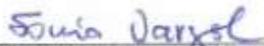


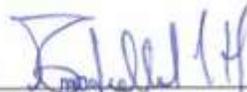
# **Implementación de la filosofía Lean en la producción de concreto con autohormigonera**

### CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Sonia Vargas Calderón, Ing. Ana Grettel Leandro Hernández, Ing. Miguel Artavia Alvarado, Ing. Giannina Ortiz Quesada, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Sonia Vargas Calderón.  
Em representación del Director



Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.  
Profesor Guía



Ing. Miguel Artavia Alvarado.  
Profesor Lector



Ing. Giannina Ortiz Quesada.  
Profesora Observadora

# Abstract

The following investigation seeks the Lean philosophy implementation on the concrete production process with a self-propelled mixer, developing a methodology that involves Lean tools.

At the beginning, the necessary requirements for the methodology were determined, advantages and disadvantages of operating with the equipment, too. Then, the information control and evaluation tools before, during, and after the concrete production process were developed.

Once the control tools are settled, the concrete production process without a Lean Construction implementation was evaluated through travel diagrams, flow diagrams and *value stream mapping*. Also, a productivity analysis of the concrete placement process was made. A costs analysis used all the previous information and showed unbearable losses for the enterprise. With this on mind, the spotted improvements were implemented and, using Lean, there were improvements on the processes that went over a 50%, and the costs were lowered in a 30%, which made them bearable for the company.

After the implementation, decision making tools for the equipment use on future projects were created.

**Key Words:**

*Lean, productivity, costs, concrete.*

# Resumen

La presente investigación busca implementar la filosofía Lean en el proceso producción de concreto con una autohormigonera, esto mediante el desarrollo de una metodología que involucre las herramientas de dicha filosofía.

Inicialmente, se determinaron los requerimientos necesarios para la metodología, además de las ventajas y desventajas de operar con el equipo. Luego, se desarrollaron todas las herramientas de control y evaluación de información antes, durante y después del proceso productivo de concreto.

Una vez desarrolladas las herramientas de control, se evaluó el proceso de producción concreto sin la implementación de Lean Construction como filosofía del proyecto a través de diagramas de recorridos, diagramas de flujo y *Value Stream Mapping*, además de un análisis de productividad del proceso de colocación de concreto. Todo esto se asoció con un estudio de costos que dio como resultados pérdidas intolerables para la empresa. Posteriormente, se implantaron las mejoras detectadas y mediante el uso de Lean se llegó a mejorar en más de un 50% los procesos en conjunto en términos de tiempos, además de un 30% en términos de costos, los cuales la empresa determinó como tolerables y exitosos.

Después de la implementación se generaron herramientas para la toma de decisiones en cuanto al uso del equipo en futuros proyectos.

**Palabras clave:**

*Lean, productividad, costos, concreto.*

# **Implementación de la filosofía Lean en la producción de concreto con autohormigonera**

# **Implementación de la filosofía Lean en la producción de concreto con autohormigonera**

CHRISTOPHER CRUZ ROSALES

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

Agosto de 2017

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

PREFACIO .....	1
RESUMEN EJECUTIVO .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	3
ALCANCE Y LIMITACIONES.....	4
MARCO TEÓRICO .....	5
METODOLOGÍA.....	14
RESULTADOS .....	23
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	82
CONCLUSIONES .....	89
RECOMENDACIONES .....	90
REFERENCIAS .....	91

# Prefacio

La presente investigación surge por la necesidad de una empresa constructora de renombre nacional de generar una metodología productiva de concreto con un equipo recién adquirido, el cual es una autohormigonera de marca Fiori. En un proyecto ubicado en la Guácima de Alajuela, junto a la Hacienda los Reyes, la empresa y el desarrollador del estudio decidieron optar por este tipo de equipo para suplir las necesidades de concreto del proyecto; para que la decisión fuera acertada era necesario que el equipo tuviera un rendimiento y costos aceptables por m<sup>3</sup> de concreto producido comparados con el costo de concreto premezclado en el mercado.

La implementación de la filosofía Lean Construction y sus herramientas como *Last Planner* para la planificación, además de *Value Stream Mapping* para detectar las oportunidades de mejora fue de mucha importancia, pues a través de estas fue como se llegó a depurar y darle fluidez al proceso de producción, al eliminar tareas que no agregaban valor al proceso, con esto se lograron costos tolerados por los responsables del proyecto, quienes antes de implementar esta filosofía estaban teniendo pérdidas.

De manera paralela, esta información servirá como apoyo para la profesora Ana Grettel Leandro Hernández en sus respectivos proyectos investigativos enfocados en la productividad de la construcción.

Se desarrolló una metodología que abarca la planificación, así como el monitoreo continuo para la detección de oportunidades de mejora, además del manejo de datos después de la colocación de concreto para la respectiva trazabilidad de este en sitio, en caso de tener problemas de calidad o alguna otra situación relacionada.

## Agradecimientos

Antes que todo a Dios por darme la sabiduría, paciencia y fortaleza en la oportunidad de realizar este proyecto, por ser el guía en mi camino y darme las fuerzas para seguir adelante día tras día.

A mis padres y familiares por ese apoyo inagotable, a pesar de las adversidades, sin ellos nunca hubiera sido posible.

A la profesora Ana Grettel Leandro por su paciencia, anuencia y apoyo incondicional para este proyecto y para mí; nunca voy a terminar de agradecer la oportunidad que me brindó de poder trabajar en conjunto con ella para que este logro fuera posible.

A la empresa constructora por la oportunidad y confianza depositada, además del fiel apoyo hacia el proyecto, por nunca dejar de creer en mí.

A todos los colaboradores del proyecto por su gran amabilidad, en especial al operador del equipo por la anuencia al diálogo, a la implementación de las mejoras y el apoyo constante al proyecto.

# Resumen ejecutivo

La presente investigación se llevó a cabo en un proyecto ubicado en la Guácima de Alajuela, con el apoyo de la empresa constructora del proyecto y los desarrolladores. El objetivo principal del proyecto fue el desarrollo de una metodología que involucrara las partes de planificación, un control antes, durante y después del proceso de producción de concreto, de tal forma que maximizara el uso del equipo y que con esto diera resultados económicos tolerables para la empresa.

Primero se realizó un listado de los requerimientos para la metodología, los aspectos por considerar y su grado de importancia; seguidamente, se identificaron las principales ventajas y desventajas posibles al operar con la autohormigonera, con una atención especial en aquellos aspectos por maximizar y a los cuales podían afectar el proceso productivo. Luego, se realizó una evaluación del proceso productivo sin la implementación de Lean como filosofía de este, para obtener los puntos de mejora si se utilizó en *Value Stream Mapping*, los datos obtenidos sirvieron como base para la comparativa con la implementación de las mejoras detectadas.

Adicional a la evaluación del proceso productivo del concreto, se consideró la evaluación del proceso de colocación, a través del análisis de productividad de las cuadrillas y *Crew Balance*, puesto que la descarga del equipo es fundamental dentro del ciclo de producción: está directamente relacionada con el rendimiento presentado durante el día. Una descarga rápida y eficiente del concreto implica que el equipo iniciaría más rápido un nuevo ciclo de producción y con esto un mayor rendimiento por unidad de tiempo. Por ende, la importancia de evaluar e implementar mejoras detectables y efectivas.

Una vez evaluados los procesos y con las respectivas opciones de mejora, se pasó a la siguiente fase: implementación de estos con las respectivas observaciones al operador y jefes de cuadrillas de los diferentes frentes de trabajo. Asimismo, se evaluó el proceso de producción de concreto con las mismas herramientas utilizadas en la fase anterior (diagramas de recorrido, diagramas de flujo y *Value Stream Mapping*). Cabe destacar que solo se evaluó el proceso productivo de concreto y no el de colocación por falta de tiempo (aspecto mencionado en los alcances y limitaciones).

En la comparación respectiva de las dos fases: la primera sin implementar las herramientas Lean y en la segunda en donde sí se utilizaron, se pudo observar la mejora en los tiempos en términos porcentuales, así como en los costos para los diferentes tipos de concretos.

Al evaluar la fase de implementación se generaron los procedimientos que sirven como herramienta para la toma de decisiones en cuanto al uso del equipo en futuros proyectos.

Se concluyó que el uso de Lean, tanto en la planificación al utilizar *Last Planner*, *Value Stream Mapping* para la detección de puntos de mejora, además de las medidas de productividad y evaluación a través de *Crew Balance* en el proceso de colocación del concreto, contribuyeron a una mejora de más de un 50% en los tiempos de un ciclo de producción, y a más de un 30% en términos de los costos de los diferentes tipos de concretos realizados.

# Introducción

La presente investigación se realizó en un proyecto ubicado en La Guácima de Alajuela, este surgió ante la necesidad de una empresa constructora de desarrollar una metodología de control para el uso correcto de un equipo recién adquirido, del cual no se tenía experiencia de operación. El equipo es una autohormigonera de marca Fiori modelo DB460CBV, la cual se utiliza para la producción de concreto en sitio.

El concreto es un elemento fundamental para realizar obras de construcción. Por la magnitud del proyecto, control de colocación y evaluación de costos, era necesaria una metodología que involucrara una planificación eficiente del uso del equipo y que a su vez garantizara una colocación de volumen mínima diaria, con el fin de obtener un costo competitivo con respecto al precio del concreto premezclado que se maneja en el mercado. La metodología también permite dar seguimiento en cuanto a la colocación del concreto, control de gasto, informes semanales y detección de oportunidades de mejora en la producción y ocupación del concreto para un uso óptimo del equipo. Con esto se tiene una metodología de control acorde con la necesidad de la empresa, además sirve como punto de partida de la toma de decisión de gerentes de proyectos sobre si es rentable utilizar esta máquina.

La metodología se desarrolló utilizando como base la filosofía *Lean Construction*, aplicada alrededor del mundo, así como el uso de herramientas como el *Last Planner* para planificar y *Value Stream Mapping* en la evaluación de la producción y para detectar oportunidades de mejora. También se evaluó la productividad en las cuadrillas de colocación: la descarga del concreto afecta el rendimiento del equipo, por lo cual también fue necesario detectar oportunidades de mejora en este proceso.

## Objetivos

### Objetivo general

- Desarrollar una metodología para la mejora de la planificación y control de productividad en los procesos de producción y colocación de concreto con autohormigonera.

### Objetivos específicos

- Determinar los requerimientos de planificación y productividad necesarios en los procesos seleccionados.
- Establecer una metodología con base al enfoque Lean para la planificación y control de productividad.
- Analizar los procesos seleccionados a través de mediciones con Diagramas de recorrido, *Value Stream Mapping* y Crew Balance.
- Elaborar procedimientos que sirvan de herramienta para la toma de decisiones en cuanto al uso del equipo.

# Alcance y limitaciones

- La selección de los procesos, los cuales fueron sujetos de estudio para el desarrollo del proyecto, fue por parte de la empresa, acorde con sus necesidades y requerimientos.
- Este proyecto va enfocado al desarrollo de una metodología relacionada con la productividad y rendimientos de producción y colocación de concreto, no toma en cuenta aspectos de control de calidad ni diseños de mezcla de concreto.
- El puesto dado al practicante fue de coordinador de producción de concreto, por ende, él tenía potestad de toma de decisiones en cuanto al proceso de producción, no así en el proceso de colocación, para este último solo podía brindar recomendaciones, basado en los datos recolectados mediante los respectivos muestreos.
- La toma de mediciones de productividad y rendimientos van aplicadas solamente al equipo y las cuadrillas de colocación, puesto que estos eran los intereses de la empresa.
- Debido a la magnitud del proyecto y la gran cantidad de trabajadores, se decidió tomar los muestreos a partir de videos, puesto que por recorridos a lo largo del día era imposible identificar a las personas.
- Se tomaron como base estudios y proyectos de graduación anteriores para conocer la cantidad de mediciones necesarias para tener datos con validez estadística.
- Los diagramas de recorrido se realizan con el objetivo de recolectar datos necesarios para la realización de los *Value Stream Mapping* y diagramas de flujo del proceso de producción.
- Los datos y recomendaciones son aplicables a proyectos con características similares.
- Al existir la necesidad de obtener datos significativos de implementación de las mejoras para realizar respectivas comparativas, el proyecto se extendió un mes para su entrega completa.
- Se muestreó el proceso de colocación de concreto en actividades como sello, placas, columnas, muros y entrepiso.
- Para el proceso de colocación se tomaron mediciones de productividad tanto para concreto hecho con la autohormigonera como para concreto premezclado, puesto que en la organización de las cuadrillas es indiferente el origen del concreto.
- Los datos de día, hora y temperatura son meramente informativos y no se utilizaron como variables de productividad y rendimientos.
- Se tenía una inexistencia de procedimientos previos para determinar los requerimientos de la empresa a en cuanto a productividad.
- Al establecer la metodología lo que se busca es estandarizar la medición de productividad en los procesos seleccionados.

# Marco teórico

El siguiente apartado se focaliza en definir o explicar todos aquellos conceptos relevantes utilizados en el desarrollo de este documento, mediante el uso de fuentes de información significativa, las cuales han generado un conocimiento base para el desarrollo del proyecto.

## Especificación de requerimientos

Una especificación de requerimientos busca definir o nombrar un futuro sistema, el cual es necesario por una organización, además de explicar qué hace este, mediante la definición de objetivos y metas por cumplir, también busca definir cómo alcanzar estas metas y cuáles son sus precondiciones o supuestos que limitan el alcance de los objetivos y metas (IEEE, 2008).

Mediante lo mencionado en el párrafo anterior, el desarrollador puede entender exactamente qué es lo requerido por el cliente, además de distinguir entre lo prioritario en el desarrollo de las tareas.

## Análisis FODA

El objetivo primordial de un análisis a través de una matriz FODA es observar cuáles factores internos y externos afectan a cualquier situación sujeta de estudio, y así de esta forma, desarrollar una planificación sólida en torno a ese panorama de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas ("FODA: Matriz o Análisis FODA – Una herramienta esencial para el estudio de la empresa", 2017).

Las fortalezas se definen como esos atributos o destrezas que se poseen internamente, las debilidades son situaciones perjudiciales o desfavorables, las oportunidades son condiciones externas que pueden ayudar a cumplir los objetivos y

las amenazas son aspectos perjudiciales externos los cuales se pueden convertir en oportunidades si se gestionan de una correcta forma la planificación. Estos análisis se deben realizar en conjunto por un grupo de trabajo ("FODA: Matriz o Análisis FODA – Una herramienta esencial para el estudio de la empresa.", 2017).



Figura 1. Análisis o matriz FODA. Fuente: ("FODA: Matriz o Análisis FODA – Una herramienta esencial para el estudio de la empresa.", 2017)

## Diagrama de Ishikawa

También conocido como "diagrama causa efecto", es una de las siete herramientas básicas de calidad, "Consiste en una representación gráfica que permite identificar las causas que explican un determinado problema, la cual la convierte en una herramienta de gestión de calidad ampliamente utilizada dado que orienta la toma de decisiones al abordar las bases que determinan un desempeño deficiente. La estructura es intuitiva: identifica un problema o efecto y luego enumera un conjunto de causas que potencialmente explican dicho comportamiento". ("Qué es el Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Causa Efecto", 2017)

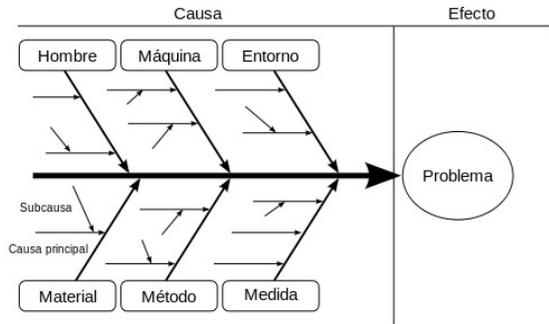


Figura 2. Diagrama causa efecto. Fuente: ("Qué es el Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Causa Efecto", 2017)

## Productividad y técnicas de medición

Según Leandro (2016) la productividad se define como "la medida de la efectividad de las habilidades del administrador del proyecto, los trabajadores, los equipos y los materiales que son utilizados en el sitio de trabajo para obtener un producto".

Los procesos constructivos se caracterizan por una gran demanda de mano de obra, equipos y materiales, por ende, resulta importante considerar la eficiencia o efectividad con la cual se están utilizando estos recursos (Leandro, 2016). Sin embargo, es característico de las empresas constructoras no tener un monitoreo de la productividad, puesto que no conocen del término, no saben cómo medirlo o piensan que se puede controlar (Leandro, 2016).

### Tiempo productivo

A aquellos tiempos que le agregan valor a un proceso o actividad se les conoce como tiempo productivo (LCE, 2017). Durante estos tiempos es cuando el producto que se está realizando mediante un determinado proceso o actividad se transforma, se crea o se modifica, a lo cual se le conoce como "agregar valor".

$$\frac{\text{Tiempo u observaciones productivas}}{\text{Tiempo u observaciones totales}} \times 100 = \% \text{ tiempo productivo (ecuación 1)}$$

### Tiempo contributivo

El aquel tiempo que se consume en actividades o procesos que ayudan agregar valor al producto, por ejemplo los transportes. Son actividades necesarias para la realización de producto, pero no agregan valor directo en el proceso o actividades de elaboración (LCE, 2017).

$$\frac{\text{Tiempo u observaciones contributivas}}{\text{Tiempo u observaciones totales}} \times 100 = \% \text{ tiempo contributivo (ecuación 2)}$$

### Tiempo improductivo

Es aquel tiempo consumido en la actividad o proceso, el cual no agrega valor al producto que se esté realizando. También se le conoce como "tiempos muertos" o "tiempo de pérdidas" puesto que lo único que generan son gastos económicos (LCE, 2017).

$$\frac{\text{Tiempo u observaciones improductivas}}{\text{Tiempo u observaciones totales}} \times 100 = \% \text{ tiempo improductivo (ecuación 3)}$$

### Muestreo del trabajo

Con el fin de realizar un muestreo del trabajo para medir la productividad, el primer aspecto por definir es el tamaño de la muestra para que los datos sean significativos, y así tener un nivel de confianza aceptable. Según los autores Oglesby, Parker y Howell (1988), los rangos de productividad en las actividades de construcción normalmente se encuentran entre el 40% y el 60%. Mediante el monograma de la figura tres se puede obtener que para los porcentajes de productividad anteriormente mencionados, al tener en cuenta un porcentaje de confianza del 95%, el total de mediciones necesarias son 384 para cada proceso muestreado.

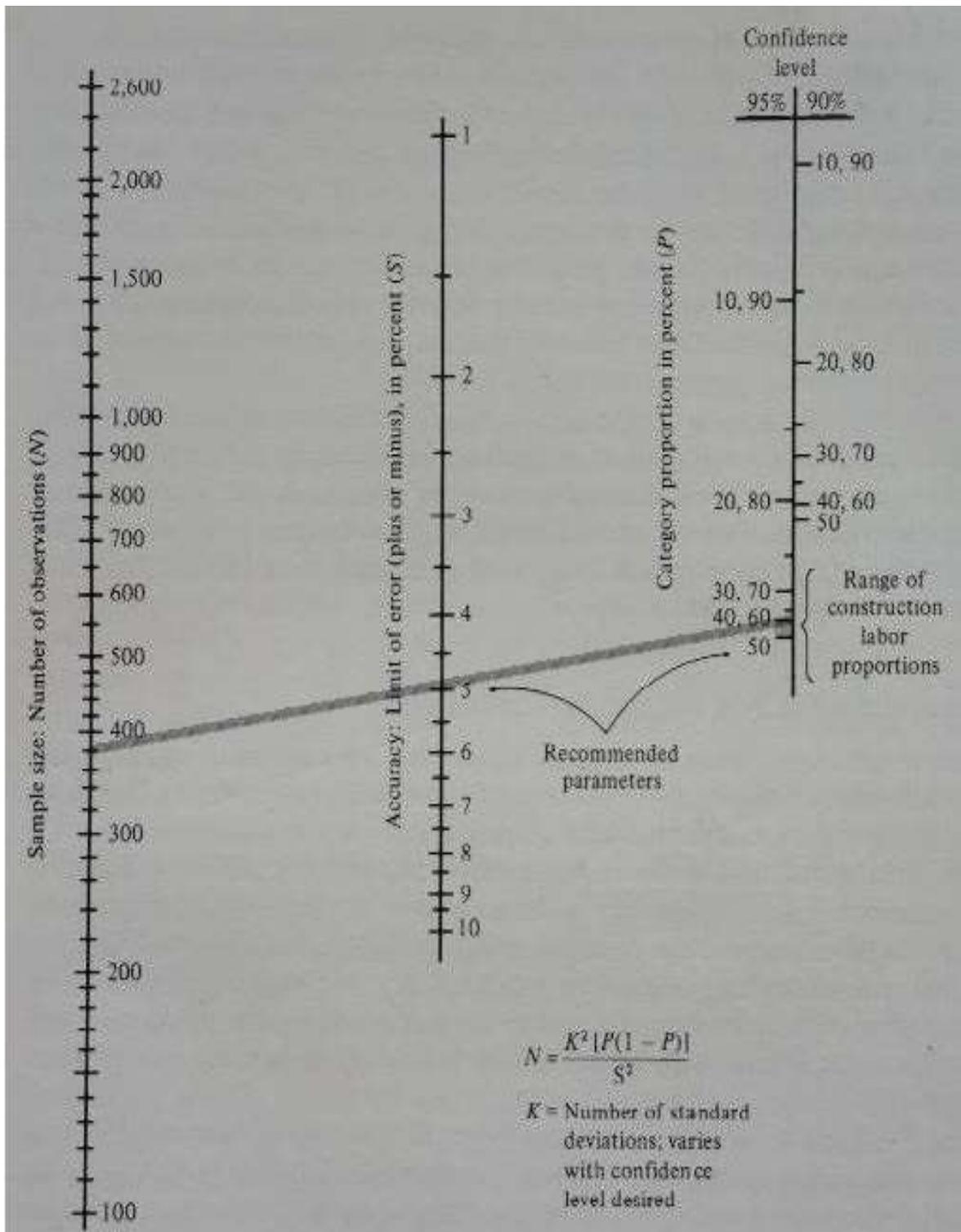


Figura 3. Nomograma del número de observaciones necesarias para un nivel de confianza de un 95% en el muestreo de procesos en la construcción. Fuente: (Oglesby, Parker y Howell, 1988).

## Crew Balance

Este método ha sido aplicado por muchos años en la Ingeniería Industrial, para estudiar la eficiencia de las combinaciones entre hombre y máquina. Permite resolver la necesidad de describir de manera detallada y formal cómo se realiza un proceso de construcción; además, permite comentar el método usado y determinar la cantidad de obreros más adecuada para cada cuadrilla (Serpell y Verbal, 1990).

El *Crew Balance* consiste en un gráfico de barras verticales, en donde se indican los recursos participantes en la actividad estudiada, al asignarle una barra vertical a cada recurso. Tal barra se subdivide en un porcentaje de tiempo según la secuencia de actividades en que participa el respectivo recurso, con la inclusión de los lapsos improductivos y contributivos (Serpell y Verbal, 1990).

El objetivo de esta técnica es analizar la eficiencia del método constructivo empleado, de modo que no se pretende conseguir que se trabaje más duro, sino en forma más inteligente. Las vías para mejorar la eficiencia del grupo de trabajo que materializa las actividades de interés son la reasignación de tareas entre sus miembros o la modificación del tamaño del grupo que conforma la cuadrilla (Serpell y Verbal, 1990).

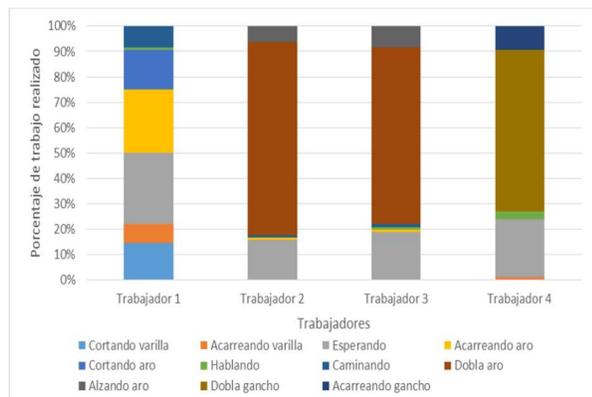


Figura 4. Gráfico típico de Crew Balance. Fuente: (Camacho, 2016)

## Diagramas de recorrido

Consiste en un procedimiento básico para recolectar de información de un determinado proceso. Con este procedimiento se registran la sucesión de hechos, en el orden que ocurren, indicando su escala de tiempo o duración, de modo que se observe la mejor la acción mutua de sucesos relacionados entre sí (Kanawaty, 1996).

Para ilustrar todo lo referente a un trabajo u operación, resulta mucho más fácil emplear un conjunto de símbolos que represente todos los tipos de actividades que se desarrollan en el proceso. Un círculo representa una "operación o procediendo" en este caso el producto se ve modificado durante su transcurso (Kanawaty, 1996).

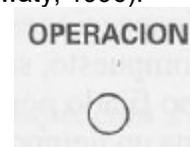


Figura 5. Símbolo de operación. Fuente: (Kanawaty, 1996).

Un cuadro representa inspección de calidad o cantidad, en este proceso no se contribuye a la conversión del material en producto acabado, solo sirve para comprobar si la operación se ejecutó correctamente. La flecha representa transporte, indica un movimiento del equipo u operador de un lugar a otro. (Kanawaty, 1996)

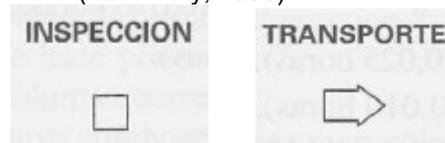


Figura 6. Símbolo de inspección y transporte. Fuente: (Kanawaty, 1996)

Las esperas o almacenamientos temporales son representadas por un semicírculo mientras que los depósitos permanentes se muestran con triángulos invertidos, la metodología permite ilustrar actividades combinadas colocando dos figuras, una sobre otra, para representar la multiplicidad de funciones (Kanawaty, 1996).

Todo el recorrido se ilustra como se muestra en la figura 7. Seguidamente, en un cuadro se coloca la información referente a tiempos y distancias así como el nombre de las tareas desarrolladas para su posterior análisis.

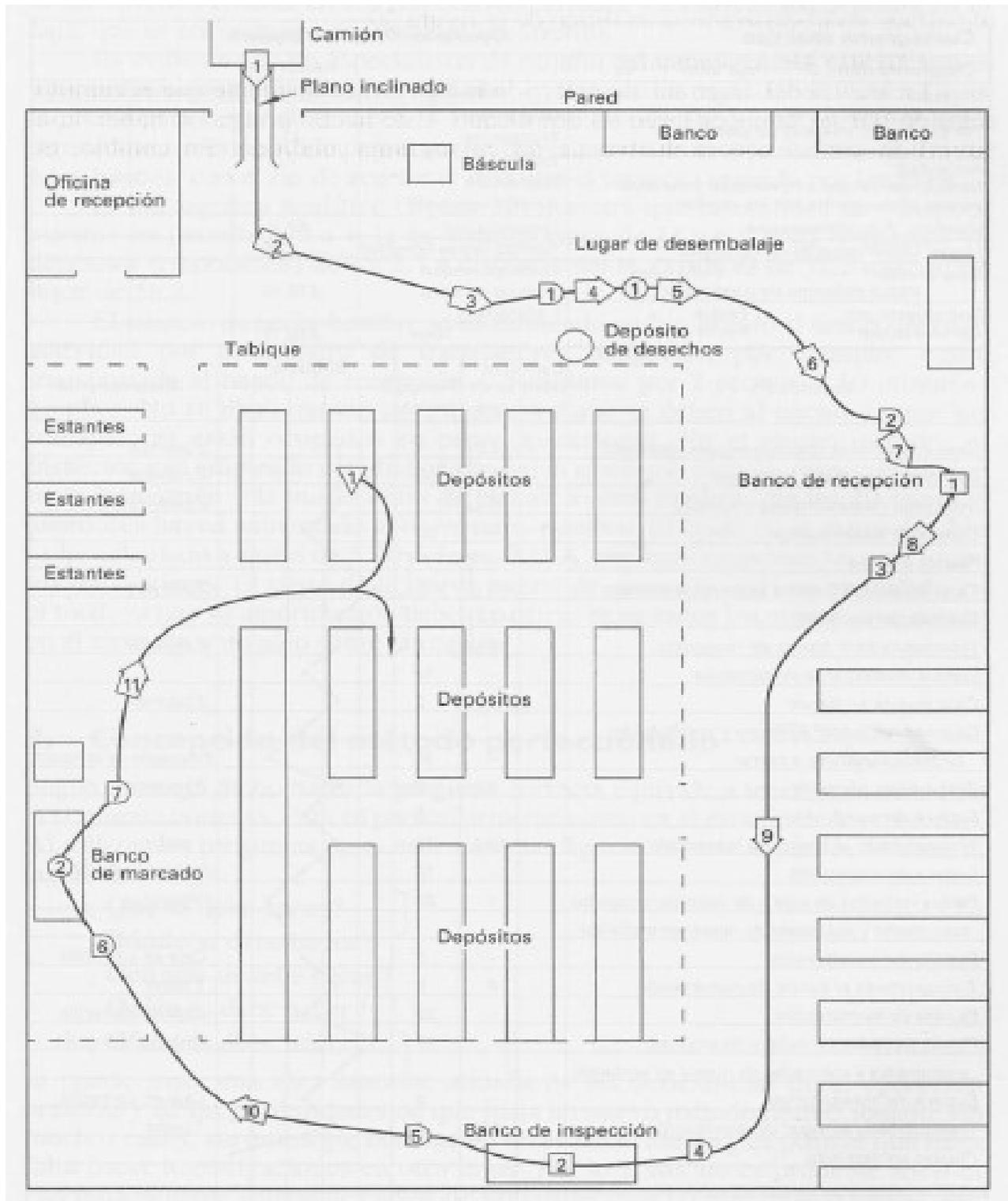


Figura 7. Ejemplo de diagrama de recorrido. Fuente: (Kanawaty, 1996).

# Diagramas de flujo

Son esquemas para una presentación gráfica de la secuencia de operaciones, muy utilizados para la representación de algoritmos, procesos y operaciones específicas. Utilizados en los aspectos computacionales, economía e industria (Vanegas, 2012).

En estos se puede apreciar un flujo de datos o tareas y existen de tres tipos: secuenciales, selectivos y repetitivos. Según Vanegas (2012), algunas características son las siguientes:

1. Poseen inicio y un fin.
2. Su secuencia va desde arriba hacia abajo o de izquierda a derecha,
3. Cada acción posee un símbolo.
4. A todas las tareas debe de llegar una flecha y salir otra.

Elementos de un diagrama de flujo: (Vanegas, 2012).

1. Inicio, fin o terminal: representa el inicio o el fin del proceso.
2. Línea de flujo: indica la dirección de proceso.
3. Entrada-salida: indica la salida o entrada de datos al proceso.
4. Proceso o instrucción: representa un evento o proceso determinado.
5. Decisión: representa una condición de dos caminos posibles.

Algunas ventajas de estos diagramas es la simplicidad además de la representación gráfica del flujo de lo que sea que se esté representando. Hace el intuitivo el flujo del proceso, además de que permite representar de forma fácil operaciones complejas (Vanegas, 2012).

En representación de los procesos constructivos son muy importantes, puesto que se puede visualizar cuáles son las entradas de un proceso constructivo y cuáles son sus salidas o productos, y en medio ese conjunto las tareas interconectadas generadoras de un proceso (Leandro, 2016).

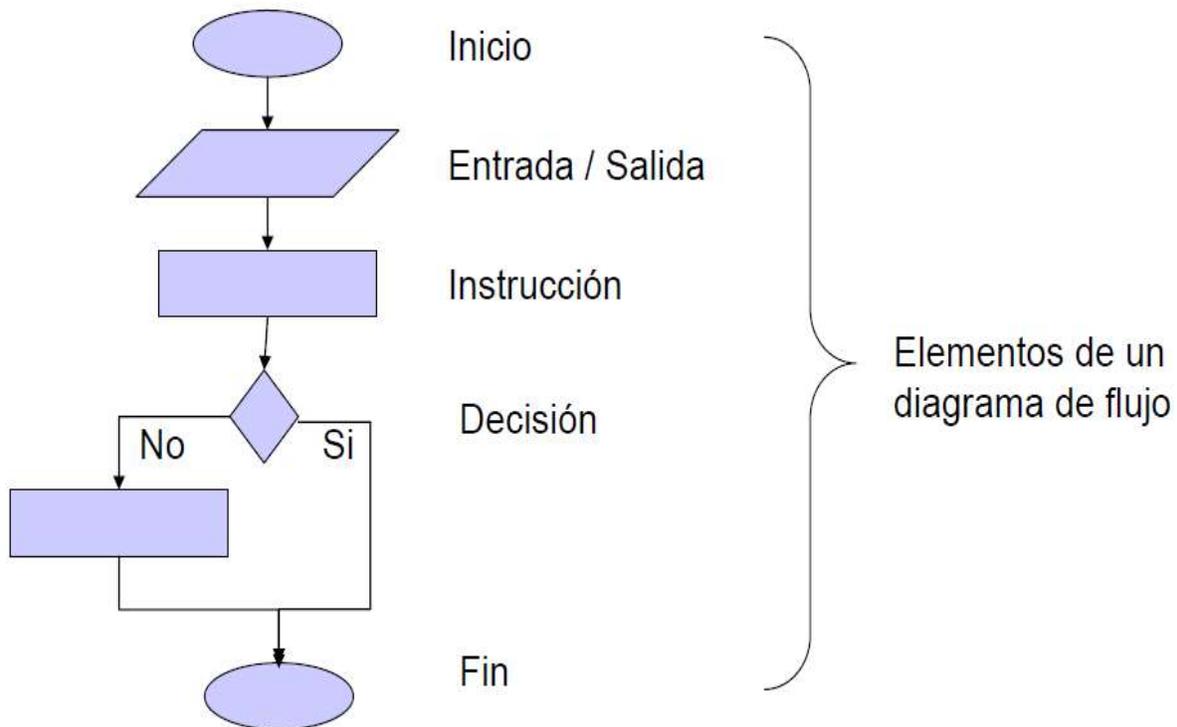


Figura 8. Elementos de un diagrama de flujo. Fuente: (Venegas, 2012).

# Lean Construction

“Lean Construction o construcción sin pérdidas en español, es un enfoque dirigido a la gestión de proyectos de construcción. Se originó en el Lean Production Management, el cual produjo una revolución en el diseño y producción industrial en el siglo XX”. (LCE, 2017)

“Este enfoque maximiza el valor y minimiza las pérdidas de los proyectos, mediante la aplicación de técnicas en busca de incrementar la productividad de los procesos de construcción. El principio básico de Lean Construction es reducir al máximo posible el tiempo invertido en actividades que no le agregan valor al producto final”, es decir, reducir el tiempo improductivo (LCE, 2017).

# Value Stream Mapping

También conocidos como mapas de flujo del valor “es una herramienta de la filosofía Lean, que se utiliza en ámbitos administrativos y de producción de construcción, la cual permite identificar todas las

acciones que agregan valor a un proceso” (“¿Qué es Value Stream Mapping?”, 2017).

Se debe de realizar una recolección de información del estado actual tratando de conocer todos los movimientos, acciones o trabajos que se hacen al realizar un proceso (diagrama de recorrido); una vez obtenida toda esta información se puede plasmar de forma gráfica en un *Value Stream Mapping* y de ahí, con los datos obtenidos, poder plantear las oportunidades de mejora que se transformen en un mapa de estado futuro, un plan de implementación, donde se vayan llevando a cabo las acciones planteadas y un programa de medición y análisis, donde se pueda conocer el alcance de las mejoras, es decir, cómo han afectado las acciones realizadas (Lledo Pardo, 2017).

Se deben aclarar varios conceptos para entender el *Value Stream Mapping*: el *Lead Time* (LT) que es el tiempo total del proceso, el tiempo de valor agregado (VA) que es la suma de los tiempos de las actividades que agregan valor y el tiempo del ciclo o TC (Rother y Shook, 1999) .

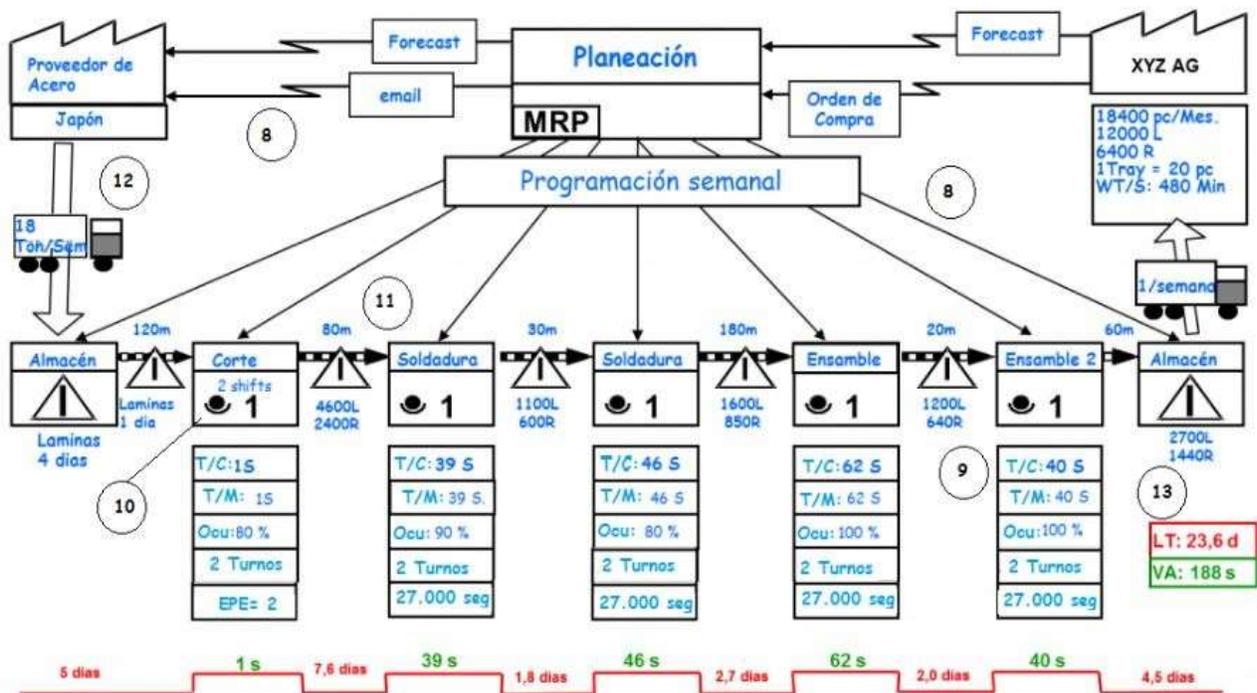


Figura 9. Ejemplo de Value Stream Mapping. Fuente: (Rother y Shook, 1999).

## Last Planner

Este un sistema de control para la mejora del cumplimiento de actividades y una correcta utilización de los recursos en proyectos de construcción mediante el uso de la planificación o programación (LCE, 2017). Su principio básico está basado en aumentar el cumplimiento de las actividades de construcción disminuyendo la incertidumbre al utilizar la planificación. Para una correcta programación y control es importante llevar un registro de cumplimiento, este se evalúa a través del “Porcentaje de actividades cumplidas” o PAC, donde se contemplan las actividades realizadas en relación con las programadas (LCE, 2017).

$$\frac{\text{Número de actividades cumplidas}}{\text{Numero de actividades programadas}} \times 100 = PAC \text{ (ecuación 4)}$$

## Autohormigonera

Es una máquina mezcladora de concreto autocargante, es decir, es capaz de cargar los materiales necesarios para la producción de concreto mediante las herramientas que posee. Son utilizadas como una alternativa para la producción de concreto en sitio en diferentes partes del mundo, ya que estas poseen un sistema computarizado que permite producir concreto respetando una dosificación previamente establecida, lo cual garantiza la producción de concreto de calidad bajo cualquier condición. Por temas de facilidad de entendimiento, su capacidad de producción se expresa en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) por hora (hr) (Galloovich, 2017).



Figura 10. Autohormigonera Fiori modelo DB460CBV. Fuente: ("DB460B", 2017)

## Costos

### Costo de equipo

Los costos de un equipo dependen de si este es alquilado o propio. Si el equipo es alquilado, a la hora de hacer una evaluación de costos y cuales se incluyen en el alquiler, de acuerdo con Ortiz, Paniagua y Sandoval (2009) se debe de tomar en cuenta lo siguiente:

1. La tarifa por alquiler (ya sea por hora, día, semana, mes).
2. Los gastos de operación:
  - a. Combustible.
  - b. Lubricantes, filtros, grasas.
  - c. Neumáticos.
  - d. Repuestos.
  - e. Salario del operador.

### Costo de materiales

En cuanto al costo de materiales, de acuerdo con Ortiz, Paniagua y Sandoval (2009), estos se ven afectados por:

1. Oferta y demanda de material.
2. Calidad.
3. Cantidad.
4. Disponibilidad de entrega.

5. Ubicación del proyecto.
6. Transporte.
7. Relación comprador – proveedor.
8. Almacenamiento.
9. Impuestos.

## Costo de mano de obra

El costo total de mano de obra se compone de varios rubros:

1. Salarios.
2. Cargas Sociales.
3. Viáticos.
4. Bonificaciones.

“Los dos primeros rubros están presentes siempre. Los últimos dos, pueden darse o no dependiendo de las condiciones del proyecto y de las políticas de remuneración de la empresa. En cuanto al salario siempre se debe de considerar el salario mínimo por el ministerio de trabajo, así como el salario del mercado que es dictado por la oferta y demanda que exista” (Ortiz, Paniagua y Sandoval, 2009).

En cuanto a las cargas sociales el patrono debe considerar una serie de porcentajes:

Institución	% sobre el salario
Banco Popular	0.50%
Asignaciones Familiares	5.00%
IMAS	0.50%
INA	1.50%
CCSS: enfermedad y maternidad	9.25%
CCSS: invalidez, vejez y muerte	4.75%
Fondo de capitalización	3.00%
Régimen obligatorio de pensiones	1.50%

Figura 11. Porcentaje de cargas sociales a pagar por el patrono. Fuente: (Ortiz, Paniagua y Sandoval, 2009).

Feriatos pagados	2.25%
Vacaciones	4.49%
Aguinaldo	8.33%
Preaviso	4.14%
Cesantía	5.33%

Figura 12. Porcentaje de otras cargas sociales que se deben de considerar como patrono. Fuente: (Ortiz, Paniagua y Sandoval, 2009).

En total el patrono debe de considerar un 50% más sobre el salario del trabajador (Ortiz, Paniagua y Sandoval, 2009).

## Conceptos relevantes

1. Metodología: conjunto de procedimientos o métodos aplicados con el fin de cumplir ciertos objetivos (Pérez y Gardey, 2012).
2. Actividad: elemento de trabajo que se lleva a cabo durante el transcurso de uno o varios procesos proceso (Cogui, 2016).
3. Proceso de construcción: sucesión de acciones, recursos y tareas realizadas con un orden racional, que se dirigen hacia una determinada finalidad (Leandro, 2016).
4. Tarea: acción dentro de un proceso, por consiguiente un conjunto de tareas conforman un proceso (Padilla, 2016).
5. Recurso: es todo lo necesario para llevar a cabo una determinada tarea, hay de tres tipos: de mano de obra, de materiales, y de equipos (Leandro, 2016).

# Metodología

En el presente apartado se describe cómo se actuó para llegar a cumplir todos los objetivos del proyecto.

Este trabajo se desarrolló como una práctica profesional dirigida, para una empresa constructora de renombre en el país, la cual se encuentra desarrollando un proyecto de interés nacional en La Guácima de Alajuela, específicamente 200 metros sur del Auto Mercado, costado norte de la entrada principal de Hacienda Los Reyes. Este proyecto consta con área constructiva de 19 351 m<sup>2</sup> y es producto de la inversión extranjera directa, se busca edificar un centro educativo el cual va servir como modelo de desarrollo de educación para el país.



Figura 13. Maqueta del proyecto en desarrollo, lugar en donde del desarrollo de la práctica profesional. Fuente: cliente.

Toda la infraestructura tiene un costo aproximado a los \$16 000 000 según presupuesto aportado por la constructora. La infraestructura del colegio consta de nueve edificios o construcciones diferentes, entre las cuales destacan un polideportivo, área de parqueos en sótano, edificios de administración, kínder, primaria, secundaria, auditorio y un edificio de apartamentos de dos niveles.

El sistema constructivo de todas las edificaciones consta en sus cimientos de una combinación de placas aisladas con vigas de amarre y placas corridas. En las paredes de los edificios de dos o tres niveles como sótano, polideportivo, y primaria, secundaria y administración se pueden encontrar muros de concreto reforzado confinados entre columnas y vigas de concreto reforzado, para edificaciones de un nivel como el edificio de kínder y el caso especial de apartamentos -de dos niveles- se encuentran paredes de mampostería confiada entre columnas y vigas de concreto reforzado.



Figura 14. Fotografía área del proyecto en desarrollo. Fuente: constructora.

Además de todas las edificaciones mencionadas anteriormente, también en el proyecto se encuentra en vía de desarrollo diferente infraestructura, como pasos cubiertos, parqueos, drenajes para aguas pluviales y sistemas electromecánicos, planta de tratamiento de aguas residuales, todo esto necesario para una correcta operación del colegio en un futuro.

Durante la fase de planeación del proyecto, la constructora consideró la producción de concreto en sitio mediante el uso de equipo recién adquirido, el equipo es una autohormigonera

marca "FIORI Modelo DB460B" la cual da las facilidades de producir concreto de cualquier tipo prácticamente en sitio.

Al ser un equipo recién adquirido, la constructora no tenía experiencia previa de producción con este, además, con un costo aproximado a los doscientos mil dólares (\$200 000) existían grandes expectativas por parte de la gerencia de la empresa, en cuanto a la producción de concreto y si en realidad podía llegar a ser un equipo rentable. A raíz de todo esto surgió la necesidad de realizar una metodología para el control de producción de concreto y todas sus variables particulares que influirán durante el proceso, la cual a su vez evaluará el estatus de producción, lo mejorará si existiese la posibilidad y que estas mejoras condujeran a resultados aceptables, así como servir como base para que futuros proyectos tomen decisiones a través de los resultados obtenidos.

## Procedimiento

El proyecto se desarrolló en cuatro fases. La primera se le nombró "Fase de planeación y control requerido" para la producción de concreto con la autohormigonera, en esta se buscaron los requerimientos para el proyecto y empresa, se evaluaron las fortalezas y debilidades del proceso de producción de concreto y su colocación, de manera preliminar, además se planeó cómo recopilar y presentar los resultados obtenidos a largo del tiempo.

La fase dos se nombró "Ejecución y evaluación de procesos", en la misma se ejecutó y se evaluó el proceso de producción y colocación de concreto tal cual la administración de la autohormigonera y la constructora lo planteó; el proceso de producción estaba a cargo de una empresa productora de concreto de renombre en el nivel nacional. Durante esta fase se cuantificó la productividad del proceso, las variables que lo afectaban y las posibles opciones de mejora.

La fase tres se nombró "Evaluación de la implementación de recomendaciones", en esta fase se implementaron las recomendaciones obtenidas en la fase dos, además de evaluar el

rendimiento de la producción de concreto. También se realizó una comparativa de la fase dos con la tres para observar el progreso.

La fase cuatro se le nombro "Evaluación de lineamiento de producción", ya con una experiencia generada en la ejecución del proceso, se mencionan cuáles son los lineamientos por seguir desde ese momento en adelante para que la producción de concreto con la autohormigonera obtenga resultados de rendimientos aceptables. Se menciona cómo debe de ser el proceso en términos generales y cuáles serán los costos asociados con el rendimiento obtenido del equipo.

## Fase de planeación y control requerido

Lo primero en realizar en esta fase fue la recopilación de información por del practicante acerca de los requerimientos particulares en el proyecto para el proceso de producción de concreto. Para ello se recopiló información de entrevistas a seis ingenieros presentes en el proyecto, de manera específica se entrevistó uno por uno de tal forma que ellos comentaran según su criterio de ingenieros residentes y gerentes, cuáles debían de ser las principales pautas por seguir en el desarrollo de las labores.

Una vez obtenida esta información lo siguiente fue procesarla y presentarla formalmente, para ello se utilizó como base el formato 830 de la IEEE para la presentación de la especificación de requisitos, este formato es utilizado mayormente en área el de la Ingeniería en Computación, por ende, fue necesario realizar ajustes; sin embargo, el concepto y esencia son los mismos.

Ahora bien, el siguiente paso fue la realización de un análisis FODA de los procesos de producción y colocación de concreto, fue realizado con aporte de información de los ingenieros, el objetivo fue detallar de manera preliminar cuáles podían ser las principales fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas en estos procesos, para tener una idea más clara de cuáles son las posible variables que podían afectar la productividad y rendimiento del equipo. El

siguiente paso fue la realización de diagrama de causa-efecto, esto para observar de manera gráfica y con más detalles esas debilidades o amenazas anteriormente mencionadas, a las cuales se les deben prestar atención y que a futuro podían ser sujeto de intervención para una mejora de los procesos.

Una vez establecidos los parámetros preliminares por considerar en los procesos de producción, se procedió a realizar las respectivas tablas de control requeridas e involucramiento en las actividades de planeación existentes. En el proyecto ya se existe la planeación mediante la herramienta *Lean* llamada "*Last Planner*", ante esto lo que se buscó realizar es que semana a semana se tocara como tema de reunión el uso de la autohormigonera en el proyecto. A través de esta reunión fue posible recopilar de datos para una agenda semanal del uso del equipo. Para recopilar esta información y una posterior divulgación fue necesario elaborar una respectiva tabla.

Constructora						
Programación uso de autohormigonera						
Elaborado por: Christopher Cruz Rosales						
Semana:	L	K	M	J	V	S
REQUERIMIENTO DE AUTOHORMIGONERA						
6:00 am - 7:00 am						
7:00 am - 8:00 am						
8:00 am - 9:00 am						
9:00 am - 10:00 am						
10:00 am - 11:00 am						
11:00 am - 12:00 pm						
12:00 pm - 1:00 pm						
1:00 pm - 2:00 pm						
2:00 pm - 3:00 pm						
3:00 pm - 4:00 pm						
4:00 pm - 5:00 pm						
5:00 pm - 6:00 pm						
6:00 pm - 7:00 pm						

Observaciones de Ingenieros			
Ingeniero 1	Ingeniero 2	Ingeniero 3	Ingeniero 4

Figura 15. Cuadro de requerimiento semanal de uso de autohormigonera. Fuente: elaboración propia.

Ya con una planificación semanal, también fue necesario la confirmación el día antes de realización de los respectivos compromisos. Para esta confirmación se consultaba vía correo electrónico. Además de toda esta logística, *Last Planner* también permite la evaluación del cumplimiento de los compromisos por parte de los ingenieros, ante esto se generó una tabla de evaluación de esos cumplimientos la cual también se entregó semanalmente.

Constructora				
Resumen de control de solicitudes de concreto				
Elaborado por: Christopher Cruz Rosales				
Ingeniero	Volumen / PAC en Last planner	Volumen / PAC al día antes	Colocado	Observaciones
Ingeniero 1	#jDM/0!	#jDM/0!		
Ingeniero 2	#jDM/0!	#jDM/0!		
Ingeniero 3	#jDM/0!	#jDM/0!		
Ingeniero 4	#jDM/0!	#jDM/0!		

Figura 16. Cuadro de evaluación porcentaje de actividades completas por ingeniero. Fuente: elaboración propia.

Para llevar un control de la colocación de concreto, y dar un seguimiento por un tema de control de calidad, fue necesario realizar guías, las cuales contienen todos los apartados necesarios informativos para un posterior control del coordinador e ingenieros.

CONSTRUCTORA

Guías Internas Para Concreto de AutoHormigonera

Guía de Entrega:	<b>AH-001</b>
------------------	---------------

Proyecto:	
Fecha:	Hora descarga:
Tipo de Concreto:	
Volumen Entregado (m3):	

N° Boleta Requisición Asociada a la Guía:	
---	--

Frente de Trabajo:	
Lugar de colocación:	
Recibido conforme por:	

Figura 17. Guía de control de concretos. Fuente: elaboración propia.

Una vez con las guías realizadas y el proceso de producción en marcha, se solicitó un cuadro de recopilación de la información con las guías, esto con el objetivo de que sea sujeto de estudio por parte de los ingenieros en sus tablas de control de concreto por frente de trabajo, así como por parte del planificador para sus informes semanales.

Constructora							
Control de producción de concreto con AutoHormigonera							
Elaborado por: Christopher Cruz Rosales							
# Guía	# Requisición	Fecha	Ingeniero	Frente Trabajo	Tipo Concreto	Volumen (m3)	Hora Descarga

Figura 18. Cuadro de control de concretos. Fuente: elaboración propia.

Uno de los requerimientos de la metodología fue la realización de informes semanales, esto con el objetivo de tener un control del rendimiento y de producción semanal, para ir monitoreando la producción del equipo y saber si los objetivos planteados por la constructora se han ido cumpliendo. Esto también permite informar acerca de la productividad del equipo a lo largo de la semana.

Resumen semanal de producción de concreto con autoHormigonera							
Proyecto:							
Semana del 15/05/2017 al 20/05/2017							
Semana	15/05/2017	16/05/2017	17/05/2017	18/05/2017	19/05/2017	20/05/2017	Resumen
Producción diaria (m3)							
Rendimiento del equipo (m3/hr)							
Tiempo productivo:							
Tiempo contributivo:							
Tiempo improductivo:							
Observaciones:							
Promedio (m3/día)	#DIV/0!						

Figura 19. Resumen semanal de producción. Fuente: elaboración propia.

En un principio, como se mencionó en párrafos anteriores, el proceso de producción estaba a cargo de forma completa por parte de una empresa productora de concreto de renombre nacional, debido a la nula experiencia que tenía la constructora con la utilización de ese tipo de equipos, por consiguiente, se planteó un modelo administrativo en el cual la empresa productora de concreto iba a operar el equipo y responsabilizarse de este completamente. El practicante fungía

meramente la coordinación antes del proceso, y control después de este, durante el proceso de producción y colocación del concreto no tenía injerencia sobre cómo se realizarla, puesto que el primero era responsabilidad de la empresa productora de concreto y el segundo de los ingenieros y maestros de los respectivos frentes de trabajo. La empresa administradora del procedimiento comenzó a tener pérdidas, ya que los rendimientos no eran los mínimos para que el costo del concreto hecho en sitio fuera similar al concreto premezclado. Ante esta situación, la empresa responsable de la operación del equipo decidió retirarse del proyecto y el proceso de producción paso a ser parte de la constructora. El coordinador y practicante pasó a ser el responsable del control total del proceso de planificación, producción y posproducción del concreto. Con esto surgió la necesidad de tener un control de gastos de materiales, en relación con el despacho de estos por parte de los proveedores.

Constructora				
Proyecto				
Control de despacho de materiales autohormigonera				
Detalle	Cemento (t)	Arena (m3)	Piedra 16 mm (m3)	Piedra 25 mm (m3)
Especificado en orden de compra				
Entregado el 05/04/2017				
Saldo	0	0	0	0
Comentarios:				
En amarillo: ya se pidió que se despachara las cantidades correspondientes, en espera de entrega.				

Figura 20. Resumen semanal de producción. Fuente: elaboración propia.

Según del tipo de concreto y además de la demanda solicitada, es necesario asociar un gasto de materiales con el frente de trabajo respectivo, con el objetivo de justificar sus gastos. Por ende, fue necesario la realización de un cuadro para que se requiriera una determinada cantidad de materiales de acuerdo con el frente que la solicitó y del tipo de material. El cuadro se realizó mediante los datos del diseño de mezcla.

Valores de requisición de materiales para concreto 210 kg/cm2 normal								
Agregado	0,5 M3	1,0 M3	1,5 M3	2,0 M3	2,5 M3	3,0 M3	3,5 M3	4,0M3
Cemento (t)	0,14	0,29	0,43	0,57	0,71	0,86	1,00	1,14
Piedra Cuarta (G25mm) (m3)	0,21	0,42	0,63	0,84	1,06	1,27	1,48	1,69
Piedra Quintilla (G16mm) (m3)	0,11	0,23	0,34	0,45	0,57	0,68	0,79	0,90
Aditivo (P95S) (lt)	0,70	1,40	2,10	2,80	3,50	4,20	4,90	5,60
Aditivo (745 NS) (lt)	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00
Arena (m3)	0,33	0,66	0,98	1,31	1,64	1,97	2,30	2,62

Figura 21. Cuadro de requisición para concreto 210 kg/cm3 Normal. Fuente: elaboración propia.

Valores de requisición de materiales para concreto 210 kg/cm <sup>2</sup> fino								
Agregado	0,5 M3	1,0 M3	1,5 M3	2,0 M3	2,5 M3	3,0 M3	3,5 M3	4,0M3
Cemento (t)	0,16	0,32	0,47	0,63	0,79	0,95	1,10	1,26
Piedra Quintilla (G16mm) (m3)	0,27	0,55	0,82	1,09	1,36	1,64	1,91	2,18
Aditivo (P955) (lt)	0,75	1,5	2,25	3	3,75	4,5	5,25	6
Aditivo (745 NS) (lt)	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Arena (M3)	0,35	0,71	1,06	1,42	1,77	2,12	2,48	2,83

Figura 22. Cuadro de requisición para concreto 210 kg/cm<sup>3</sup> fino. Fuente: elaboración propia.

Valores requisición de materiales para concreto Toba 10								
Agregado	0,5 M3	1,0 M3	1,5 M3	2,0 M3	2,5 M3	3,0 M3	3,5 M3	4,0M3
Cemento (t)	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33	0,39	0,46	0,52
Piedra Cuarta (G25mm) (m3)	0,17	0,35	0,52	0,70	0,87	1,05	1,22	1,40
Piedra Quintilla (G16mm) (m3)	0,11	0,21	0,32	0,42	0,53	0,64	0,74	0,85
Aditivo (P955) (lt)	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4
Arena (m3)	0,38	0,76	1,14	1,52	1,91	2,29	2,67	3,05

Figura 23. Cuadro de requisición para concreto tobacemento 10. Fuente: elaboración propia.

## Fase de ejecución y evaluación de procesos

Para llevar a cabo esta fase fue necesario dividir los dos procesos que afectan el rendimiento del equipo: el proceso de producción de concreto y el proceso de colocación, los cuales son muy distintos uno del otro, al mismo tiempo son dependientes y en conjunto dan como resultado el rendimiento del equipo.

Al iniciar con el proceso de producción, para hacer una evaluación acerca de sus tiempos productivos, contributivos e improductivos y sus posibles opciones de mejora, la técnica elegida para la recolección de información fue los diagramas de recorrido, para poderlos realizar fue necesario un mapa con el diseño de sitio del lugar, el cual debía de reflejar todos los lugares de almacenamiento de materiales, además de los obstáculos principales para el recorrido del equipo.

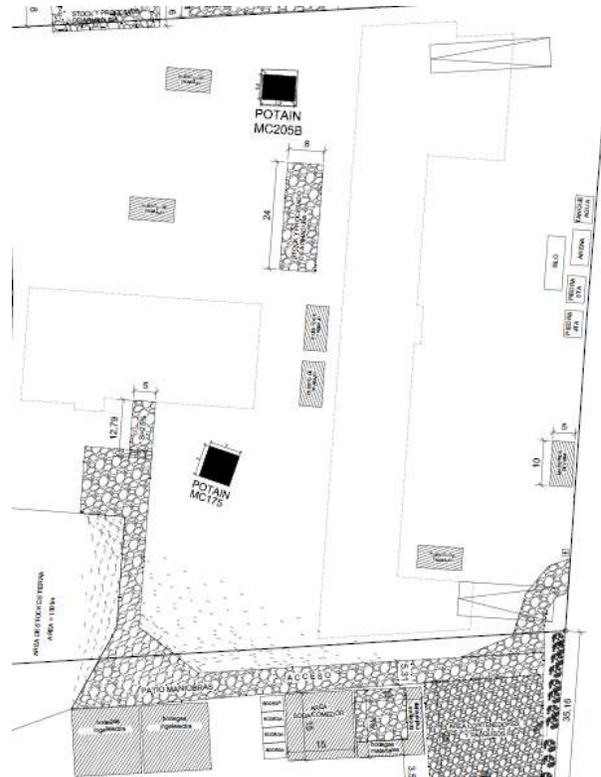


Figura 24. Diseño de sitio del proyecto en ejecución. Fuente: elaboración propia.

Para esta fase se muestrearon siete procesos de producción de manera aleatoria, con el objetivo de conocer los movimientos del equipo, tiempos de los respectivos movimientos y las particularidades o variables que afectan el proceso el proceso de producción. Una vez obtenidos estos tiempos, se procedió a realizar los respectivos cálculos de los porcentajes de tiempos productivos, contributivos e improductivos. Ya con esta información, además de las particularidades observadas durante el proceso, se realizó un análisis integral de todos los datos obtenidos, para una posterior ejecución del diagrama de flujo y el *Value Stream Mapping*.

El objetivo del diagrama de flujo es realizar la representación de manera gráfica del proceso de producción de concreto, las variables a las cuales el proceso este sujeto, y que a su vez sirva para un mejor entendimiento más fácil del *Value Stream Mapping*.

El objetivo de utilizar el *Value Stream Mapping* es evaluar de manera gráfica el proceso de producción, cómo es que funciona, visualizar los



de procesar toda la información de manera que devuelve los respectivos gráficos y cuadros de *Crew Balance*, gráficos y cuadros de la productividad de las cuadrillas y los trabajadores., para una posterior evaluación de los datos entregados y a raíz de ellos las posibles recomendaciones.

Para el proceso de colocación de concreto se decidió muestrear aleatoriamente nueve procedimientos, en los cuales se combinaron varios tipos de elementos como placas de cimentación, muros, columnas, y entrepiso. También se combinaron varios tipos de descargas: con maquinaria, con carretillo, con grúa, con bomba estacionaria y con bomba telescópica. Todo esto en tres frentes de trabajo distintos, el objetivo de tener tanta variabilidad en los procesos muestreados es que eso contribuye a analizar más aspectos particulares que se pueden manifestar, y con ellos más opciones de mejora que no necesariamente son tan repetitivas, pero si se manifestaron al menos una vez en los muestreos realizados, por ende, son sujeto de estudio y análisis.



Figura 29. Cimientos de kínder. Fotografía: investigador.

La colocación de concreto en placas o cimientos, se realizó en frentes de trabajo como sótano, kínder y polideportivo, en placas o detalles de los cimientos varían según el frente de trabajo, además de donde se está trabajando en el edificio, puesto que la mayoría de elementos son diferentes en el mismo edificio.

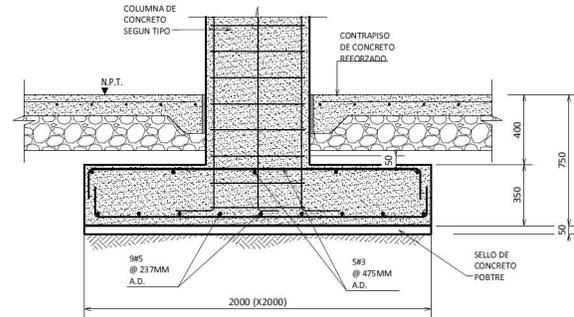


Figura 30. Detalle de una de las placas de fundación para sótano. Fuente: Constructora.

Para la colocación de concreto en muros se muestrearon procesos en el edificio llamado sótano, las características de los muros realizados se pueden observar en las figuras 31 y 32.



Figura 31. Muros colados en sótano. Fotografía: investigador.

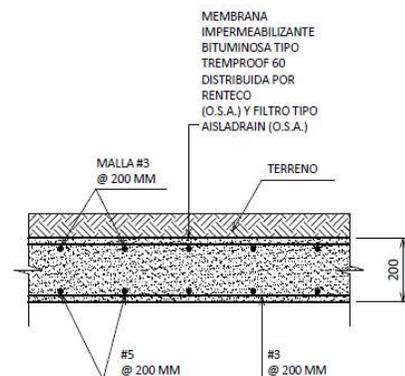


Figura 32. Detalle de muros colados en sótano. Fuente: constructora.

Para el muestreo de colocación de concreto en columnas, se muestrearon procesos realizados en el kínder, mientras que el muestreo de colocación

en entpiso se muestreó en el frente llamado apartamentos.

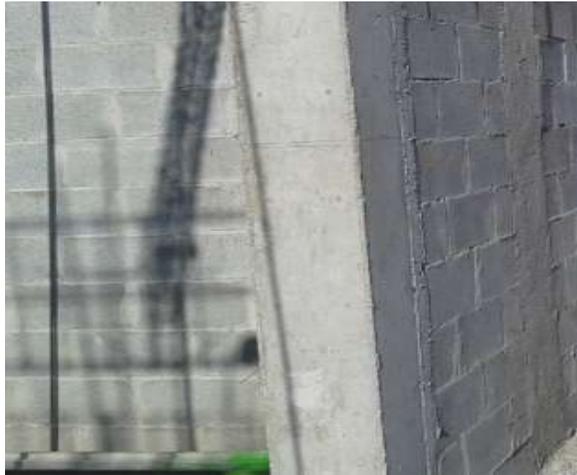


Figura 33. Columnas de kinder. Fotografía: investigador.

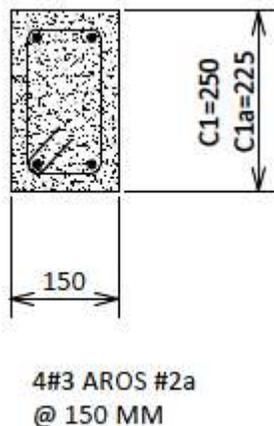


Figura 34. Detalles de columnas del kinder. Fuente: Constructora.



Figura 35. Entpiso colado en apartamentos. Fotografía: investigador.

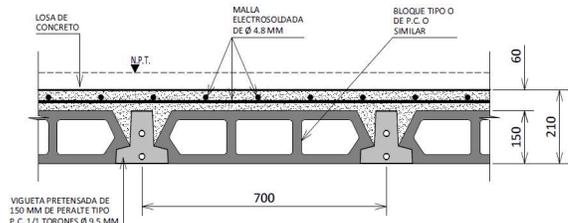


Figura 36. Detalle entpiso colado en apartamentos. Fuente: elaboración propia.

## Fase evaluación de la implementación de recomendaciones

Una vez concluida la fase dos, se busca como implementar las recomendaciones obtenidas del análisis de la misma. Durante esta, la empresa administradora del proceso de producción, la cual ha sido mencionada en párrafos anteriores, se retira del proyecto, al alegar que al no tener el rendimiento esperado del equipo los costos operativos son mayores a los esperados, los cuales a su criterio les deja pérdidas.



Figura 37. Autohormigonera en operación. Fotografía: investigador.

Ante esta situación, la constructora atribuye todas las labores de producción de concreto al coordinador, de tal forma que él tiene la libertad de aplicar las recomendaciones de manera directa, puesto que el proceso de producción pasa a ser enteramente de su responsabilidad.

Se aplican las recomendaciones de producción de manera directa hablando con el nuevo operador

del equipo, todo en busca de disminuir tiempos en las tareas, recorridos, y eliminar labores innecesarias; también se habla con los maestros de obras de los respectivos frentes de trabajo, puesto que ellos son los responsables de coordinar las cuadrillas, en busca que estos implementen las recomendaciones dadas en cuanto al proceso de colocación.



Figura 38. Sitio de carga de piedra y cemento. Fotografía: investigador.

El siguiente paso es una evaluación de las recomendaciones emitidas, para esto se realizó un muestreo de nueve diagramas de recorrido en los cuales se buscaba recopilar información en cuanto al proceso de producción y su evolución. Una vez recopilada la información, como en la fase dos, se procede a realizar su procesamiento a través de los diagramas de flujo, *Value Stream Mapping*, analizar de manera integral el proceso de producción, además de una comparativa con el estado anterior para verificar el progreso en cuanto a tiempos, rendimientos y costos.



Figura 39. Sitio de carga de arena y ubicación del silo de cemento. Fotografía: investigador.

## Fase de elaboración de lineamientos de producción

El objetivo de esta fase es que la empresa constructora obtuviera los lineamientos o recomendaciones por seguir en busca de “buenas prácticas” en cuanto a la producción y colocación de concreto, mediante una recopilación de recomendaciones en cuanto a cómo debe de funcionar el proceso productivo del equipo, cuáles aspectos se deben de considerar antes de operarlo, tales como el diseño de sitio, el diagrama de flujo del proceso, el *Value Stream Mapping* del proceso productivo, además de los costos asociados con el proceso del equipo según su rendimiento diario.

Asociado a estos lineamientos de producción, se emiten recomendaciones sobre cómo se debe de coordinar el proceso de descarga, puesto que este afecta el rendimiento del equipo, prudente saber cuáles prácticas ayudarían a aumentar la productividad en la descarga, y con esto el rendimiento. El objetivo es tener un documento con “buenas practicas” para el uso del equipo, el cual sirva para toma la de decisiones futuras por parte de los encargados de proyectos, sobre si es factible utilizar el equipo para la producción de concreto en sitio.

# Resultados

## Fase de planeación y control requerido

Tal cual se mencionó en la metodología, lo primero que se realizó es el listado de requerimientos, esto mediante una entrevista personal a cada uno de los ingenieros residentes del proyecto, además a los dos gerentes.

CUADRO 1. LISTA DE REQUERIMIENTOS ASOCIADAS AL PROCESO DE PRODUCCIÓN.				
Requerimiento	Descripción	Objetivo	Prioridad en el tiempo de respuesta	Precondiciones o supuesto
R-01	Contar con un responsable a cargo de la autohormigonera.	Mantener un control del uso del equipo.	Alta.	Contar con la autohormigonera operando en óptimas condiciones. Mantener materiales disponibles en el sitio para realizar concreto.
R-02	Programar reuniones semanales para coordinar el uso del equipo.	Maximizar y controlar el uso del equipo.	Media.	Protocolo para coordinar reuniones semanales.
R-03	Publicar la agenda semanal aprobada de uso de equipo.	Mantener un orden, informar y maximizar el uso del equipo.	Media.	Involucramiento del responsable del equipo en la reuniones de coordinación semanal.
R-04	Confirmar el uso del equipo en el horario previamente establecido.	Maximizar el uso del equipo en caso de imprevistos.	Alta.	Comunicación con el ingeniero de producción un día antes y al menos con una hora de anticipación.
R-05	Informar al operador de los requerimientos de concreto en el proyecto.	Tener un orden de producción.	Alta.	Agenda semanal y diaria, confirmación por parte del ingeniero de producción.
R-06	Coordinar acciones en caso de atrasos por imprevistos.	Maximizar el uso del equipo.	Alta.	Informar al responsable de coordinación de imprevistos y posibles atrasos.
R-07	Documentar la información del proceso de producción y colocación.	Dar trazabilidad a la colocación de concreto. Obtener información de procesos de producción.	Alta.	Realización de guías y protocolo de uso de las mismas.
R-08	Tener inventario de producción diario.	Obtener información para informe semanal.	Media.	Información documentada del proceso de producción y colocación.
R-09	Realizar un informe semanal de uso del equipo.	Informar a la empresa que se esta haciendo y si se esta llegando a las metas establecidas.	Media.	Inventario de producción diario.
R-10	Tener un inventario de materiales.	Coordinar el despacho de materiales necesarios para producción.	Media.	Contar con las mediciones de volúmenes aproximados en el sitio.
R-11	Tener un cuadro actualizado de saldo de ordenes de compra.	Informar en caso de que se tenga que realizar una nueva orden de compra.	Media.	Tener documentados cada uno de los despachos realizados.
R-12	Coordinar acciones de optimización del proceso.	Maximizar el uso del equipo.	Baja.	Tener disponibilidad de materiales. Poder hacer modificaciones del proceso de producción.
R-13	Tener el equipo en óptimas condiciones de calibración.	Evitar la variabilidad en la calidad del concreto.	Alta.	Hacer la calibración diaria.
R-14	Pendiente de la calidad del concreto según los informes de laboratorio.	Poder detectar concretos con baja resistencia y posibles fallas en el proceso de producción.	Media.	Hacer llegar los informes de laboratorio al coordinador del equipo.

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro 1 se puede observar el listado con el número de requerimientos asociados con el proceso de producción de concreto, la descripción, el objetivo, la prioridad en el tiempo, además sus respectivas precondiciones o supuestos que se deben cumplir para el cumplimiento.

Los respectivos análisis FODA de los procesos de producción y colocación de concreto se realizaron con información suministrada por el equipo de trabajo del proyecto. Se visualizaron primero las posibles ventajas y desventajas del uso de la autohormigonera, además de la logística y características asociadas con la colocación del concreto, independientemente si proviene de la

**CUADRO 2. ANÁLISIS ESTRATÉGICO CON LA MATRIZ FODA PARA EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE CONCRETO CON AUTOHORMIGONERA**

Factores Internos del Proceso	Factores externos al proceso
<p align="center"><b>DEBILIDADES</b></p> <p>Desconocimiento de como opera el equipo.            Curva de aprendizaje del operador.            Sólo un compartimiento para aditivo.            No se cuenta con equipo de medición de humedad.            No sustituye a ninguno de los sectores que produce concreto.            Proceso de carga de diésel.            Proceso de limpieza del equipo.            Proceso de carga de agua.</p>	<p align="center"><b>AMENAZAS</b></p> <p>Descarga lenta del concreto.            Desplazamientos muy largos.            Fallos del silo.            Fallas en la computadora del equipo.            Posible costo mas caro.            Cambios de ultimo momento en la programación de producción.            Requerimientos muy grandes de concreto en tiempos muy cortos.            Calibración diaria del equipo            Comunicación a despacho de Concretera.            Control continuo de materiales en inventario.</p>
<p align="center"><b>FORTALEZAS</b></p> <p>Suplir faltantes en coladas masivas.            Concreto con calidad certificada.            Solucionar problemáticas de producción más eficientemente.            Transporte y producción en el mismo equipo.            Se puede realizar cualquier tipo de concreto.            Realización de guías para trazabilidad.</p>	<p align="center"><b>OPORTUNIDADES</b></p> <p>Poder cambiar la producción habitual de concreto.            Poder vender concreto a otros clientes.            Poder alquilar el equipo a otras empresas.            El equipo orienta al operador en el proceso de producción.            Posibilidad de hacer coladas diarias y no masivas.            Identificar errores del operador.            Permite guardar un máximo de 32 diseños de mezcla.</p>

**CUADRO 3. ANÁLISIS ESTRATÉGICO CON LA MATRIZ FODA PARA EL PROCESO DE COLOCACIÓN DE CONCRETO.**

Factores Internos del Proceso	Factores externos al proceso
<p align="center"><b>DEBILIDADES</b></p> <p>Lugares muy incomodos de colocación.            Elementos que demandan poco volumen y mucho tiempo.            Utilización de bombas sale caro.            Poca experiencia de los colaboradores.            Uso de grúa en otros frentes.            Atrasos de la autohormigonera por colocación de concreto en otros frentes de trabajo.</p>	<p align="center"><b>AMENAZAS</b></p> <p>Fallos de la grúa.            Falta de personal.            Falta de equipo para realizar labores mas eficientemente.            Falta de las mezcladoras.            Falta de la autohormigonera.            Atrasos del la mezcladora en el camino.            Desmotivación de los colaboradores.            Equipo de trabajo poco organizado.</p>
<p align="center"><b>FORTALEZAS</b></p> <p>Poder utilizar bomba estacionaria.            Poder utilizar bomba telescópica.            Poder utilizar grúa.            Variabilidad en la condiciones de colocación.            Desocupación rápida en elementos donde la descarga es directa.</p>	<p align="center"><b>OPORTUNIDADES</b></p> <p>Variabilidad para poder hacer el trabajo de diferentes formas.            Algunos elementos son fáciles de descargar.            Poder aumentar rendimientos y productividad a través de la planificación.</p>

Fuente: elaboración propia.

producción por autohormigonera o si es concreto premezclado por una empresa externa al proyecto.

Para la realización de los diagrama de Ishikawa o diagrama de causa-efecto se analizaron las debilidades y amenazas de los procesos de producción y colocación, el diagrama va enfocado hacia las posibles causas del bajo rendimiento del equipo.

Las principales desventajas que pueden afectar el rendimiento son asociadas con los fallos del equipo, falta de planificación, aspectos del operador y el proceso de descarga del concreto, de tal forma que el diagrama presenta cuatro causas principales, las cuales pueden mostrar el efecto asociado con el bajo rendimiento de la producción de concreto.

## Fase de ejecución y evaluación de procesos

Una vez analizados los procesos de producción y colocación de concreto, además, además de haber desarrollado tablas y cuadros para la recolección y control de la información, el siguiente paso es la recolección de la misma tal cual menciona en la metodología.

## Proceso de producción de concreto

Para la realización de los diagramas de recorrido se eligieron procesos de producción de manera aleatoria para la recolección de información respectiva de producción.

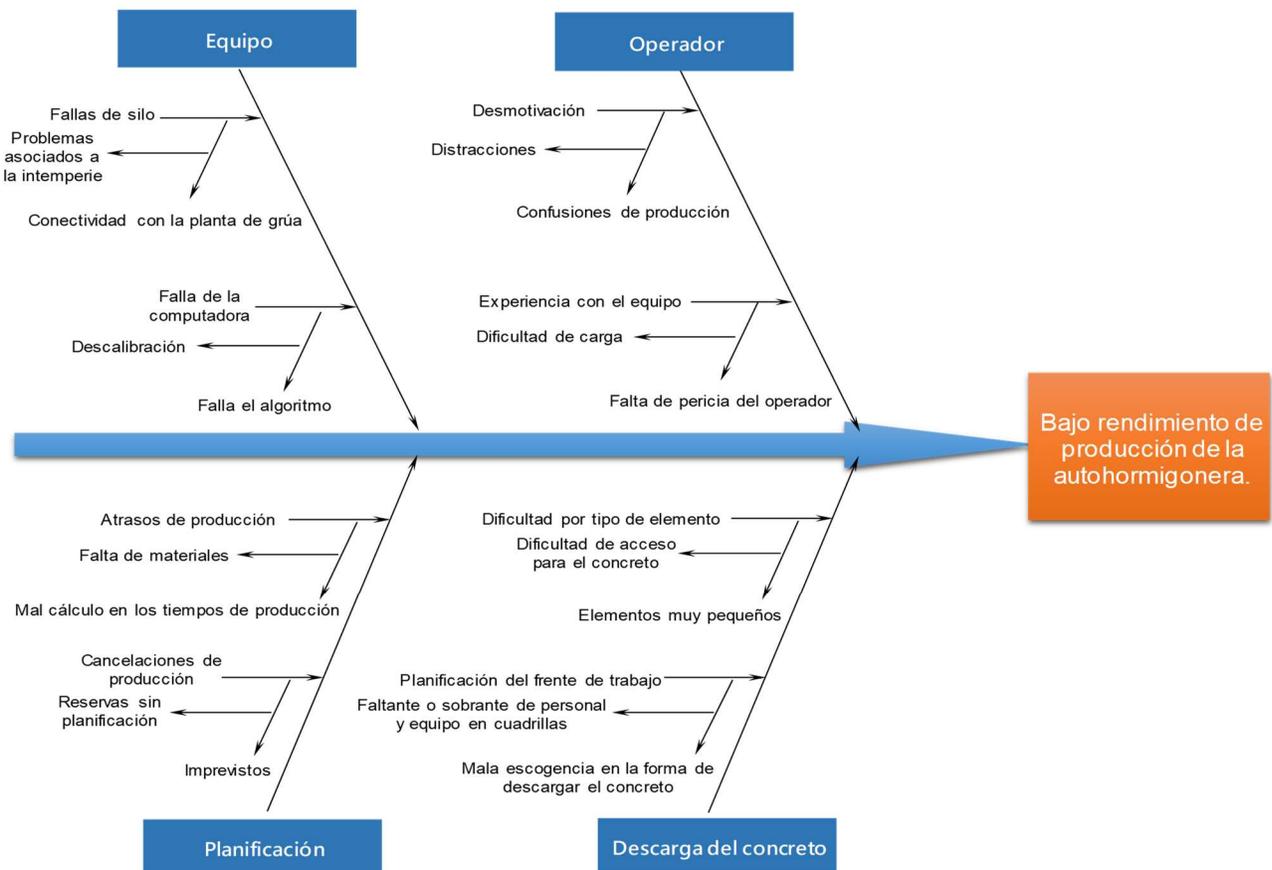


Figura 40. Diagrama de causa-efecto del sobre el rendimiento de la autohormigonera.

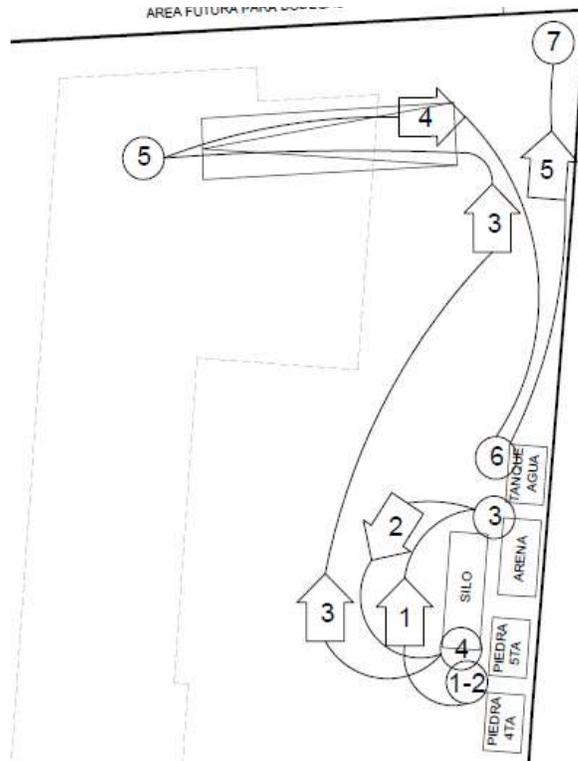


Figura 41. Diagrama de recorrido asociado con el muestreo 1. Fuente: elaboración propia.

CUADRO 4. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 1			
Información			
<b>Fecha:</b>	22/03/2017	<b>Tipo Concreto:</b>	Tobacemento 10
<b>Descarga:</b>	Directa	<b>Volumen (m3):</b>	4

Descripción	Tiempo (min)	Distancia (m)
Proceso 1: Orden de inicio de carga	25	-
Proceso 2: Carga piedra	9	-
Recorrido 1	1	15
Proceso 3: Carga arena	9	-
Recorrido 2	1	15
Proceso 4: Carga cemento y realización guía	20	-
Recorrido 3	5	80
Proceso 5: Descarga concreto	35	-
Recorrido 4	10	60
Proceso 6: Carga agua	14	-
Recorrido 5	1	25
Proceso 7: Lavado	23	-
<b>Total:</b>	153	195
<b>Rendimiento (m3/hr):</b>	<b>1,57</b>	

Descripción:	Tiempo (min)	Porcentaje (%)
Tiempo productivo	87	56,86%
Tiempo contributivo	41	26,80%
Tiempo improductivo	25	16,34%

Fuente: elaboración propia.

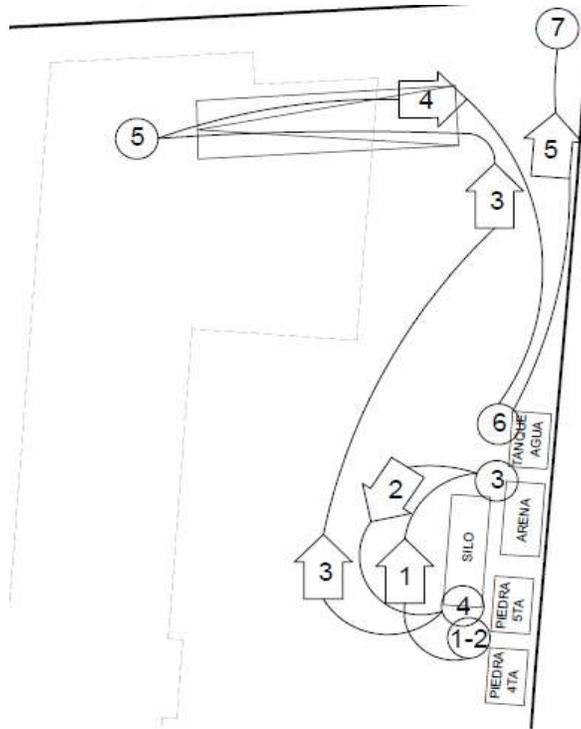


Figura 42. Diagrama de recorrido asociado con el muestreo 2. Fuente: elaboración propia.

CUADRO 5. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 2			
Información			
<b>Fecha:</b>	22/03/2017	<b>Tipo Concreto:</b>	Tobacemento 10
<b>Descarga:</b>	Directa	<b>Volumen (m3):</b>	1,5

Descripción	Tiempo (min)	Distancia (m)
Proceso 1: orden de inicio de carga	20	-
Proceso 2: Carga piedra	9	-
Recorrido 1	1	15
Proceso 3: Carga arena	9	-
Recorrido 2	1	15
Proceso 4: Carga cemento y realización guía	18	-
Recorrido 3	4	80
Proceso 5: Descarga concreto	24	-
Recorrido 4	7	60
Proceso 6: Carga agua	7	-
Recorrido 5	1	25
Proceso 7: Lavado	6	-
<b>Total:</b>	<b>107</b>	<b>195</b>
<b>Rendimiento (m3/hr):</b>	<b>0,84</b>	

Descripción:	Tiempo (min)	Porcentaje (%)
Tiempo productivo	67	62,62%
Tiempo contributivo	20	18,69%
Tiempo improductivo	20	18,69%

Fuente: elaboración propia.

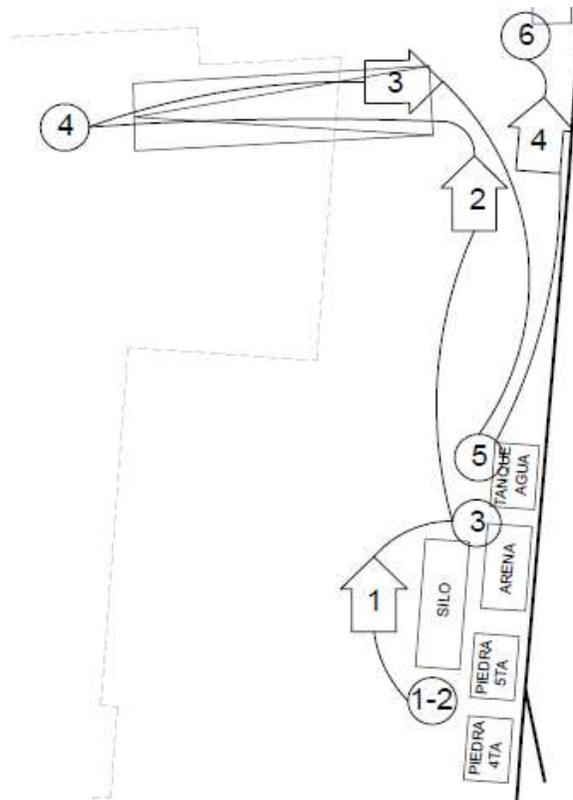


Figura 43. Diagrama de recorrido asociado con el muestreo 3. Fuente: elaboración propia.

CUADRO 6. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 3			
Información			
<b>Fecha:</b>	23/03/2017	<b>Tipo Concreto:</b>	Tobacemento 10
<b>Descarga:</b>	Directa	<b>Volumen (m3):</b>	0,6

Descripción	Tiempo (min)	Distancia (m)
Proceso 1: orden de inicio de carga	25	-
Proceso 2: carga piedra y cemento	13	-
Recorrido 1	1	15
Proceso 3: carga arena y realización de guía	21	-
Recorrido 2	5	60
Proceso 4: descarga concreto	40	-
Recorrido 3	10	60
Proceso 5: carga agua	10	-
Recorrido 4	2	25
Proceso 6: Lavado	22	-
<b>Total:</b>	<b>149</b>	<b>160</b>
<b>Rendimiento (m3/hr):</b>	<b>0,24</b>	

Descripción:	Tiempo (min)	Porcentaje (%)
Tiempo productivo	84	56,38%
Tiempo contributivo	40	26,85%
Tiempo improductivo	25	16,78%

Fuente: elaboración propia.

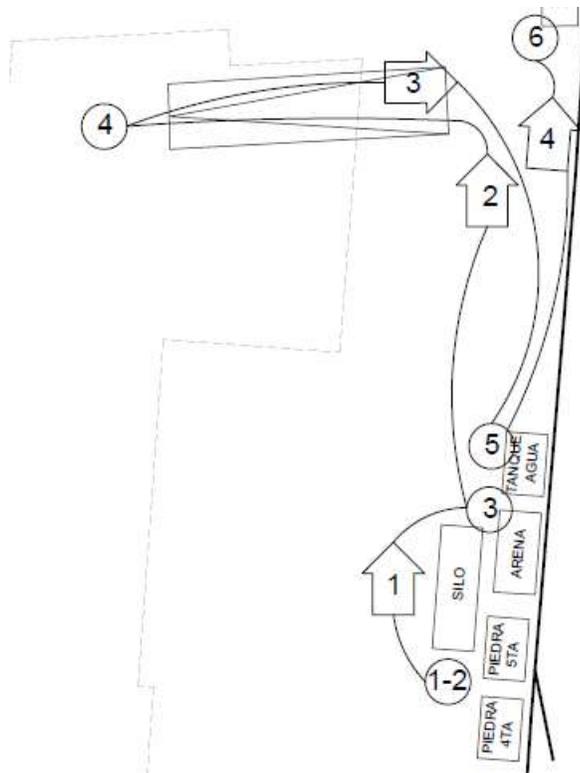


Figura 44. Diagrama de recorrido asociado con el muestreo 4. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 7. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 4</b>			
<b>Información</b>			
<b>Fecha:</b>	24/03/2017	<b>Tipo Concreto:</b>	210 Kg/cm2
<b>Descarga:</b>	Directa	<b>Volumen (m3):</b>	4
<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Distancia (m)</b>	
Proceso 1: orden de inicio de carga	36	-	
Proceso 2: carga piedra y cemento	20	-	
Recorrido 1	1	15	
Proceso 3: carga arena y realización de guía	30	-	
Recorrido 2	5	60	
Proceso 4: descarga concreto	78	-	
Recorrido 3	4	60	
Proceso 5: carga agua	15	-	
Recorrido 4	1	25	
Proceso 6: Lavado	10	-	
<b>Total:</b>	<b>200</b>	<b>160</b>	
<b>Rendimiento (m3/hr):</b>	<b>1,20</b>		
<b>Descripción:</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	
Tiempo productivo	143	71,50%	
Tiempo contributivo	21	10,50%	
Tiempo improductivo	36	18,00%	

Fuente: elaboración propia.

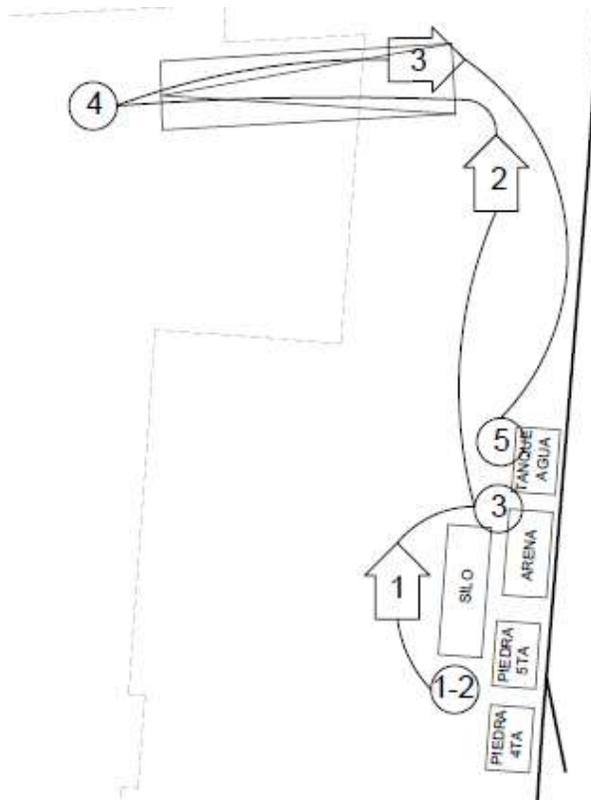


Figura 45. Diagrama de recorrido asociado con el muestreo 5. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 8. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 5</b>			
<b>Información</b>			
<b>Fecha:</b>	28/03/2017	<b>Tipo Concreto:</b>	210 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Descarga:</b>	Grúa y balde	<b>Volumen (m<sup>3</sup>):</b>	4

<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Distancia (m)</b>
Proceso 1: orden de inicio de carga	31	-
Proceso 2: carga piedra y cemento	10	-
Recorrido 1	1	15
Proceso 3: carga arena y realización de guía	14	-
Recorrido 2	5	60
Proceso 4: descarga concreto	70	-
Recorrido 3	8	60
Proceso 5: carga agua	12	-
<b>Total:</b>	<b>151</b>	<b>135</b>
<b>Rendimiento (m<sup>3</sup>/hr):</b>	<b>1,59</b>	

<b>Descripción:</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Tiempo productivo	106	70,20%
Tiempo contributivo	14	9,27%
Tiempo improductivo	31	20,53%

Fuente: elaboración propia.

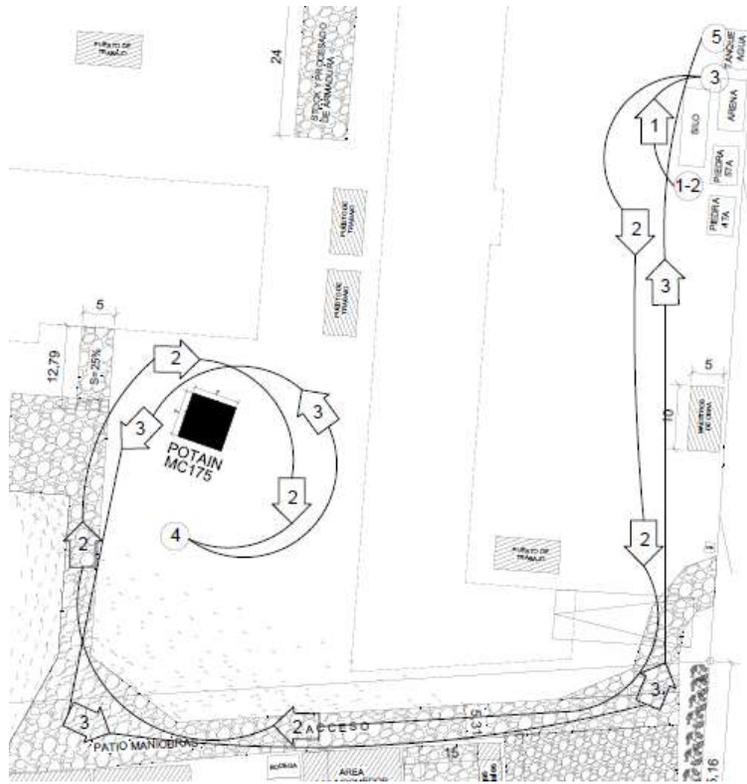


Figura 46. Diagrama de recorrido asociado con el muestreo 6. Fuente: elaboración propia.

### CUADRO 9. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 6

Información			
<b>Fecha:</b>	30/03/0217	<b>Tipo Concreto:</b>	Tobacemento 10
<b>Descarga:</b>	Directa	<b>Volumen (m3):</b>	3,5

Descripción	Tiempo (min)	Distancia (m)
Proceso 1: orden de inicio de carga	25	-
Proceso 2: carga piedra y cemento	14	-
Recorrido 1	1	15
Proceso 3: carga arena y realización de guía	14	-
Recorrido 2	10	250
Proceso 4: descarga concreto	35	-
Recorrido 3	10	250
Proceso 5: carga agua	15	-
<b>Total:</b>	<b>124</b>	<b>515</b>
<b>Rendimiento (m3/hr):</b>	<b>1,69</b>	

Descripción:	Tiempo (min)	Porcentaje (%)
Tiempo productivo	78	62,90%
Tiempo contributivo	21	16,94%
Tiempo improductivo	25	20,16%

Fuente: elaboración propia.

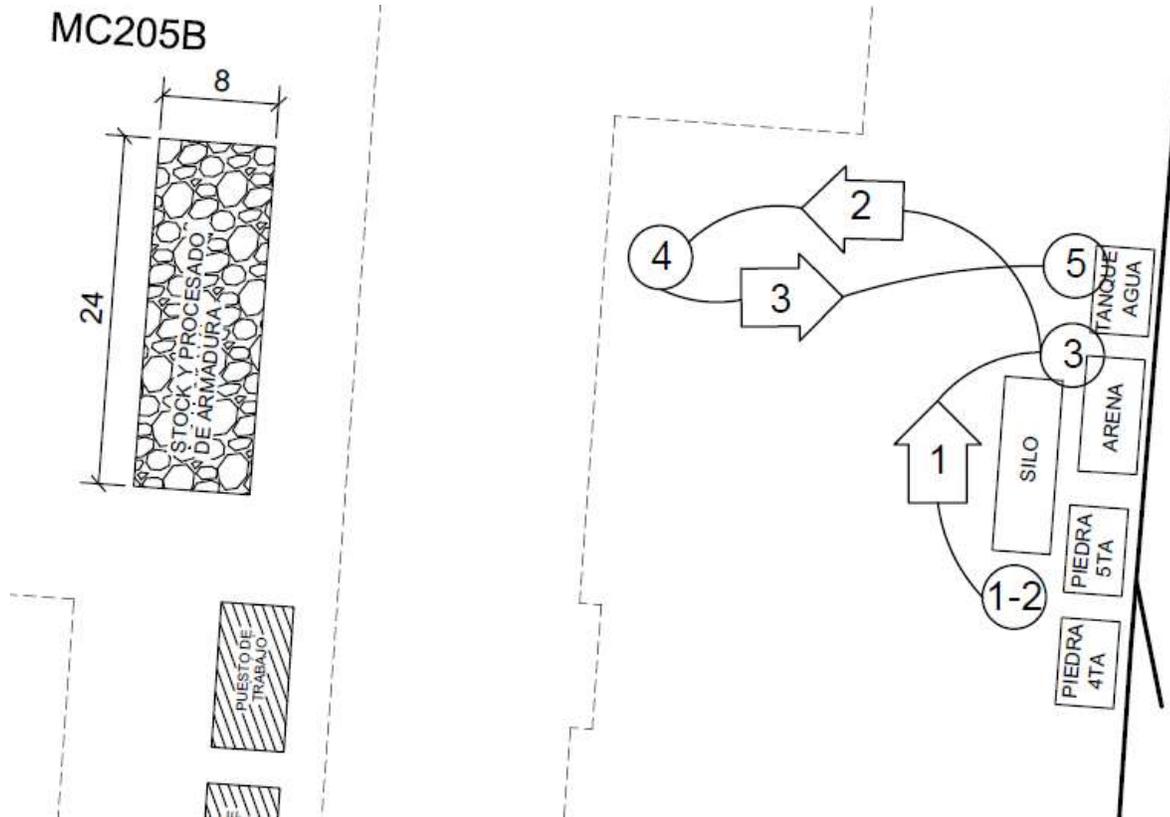


Figura 47. Diagrama de recorrido asociado con el muestreo 7. Fuente: elaboración propia.

CUADRO 10. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 7			
Información			
<b>Fecha:</b>	30/03/0217	<b>Tipo Concreto:</b>	210 Kg/cm2
<b>Descarga:</b>	Grúa y balde	<b>Volumen (m3):</b>	3
Descripción	Tiempo (min)	Distancia (m)	
Proceso 1: orden de inicio de carga	5	-	
Proceso 2: carga piedra y cemento	10	-	
Recorrido 1	1	15	
Proceso 3: carga arena y realización de guía	15	-	
Recorrido 2	6	20	
Proceso 4: descarga concreto	60	-	
Recorrido 3	1	30	
Proceso 5: carga agua	10	-	
<b>Total:</b>	<b>108</b>	<b>65</b>	
<b>Rendimiento (m3/hr):</b>	<b>1,67</b>		
Descripción:	Tiempo (min)	Porcentaje (%)	
Tiempo productivo	95	87,96%	
Tiempo contributivo	8	7,41%	
Tiempo improductivo	5	4,63%	

Fuente: elaboración propia.

Para la realización del diagrama de flujo del proceso de producción, además del *Value Stream Mapping*, es necesario promediar los tiempos de los muestreos correspondientes con los diagramas de recorrido anteriores. Para ellos se dividieron las tareas entre las que agregan valor al proceso y las que no agregan valor.

Todo lo anterior mencionado sirve como base para la realización del Value Stream Mapping (figura 49), en el mismo se refleja los medios de comunicación del proceso, proveedores y tiempos de entrega, las tareas que agregan valor y las que no, tiempos promedio, los clientes y el respectivos promedios de producción en su momento.

En el diagrama de flujo (figura 48), también se muestran tareas que no necesariamente fueron muestreadas mediante los diagramas de recorrido; sin embargo, se sabe de su existencia y la duración, puesto que se realizó un muestreo aparte, donde se midió su tiempo.

En los cuadros 13, 14 y 15 se puede observar los resúmenes semanales con el total de metros cúbicos colocados en los diferentes días y sus respectivos promedios semanales

<b>CUADRO 11. TIEMPOS PROMEDIO PARA LAS TAREAS QUE AGREGAN VALOR AL PROCESO DEL PRODUCCIÓN</b>			
<b>Cantidad de muestras</b>	<b>Carga de piedra y cemento (min)</b>	<b>Carga arena (min)</b>	<b>Carga Agua (min)</b>
<b>1</b>	19	9	14
<b>2</b>	18	9	7
<b>3</b>	13	10	10
<b>4</b>	20	15	15
<b>5</b>	10	7	12
<b>6</b>	14	7	15
<b>7</b>	10	7	10
<b>Promedio (min)</b>	<b>15</b>	<b>9</b>	<b>12</b>

<b>CUADRO 12. TIEMPOS PROMEDIO PARA LAS TAREAS QUE NO AGREGAN VALOR AL PROCESO DEL PRODUCCIÓN</b>						
<b>Cantidad de muestras</b>	<b>Orden de carga (min)</b>	<b>Recorrido 1 (min)</b>	<b>Realización de guía (min)</b>	<b>Recorrido 2 (al frente de trabajo) (min)</b>	<b>Descarga concreto por m3 (min)</b>	<b>Recorrido 3(al silo) (min)</b>
<b>1</b>	25	1	10	6	9	10
<b>2</b>	20	1	9	5	16	7
<b>3</b>	25	1	11	6	66	10
<b>4</b>	36	1	15	6	20	4
<b>5</b>	31	1	7	6	18	8
<b>6</b>	25	1	7	11	10	10
<b>7</b>	5	1	8	7	20	6
<b>Promedio (min)</b>	<b>24</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>23</b>	<b>8</b>

Fuente: elaboración propia.

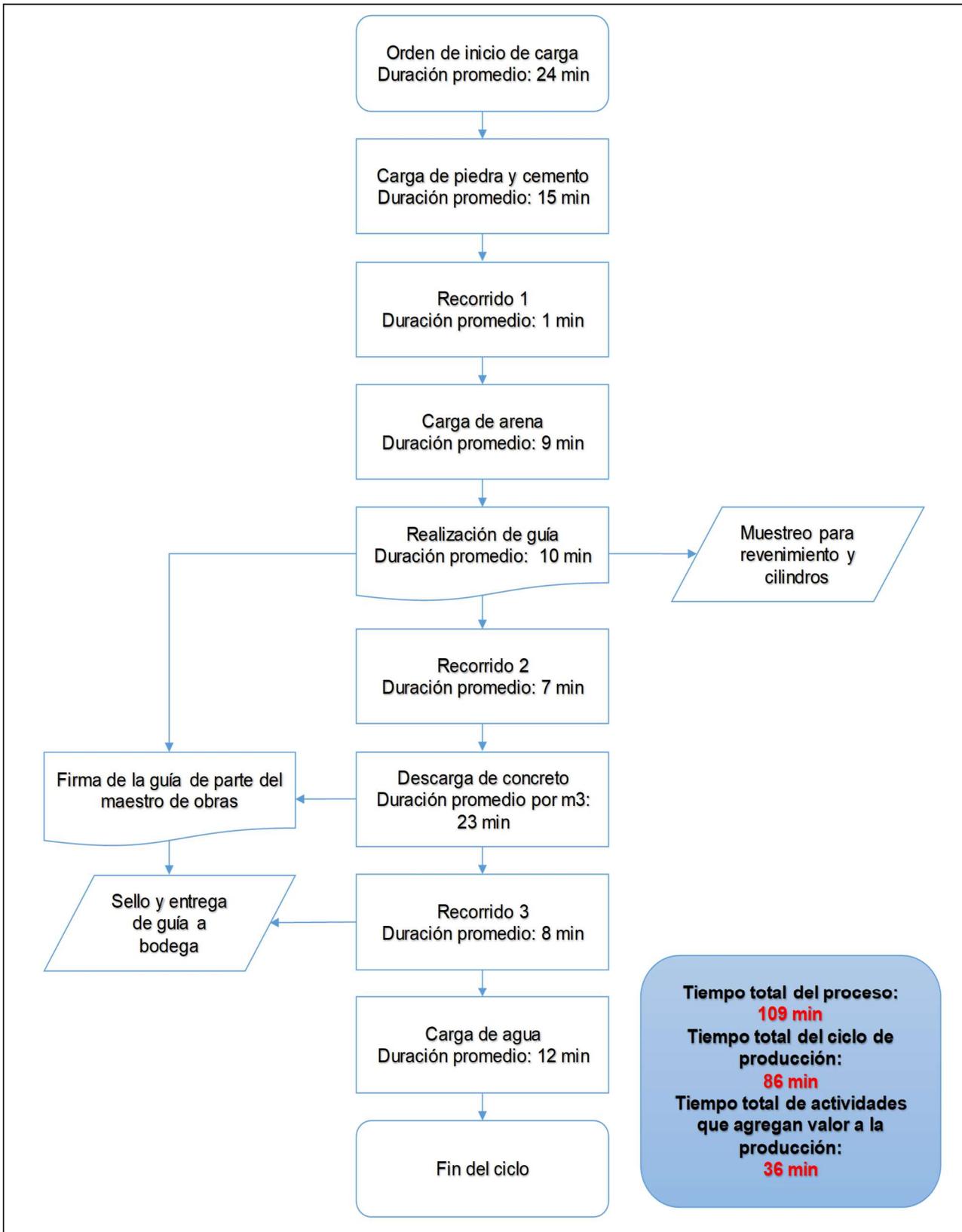


Figura 48. Diagrama de flujo del proceso de producción. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 13. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 20 AL 25 DE MARZO DEL 2017</b>							
<b>Semana</b>	<b>20/03/2017</b>	<b>21/03/2017</b>	<b>22/03/2017</b>	<b>23/03/2017</b>	<b>24/03/2017</b>	<b>25/03/2017</b>	<b>Resumen Semanal</b>
<b>Producción diaria (m3)</b>	-	-	6,5	4,1	11	-	21,6
<b>Rendimiento del equipo (m3/h)</b>	-	-	1,3	0,3	1,1	-	0,9
<b>Tiempo productivo:</b>	-	-	41,8%	53,7%	53,2%	-	49,6%
<b>Tiempo contributivo:</b>	-	-	16,4%	19,5%	26,8%	-	20,9%
<b>Tiempo improductivo:</b>	-	-	41,8%	26,8%	20,0%	-	29,5%
<b>Promedio (m3/día):</b>	7,2						

<b>CUADRO 14. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 27 DE MARZO AL 10 DE ABRIL DEL 2017</b>							
<b>Semana</b>	<b>27/03/2017</b>	<b>28/03/2017</b>	<b>29/03/2017</b>	<b>30/03/2017</b>	<b>31/03/2017</b>	<b>01/04/2017</b>	<b>Resumen</b>
<b>Producción diaria (m3)</b>	10,5	7,5	3,0	9,5	4,0	4,5	39,0
<b>Rendimiento del equipo (m3/h)</b>	1,3	1,6	1,2	1,7	1,0	0,8	1,3
<b>Tiempo productivo:</b>	-	54,3%	-	66,6%	-	-	60,5%
<b>Tiempo contributivo:</b>	-	19,9%	-	8,4%	-	-	14,2%
<b>Tiempo improductivo:</b>	-	25,8%	-	25,0%	-	-	25,4%
<b>Promedio (m3/día):</b>	6,5						

<b>CUADRO 15. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 03 AL 05 DE ABRIL DEL 2017</b>							
<b>Semana</b>	<b>03/04/2017</b>	<b>04/04/2017</b>	<b>05/04/2017</b>	<b>06/04/2017</b>	<b>07/04/2017</b>	<b>08/04/2017</b>	<b>Resumen Semanal</b>
<b>Producción diaria (m3)</b>	2,5	13,0	4,0	-	-	-	19,5
<b>Rendimiento del equipo (m3/h)</b>	0,7	1,6	1,3	-	-	-	1,2
<b>Tiempo productivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo contributivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo improductivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio (m3/día):</b>	6,5						

Fuente: elaboración propia.

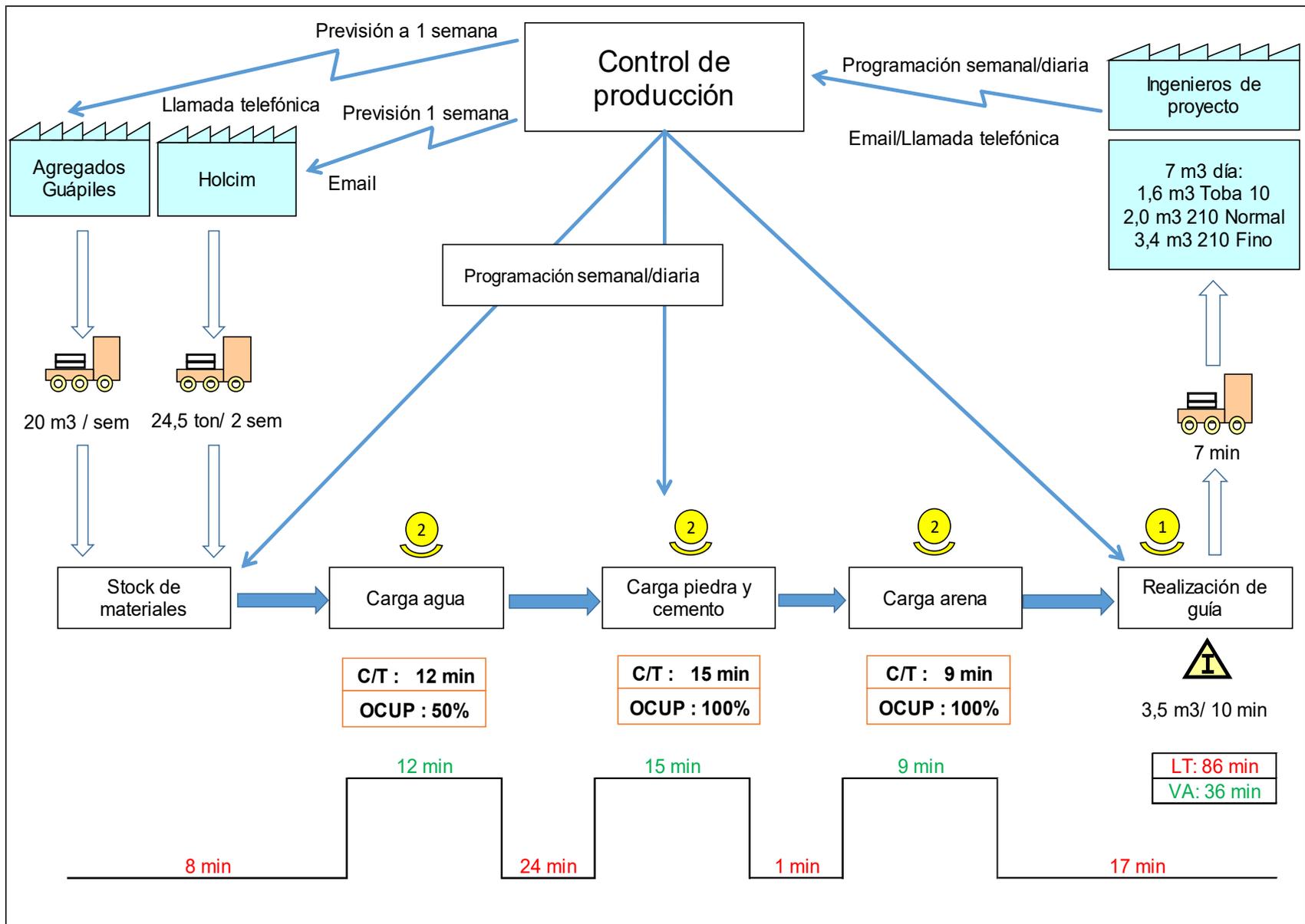


Figura 49. Value Stream Mapping del proceso de producción. Fuente: elaboración propia.

Para realizar el acumulado de los costos asociados, se tomaron en cuenta los costos directos del proceso producción, junto con las cargas sociales, transportes e impuestos en los gastos aplicables. Todos los precios fueron tomas de facturas, comprobantes de pago y órdenes de compra facilitados por la empresa administradora del proceso.

Se calcularon los costos asociados con los tres tipos de concretos que la empresa administradora producía en sitio. En los cuadros 16, 17 y 18 se puede observar el costo por metro cúbico de acuerdo con los promedios de producción, además de la diferencia de precio con respecto al mejor que se puede obtener el mercado.

<b>CUADRO 16. COSTOS Y COMPARATIVA ASOCIADA CON EL CONCRETO TIPO "TOBACEMIENTO 10" PRODUCIDO CON AUTOHOMIGONERA</b>			
<b>Volumen promedio de producción (m3)</b>	1,6		
<b>Detalle de gasto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
Alquiler Equipo (hr)	2,5	¢20.363,60	¢51.153,36
Operador (hr)*	2,5	¢3.665,22	¢9.207,03
Ayudante (hr)*	2,5	¢1.885,50	¢4.736,38
Diesel (lt)**	8,0	¢497,00	¢3.995,08
Cemento (t)**	0,2	¢96.822,99	¢20.139,18
Piedra 16 mm (m3)**	0,3	¢14.690,00	¢4.935,84
Piedra 25 mm (m3)**	0,6	¢14.690,00	¢8.226,40
Arena (m3)**	1,2	¢14.690,00	¢17.863,04
Aditivo 955 (lt)**	1,0	¢792,00	¢760,32
Agua (m3)	0,3	¢1.366,83	¢470,19
<b>Total</b>			<b>¢121.486,83</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢75.929,27</b>
<b>Costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢44.861,00</b>
<b>Margen de ganacia por uso de autohormigonera</b>			<b>-¢31.068,27</b>

¢

<b>CUADRO 17. COSTOS Y COMPARATIVA ASOCIADA CON EL CONCRETO TIPO "210 KG/CM2 NORMAL" PRODUCIDO CON AUTOHOMIGONERA</b>			
<b>Volumen promedio de producción (m3)</b>	2		
<b>Detalle de gasto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
Alquiler Equipo (hr)	3,1	¢20.363,60	¢63.941,70
Operador (hr)*	3,1	¢3.665,22	¢11.508,79
Ayudante (hr)*	3,1	¢1.885,50	¢5.920,47
Diesel (lt)**	10,0	¢497,00	¢4.993,86
Cemento (t)**	0,6	¢96.822,99	¢56.157,33
Piedra 16 mm (m3)**	0,5	¢14.690,00	¢6.757,40
Piedra 25 mm (m3)**	0,8	¢14.690,00	¢12.339,60
Arena (m3)**	1,3	¢14.690,00	¢19.390,80
Aditivo 745 (lt)**	2,0	¢792,00	¢1.584,00
Aditivo 955 (lt)**	2,8	¢792,00	¢2.217,60
Agua (m3)	0,4	¢1.366,83	¢571,33
<b>Total</b>			<b>¢185.382,89</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢92.691,44</b>
<b>Costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢60.455,00</b>
<b>Margen de ganacia por uso de autohormigonera</b>			<b>-¢32.236,44</b>

Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 18. COSTOS Y COMPARATIVA ASOCIADA CON EL CONCRETO TIPO "210 KG/CM2 FINO" PRODUCIDO CON AUTOHOMIGONERA</b>			
<b>Volumen promedio de producción (m3)</b>	3,4		
<b>Detalle de gasto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
Alquiler Equipo (hr)	5,3	¢20.363,60	¢108.700,90
Operador (hr)*	5,3	¢3.665,22	¢19.564,94
Ayudante (hr)*	5,3	¢1.885,50	¢10.064,80
Diesel (lt)**	17,1	¢497,00	¢8.489,56
Cemento (t)**	1,1	¢96.822,99	¢105.343,41
Piedra 16 mm (m3)**	1,9	¢14.690,00	¢27.470,30
Arena (m3)**	2,4	¢14.690,00	¢35.461,66
Aditivo 745 (lt)	3,4	¢792,00	¢2.692,80
Aditivo 955 (lt)	5,1	¢792,00	¢4.039,20
Agua (m3)	0,7	¢1.366,83	¢1.003,80
<b>Total</b>			<b>¢322.831,37</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢94.950,40</b>
<b>Costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢62.828,00</b>
<b>Margen de ganancia por uso de autohormigonera</b>			<b>-¢32.122,40</b>

\* Considera cargas sociales

\*\* Considera impuestos y transportes

Fuente: elaboración propia.

## Proceso de colocación de concreto

En el siguiente apartado de muestran los resultados del proceso de colocación de concreto, con sus diferentes variables. Cada muestreo explica los resultados obtenidos mediante el uso de cuadros y figuras.

### Muestreo 1: sello en placas, descarga directa

En el cuadro 19 se describen la información general del muestreo y las características propias del proceso de colocación en el instante. En el cuadro 20 se pueden observar las tareas desarrolladas por las cuadrillas de colocación, así como en la figura 50 la productividad obtenida por el grupo de trabajadores durante el desarrollo del trabajo. En la figura 51 se puede observar el gráfico *Crew Balance* para cada trabajador, la evaluación de productividad por individuo se puede observar en la figura 52, así como en el cuadro 21 se pueden observar los posibles puntos de mejora observados durante el proceso.

<b>CUADRO 19. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROCESO</b>			
<b>Fecha:</b>	14/03/2017	<b>Proceso:</b>	Colocación de concreto
<b>Hora inicio:</b>	10:10:00	<b>Actividad:</b>	Sello de cimientos
<b>Temperatura:</b>	30 °C	<b>Ubicación:</b>	Sótano
<b># Trabajadores</b>	8	<b>Elaborado por:</b>	Christopher Cruz
<b># Observaciones</b>	488	<b>Obs a cada</b>	15 segundos
<b>Particularidades:</b>	Utilización de volquete, concreto premezclado, descarga directa.		

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 20. TAREAS EJECUTADAS DURANTE EL PROCESO			
CATEGORIZACION DE TAREAS	TAREAS	# OBS	% POR
Tiempo Improductivo (TI)	Viajes	56	11,48%
	Descanso	11	2,25%
	Espera	124	25,41%
	Ocioso	1	0,20%
Tiempo Contributivo (TC)	Limpieza	6	1,23%
	Transporte	22	4,51%
	Instrucción	36	7,38%
Tiempo Productivo (TP)	Colocación	232	47,54%

Fuente: elaboración propia.

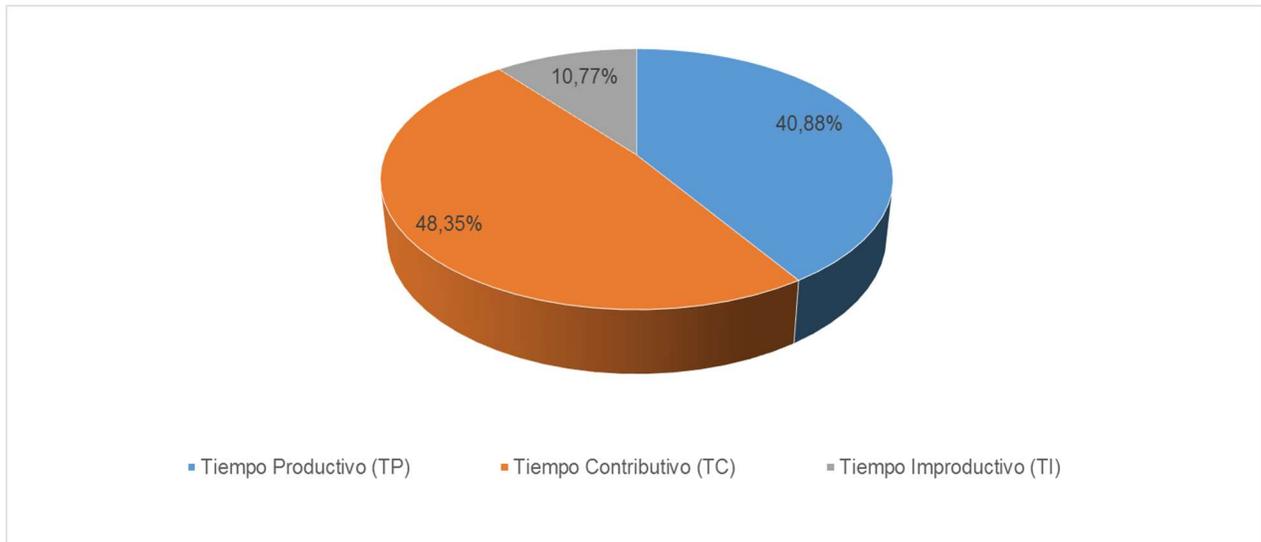


Figura 50. Productividad de la cuadrilla. Fuente: elaboración propia.

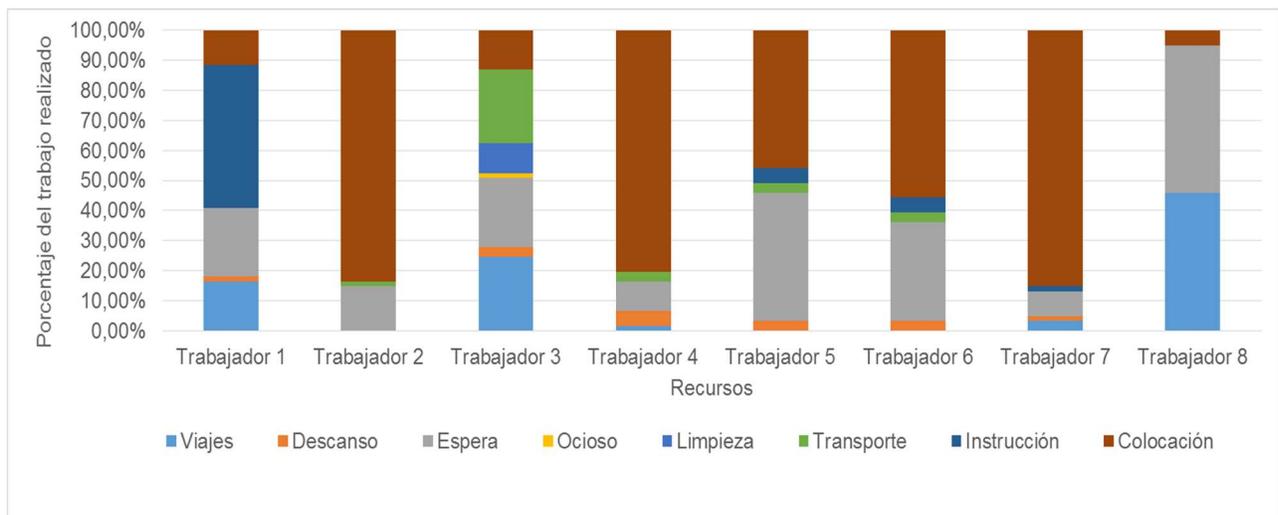


Figura 51. Crew Balance de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

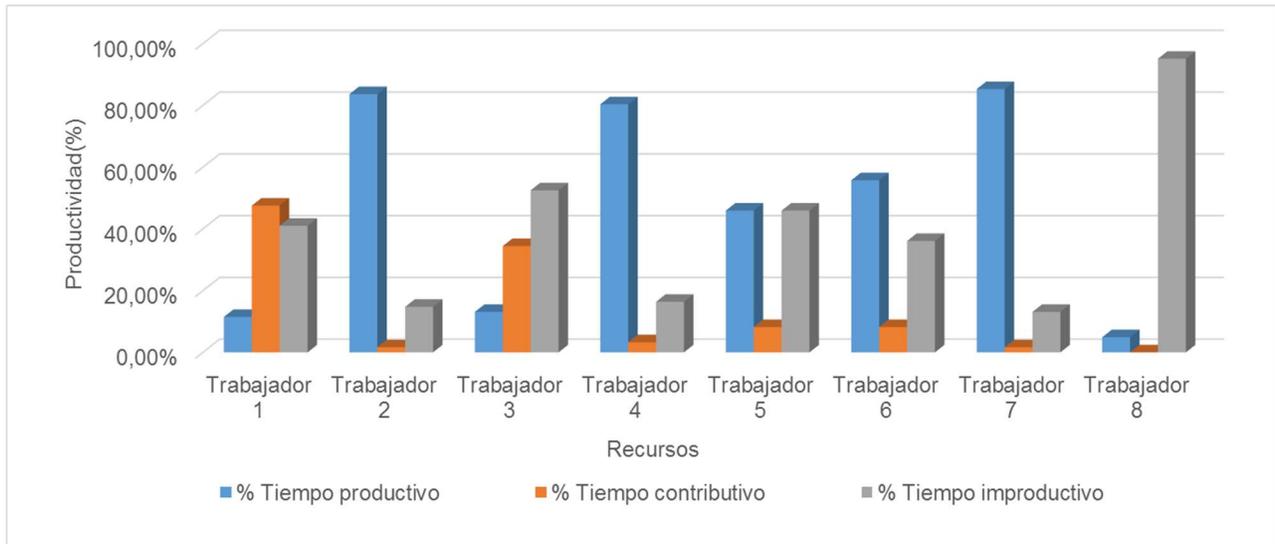


Figura 52. Productividad de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 21. PUNTOS POR MEJORAR EN EL PROCESO</b>
Exceso de viajes
Exceso en tiempos de espera
Mala ubicación de la mezcladora durante el proceso
Mala distribución del personal
Posibilidad de utilizar grúa

Fuente: elaboración propia.

## Muestreo 2: sello en placas, descarga directa

En el cuadro 22 se describe la información general del muestreo y las características propias del proceso de colocación en el instante. En el cuadro 23 se pueden observar las tareas desarrolladas por las cuadrillas de colocación, así como en la figura 53 la productividad obtenida por el grupo de trabajadores durante el desarrollo del trabajo.

En la figura 54 se puede observar el *gráfico Crew Balance* para cada trabajador, la evaluación de productividad por individuo se puede observar en la figura 55, así como en el cuadro 24 se muestran los posibles puntos de mejora observados observar en el proceso.

<b>CUADRO 22. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROCESO</b>			
<b>Fecha:</b>	15/03/2017	<b>Proceso:</b>	Colocación de concreto
<b>Hora inicio:</b>	10:43:00	<b>Actividad:</b>	Sello de cimientos
<b>Temperatura:</b>	27 °C	<b>Ubicación:</b>	Kínder
<b># Trabajadores</b>	5	<b>Elaborado por:</b>	Christopher Cruz
<b># Observaciones</b>	455	<b>Obs a cada</b>	15 segundos
<b>Particularidades:</b>	Descarga directa, utilización de carretillos.		

Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 23. TAREAS EJECUTADAS DURANTE EL PROCESO</b>			
<b>CATEGORIZACION DE TAREAS</b>	<b>TAREAS</b>	<b># OBS</b>	<b>% PESO</b>
<b>Tiempo Improductivo (TI)</b>	Viajes	16	3,52%
	Espera	27	5,93%
	Ocioso	6	1,32%
<b>Tiempo Contributivo (TC)</b>	Transporte	199	43,74%
	Instrucción	19	4,18%
	Limpieza	2	0,44%
<b>Tiempo Productivo (TP)</b>	Colocación	186	40,88%

Fuente: elaboración propia.

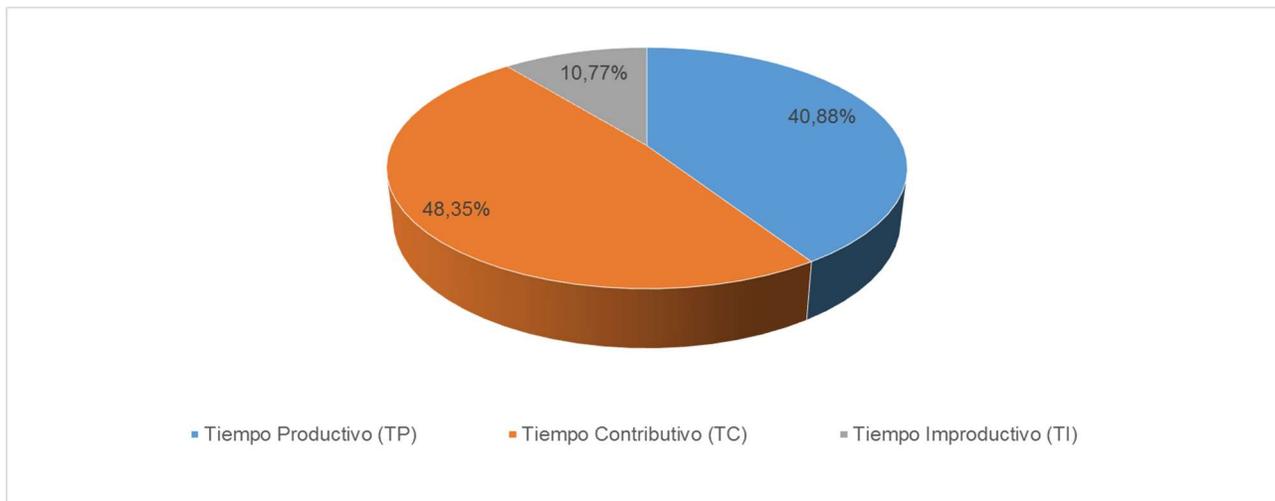


Figura 53. Productividad de la cuadrilla. Fuente: elaboración propia.

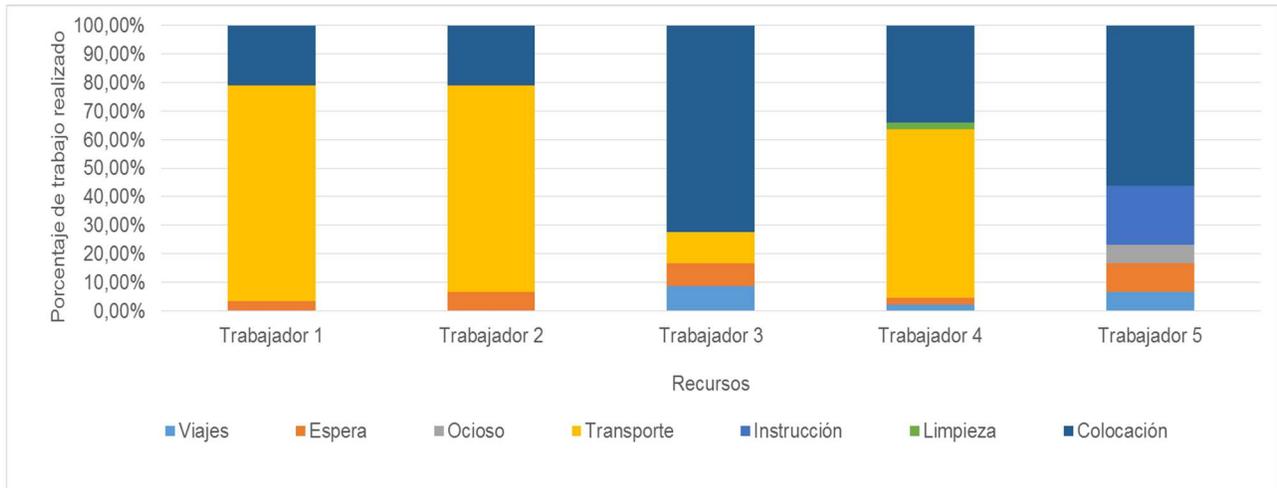


Figura 54. Crew Balance de los trabajadores Fuente: elaboración propia.

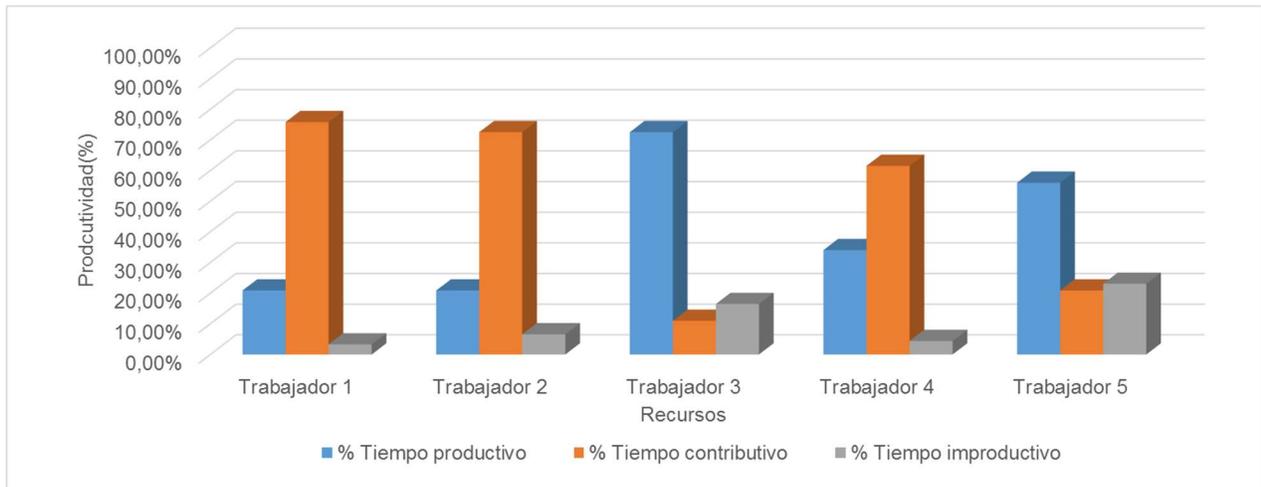


Figura 55. Productividad de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 24. PUNTOS POR MEJORAR EN EL PROCESO</b>
Exceso en transportes
Posibilidad de utilización de grúa para hacer el trabajo mas fácil
Utilización de dispositivo para almacenar concreto para rápida desocupación del equipo

Fuente: elaboración propia.

### Muestreo 3: concreto en muros, descarga con bomba telescópica

En el cuadro 25 se describen la información general del muestreo y las características propias del proceso de colocación en el instante. En el cuadro 26 se puede observar las tareas desarrolladas por las cuadrillas de colocación, así como en la figura 56 la productividad obtenida por el grupo de trabajadores durante el desarrollo de la tarea.

En la figura 57 se puede observar el gráfico *Crew Balance* para cada trabajador, la evaluación de productividad por individuo se puede observar en la figura 58, así como en el cuadro 27 se presentan los posibles puntos de mejora.

CUADRO 25. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROCESO			
<b>Fecha:</b>	21/03/2017	<b>Proceso:</b>	Colocación de concreto
<b>Hora inicio:</b>	8:47 AM	<b>Actividad:</b>	Muros
<b>Temperatura:</b>	22°C	<b>Ubicación:</b>	Sótano/Administración
<b># Trabajadores</b>	6	<b>Elaborado por:</b>	Christopher Cruz
<b># Observaciones</b>	528	<b>Obs a cada</b>	15 segundos
<b>Particularidades:</b>	Uso de bomba telescópica y vibradores eléctricos.		

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 26. TAREAS EJECUTADAS DURANTE EL PROCESO			
CATEGORIZACION DE TAREAS	TAREAS	# OBS	% PESO
<b>Tiempo Improductivo (TI)</b>	Viaje	32	6,06%
	Espera	88	16,67%
	Transporta	92	17,42%
<b>Tiempo Contributivo (TC)</b>	Instrucciones	9	1,70%
	Limpieza	39	7,39%
	Verifica	38	7,20%
<b>Tiempo Productivo (TP)</b>	Coloca	53	10,04%
	Acomoda	94	17,80%
	Vibró	83	15,72%

Fuente: elaboración propia.

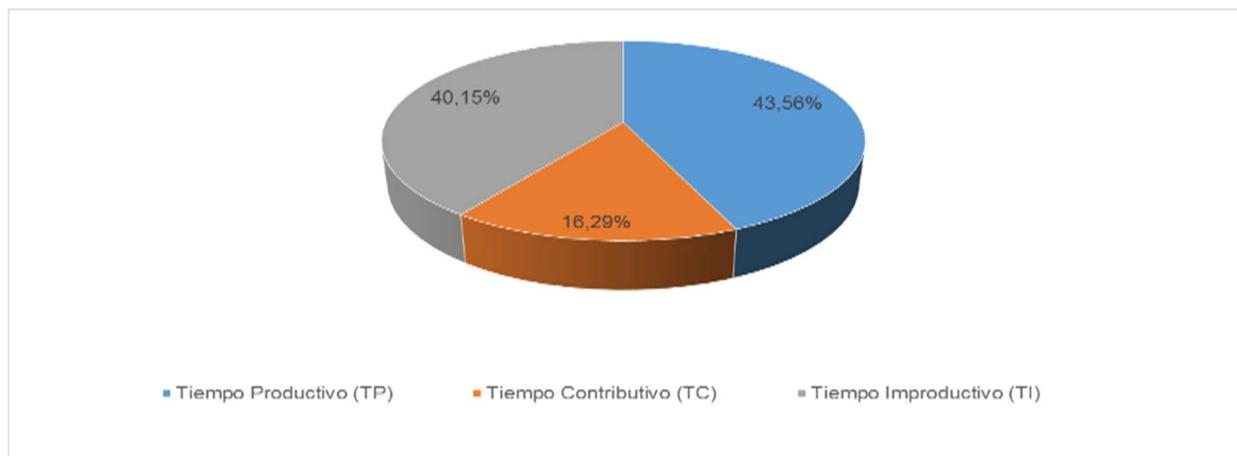


Figura 56. Productividad de la cuadrilla. Fuente: elaboración propia.

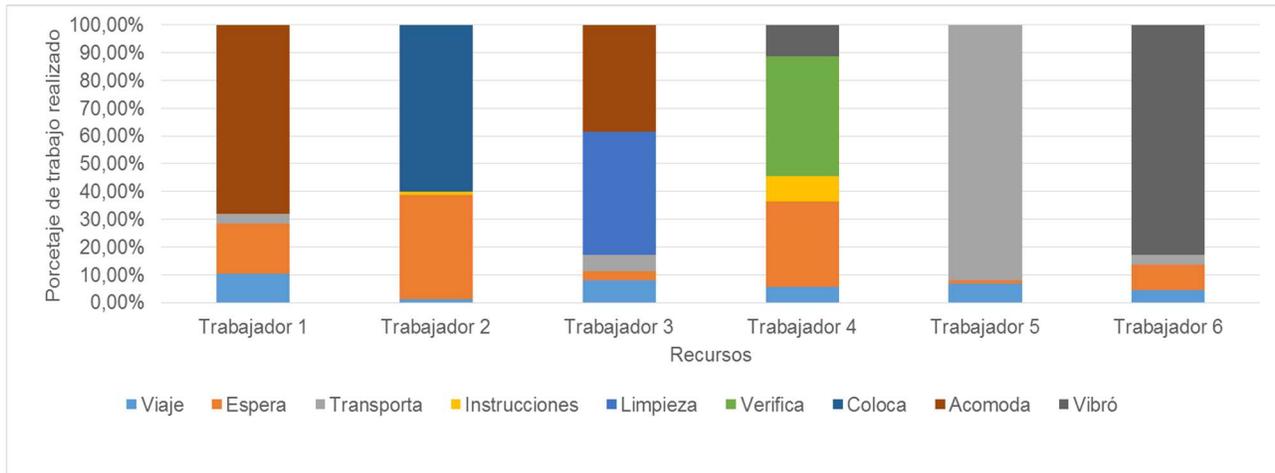


Figura 57. Crew Balance de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

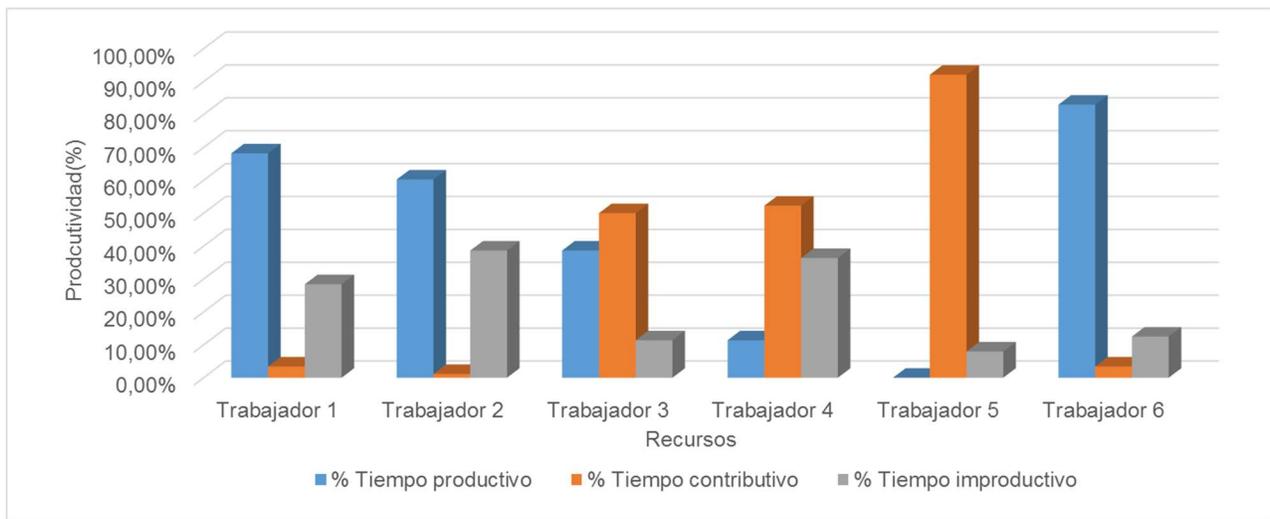


Figura 58. Productividad de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 27. PUNTOS POR MEJORAR EN EL PROCESO</b>
Mala distribución de la cuadrilla
Vibrador eléctrico es incómodo para trabajar
Exceso en transportes
Exceso de tiempos de esperas

Fuente: elaboración propia.

## Muestreo 4: concreto en columnas, descarga con bomba estacionaria

En el cuadro 28 se describen la información general del muestreo y las características propias del proceso de colocación en el instante. En el cuadro 29 se muestran las tareas desarrolladas por las cuadrillas de colocación, así como en la figura 59 la productividad obtenida por el grupo de trabajadores durante el desarrollo de dicha labor.

En la figura 60 se puede observar el *gráfico Crew balance* para cada trabajador, la evaluación de productividad por individuo se puede observar en la figura 61, así como en el cuadro 30 aparecen los posibles puntos de mejora.

CUADRO 28. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROCESO			
Fecha:	23/03/2017	Proceso:	Colocación de concreto
Hora inicio:	4:00 PM	Actividad:	Columnas
Temperatura:	22°C	Ubicación:	Apartamentos
# Trabajadores	8	Elaborado por:	Christopher Cruz
# Observaciones	456	Obs a cada	15 segundos
Particularidades:	Transporte con balde de lugar de almacenamiento al sitio de colocación.		

Fuente: elaboración propia. .

CUADRO 29. TAREAS EJECUTADAS DURANTE EL PROCESO			
CATEGORIZACION DE TAREAS	TAREAS	# OBS	% PESO
Tiempo Improductivo (TI)	Viaje	3	0,66%
	Espera	116	25,44%
	Ocioso	5	1,10%
Tiempo Contributivo (TC)	Transporta	198	43,42%
	Instrucción	22	4,82%
	Verifica	21	4,61%
Tiempo Productivo (TP)	Coloca	91	19,96%

Fuente: elaboración propia.

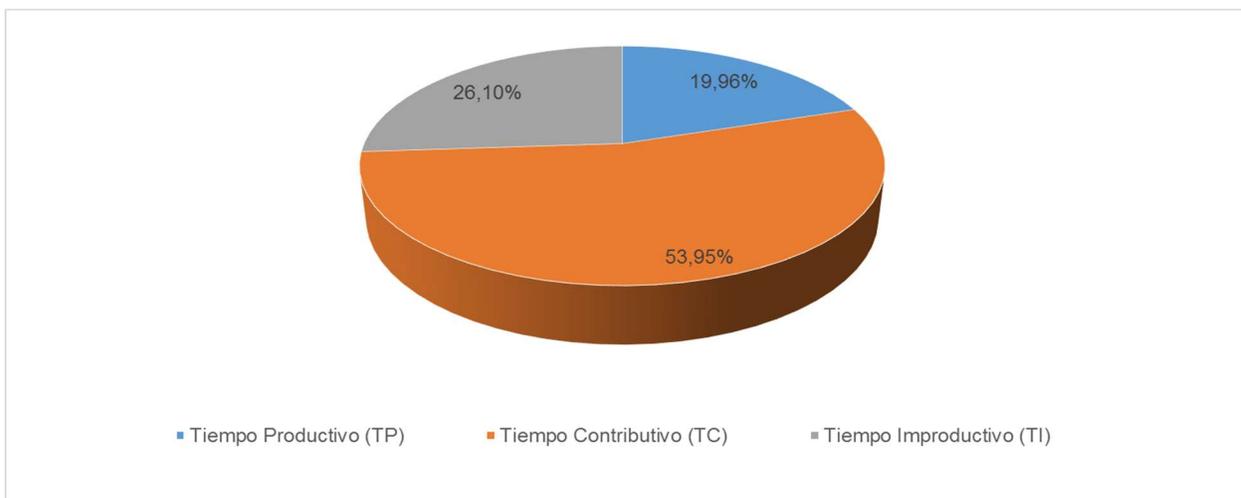


Figura 59. Productividad de la cuadrilla. Fuente: elaboración propia.

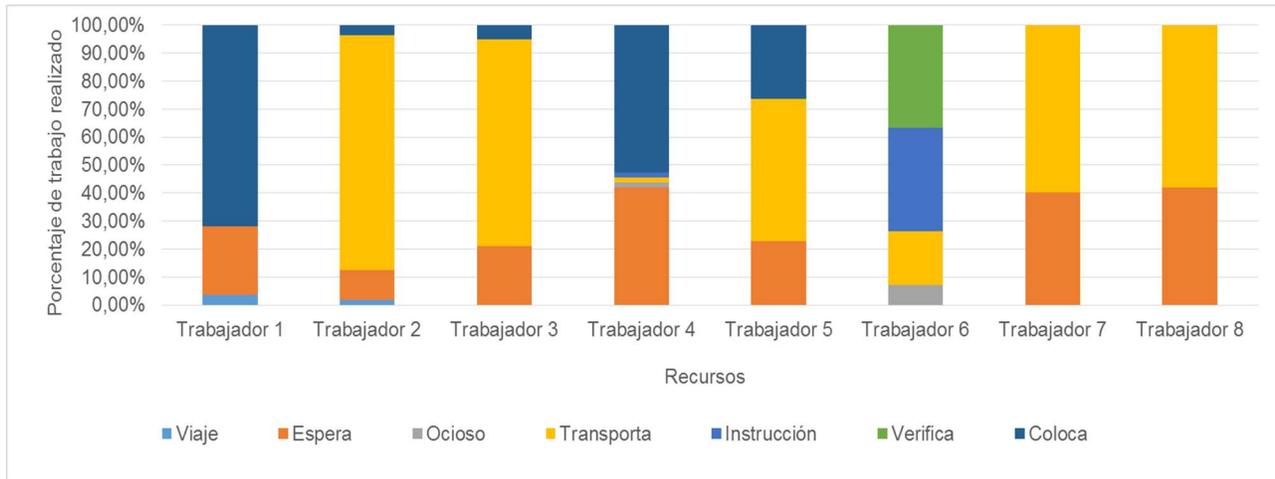


Figura 60. Crew Balance de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

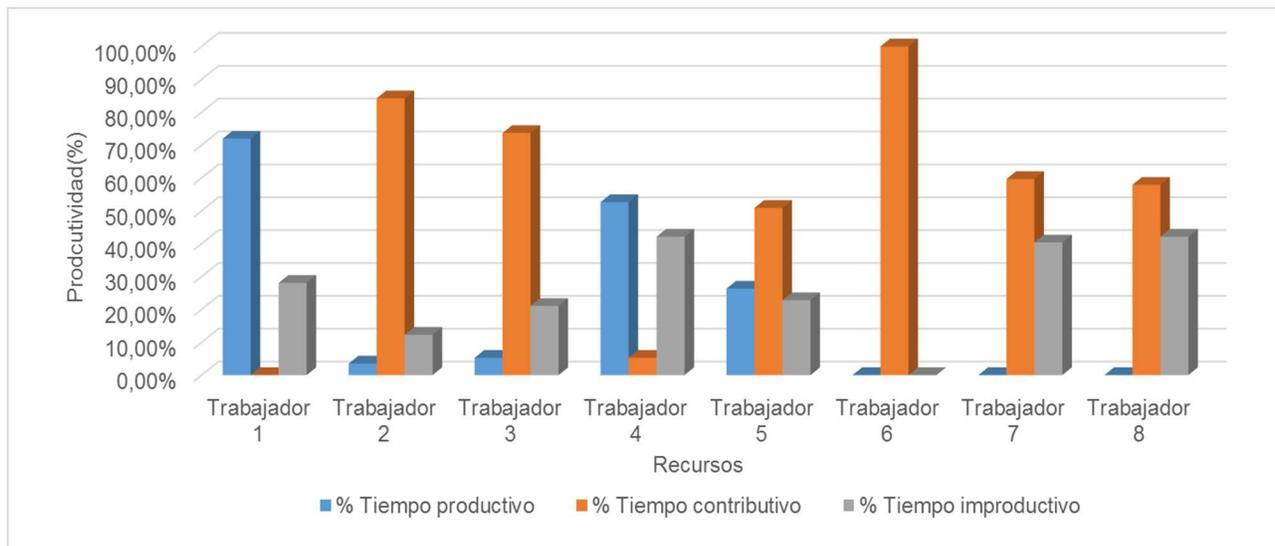


Figura 61. Productividad de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 30. PUNTOS POR MEJORAR EN EL PROCESO</b>
Exceso de espera
Exceso en transportes
Mala distribución de cuadrilla
Posibilidad de utilizar grúa

Fuente: elaboración propia.

## Muestreo 5: concreto en muros, descarga con grúa y balde

En el cuadro 31 se describen la información general del muestreo y las características propias del proceso de colocación en el instante. En el cuadro 32 se puede observar las tareas desarrolladas por las cuadrillas de colocación, así como el al figura 62 la productividad obtenido por el grupo de trabajadores.

En la figura 63 se puede observar el gráfico *Crew Balance* para cada trabajador, la evaluación de productividad por individuo se puede observar en la figura 64, así como en el cuadro 33 se puede observar los posibles puntos de mejora que se pudieron determinar en el proceso.

CUADRO 31. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROCESO			
<b>Fecha:</b>	28/03/2017	<b>Proceso:</b>	Colocación de concreto
<b>Hora inicio:</b>	10:10 AM	<b>Actividad:</b>	Muros
<b>Temperatura:</b>	25°C	<b>Ubicación:</b>	Sótano
<b># Trabajadores</b>	5	<b>Elaborado por:</b>	Christopher Cruz
<b># Observaciones</b>	500	<b>Obs a cada</b>	15 segundos
<b>Particularidades</b>	Concreto premezclado. Balde con volumen de 0,85 m3 por descarga.		

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 32. TAREAS EJECUTADAS DURANTE EL PROCESO			
CATEGORIZACION DE TAREAS	TAREAS	# OBS	% PESO
<b>Tiempo Improductivo (TI)</b>	Viaje	4	0,80%
	Espera	299	59,80%
<b>Tiempo Contributivo (TC)</b>	Transporta	72	14,40%
	Limpieza	3	0,60%
	Instrucción	19	3,80%
<b>Tiempo Productivo (TP)</b>	Coloca	79	15,80%
	Vibra	24	4,80%

Fuente: elaboración propia.

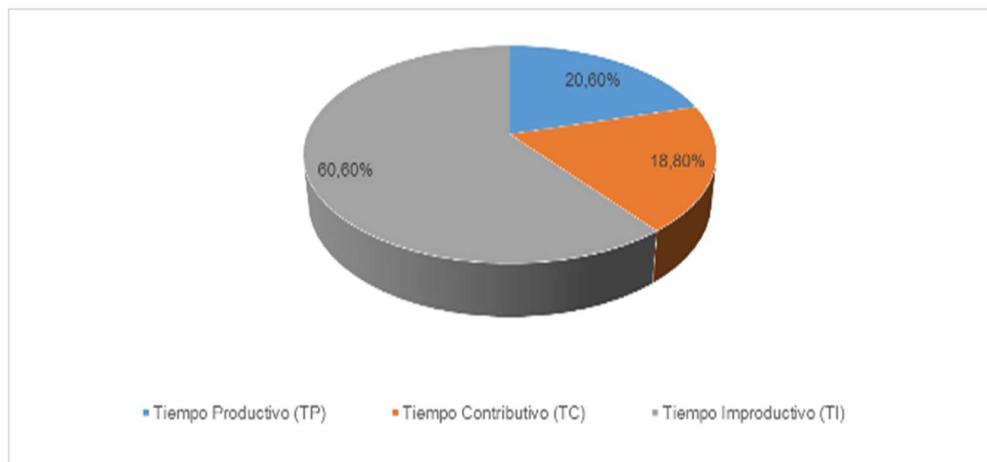


Figura 62. Productividad de la cuadrilla. Fuente: elaboración propia.

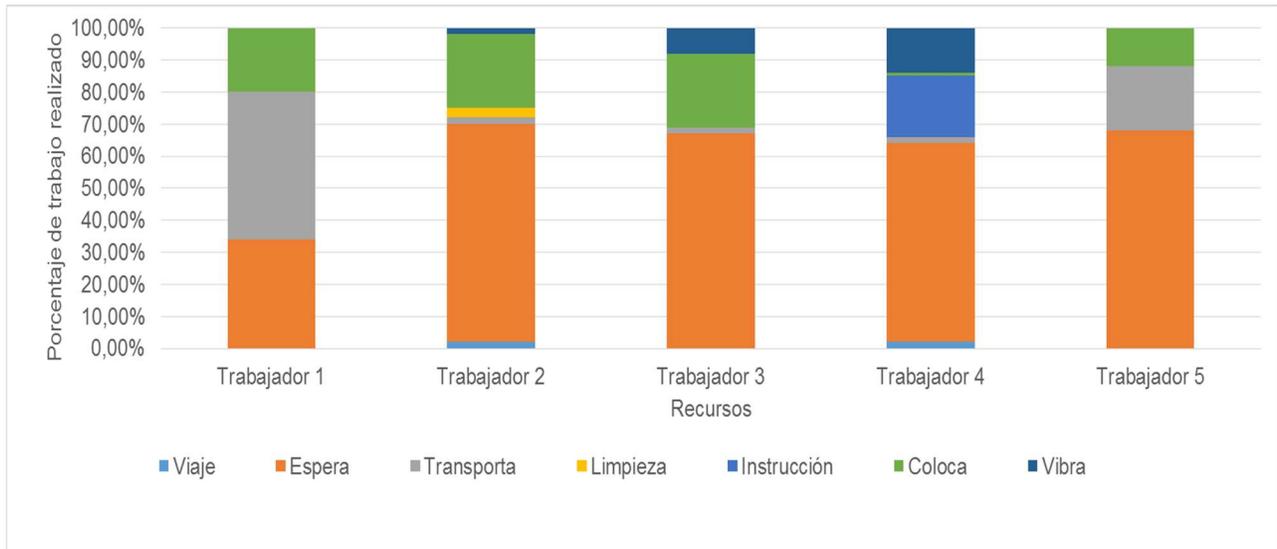


Figura 63. Crew Balance de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

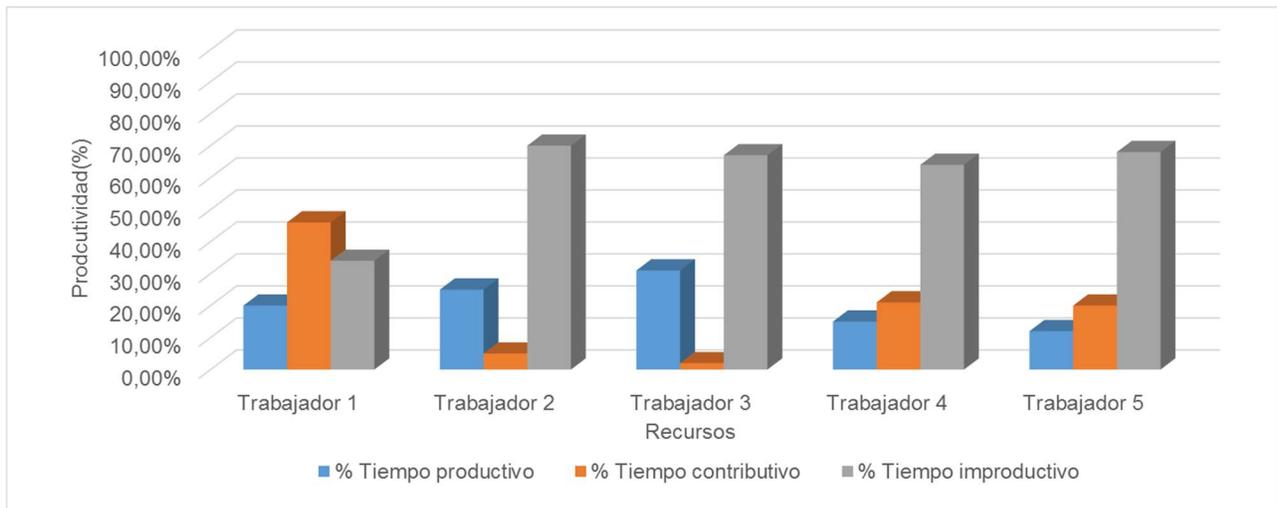


Figura 64. Productividad de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 33. PUNTOS POR MEJORAR EN EL PROCESO</b>
Exceso de espera
Exceso en transportes
Posibilidad de utilizar dos baldes para eliminar tiempos muertos

Fuente: elaboración propia.

## Muestreo 6: concreto en placas, descarga con grúa y balde

En el cuadro 34 se describen la información general del muestreo y las características propias del proceso de colocación en el instante. En el cuadro 35 se puede observar las tareas desarrolladas por las cuadrillas de colocación, así como el al figura 65 la productividad obtenido por el grupo de trabajadores durante el proyecto.

En la figura 66 se puede observar en el gráfico *Crew Balance* para cada trabajador, la evaluación de productividad por individuo se puede observar en la figura 67, así como en el cuadro 36 se puede observar los posibles puntos de mejora que se pudieron observar en el proceso.

CUADRO 34. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROCESO			
<b>Fecha:</b>	28/03/2017	<b>Proceso:</b>	Colocación de concreto
<b>Hora inicio:</b>	1:20 AM	<b>Actividad:</b>	Placas
<b>Temperatura:</b>	23°C	<b>Ubicación:</b>	Sotano
<b># Trabajadores</b>	8	<b>Elaborado por:</b>	Christopher Cruz
<b># Observaciones</b>	504	<b>Obs a cada</b>	15 segundos
<b>Particularidades:</b>	Concreto de la autohormigonera, balde de 0,6 m3 por descarga.		

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 35. TAREAS EJECUTADAS DURANTE EL PROCESO			
CATEGORIZACION DE TAREAS	TAREAS	# OBS	% PESO
Tiempo Improductivo (TI)	Viaje	39	7,74%
	Espera	142	28,17%
	Ocioso	41	8,13%
Tiempo Contributivo (TC)	Transporta	64	12,70%
	Instrucción	26	5,16%
Tiempo Productivo (TP)	Coloca	192	38,10%

Fuente: elaboración propia.

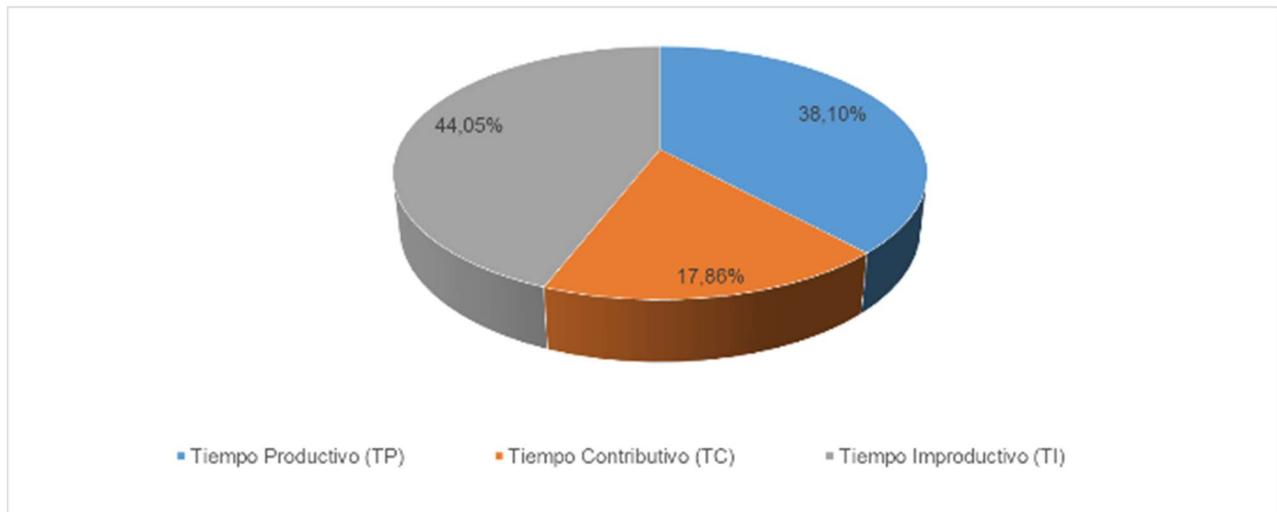


Figura 65. Productividad de la cuadrilla. Fuente: elaboración propia.

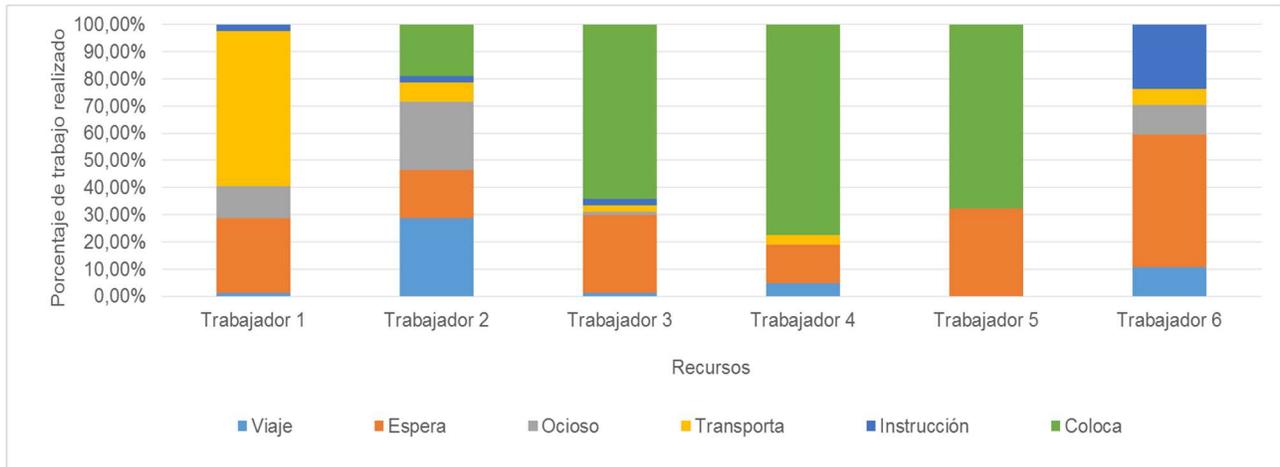


Figura 66. *Crew Balance* de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

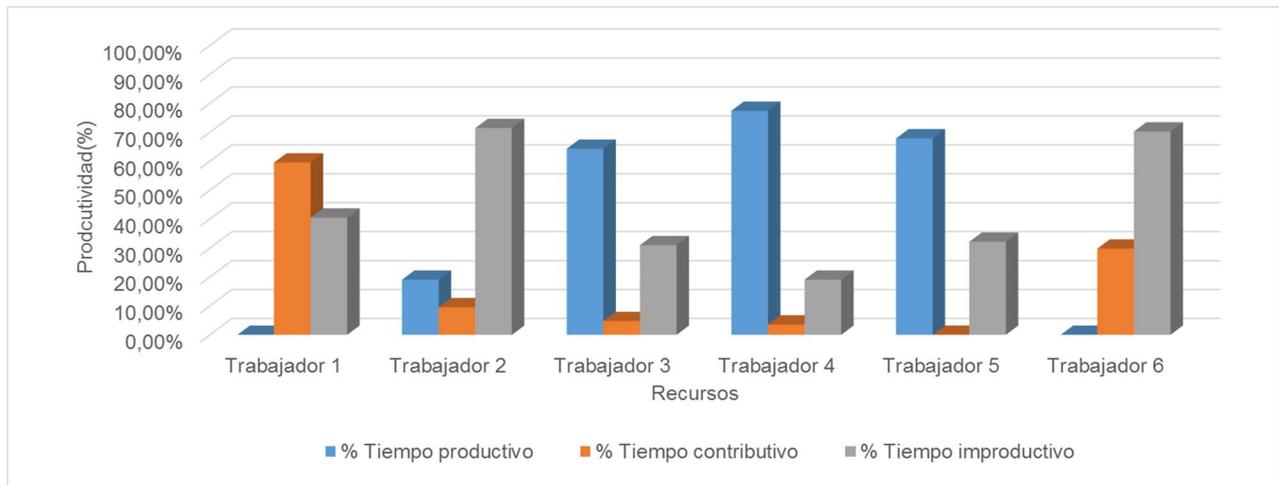


Figura 67. Productividad de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 36. PUNTOS POR MEJORAR EN EL PROCESO</b>
Exceso de espera
exceso en transportes
Mala distribución de cuadrilla

Fuente: elaboración propia.

## Muestreo 7: concreto en placas, descarga con grúa y balde

En el cuadro 37 se describen la información general del muestreo y las características propias del proceso de colocación en el instante. En el cuadro 38 se pueden observar las tareas desarrolladas por las cuadrillas de colocación, así como en la figura 68 la productividad obtenido por el grupo de trabajadores.

En la figura 69 se puede observar en *gráfico Crew Balance* para cada trabajador, la evaluación de productividad por individuo se puede observar en la figura 70, así como en el cuadro 39 se puede observar los posibles puntos por mejorar.

CUADRO 37. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROCESO			
<b>Fecha:</b>	10/04/2017	<b>Proceso:</b>	Colocación de concreto
<b>Hora inicio:</b>	14:31:00	<b>Actividad:</b>	Columnas
<b>Temperatura:</b>	25°C	<b>Ubicación:</b>	Kínder
<b># Trabajadores</b>	4	<b>Elaborado por:</b>	Christopher Cruz
<b># Observaciones</b>	402	<b>Obs a cada</b>	15 segundos
<b>Particularidades:</b>	Utilización de grúa y balde de 0,6 m3 por descarga.		

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 38. TAREAS EJECUTADAS DURANTE EL PROCESO			
CATEGORIZACION DE TAREAS	TAREAS	# OBS	% PESO
<b>Tiempo Improductivo (TI)</b>	Descanso	3	0,75%
	Espera	102	25,37%
<b>Tiempo Contributivo (TC)</b>	Transporte	137	34,08%
	Instrucción	45	11,19%
<b>Tiempo Productivo (TP)</b>	Colocación	115	28,61%

Fuente: elaboración propia.

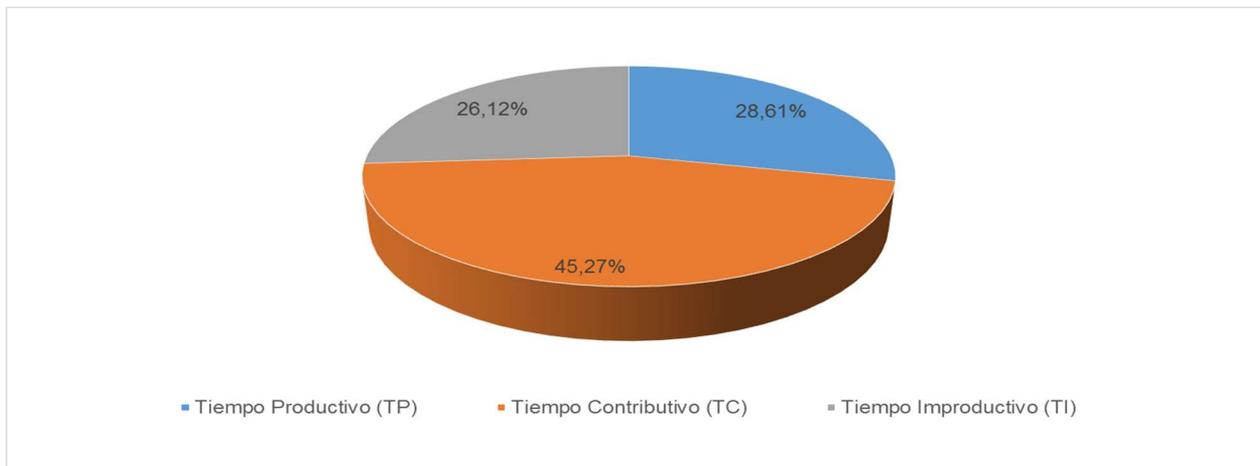


Figura 68. Productividad de la cuadrilla. Fuente: elaboración propia.

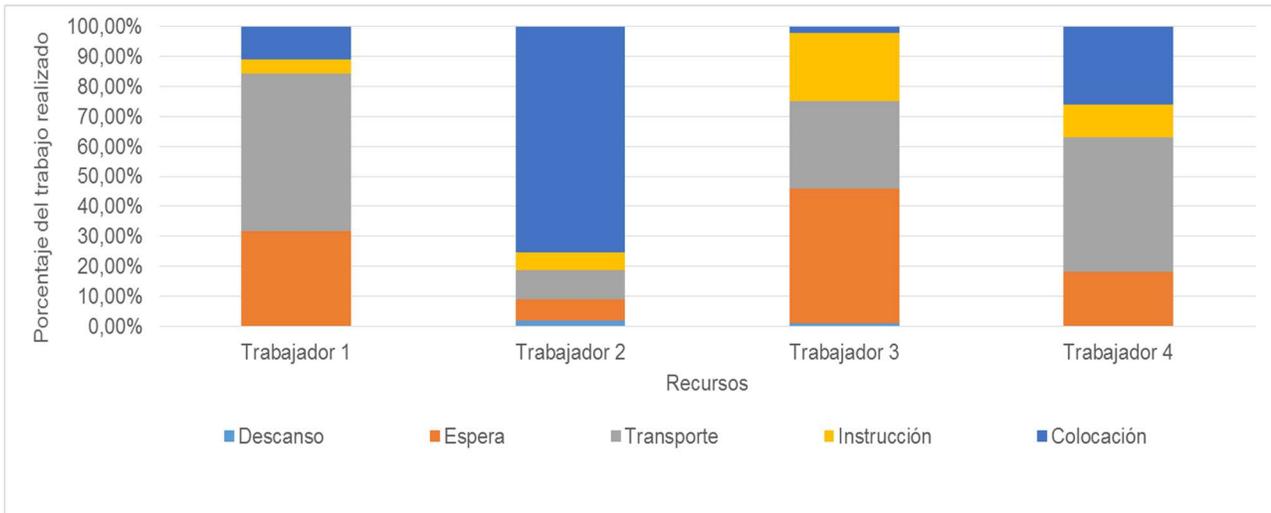


Figura 69. Crew Balance de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

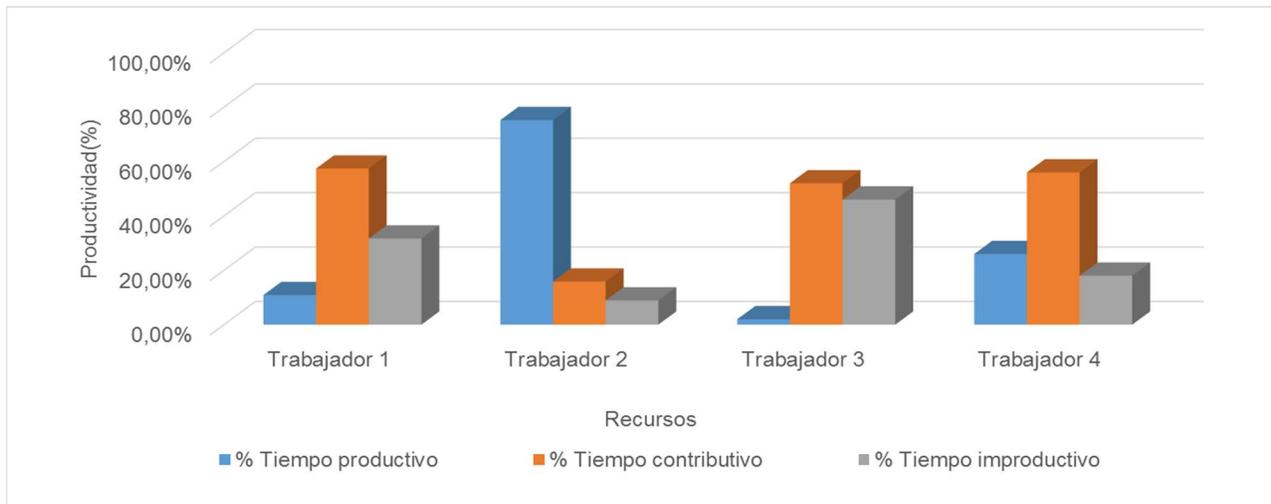


Figura 70. Productividad de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 39. PUNTOS POR MEJORAR EN EL PROCESO</b>
Exceso en espera
Exceso en transportes
Los vibradores eléctricos son muy incómodos para trabajar

Fuente: elaboración propia.

## Muestreo 8: concreto en entrepiso, descarga con bomba telescópica

En el cuadro 40 se describen la información general del muestreo y las características propias del proceso de colocación en el instante. En el cuadro 41 se puede observar las tareas desarrolladas por las cuadrillas de colocación, así como en la figura 71 la productividad obtenida por el grupo de trabajadores

En la figura 72 se puede observar en el gráfico *Crew Balance* para cada trabajador, la evaluación de productividad por individuo se puede observar en la figura 73, así como en el cuadro 42 se puede observar los posibles puntos de mejora que se pudieron observar en el proceso.

CUADRO 40. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROCESO			
Fecha:	11/04/2017	Proceso:	Colocación de concreto
Hora inicio:	13:15:00	Actividad:	Entrepiso
Temperatura:	22°C	Ubicación:	Apartamentos
# Trabajadores	8	Elaborado por:	Christopher Cruz
# Observaciones:	428	Obs a cada:	15 segundos
Particularidades:	Utilización de bomba, vibradores de gasolina.		

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 41. TAREAS EJECUTADAS DURANTE EL PROCESO			
CATEGORIZACION DE TAREAS	TAREAS	# OBS	% PESO
Tiempo Improductivo (TI)	Espera	88	20,56%
	Transportes	138	32,24%
Tiempo Contributivo (TC)	Instrucción	15	3,50%
	Colocación	187	43,69%

Fuente: elaboración propia.

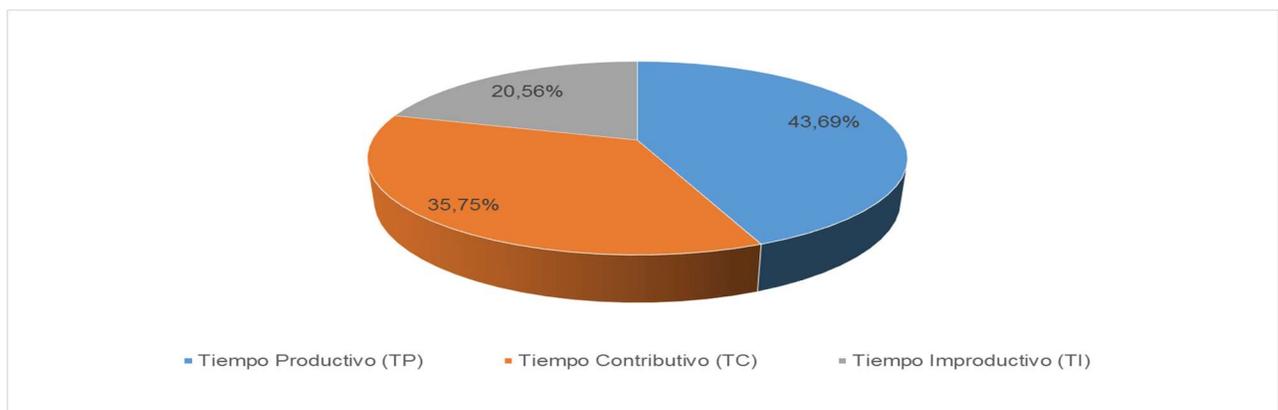


Figura 71. Productividad de la cuadrilla. Fuente: elaboración propia.

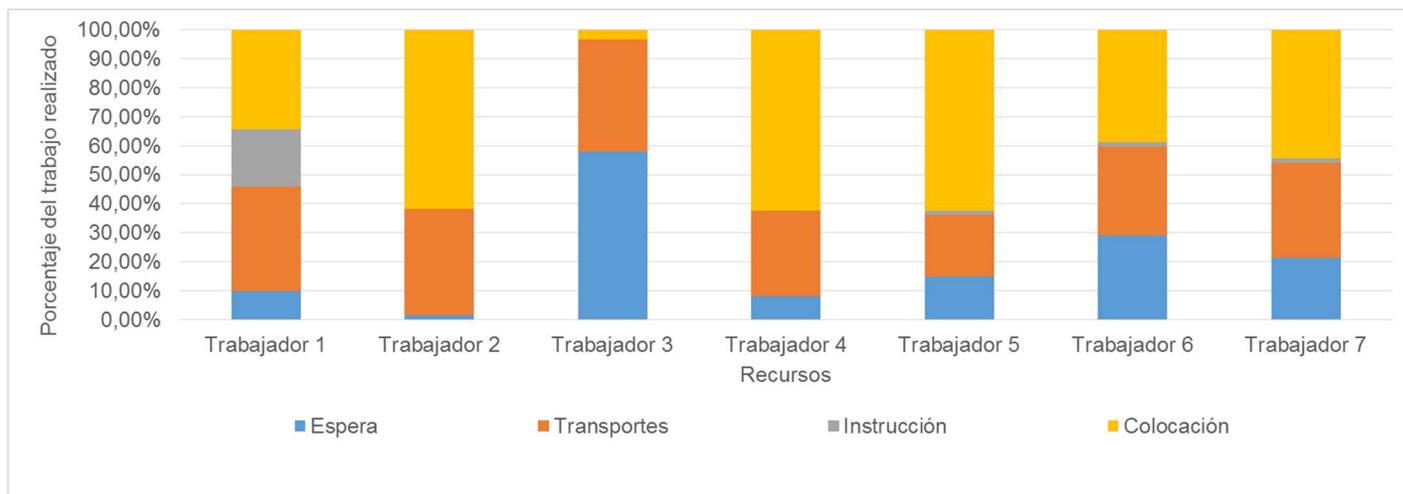


Figura 72. Crew Balance de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

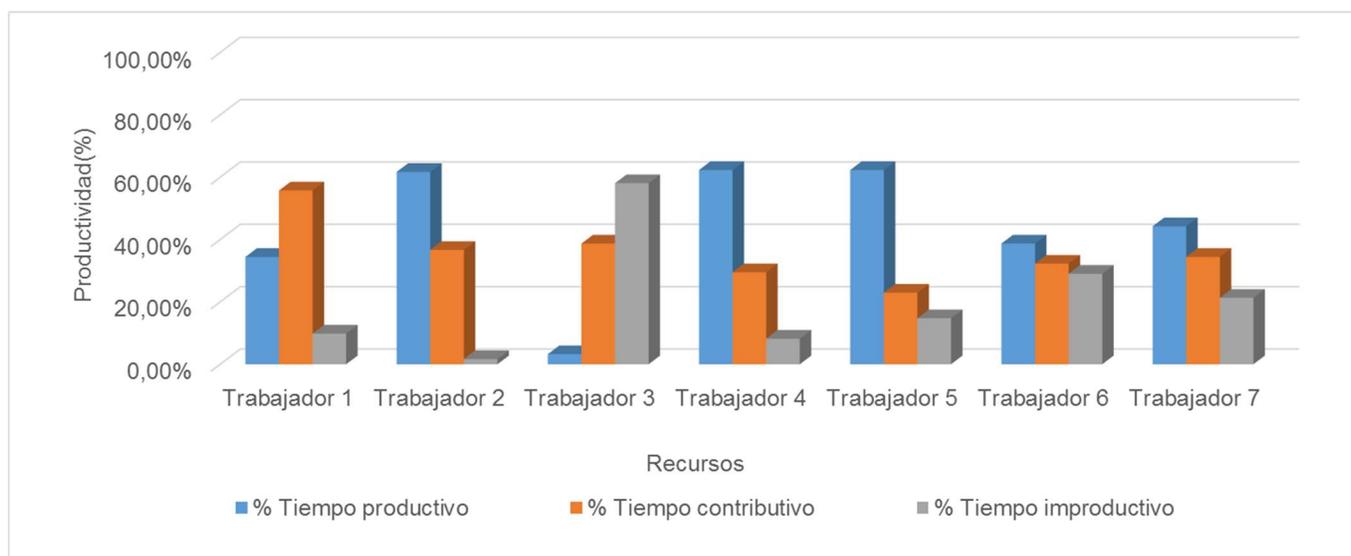


Figura 73. Productividad de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 42. PUNTOS POR MEJORAR EN EL PROCESO</b>
Exceso en transportes
Exceso de esperas
Mala distribución de cuadrilla

Fuente: elaboración propia.

## Muestreo 9: sello de placas descarga con grúa y balde

En el cuadro 43 se describen las información general del muestreo y las características propias del proceso de colocación en el instante. En el cuadro 44 se puede observar las tareas desarrolladas por las cuadrillas de colocación, así como el al figura 65 la productividad obtenido por el grupo de trabajadores durante de la actividad.

En la figura 72 se puede observar en grafico Crew balance para cada trabajador, la evaluación de productividad por individuo se puede observar en la figura 73, así como en el cuadro 45 se puede observar los posibles puntos de mejora que se pudieron observar en el proceso.

CUADRO 43. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROCESO			
Fecha:	24/04/2017	Proceso:	Colocación de concreto
Hora inicio:	15:45:00	Actividad:	Sello de cimientos
Temperatura:	25°C	Ubicación:	Polideportivo
# Trabajadores	4	Elaborado por:	Christopher Cruz
# Observaciones	416	Obs a cada:	15 segundos
Particularidades:	Uso de grúa, balde de 0,85 m3. Amplio espacio de descarga.		

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 44. TAREAS EJECUTADAS DURANTE EL PROCESO			
CATEGORIZACION DE TAREAS	TAREAS	# OBS	% PESO
Tiempo Improductivo (TI)	Viajes	13	3,13%
	Espera	142	34,13%
Tiempo Contributivo (TC)	Transporte	8	1,92%
	Instrucción	12	2,88%
Tiempo Productivo (TP)	Colocación	241	57,93%

Fuente: elaboración propia.

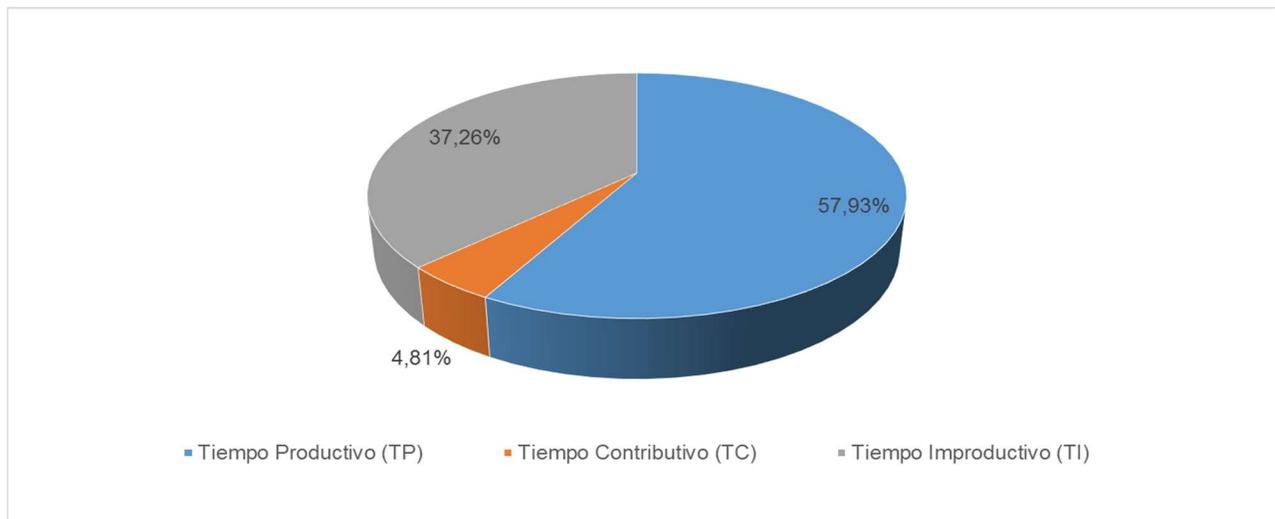


Figura 74. Productividad de la cuadrilla. Fuente: elaboración propia.

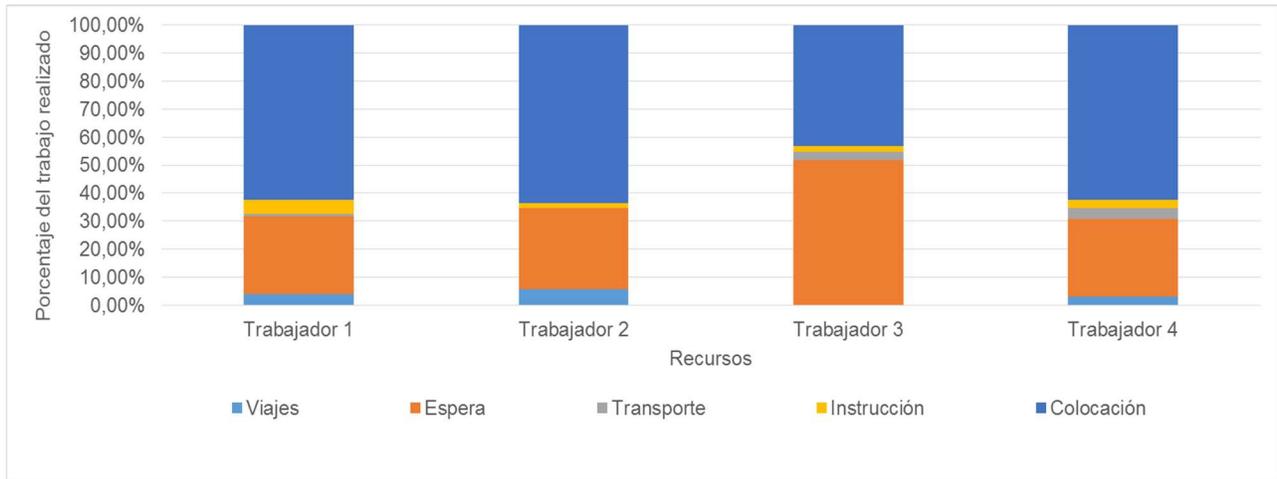


Figura 75. Crew Balance de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

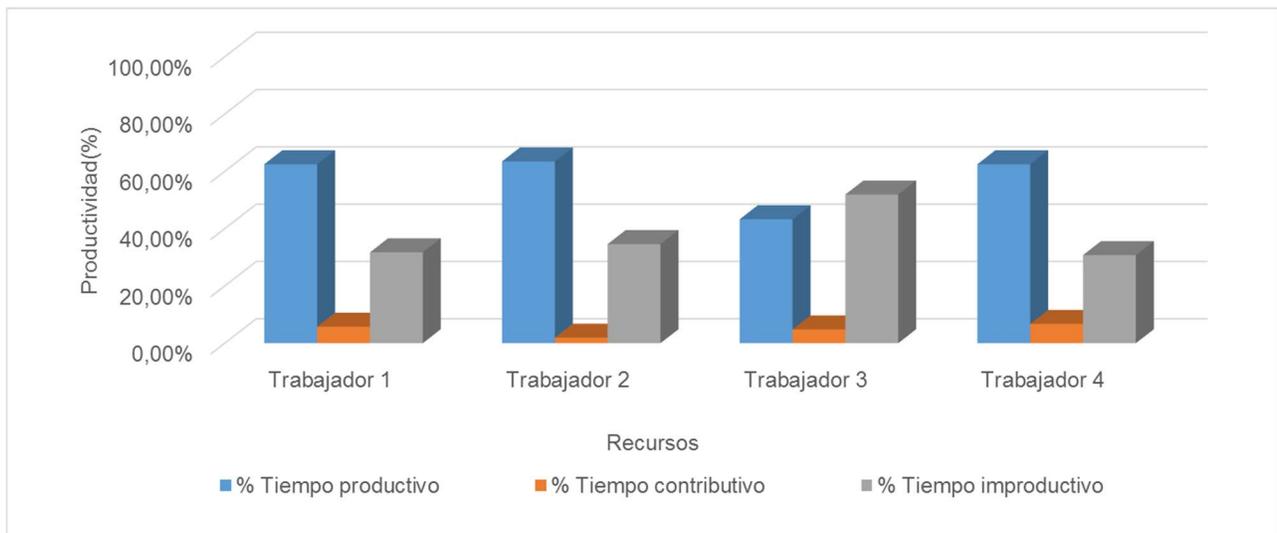


Figura 76. Productividad de los trabajadores. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 45. PUNTOS POR MEJORAR EN EL PROCESO</b>
Exceso de esperas
Posibilidad de utilizar dos baldes
Mala distribución de cuadrilla

Fuente: elaboración propia

# Fase evaluación de la implementación de recomendaciones

Para la realización de los diagramas de recorrido correspondientes al proceso de producción, en la fase de evaluación de las recomendaciones emitidas, se procede a muestrear 9 procesos de producción de concreto de manera aleatoria. Con el objetivo de obtener los nuevos datos de tiempos de producción y distancias recorridas.

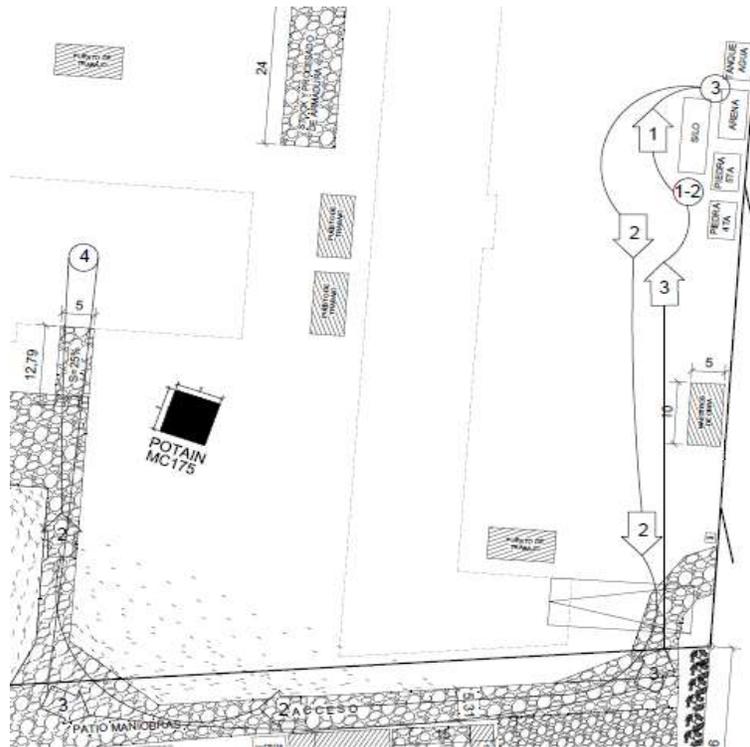


Figura 77. Diagrama de recorrido asociado al muestreo 8. Fuente: elaboración propia.

**CUADRO 46. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 8**

Información			
<b>Fecha:</b>	11/04/2017	<b>Tipo Concreto:</b>	210 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Descarga:</b>	Grúa	<b>Volumen (m<sup>3</sup>):</b>	3

Descripción	Tiempo (min)	Distancia (m)
Proceso 1: orden de inicio de carga	5	-
Proceso 2: carga piedra y cemento	10	-
Recorrido 1	1	15
Proceso 3: carga arena	5	-
Recorrido 2	3	200
Proceso 4: descarga concreto	17	-
Recorrido 3	3	200
<b>Total:</b>	<b>44</b>	<b>415</b>
<b>Rendimiento (m<sup>3</sup>/hr):</b>	<b>4,09</b>	

Descripción:	Tiempo (min)	Porcentaje (%)
Tiempo productivo	32	72,73%
Tiempo contributivo	7	15,91%
Tiempo improductivo	5	11,36%

Fuente: elaboración propia.





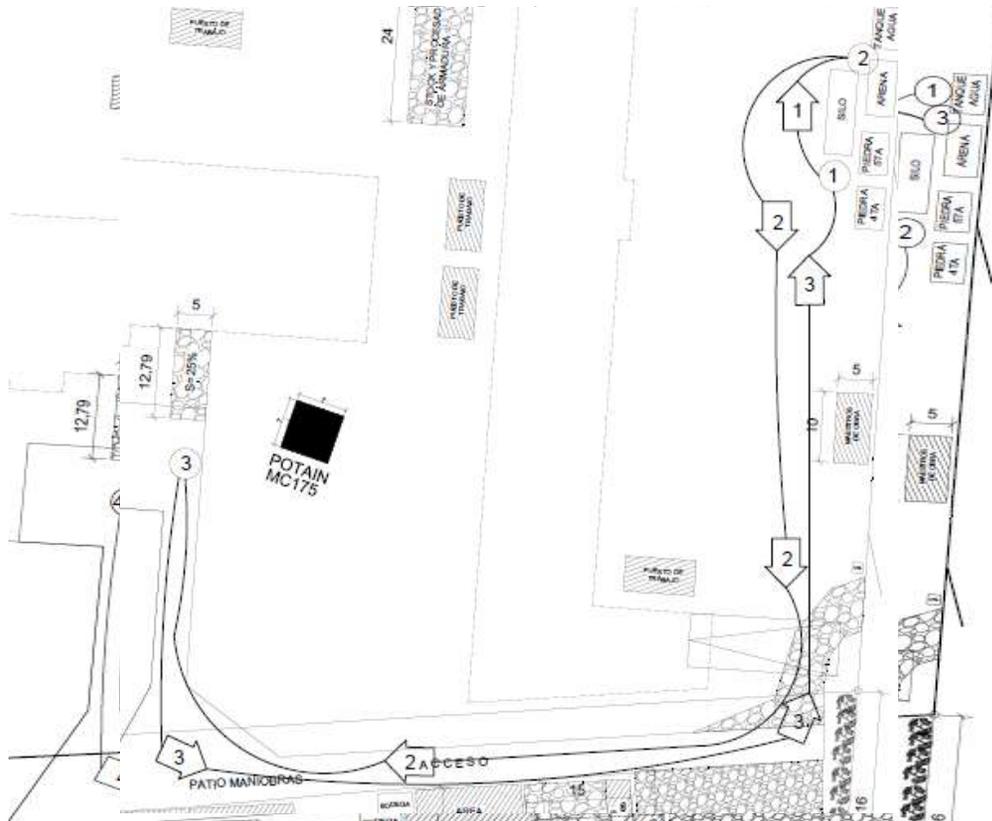


Figura 80. Diagrama de recorrido asociado al muestreo 11. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 49. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 11</b>			
<b>Información</b>			
<b>Fecha:</b>	20/04/2017	<b>Tipo Concreto:</b>	210 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Descarga:</b>	Grúa y balde	<b>Volumen (m<sup>3</sup>):</b>	3,5
<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Distancia (m)</b>	
Proceso 1: carga piedra y cemento	9	-	
Recorrido 1	1	15	
Proceso 2: carga arena	5	-	
Recorrido 2	5	150	
Proceso 3: descarga concreto y realización de guía	30	-	
Recorrido 3	5	150	
<b>Total:</b>	<b>55</b>	<b>315</b>	
<b>Rendimiento (m<sup>3</sup>/hr):</b>	<b>3,82</b>		
<b>Descripción:</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	
Tiempo productivo	44	80,00%	
Tiempo contributivo	11	20,00%	
Tiempo improductivo	0	0,00%	

Fuente: elaboración propia.



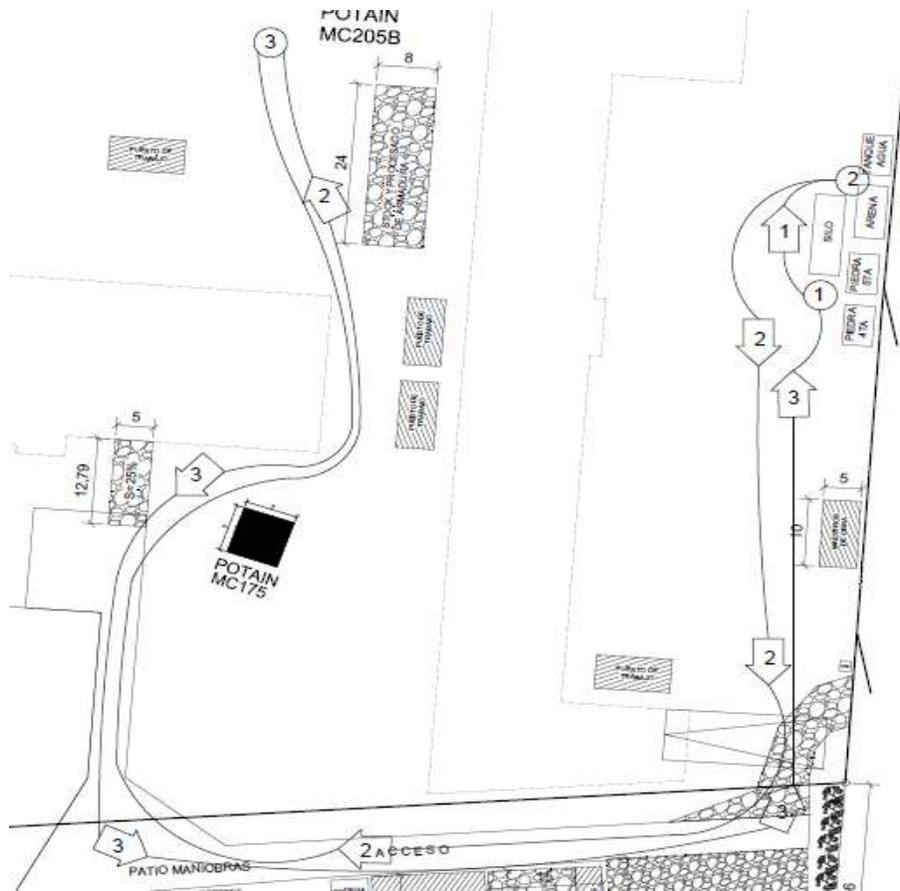


Figura 82. Diagrama de recorrido asociado al muestreo 13. Fuente: elaboración propia.

CUADRO 51. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 13			
Información			
Fecha:	20/04/2017	Tipo Concreto:	210 Kg/cm <sup>2</sup>
Descarga:	Grúa y balde	Volumen (m <sup>3</sup> ):	4
Descripción	Tiempo (min)	Distancia (m)	
Proceso 1: carga agua	10	-	
Proceso 2: ordenamiento de pedidos	15	-	
Recorrido 1	1	15	
Proceso 3: carga piedra y cemento	17	-	
Recorrido 2	1	15	
Proceso 4: carga arena	12	-	
Recorrido 3	5	300	
Proceso 5: espera	10	-	
Proceso 6: descarga concreto y realización de guía	95	-	
Recorrido 4	5	300	
<b>Total:</b>	<b>171</b>	<b>630</b>	
<b>Rendimiento (m<sup>3</sup>/hr):</b>	<b>1,40</b>		
Descripción:	Tiempo (min)	Porcentaje (%)	
Tiempo productivo	134	78,36%	
Tiempo contributivo	12	7,02%	
Tiempo improductivo	25	14,62%	

Fuente: elaboración propia.

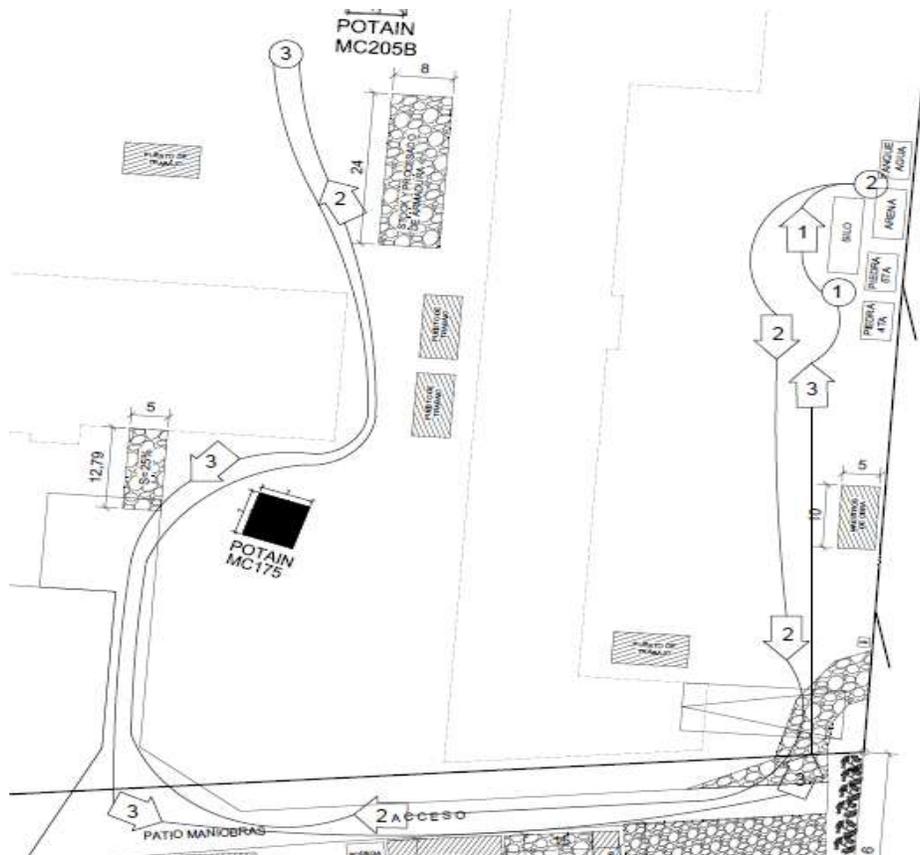


Figura 83. Diagrama de recorrido asociado al muestreo 14. Fuente: elaboración propia.

**CUADRO 52. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 14**

Información			
<b>Fecha:</b>	20/04/2017	<b>Tipo Concreto:</b>	210 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Descarga:</b>	Grúa y balde	<b>Volumen (m<sup>3</sup>):</b>	3

Descripción	Tiempo (min)	Distancia (m)
Proceso 1: carga piedra y cemento	12	-
Recorrido 1	1	15
Proceso 2: carga arena y agua	12	-
Recorrido 2	5	150
Proceso 3: descarga concreto y realización de guía	77	-
Recorrido 3	5	150
<b>Total:</b>	<b>112</b>	<b>315</b>
<b>Rendimiento (m<sup>3</sup>/hr):</b>	<b>1,61</b>	

Descripción:	Tiempo (min)	Porcentaje (%)
Tiempo productivo	101	90,18%
Tiempo contributivo	11	9,82%
Tiempo improductivo	0	0,00%

Fuente: elaboración propia.



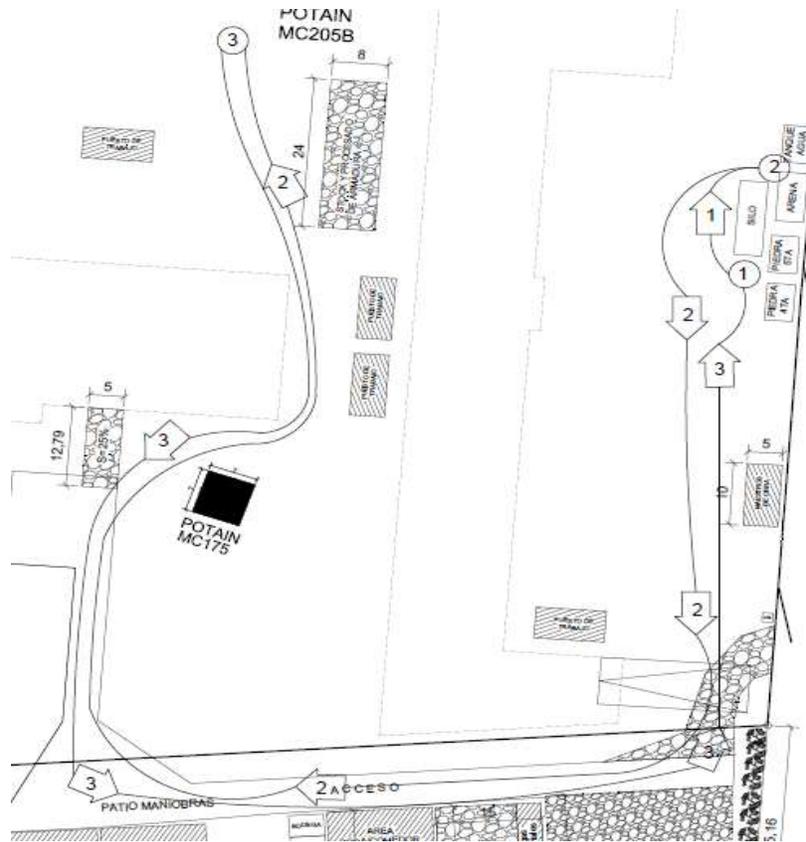


Figura 85. Diagrama de recorrido asociado al muestreo 16. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 54. DATOS ASOCIADOS CON EL DIAGRAMA DE RECORRIDO 16</b>			
<b>Información</b>			
<b>Fecha:</b>	20/04/2017	<b>Tipo Concreto:</b>	210 Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Descarga:</b>	Grúa	<b>Volumen (m<sup>3</sup>):</b>	3
<b>Descripción</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Distancia (m)</b>	
Proceso 1: carga piedra y cemento	11	-	
Recorrido 1	1	15	
Proceso 2: carga arena	6	-	
Recorrido 2	5	300	
Proceso 3: descarga concreto y realización de guía	32	-	
Recorrido 3	10	300	
<b>Total:</b>	<b>65</b>	<b>615</b>	
<b>Rendimiento (m<sup>3</sup>/hr):</b>	<b>2,77</b>		
<b>Descripción:</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	
Tiempo productivo	49	75,38%	
Tiempo contributivo	16	24,62%	
Tiempo improductivo	0	0,00%	

Fuente: elaboración propia.

De igual forma que en la fase anterior se hace dos cuadros resumen (cuadro 55 y cuadro 56) recopilando la información de los diagramas recorrido aplicados a la actual fase. Los anteriores se dividen entre las actividades que agregan valor y las que no agregan valor al proceso de producción de concreto.

También se agregan actividades de las cuales no se logró conseguir información en los diagramas de recorrido, pero de las cuales sí existe conocimiento de su existencia, con estas se realizó un muestreo por aparte único midiendo el tiempo de su respectiva duración.

Para la realización del diagrama de flujo (figura 87) y el *Value Stream Mapping* toma como base los toda la información de esta fase. En estos se refleja toda la información del proceso de producción, los medios de comunicación del proceso, proveedores y tiempos de entrega, las tareas que agregan valor y las que no lo agregan, tiempos promedio, los clientes y el respectivo promedio de producción con las recomendaciones emitidas producto del análisis de fase de evaluación.

<b>CUADRO 55. TIEMPOS PROMEDIO PARA LAS TAREAS QUE AGREGAN VALOR AL PROCESO DEL PRODUCCIÓN</b>			
<b>Cantidad de muestras</b>	<b>Carga de piedra y cemento (min)</b>	<b>Carga arena (min)</b>	<b>Carga Agua (min)</b>
1	10	5	10
2	11	5	10
3	11	11	7
4	9	5	6
5	14	5	6
6	17	12	-
7	12	6	-
8	19	8	-
9	11	6	-
<b>Promedio (min)</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>8</b>

Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 56. TIEMPOS PROMEDIO PARA LAS TAREAS QUE NO AGREGAN VALOR AL PROCESO DEL PRODUCCIÓN</b>					
<b>Cantidad de muestras</b>	<b>Orden de carga (min)</b>	<b>Recorrido 1 (min)</b>	<b>Recorrido 2 (al frente de trabajo) (min)</b>	<b>Descarga concreto por m3 y realización de guía (min)</b>	<b>Recorrido 3 (al silo) (min)</b>
1	5	1	3	6	3
2	5	1	3	8	3
3	5	1	3	4	3
4	15	1	5	9	5
5	0	1	5	10	5
6	0	1	5	24	5
7	0	1	5	26	5
8	0	1	5	17	10
9	0	1	5	11	10
<b>Promedio (min)</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>5</b>

Fuente: elaboración propia.

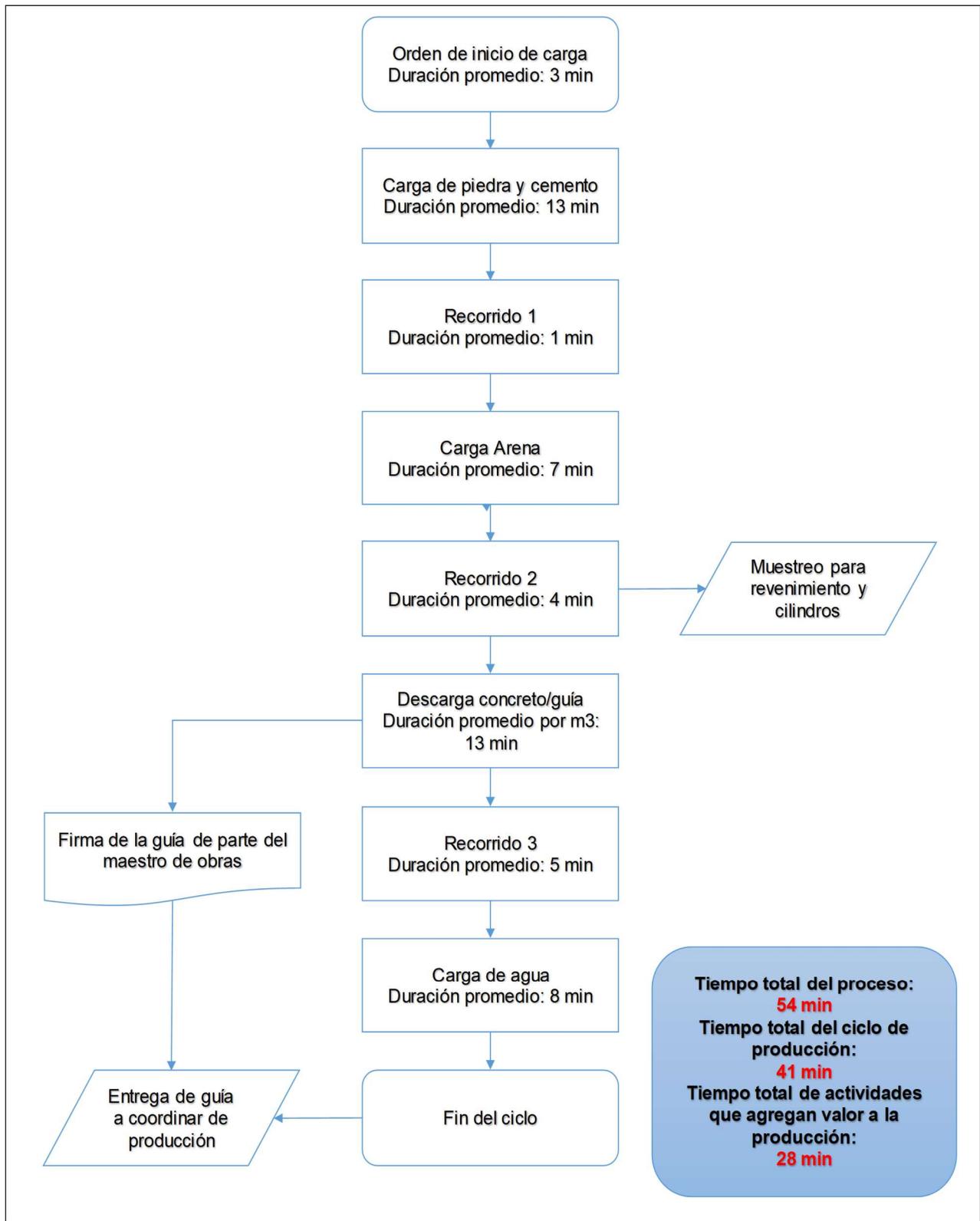


Figura 86. Diagrama de flujo del proceso de producción. Fuente: elaboración propia.

**CUADRO 57. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 17 AL 22 DE ABRIL DEL 2017**

Semana	17/04/2017	18/04/2017	19/04/2017	20/04/2017	21/04/2017	22/04/2017	Resumen
Producción diaria (m3)	5,0	5,5	15,5	20,0	8,0	FALLO DE	54,0
Rendimiento del equipo (m3/h)	0,8	0,6	1,6	1,5	0,7	EQUIPO	1,0
Tiempo productivo:	-	-	-	77,0%	-	-	-
Tiempo contributivo:	-	-	-	9,6%	-	-	-
Tiempo improductivo:	-	-	-	13,4%	-	-	-
Promedio (m3/día)	10,8						

**CUADRO 58. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 22 AL 29 DE ABRIL DEL 2017**

Semana	24/04/2017	25/04/2017	26/04/2017	27/04/2017	28/04/2017	29/04/2017	Resumen
Producción diaria (m3)	19,0	23,5	29,5	22,0	23,0	12,5	129,5
Rendimiento del equipo (m3/h)	1,7	2,1	2,7	2,0	2,1	1,8	2,1
Tiempo productivo:	-	-	-	-	-	-	-
Tiempo contributivo:	-	-	-	-	-	-	-
Tiempo improductivo:	-	-	-	-	-	-	-
Promedio (m3/día)	23,5						

**CUADRO 59. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 01 AL 06 DE MAYO DEL 2017**

Semana	01/05/2017	02/05/2017	03/05/2017	04/05/2017	05/05/2017	06/05/2017	Resumen
Producción diaria (m3)	FERIADO	28,5	9,0	23,0	21,0	23,5	105,0
Rendimiento del equipo (m3/h)		2,6	0,8	2,1	1,9	2,1	1,9
Tiempo productivo:	-	-	-	-	-	-	-
Tiempo contributivo:	-	-	-	-	-	-	-
Tiempo improductivo:	-	-	-	-	-	-	-
Promedio (m3/día)	21,0						

Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 60. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 08 AL 13 DE MAYO DEL 2017</b>							
<b>Semana</b>	<b>08/05/2017</b>	<b>09/05/2017</b>	<b>10/05/2017</b>	<b>11/05/2017</b>	<b>12/05/2017</b>	<b>13/05/2017</b>	<b>Resumen</b>
<b>Producción diaria (m3)</b>	11,0	16,0	17,5	17,5	32,0	0,0	94,0
<b>Rendimiento del equipo (m3/h)</b>	1,0	1,5	1,6	1,6	2,9	0,0	1,4
<b>Tiempo productivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo contributivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo improductivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio (m3/día)</b>	17,1						

<b>CUADRO 61. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 15 AL 20 DE MAYO DEL 2017</b>							
<b>Semana</b>	<b>15/05/2017</b>	<b>16/05/2017</b>	<b>17/05/2017</b>	<b>18/05/2017</b>	<b>19/05/2017</b>	<b>20/05/2017</b>	<b>Resumen</b>
<b>Producción diaria (m3)</b>	20,0	34,5	31,0	15,0	7,0	22,0	129,5
<b>Rendimiento del equipo (m3/h)</b>	1,8	3,1	2,8	1,4	0,6	2,4	2,0
<b>Tiempo productivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo contributivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo improductivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio (m3/día)</b>	21,6						

<b>CUADRO 62. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 22 AL 27 DE MAYO DEL 2017</b>							
<b>Semana</b>	<b>22/05/2017</b>	<b>23/05/2017</b>	<b>24/05/2017</b>	<b>25/05/2017</b>	<b>26/05/2017</b>	<b>27/05/2017</b>	<b>Resumen</b>
<b>Producción diaria (m3)</b>	4,0	12,0	15,5	24,0	24,0	14,0	93,5
<b>Rendimiento del equipo (m3/h)</b>	0,4	1,1	1,4	2,2	2,2	2,3	1,6
<b>Tiempo productivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo contributivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo improductivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio (m3/día)</b>	17,0						

Fuente: elaboración propia.

**CUADRO 63. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 29 DE MAYO AL 03 DE JUNIO DEL 2017**

<b>Semana</b>	<b>29/05/2017</b>	<b>30/05/2017</b>	<b>31/05/2017</b>	<b>01/06/2017</b>	<b>02/06/2017</b>	<b>03/06/2017</b>	<b>Resumen</b>
<b>Producción diaria (m3)</b>	30,0	15,0	25,0	11,5	13,0	10,5	105,0
<b>Rendimiento del equipo (m3/h)</b>	2,7	1,4	2,3	1,0	1,2	1,8	1,7
<b>Tiempo productivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo contributivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo improductivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio (m3/día)</b>	19,1						

**CUADRO 64. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 05 AL 10 DE JUNIO DEL 2017**

<b>Semana</b>	<b>05/06/2017</b>	<b>06/06/2017</b>	<b>07/06/2017</b>	<b>08/06/2017</b>	<b>09/06/2017</b>	<b>10/06/2017</b>	<b>Resumen</b>
<b>Producción diaria (m3)</b>	9,5	24,0	16,5	10,5	23,5	5,0	89,0
<b>Rendimiento del equipo (m3/h)</b>	0,9	2,2	1,5	1,0	2,1	0,8	1,4
<b>Tiempo productivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo contributivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo improductivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio (m3/día)</b>	16,2						

**CUADRO 65. RESUMEN DE PRODUCCIÓN CON AUTOHORMIGONERA SEMANA DEL 12 AL 17 DE JUNIO DEL 2017**

<b>Semana</b>	<b>12/06/2017</b>	<b>13/06/2017</b>	<b>14/06/2017</b>	<b>15/06/2017</b>	<b>16/06/2017</b>	<b>17/06/2017</b>	<b>Resumen</b>
<b>Producción diaria (m3)</b>	28,0	23,0	16,3	9,0	19,5	28,0	123,8
<b>Rendimiento del equipo (m3/h)</b>	2,5	2,1	1,5	0,8	1,8	2,5	1,9
<b>Tiempo productivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo contributivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Tiempo improductivo:</b>	-	-	-	-	-	-	-
<b>Promedio (m3/día)</b>	20,6						

Fuente: elaboración propia.

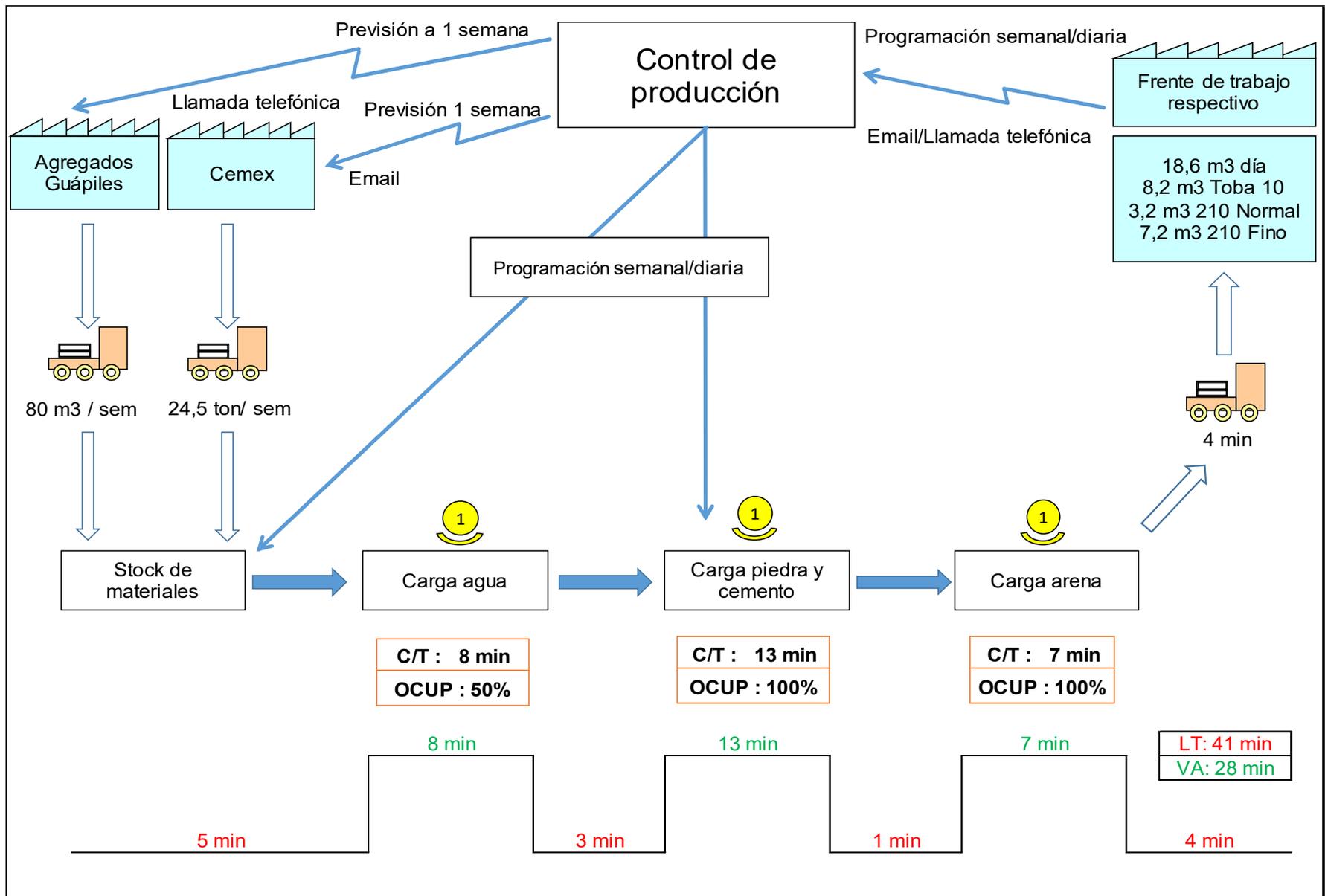


Figura 87. Value Stream Mapping del proceso de producción de concreto. Fuente: elaboración propia.

Los cuadros desde el 57 hasta el 65 reflejan el resumen de producción de nueve semanas de trabajo, son necesarios para la realización del *Value Stream Mapping* y el acumulado de costos asociados con cada tipo de concreto. Para estos se tomaron en cuenta los costos directos del proceso del proceso de producción, así como las cargas sociales, transportes e impuestos en los gastos aplicables. Todos los precios fueron tomas de facturas, comprobantes de pago, y órdenes de compra.

Se calcularon los costos asociados con los tres tipos de concretos que la empresa administradora del proceso de producción producía en sitio. En los cuadros 66, 67 y 68 se puede observar el costo por metro cúbico de acuerdo con los promedios de producción, además de la diferencia de precio con respecto al mejor que se puede obtener el mercado.

<b>CUADRO 66. COSTOS Y COMPARATIVA ASOCIADA CON EL CONCRETO TIPO "TOBACEMIENTO 10" PRODUCIDO CON AUTOHOMIGONERA</b>			
<b>Volumen promedio de producción (m3)</b>	8,2		
<b>Detalle de gasto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
Alquiler Equipo (hr)	4,8	¢20.363,60	¢98.519,10
Operador (hr)*	4,8	¢3.090,00	¢14.949,42
Diesel (lt)**	15,5	¢497,00	¢7.694,36
Cemento (t)**	1,1	¢94.366,00	¢100.594,16
Piedra 16 mm (m3)**	1,7	¢14.690,00	¢25.296,18
Piedra 25 mm (m3)**	2,9	¢14.690,00	¢42.160,30
Arena (m3)**	6,2	¢14.690,00	¢91.548,08
Aditivo 955 (lt)**	4,9	¢792,00	¢3.896,64
Agua (m3)	1,8	¢1.366,83	¢2.409,72
<b>Total</b>			<b>¢387.067,95</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢47.203,41</b>
<b>Costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢44.861,00</b>
<b>Margen de ganacia por uso de autohormigonera</b>			<b>-¢2.342,41</b>

<b>CUADRO 67. COSTOS Y COMPARATIVA ASOCIADA CON EL CONCRETO TIPO "210 KG/CM2 NORMAL" PRODUCIDO CON AUTOHOMIGONERA</b>			
<b>Volumen promedio de producción (m3)</b>	3,2		
<b>Detalle de gasto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
Alquiler Equipo (hr)	1,9	¢20.363,60	¢38.446,48
Operador (hr)*	1,9	¢3.090,00	¢5.833,92
Diesel (lt)**	6,0	¢497,00	¢3.002,68
Cemento (t)**	0,9	¢94.366,00	¢87.571,65
Piedra 16 mm (m3)**	0,7	¢14.690,00	¢10.811,84
Piedra 25 mm (m3)**	1,3	¢14.690,00	¢19.743,36
Arena (m3)**	2,1	¢14.690,00	¢31.025,28
Aditivo 955 (lt)**	4,5	¢792,00	¢3.548,16
Agua (m3)	0,7	¢1.366,83	¢914,14
<b>Total</b>			<b>¢200.897,50</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢62.780,47</b>
<b>Costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢60.455,00</b>
<b>Margen de ganacia por uso de autohormigonera</b>			<b>-¢2.325,47</b>

Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 68. COSTOS Y COMPARATIVA ASOCIADA CON EL CONCRETO TIPO "210 KG/CM2 FINO" PRODUCIDO CON AUTOHOMIGONERA</b>			
<b>Volumen promedio de producción (m3)</b>	7,2		
<b>Detalle de gasto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
Alquiler Equipo (hr)	4,2	¢20.363,60	¢86.504,57
Operador (hr)*	4,2	¢3.090,00	¢13.126,32
Diesel (lt)**	13,6	¢497,00	¢6.756,02
Cemento (t)**	2,3	¢94.366,00	¢217.419,26
Piedra 16 mm (m3)**	4,0	¢14.690,00	¢58.172,40
Arena (m3)**	5,1	¢14.690,00	¢75.095,28
Aditivo 955 (lt)	10,8	¢792,00	¢8.553,60
Agua (m3)	1,6	¢1.366,83	¢2.125,69
<b>Total</b>			<b>¢467.753,15</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢64.965,72</b>
<b>Costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢62.828,00</b>
<b>Margen de ganacia por uso de autohormigonera</b>			<b>-¢2.137,72</b>

\* Considera cargas sociales

\*\* Considera impuestos y transportes

Fuente: elaboración propia.

## Comparativa entre la fase de evaluación de procesos y la fase de implementación de recomendaciones

Para los cuadros de producción total de ambas fases (cuadros 69 y 70) se tomó toda la información recopilada de cada de tipo de concreto realizado, esto mediante la información de las guías correspondientes con los ciclos de producción. Con ambos cuadros se pudo realizar la gráfica (figura 88) acumulada de producción hasta el 17 de junio.

En el cuadro 71 se puede observar la comparativa entre los tiempos promedio de cada una de las respectivas tareas de producción y el proceso de colocación, de las fases de evaluación y de implementación, con sus respectivas de evaluación de mejoras en términos de porcentajes. De la misma forma se realizó un cuadro comparativo (cuadro 71) para los precios obtenidos en cada fase para el tipo de concreto correspondiente y su respectiva mejora en términos de costos.

<b>CUADRO 69. PRODUCCIÓN POR TIPO DE CONCRETO EN LA FASE DE EVALUACIÓN</b>				
<b>Semana</b>	<b>Volumen total</b>	<b>210 kg/cm2 "fino"</b>	<b>210 kg/cm2 "normal"</b>	<b>Tobacemento 10</b>
<b>22 al 25 - marzo</b>	21,6	0,0	15,5	6,1
<b>27 marzo - 01 abril</b>	39,0	23,0	7,0	9,0
<b>03 al 08 - abril</b>	19,5	16,5	0,0	3,0
<b>Total</b>	<b>80,1</b>	<b>39,5</b>	<b>22,5</b>	<b>18,1</b>

Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 70. PRODUCCIÓN POR TIPO DE CONCRETO EN LA FASE DE IMPLEMENTACIÓN</b>				
<b>Semana</b>	<b>Volumen total</b>	<b>210 kg/cm2 "fino"</b>	<b>210 kg/cm2 "normal"</b>	<b>Tobacemento 10</b>
<b>17 al 22 - abril</b>	54,0	36,5	6,0	11,5
<b>24 al 29 - abril</b>	129,5	43,0	15,0	71,5
<b>01 al 06 - mayo</b>	105,0	42,0	42,5	20,5
<b>08 al 13 - mayo</b>	94,0	60,5	13,0	20,5
<b>15 al 20 - mayo</b>	129,5	52,0	61,0	16,5
<b>22 al 27 - mayo</b>	93,5	31,5	48,0	14,0
<b>29 al 03 - mayo/junio</b>	105,0	54,5	24,5	26,0
<b>05 al 10 - junio</b>	89,0	41,5	47,5	0,0
<b>12 al 17 - junio</b>	123,8	116,8	0,0	7,0
<b>Total</b>	<b>923,3</b>	<b>478,3</b>	<b>257,5</b>	<b>187,5</b>

Fuente: elaboración propia.

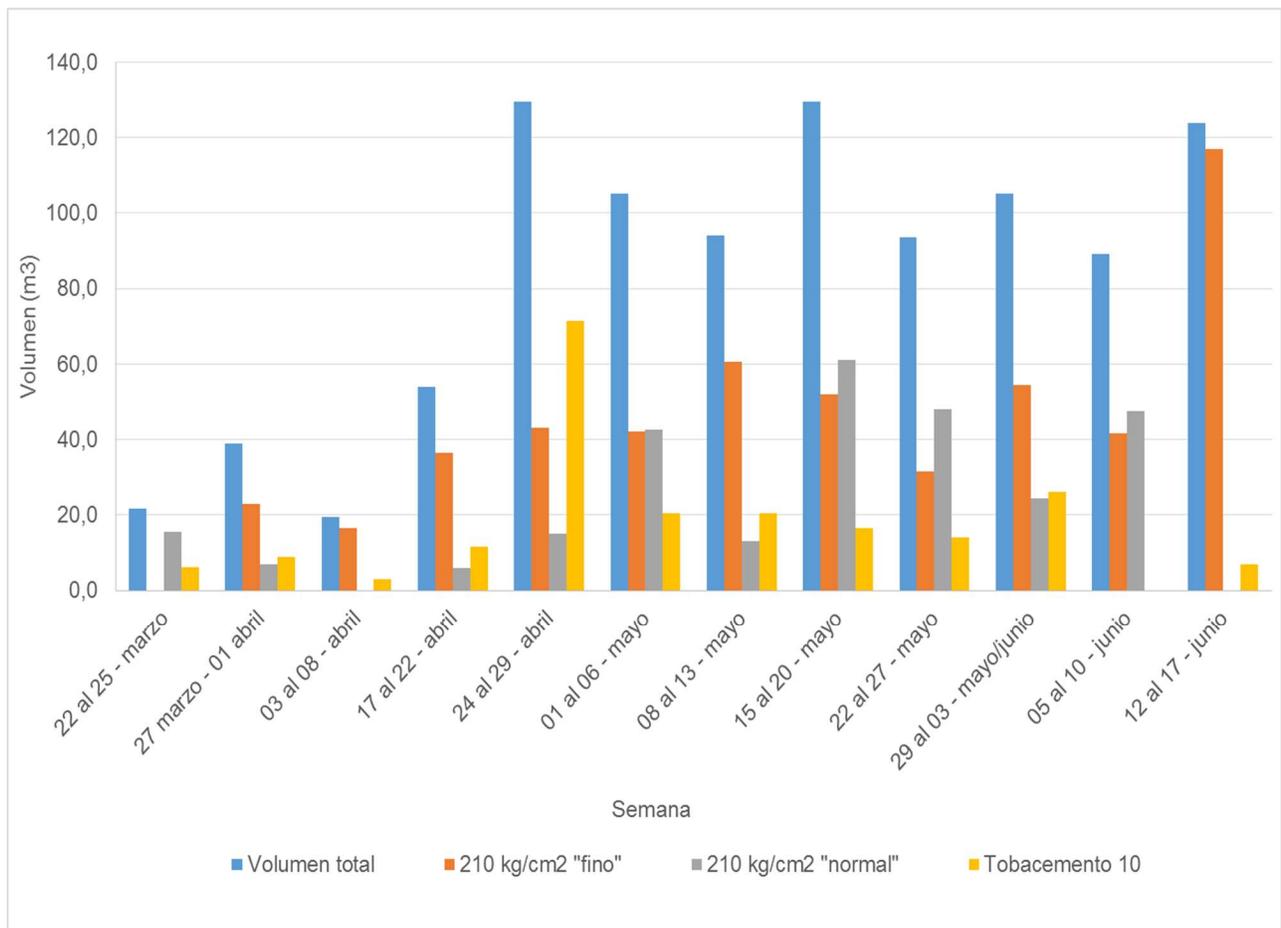


Figura 88. Gráfica de producción acumulada hasta el 17 de junio del 2017. Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 71. COMPARATIVA DE TIEMPOS ENTRE LA FASE DE EVALUACIÓN Y LA FASE DE IMPLEMENTACIÓN</b>				
Tipo de proceso	Tarea o proceso	Fase de evaluación	Fase de implementación	Mejora (%)
		Duración (min)	Duración (min)	
Agregan valor	Carga de piedra y cemento	15	13	13,33%
	Carga arena	9	7	22,22%
	Carga de agua	12	8	33,33%
No agregan valor	Orden de carga	24	3	87,50%
	Realización de guías	10	0	100,00%
	Descarga de concreto (por m3)	23	13	43,48%
	Recorrido 1	1	1	0,00%
	Recorrido 2 (al frente de trabajo)	7	4	42,86%
	Recorrido 3 (al sitio de carga)	8	5	37,50%
<b>Total</b>		<b>109</b>	<b>54</b>	<b>50,46%</b>

Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 72. COMPARATIVA DE COSTOS ENTRE LA FASE DE EVALUACIÓN Y LA FASE DE IMPLEMENTACIÓN</b>				
Tipo de concreto	Fase de evaluación	Fase de implementación	Mejora (%)	
	Costo por m3	Costo por m3		
Tobacemento 10	₴ 75.929,27	₴ 47.203,41	37,83%	
210 kg/cm2 "normal"	₴ 92.691,44	₴ 62.780,47	32,27%	
210 kg/cm2 "fino"	₴ 94.050,40	₴ 64.965,72	30,92%	

Fuente: elaboración propia.

## Fase de elaboración de lineamientos de producción

De esta forma en el cuadro 73 se enlistan pautas por seguir para un diseño óptimo de sitio y otros aspectos a considerar para una mejor operación del equipo.

Para las consideraciones del diseño de sitio se tomaron en cuenta todos esos factores que no se realizaron previamente durante el proyecto por desconocimiento de operaba el equipo y los cuales son necesarios para una óptima operación de este. También se le hicieron consultas al operador de cuáles facilidades consideraba él que requeriría en futuros proyectos para un mejor desempeño del mismo.

CUADRO 73. CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE SITIO PARA LA OPERACIÓN DE LA AUTOHORMIGONERA	
1	Debe existir una bodega para guardar aditivos y combustible cerca del lugar de carga.
2	La bodega debe servir como oficina para todas las labores de preparación del operador.
3	El stock de agregados deben tener una barrera de separación para evitar mezclas de tipo de agregado.
4	Se debe lastrear el sitio de descarga de agregados y en donde se colocara el silo.
5	Se debe hacer una conexión de la tubería de agua a los tanques de silo.
6	Se debe de colocar una boya en los tanques del silo para una descarga automática del agua.
7	El espacio para el stock de agregado debe tener dimensiones como acumular 40 m3 mínimo.
8	Se deben de dejar los espacios para descarga de agregados y cemento.
9	El silo debe tener una fuente de alimentación de energía de 480 v.
10	Se debe de colocar una tubería de desagüe de agua debajo del silo.
11	Se debe de disponer de un sitio exclusivo para el lavado del equipo.

Fuente: elaboración propia.

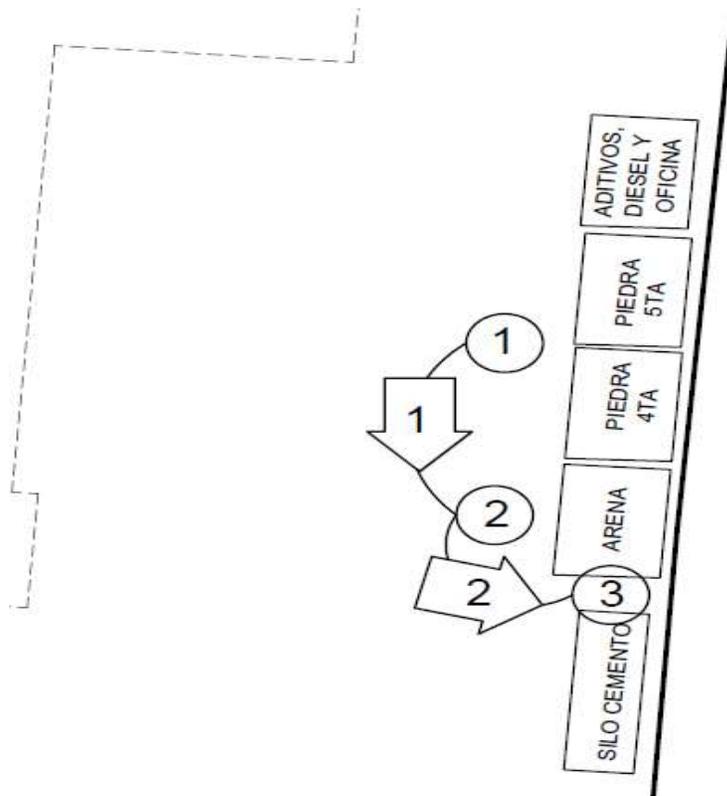


Figura 89. Diseño de sitio ideal para la producción de concreto con autohormigonera. Fuente: elaboración propia.

Para el diagrama de flujo ideal (figura 90) así como del *Value Stream Mapping* ideal (figura 91) se tomó en cuenta la opinión de operador, así como la opinión del técnico de ventas para Fiori Latinoamérica, el cual dio las recomendaciones a seguir sobre cómo se debería manejar el proceso y cuáles deberían ser los tiempos máximos en las tareas correspondientes con el proceso de producción para obtener un rendimiento óptimo.

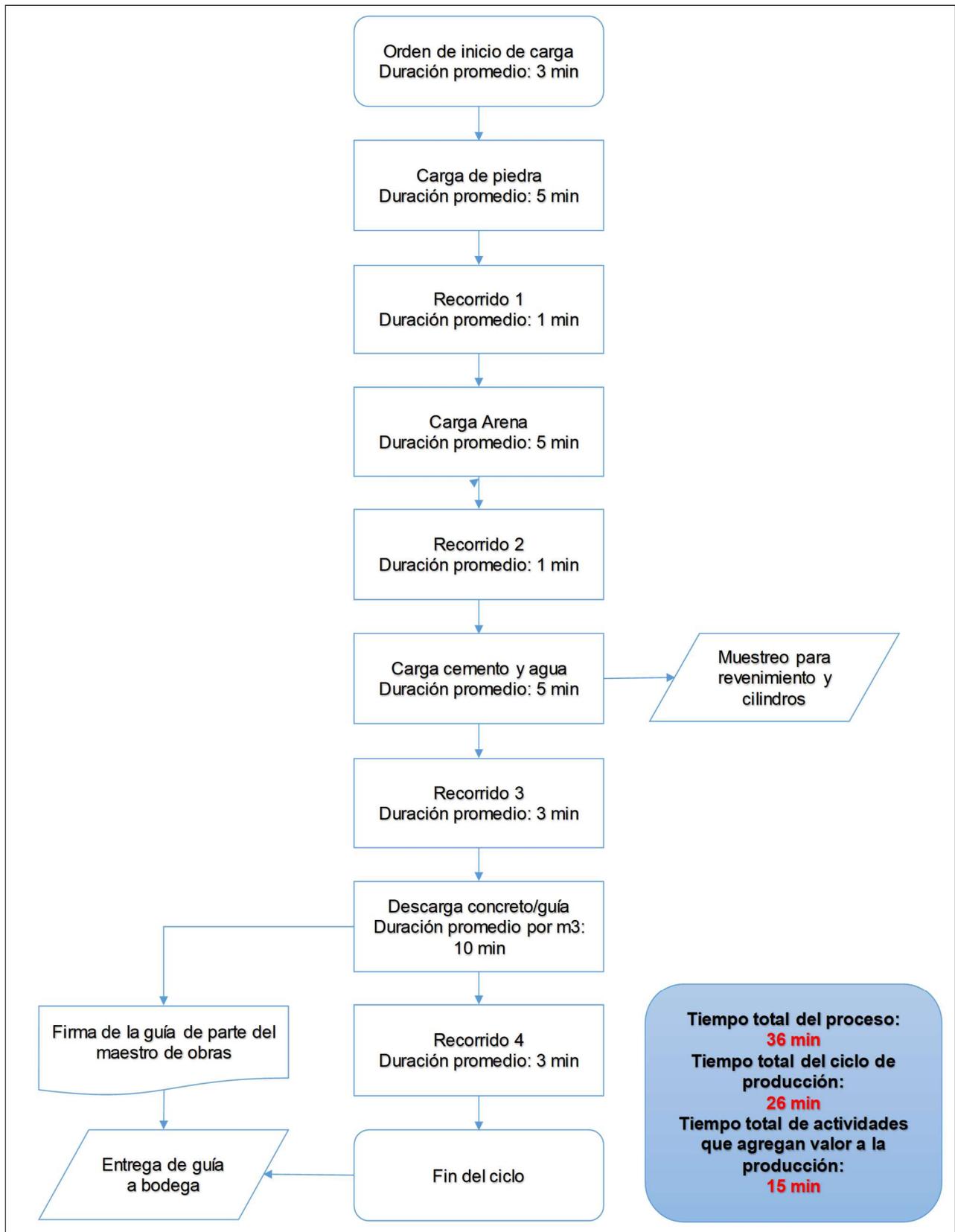


Figura 90. Diagrama de flujo ideal para las tareas que involucran el proceso de producción de concreto con autohormigonera. Fuente: elaboración propia.

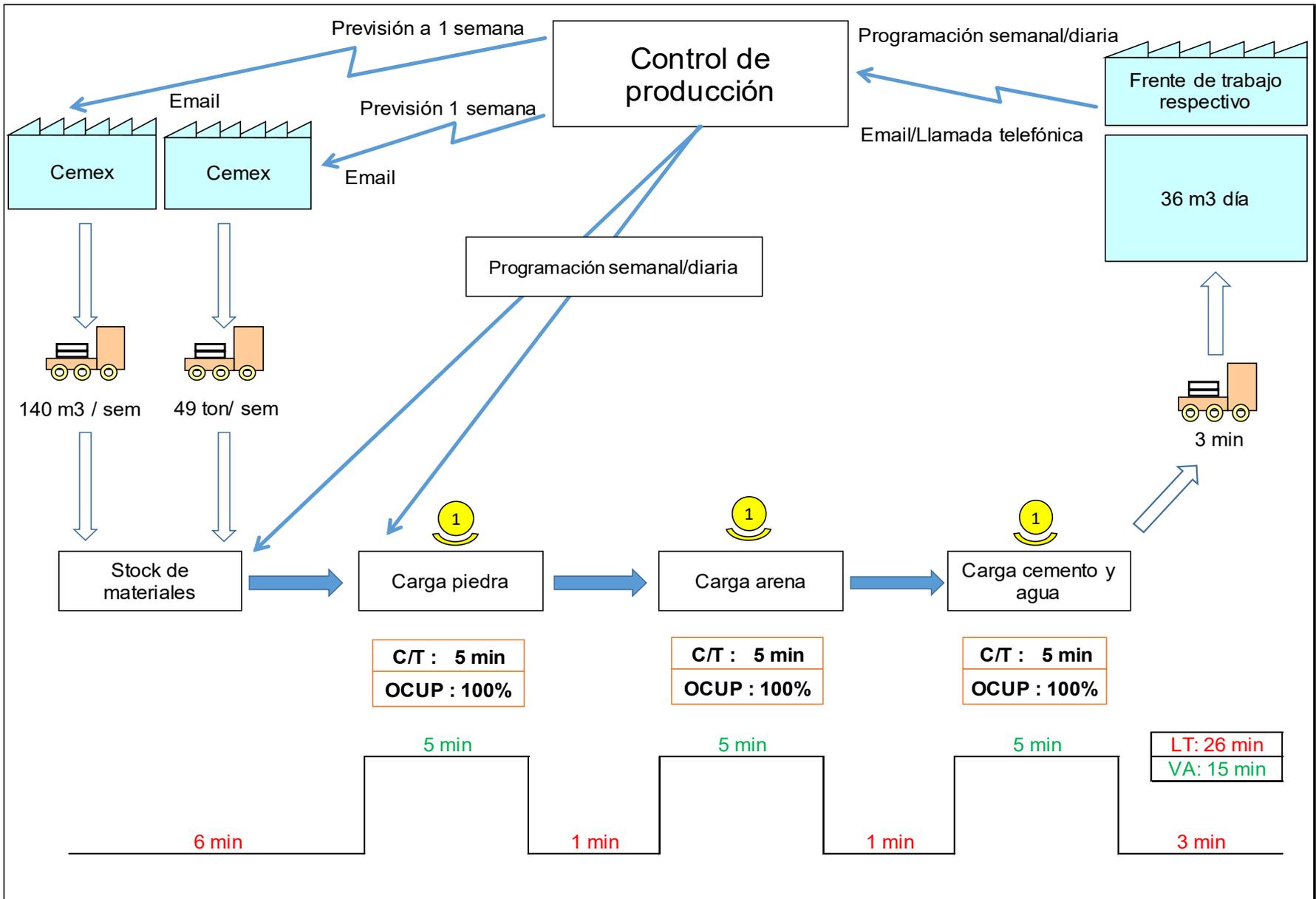


Figura 91. Value Stream Mapping ideal del proceso de producción de concreto con autohormigonera.  
Fuente: elaboración propia.

Para el análisis de costos asociados se tomó como referencia el costo del concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> "normal" esto debido a que es el concreto con el costo promedio de los que se produce. A través de los cuadros 74 al 78 se analiza el costo por metro cúbico de concreto de acuerdo con el promedio diario de producción. De esta forma se puede saber cuál será el costo promedio de acuerdo con la producción realizada durante el día.

Para realizar el análisis los costos mostrados en el cuadro 74 se realizó un cambio de proveedor de agregados debido a que existe en el mercado uno que brinda los agregados con menor precio. Al cambiar agregados cambia el diseño de mezcla, por consiguiente, también se hizo cambio el diseño y se estima con base en esto el costo estimado por metro cúbico de concreto.

<b>CUADRO 74. COSTO POR METRO CÚBICO DEL CONCRETO 210 KG/CM2 NORMAL SI SE PRODUCE 7 M3 DURANTE EL DÍA</b>	
<b>Producción DÍa (m3)</b>	<b>7</b>

<b>Detalle de gasto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
Alquiler equipo(hr)	11	¢20.363,60	¢223.999,60
Operador(hr)*	11,0	¢3.090,00	¢33.990,00
Diesel (lt)**	35,2	¢497,00	¢17.494,40
Cemento (t)**	2,0	¢94.366,00	¢184.957,36
Piedra 19 mm (m3)**	4,6	¢12.956,05	¢58.950,03
Arena (m3)**	5,0	¢12.856,00	¢64.794,24
Aditivo 955 (lt)	16,2	¢792,00	¢12.862,08
Agua (m3)	1,3	¢1.366,83	¢1.722,21
<b>Total</b>			<b>¢598.769,91</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢85.538,56</b>
<b>Mejor costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢67.687,00</b>
<b>Margen de ganancia por uso de AH</b>			<b>-¢17.851,56</b>

<b>CUADRO 75. COSTO POR METRO CÚBICO DEL CONCRETO 210 KG/CM2 NORMAL SI SE PRODUCE 13 M3 DURANTE EL DÍA</b>	
<b>Producción DÍa (m3)</b>	<b>13</b>

<b>Detalle de gasto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Total</b>
Alquiler equipo(hr)	11	¢20.363,60	¢223.999,60
Operador(hr)*	11,0	¢3.090,00	¢33.990,00
Diesel (lt)**	35,2	¢497,00	¢17.494,40
Cemento (t)**	3,6	¢94.366,00	¢343.492,24
Piedra 19 mm (m3)**	8,5	¢12.956,05	¢109.478,62
Arena (m3)**	9,4	¢12.856,00	¢120.332,16
Aditivo 955 (lt)	30,2	¢792,00	¢23.886,72
Agua (m3)	2,3	¢1.366,83	¢3.198,38
<b>Total</b>			<b>¢875.872,12</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢67.374,78</b>
<b>Mejor costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢67.687,00</b>
<b>Margen de ganancia por uso de AH</b>			<b>¢312,22</b>

Fuente: elaboración propia.

<b>CUADRO 76. COSTO POR METRO CÚBICO DEL CONCRETO 210 KG/CM2 NORMAL SI SE PRODUCE 19 M3 DURANTE EL DÍA</b>	
<b>Producción DÍAria (m3)</b>	19

Detalle de gasto	Cantidad	Costo Unitario	Total
Alquiler equipo(hr)	11	¢20.363,60	¢223.999,60
Operador(hr)*	11,0	¢3.090,00	¢33.990,00
Diesel (lt)**	35,2	¢497,00	¢17.494,40
Cemento (t)**	5,3	¢94.366,00	¢502.027,12
Piedra 19 mm (m3)**	12,4	¢12.956,05	¢160.007,22
Arena (m3)**	13,7	¢12.856,00	¢175.870,08
Aditivo 955 (lt)	44,1	¢792,00	¢34.911,36
Agua (m3)	3,4	¢1.366,83	¢4.674,56
<b>Total</b>			<b>¢1.152.974,34</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢60.682,86</b>
<b>Mejor costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢67.687,00</b>
<b>Margen de ganacia por uso de AH</b>			<b>¢7.004,14</b>

<b>CUADRO 77. COSTO POR METRO CÚBICO DEL CONCRETO 210 KG/CM2 NORMAL SI SE PRODUCE 25 M3 DURANTE EL DÍA</b>	
<b>Producción DÍAria (m3)</b>	25

Detalle de gasto	Cantidad	Costo Unitario	Total
Alquiler equipo(hr)	11	¢20.363,60	¢223.999,60
Operador(hr)*	11,0	¢3.090,00	¢33.990,00
Diesel (lt)**	35,2	¢497,00	¢17.494,40
Cemento (t)**	7,0	¢94.366,00	¢660.562,00
Piedra 19 mm (m3)**	16,3	¢12.956,05	¢210.535,81
Arena (m3)**	18,0	¢12.856,00	¢231.408,00
Aditivo 955 (lt)	58,0	¢792,00	¢45.936,00
Agua (m3)	4,5	¢1.366,83	¢6.150,74
<b>Total</b>			<b>¢1.430.076,55</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢57.203,06</b>
<b>Mejor costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢67.687,00</b>
<b>Margen de ganacia por uso de AH</b>			<b>¢10.483,94</b>

<b>CUADRO 78. COSTO POR METRO CÚBICO DEL CONCRETO 210 KG/CM2 NORMAL SI SE PRODUCE 31 M3 DURANTE EL DÍA</b>	
<b>Producción DÍAria (m3)</b>	31

Detalle de gasto	Cantidad	Costo Unitario	Total
Alquiler equipo(hr)	11	¢20.363,60	¢223.999,60
Operador(hr)*	11,0	¢3.090,00	¢33.990,00
Diesel (lt)**	35,2	¢497,00	¢17.494,40
Cemento (t)**	8,7	¢94.366,00	¢819.096,88
Piedra 19 mm (m3)**	20,2	¢12.956,05	¢261.064,41
Arena (m3)**	22,3	¢12.856,00	¢286.945,92
Aditivo 955 (lt)	71,9	¢792,00	¢56.960,64
Agua (m3)	5,6	¢1.366,83	¢7.626,91
<b>Total</b>			<b>¢1.707.178,76</b>
<b>Costo por m3</b>			<b>¢55.070,28</b>
<b>Mejor costo por m3 en el mercado</b>			<b>¢67.687,00</b>
<b>Margen de ganacia por uso de AH</b>			<b>¢12.616,72</b>

Fuente: elaboración propia.

Para la realización de las recomendaciones de descarga, se recopilaron los cuadros de mejoras de los procesos de colocación, así como se seleccionaron ideas de los maestros de obras a cargo de la coordinación de cuadrilla, para saber cuáles aspectos consideraban ellos que se podían realizar si tuvieran las posibilidades de aplicarlas. De tal forma se conformó el cuadro 79.

<b>CUADRO 79. PUNTOS DE MEJORA PARA LA DESCARGA DEL CONCRETO</b>	
<b>1</b>	Mejor distribución de la cuadrillas.
<b>2</b>	Aprovechamiento al máximo de los colaboradores del proceso en actividades que agregan valor.
<b>3</b>	Utilización de vibradores de espalda que eviten la utilización de un recurso en transporte.
<b>4</b>	Utilización de doble balde de descarga para eliminar tiempo de espera por transporte.
<b>5</b>	Utilización de dispositivos de almacenaje de concreto para la liberación de la autohormigonera.
<b>6</b>	Colocación de dispositivo de mezclado lo más cercano al sitio de colocación.
<b>7</b>	Aprovechamiento del 100% de las capacidades de la autohormigonera.
<b>8</b>	Mejor coordinación de uso de grúa para evitar descargas en carrito.

Fuente: elaboración propia.

# Análisis de los resultados

## Fase de planeación y control requerido

Se puede observar en el cuadro 1 la lista total de los requerimientos realizados por los ingenieros y gerentes de proyecto a la metodología; se dividieron en tres categorías. De la categoría “alta” se obtuvieron seis requerimientos, esta categoría describe un tiempo de respuesta de inmediato o en el mismo día de labores. De la categoría “media” se obtuvieron siete requerimientos y esta describe un tiempo de respuesta de entre dos a tres días máximo. Mientras que requerimientos con categoría baja se obtuvo uno y describe un tiempo de respuesta de máximo una semana. Para cada requerimiento se fijó un objetivo necesario para cumplirlo. Con base en estos requerimientos y su respectiva descripción el practicante pudo desarrollar la respectiva metodología.

En cuanto al análisis FODA del proceso de producción de concreto, se puede observar en el cuadro 2 las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas. Para el apartado de debilidades se observan ocho aspectos según la perspectiva de los ingenieros; de estos ocho, cinco son aspectos capaces de mejorarse siempre y cuando se realice una buena estrategia de producción. Tanto el desconocimiento para operar el equipo, la curva de aprendizaje asociada con el operador, el proceso de carga de diésel, el proceso de la limpieza, además de la carga de agua son aspectos que no deben de afectar el rendimiento del equipo siempre y cuando se gestionen de una buena manera y se elija cuándo, a lo largo de la jornada laboral, se deben de realizar, como en el caso de los últimos tres aspectos mencionados. En los restantes tres aspectos (el no contar con el dispositivo de medición de humedad, que el equipo no esté hecho para sustituir a ninguno de los sectores que produce concreto, además de solo tener un compartimiento para el dispositivo dispensador de

aditivo) la metodología o estrategia de producción no tiene influencia para modificarlos u optimizarlos. A estos se les brinda las respectivas recomendaciones para volverlos una fortaleza; sin embargo, queda a decisión de la gerencia el comprar los dispositivos respectivos para que estos factores no se consideren una debilidad.

Las fortalezas están enfocadas a las ventajas brindadas por la máquina para la producción de concreto en sitio, de los seis aspectos mencionados en el apartado 1 desarrollado mediante la metodología de producción, el cual es la realización de guías para cada ciclo de producción, para dar trazabilidad al concreto colocado en caso de problemas con la resistencia.

Las amenazas son los factores que la metodología debe tener presente y a pesar de estar fuera del alcance del proceso de producción, pueden afectar el rendimiento del equipo, por ende, la metodología también considera las estrategias adecuadas para solventarlas, tan es el caso del factor de descarga lenta del concreto. Al tener este factor como amenaza se decidió analizar el proceso de colocación de concreto, midiendo las respectivas productividades y posibles recomendaciones para tratar de reducir los tiempos de descarga, como se puede observar en el cuadro 71, lo cual logró que se contribuyera con una mejora aproximadamente del 43,86% en los tiempos de colocación.

En el apartado de oportunidades se mencionaron siete aspectos, de los cuales hoy algunos ya se aplican en el proyecto, como por ejemplo el factor de poder vender concreto a otros clientes, las facilidades brindadas por el equipo, en cuanto a la producción de concreto en sitio, una vez que se demuestra que es una opción real y rentable para la producción de concreto hace que los subcontratistas u otras empresas del mismo proyecto quieran que se les despache concreto

con el equipo y asumir el costo económico, debido a que les representa ventajas.

En el cuadro 3 se puede apreciar el FODA asociado con el proceso de colocación de concreto, de las seis debilidades mencionadas tres están asociadas con la falta de planificación, por ende, la metodología deben también está enfocada a la solución de estos factores. Mediante la planificación en las reuniones de *Last Planner* se tomaron en cuenta los requerimientos y repartición de uso de equipo para cada frente de trabajo en busca de solventar esas debilidades. Las fortalezas están orientadas hacia la variabilidad de uso de equipos y diferentes tareas por emplear para formar el proceso de colación; sin embargo, este aspecto se puede volver una debilidad sino se gestiona correctamente eligiendo los equipos adecuados para los elementos por colar.

En cuanto a los factores externos, las amenazas están asociadas con fallo de quipos, y las oportunidades asociadas con la planificación, por ende, la metodología busca solventar estos factores a través de la herramienta *Lean Last Planner* para una adecuada gestión.

El diagrama de Ishikawa se puede observar en la figura 40 como está orientado hacia los factores que pueden afectar el rendimiento de producción del equipo, necesariamente dentro de este se incluye el proceso de descarga o colocación de concreto. Este proceso es de suma importancia para el rendimiento, por eso la metodología considera una evaluación de este mediante el análisis de productividad. Otra de las causas descritas en el diagrama son las fallas del equipo, así que en la metodología de producción se consideran tiempos de calibración y mantenimiento para el equipo. Estos procesos ya tienen su adecuado espacio en la jornada laboral, sin afectar el rendimiento de producción, en busca de solventar inconvenientes. Asimismo, la planificación es la base de la metodología mediante *Last Planner* en busca de solventar este factor.

## Fase ejecución y evaluación de procesos

En cuanto al proceso de producción de concreto, en esta fase se evaluó de manera integral mediante tres herramientas didácticas: los diagramas de recorrido, diagrama de flujo y el *Value Stream Mapping*. Al integrar estas tres herramientas se obtuvo un panorama claro de cómo funciona el proceso de producción, además de las opciones mejoras para la implementación de estas en la siguiente fase.

En cuanto a los diagramas de recorrido se realizaron siete muestreos, todos de manera aleatoria, algunas de las particularidades observadas es que el tiempo de ciclo de producción no es proporcional al volumen solicitado. Por ejemplo, para el recorrido 1 se puede observar en el cuadro 4 un tiempo de 153 minutos para completar el ciclo de manera completa, en este caso se solicitaron 4 m<sup>3</sup> de concreto. Ahora bien, para el recorrido 3 se puede observar en el cuadro 6 un tiempo 149 minutos para completar el ciclo de manera completa, en este caso se solicitaron 0,6 m<sup>3</sup> de concreto. El tiempo invertido para producir el concreto siempre es similar, independientemente si se solicitan 1 m<sup>3</sup> o 4 m<sup>3</sup>, con se pueden observar en los cuadros desde 4 hasta el 10. Para un óptimo uso del equipo, lo ideal es siempre realizar ciclos de producción de concreto completos en donde el equipo se cargue a su máxima capacidad, para aprovechar el tiempo invertido de una óptima manera, se considera que los frentes de trabajo soliciten concreto en conjunto al hacer un ciclo de producción y después repartir el concreto al respectivo frente. Esto sucede en las tareas de producción, no pasa lo mismo con el proceso de colocación de concreto, en este caso sí es proporcional a la cantidad de concreto solicitado, como se puede ver en los cuadros 5, 7 y 10.

También se puede observar cómo la productividad está asociada con el rendimiento de la producción. Se puede ver en los cuadros 5, 6, 8 y 10 como la productividad es proporcional al rendimiento de producción, así si se eliminan tareas que no agregan valor al proceso de producción se puede mejorar el rendimiento; tareas como la de realización de guías, que si bien es necesaria, no agrega valor al proceso y es necesaria su eliminación o inclusión en otro momento del proceso, por ejemplo durante el proceso de descarga, en donde el operador no está 100% ocupado y puede realizar otras labores como esta.

Otra tarea sujeta a optimización o mejora es la del recorrido al sitio de descarga, se puede observar que independientemente de la distancia recorrida no es proporcional al tiempo que se dure en esta (cuadros desde el 4 hasta el 10), el promedio del recorrido al sitio de descarga dura 7 minutos (cuadro 12), mediante la observación se concluye que el principal factor es que el operador no tiene claro hacia dónde se debe de dirigir con el concreto realizado, puesto que las órdenes de despacho se hacen mediante llamada telefónica y las personas que dan la orden de carga no conocen el proyecto, así que tampoco conocen los frentes de trabajo, a pesar de existir un plano con la descripción de estos. Todo el proceso comunicativo se tiene que hacer vía telefónica, por orden de la empresa administradora en el momento de estos muestreos. Tanto para el inicio como para la dirección del equipo con el concreto realizado, el personal del proyecto no le puede dar la orden de carga al operador, quien debe esperar la llamada de la empresa, lo cual hace el proceso sumamente ineficiente: la orden de carga en promedio puede durar 24 minutos (cuadro 12), inclusive en el peor de los casos más de 30 minutos (cuadro 7). Esas tareas comunicativas ineficientes hacen que el uso del equipo sea tedioso y que el personal del proyecto prefiera otras opciones para solucionar sus requerimientos de concreto.

La tarea de limpieza del equipo es una que no agrega valor al proceso. A partir del recorrido 5 no se volvió a muestrear esta labor, puesto que se habló con la empresa administradora para eliminarla cada vez que se realizara un ciclo de producción y solo se realizara la finalizar el día; sin bien la limpieza del equipo es necesaria, retrasa el proceso de producción.

La tarea de carga de agua, aunque agrega valor al proceso de producción porque el agua es necesaria para la realización de concreto, se puede optimizar con una conexión que permita cargar agua al mismo tiempo que se carga cemento, puesto que se cargan en almacenamientos por aparte dentro del mismo equipo. Además, es una opción real que se puede realizar, por lo cual también es sujeto de optimización o mejora.

Otro punto de mejora que se puede observar mediante el análisis de los diagramas de recorrido,

es el de orden de carga de agregados, se puede observar las figuras 41 y 42, como el orden de carga es piedra-arena-cemento una vez concluido el ciclo de producción. El orden de carga de los primeros tres elementos hacen que el operador realice un recorrido innecesario; al cambiar el orden de carga a piedra-cemento-arena, fue posible eliminar un recorrido y ahorrar tiempo en la carga, como se puede ver en la figura 43, donde el proceso de cargas es más sencillo de entender y realizar.

El diagrama de flujo que se puede observar en la figura 48 representa el resumen de las tareas desarrolladas durante la producción y colocación de concreto y sus respectivos tiempos totales. El tiempo total del ciclo es de 109 minutos, el tiempo total de tareas de producción es de 86 minutos, mientras que las tareas que agregan valor suman 36 minutos. Los cuadros 13, 14 y 15 representan los resúmenes semanales para esta fase, en la cual se puede observar que el promedio diario semanal máximo fue 7,2 m<sup>3</sup>/día. Además el día en que más se colocó más concreto fue el 04/04/2017 con un total de 13m<sup>3</sup>. Asociado con los promedios de producción y toda la información de tiempos, recopilada mediante los diagramas de recorrido, se logró realizar el mapa de flujo de valor o *Value Stream Mapping*, ahí se muestra gráficamente lo descrito en párrafos anteriores, en cuanto a las actividades que agregan valor y sus respectivos tiempos, en este caso el valor de 36 minutos que suman estas tareas es llamado tiempo de valor agregado. El “*lead time*” es el tiempo total del proceso de producción, en este caso los 86 minutos descritos en el diagrama de flujo. La diferencia entre 86 y 36 (50 minutos) son las actividades que no agregan valor al proceso y deben de ser sujeto de optimización o mejora en el rendimiento del equipo. El porcentaje de ocupación representa cuán ocupado están el equipo y el operador durante el desarrollo del trabajo; en el proceso de cargar de agua este porcentaje es de 50%, debido a que es una tarea que no demanda una atención completa por parte del equipo y del operador, por ende, se debe optimizar al hacerlo en otro momento. También se puede observar cuáles son los proveedores de agregados y los clientes del concreto y las respectivas vías de comunicación del proceso.

En cuanto a los costos se puede observar los cuadros 16, 17 y 18 cómo el rendimiento actual del

proceso hace que producir concreto con el equipo sea poco rentable para la empresa administradora del proceso, pues el margen de ganancia al utilizar el equipo en los tres tipos de concretos es negativo, porque los costos de producción por metro cúbico son superiores al costo en el mercado. Se puede intuir que es preferible pedir concreto a una empresa externa que realizarlo en el proyecto, ya que no existe un margen de pérdida ni siquiera tolerable para la empresa, esas decide terminar con el proceso administrativo y ceder la responsabilidad de producción a la constructora.

Tal como se afirmó, el proceso de colocación de concreto es muy importante en el rendimiento del equipo. Desocupar la maquina lo más pronto posible para ponerla a producir es de extrema relevancia para el rendimiento, por ende, la necesidad de evaluar este proceso y buscar opciones de mejora. Se realizaron nueve muestreos del proceso de colocación de concreto, donde se midió la productividad y se obtuvieron puntos de mejora.

Para el muestro 1 se puede observar todas sus particularidades en el cuadro 19. La tarea más realizada por parte de los trabajadores es la espera, con un 25,41% (cuadro 20); los tiempos de espera están asociados con la distribución del personal, como es el caso del trabajador 8, en donde su tiempo productivo es prácticamente nulo debido a los tiempos de espera (figura 51). La productividad total del proceso es de 47,54% y como se puede ver el cuadro 21 existía la posibilidad de utilizar grúa para la colocación del concreto respectivo, no se utilizó porque no se planifico con tiempo.

Para el muestreo 2 las particularidades del proceso se pueden observar en el cuadro 22. Según el cuadro 23, la tarea más realizada es el transporte con 43,74%, esta pudo haber sido eliminada o disminuida en caso de utilizar la grúa en esta labor, como se puede ver en el cuadro 24 su utilización era una oportunidad que no se utilizó debido a que no se planificó. Como se puede ver en la figura 54, el mayor consumo en tareas de los trabajadores 1 y 2 es en transportes. Por su parte el proceso obtuvo una productividad del 40,88% según la figura 53.

Para el muestreo, 3 las particularidades del proceso se pueden observar en el cuadro 25. Para

este caso las dos tareas más improductivas son la espera y los transportes según el cuadro 26. Según el *Crew Balance*, el trabajador 4 realiza labores que no agregan valor al proceso de colocación. La productividad del proceso es de 43,56% según la figura 56, además en los aspectos por mejorar se pudieron observar una mala distribución de la cuadrilla según el cuadro 27.

En el muestreo 4, las particularidades del proceso se pueden observar en el cuadro 28. Según el cuadro 29 de las tareas improductivas la más realizada es la de espera. Lo que indica una mala distribución de cuadrilla, según el cuadro 30. Según el *Crew Balance* en la figura 60, cinco trabajadores tienen un exceso en tiempo de espera y transportes, tareas que no agregan valor al proceso. El exceso de estas tareas hace que el proceso tenga un productividad apenas del 19,96% según la figura 59.

Para el muestreo 5, las particularidades del proceso se pueden observar en el cuadro 31. Según el cuadro 32 la tarea improductiva más realizada es la de espera con un 59,80%. Según el *Crew Balance* en la figura 63 de los 5 trabajadores, 4 tienen un exceso en tiempo de espera, lo que también indica una mala distribución de cuadrilla. El exceso de esta tarea hace que el proceso tenga un productividad apenas del 20,60% según la figura 62.

En el caso del muestreo 6, las particularidades del proceso se pueden observar en el cuadro 34. Según el cuadro 35 la tarea improductiva más realizada es la de espera con un 28,17%. Según el *Crew Balance* en la figura 66 un trabajador presenta excesos de transportes, el proceso tiene una productividad del 38,10% según la figura 65.

Con respecto al muestreo 7, las particularidades del proceso se pueden observar en el cuadro 37. Según el cuadro 38 la tarea improductiva más realizada es la de espera con un 25,37%. Según el *Crew Balance* en la figura 69 todos los trabajadores presenta excesos de transportes, el proceso tiene exceso de tiempo contributivo según la figura 68, puesto que este representa un 45,27% de las actividades realizadas.

Para el muestreo 8 las particularidades del proceso se pueden observar en el cuadro 40. Para

este caso el tiempo improductivo de 20,56% según el cuadro 41 y la figura 71. Según el *Crew Balance* de la figura 72 todos los trabajadores presentan exceso en transportes. Según la figura 73 el trabajador 3 presenta un tiempo productivo menor las 10%, por ende, se infiere que existe una mala coordinación de cuadrilla según el cuadro 42. La productividad del proceso es de 43,69% según la figura 71.

Para el muestreo 9 las particularidades del proceso se pueden observar en el cuadro 43. Para este caso el tiempo improductivo de 37,26% según el cuadro 44 y la figura 74. Según el *Crew Balance* de la figura 72 todos los trabajadores presentan exceso esperas. La productividad del proceso es de 57,93% según la figura 71. Que es la más productiva de todos los muestreos realizados. Para este caso según el cuadro 45 se pudo utilizar dos baldes para eliminar los tiempos de espera.

## **Fase de evaluación de implementación de recomendaciones**

Para esta fase se muestrearon nueve recorridos que se pueden observar entre las figuras 77 y 85, de igual forma a la fase anterior de manera aleatoria. De los cuadros 46 al 54 se puede observar cómo el proceso no baja de una productividad del 75% en siete de los nueve muestreos, a la postre el rendimiento de producción es mayor en siete de los nueve muestreos realizados en comparación con los rendimientos obtenidos en la fase anterior. En seis de los muestreos el tiempo total para terminar el ciclo es menor al de los tiempos de la fase anterior. De igual forma se puede observar también cómo en todos los muestreos el ciclo de producción es mínimo de 3 m<sup>3</sup>, lo cual que no pasaba en la fase anterior, en donde se tuvieron ciclos de 1,5 m<sup>3</sup> o 0,6 m<sup>3</sup> por ejemplo.

Se puede observar en el cuadro 55 los tiempos promedio para las tareas que agregan valor, además cómo el proceso de carga de agua se eliminó a partir del muestreo seis, puesto que se realizaron las modificaciones necesarias para que este proceso se realizara al mismo tiempo que se cargaba cemento, lo cual conllevó a una disminución en el tiempo de producción. En el cuadro 56, el proceso de la realización de guía fue

absorbido en el proceso de descarga, lo cual produjo una optimización de esta tarea. Todo lo anteriormente descrito se ve gráficamente en el nuevo diagrama de flujo del proceso en la figura 86, en este se puede apreciar cómo el tiempo de orden de carga disminuyó en 3 minutos, además de que la guía se realiza al mismo tiempo que se descarga el concreto. El tiempo total del proceso pasó a ser de 54 mientras que el ciclo de producción de 41 minutos.

Se puede observar los cuadros desde el 57 hasta el 65 los resúmenes de producción semanal, como en ocho de las nueve semanas muestreadas se sobrepasa el promedio semanal de los 15 m<sup>3</sup>/día, meta interpuesta por la empresa constructora. De igual forma se puede apreciar como en pico de demanda el equipo pudo llegar a producir 34,5 m<sup>3</sup> al día, muy superior a los 13 m<sup>3</sup> logrados en la fase anterior.

En el *Value Stream Mapping* actual (figura 87) se puede apreciar la disminución en el "Lead Time" de 109 a 41 minutos, además del tiempo de valor agregado, que pasó a ser de 36 a 28 minutos, de igual forma se puede apreciar cómo existen procesos aún con opciones de mejora, como el de carga de agua. También se puede observar la mejora en el promedio de producción global que pasó de ser de 7 m<sup>3</sup> a 18,6 m<sup>3</sup> por día en promedio.

Todo lo anteriormente descrito se refleja en los costos asociados, estos se puede apreciar en los cuadros del 66 al 68, para cada tipo de concreto realizado, si bien el margen de ganancia aún es negativo, es tolerable para la empresa constructora, puesto que los beneficios de tener el equipo en sitio, las facilidades comunicativas y calidad en términos de resistencia, compensan esos 2000 colones de más que en promedio cuesta producir el concreto en sitio, en comparación al comprarlo a una empresa externa, según la empresa constructora.

Todas las mejoras descritas anteriormente se lograron mediante el uso de *Last Planner* en la planificación, puesto que en la fase anterior no se utilizaba esta herramienta, además de la implementación de las mejoras recomendadas de la fase anterior, todo esto producto del análisis a través de los diagramas de recorrido, diagrama de flujo, *Value Stream Mapping* y los muestreos de productividad.

## Comparativa de fases de evaluación e implementación

Se decidió hacer una comparativa entre las fases 2 y 3 para observar las mejoras en términos de porcentajes y costos asociados entre estas, con el objetivo de resaltar los beneficios de la implementación de *Lean* en los procesos relacionados con la construcción.

En el cuadro 69 se puede apreciar cómo en la semana que más volumen se produjo se logró llegar a 39 m<sup>3</sup> de concreto, esto en fase de evaluación del proceso, sin la implementación de mejoras. Mientras que en el cuadro 70 se puede apreciar cómo en dos semanas se logró llegar a 129,5 m<sup>3</sup> producidos en toda la semana, una vez optimizado el proceso con las herramientas de evaluación *Lean* y mejoras aplicadas, aproximadamente se produjo en 332% más de producción de concreto.

De igual forma, en la figura 88 se puede apreciar cómo en las tres primeras semanas de producción (donde se llevó a cabo la evaluación de los procesos) se realizaron las menores cantidades de producción unas vez implementadas las mejoras; a partir del 17 de abril se puede ver la mayores cantidades de metros cúbicos producidas por el equipo.

En el cuadro 71 se pueden apreciar los tiempos para cada tarea de producción, en cada fase todas las tareas mejoraron en términos porcentuales, la tarea de realización de guía mejoró un 100% debido a que esta fue absorbida en el proceso de descarga. También se aprecian las mejoras en los procesos comunicativos, al darles una atención inmediata, tal cual el cuadro de los requerimientos así lo solicitaba, de esta forma la orden de carga mejoró un 87,50%; además, el recorrido al frente de trabajo mejoró un 42,86%, también con la evaluación y recomendaciones brindadas a los frentes de trabajo a través del análisis de productividad del proceso de colocación, se puede apreciar cómo el proceso de descarga o colocación de concreto mejoró un 43,48%, esto contribuyó a que el equipo se descargara de una forma más rápida y así pueda dedicarse a las tareas de producción también más rápidamente. En términos generales el ciclo de producción mejoró un 50,46%.

En términos de costos se puede apreciar en el cuadro 72 cómo los costos disminuyeron de una fase con respecto a la otra. Para el Tobacemento el costo disminuyó un 37,83% mientras que para el concreto 210 kg/cm<sup>2</sup> normal y el concreto 210 kg/cm<sup>2</sup> fino mejoró en 32,27% y en 30,92% respectivamente, producto de la implementación de *Lean* en y sus respectivas herramientas en los procesos de producción y colocación.

## Fase de elaboración de lineamientos de producción

Es posible apreciar de la fase anterior cómo aún el proceso de producción puede mejorar en algunos aspectos, por ejemplo a través del análisis del *Value Stream Mapping* se muestra cómo el proceso de carga de agua es necesario que sea absorbido por otro proceso y así disminuir aún más los tiempos. Se realizaron recomendaciones mediante cuadros y figuras sobre cómo debe de ser el proceso de producción y cuáles aspectos se deben de considerar para el que equipo sea económicamente rentable, o de cuáles son los costos asociados con la cantidad de concreto realizada en un día.

En el cuadro 73 se pueden apreciar once parámetros por considera en el diseño de sitio para que el equipo pueda cargar y hacer sus labores de producción en óptimas condiciones. De igual forma, se desarrolló un diseño de sitio ideal en donde debe operar el equipo para su desempeño ideal; los agregados deben de estar alineados, cerca uno de otro, tal y como muestra la figura 89 para que el proceso productivo sea continuo. La figura 90 muestra cómo debe de funcionar el proceso productivo y cuáles deben de ser los tiempos tolerables para cada tarea, mientras que la figura 91 menciona cuál debe de ser el proveedor de materia prima asociado con el menor costo ofrecido en el mercado.

En los cuadros desde el 74 hasta el 78 se puede apreciar el costo por metro cúbico asociado con la cantidad de concreto realizada en un día, el análisis de costos se realizó con el nuevo proveedor de agregado, además de nuevos diseños, esto último debido a que la resistencia de los concretos estaba muy por encima del mínimo tolerable. Se decidió realizar nuevos diseños para

optimizar el uso de cemento y así disminuir costos; los cuadros son una previsión de cómo van hacer los costos con las respectivas modificaciones, para compararlo los cuadros 74 y 75 se puede apreciar que el mínimo para que el equipo sea rentable es de 13 m<sup>3</sup>. Solo se realizó el análisis con un tipo de concreto, puesto que este es el concreto con costo promedio entre los 3 tipos consultados, además de que es difícil prever de cuáles tipos de concretos y cuántas cantidades se pueden solicitar diariamente.

Finalmente, en el cuadro 79 se mencionan los lineamientos o puntos de mejora que deben de manejar las cuadrillas de descarga de concreto para que estas no tarden tanto tiempo desocupando el equipo y así contribuyan a un mejor rendimiento.

# Conclusiones

- Se determinaron catorce requerimientos, para el desarrollo de una metodología inicial con base a *Lean Construction* para la posterior implementación en los procesos seleccionados, como coordinar acciones de optimización del proceso y en casos de atrasos por imprevistos.
- Se identificaron las principales ventajas y desventajas del uso de la autohormigonera en la producción de concreto a través de los análisis FODA y el diagrama de Ishikawa.
- Se estableció una metodología con base en el enfoque *Lean Construction*, la cual contribuyó a una mejora en conjunto de los procesos de producción y colocación de 50,46% en términos de tiempos, y un 30% en cada uno de los costos de los diferentes tipos de concretos.
- *Lean Construction* contribuyó a que la productividad en el proceso productivo de concreto con la autohormigonera pasara a estar entre un 65,42% y un 90,18%; antes de la implementación de esta filosofía la productividad estaba entre un 56,38% y un 71,50%.
- Se midieron y analizaron 16 procesos de producción de concreto a través de diagrama de recorrido, diagramas de flujo y *Value Stream Mapping*, además de nueve procesos de colocación de concreto a través de análisis de productividad y *Crew Balance*, que contribuyeron a la detección de oportunidades de mejora en ambos procesos respectivamente.
- La productividad para el proceso de colocación de concreto en el proyecto se encuentra entre un 19,96% y un 57,93%, mientras que la improductividad se puede encontrar entre un 60,20% y un 20,56%.
- La tarea improductiva que más repite en el proceso de colocación es la “espera”.
- Se elaboraron los cuadros 73, 74, 75, 76, 77, 78, y 79, además de las figuras 89, 90, y 91 que en conjunto funcionan como una herramienta importante para la toma de decisiones en relación con el uso de equipo y sus requerimientos en futuros proyectos.
- La implementación de *Lean Construction* incrementó los volúmenes de concreto colocados con el equipo en un 232% en los picos de producción, lo cual demuestra lo valioso que puede ser el uso de esta filosofía en la industria constructiva.
- Se logró incrementar la producción y colocación de concreto, manteniendo la calidad del mismo.

# Recomendaciones

- Se deben implementar los listados requerimientos presentados en el cuadro 1 por ejemplo, para el desarrollo de puestos de trabajo.
- Definir modelo administrativo que considere que las ganancias por el uso de la autohormigonera sean de la empresa y no del proyecto, para fomentar el uso del equipo a lo interno de la empresa.
- Permitir y considerar la posibilidad de vender concreto a otros clientes así como subcontratistas, quienes estén desarrollando algún tipo de construcción, tanto en el mismo proyecto como cerca de este, de tal forma que los requerimientos no solo estén asociados con los requerimientos de la constructora, esto contribuye a una mayor demanda de uso.
- Se debe de implementar un constante control y monitoreo de costos, cotización de proveedores, diseños y resultados de informes de laboratorios, para asegurar la rentabilidad del equipo, y la calidad del concreto que se entrega.
- Tratar de planificar el diseño de sitio trazado en la imagen 89, siempre que sea posible; en casos que no lo sea, tratar de dar las mayores facilidades posibles para la producción y descarga de materia prima, tratando de respetando las consideraciones del cuadro 73.
- Implementar las recomendaciones de colocación de concreto para obtener tiempos de descarga aceptables en futuros proyectos.
- El desarrollo de un espacio específico para el lavado del equipo lejos del sitio de carga de materiales, para no deteriorar la zona con la exposición constante al agua.
- Mantener la aplicación de diagramas de recorrido y Value Stream Mapping para analizar el proceso de producción de concreto.
- Mantener la aplicación de la herramienta Crew Balance para analizar en el proceso de colocación de concreto.

# Referencias

- ¿Qué es Value Stream Mapping? (2017). Think Productivity. Recuperado el 11 Junio 2017, de <https://think-productivity.com/value-stream-mapping/>
- Camacho, D. (2016). *Análisis de procesos constructivos, medida de productividad y rendimientos en el edificio TIC'S del ITCR*. Informe proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Cogui, J. (2016). *Material del curso Programación de Proyectos*. Presentación, Cartago, Costa Rica.
- DB460B. (2017). *Euromateriales*. Recuperado el 11 Junio 2017, de <http://www.euromaterialescr.com/concreto/produccion/autohormigoneras-fiori/db460b-detail>
- FODA: Matriz o Análisis FODA – Una herramienta esencial para el estudio de la empresa. (2017). *Análisis Foda*. Recuperado el 11 Junio 2017, de <http://www.analisisfoda.com/>
- Gallovich, A. (2017). *Capacitación para uso de Autohormigonera Fiori*. Alajuela, Costa Rica.
- IEEE. (2008). *Especificación de Requisitos según el estándar de IEEE 830* (2da ed., pp. 3-6). Recuperado el 11 Junio 2017, de <https://www.fdi.ucm.es/profesor/gmendez/docs/is0809/ieee830.pdf>
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo* (4ta ed.). Ginebra, Suiza: Oficina Internacional del Trabajo.
- LCE. (2017). *¿Qué es Lean Construction?. Lean Construction Enterprise*. Recuperado el 11 Junio 2017, de <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction>
- LCE. (2017). *Last Planner. Lean Construction Enterprise*. Recuperado el 11 Junio 2017, de <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/last-planner>
- Leandro, A. (2017). *Material del curso Diseño de Procesos Constructivos*. Presentación, Cartago, Costa Rica.
- Lledo, M. (2017). *Tesis Costa Rica*.
- Oglesby, C., Parker, H., y Howell, G. (1989). *Productivity improvement in construction*. (1er ed.). New York: McGraw-Hill.
- Ortiz, G., Paniagua, E., y Sandoval, M. (2009). *Costos de Construcción* (1er ed.). Cartago, Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Padilla, A. (2016). *Productividad y rendimiento de mano de obra para algunos procesos constructivos seleccionados en la ejecución del edificio ISLHA del ITCR*. Informe proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería en Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Perez, J., y Gardey, A. (2012). *Definición de metodología*. Recuperado el 11 Junio 2017, de <http://definicion.de/metodologia/>
- ¿Qué es el Diagrama de Ishikawa o Diagrama de Causa Efecto. (2017). *Gestión de Operaciones*. Recuperado el 11 Junio 2017, de

<http://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-el-diagrama-de-ishikawa-o-diagrama-de-causa-efecto/>

Rother, M., y Shook, J. (1999). *Observar para crear valor* (1er ed.). Massachusett, USA: The Lean Enterprise Institute.

Serpell, A., y Verbal, R. (1990). *Análisis de operaciones mediante cartas de balance* (1er ed.). Santiago, Chile. Recuperado el de <https://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/download/337/280>

Vanegas, J. (2012). *Apuntes del curso Taller 1*. Presentación, Cartago, Costa Rica.