Forsa, Muestra #2.

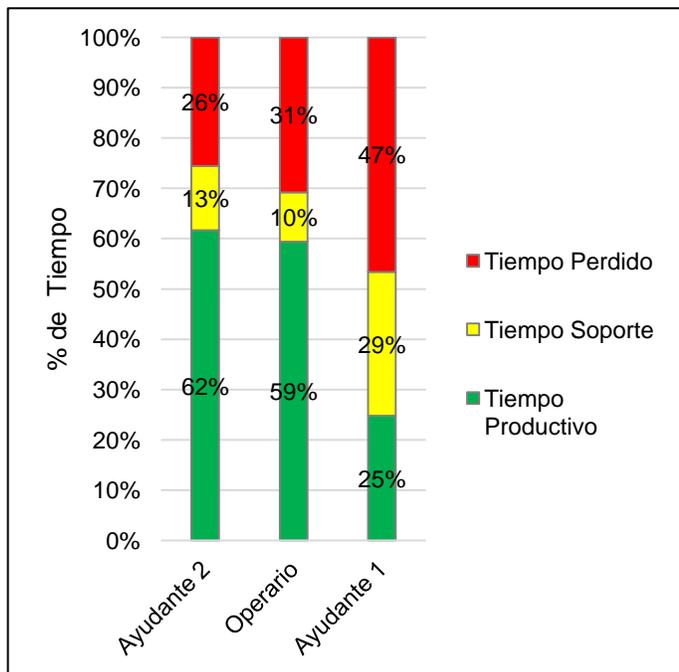
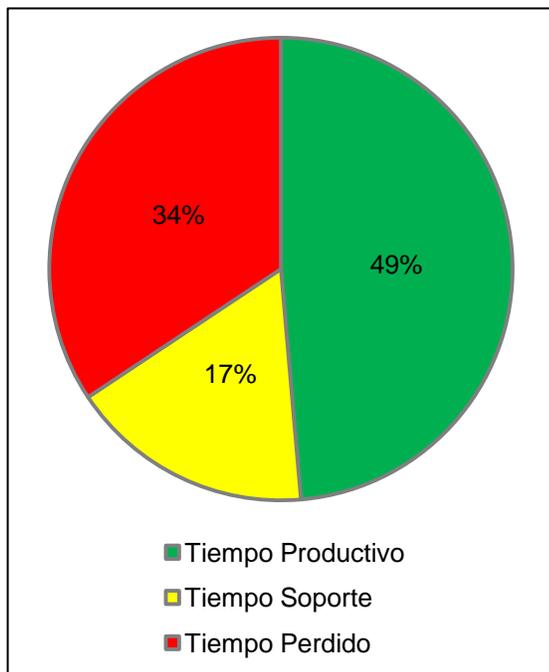
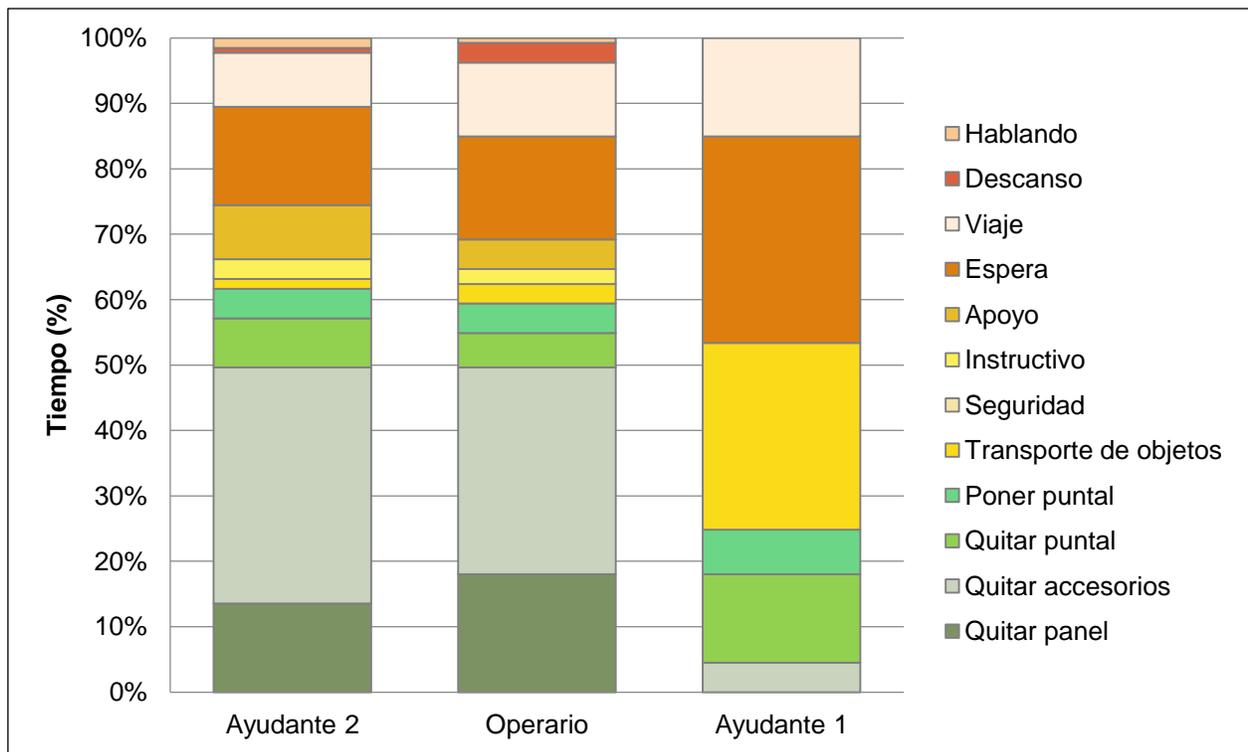


Figura 126. Productividad de desencofrado de losa con sistema Forsa, Muestra #3.

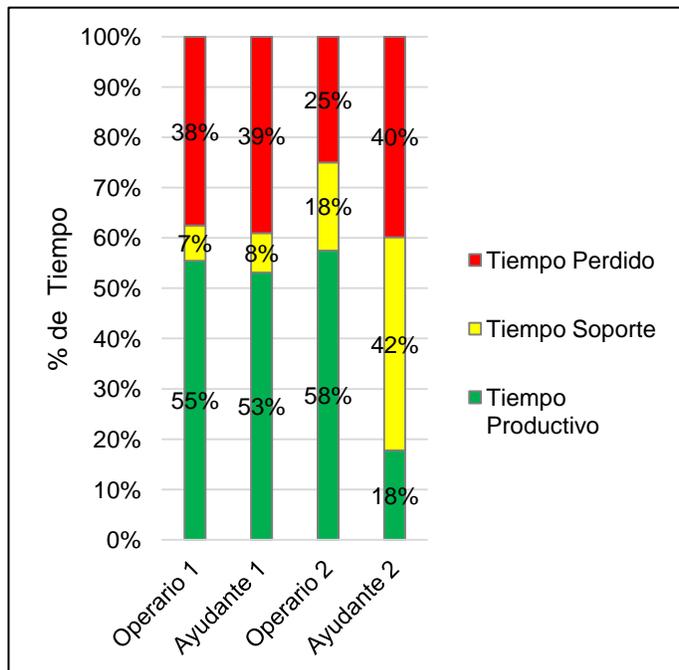
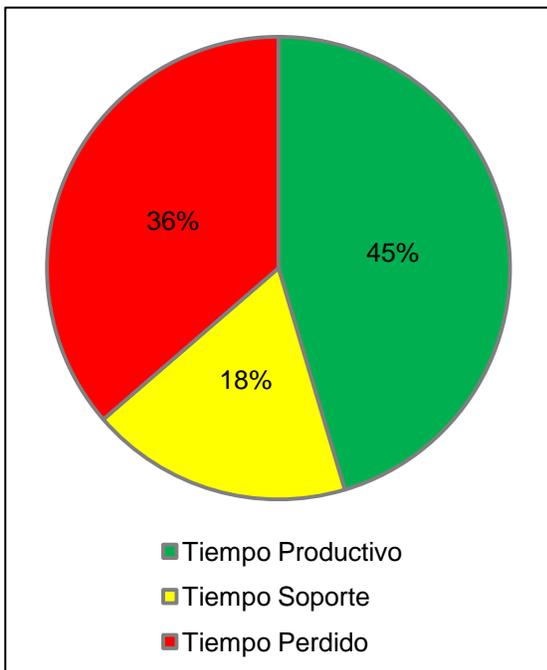
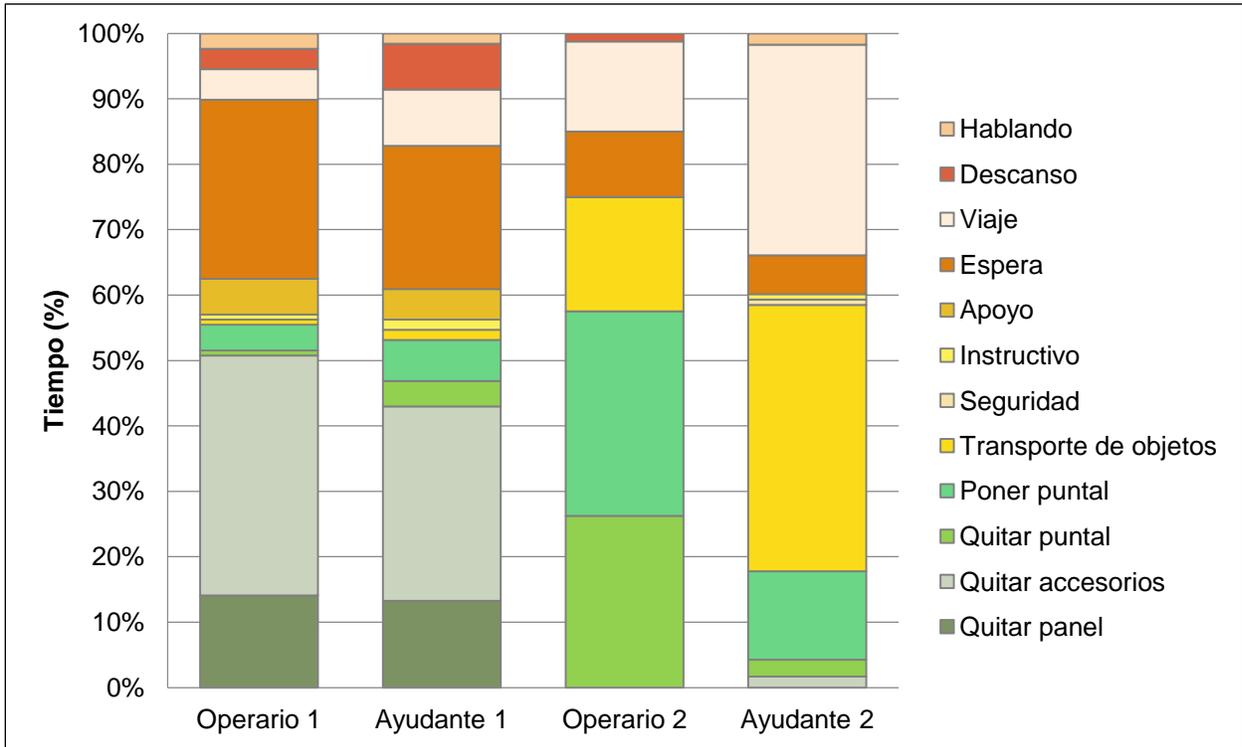


Figura 127. Productividad de desencofrado de losa con sistema Forsa, Muestra #4.

Apéndice H. Resultados de productividad de Encofrado de losa con sistema Convencional.

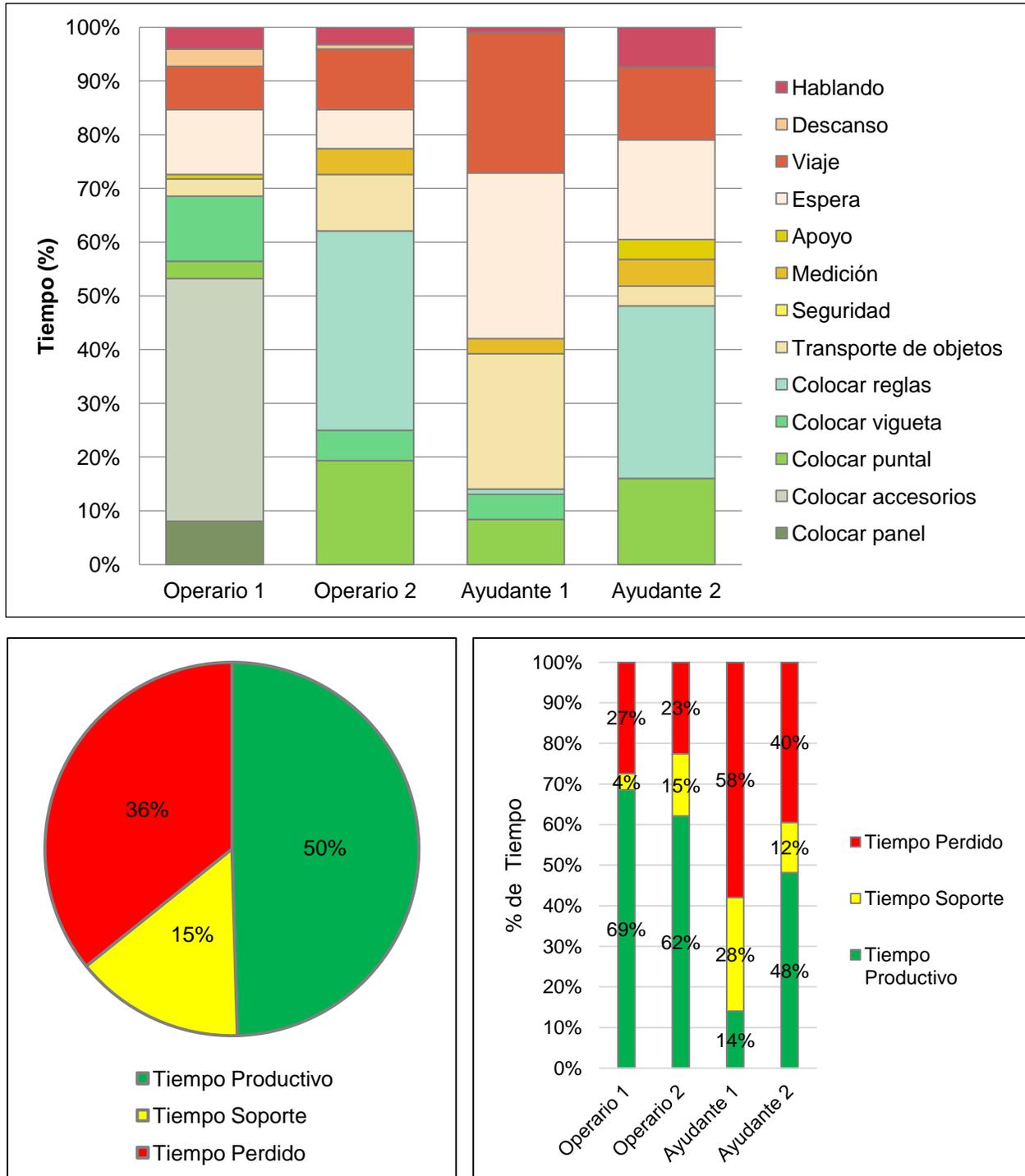


Figura 128. Productividad de encofrado de losa con sistema Convencional, Muestra #1.

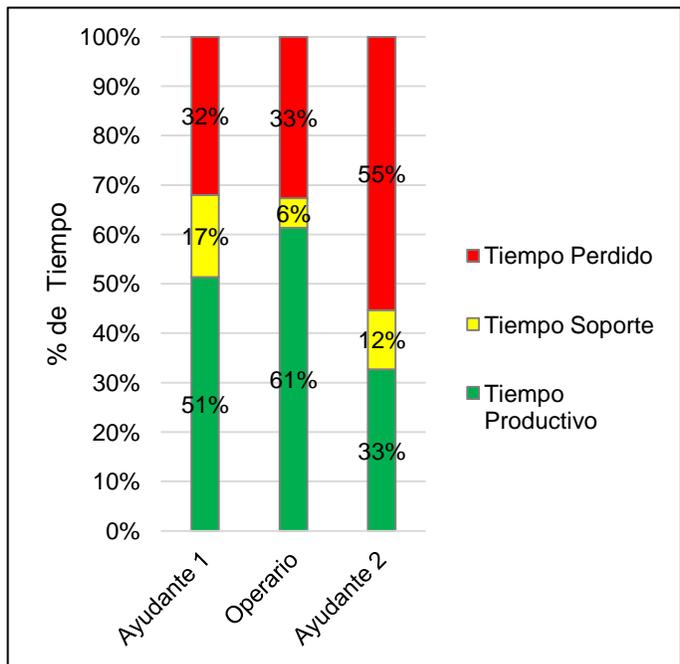
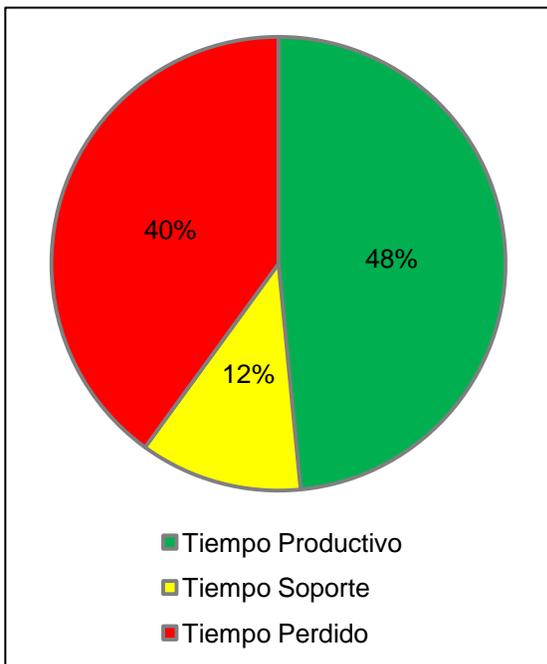
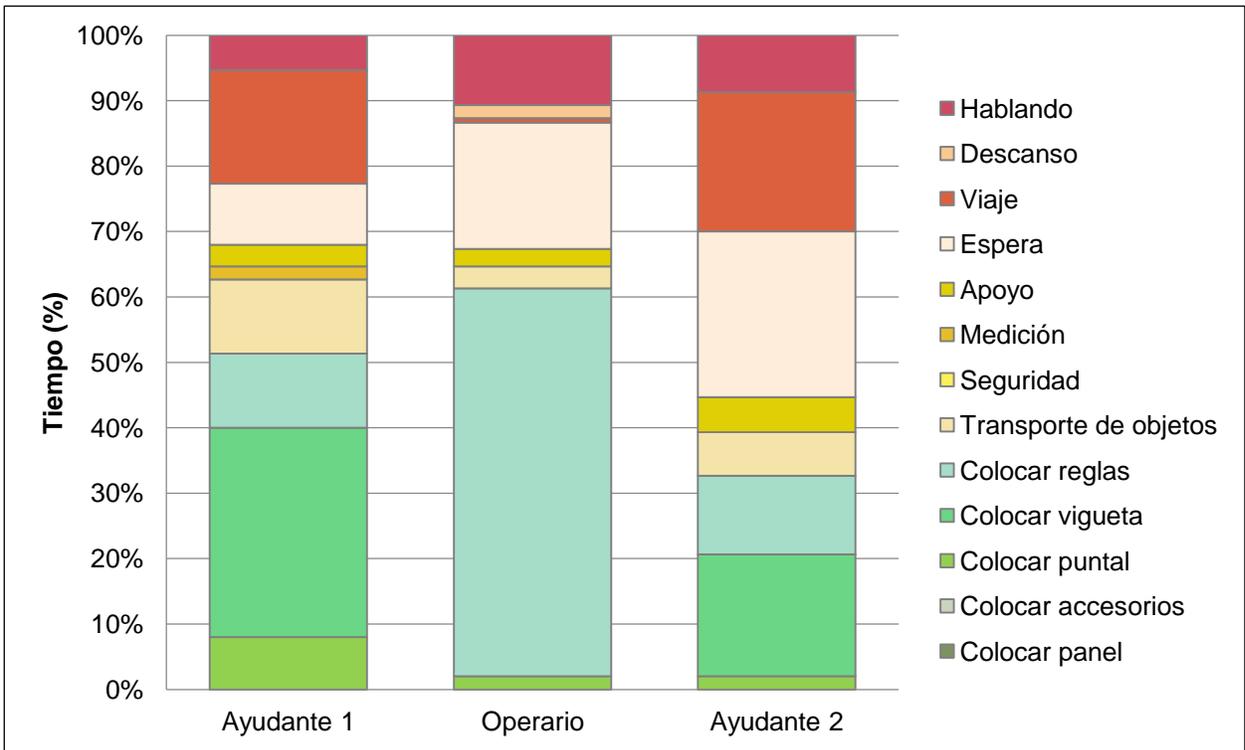


Figura 129. Productividad de encofrado de losa con sistema Convencional, Muestra #2.

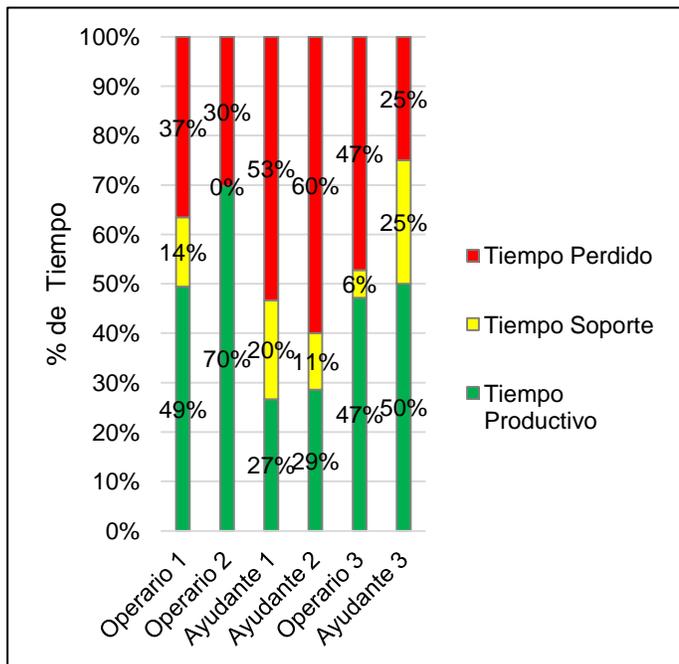
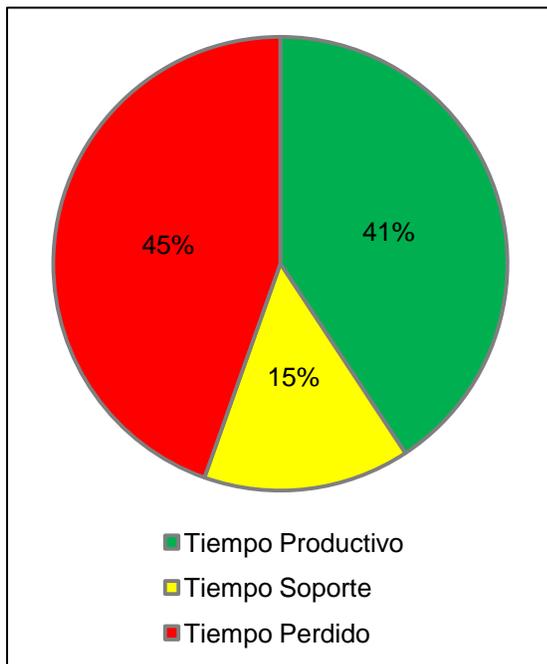
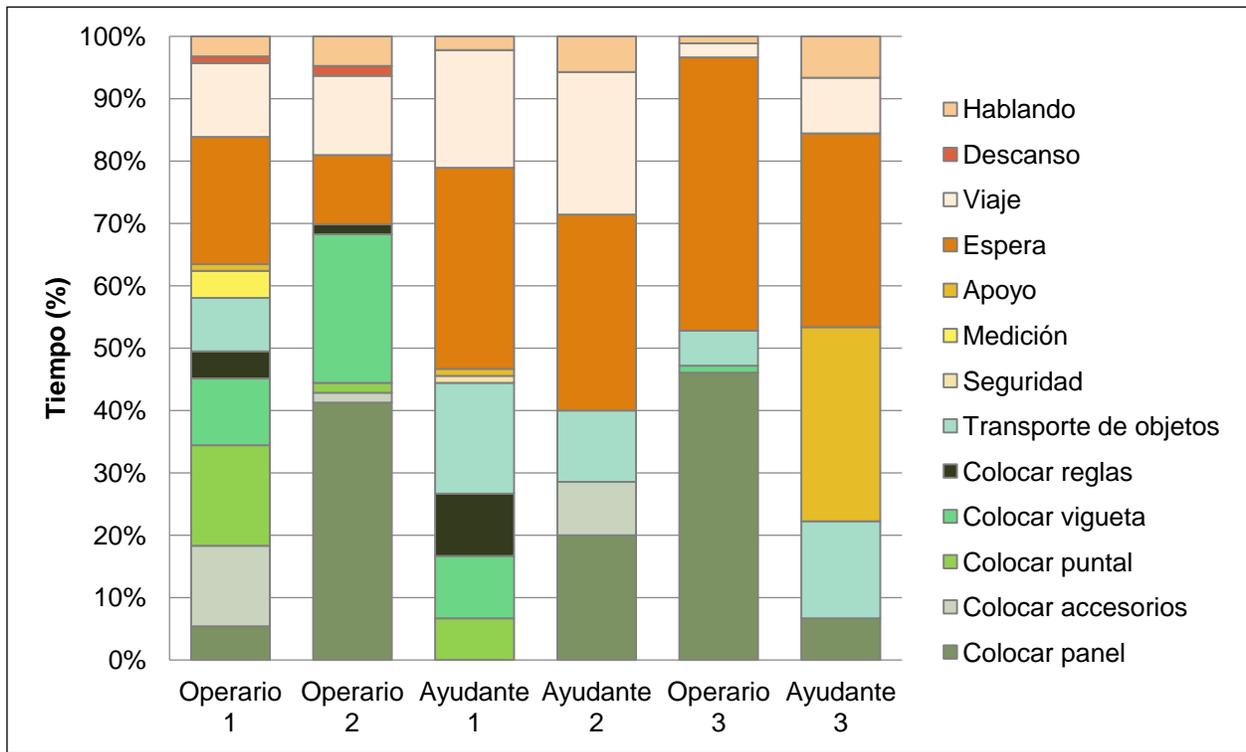


Figura 130. Productividad de encofrado de losa con sistema Convencional, Muestra #3.

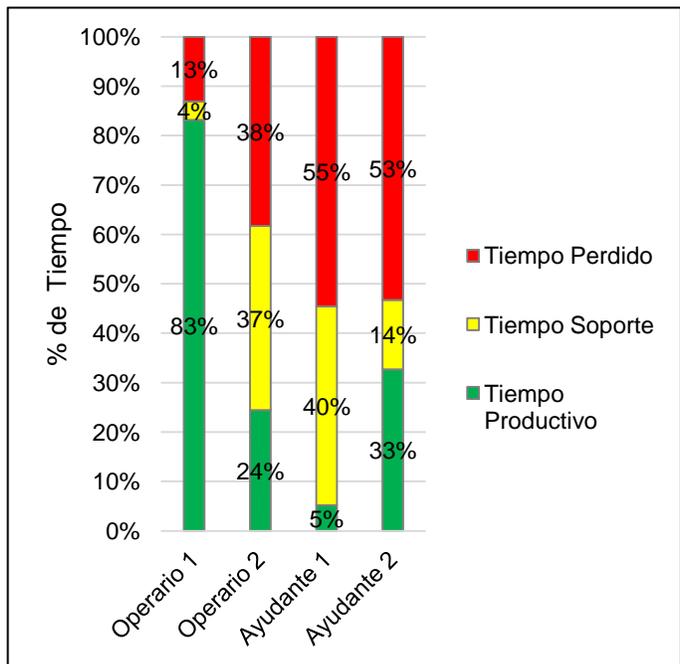
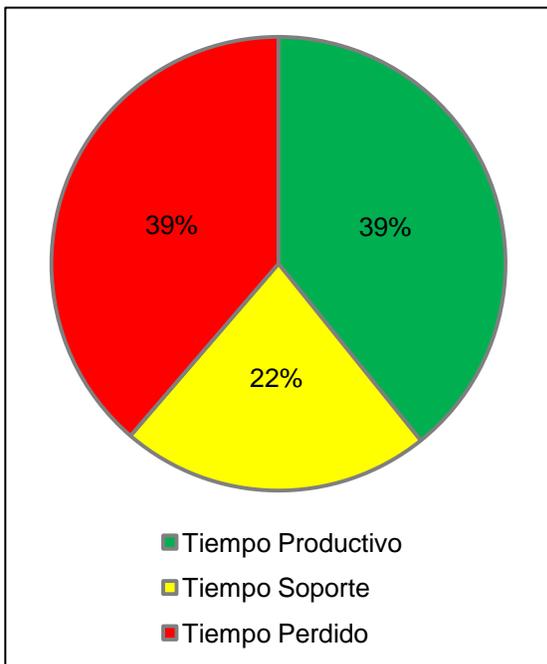
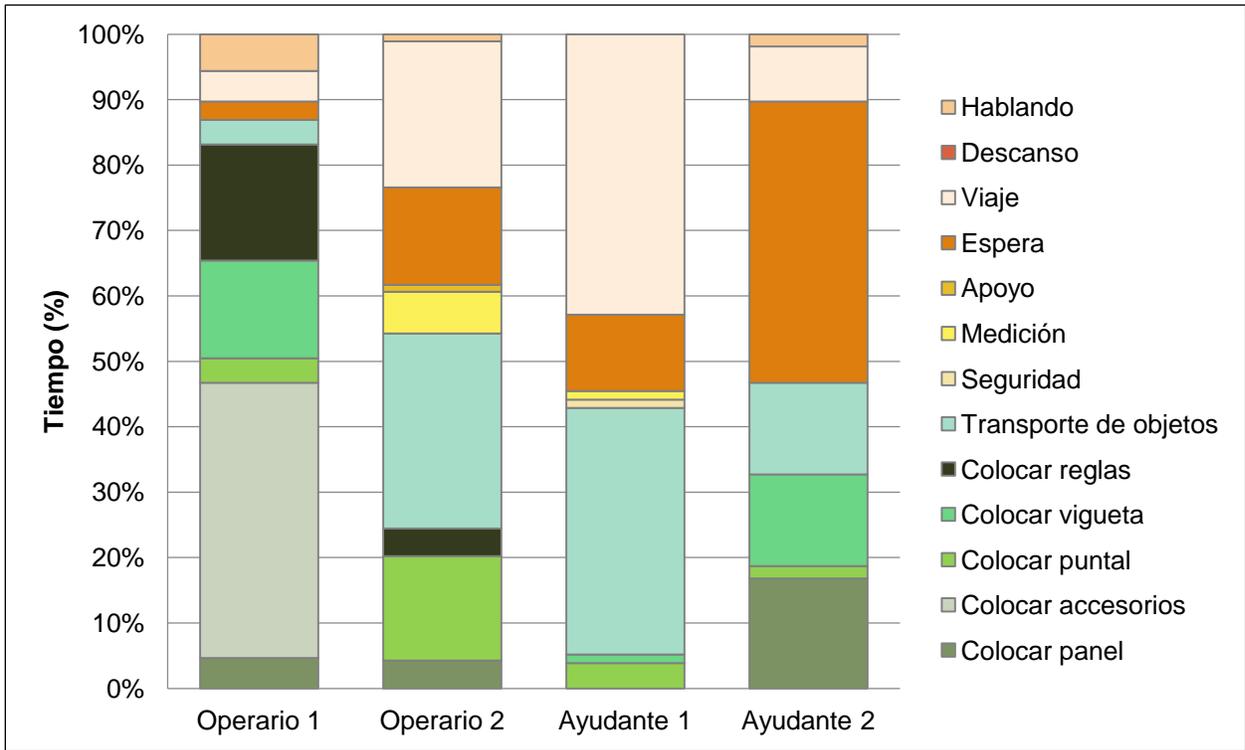


Figura 131. Productividad de encofrado de losa con sistema Convencional, Muestra #4.

Apéndice I. Resultados de productividad de Desencofrado de losa con sistema Convencional.

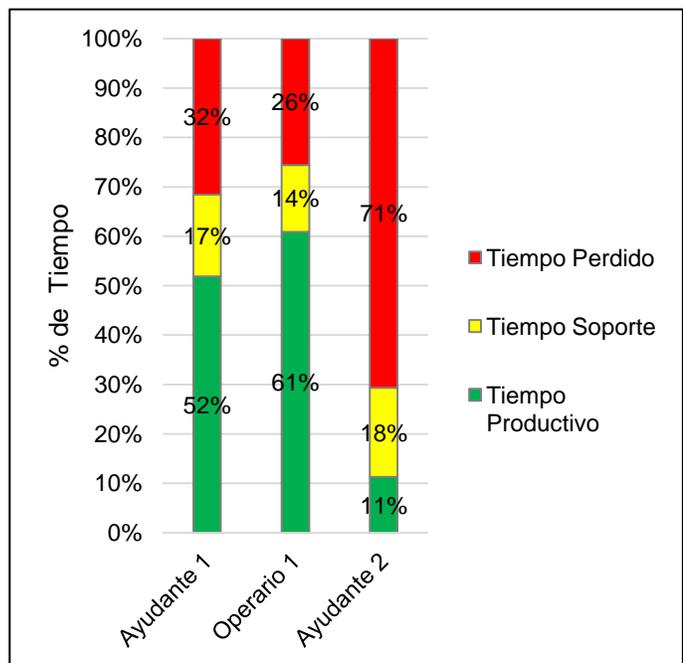
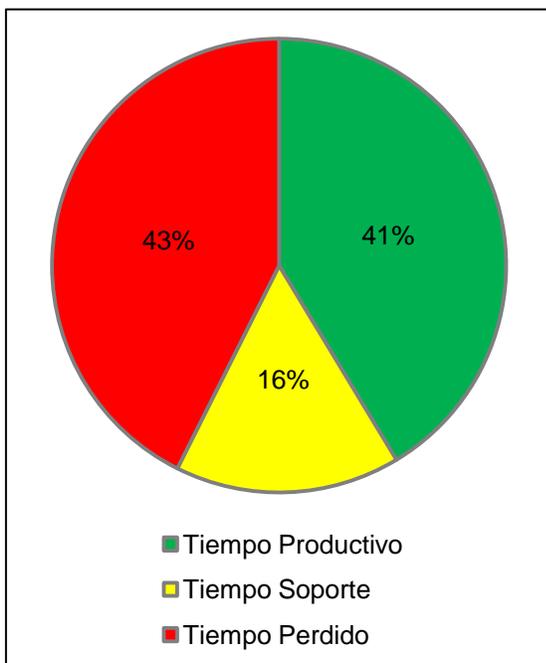
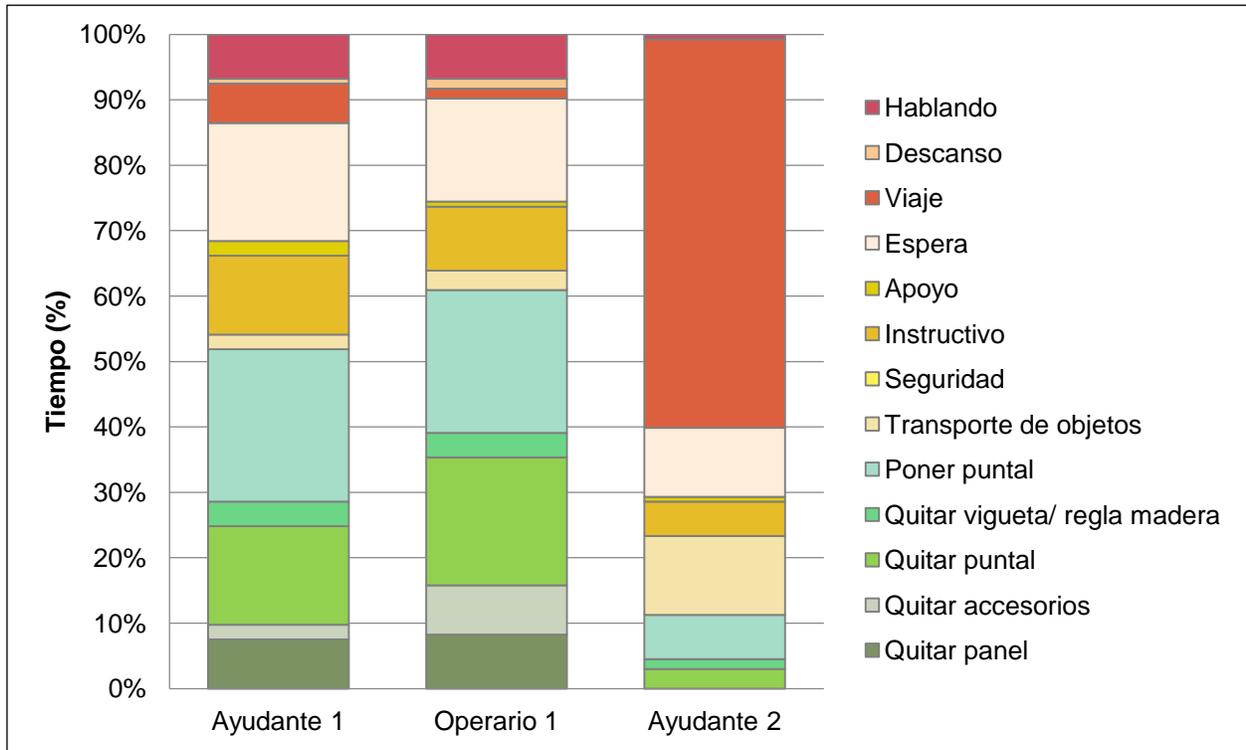


Figura 132. Productividad de desencofrado de losa con sistema Convencional, Muestra #1.

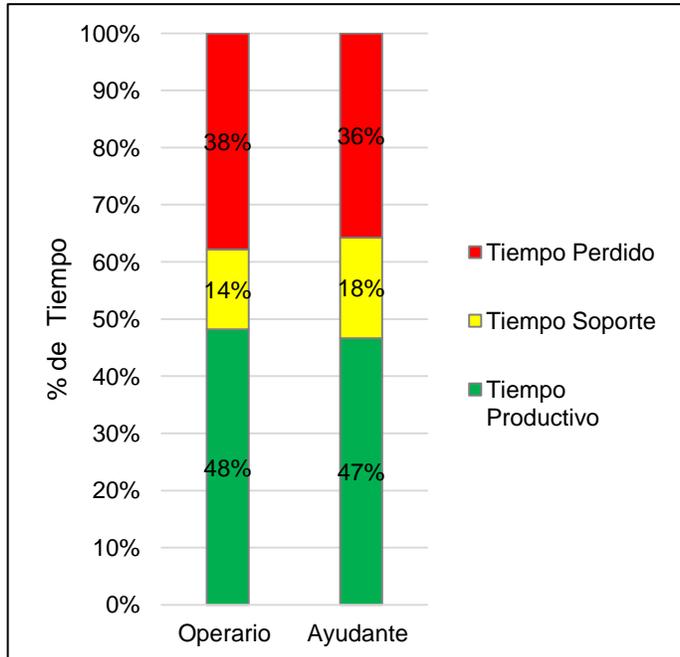
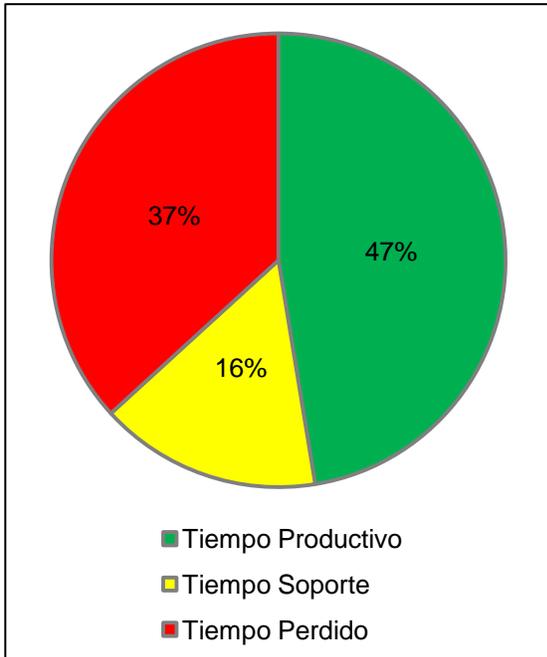
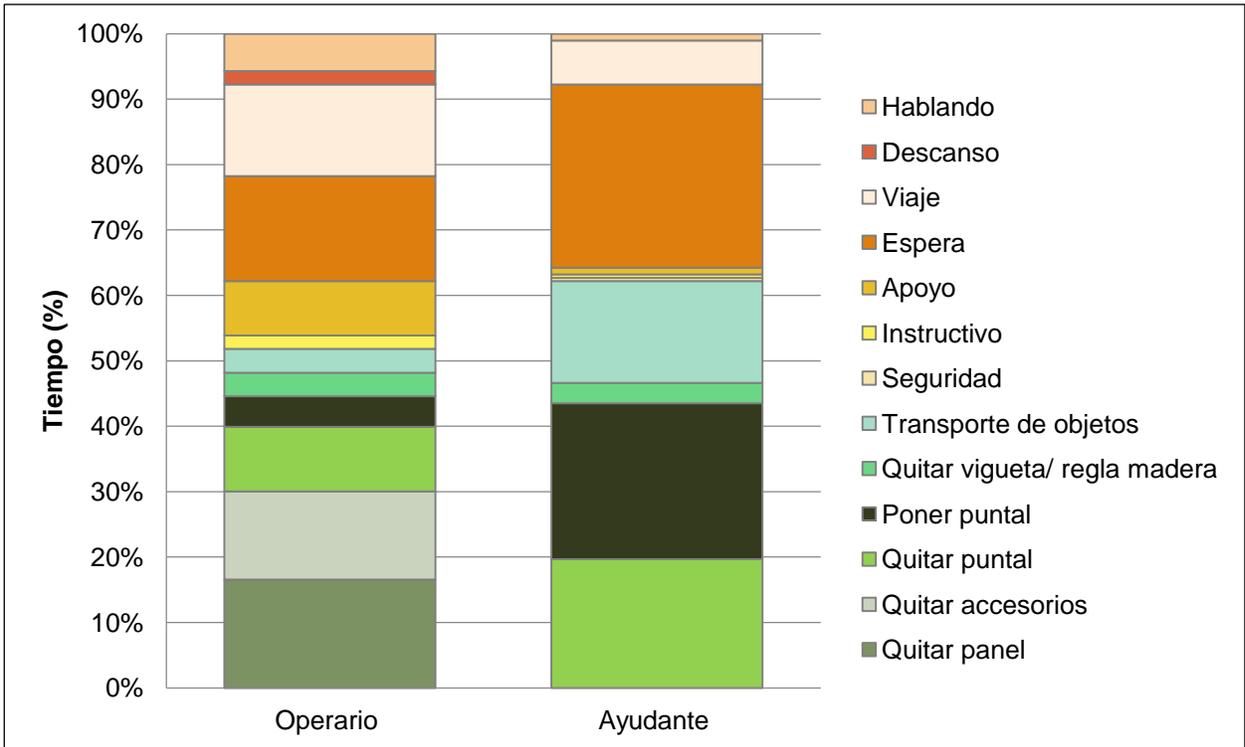


Figura 133. Productividad de desencofrado de losa con sistema Convencional, Muestra #2.

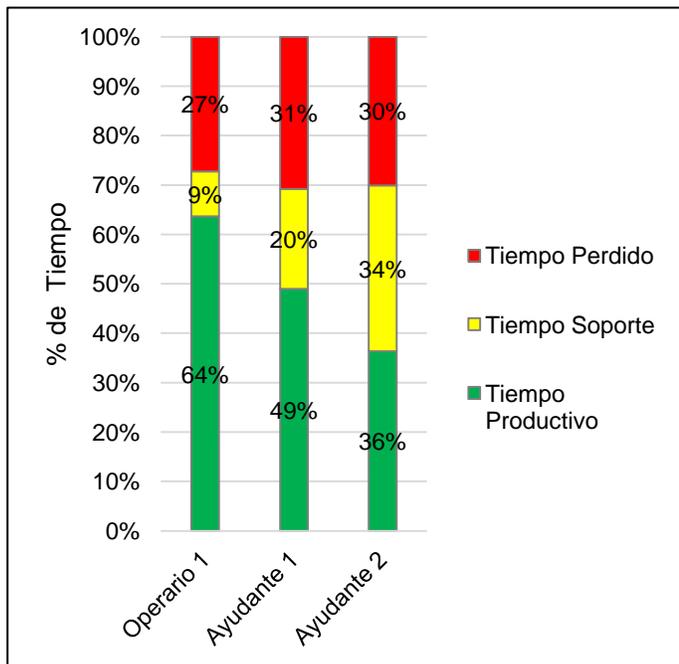
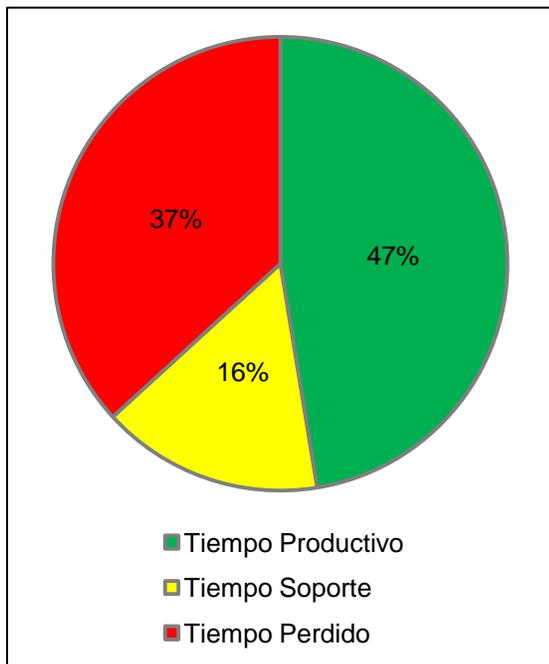
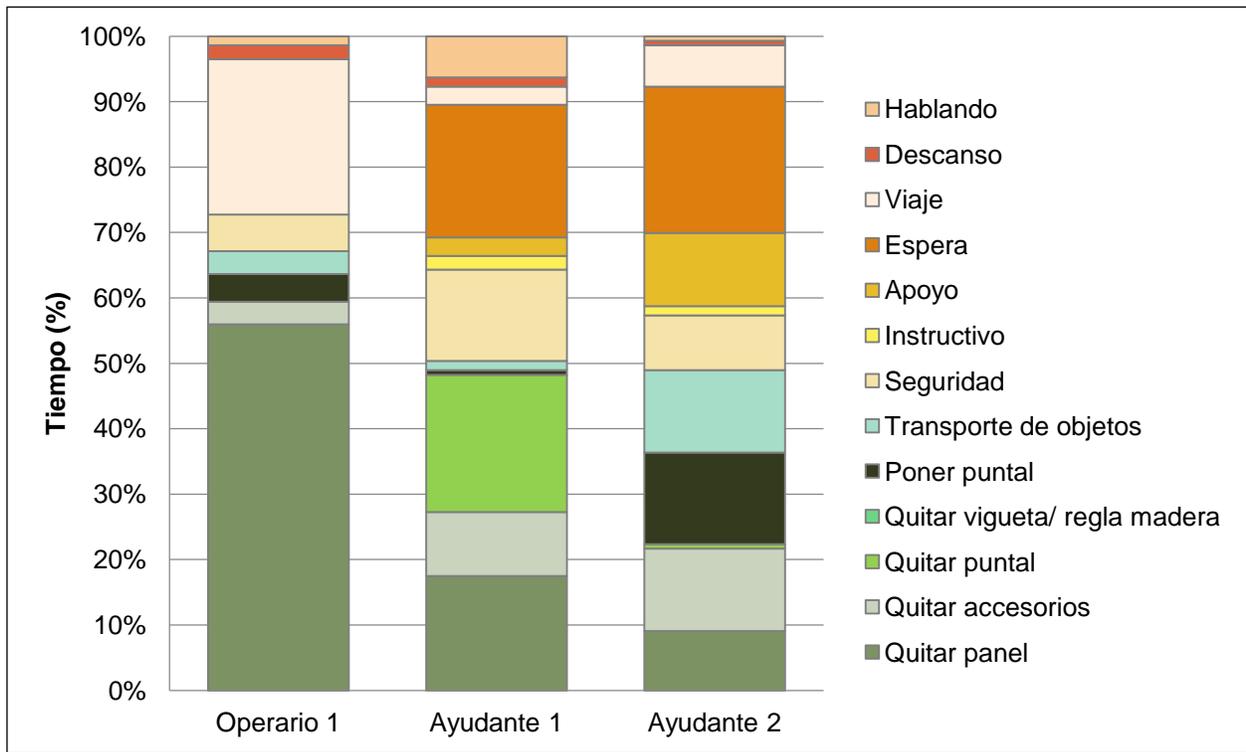


Figura 134. Productividad de desencofrado de losa con sistema Convencional, Muestra #3.

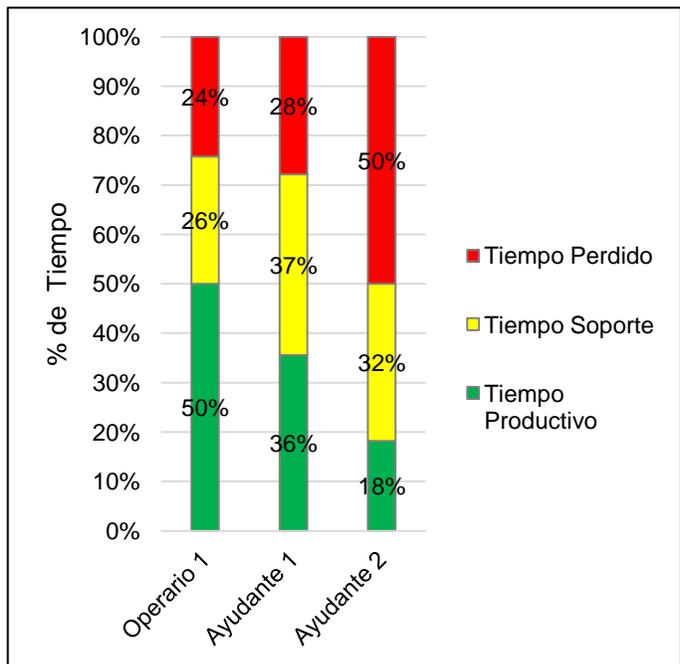
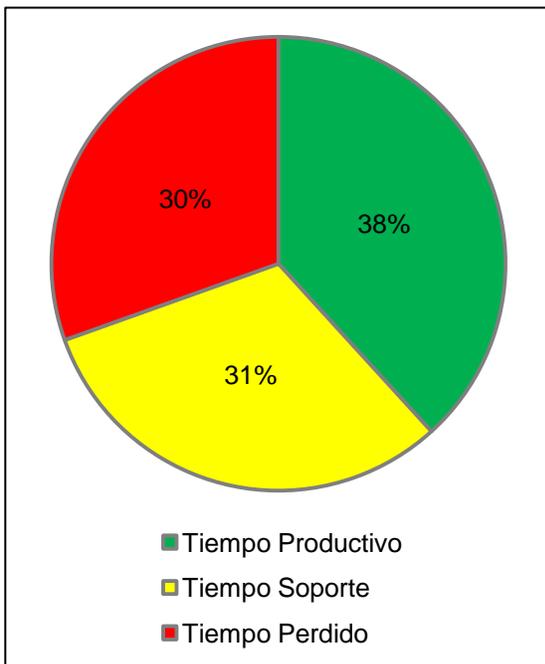
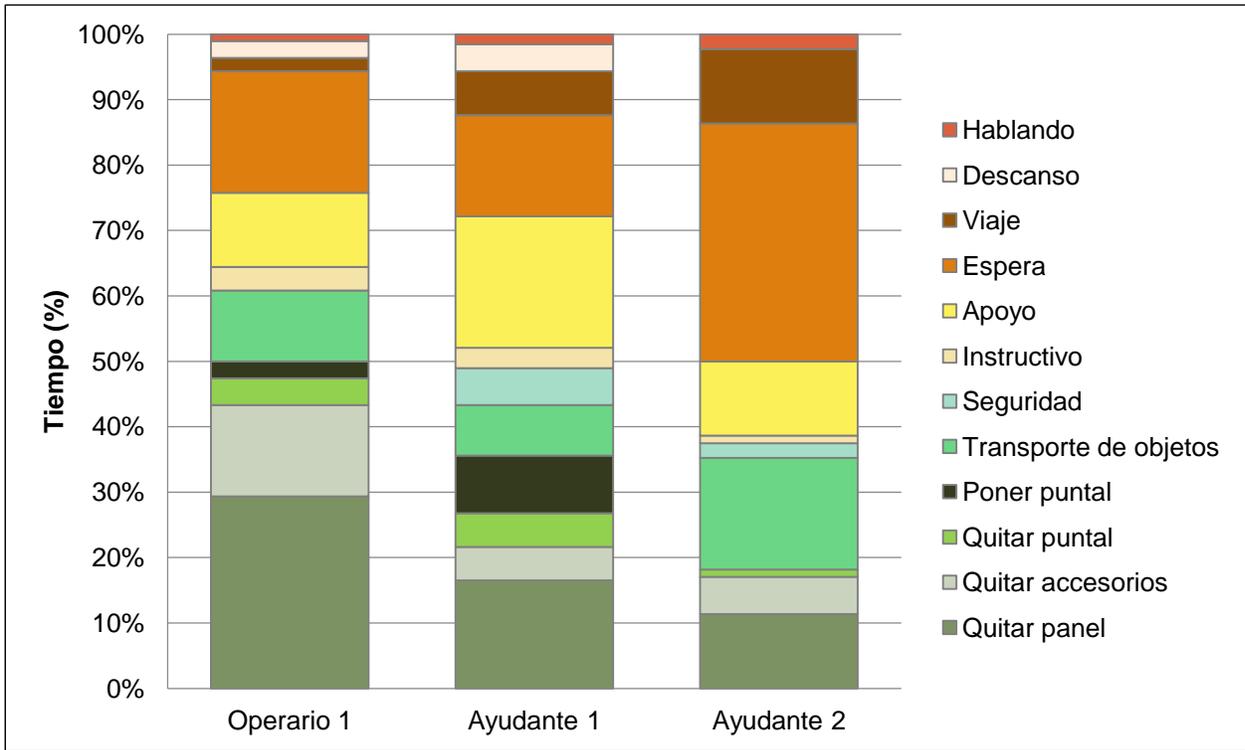


Figura 135. Productividad de desencofrado de losa con sistema Convencional, Muestra #4.

Apéndice J. Encuesta realizada a los trabajadores por medio de la aplicación Google Forms.

Encuesta Productividad

Dirigida a los trabajadores

Datos Generales

Contratista
Your answer

Puesto y actividad
Your answer

Horas de trabajo por semana
Your answer

Tiempo laborando para la empresa

- Menos de 1 mes
- De 1 mes a 3 meses
- De 3 meses a 6 meses
- De 6 meses a 1 año
- Más de 1 año

1. ¿Cómo califica las áreas de uso común (hidratación) y su cercanía al puesto de trabajo?

	1	2
Mal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

2. ¿Cómo califica la cercanía y disponibilidad del agua potable?

	1	2
Mal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. ¿Cómo califica la cercanía y disponibilidad del equipo de trabajo?

	1	2
Mal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4. ¿Cómo califica el orden y la limpieza del área de trabajo?

	1	2
Mal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

5. ¿Siente que su cuadrilla está bien organizada?

	1	2
Menos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

6. ¿Interviene con su trabajo la labor de las otras cuadrillas?

	1	2	3	
Nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucho

7. ¿Siente que el clima afecta su productividad?

	1	2	3	
Nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucho

8. ¿Se siente motivado trabajando?

	1	2	3	
Nada	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Mucho

9. ¿Cuáles factores aumentarían su productividad?

- Mayor incentivo salarial
- Mejor diseño de sitio
- Personas más eficientes en su cuadrilla
- Mejor equipo o herramientas
- Mejores materiales
- Mayor seguridad laboral
- Instrucciones más claras
- Cambiar horario de trabajo

Apéndice K. Manual de uso Reloj GPS.

Pasos para uso del reloj GPS

Paso 1: Encender

Presione el botón de encendido, ubicado en el lado inferior derecho del reloj.



Paso 2: Señal GPS

Espere de 5 a 10 segundos a que el dispositivo encuentre la señal GPS.



Paso 2.1

Una vez que el reloj encuentre la señal GPS, le mostrará el siguiente mensaje.



Paso 3: Iniciar actividad

Presione el botón inferior izquierdo para iniciar con la medición de la actividad.



Pasos para uso del reloj GPS

Paso 3.1

El reloj le mostrará el siguiente mensaje, cuando vaya a iniciar una nueva actividad.



Paso 4: Pausar medición

Presione el botón inferior izquierdo para pausar la medición de la actividad.



Paso 4.1

El reloj le mostrará el siguiente mensaje, cuando se haya pausado la actividad. Si desea quitarle la pausa presione el botón inferior izquierdo.



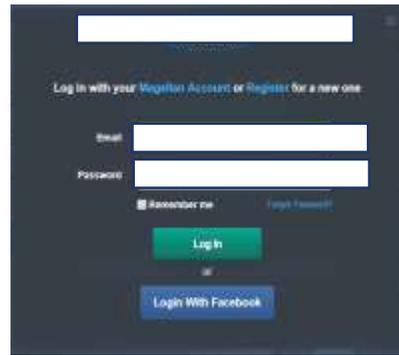
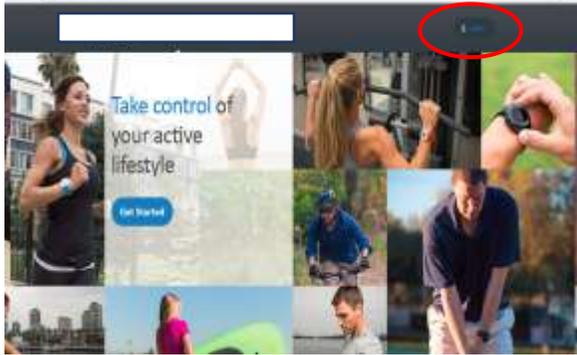
Paso 5: Guardar actividad

Una vez que se termine la actividad, se pausa la medición (Paso 4) y luego se mantiene presionado el botón inferior izquierdo durante 5 segundos.



Pasos a seguir para ver datos

1. Ingresar a la siguiente página:
2. Click en "Log In" e ingresar con los siguientes credenciales:
 - Correo:
 - Contraseña

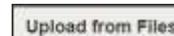


Pasos a seguir para ver datos

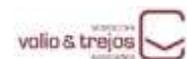
4. Darle click a UPLOAD.
5. En la ventana emergente click a "Upload from Files".
6. Darle click "CHOOSE FILES".
7. Elegir el archivo del reloj .fit del dispositivo del reloj.
8. Darle click a "UPLOAD".
9. En la ventana emergente seleccionar el nombre del archivo en letras azules.



Name	Date modified	Type
 2018-04-10-11-21-47.fit	10/04/2018 11:23 a.m.	DW01 TrueView PL



1	2018-04-10-11-21-47.fit
---	-------------------------



Pasos a seguir para ver datos

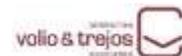
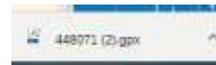
10. Debería salir la siguiente ventana, donde se muestran los datos del recorrido.



11. Darle click a "Export" y elegir el formato GPX.



12. Debería empezar a descargarse el siguiente archivo.



Pasos a seguir para ver mapa

1. Ingresar a la siguiente página: <http://maplorer.com/>
2. Darle click a GPX View en el menú azul de la izquierda.

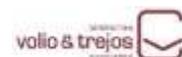


3. Darle click a "Seleccionar archivo"

Seleccionar archivo

4. Elegir el archivo .gpx que se descargó.

Name	Date	Type	Size
448072 (2).gpx	23/04/2018 03:27 p.m.	GPS Exchange For...	11



Pasos a seguir para cargar datos

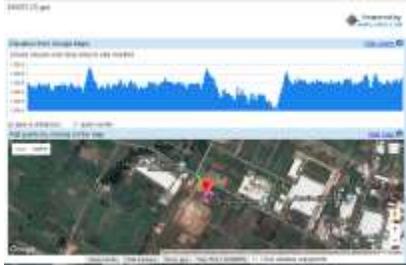
5. Darle click a "View profile".

View profile

6. En la página que aparece darle click a "Satélite" en el mapa.

Satélite

6. Debería mostrarse la siguiente página con el mapa.



volio & trejos
CONSTRUCION
ASOCIADOS

Apéndice L. Ejemplo de informe de Reloj GPS.



Uso de relojes GPS

CEDI Coris
Abril 2018



Datos de Trabajadores

GRANOS

Trabajador #1

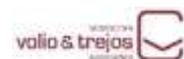
Nombre: Omar Hidalgo
Número de casco: 132
Encofrado y colado de placas
Puesto: Carpintero



HORTIFRUTI

Trabajador #2

Nombre: Luis Fernando Aguilar
Número de casco: 31
Limpieza, encofrado, barricado
Puesto: Bodeguero Hortifruti



Entrevistas a Trabajadores

Pregunta	Trabajador #1	Trabajador #2
¿Siente que es incómodo utilizar el reloj para realizar sus labores?	No, está bien.	No.
¿Le gustaría seguir usándolo mientras trabaja?	Sí.	Si.
¿Se siente controlado utilizando el reloj?	Nada.	No.
¿Piensa que es una buena idea?	Sí.	Si claro, debería de usarse más



Resumen de Recorridos Trabajador 1 – Granos

Fecha: 05/04/2018

Período: 11:01 a.m. - 14:32 p.m.

Duración: 03:35 horas



Lugar	Cantidad de viajes
Acopio Granos	2
Baño	1

Mapa Datos

Fecha: 06/04/2018

Período: 10:20 a.m. - 12:56 p.m.

Duración: 04:37 horas



Lugar	Cantidad de viajes
Acopio Hortifruti	2
Baño	1

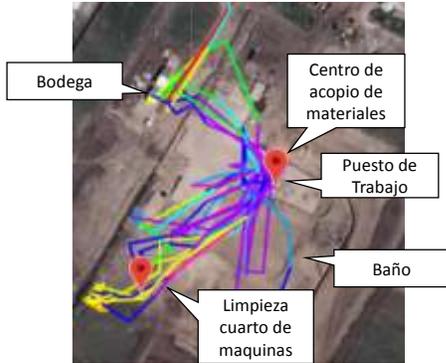
Mapa Datos

Resumen de Recorridos Trabajador 2 – Hortifruti

Fecha: 19/04/2018

Período: 8:03 – 13:54.

Duración: 05:54 horas



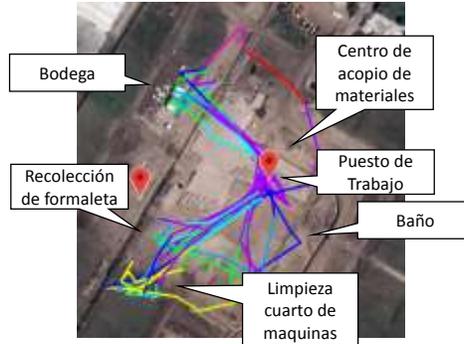
Lugar	Cantidad de viajes
Bodega Principal	3
Limpieza cuarto de maquinas	4
Recolección de formaleta	2
Baño	1



Fecha: 20/04/2018

Período: 8:10 – 11:46

Duración: 03:36 horas



Lugar	Cantidad de viajes
Bodega Principal	4
Limpieza cuarto de maquinas	5
Recolección de formaleta	2
Baño	1



Apéndice M. Análisis de funcionamiento del Reloj GPS.

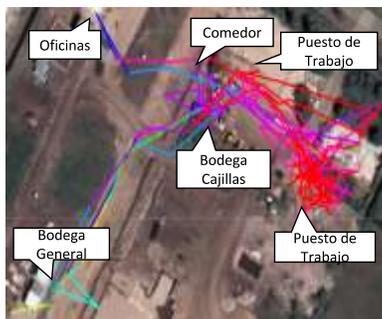


Informe Funcionamiento Reloj GPS

Marzo 2018



Informe de pruebas de funcionamiento en proyectos CEDI Coris e iFreses

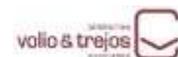


LugarUso	Cantidad de viajes
Bodega Cajillas	5
Bodega General	2
Comedor	2
Oficinas	1
Duración de recorrido	06:47 horas

vrs

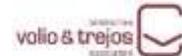


Lugar	Cantidad de viajes
Bodega	1
Comedor	1
Duración de recorrido	07:15 horas



Información comparativa del funcionamiento del reloj

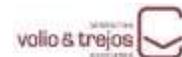
Parámetro	CEDI Coris	iFreses
<i>Tipo de Proyecto</i>	Horizontal Centro Distribución	Vertical Edificio Residencial/Comercial
<i>Destinos de viajes observables</i>	Bodega, Comedor, Baño, Cajones, Oficinas, Frente de Trabajo	Bodegas, Comedor, Oficinas
<i>Duración de batería de reloj por día</i>	7-8 horas	5-7 horas
<i>Claridad de los recorridos en mapas</i>	Buena	Mala
<i>Recepción de señal de GPS</i>	Buena (Al aire libre)	Deficiente (Dentro de interiores)



Funciones Generales de Reloj GPS

Funciones

	Observar los desplazamientos del trabajador a lo largo del día.
	Monitorear la cantidad de viajes realizados a Bodega, Cajones, Comedor y Baño .
	Obtener una relación numérica de Duración de recorrido vs Distancia por proyecto.
	Conocer la duración de trabajo en actividades específicas, para obtener rendimientos.



Información comparativa del funcionamiento del reloj

Reloj 1 - 0645

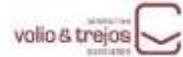


Reloj 2 - 0225



Notas:

- La distancia que muestran los relojes no se toma en cuenta ya que es errónea, debido a que a pesar de que no se este moviendo, estos siguen marcando.
- El reloj 1 – 0645 tiende a marcar mayor distancia, según comparación.



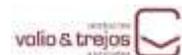
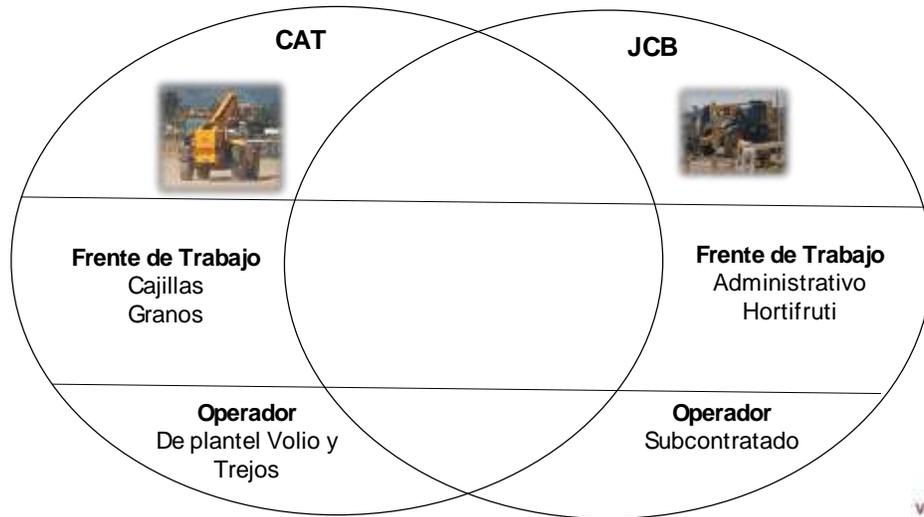
Apéndice N. Informe de estudio de montacargas telescópicos en proyecto CEDI Coris.



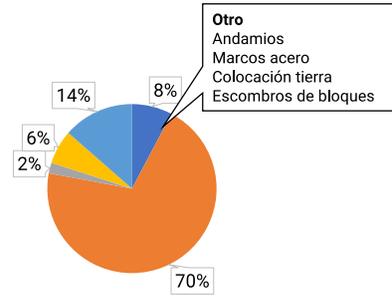
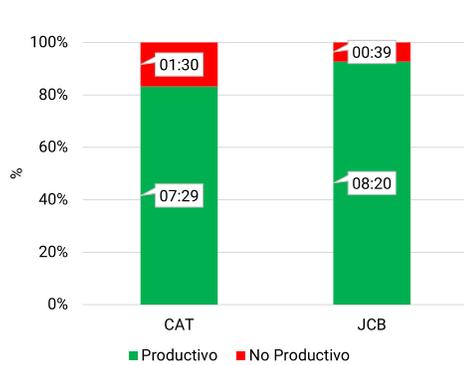
Análisis de Montacargas Telescópicos CEDI Coris – Abril 2018



Datos Generales



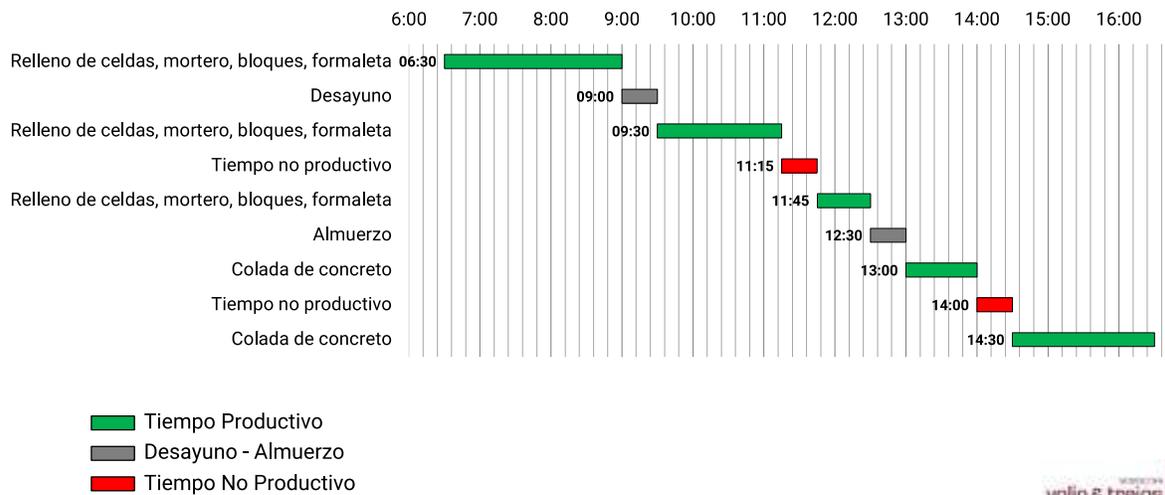
Uso de los montacargas telescópicos



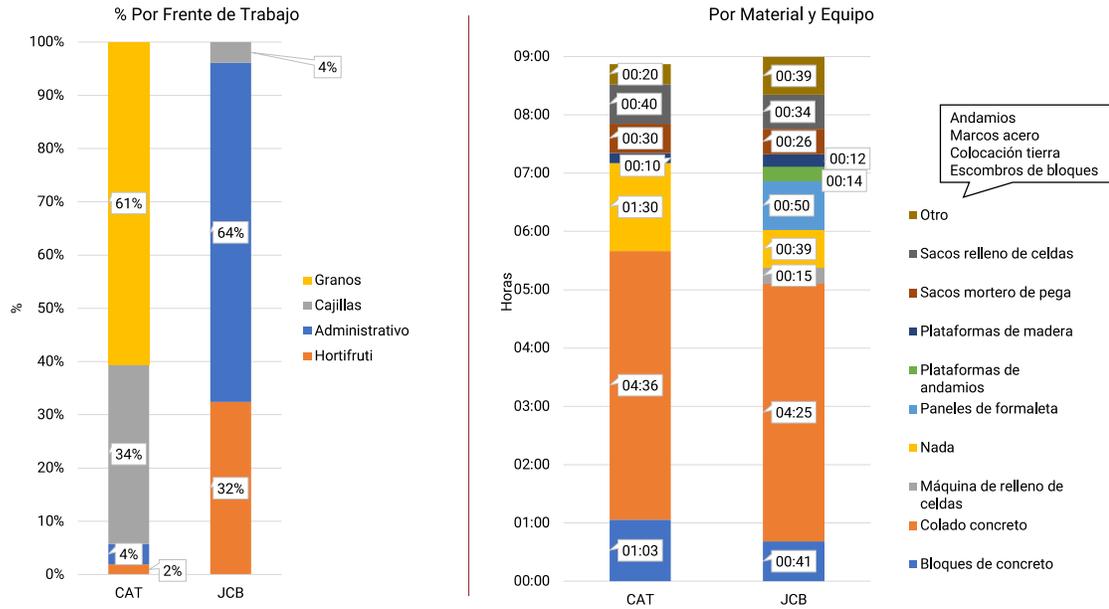
- Otro
- Máquina de relleno de celdas
- Bloques de concreto
- Colado concreto
- Paneles de formaleta

	Costo por mes	Costo por día	Costo de tiempo perdido por día	Costo de tiempo perdido proyectado por mes
JCB	€ 3.175.200	€ 135.115	€ 9.764	€ 229.458
CAT	€ 3.010.770	€ 128.118	€ 21.476	€ 504.696
TOTAL	€ 6.185.970	€ 263.233	€ 31.241	€ 734.153

Comportamiento típico durante un día



Uso de los montacargas telescópicos



Apéndice Ñ. Informe de estudio de camión repartidor en proyecto CEDI Coris.

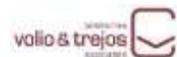
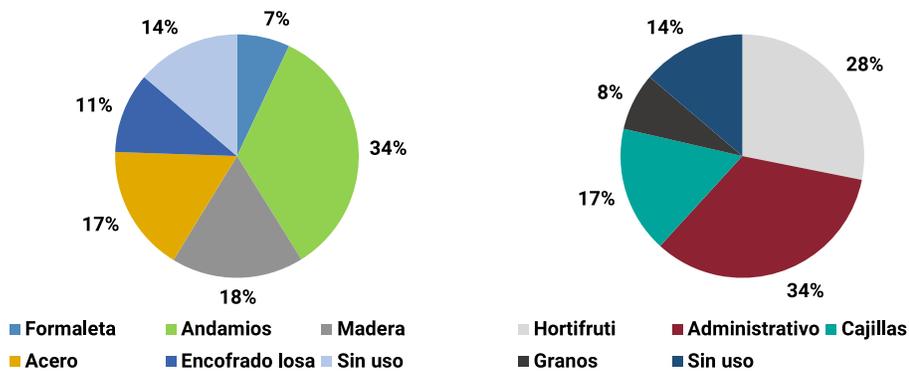


Uso del camión repartidor

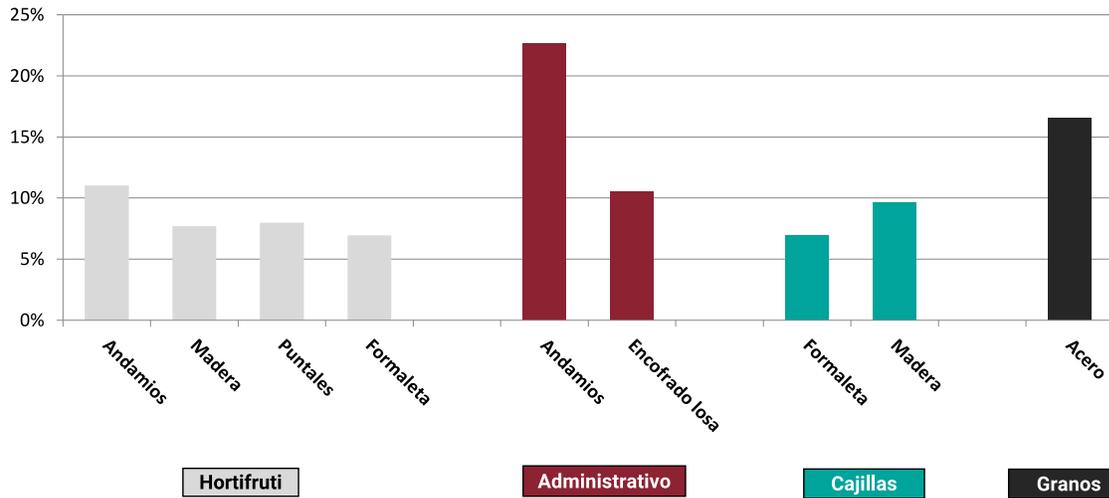
CEDI Coris
Marzo 2018



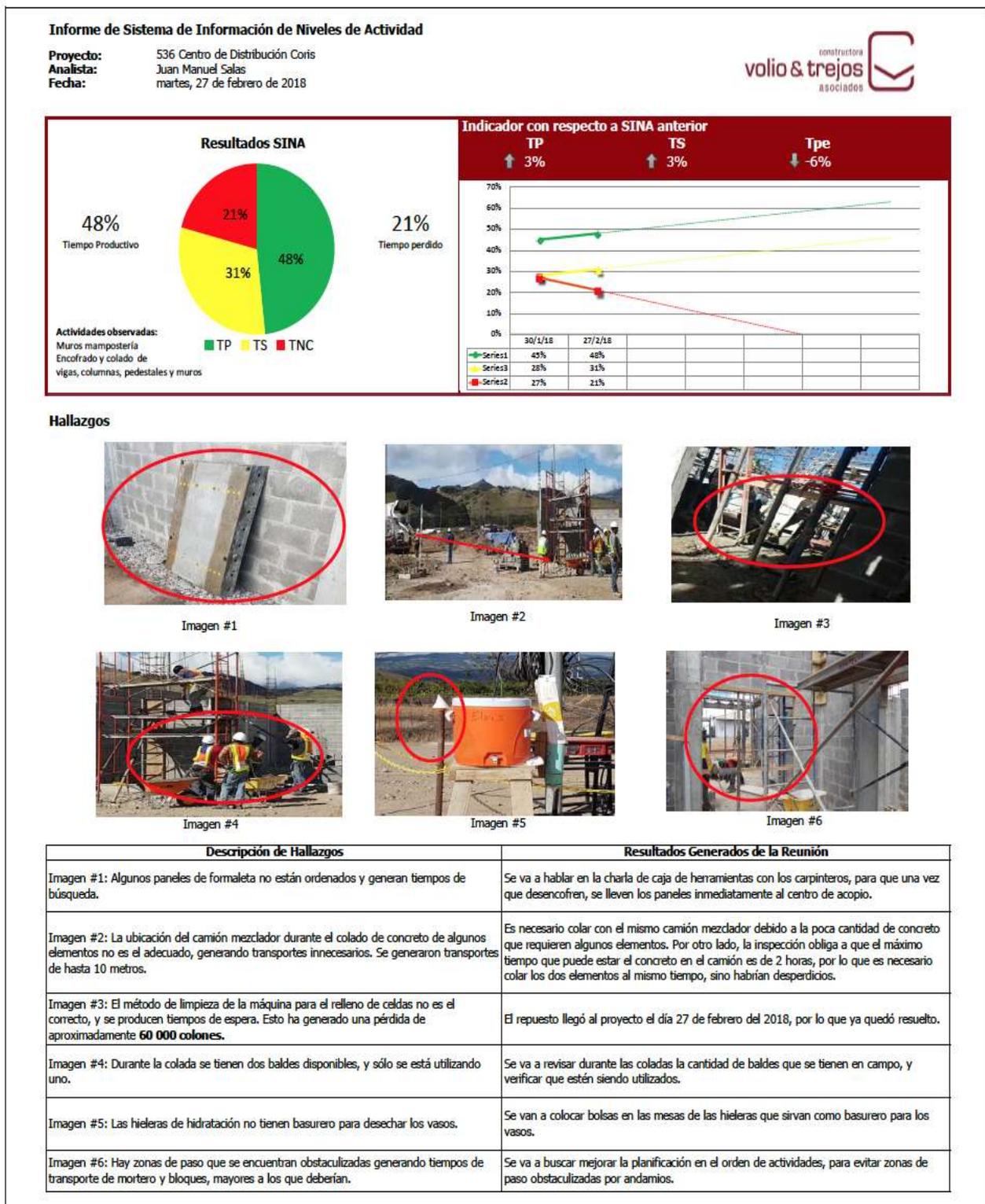
Uso de camión repartidor



Uso de camión repartidor



Apéndice O. Ejemplo de informe SINA en CEDI Coris.



Apéndice P. Ejemplo de informe análisis de proceso.



Análisis de Proceso: Colocación de Bloques de Mampostería

536 CEDI Coris
02 febrero 2018



Distribución de personal

Cantidad personal



PUESTO	CANTIDAD
Operador	8-6
Ayudante	8-6
Abastecedor	2
Mezclador	1
Cortador	1
Armador Andamios	2
TOTAL	22

Programación por día

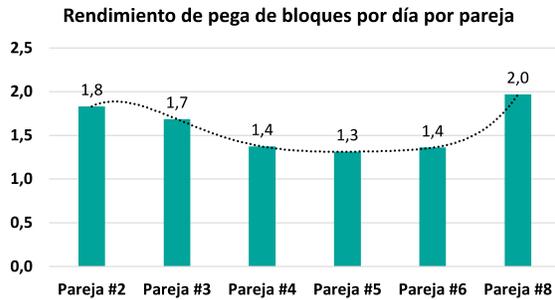
- M 24 enero - L 29 enero
- K 30 enero
- M 31 enero
- J 01 febrero

Simbología

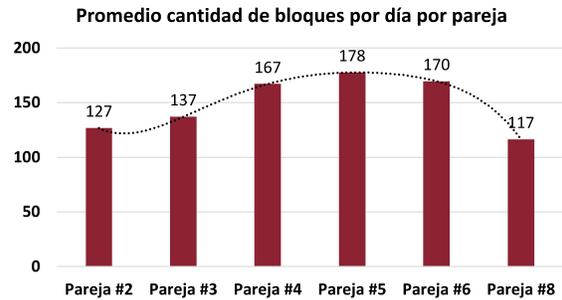
- B** Batidora de concreto
- C** Mesa de corte de bloques



Rendimiento General por Pareja

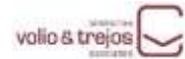


Promedio: **1,6 HH/m2**

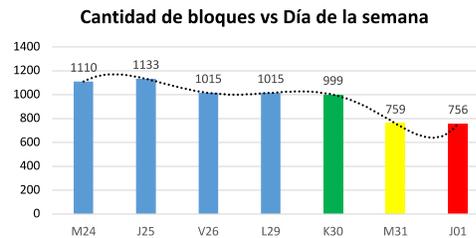
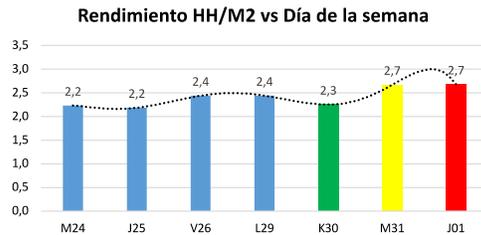


Promedio: **150 bloques**

Meta establecida de pega de bloque por pareja en el proyecto:
105 bloques



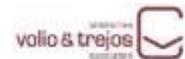
Rendimiento General



Se incluye todo el personal

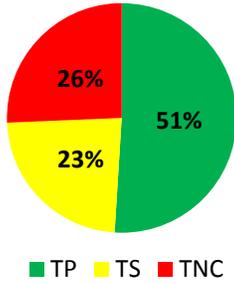
8-6 Operarios	1 Cortador
8-6 Ayudantes	1 Mezclador
2 Abastecedores	2 Armadores de Andamios

Meta establecida de pega de bloques
total por día en el proyecto:
840 bloques

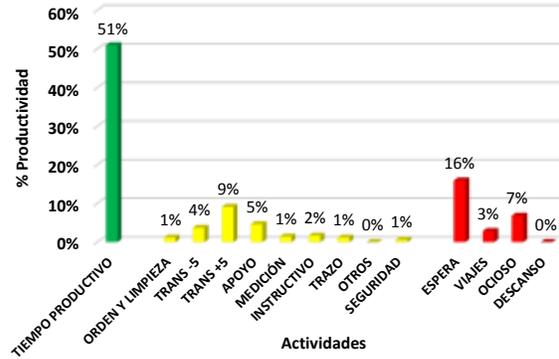


SINA Actividad Mampostería

Porcentajes Niveles de Actividad

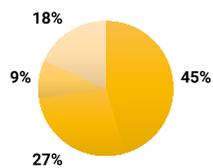


SINA Febrero 2018



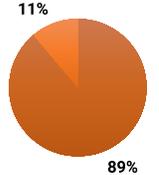
Desglose SINA Actividad Mampostería

Transporte +5m



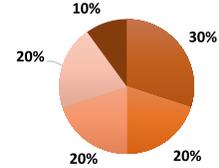
■ Bloques mampostería ■ Mortero
■ Equipo y Herramientas ■ Otros Materiales

Ocio

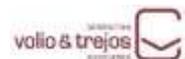


■ Hablando ■ Viendo

Espera



■ Batidora ■ Mesa de corte ■ Trazo
■ Mortero ■ Instrucciones



Apéndice P. Resumen total de videos analizados.

CUADRO 60. RESUMEN DEL TOTAL DE MUESTRAS TOMADAS EN CEDI CORIS							
Actividad	Proceso	#	Fecha	Hora inicio	Duración	Tamaño cuadrilla	Total observaciones
Mampostería	Colocación de bloques	1	23-feb	14:18	0:32:30	2	390
		2	7-mar	11:41	0:31:01	2	400
		3	19-mar	07:46	0:32:17	2	386
		4	20-mar	14:32	0:32:02	2	386
		5	24-mar	11:09	0:32:00	4	385
	Relleno de Celdas	1	19-mar	11:53	00:31:01	3	399
		2	24-mar	10:20	00:30:01	3	387
		3	5-abr	08:45	00:34:47	3	387
		4	5-abr	14:18	00:16:01	3	411
Columnas	Encofrado	1	8-mar	11:31	00:35:02	2	418
		2	9-mar	10:22	00:30:04	4	480
		3	19-mar	09:52	00:31:09	2	416
		4	26-mar	13:31	00:35:08	2	420
	Colado	1	22-feb	14:02	00:29:21	5	405
		2	8-mar	10:27	00:31:05	6	390
		3	9-mar	11:53	00:20:04	4	404
		4	19-mar	11:31	00:30:01	5	395
		5	28-mar	10:25	00:32:00	4	398
	Desencofrado	1	7-mar	07:51	00:29:00	2	386
		2	27-mar	08:20	00:32:01	3	427
		3	6-abr	07:15	00:30:14	2	402
		4	12-abr	06:54	00:32:15	2	386

CUADRO 61. RESUMEN DEL TOTAL DE MUESTRAS TOMADAS EN IFRESES

Actividad	Proceso	#	Fecha	Hora inicio	Duración	Tamaño cuadrilla	Total observaciones
Losas Forsa	Encofrado	1	14-mar	08:07	00:31:02	6	492
		2	16-mar	06:47	00:31:08	4	454
		3	21-abr	07:46	00:30:08	8	452
		4	23-abr	08:07	00:32:33	4	392
	Desencofrado	1	14-mar	06:43	00:31:07	3	399
		2	15-mar	11:41	00:30:41	3	393
		3	16-mar	07:21	00:31:08	3	399
		4	18-abr	06:36	00:32:02	4	454
Losa Convencional	Encofrado	1	14-mar	07:21	0:31:03	4	436
		2	15-mar	06:21	00:26:51	3	450
		3	16-mar	07:46	00:31:01	6	415
		4	20-abr	07:10	00:32:03	4	385
	Desencofrado	1	14-mar	12:18	00:31:03	3	399
		2	20-abr	12:11	00:32:07	2	386
		3	21-abr	07:48	00:35:53	3	429
		4	23-abr	13:41	00:32:22	3	476

Anexos

A continuación, se presentan los siguientes anexos que son de utilidad para ampliar el entendimiento del documento.

Anexo A. Registro fotográfico aéreo de proyecto CEDI Coris.

Anexo B. Registro fotográfico de proyecto iFreses.

Anexo A. Registro fotográfico aéreo de proyecto CEDI Coris.



Figura 135. Avance de proyecto al 30 de enero del 2018 (Volio y Trejos, 2018).



Figura 136. Avance de proyecto al 08 de mayo del 2018 (Volio y Trejos, 2018).

Anexo B. Registro fotográfico de proyecto iFreses.



Figura 137. Avance de edificio al 12 de febrero del 2018, 8 niveles. (Volio y Trejos, 2018)



Figura 138. Avance de edificio al 11 de mayo del 2018, 21 niveles (Volio y Trejos, 2018).

Referencias

- Ajay, R. y Sridhar, M. Incorporation of 5s methodology in construction practices. Sadguru Publications, 1, 1. Recuperado de <http://www.tsijournals.com/articles/incorporation-of-5s-methodology-in-construction-practices.pdf>.
- Dozzi, S., y AbouRizk, S. (1993). *Productivity in Construction*. Obtenido de National Research Council Canada: www.nrcnrc.gc.ca/irc.
- Higgins, A. (2017). *7 Major Construction Technology Innovations to Watch in 2018*. Connect & Construct: BIM 360 Autodesk. Recuperado de: <https://connect.bim360.autodesk.com/construction-innovation-2017>.
- Lean Construction Enterprise (1999). *¿Qué es Lean Construction?* Lean Construction Enterprise. Recuperado de: <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction>
- Mahecha, L. (2010). *Análisis comparativo del rendimiento de la mano de obra en la construcción de un edificio* (proyecto final de graduación). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (Mideplan). (2009). *Guía para la elaboración de diagramas de flujo*. San José, Costa Rica: Mideplan.
- McKinsey Global Institute. (2017). *Reinventing Construction: A route to higher productivity*. McKinsey & Company.
- Ortiz, G.; Paniagua, E.; Sandoval, M. 2009. *Costos de construcción*. Cartago, Costa Rica. Tecnológico de Costa Rica.
- Pons, J. (2014). Introducción a Lean Construction. Recuperado de <http://www.fundacionlaboral.org/documento/introduccion-al-lean-construction>.
- Retana, P. (2013). *Diagrama de recorrido*. Documentos derivados del estudio métodos y tiempos. Instituto de formación profesional a distancia. Recuperado de: https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/PP/PP05/es_PPFM_PP05_Contenidos/website_213_diagrama_de_recorrido.html.
- Riddell, T. (2017). *What Is Lean Construction & Why You Should Care*. eSub Construction Software. eSub Inc. Recuperado de <https://esub.com/lean-construction-care/>.
- Romero, E., & Díaz, J. (2010). El uso del diagrama causa-efecto en el análisis de casos. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 40 (3-4), 127-142.
- Sales, M. (2013). Diagrama de Pareto. Gestipolis: EALDE Business School. Recuperado de: <https://www.gestipolis.com/diagrama-de-pareto/>.
- Serpell, A. y Verbal, R. (1990). Análisis de operaciones mediante cartas de balance. *Revista Ingeniería de Construcción*, 9, 1-2.
- Stenheimer, L. Why your GPS-enabled smartwatch may show different data

than your friend's. Outdoors: Digital Trends. Recuperado de: <https://www.digitaltrends.com/outdoors/how-gps-watches-work/>.

Tello, P. (2016). *Análisis de productividad laboral en obras de construcción en proyectos subterráneos de la división del teniente* (proyecto final de graduación). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.