

Análisis de productividad en procesos de armadura en el proyecto The IVY de la empresa Edica Ltda

**CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE
PROYECTO DE GRADUACIÓN**


Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Ana Grettel Leandro Hernández, Ing. Milton Sandoval Quirós, 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. Gustavo Rojas Moya.
Director



Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.
Profesora Guía



Ing. Milton Sandoval Quirós.
Profesor Lector



Ing. Giannina Ortiz Quesada.
Profesora Observadora

Abstract

The following briefing introduces a collaborative improvement to the activities and processes used at Edica Ltda, to the production of armor for reinforced concrete elements. In order to achieve this goal, the building project named The IVY was selected, this project consists in the development, both horizontal and vertical, of habitable houses.

The data gathered from this building project was of mayor importance to realize a full analysis of the methodology used, and to elaborate process improvements, to study their productivity, obtained from critical activities, and to detect those factors responsible of causing low efficiency problems.

To do this, it was necessary to build the provisional structures in order to detect site's design flaws. Other tools were also used, like surveys, tours diagrams, and productivity measuring, by using techniques like Work Sampling, Five Minute Rating and Crew Balance, applied to the installation of mezzanine floors, beams manufacturing and walls building.

While analyzing these results, it was of great importance to elaborate an adequate planning and organization of the site, previous to the beginning of the construction tasks. Also, the establishment of the most efficient processes sequence in order to achieve an excellent steel product quality. It was also important to perform regular inspections on the workers, as well as to evaluate the applied methods.

Finally, a group of recommendations were made to prevent the same flaws to affect future building projects

Keywords: productivity, process improvement, work sampling, five minutes rating, crew balance.

Resumen

El siguiente informe presenta una colaboración al mejoramiento de los procesos de las actividades que corresponde a la confección de armadura para elementos de concreto reforzado para la empresa Edica Ltda. Para lograr este objetivo se seleccionó el proyecto The IVY, el cual consistió en el desarrollo horizontal y vertical de casas de habitación.

La información que se recopiló de esta construcción, fue fundamental para lograr un análisis de la metodología empleada y plantear propuestas de mejora en sus procesos, un estudio de la productividad que se obtenía en las actividades críticas, detectar los factores que causaban problemas de baja eficiencia.

Para ello, fue necesario hacer un levantamiento de las obras provisionales para detectar las debilidades respecto al diseño de sitio, encuestas, diagramas de recorridos y mediciones de productividad mediante Work Sampling, Five Minute Rating y Crew Balance aplicadas a la confección de entresijos, confección de vigas y confección de los muros.

En el análisis de estos resultados, se detectó la importancia de realizar la adecuada planificación, y organización del lugar previo al inicio de la obra constructivo, el establecimiento de la secuencia más efectiva de los procesos para lograr una excelente calidad del elemento, así como la de realizar inspecciones regulares a los trabajadores y evaluar las metodologías empleadas.

Por último, se realiza unas recomendaciones con el fin de evitar estas mismas debilidades en proyectos futuros.

Palabras clave: mejora de procesos productividad, work sampling, five minute rating, crew balance.

Análisis de productividad en procesos de armadura en el proyecto The IVY de la empresa Edica Ltda

Análisis de productividad en procesos de armadura en el proyecto The IVY de la empresa Edica Ltda

ANA MONTIEL ROMERO

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

Agosto del 2016

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo	2
Introducción	3
Marco teórico	5
Metodología	10
Resultados	14
Análisis de los resultados	88
Conclusiones	97
Recomendaciones	98
Apéndices	99
Referencias	163

Prefacio

Actualmente, la industria de la construcción es una de las actividades de más competitividad y que requiere una implementación de herramientas que orienten a las empresas a conseguir un trabajo más eficiente en cada obra realizada.

Para ello, se hace indispensable un análisis exhaustivo de la manera en que se está procesando en cada etapa respecto a temas de calidad, control y productividad de los recursos según sea el caso, clasificados en recursos humanos, de materiales o de equipos.

Para conseguir este análisis se hace uso de herramientas como lo es la recopilación de los datos directamente desde el sitio de obra, datos que facilite una información clara, concisa y confiable que permitan asegurar la mejor metodología para realizar un trabajo de calidad, así como eficiente.

Al realizar este proyecto se pretende optimizar los procesos de modo que sus beneficios se ven reflejados en diversos aspectos de la actividad, tales como el nivel de ahorro económico que puede representar para la empresa en donde se implemente, la satisfacción de los trabajadores al tener un sitio adecuado en donde realizar sus labores contribuyendo a un mejor desempeño de las mismas, beneficios en el aspecto ambiental al obtener una reducción de la cantidad de desechos como también en la entrega de un proyecto exitoso y de calidad al cliente.

Es por esto que la empresa Edica Ltda., se ve interesada en conseguir un alto nivel de eficiencia en sus procesos, principalmente los referentes a la armadura de uno de sus proyectos, esto con el fin de mantener la mejora continua a nivel de la productividad de sus procesos, la constante actualización, sin dejar de lado la eficiencia de su trabajo en cada proyecto ya que esto representa cierto grado de competitividad en la industria de la construcción.

Agradecimientos

Primeramente, doy la gloria, la honra y el agradecimiento a mi Dios por brindarme la sabiduría, paciencia y aliento para seguir adelante sin importar las vicisitudes que se presentan en el camino, por darme su amor, su misericordia, así como las fuerzas para alcanzar las metas que bajo su perfecto pensamiento fueron puestas en mi corazón.

De igual manera, deseo dedicar y agradecer este logro profesional a mi familia que sembró en mí valores, consejos, a ellos que, sin su apoyo incondicional, su amor y su compañía en toda circunstancia no hubiera sido posible conseguir esta meta.

También, extendiendo un agradecimiento a mis profesores, amigos y en especial a la profesora Ana Grettel Leandro por su aporte en conocimiento, por su dedicación, por su paciencia y por el cariño con el que estuvo conmigo como profesora guía.

Finalmente, agradezco a la empresa Edica Ltda., por brindarme la oportunidad de desarrollar mi proyecto, al Ing. Jefferson Torres Montes por su apoyo, su confianza y por cada experiencia que me ayudó a crecer profesionalmente.

Resumen ejecutivo

Actualmente, en la industria de la construcción se ha ido incrementando el nivel de competitividad entre empresas constructoras, siendo estas capaces de mejorar en costo, calidad y tiempo de entrega del proyecto, una manera de conseguir estas ventajas es optimizando los recursos que se utilizan en los procesos constructivos.

En este proyecto se busca realizar una correcta organización de las tareas que conllevan realizar una actividad en sí de modo que se consiga un buen nivel de productividad, la empresa Edica Ltda., se interesa en mejorar los procesos que conciernen a la armadura de los edificios.

Como parte de la metodología para conseguir éxito en lo buscado, se diseñaron encuestas para conocer las condiciones del proyecto al momento del estudio, en los temas de efectos sobre la organización de las obras temporales en los trabajadores, metodologías bajo las que trabaja la empresa, manejo del personal y mano de obra respecto a las actividades por realizar.

Como resultado del análisis de estos aspectos se determinó que se debe de realizar una mejora en la organización del sitio para alcanzar una mayor efectividad en los procesos y una reducción en los gastos por los tiempos mal invertidos.

Para complementar la información se realizaron mediciones de productividad de las actividades que afectan en mayor medida al proyecto, estas mediciones se enfocaron en tres actividades, las cuales resultaron de un análisis de criticidad aplicado a las concernientes de armadura, dichas actividades fueron la confección de armadura de entresijos, confección de armadura de vigas y de armadura de muros.

Para realizar estas mediciones se seleccionaron las técnicas de Work Sampling, Five Minute Rating y Crew Balance.

Respecto a la técnica de Work Sampling, se realizan observaciones en la cuadrilla de trabajo y se identifican las personas que están trabajando y las que no. Por lo que, para obtener una confiabilidad en los resultados que se obtienen, estas observaciones deberán ser al menos 385 para lograr un porcentaje de error de un 5%. En la técnica llamada Five Minute Rating, se deberá detallar cada persona en la cuadrilla para anotar si trabaja o no bajo ciertos intervalos de tiempo. Por su parte la técnica descrita como Crew Balance, arroja resultados de las acciones específicas de los trabajadores y las muestras a través de un gráfico de barras.

De este modo, se detectaron debilidades en el manejo del personal, ya que en ocasiones las cuadrillas estaban sobredimensionadas lo que llevaba a que los tiempos de trabajo fueran invertidos en esperas, demoras por el traslado de los materiales, interrupciones del trabajo por causa de otros empleados, siendo esto trabajos no productivos.

Es por estas razones que se torna necesario que los encargados de las cuadrillas tomen un mayor control de la mano de obra y evalúen este tipo de situaciones para tomar las decisiones sobre el caso, planificar e implementar medidas preventivas que eviten este tipo de situaciones, como inducciones, capacitaciones, inspecciones periódicas de las cuadrillas, entre otros.

Introducción

La industria de la construcción, ha ido evolucionando respecto a la forma de realizar los procedimientos de trabajo en cada etapa constructiva a lo largo el tiempo, estas evoluciones han sido puntos clave para obtener éxito en un proyecto constructivo.

Parte de estos cambios, implica crear una correcta planificación de las actividades constructivas para detectar las posibles debilidades y tomar acciones correctivas antes de que estas sean ejecutadas con el fin de obtener la mayor eficiencia, productividad y calidad de lo que se realice, esto a su vez generará competitividad en la empresa que lo maneje.

En las empresas constructoras, cuando hay ausencia de planificación y consecuentemente una baja productividad de obra, se pueden presentar problemas como atrasos en los tiempos de entrega, baja calidad de las obras, abundantes desperdicios en sitio, las finanzas de la misma se ven ampliamente afectado.

Es por ello que, con el pasar del tiempo se han desarrollado múltiples herramientas que determinan y mejoran la productividad de los procesos de trabajo, estas pueden ser aplicadas de modo eficiente en los temas concernientes a la construcción, tales como mejora en el manejo de mano de obra, mejora en localización de las obras temporales, entre otros.

Como el mayor recurso en una obra constructiva es la mano de obra, para la industria de la construcción es de vital importancia que dicha mano de obra se vea controlada tal que, se noten mejoras a nivel de productividad en los procesos que estos realicen sin dejar de lado la importancia de la calidad.

Es por esto que, con el fin también de que la productividad se refleje a nivel de costos, calidad, reducción de desperdicios, entre otros; se desarrolla una serie de herramientas, propuestas de mejora y recomendaciones que faciliten la mejora continua de la productividad de las personas que forman parte en la ejecución de los

procesos constructivos, esto se elabora para la empresa Edica Ltda., en los procesos de armadura solamente de un proyecto en específico llamado "The IVY".

El desarrollo de este trabajo profesional de graduación estuvo sujeto a la facilidad de acceso que se tuvieran a los datos requeridos para realizar los respectivos análisis y estudios de la obra.

Para realizar estos análisis, se hizo uso de técnicas cualitativas de productividad, como encuestas por ejemplo, que se complementó con tres técnicas cuantitativas de productividad a saber: Work Sampling que facilita la deducción de personas trabajando en una cuadrilla y cuántas no, Five Minute Rating que refleja más específico cuál trabajador está realizando una labor correspondiente a la actividad y cuál trabajador no; por último, la técnica Crew Balance, que describe el porcentaje de tiempo invertido por cada trabajador observado a una actividad en específico.

Objetivos

Objetivo General

- Elaborar una mejora de productividad en los procesos de confección y colocación de armadura.

Objetivos Específicos

- Identificar los procesos donde se llevará a cabo la medición de la productividad.
- Medir la productividad de los procesos de armadura en cuanto a materiales.

- Determinar las causas y problemas más comunes en la confección y colocación de armadura.
- Diseñar propuesta de mejora en la productividad de la armadura.

Alcances y limitaciones

- Se desarrolla los análisis y mejoras para los procesos de confección de armadura para elementos de concreto reforzado en la obra The IVY de la empresa constructora Edica Lda.
- Las mediciones de campo se realizaron de manera periódica en el proyecto y desde un lugar alejado a la zona de trabajo para no afectar con las labores de los trabajadores.
- Las encuestas realizadas durante el proyecto fueron aplicadas a una muestra de personas poco representativa.
- La información obtenida de las mediciones de campo fue parcial en algunos casos, pues no fue posible medir el proceso de principio a fin.
- Las propuestas de mejora fueron desarrolladas de acuerdo a las necesidades del proyecto en construcción.

Marco teórico

Productividad

En la actualidad, los índices de competitividad se han elevado en cada tipo de industria, exigiendo así a las empresas mejorar continuamente y la industria de la construcción no es la excepción, una de las posibles soluciones a esta evolución es el estudio de la productividad en el sitio de la obra.

Para estudiar la productividad se debe establecer que este concepto tiene relación con la eficiencia con que se trabaja, el buen manejo de los recursos que se emplearán, así como la calidad del proyecto terminado.

En el estudio de Botero & Álvarez (2004), se cita a Serpell (1999) quién define a la productividad en el ámbito constructivo como “la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto en específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado”.

Es por lo cual, que la administración de los recursos es de vital importancia para conseguir una buena productividad, entre los recursos que deben de tener en cuenta están (Leandro, 2008):

- a. Materiales
- b. Tecnología
- c. Mano de obra

Por lo tanto, se puede la clasificar la productividad dependiendo del recurso utilizado, así se tendrá:

- a. Productividad en materiales: Es aconsejable una buena planificación de uso para obtener ganancias con respecto a los costos.
- b. Productividad en tecnología: Sin poner mucha atención en la tecnología que se usará en cada proyecto de acuerdo a sus

condiciones, la utilización de los equipos, maquinarias, herramientas u otros genera un alto costo, por lo que se debe de evitar las pérdidas de efectividad mientras se manipula, así como los tiempos muertos que estos puedan tener.

- c. Productividad en mano de obra: Es el más crítico de los recursos y el que de acuerdo a su manejo así se verá reflejada la productividad de los otros recursos.

Factores que afectan la productividad

Algunas de los aspectos que pueden incurrir en un efecto negativo en la productividad de la construcción, son los siguientes (Serpell, 1986):

- Errores u omisiones en las especificaciones de planos.
- Constantes cambios del proyecto durante su ejecución.
- Falta de supervisión del trabajo.
- Condiciones de seguridad deficientes.
- Distribución incorrecta de los materiales de la obra y del proceso de trabajo.
- Falta de suministros.
- Organización incorrecta de las cuadrillas de trabajo.
- Condiciones climáticas y de sitio poco favorables.
- Toma de decisiones poco beneficiosas.
- Interrupciones no controladas.
- Rotación del personal.

Conociendo estos factores antes mencionados, es posible llevar a cabo planes de acciones correctivas que afecten de manera positiva, tal que la productividad alcance niveles superiores, estas acciones pueden ser (Serpell, 1986):

- Programas de seguridad en sitio.
- Planificación, diseño y control de las operaciones constructivas.
- Implementar planes de incentivos y motivación para los trabajadores.
- Revisión de los diseños del proyecto.
- Control del proceso de trabajo para mejorar la eficiencia del mismo.
- Mejorar la supervisión en obra.
- Disponer de adecuados materiales, mano de obra, tecnología.
- Hacer un buen uso de la información.
- Mayor control de la organización del personal.
- Programas de capacitaciones del personal.
- Optimización del sistema constructivo.

A raíz de estos factores que inciden en la productividad, es notable que muchos de ellos se deben de corregir, implementar y controlar desde el punto de vista administrativo, como lo es diseños adecuados de los procesos, de las condiciones laborales, evitar el exceso de modificaciones cuando se esté ejecutando la obra; mientras que otros factores corresponden a una buena comunicación o una buena dirección del proyecto.

Mejoramiento de la productividad

Como resultado de esta gran cantidad de inconvenientes encontrados durante la ejecución de un proyecto constructivo, es indispensable realizar estudios que puedan proveer de una mejor toma de decisiones para así desarrollar las

acciones correctivas necesarias que nos permitan obtener un índice cada vez más elevado de la productividad en la construcción.

Por lo tanto, es recomendable mantener controlado las formas operacionales que se desarrollan en cada proyecto, Botero & Álvarez (2004) proponen seguir este ciclo para establecer la mejora continua de la productividad:

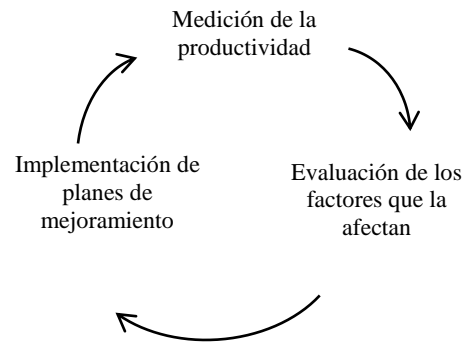


Figura 1. Ciclo de mejoramiento de productividad. Fuente: (Botero & Álvarez, 2004)

Para que cada una de estas etapas del ciclo sea efectuada con éxito, se deberá de realizar una serie de actividades:

- a. Medición de la productividad: Elaborar un análisis estadístico con base en la recopilación de datos desde el campo, usando formularios de muestreo.
- b. Evaluación de la productividad: Con base en el análisis de datos se puede generar un diagnóstico de la situación y conseguir tomar la mejor decisión para crear una solución adecuada.
- c. Implementación de planes de mejoramiento: Se deberá de implantar estrategias correctivas y/o acciones de mejoramiento de modo que pueda ver reflejados resultados positivos en la obra al mismo tiempo se pueda mantener una constante evaluación de la eficacia del sistema que se están llevando a cabo.

Como parte del incremento de la productividad, es posible mejorar los procesos

constructivos a través de un buen manejo de los aspectos que intervienen en ellos, tales como (Leandro, 2008):

1. Tecnología: Establecer el tipo de tecnología a utilizar, considerando variables como el costo, tiempo, espacio y condiciones de la obra, realizar esta práctica antes que el proyecto se empiece a ejecutar, conservando el balance entre los recursos disponibles y los requerimientos de obra, conllevará a una ventaja en el rendimiento y productividad de los procesos constructivos.
2. Mano de obra: Tener una excelente planificación de este recurso resultará ventajoso en temas de costos, tiempos y calidad, pues es un aspecto fundamental para desarrollar el proyecto. Para ello, se deberá contemplar estrategias de mejoras como capacitaciones, planes educacionales, incentivos, buenas condiciones laborales, entre otros.
3. Diseño del sitio: Contar con un buen diseño de sitio nos garantizará un alza en términos de calidad, seguridad, comodidad y satisfacción en los trabajadores. Se debe considerar aspectos como espacio para equipos pesados, espacios para cargar y descargar, áreas de trabajo, áreas de almacenamiento de materiales, zonas de seguridad, oficinas y centro de reuniones, zona de desechos, entre otros.
4. Administración de materiales: Manejar correctamente los insumos que ingresan a la construcción es de vital importancia, pues conllevan a una mejora en tiempo de espera al mantener un inventario y control de pedidos, contar con los materiales en buena calidad, reduce costos de almacenamiento con la metodología "Just in time", lo que evita tiempos no productivos y los desperdicios.

5. Calidad: Actualmente un aspecto muy importante debido a que genera competitividad, reconocimientos y prestigio a los que la poseen y procuran mejorarla continuamente, es por ello que, para garantizar calidad en el proyecto, esta debe implementarse desde el desarrollo de los procesos, tomando en cuenta la mano de obra, materiales e inclusive herramientas.

Identificación de pérdidas

Se debe entender como pérdidas a aquellas actividades o acciones que no agregan ningún valor o avance real a un proyecto en específico, pero si genera un costo realizarlas. Con el fin de obtener las causas-efecto que generan entre ellas, las mismas se pueden clasificar de acuerdo a su fuente, por ejemplo (Cantú, Moreno, Gallina & García, 2009):

- Administración: Aquellos que implican especificaciones innecesarias, excesiva burocracia o ausencia de planificación.
- Uso de recursos: Se pueden presentar pérdidas por los muchos o escasos recursos, mala manipulación de ellos, entre otros.
- Sistemas de información: Pueden ser no necesarias, lentas generando atrasos o modificaciones, pueden ser ineficientes o confusas.

De modo que la clasificación sea más generalizada, se tiene:

- Pérdidas por sobreproducción
- Pérdidas por espera, interrupciones, etc.
- Pérdidas por transporte: Largas distancias o recorridos innecesarios.
- Pérdidas por operaciones: método inadecuado.
- Pérdidas por defectos: Reparaciones

- Pérdidas por tiempo: Alta demora en solucionar de problemas, en dar las instrucciones, entre otros.
- Pérdidas por personas: trabajadores no calificados para la labor o bien ineficiente distribución de las mismas.

Estas pérdidas se pueden identificar a través de un control de los procesos y sus tareas, las herramientas que pueden ser empleadas para ello son técnicas de mediciones de productividad del trabajo, encuestas, observaciones de campo, entre otras.

Medición de productividad

Para obtener la productividad de los procesos de la construcción es necesario obtenerlos de observaciones constantes en el sitio de la obra, para ello existen distintos tipos de metodologías de medición que se desarrollan a continuación.

Método “Work Sampling”

Esta metodología se basa en observar a un grupo de trabajadores que están realizando una misma actividad durante un lapso de tiempo con el fin de determinar qué tan efectiva es la cuadrilla con ese número de trabajadores, si requiere de más o por el contrario de menos personas.

Normalmente la proporción de la productividad de las actividades de la construcción se estima que alcanzan un intervalo del 40-60%, sin embargo, se ha querido lograr un rango ideal de 50-50%. Oglesky, Parker & Howell (1988).

Asimismo, para realizar una medición efectiva de productividad deberán ser de aproximadamente 385 observaciones obteniendo así un 95% de nivel de confianza, según lo que

indican los autores Oglesky, Parker & Howell (1988).

Al utilizar este método se debe tener en cuenta que las observaciones son aleatorias y se deben llevar a cabo en distintos horarios para obtener un mejor resultado.

Método “Five Minute Rating”

A pesar de que el método pueda traducirse como “Valoraciones de cinco minutos” no precisamente se deberá cumplir ese tiempo, pues si la actividad se desempeña de forma lenta o bien muy rápida el rango de tiempo se deberá seleccionar de modo que se consiga una mejor muestra de la productividad. (Leandro, 2015)

La finalidad de esta técnica es inspeccionar la productividad de cada trabajador dentro de una cuadrilla a la hora de realizar una actividad, dicha inspección se realiza bajo ciertos intervalos de tiempo, los cuales son establecidos por el observador.

Asimismo, las observaciones deberán de estar dentro un tiempo razonable para que el muestreo resulte más confiable y así poder determinar pérdidas de productividad.

Debido a que los resultados de estas observaciones dependen del juicio de cada observador, estos pueden llegar a ser relativos debido a que, no se hace una diferencia clara de las acciones que se categorizan como trabajo y cuáles las acciones que no.

Método “Crew Balance”

La técnica “Crew Balance”, también llamada balance de cuadrillas, gracias a esta herramienta es posible mostrar una serie de posibilidades de distribuir los recursos de mano de obra o bien, de maquinaria, tales que, resultan de beneficio para la productividad de la construcción. (Leandro, 2015)

Como resultado de las observaciones que se realicen en un tiempo determinado, es posible la

elaboración de un gráfico de barras, donde se ve representada la actividad que cada trabajador o máquina está realizando, así como el tiempo que dedica a dicha actividad.

Al evaluar a cada trabajador de forma paralela e identificar fallas en la cuadrilla es posible reasignar las tareas entre los trabajadores de la misma y/o modificar el número de trabajadores por cuadrilla, de esta manera se consigue aumentar la productividad en la actividad estudiada.

Al identificar y clasificar los tiempos medidos en estas categorías a través del uso de los métodos de medición de productividad, se pueden establecer qué porcentaje de lo estudiado se está empleando en cada categoría y así clasificar las pérdidas con el fin de mejorar el trabajo productivo, reducir el no contributivo y mitigar aquellas labores no contributivas.

Clasificación del trabajo

De las técnicas de evaluación del desempeño del trabajo a nivel de productividad pueden existir tres categorías de trabajo, que se describirán a continuación (Botero & Álvarez, 2003):

- Trabajo productivo (TP): Corresponde a aquel trabajo que le agrega valor a la actividad realizada, por ejemplo:
 - Colocación de bloques.
 - Elaboración de armadura.
 - Encofrado

- Trabajo Contributivo (TC): Se define como el tiempo que se emplea en labores que no generan valor a la actividad pero que son necesarias, tales como:
 - Transportes.
 - Orden y limpieza.
 - Instrucciones.

- Trabajo no contributivo (TNC): Es el tiempo que se usa en hacer otras labores respecto a la actividad en medición, que no agregan valor a la producción y son considerados como pérdidas. Ejemplos:
 - Tiempo ocioso.
 - Descansos
 - Esperas

Metodología

A continuación, se presenta una breve descripción de los procedimientos y actividades que se realizaron para llevar a cabo los estudios planteados en los objetivos del proyecto.

El objeto de estudio fue el proyecto The IVY ubicado en Escazú, Guachipelín, el cual se trata de un desarrollo urbanístico de viviendas.

El proyecto se está construyendo en etapas, de las cuales actualmente se desarrollan las etapas 1 y 2 que corresponden a 48 apartamentos que oscilan entre 100 m² y 198 m², los cuales están distribuidos entre los bloques A y B:

El terreno es un terreno en pendiente en el cual, el bloque A está ubicado en la parte inferior del terreno, cuenta con 8 edificios que contienen apartamentos en el sótano, a nivel de parqueo (segundo nivel) y en tercer nivel dos apartamentos más.

El bloque B ubicado en una parte superior del terreno, contiene solamente 5 edificios con la misma distribución que los edificios bloque A, se cuenta con al menos 5 tipos distintos de apartamentos.



Figura 2. Vista en elevación del proyecto. Fuente: Material proporcionado por Edica Ltda.

La sistema constructivo que se utiliza en este proyecto es de paredes y entresijos constituidos en concreto reforzado con la ayuda de formaleas de aluminio para conformación y grúas móviles, entre otros equipos.

El proyecto avanza con el bloque A y bloque B de manera simultánea, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3. Obra vista desde el costado oeste. Fuente: Material proporcionado por Edica Ltda.

Para llevar a cabo la recopilación de datos desde el sitio y obtener información confiable, se procedió a evaluar las actividades para lo cual se aplicaron 3 técnicas, a saber:

Diagramas de Pareto, el cual permite ordenar las prioridades de las actividades mediante un gráfico, en donde se refleja el principio de Pareto que indica que el 20% de las causas totales representa un 80% de los problemas de la situación en estudio, por lo que se decide colocar en el diagrama de Pareto de mayor a menor el costo las actividades de armadura de este proyecto, para identificar de manera clara el 20% de las actividades categorizadas como pocas vitales y que representan el 80% del costo total de armadura para esta obra constructiva, de esta forma se

determina que estas son las actividades de armadura que afectan en términos de costo a la empresa constructora, por lo cual, son actividades importantes a elegir para realizar el estudio de productividad.

De la misma forma, se evaluaron las actividades de armadura de esta obra para determinar la importancia que estas tienen en el proyecto mismo, analizando factores como el nivel de importancia estructural y de seguridad que debe tener para realizar un buen edificio sismo resistente, nivel de dificultad de corrección en caso de errores en la armadura, secuencia lógica de trabajo, entre otros, dicha importancia se clasificó en 1, 2 ó 3, clasificando a las actividades de mayor importancia con el número 1 y las de menor importancia con el número 3.

Para complementar esta selección de actividades, se realizó una clasificación de las mismas de acuerdo a qué tan críticas resultan estas actividades para el proyecto en términos de dificultad al momento de la confección, el cuidado que se debe tener para no incurrir en errores, nivel de control de especificaciones de las actividades, así como aquellas que se dan con mayor frecuencia en sitio, las cuales se clasificaron como alfa, beta o gamma.

Con esta información se elaboró un diagrama de criticidad con el fin de determinar las actividades más críticas correspondientes a la armadura que servirán para llevar a cabo los objetivos de este proyecto, este diagrama comprende la intersección de las actividades bajo los tres rubros establecidos, costo, importancia y dificultad, clasificando por niveles en alto, medio y bajo.

De forma paralela, se tomaron mediciones del espacio de trabajo, donde realizan la confección de cada tipo de elemento para la colocación de armadura, taller de armadura; también se midieron tiempos y distancias del lugar de proyecto para proceder a realizar el plano correspondiente a la distribución de sitios temporales actuales como zona de desperdicios, servicios sanitarios, etc., con el fin de establecer qué tan efectiva es la misma y en dado caso proponer mejoras.



Figura 4. Sitio de trabajo de acero.



Figura 5. Centro de acopio de acero.

Seguidamente, se realizaron encuestas que se dirigieron a los trabajadores, encargados de cuadrillas y encargado de obra, con el fin de identificar las causas que afectan la productividad de las actividades en el sitio y mediante esta información crear un diagrama de Ishikawa que permita visualizar de manera más clara las causas del problema.

Posteriormente, de las actividades críticas que resultaron de los procedimientos de selección antes mencionados, se tomaron medidas de; tiempos, ejecución de tareas y movimientos de cada trabajador involucrado en la cuadrilla del proceso en estudio.

Luego de recolectar esta información, se clasificaron las labores de acuerdo al tipo de escenarios de trabajo que existen (TP, TC, TNC) para determinar a cuál se le está invirtiendo el mayor porcentaje de trabajo.

Para lograr capturar estos datos se emplearon las técnicas de medición en campo de productividad "Work Sampling", "Five Minute Rating" y "Crew Balance" para las cuales se

diseñaron distintas plantillas de trabajo basadas en los requerimientos de cada metodología.

Las mediciones se realizaron de manera aleatoria, con aproximadamente media hora de distanciamiento de los espacios de descanso de los trabajadores para no incurrir en medidas no efectivas, se procuró observar a los trabajadores desde un lugar alejado con el fin de no entorpecer sus labores y recolectar medidas erróneas por causa de un descuido.

Como datos generalizados, en cada técnica resultó importante anotar datos adicionales como el lugar donde se procedía a realizar la medición, las condiciones climáticas, herramientas generales que se estaban manipulando, la actividad que se estaba estudiando, hora de inicio de la medición y fecha.

Al momento de trabajar bajo la metodología "Work Sampling" para la medición de productividad, las mismas se realizaban de manera aleatoria durante la jornada, considerando realizar mediciones durante diferentes días y horas en cada recopilación de datos, la duración de la técnica dependía de la cantidad de trabajadores en la cuadrilla, pues se procuraba recolectar 385 observaciones aproximadamente.

El formulario que se empleó para lograr tomar dichas mediciones se muestra a continuación.

EDICA LTDA. Evaluación de Productividad en Campo				
Proyecto: The IVY		Equipo utilizado		Hora inicio:
Fecha:				Clima:
Actividad:				Cuad:
Técnica: Work sampling				Ubicación:
Obs	# Trabajadores	Trabajando	No trabajando	Comentarios
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
.				
.				
.				
Total				

Figura 6. Formulario para medición de productividad con la técnica "Work Sampling".

Para el conteo de las observaciones, estas son el producto del número de observaciones por la cantidad de trabajadores observados. Luego se toman el total de los que están trabajando para

obtener el porcentaje de productividad respecto a la cantidad observada de trabajadores, así mismo el valor de los que "no trabajan" para obtener el porcentaje de no productividad.

Por otro lado, se realizaron también mediciones de productividad de cuadrillas con la técnica "Five Minute Rating", en la que se hicieron en horas distintas de las mediciones con "Work Sampling" con el fin de obtener datos más precisos de productividad.

Esta técnica varía en que se dirige más a la productividad de cada trabajador, pues se anota una breve característica del trabajador y se observa las actividades que está desempeñando cada trabajador de la cuadrilla durante el tiempo en estudio. Para ello, se hizo uso del siguiente formato de formulario.

EDICA LTDA. Evaluación de Productividad en Campo											
Proyecto: The IVY			Equipo			Descripción de trabajadores.					
Fecha:						Trab 1		Trab 6			
Actividad:						Trab 2		Trab 7			
Clima:						Trab 3		Trab 8			
Cuad:						Trab 4		Trab 9			
Ubi.:						Trab 5					
Técnica: Five minute rating						Simbología:					
						Trabajando v			No trabajando ●		
Obs	Hora	Cant.	Trab 1	Trab 2	Trab 3	Trab 4	Trab 5	Trab 6	Trab 7	Trab 8	Trab 9
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
.											
.											
.											
Total											

Figura 7. Formulario para medición de productividad con la técnica "Five Minute Rating".

Como se puede observar en la figura 7, se debe de tomar en cuenta la hora en que se está realizando la observación y bajo cuáles intervalos de tiempo, también se tomó en consideración un espacio para comentarios respecto a la cuadrilla.

Además, se suman el total de observaciones y se multiplica por el número de trabajadores que realizan una labor. Esta operación debe ser mayor que 385 para garantizar que es estadísticamente válida.

Para medir la productividad de cada trabajador que conforma la cuadrilla más en detalle, se aplica la técnica "Crew Balance", información que ayudará a clasificar las labores de acuerdo a los tipos de escenarios de trabajo que se presenten, en trabajo productivo, contributivo o en no contributivo. Mediante esta

técnica, se miden las actividades que está realizando cada trabajador al mismo tiempo.

Considerando la gran cantidad de tareas que dentro de cada proceso constructivo realiza un trabajador y con el objetivo de determinar cuáles son y cuál es su secuencia, se realizaron diagramas de flujo de cada actividad, cuya información se obtuvo a través de encuestas y observaciones.

Estos diagramas de flujo se utilizaron para clasificar las actividades en trabajo productivo, contributivo, mientras que las actividades que se clasifican como trabajo no contributivo son conversar, ausentarse de la zona de trabajo, esperar, instrucción no necesaria, observar las labores de los compañeros.

Una vez recolectada y clasificada la información en los tipos de trabajos, se graficó en un diagrama de barras, el tiempo que cada trabajador invirtió para cada actividad durante el lapso observado.

Asimismo, con la categorización del trabajo, se establecieron los porcentajes de productividad de la cuadrilla de trabajo, tanto de trabajo productivo, contributivo como de no contributivo.

Al terminar la etapa de toma de información de los procesos y productividad de las cuadrillas, se continúa con el análisis de los mismos para determinar fallos, debilidades o diversos factores que puedan estar afectando la productividad, así como los aspectos de calidad, para realizar las propuestas de mejora en cada proceso conservando las buenas prácticas que estas puedan tener.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las evaluaciones de cada actividad correspondiente al acero, respecto a su costo, importancia y criticidad.

Selección de las actividades críticas

En el cuadro 1, se describen la configuración de las actividades que incluyen acero. Estas están calculadas respecto al costo de este de acuerdo a su peso, el cual es de 135 colones para aceros menores a la varilla #6.

Para determinar el costo de cada actividad, se calculó las cantidades de kilogramos de acero

requeridos para cada una de labores que contemplan acero en este proyecto y se multiplicó por el costo por kilogramos, para este caso es de 135 colones para todas las actividades; luego de esto se calculó la frecuencia acumulada de estas, con el objetivo de determinar la probabilidad de ocurrencia de dichas actividades, para luego definir mediante el diagrama de Pareto, las actividades que representan el 80% del costo total de acero, las cuales son las pocas actividades vitales y a las que deberá de realizar el estudio.

Para asignar la importancia (1, 2, 3) y los niveles de criticidad (A, B, C) de cada actividad se utilizaron los significados dispuestos en los cuadros 2 y 3 respectivamente.

CUADRO 1. DETALLE DE LOS COSTOS DE LAS ACTIVIDADES EN ACERO DEL PROYECTO.

Actividad	Demanda (kg)	Costo (¢/kg)	Total (¢)	Costo (%)	Costo acumulado (%)	Importancia	Criticidad
Muros	80582	¢135	¢10.878.615	26	26	1	A
Entrepisos	69955	¢135	¢9.443.990	23	49	2	A
Vigas	59198	¢135	¢7.991.765	19	68	1	A
Columnas	48779	¢135	¢6.585.121	16	84	1	B
Placas	27716	¢135	¢3.741.637	9	93	3	B
Pozos	20289	¢135	¢2.738.969	7	100	3	C
Total		¢810	¢41.380.097	100			

Para asignar la importancia a cada una de las actividades, se utilizaron los criterios mostrados en el cuadro 2, los cuales se clasifican con el número 1 a los elementos muy importantes que son aquellos elementos de soporte para la estructura en general.

Mientras que aquellas clasificadas con el número 2, son las actividades cuya terminación

es importante para continuar con el proyecto, pero no son difíciles de corregir en dado caso.

Finalmente, se les asignó el número 3, a aquellas actividades que requieren baja atención respecto a los criterios antes mencionados pero que igualmente se deben de realizar con estricto cuidado.

CUADRO 2. NIVELES DE IMPORTANCIA DE LAS ACTIVIDADES	
Valor	Importancia
1	Muy importante
2	Importante
3	Poca importancia

El Cuadro 3, muestra la clasificación de criticidad mediante la cual, se complementan los criterios de selección de las actividades correspondientes al acero, conocidas como actividades críticas y a las cuales se les realizó el estudio de productividad.

Las actividades tipo A, son aquellas que correspondan a elementos de estricto control y

los cuales estén dentro del 80% del costo total de las actividades, mientras que a aquellas que se encuentran entre el 80% y el 95% se clasificarán como tipo B, donde se les dará una criticidad media alta, por último, aquellas actividades que se encuentren dentro del 95% y 100% se conocerán como tipo C.

CUADRO 3. NIVELES DE CRITICIDAD DE LAS ACTIVIDADES	
Clasificación	Descripción
A	Alta, elementos bajo control estricto
B	Media Alta
C	Normal

A continuación, se presentan las figuras que fueron de ayuda para la selección de las actividades de armadura para el respectivo estudio de productividad, las cuales están basadas en los cuadros 1, 2, 3.

En la figura 8, se observa el diagrama de Pareto que muestra como las actividades de entepiso, muro y vigas, son los rubros de vital importancia y por tanto será en estas actividades en donde se realizará el estudio de productividad.

Según el principio de Pareto, al concentrar el estudio en estas actividades que representan el 20% y reestructurar las mismas se estará solucionando un 80% de los problemas, mientras

que las demás actividades sólo solucionarían el 20% de los problemas, es por estas razones que, son calificados como rubros triviales.

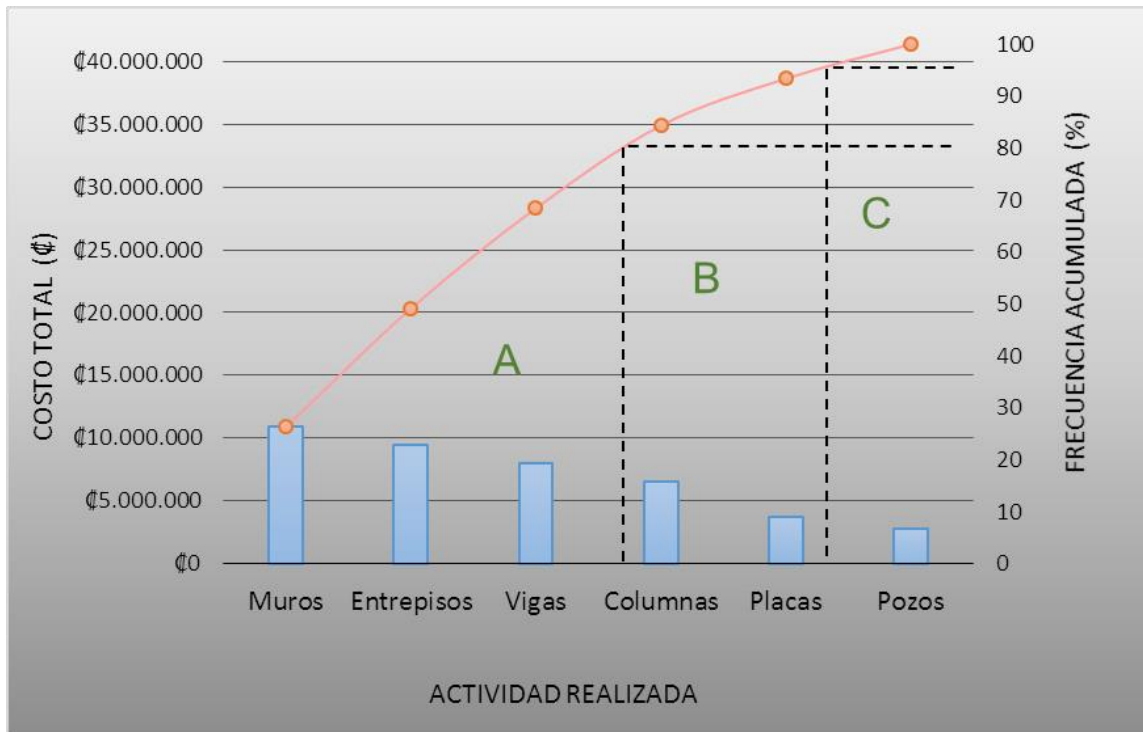


Figura 8. Diagrama de Pareto para actividades de armadura.

Por su parte, la figura 9 muestra la intersección de las actividades en su costo, importancia y factor de criticidad, por lo que se selecciona, entrepisos, muros y vigas para analizar.

Cabe destacar que, la información mostrada en la figura a continuación, es clasificada en 1,2 y 3 con base en observaciones y a las evaluaciones de costo, importancia y criticidad realizadas a cada actividad correspondiente al acero

Tipo de Clasificación	Costo		
	A	B	C
Importancia			
1	Muros y Vigas	Columnas	--
2	Entrepisos	--	--
3	--	Placas	Pozos

Figura 9. Diagrama de criticidad de actividades.

Con base en el análisis realizado y descrito anteriormente, se eligieron las actividades de confección de armadura para los muros, las vigas

y los entrepisos para realizar el estudio de productividad.

Condiciones del entorno

Se realizó una evaluación de las principales obras temporales del proyecto, así como del ambiente de seguridad laboral, de esta manera se creó el cuadro 4, que describe las condiciones generales de las mismas, con el fin de determinar

las condiciones del ambiente bajo las que laboran los trabajadores, sus posibles efectos en su desempeño, así como sus posibles deficiencias para presentar posibles mejoras al sitio de trabajo.

Estas obras temporales corresponden a oficinas, bodegas, talleres de trabajo, comedor, vestidores; también se observaron la cantidad y localización de los servicios sanitarios.

CUADRO 4. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS PROVISIONALES DEL PROYECTO.	
Obra Temporal	Condición
Oficinas de ingeniería, de subcontratistas, de reuniones.	Ubicadas dentro del proyecto. Espacios suficientes para atención del personal y los involucrados en el proyecto. Cuentan con buena disposición electromecánica. Parte de estas obras se tendrán que reacomodar en el sitio.
Servicios sanitarios	Con buena disposición de agua y manejo de aguas pardas. Ubicados en zonas poco estratégicas.
Comedor y vestidores	Ubicado lejano a la zona de construcción Espacio reducido para la cantidad de trabajadores dentro del proyecto Sin facilidades para aseo, ni para calentar alimentos.
Demarcación de zonas seguras	Ausencia de demarcación de puntos de reunión en caso de emergencia Demarcación regular de zonas de peligro
Bodegas	Espacio reducido para el acomodo de materiales. Ubicadas lejanas a la zona de edificios en construcción.
Talleres de trabajo	Correcta instalación eléctrica Zonas protegidas contra las lluvias Poca iluminación Extintor debidamente colocado Poco espacio de trabajo.

También como parte complementaria del análisis del entorno se realizó un plano con levantamiento del diseño de sitio del proyecto, en donde se hizo un levantamiento por zona. La zona

1 corresponde a las obras temporales ubicadas cercanas a la entrada principal del proyecto (Fig. 10)

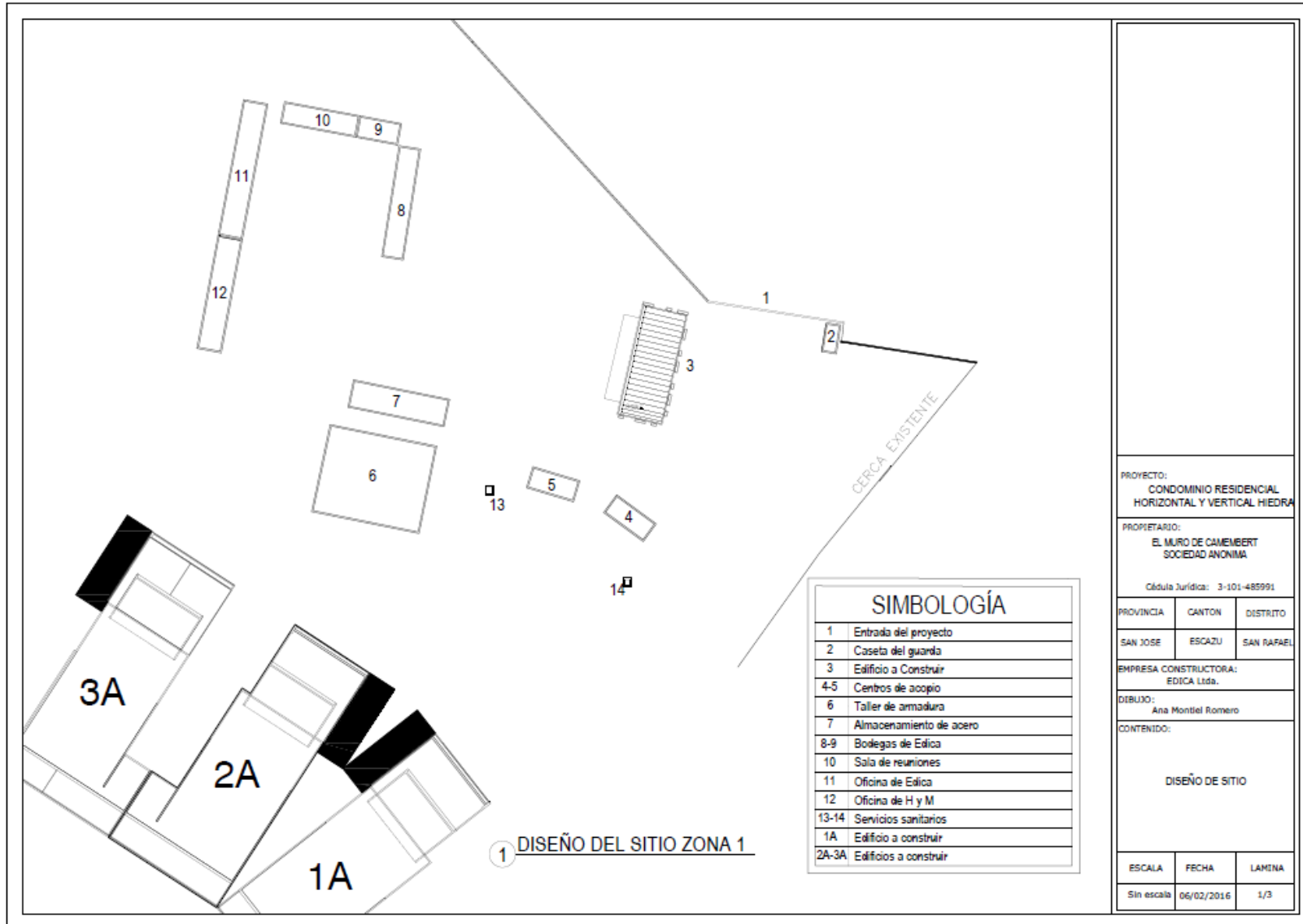


Figura 10. Plano parcial del proyecto, zona 1.

Posteriormente se realizó también el plano del diseño de sitio que muestra la zona más alejada respecto a la entrada principal del proyecto (Fig. 11). En esta área se ubicaban otras obras provisionales, tales como el comedor, vestidores y casilleros, bodegas, entre otros, esto se realiza para mostrar las obras

temporales más alejadas del proyecto, las cuales afectan la productividad de los trabajadores en términos de tiempo invertido en desplazamientos y transportes para llegar de un lugar a otro dentro del proyecto.

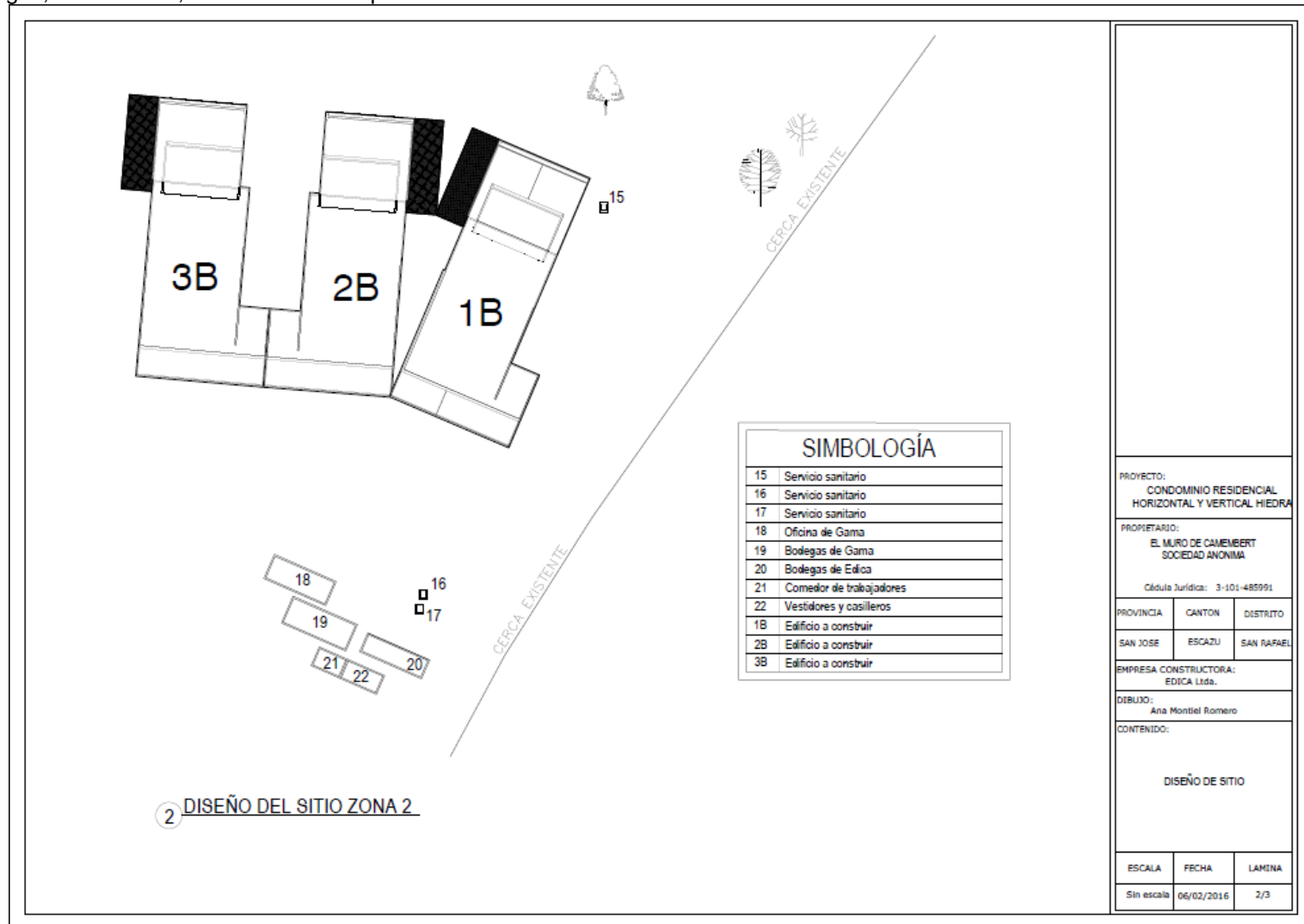


Figura 11. Plano parcial del proyecto, zona 2.

Finalmente, se presenta un plano que contiene las etapas del proyecto que se estaban ejecutando al momento de la práctica, las cuales fueron las etapas 1 y 2, también se observan las ubicaciones de las obras temporales en el momento del estudio

(Fig. 12), esto con el fin de que el lector se ubique mejor a la hora de realizar los análisis de los aspectos que afectan la productividad de los trabajadores.

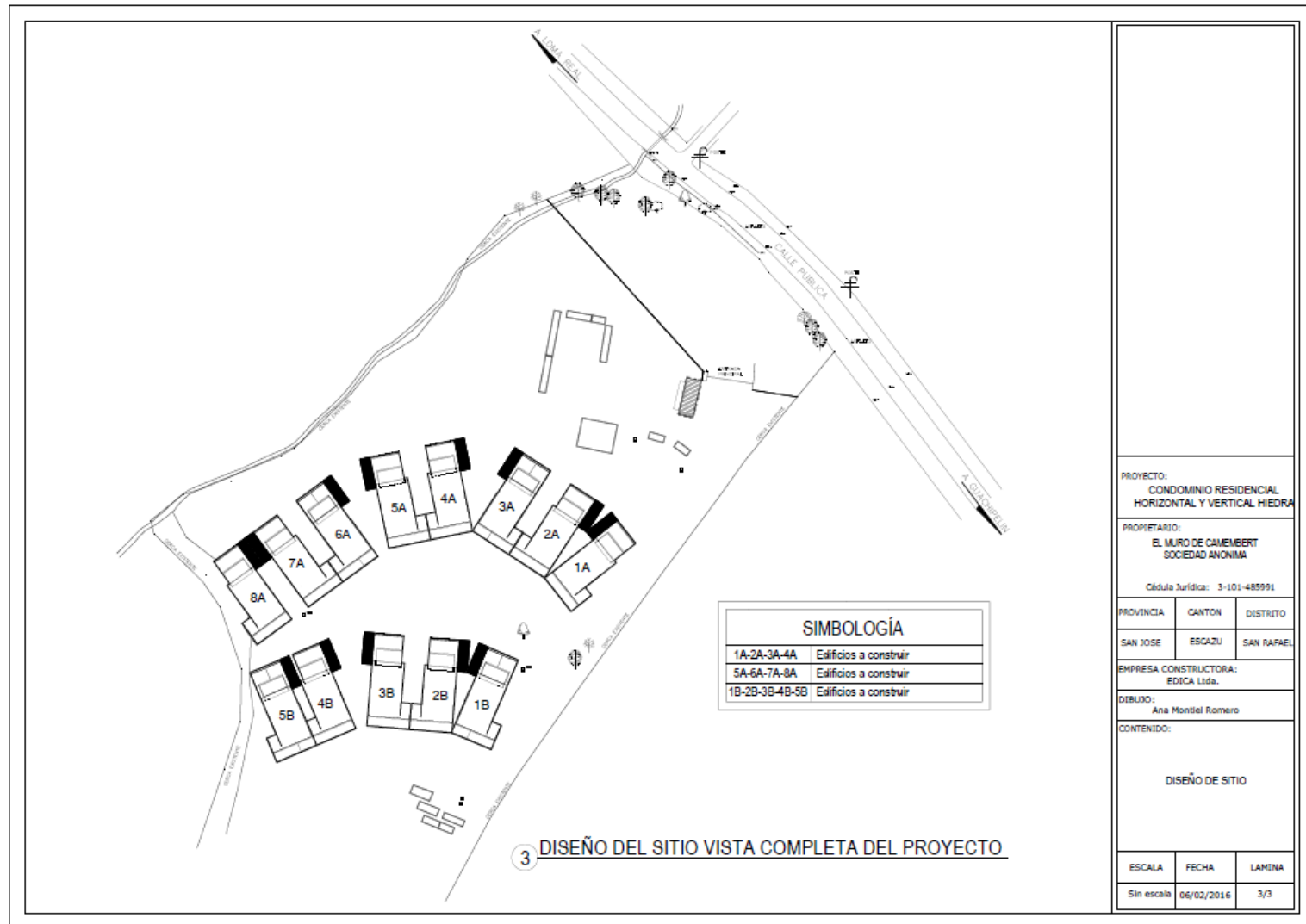


Figura 12. Plano total del proyecto en el momento del estudio.

Además, se capturaron imágenes del lugar de trabajo, que demuestran las condiciones en que se encuentran los trabajadores durante la realización de la obra.

La figura 13 presenta el acceso al proyecto en donde se observa que el terreno tiene una inclinación, además de la excesiva cantidad de polvo que había en el lugar, por lo que era necesario rociar agua al menos dos veces por semana.



Figura 13. Entrada al proyecto en estudio.

Por su parte, la figura 14 presenta la ubicación de las oficinas, centros de acopio y el edificio administrativo del condominio ya construido.



Figura 14. Acceso y oficinas del proyecto. Fuente: Material proporcionado por Edica Ltda.

En la figura. 15 se observa con claridad la pendiente que debían subir los trabajadores para acceder a las bodegas, así como a los vestidores, casilleros y comedor. También se presenta las demarcaciones de seguridad.



Figura 15. Acceso bodegas, vestidores y comedor.

Seguidamente se presenta la figura 16 que muestra el taller de armadura, ubicado en la zona baja del proyecto, donde se desarrollan las estructuras de acero necesarias y las más livianas, tales como los ganchos, aros, confección de vigas, entre otros. También se observa en esta figura las condiciones en las que se almacena el acero.



Figura 16. Taller de armadura de acero.

Complementario a la figura anterior, en la figura 17, se observa las condiciones de almacenamiento del acero el cual está expuesto al aire libre y muy cercano al nivel del suelo, totalmente expuesto a la intemperie.



Figura 17. Zona de almacenaje de acero.

Finalmente, se observan en la figura 18, las condiciones del único comedor disponible para los trabajadores. El mismo no presenta dimensiones adecuadas respecto al alcance del proyecto y a la cantidad de trabajadores presentes en obra, pues el espacio estaba diseñado con tan sólo 9m de largo y 6m de ancho aproximadamente para unos veinte trabajadores cuando en obra estaban más de 100 trabajadores, los cuales debían comer bajo el mismo horario todos. Este espacio no cuenta con artefactos eléctricos o electrodomésticos que ayuden a mantener la comida en buen estado ni que facilite el calentamiento de los alimentos.



Figura 18. Zona de comedor de trabajadores.

Detalles del taller de armadura

Con el objetivo de determinar los tiempos que los trabajadores pierden por transportes o desplazamientos, se determinaron las secuencias propias del taller de armadura, se configuró un

diagrama de recorrido, en el cual se representa el seguimiento de tareas que un trabajador tiene que realizar para confeccionar una armadura (Fig. 19), así como las distancias bajo las cuales está elaborado el taller de armadura (Fig. 20).

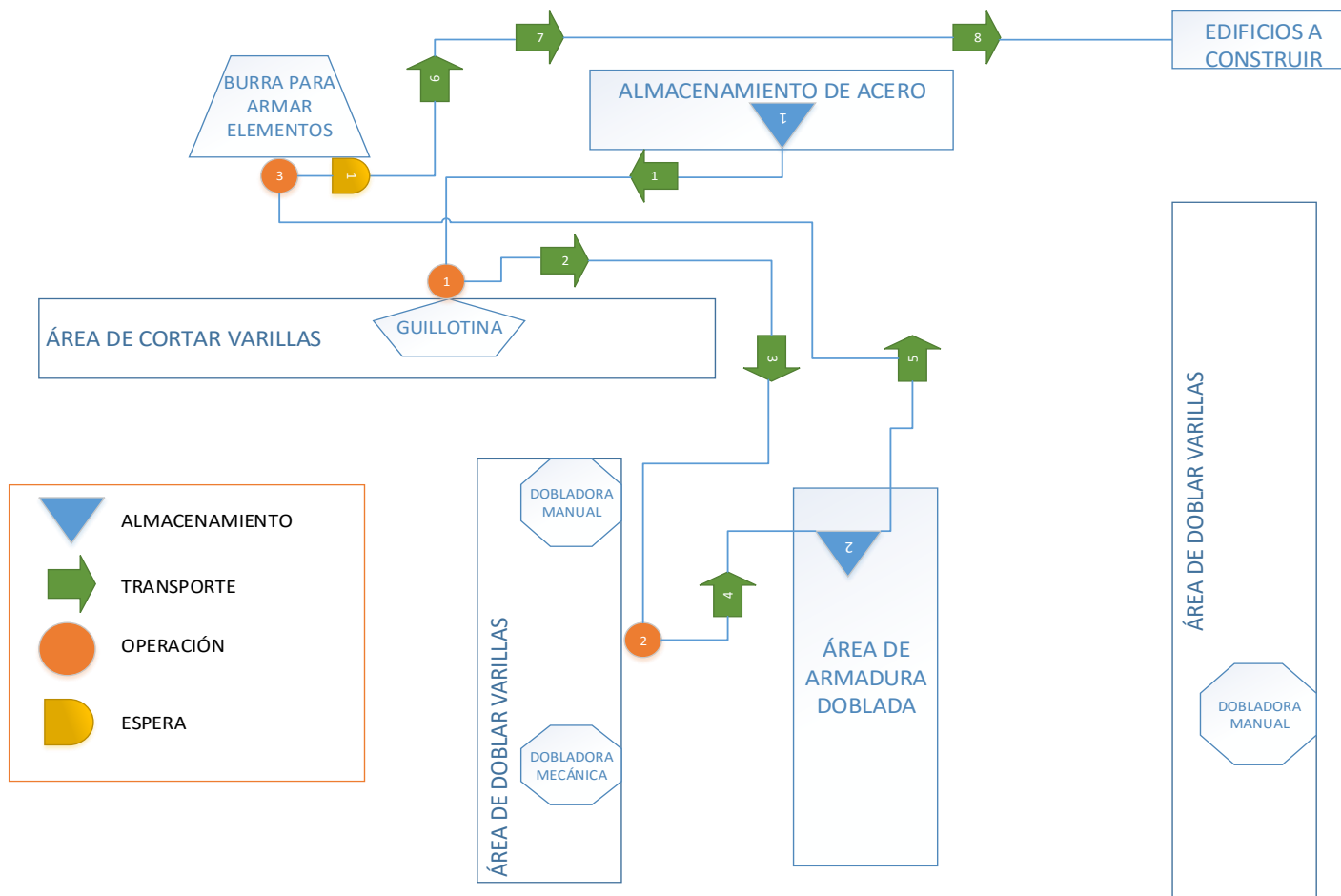
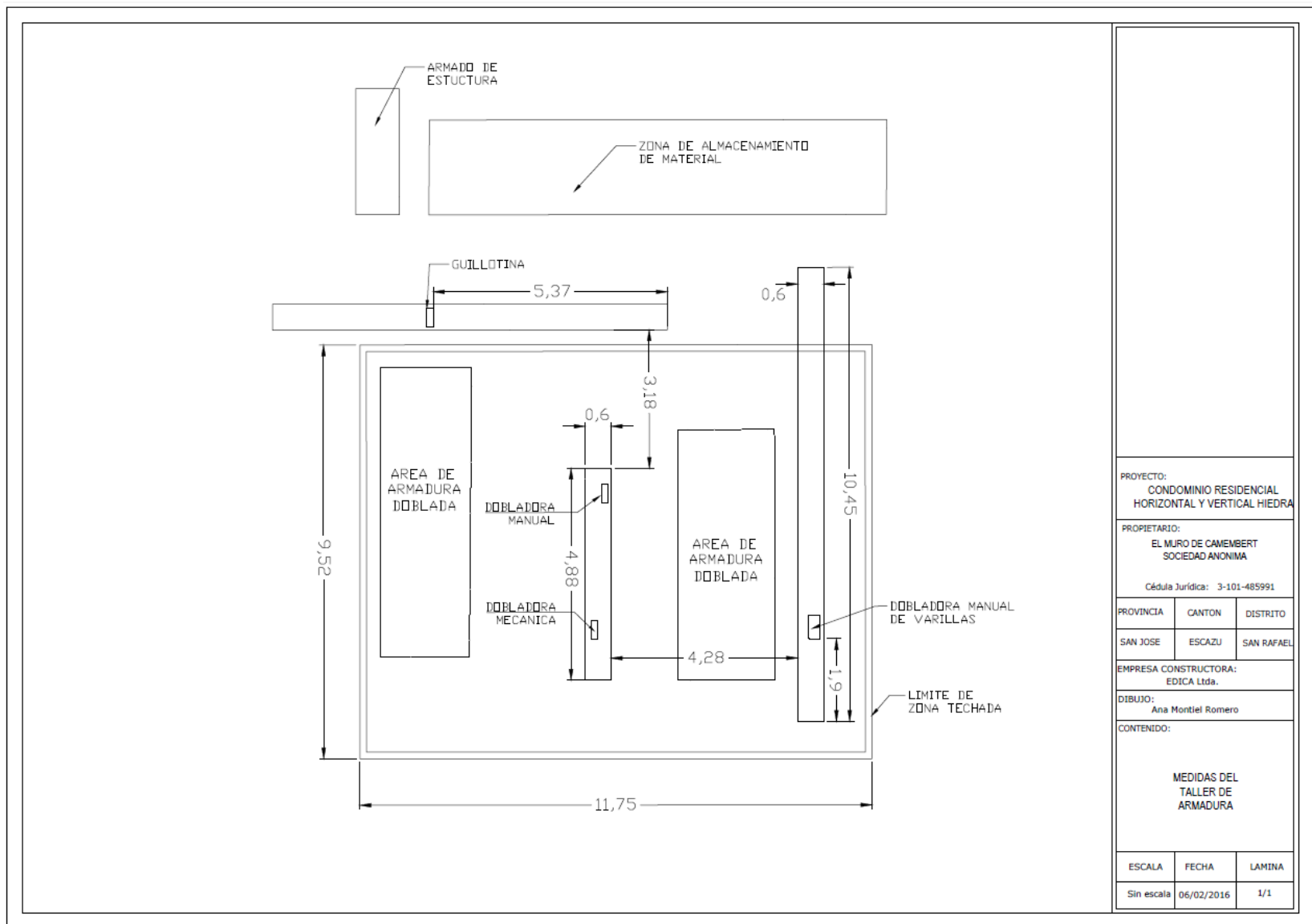


Figura 19. Diagrama de recorrido del taller de armadura.



PROYECTO: CONDOMINIO RESIDENCIAL HORIZONTAL Y VERTICAL HIEDRA		
PROPIETARIO: EL MURO DE CAEMBERT SOCIEDAD ANONIMA Cédula Jurídica: 3-101-485991		
PROVINCIA	CANTON	DISTRITO
SAN JOSE	ESCAZU	SAN RAFAEL
EMPRESA CONSTRUCTORA: EDICA Ltda.		
DIBUJO: Ana Montiel Romero		
CONTENIDO: MEDIDAS DEL TALLER DE ARMADURA		
ESCALA	FECHA	LAMINA
Sin escala	06/02/2016	1/1

Figura 20. Medidas del taller de armadura.

Con base en el recorrido mostrado anteriormente en el cuadro 5, se muestran las distancias y tiempos que resultaron de las mediciones realizadas desde el taller de armadura hacia las otras instalaciones provisionales y demás sitios de trabajo, esto se realizó con el fin de establecer el tiempo que se invierte en trabajo no productivo y así buscar su pronta solución tal es el caso de,

el tiempo que se dura en llegar la bodega de H y M para solicitar un equipo en específico y la duración para dirigirse a las oficinas de Edica para la revisión de las últimas modificaciones realizadas en los planos, el tiempo que se dura en llegar al servicio sanitario más cercano, o bien, el tiempo de transporte de material hacia el edificio más lejano.

CUADRO 5. TIEMPOS Y DISTANCIAS DESDE EL TALLER DE ARMADURA HACIA DEMÁS ESPACIOS DEL PROYECTO.		
Lugar	Distancia (m)	Tiempo* (minutos)
Oficinas de ingeniería de Edica Ltda.	30	0,5
Oficinas y bodega de H y M	15	0,25
Centro de acopio de acero	22	0,33
Edificio más cercano (2A)	60	2,06
Edificio más lejano (5B)	210	3,45
Comedor y vestidores	206	3,30
Servicio sanitario más cercano	50	1,33
Toma de agua cercana	70	2,20

*Tiempo considera sólo la llegada hasta el lugar.

Condiciones del ambiente laboral

Basándose en los resultados de las encuestas que se encuentran en los apéndices 1,2 y 3, las cuales fueron aplicadas a los trabajadores en armadura, a los subcontratistas y al ingeniero a cargo de la obra respectivamente, se realizó un estudio de las condiciones bajo las cuales se desarrolla la obra respecto a la forma de trabajo, las condiciones ambientales, la metodología que se emplea para realizar los procesos y actividades que deben ser ejecutados por los obreros, esto con el fin de determinar las causas

que afectan la productividad de las actividades seleccionadas.

La figura 21 corresponde a las condiciones de trabajo bajo las cuales las personas desempeñan sus tareas, respecto a las cómo se entregan los materiales y equipos para ser manipulados por el personal de armadura, esto referente al tiempo de entrega y la condición en cuanto a la calidad.

También se evaluó el nivel de satisfacción con respecto al tamaño de grupo, el nivel de conocimiento y habilidades de las que disponían los trabajadores encargados de las actividades de acero y si recibían la información básica para comenzar a desarrollar determinada función.

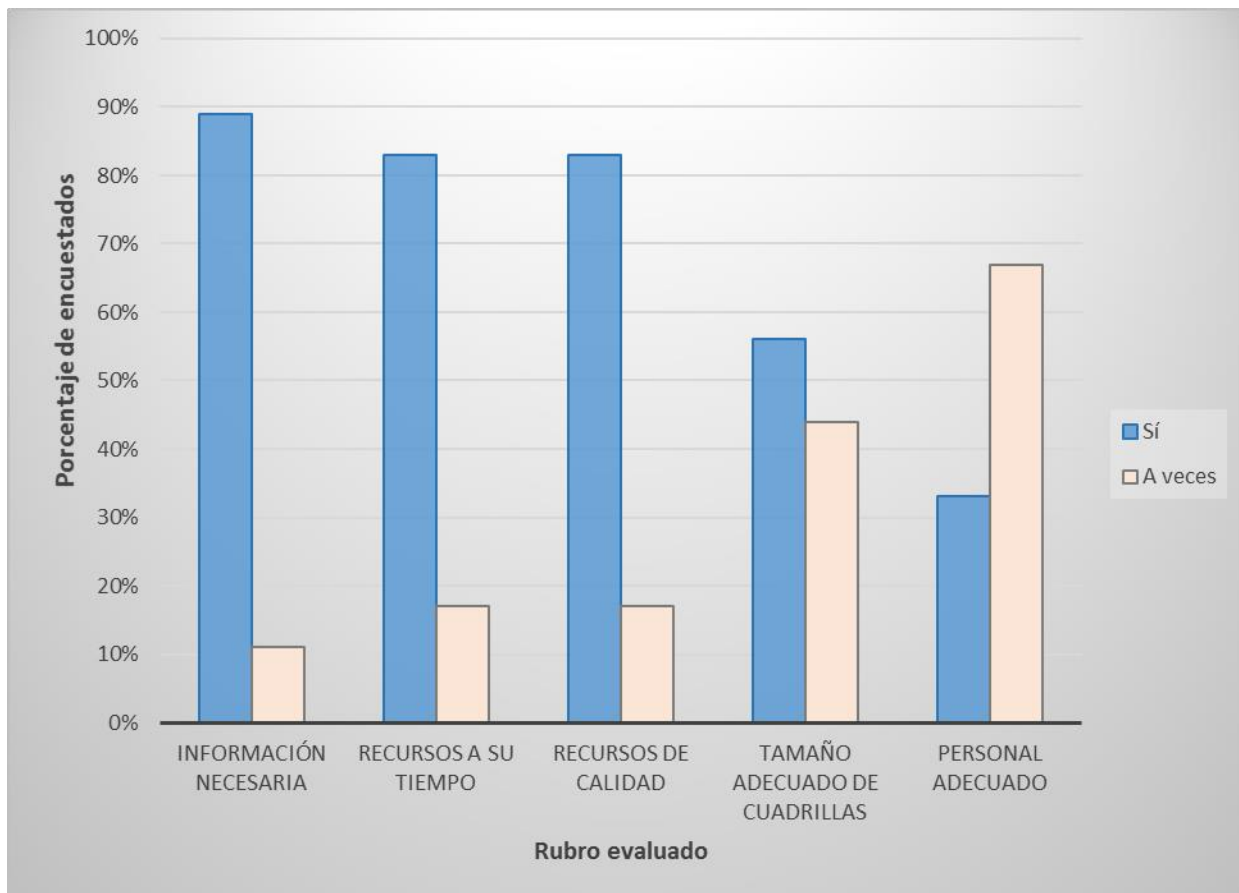


Figura 21. Condiciones de trabajo de la mano de obra.

Seguidamente, en la figura 22 se describe los porcentajes de actividades que son realizados por subcontratos.

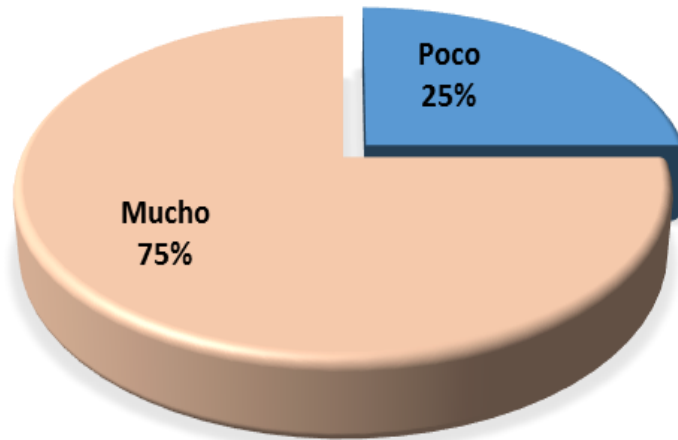


Figura 22. Actividades realizadas por subcontratos en el proyecto.

En la figura 23 se presenta la afectación de la empresa constructora a los subcontratistas, en este punto se observó en campo que la mayor razón por la que la empresa afecta a las labores de los subcontratistas es porque los trabajadores

que pertenecen a la empresa constructora se atrasan con sus labores y esto causa los inconvenientes en las actividades de los subcontratistas.

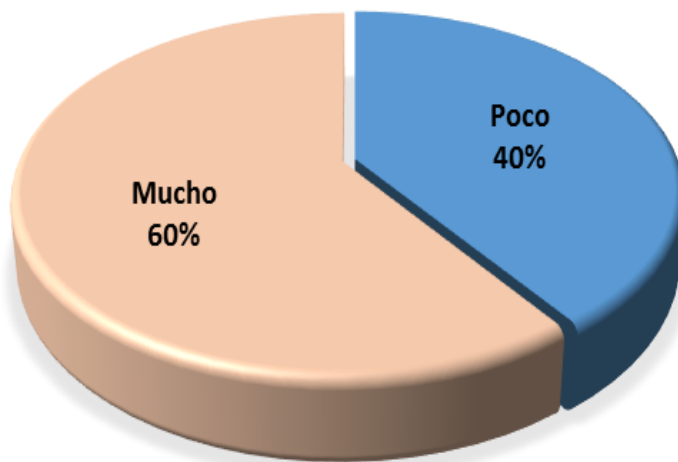


Figura 23. Porcentaje de afectación por parte de la empresa constructora a las labores de los subcontratistas.

A continuación, en la figura 24 se refleja el porcentaje respecto a qué tan a menudo se debe

corregir alguna actividad por parte del subcontrato de armadura

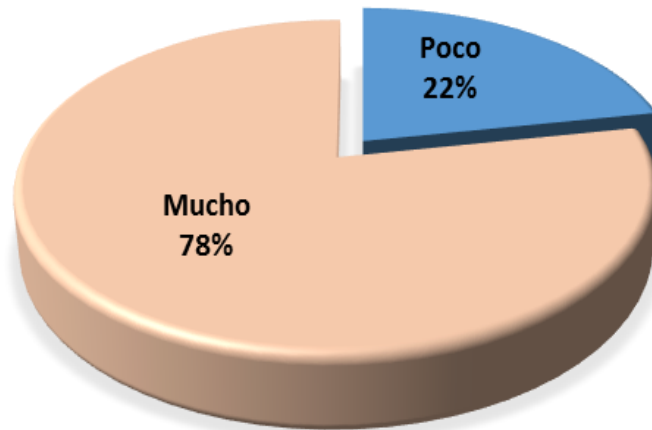


Figura 24. Porcentaje de actividades que deben corregir los subcontratistas del proyecto.

En la figura 25, se muestran las razones por las que, según las encuestas aplicadas a los obreros, subcontratistas y al ingeniero a cargo de obra (apéndice 1, 2, 3), se deben realizar la mayoría de correcciones de errores que se presentan durante la realización de las actividades se debe mencionar que, según las encuestas, la mayoría

de los trabajadores no cuentan con alta experiencia en campo, por lo que sus habilidades en la obra no están totalmente desarrolladas y pueden incurrir con mayor razón en errores u omisiones de especificaciones.

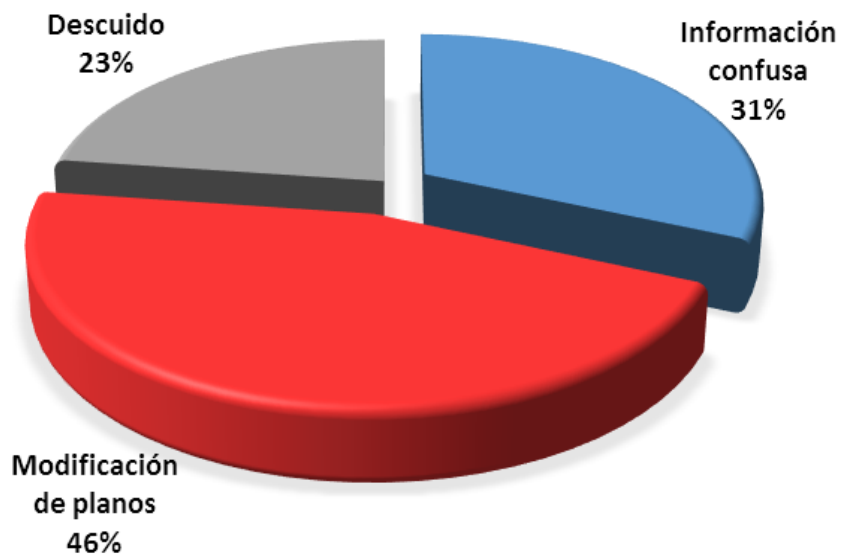


Figura 25. Causas de corrección de actividades.

En la figura 26, se describen cómo es percibida por parte de los obreros la zona de trabajo para realizar las actividades de armadura asignadas, según lo reflejó la encuesta aplicada a estos

trabajadores (apéndice 1) complementándolo con observaciones realizadas en el sitio.

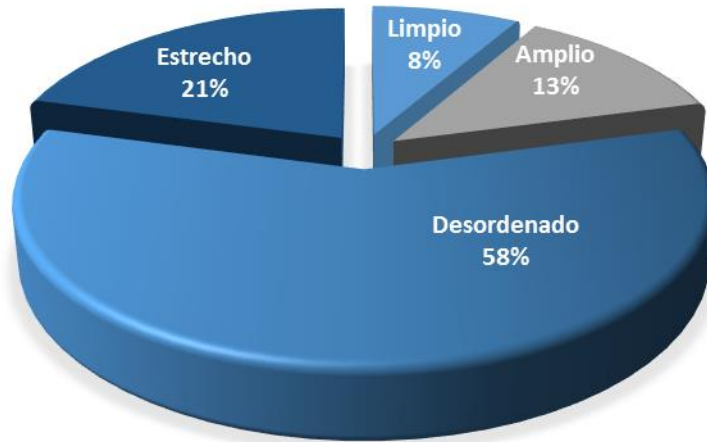


Figura 26. Condiciones de la zona de trabajo para actividades de armadura.

A continuación, en la figura 27 se muestran las causas que afectan en su mayoría la productividad de las actividades seleccionadas. Estos resultados se obtuvieron gracias a las

encuestas (Apéndice 1, 2, 3) que se aplicaron a los trabajadores en armadura, subcontractistas e ingeniero a cargo y se complementaron con las observaciones hechas en el lugar para tal efecto.

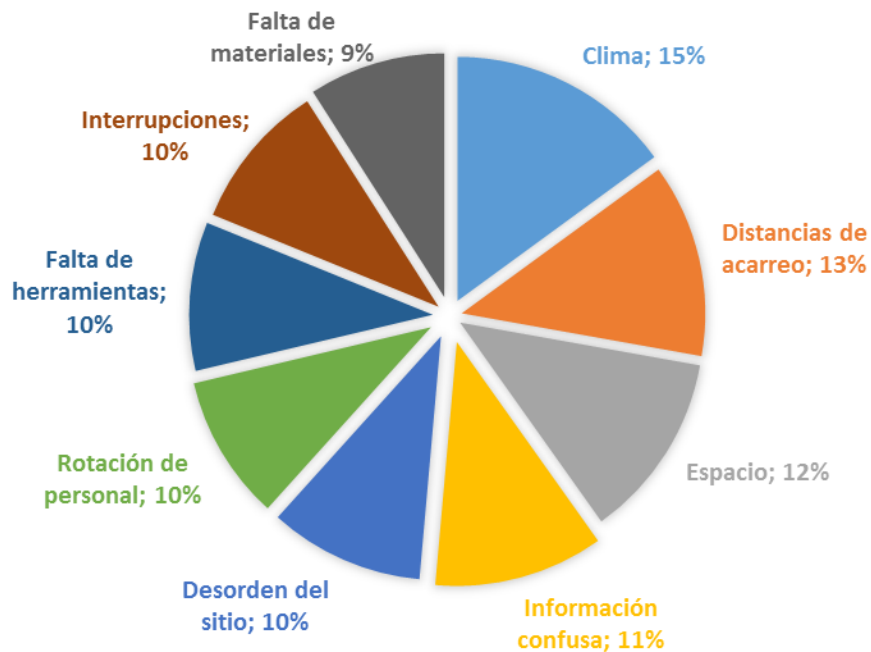


Figura 27. Factores que afectan la productividad.

Diagrama de causa y efecto para la baja productividad en armadura

La figura a continuación (Fig. 28) muestra las principales causas que afectan de manera negativa la productividad de los procesos

de armadura, esta información se procesó basándose en las observaciones del lugar, así como de las encuestas que se encuentran en los apéndices 1, 2, 3, las cuales se realizaron a los trabajadores en armadura, a los subcontratistas y al ingeniero a cargo respectivamente.



Figura 28. Diagrama de Ishikawa acerca de baja productividad en los procesos de armadura.

Productividad de Actividades

A continuación, se presentan los resultados de las evaluaciones de productividad obtenidas por medio de la aplicación de diferentes técnicas de medición realizadas a las actividades críticas seleccionadas.

Confección de losas de entepiso

Se realizaron una serie de mediciones que se llevaron a cabo a lo largo de semanas por medio de las distintas técnicas: Para la técnica de Work Sampling se efectuaron seis mediciones, en la figura 29 se presentan los resultados que se obtuvieron por medio de esta técnica para las primeras tres mediciones, mientras que en la figura 30 se muestran las productividades de las tres mediciones restantes.

Al momento de las observaciones, el número de trabajadores por cuadrilla variaban de una medición a otra en una misma actividad, así como las condiciones bajo las que trabajaban por lo que las productividades también son afectadas, es por ello que se crean los siguientes cuadros que describen las condiciones de cada medición.

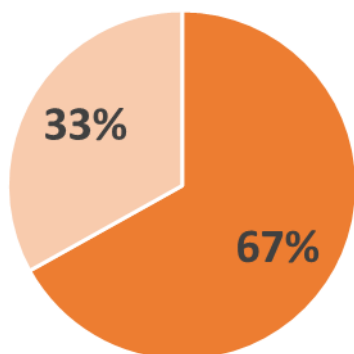
Mediciones – Work Sampling.

CUADRO 6. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 1.	
Fecha	07, marzo, 2016
Hora	11:00 a.m.
Lugar de medida	Edificio 1A
Clima	Soleado
Temperatura	28° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	405
Equipo utilizado	Tenazas Esmeriladora Cinta métrica

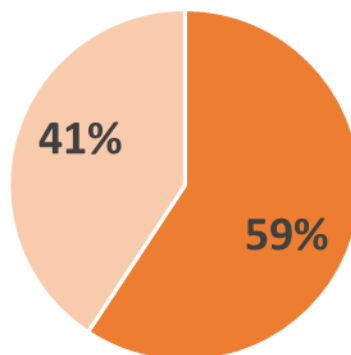
CUADRO 7. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 2.	
Fecha	07, marzo, 2016
Hora	3:00 p.m.
Lugar de medida	Edificio 1A
Clima	Nublado
Temperatura	21° C
Cuadrilla	12 trabajadores
Observaciones	415
Equipo utilizado	Tenazas Esmeriladora Soldadora Sopladora

CUADRO 8. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 3.	
Fecha	09, marzo, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Edificio 1A
Clima	Soleado
Temperatura	25° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	391
Equipo utilizado	Tenazas Cinta métrica

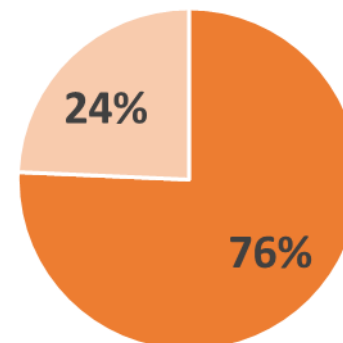
Medición # 1



Medición # 2



Medición # 3



■ Trabajando ■ No trabajando

Figura 29. Productividades de mediciones 1, 2, 3 en Work Sampling para la colocación de armadura de entrepisos.

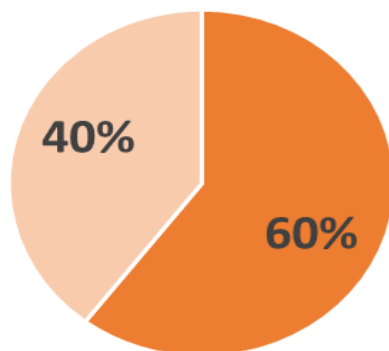
Mediciones – Work Sampling.

CUADRO 9. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 4.	
Fecha	10, marzo, 2016
Hora	1:00 p.m.
Lugar de medida	Edificio 4B
Clima	Soleado
Temperatura	27° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	391
Equipo utilizado	Tenazas

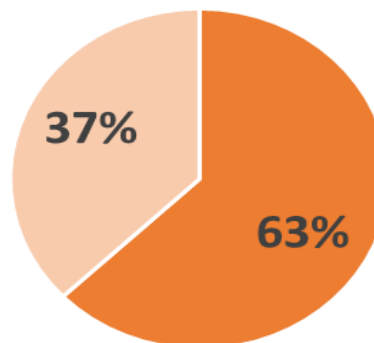
CUADRO 10. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 5.	
Fecha	14, marzo, 2016
Hora	10:30 a.m.
Lugar de medida	Edificio 3B
Clima	Soleado
Temperatura	25° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	393
Equipo utilizado	Tenazas Cinta métrica

CUADRO 11. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 6.	
Fecha	15, marzo, 2016
Hora	10:10 a.m.
Lugar de medida	Edificio 3B
Clima	Soleado
Temperatura	26° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	369
Equipo utilizado	Tenazas Cinta métrica

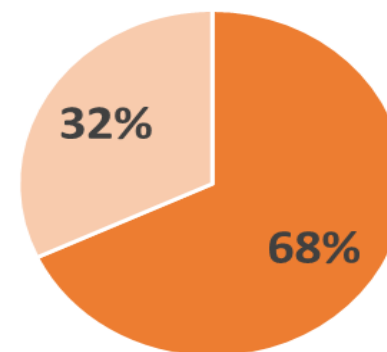
Medición # 4



Medición # 5



Medición # 6



■ Trabajando ■ No trabajando

Figura 30. Productividades de mediciones 4, 5 y 6 en Work Sampling para la colocación de armadura de entrepisos.

En la siguiente figura (Fig. 31) se muestra las productividades máximas que se lograron variando el número de integrantes de cada cuadrilla en la actividad de entrepisos dando como resultado que, la máxima productividad en la actividad es de un 78% cuando se tienen 8

trabajadores mientras que, la productividad se ve afectada considerablemente cuando se aumenta la cuadrilla con 12 trabajadores, siendo el porcentaje de hombres trabajando de un 59% y, si se disminuye la cuadrilla a 6 trabajadores se obtiene una productividad de un 60%

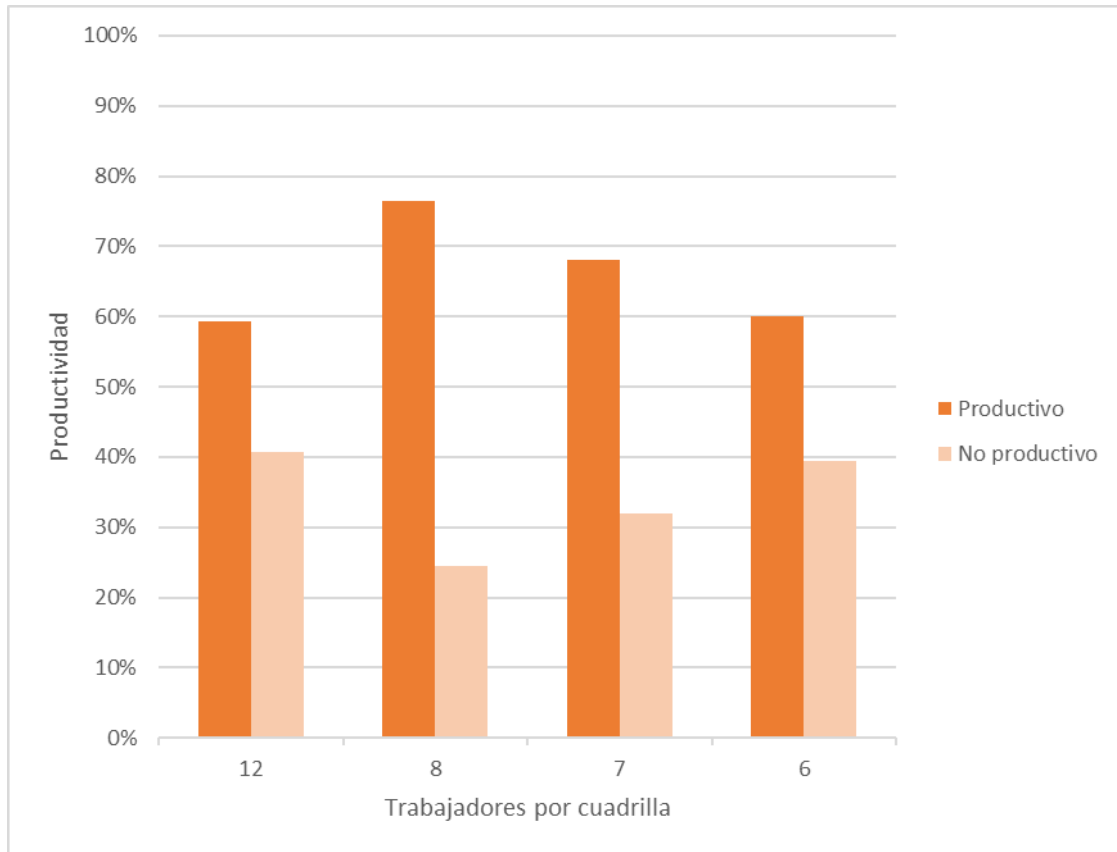


Figura 29. Productividad máxima de las cuadrillas aplicando Work Sampling en la actividad de colocación de armadura de entrepisos.

A continuación, en los cuadros 12,13,14,15,16 y 17, se presentan las descripciones del ambiente bajo el que se realizaron las mediciones de productividad aplicando la técnica Five Minute Rating.

Seguidamente, en la figura 32, se muestran los porcentajes de productividad de las cuadrillas medidas con Five Minute Rating para las primeras tres mediciones, luego, en la figura 33 se muestran los porcentajes de hombres trabajando en cada cuadrilla para las últimas tres mediciones, para un total de seis mediciones de productividad realizadas con esta técnica.

Mediciones – Five Minute Rating.

CUADRO 12. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 1.	
Fecha	08, marzo, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Edificio 5B
Clima	Soleado
Temperatura	25° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	392
Equipo utilizado	Tenazas

CUADRO 13. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 2.	
Fecha	08, marzo, 2016
Hora	2:30 p.m.
Lugar de medida	Edificio 5B
Clima	Soleado
Temperatura	26° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	387
Equipo utilizado	Tenazas

CUADRO 14. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 3.	
Fecha	10, marzo, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Edificio 5B
Clima	Soleado
Temperatura	25° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	343
Equipo utilizado	Tenazas Sopladora Cinta métrica

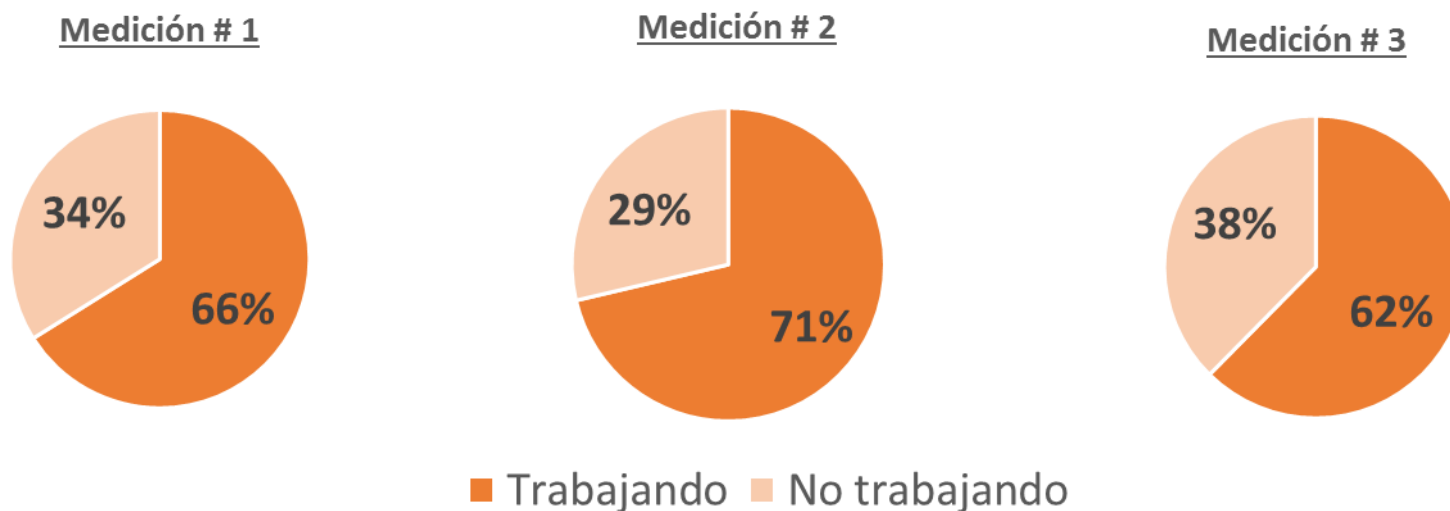


Figura 32. Productividades de mediciones 1, 2 y 3 aplicando Five Minute Rating para la colocación de armadura de entrepisos.

CUADRO 15. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 4.	
Fecha	14, marzo, 2016
Hora	1:30 p.m.
Lugar de medida	Edificio 3B
Clima	Soleado
Temperatura	27° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	392
Equipo utilizado	Tenazas Sopladora

CUADRO 16. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 5.	
Fecha	15, marzo, 2016
Hora	1:00 p.m.
Lugar de medida	Edificio 3B
Clima	Soleado
Temperatura	27° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	377
Equipo utilizado	Tenazas Sopladora

CUADRO 17. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 6.	
Fecha	16, marzo, 2016
Hora	7:30 a.m.
Lugar de medida	Edificio 3B
Clima	Soleado
Temperatura	25° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	385
Equipo utilizado	Tenazas Sopladora

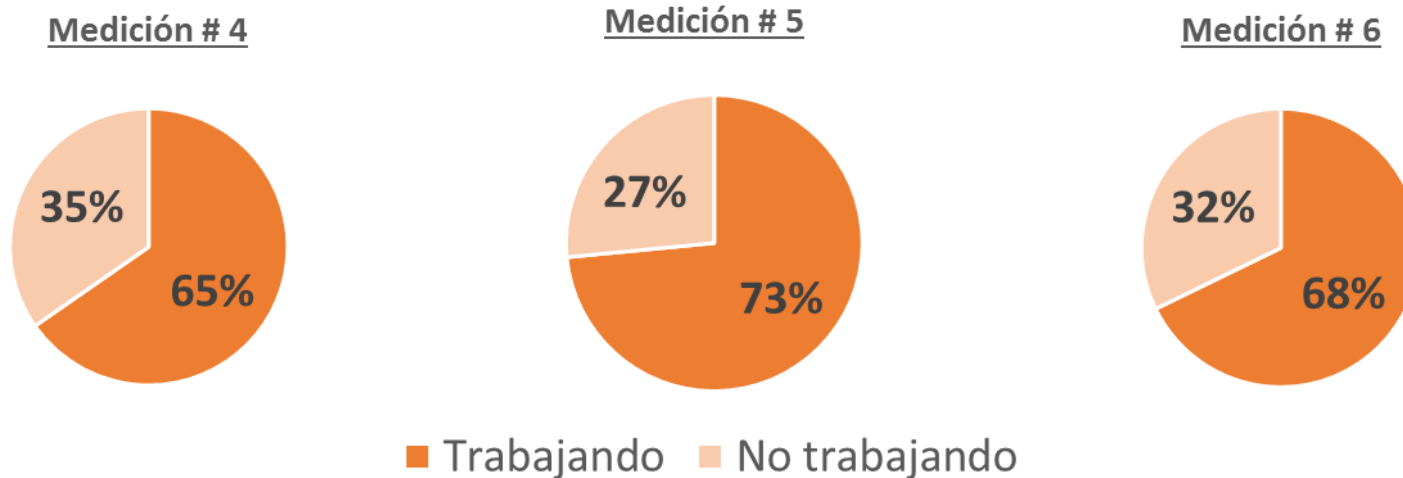


Figura 33. Productividades de mediciones 4, 5 y 6 aplicando Five Minute Rating para la colocación de armadura de entrepisos.

En la siguiente figura (Fig. 34) se presentan los máximos porcentajes de productividad logrados variando la composición de la cuadrilla, siendo la

productividad máxima de 73% con una cuadrilla de 8 personas y la productividad mínima de 62% con una cuadrilla de 6 personas.

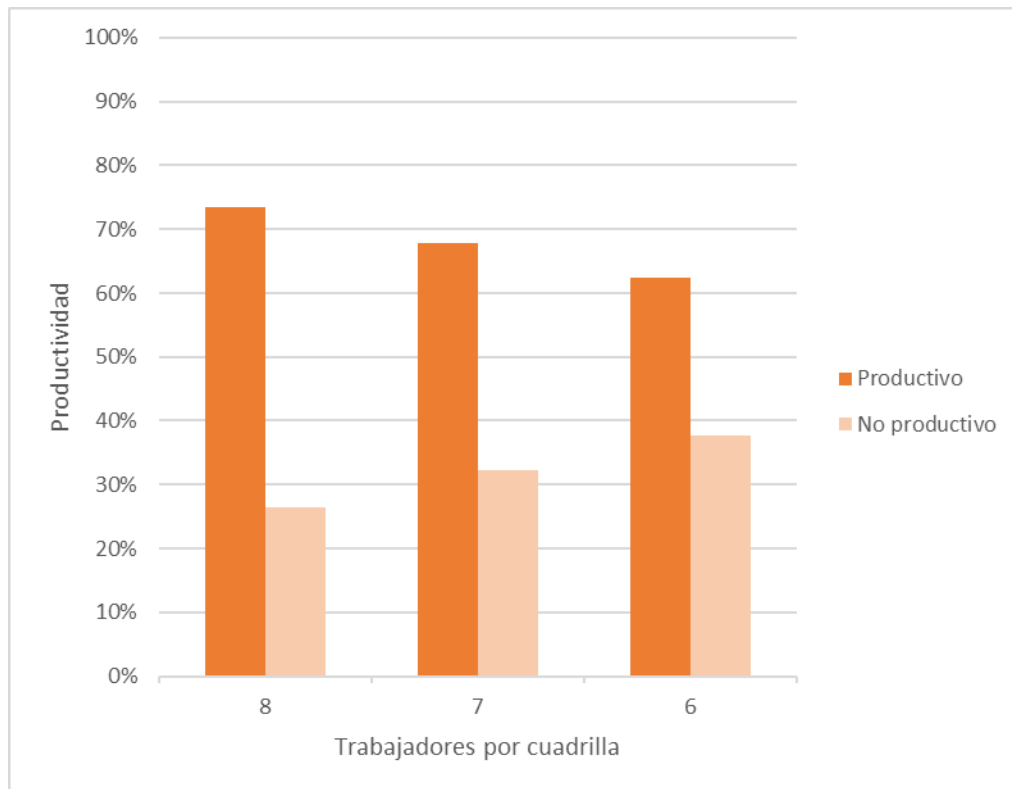


Figura 34. Productividad aplicando Five Minute Rating para la colocación de armadura de entrepisos.

Para siguiente figura (Fig. 35) se presenta una comparación entre los datos tomados por la técnica Work Sampling contra los datos tomados con la técnica Five Minute Rating, con el fin de

evaluar la convergencia y confiabilidad de los datos recopilados de las actividades críticas observadas en el proyecto.

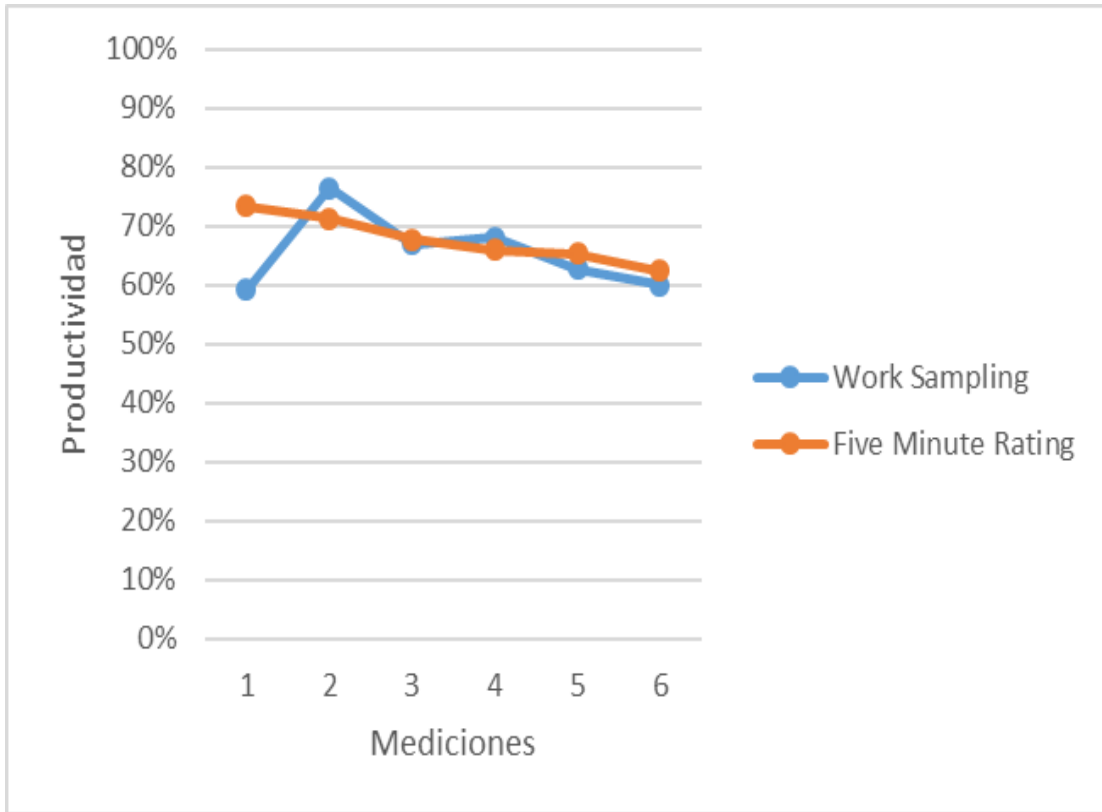


Figura 35. Comparación de productividad aplicando Work Sampling contra Five Minute Rating en la actividad de colocación de armadura de entrepisos.

Mediciones – Crew Balance

Seguidamente, se presenta la información obtenida de productividad en la actividad de entrepisos, utilizando la técnica Crew Balance o balance de cuadrillas para cada una de las mediciones, para la cual se tomaron seis mediciones de productividad.

Para el cuadro 18 se presentan las condiciones bajo las cuales se realizaron las observaciones en la medición # 1.

Medición # 1

CUADRO 18. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 1 DE CREW BALANCE.	
Fecha	11, enero, 2016
Hora	1:30 p.m.
Lugar de medida	Edificio 8A
Clima	Soleado
Temperatura	27° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	360
Equipo utilizado	Tenazas Sopladora

El cuadro 19 muestra los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 19. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ARMADURA DE ENTREPISOS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	189	52.50
	Doblar varillas	7	1.94
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	2	0.56
	Limpiar varilla y área	26	7.22
	Nivelando	22	6.11
	Clasificando material	2	0.56
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	35	9.72
	Ausente	30	8.33
	Esperando	46	12.78
	Observando	1	0.28
Total		360	100%

La figura 36, complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

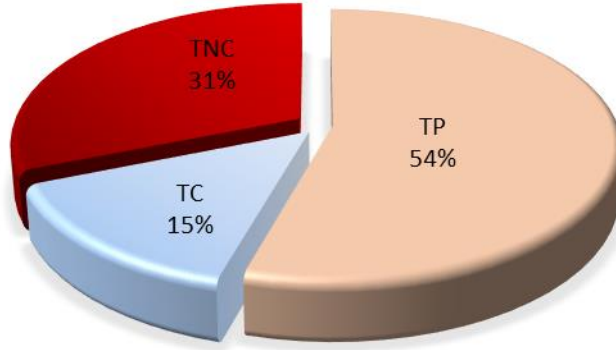


Figura 36. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 1.

Por su parte en la figura 37 se muestran las inversiones de tiempo acumulado que dedica la

cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan.

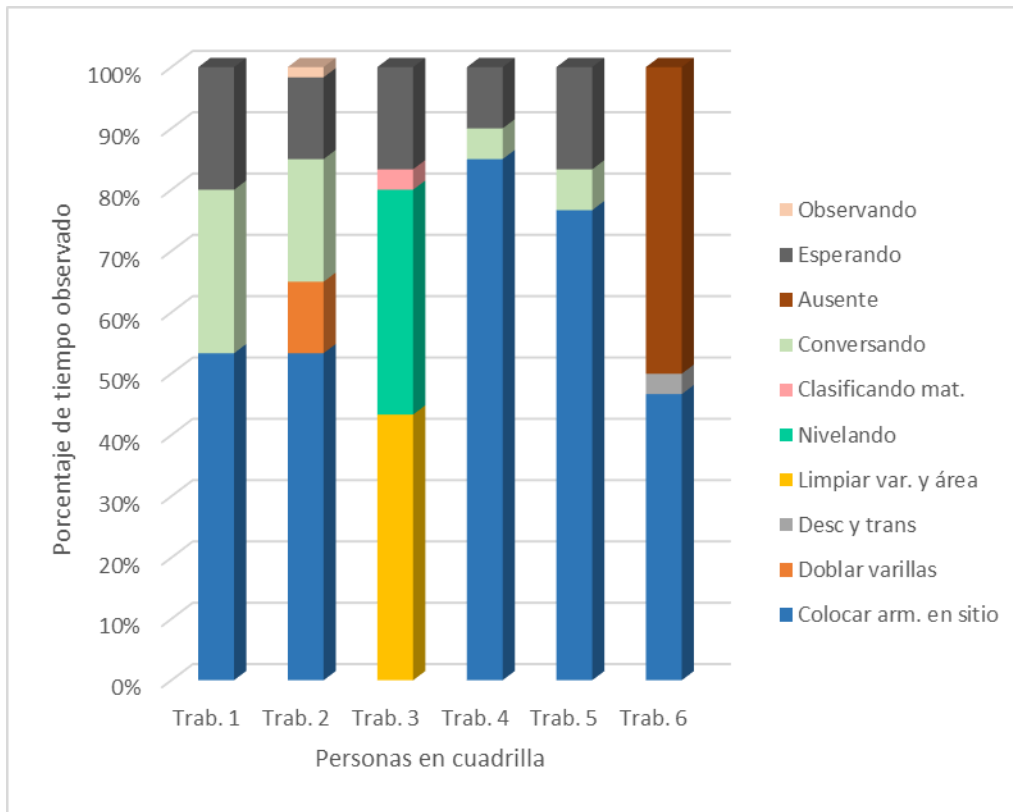


Figura 37. Crew Balance en la actividad de colocación de armadura de entrepisos para la medición 1.

Medición # 2

A continuación, se describen las condiciones de campo de las observaciones realizadas en la medición de productividad # 2. (Cuadro 2)

CUADRO 20. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 2 DE CREW BALANCE.	
Fecha	13, enero, 2016
Hora	10:30 a.m.
Lugar de medida	Edificio 7A
Clima	Soleado
Temperatura	25° C
Cuadrilla	10 trabajadores
Observaciones	600
Equipo utilizado	Tenazas

Posteriormente, se presenta el cuadro 21 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición #2, así como su categorización de

acuerdo a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 21. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ARMADURA DE ENTREPISOS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	326	54.3
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	25	4.2
	Nivelando	5	0.8
	Clasificando material	2	0.3
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	11	1.8
	Ausente	140	23.3
	Esperando	69	11.5
	Observando	22	3.7
Total		600	100%

Para complementar la información del cuadro anterior, se presenta la figura 38, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en

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

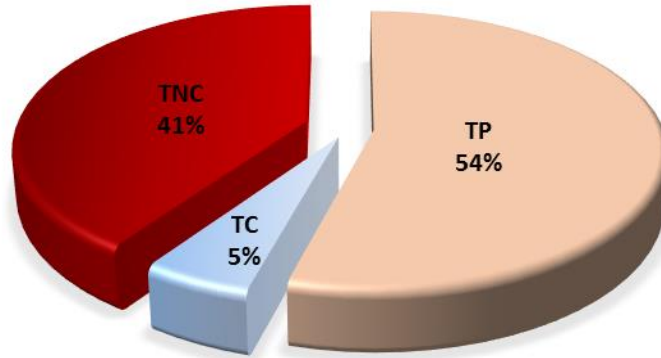


Figura 38. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 2.

Por su parte, en la figura 39 se muestran las inversiones porcentuales del tiempo acumulado que dedica la cuadrilla para cada tarea de la

actividad que realizan en la confección de entrepisos.

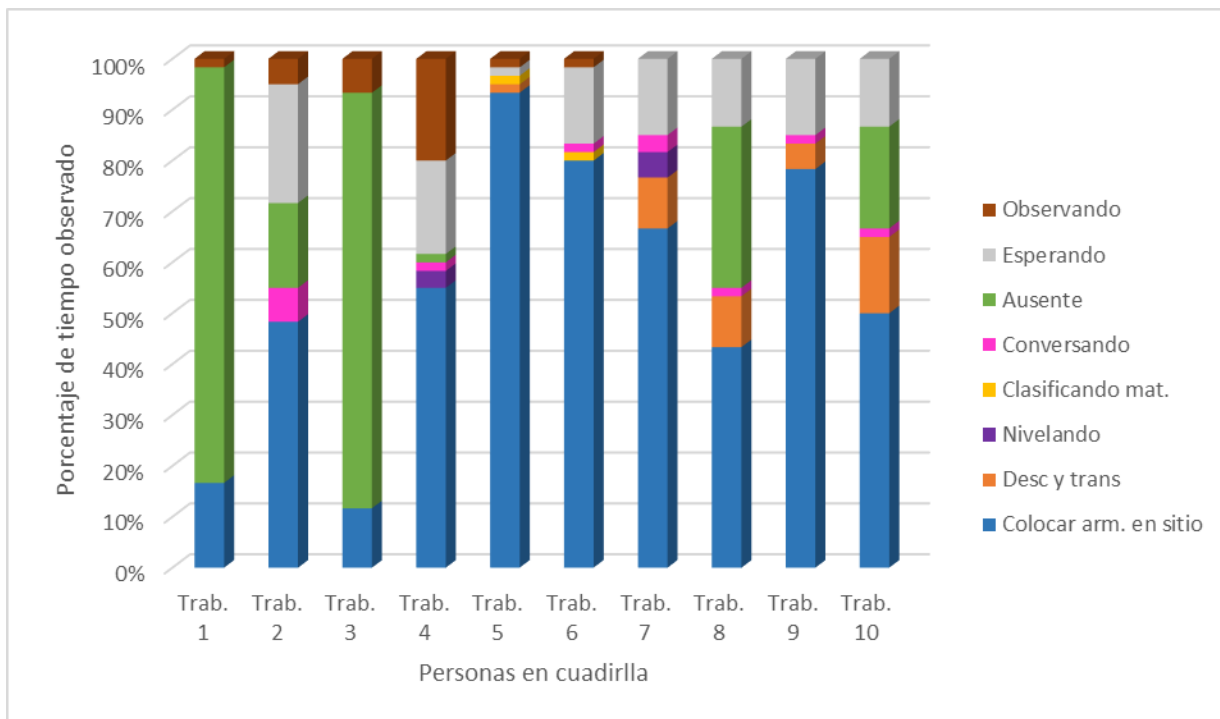


Figura 39. Crew Balance en la actividad de colocación de armadura de entrepisos para la medición 2.

Seguidamente, se muestran las condiciones de campo de las observaciones realizadas en la medición de productividad # 3. (Cuadro 22)

CUADRO 22. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 3 DE CREW BALANCE.	
Fecha	15, enero, 2016
Hora	1:30 p.m.
Lugar de medida	Edificio 7A
Clima	Soleado
Temperatura	27° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	480
Equipo utilizado	Tenazas

A continuación, se muestra el cuadro 23 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición 3 para la actividad de entrepisos, así como su categorización de acuerdo a cada tipo de trabajo, es decir, trabajo productivo, trabajo

contributivo y trabajo o contributivo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 23. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ARMADURA DE ENTREPISOS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	304	63.4
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	56	11.6
	Clasificando material	25	5.1
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	19	4.0
	Ausente	6	1.3
	Esperando	65	13.6
	Observando	5	1.0
Total		480	100%

En la figura 40 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

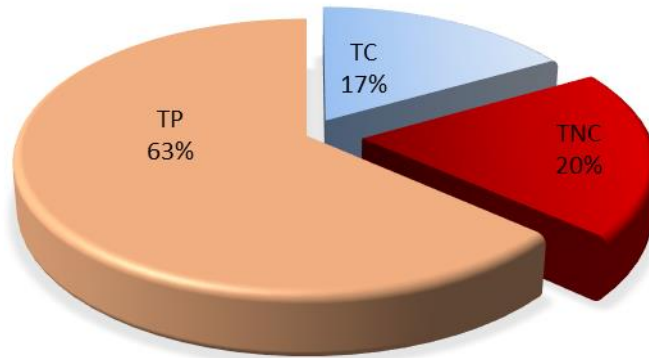


Figura 40. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 3.

Por su parte en la figura 41 se muestran las inversiones de tiempo que dedica la cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan

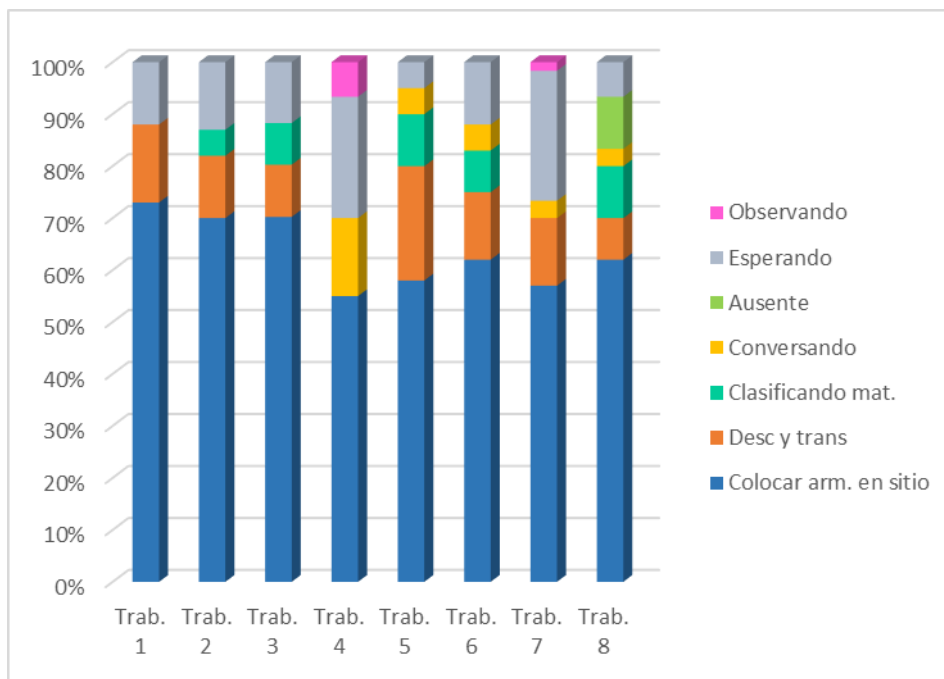


Figura 41. Crew Balance en la actividad de colocación de armadura de entresijos para la medición 3.

Medición # 4

A continuación las condiciones de campo de las observaciones realizadas en la medición de productividad # 4. (Cuadro 24)

CUADRO 24. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 4 DE CREW BALANCE.	
Fecha	19, enero, 2016
Hora	7:30 a.m.
Lugar de medida	Edificio 7A
Clima	Soleado
Temperatura	26° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	420
Equipo utilizado	Tenazas

Seguidamente, se muestra el cuadro 25 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo

a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 25. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ARMADURA DE ENTREPISOS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	251	60
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	17	4
	Limpiar varilla. y área	66	16
	Clasificando material	7	2
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	7	2
	Ausente	35	8
	Esperando	24	6
	Instrucción	6	1
	Observando	7	2
Total		420	100%

En la figura 42 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

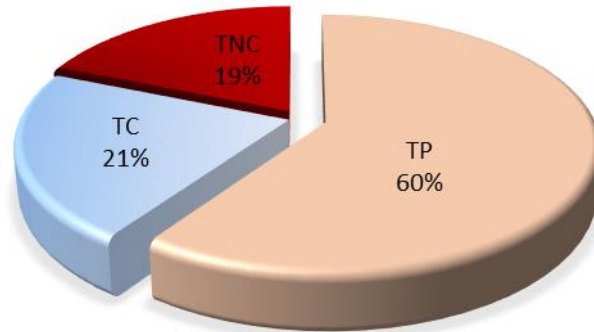


Figura 42. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 4

Por su parte en la figura 43 se muestran las inversiones de tiempo que dedica la cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan

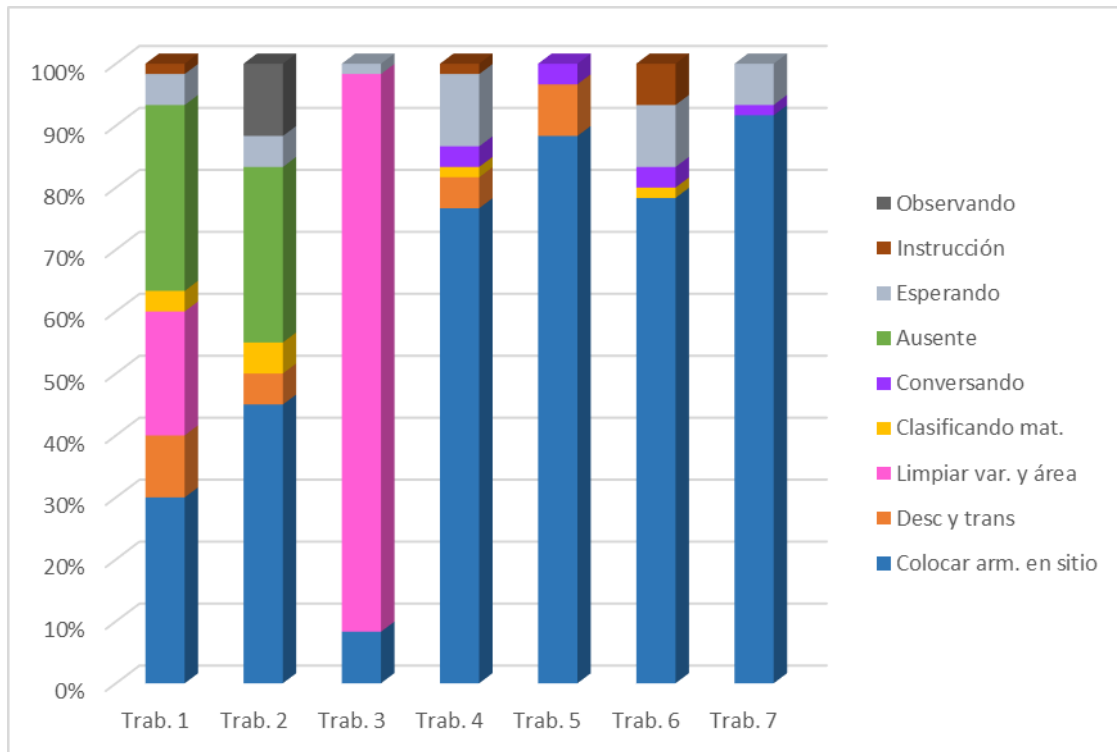


Figura 43. Crew Balance en la actividad de colocación de armadura de entresijos para la medición 4.

Medición # 5

A continuación, las condiciones de campo de las observaciones realizadas en la medición de productividad # 5. (Cuadro 26)

CUADRO 26. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 5 DE CREW BALANCE.	
Fecha	21, enero, 2016
Hora	10:30 a.m.
Lugar de medida	Edificio 8A
Clima	Soleado
Temperatura	28° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	480
Equipo utilizado	Tenazas

Seguidamente, se muestra el cuadro 27 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo

a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 27. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ARMADURA DE ENTREPISOS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	294	51.3
	Doblar varillas	2	0.4
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	14	2.9
	Marcar varilla	6	1.3
	Midiendo varilla	2	0.4
	Nivelando	58	12.1
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	14	2.9
	Ausente	51	10.6
	Esperando	36	7.5
	Observando	6	0.6
Total		480	100%

En la figura 44 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

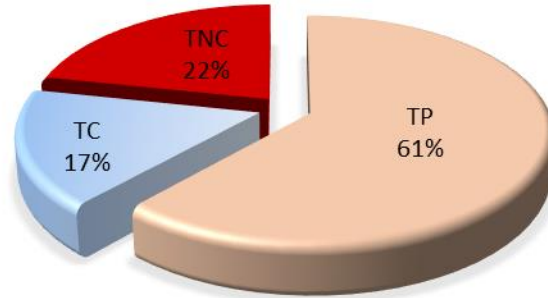


Figura 44. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 5.

Por su parte en la figura 45 se muestran las inversiones de tiempo que dedica la cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan

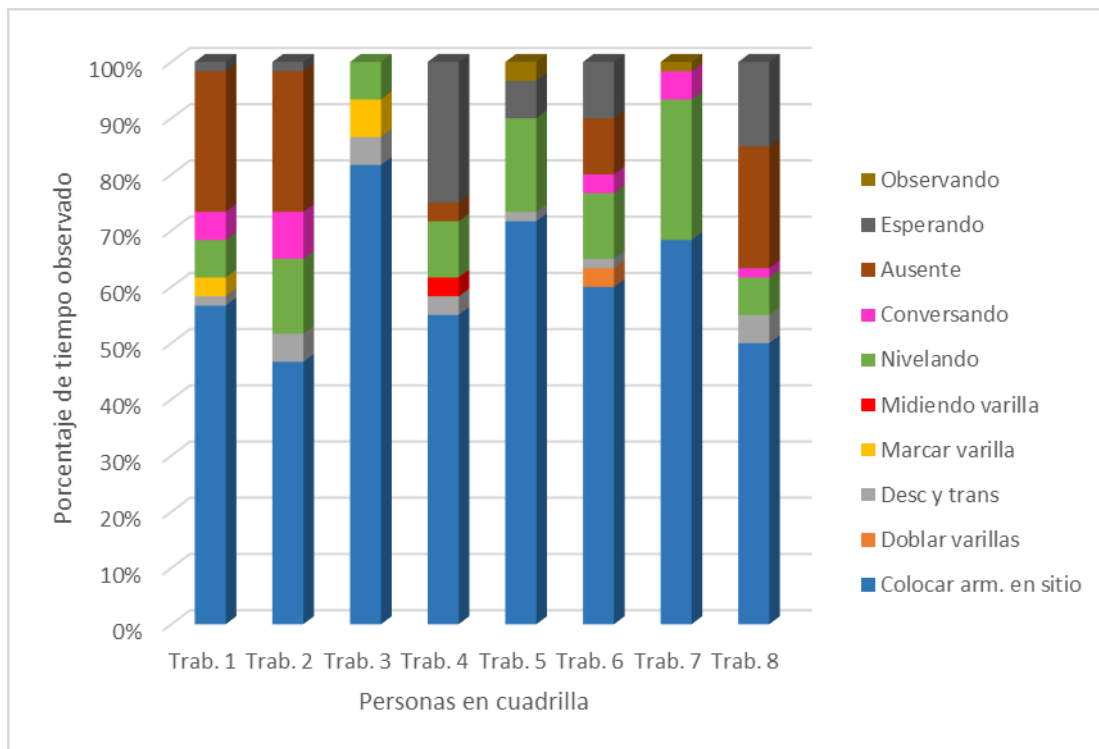


Figura 45. Crew Balance en la actividad de colocación de armadura de entresijos para la medición 5.

Medición # 6

A continuación, las condiciones de campo de las observaciones realizadas en la medición de productividad # 6. (Cuadro 28)

CUADRO 28. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 6 DE CREW BALANCE.	
Fecha	21, enero, 2016
Hora	1:00 p.m.
Lugar de medida	Edificio 8A
Clima	Soleado
Temperatura	29° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	480
Equipo utilizado	Tenazas

Seguidamente, se muestra el cuadro 29 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo

a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 29. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ARMADURA DE ENTREPISOS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	268	55.8
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	4	0.8
	Limpiar varilla. y área	85	17.7
	Nivelando	13	2.7
	Clasificando material	18	3.8
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	19	4.0
	Ausente	39	8.1
	Esperando	24	5.0
	Observando	10	2.1
Total		480	100%

En la figura 46 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

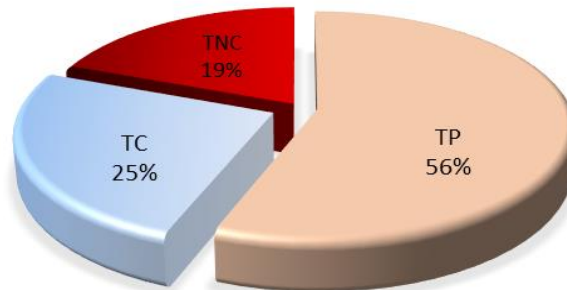


Figura 46. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 6.

Por su parte en la figura 47 se muestran las inversiones de tiempo que dedica la cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan

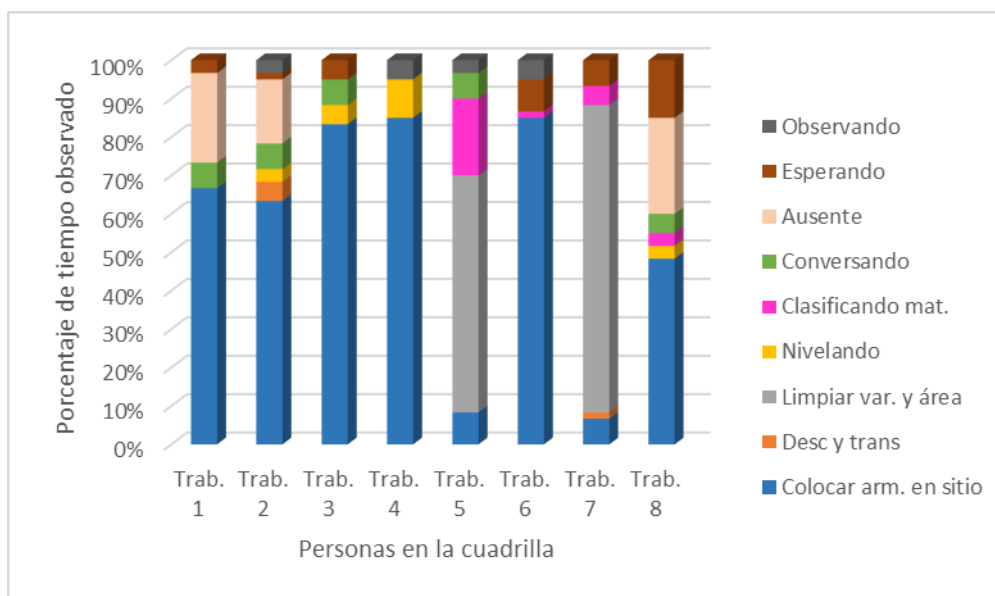


Figura 47. Crew Balance en la actividad de colocación de armadura de entrepisos para la medición 6.

Confección de vigas

Del mismo modo que en la actividad anterior, se muestran las condiciones de las seis mediciones de productividad hechas con la ayuda de la técnica Work Sampling.

También, se presentan los resultados obtenidos de dichas mediciones para la técnica Work Sampling, en los cuadros 30, 31, 32, 33, 34 y 35 y en las figuras 48, 49, para seis mediciones en total.

Mediciones – Work Sampling.

CUADRO 30. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 1.	
Fecha	01, febrero, 2016
Hora	10:30 a.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	28° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	395
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

CUADRO 31. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 2.	
Fecha	03, febrero, 2016
Hora	3:30 p.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	28° C
Cuadrilla	9 trabajadores
Observaciones	403
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

CUADRO 32. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 3.	
Fecha	04, febrero, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	28° C
Cuadrilla	5 trabajadores
Observaciones	317
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

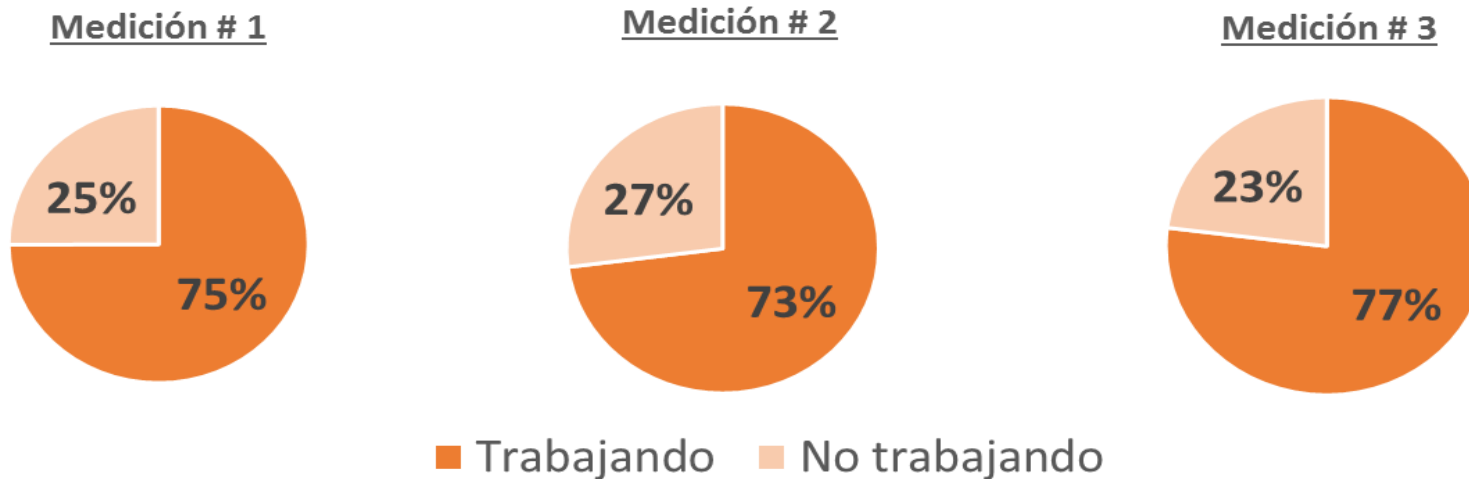


Figura 48. Productividades de mediciones 1, 2 y 3 aplicando Work Sampling para la confección de armadura de vigas.

Mediciones – Work Sampling.

CUADRO 33. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 4.	
Fecha	04, febrero, 2016
Hora	1:30 p.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	30° C
Cuadrilla	5 trabajadores
Observaciones	332
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

CUADRO 34. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 5.	
Fecha	09, febrero, 2016
Hora	8:00 a.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	27° C
Cuadrilla	5 trabajadores
Observaciones	337
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

CUADRO 35. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 6.	
Fecha	11, febrero, 2016
Hora	2:30 p.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	29° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	390
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

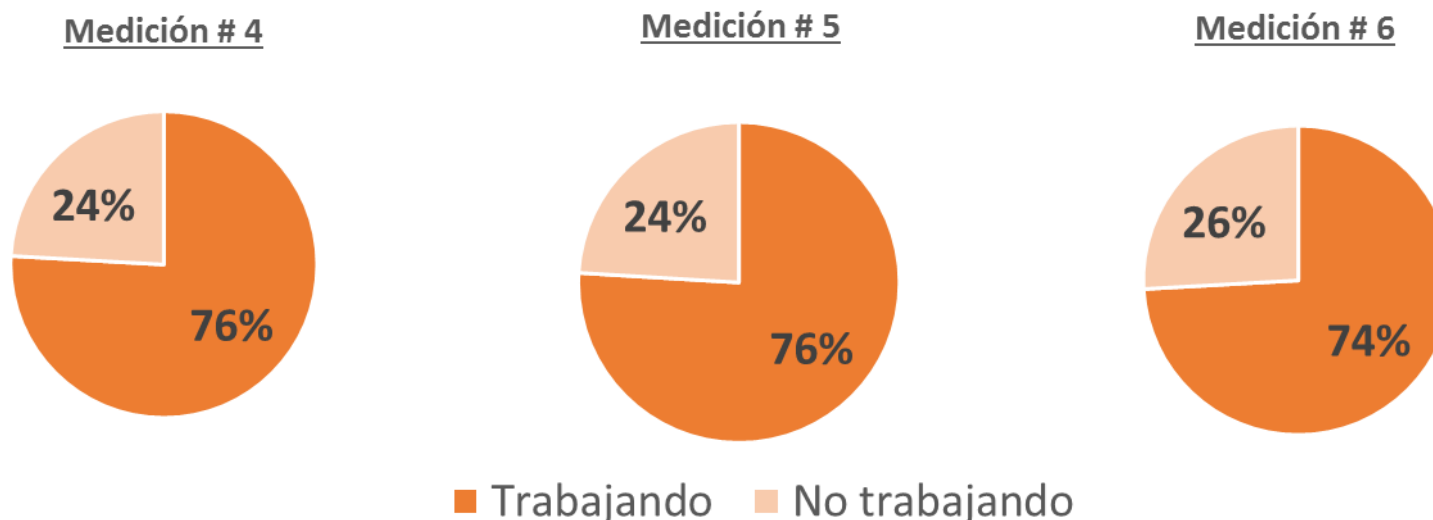


Figura 49. Productividades de mediciones 4, 5, 6 aplicando Work Sampling para la confección de armadura vigas.

Seguidamente se presenta, en la figura 50, los resultados máximos de productividad logrados en los diferentes números de hombres por cuadrilla.

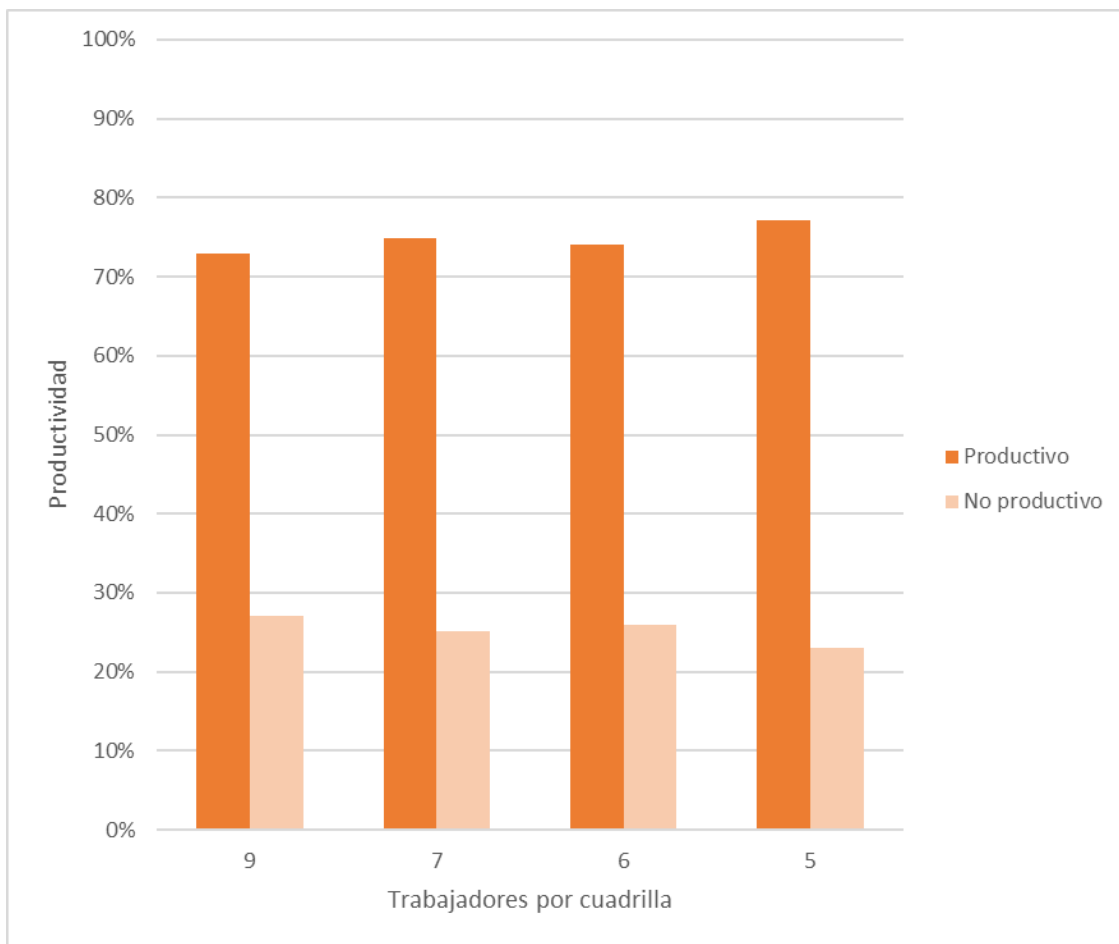


Figura 50. Productividad aplicando Work Sampling a la actividad de la confección de armadura de vigas.

A continuación, se muestran los resultados de las mediciones realizadas por Five Minute Rating para la actividad de vigas (Fig. 51 y Fig. 52), en total se efectuaron 6 mediciones, también se muestran los detalles bajo las que fueron realizadas dichas mediciones (Cuadros 36, 37, 38, 39, 40 y 41)

Mediciones – Five Minute Rating.

CUADRO 36. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 1.	
Fecha	01, febrero, 2016
Hora	1:30 p.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	29° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	375
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

CUADRO 37. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 2.	
Fecha	03, febrero, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	27° C
Cuadrilla	5 trabajadores
Observaciones	415
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

CUADRO 38. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 3.	
Fecha	4, febrero, 2016
Hora	1:40 p.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	29° C
Cuadrilla	5 trabajadores
Observaciones	404
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

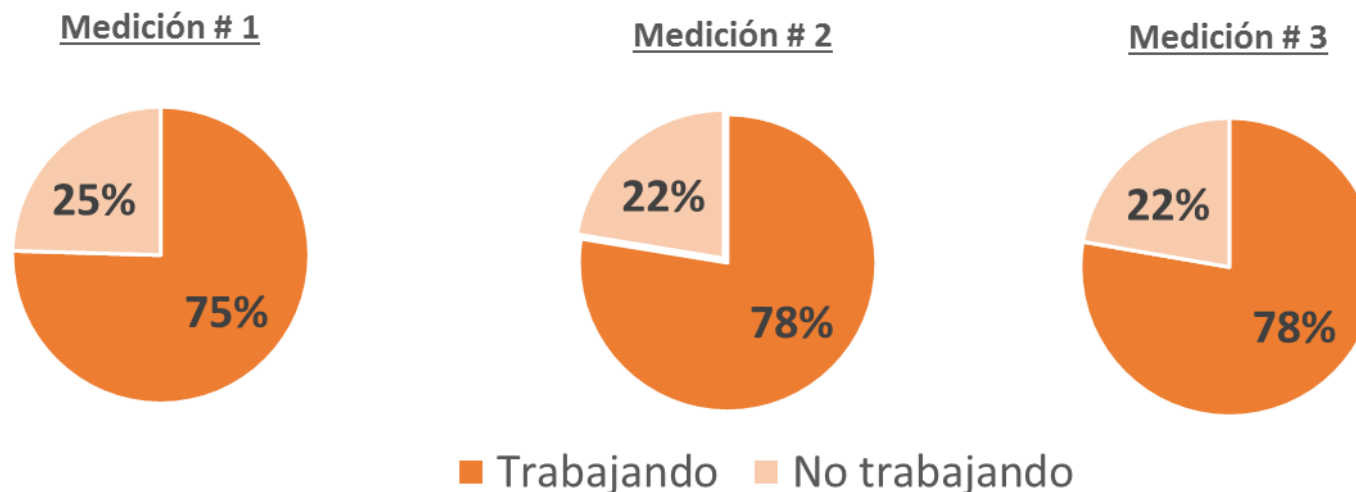


Figura 51. Productividades de mediciones 1, 2 y 3 aplicando Five Minute Rating para la confección de armadura vigas.

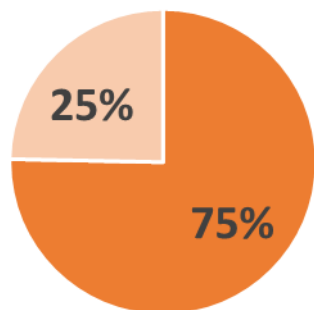
Mediciones – Five Minute Rating.

CUADRO 39. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 4.	
Fecha	08, febrero, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	29° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	389
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

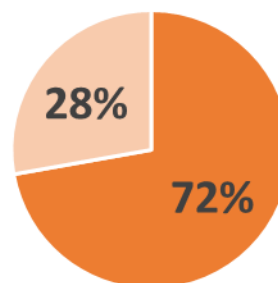
CUADRO 40. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 5.	
Fecha	10, febrero, 2016
Hora	1:30 p.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	29° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	392
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

CUADRO 41. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 6.	
Fecha	12, febrero, 2016
Hora	1:30 p.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	29° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	388
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

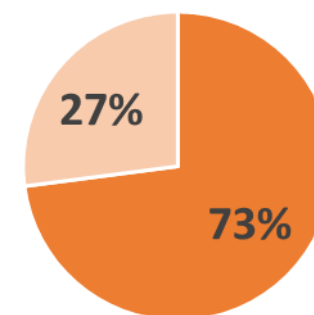
Medición # 4



Medición # 5



Medición # 6



■ Trabajando ■ No trabajando

Figura 52. Productividades de mediciones 4, 5, 6 aplicando Five Minute Rating para la confección de armadura vigas.

Posteriormente, se presenta la figura 53 que contiene los datos máximos de productividad en las cuadrillas.

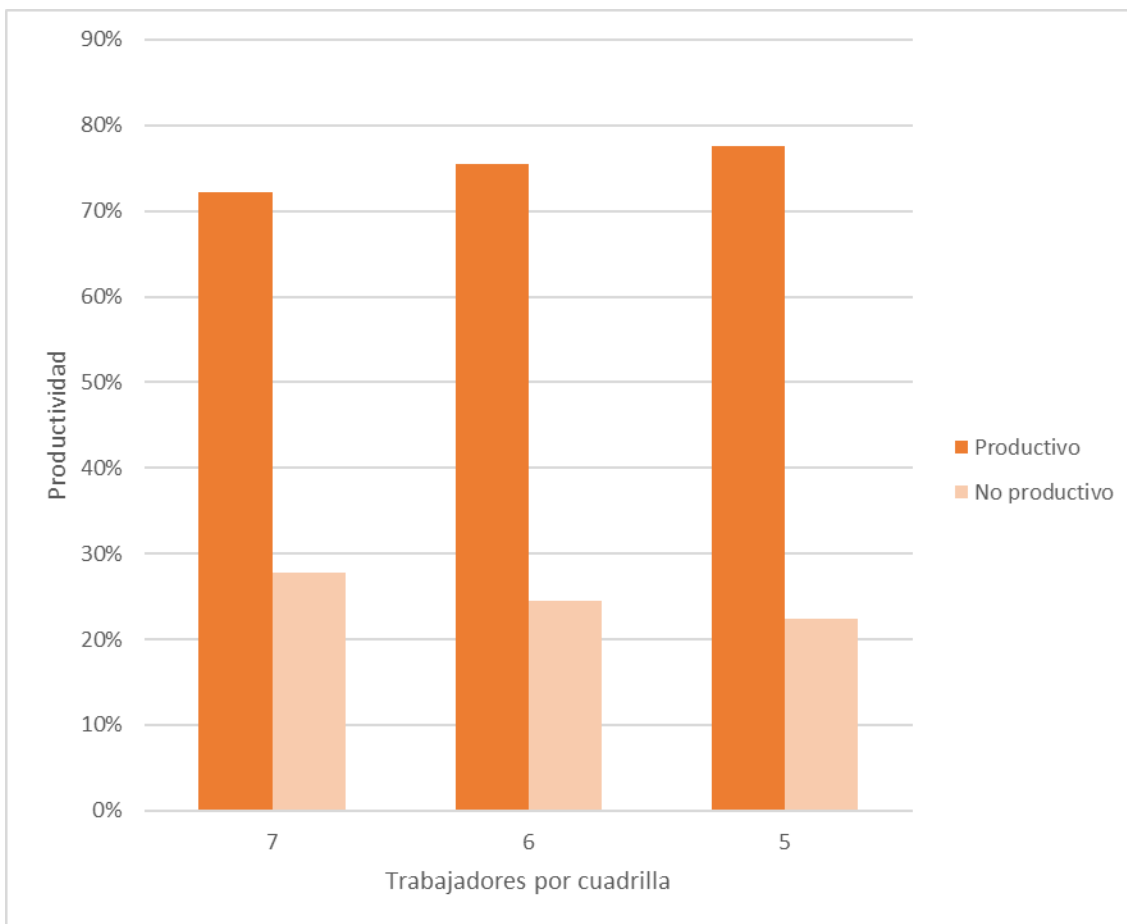


Figura 53. Productividad aplicando Five Minute Rating para la confección de armadura de vigas.

Para la figura 54, se muestra la confiabilidad de los datos, al representar las mediciones realizadas por las técnicas de Work Sampling y Five Minute Rating, ambas mediciones se asemejan bastante con las productividades, sienod

el número óptimo de trabajadores por cuadrilla para realizar las vigas de cinco para lograr una excelente productividad.

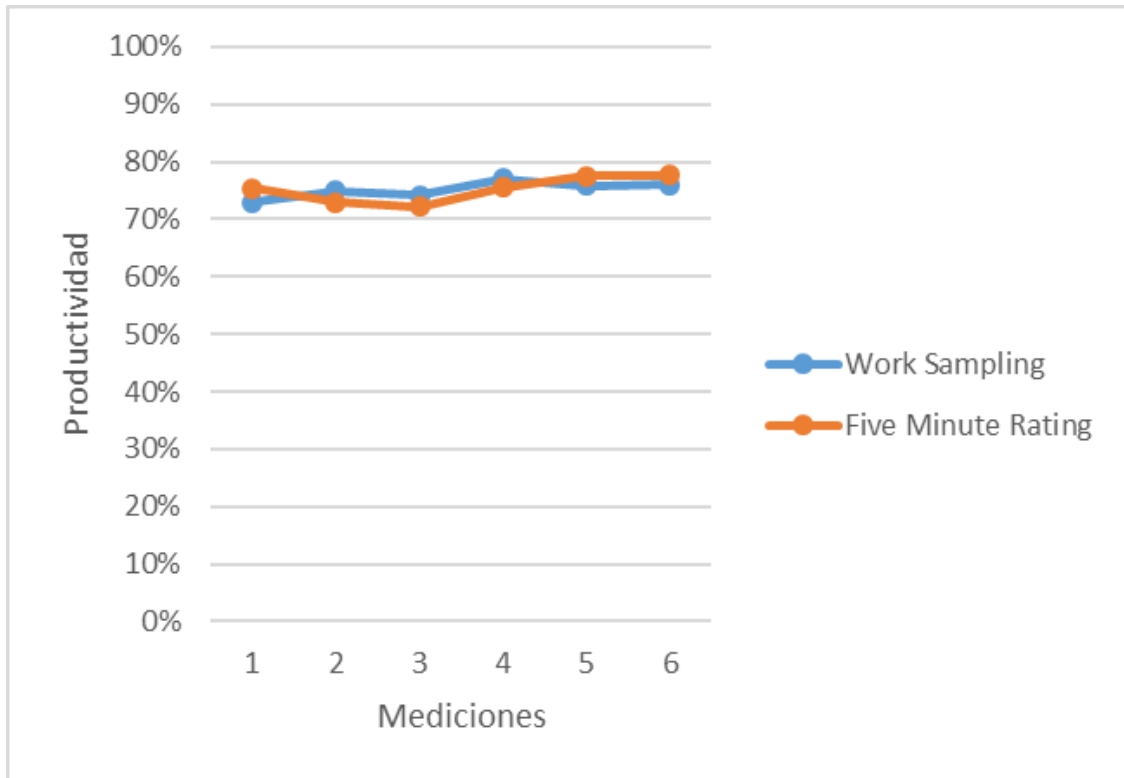


Figura 54. Comparación de productividad aplicando Work Sampling contra Five Minute Rating.

Mediciones – Crew Balance

Seguidamente, se presenta la información obtenida de productividad en la actividad de vigas utilizando la técnica Crew Balance o balance de cuadrillas para cada una de las mediciones.

Para el cuadro 42 se presentan las condiciones bajo las cuales se realizaron las observaciones en la actividad de viga en la medición # 1.

Medición # 1

CUADRO 42. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 1 DE CREW BALANCE.	
Fecha	04, enero, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	26° C
Cuadrilla	3 trabajadores
Observaciones	216
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

Seguidamente, se muestra el cuadro 43 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo

a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 43. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE CONFECCIÓN DE ARMADURA DE VIGAS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Confección de armadura	67	31
	Doblar varillas	43	20
	Cortar varillas	20	9
Trabajo Contributivo (TC)	Clasificando material	29	13
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	12	6
	Ausente	6	3
	Esperando	39	18
Total		216	100%

En la figura 55 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

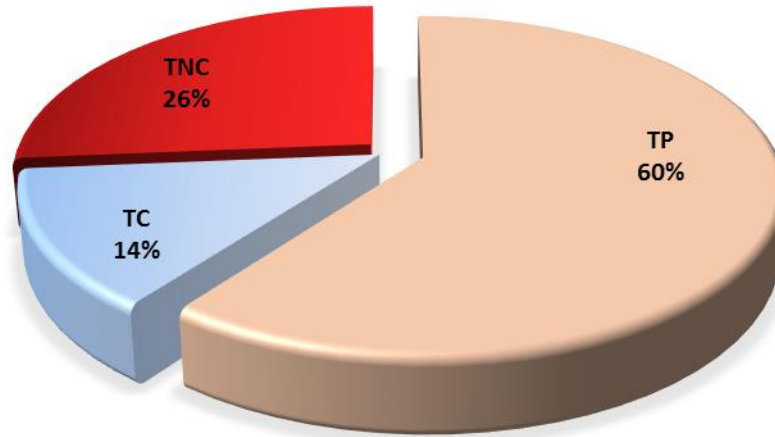


Figura 55. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 1.

Por su parte en la figura 56 se muestran las inversiones de tiempo acumulados que dedica la

cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan

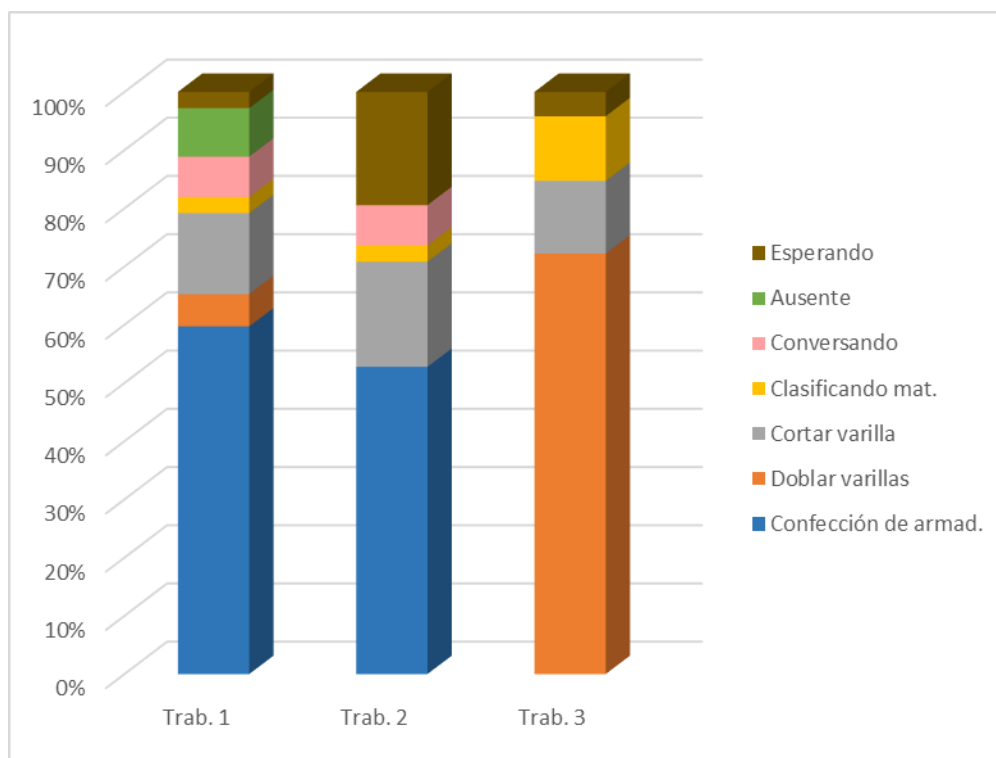


Figura 56. Crew Balance en la actividad de confección de armadura de vigas para la medición 1.

Medición # 2

Para el cuadro 44 se presentan las condiciones bajo las cuales se realizaron las observaciones en la actividad de viga en la medición # 2

CUADRO 44. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 2 DE CREW BALANCE.	
Fecha	6, enero, 2016
Hora	10:30 a.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	25° C
Cuadrilla	5 trabajadores
Observaciones	300
Equipo utilizado	Guillotina, Burra, Tenazas, Grifa Dobladora mecánica

Seguidamente, se muestra el cuadro 45 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo

a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 45. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE CONFECCIÓN DE ARMADURA DE VIGAS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Confección de armadura	92	30.7
	Doblar varillas	34	11.3
	Cortar varillas	36	12.0
	Cortar alambre negro	1	0.3
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	25	8.3
	Marcar varilla	8	2.7
	Midiendo varilla	5	1.7
	Clasificando material	18	6.0
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	13	4.3
	Ausente	45	15.0
	Esperando	23	7.7
Total		300	100%

En la figura 57 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

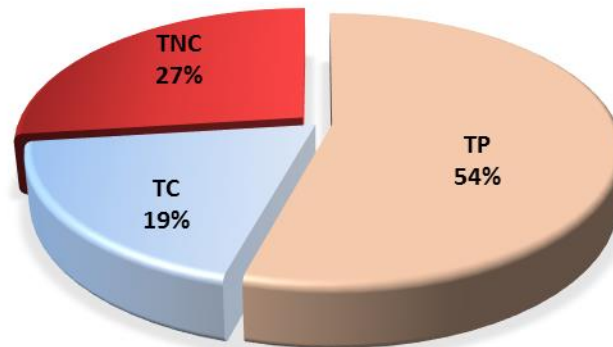


Figura 57. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 2.

Por su parte en la figura 58 se muestran las inversiones de tiempo acumulado que dedica la

cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan

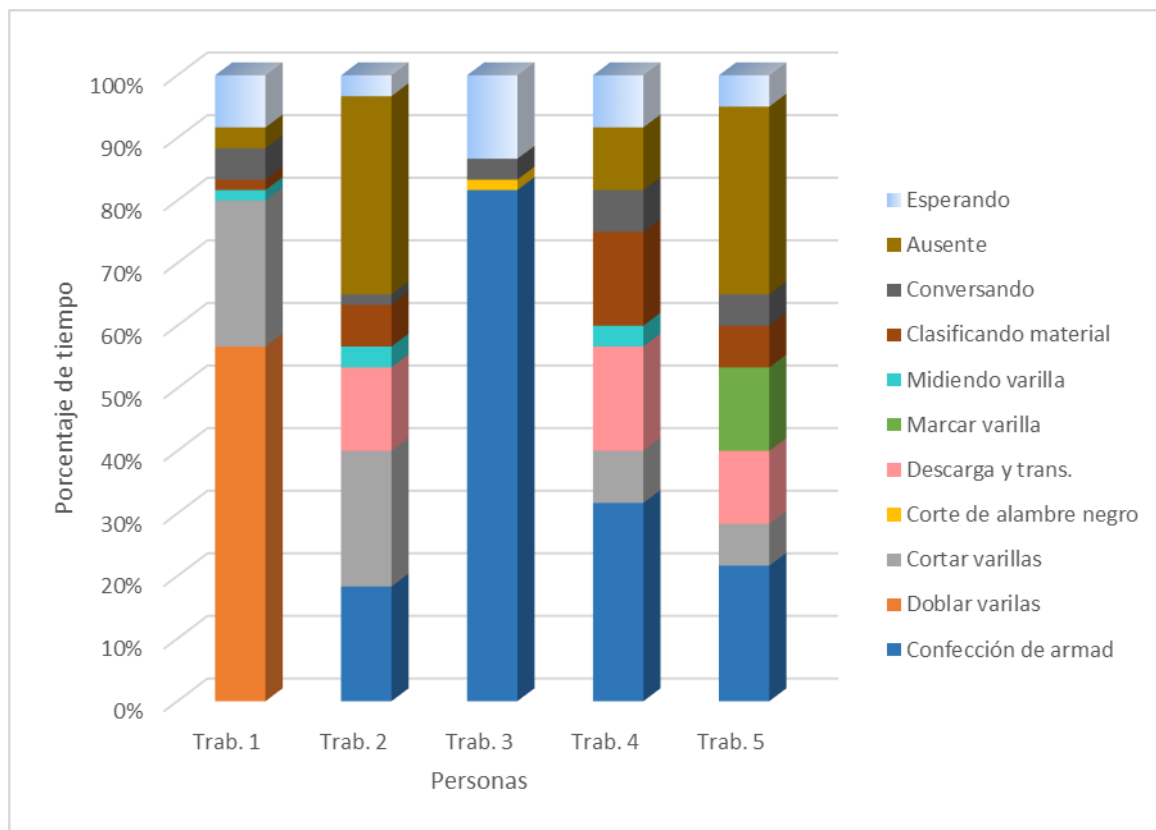


Figura 58. Crew Balance en la actividad de confección de armadura de vigas para la medición 2.

CUADRO 46. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 3 DE CREW BALANCE.

Fecha	7, enero, 2016
Hora	2:35 p.m.
Lugar de medida	Taller de armadura
Clima	Soleado
Temperatura	28° C
Cuadrilla	4 trabajadores
Observaciones	360
Equipo utilizado	Tenazas, burra Grifa, Guillotina, Dobladora mecánica

Seguidamente, se muestra el cuadro 47 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo

a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 47. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE CONFECCIÓN DE ARMADURA DE VIGAS.

Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Confección de armadura	114	32
	Doblar varillas	24	7
	Cortar varilla	25	15
Trabajo Contributivo (TC)	Marcar varilla	17	5
	Nivelando	3	1
	Clasificando material	93	26
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	19	5
	Ausente	15	4
	Esperando	20	6
Total		360	100%

En la figura 59 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

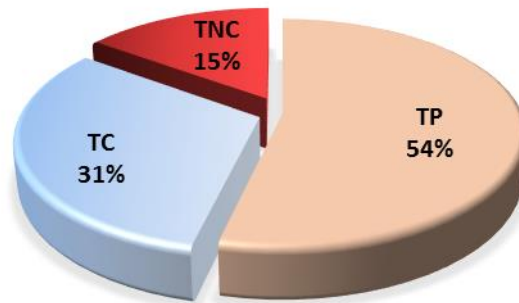


Figura 59. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 3.

Por su parte en la figura 60 se muestran las inversiones de tiempo acumulado que dedica la

cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan

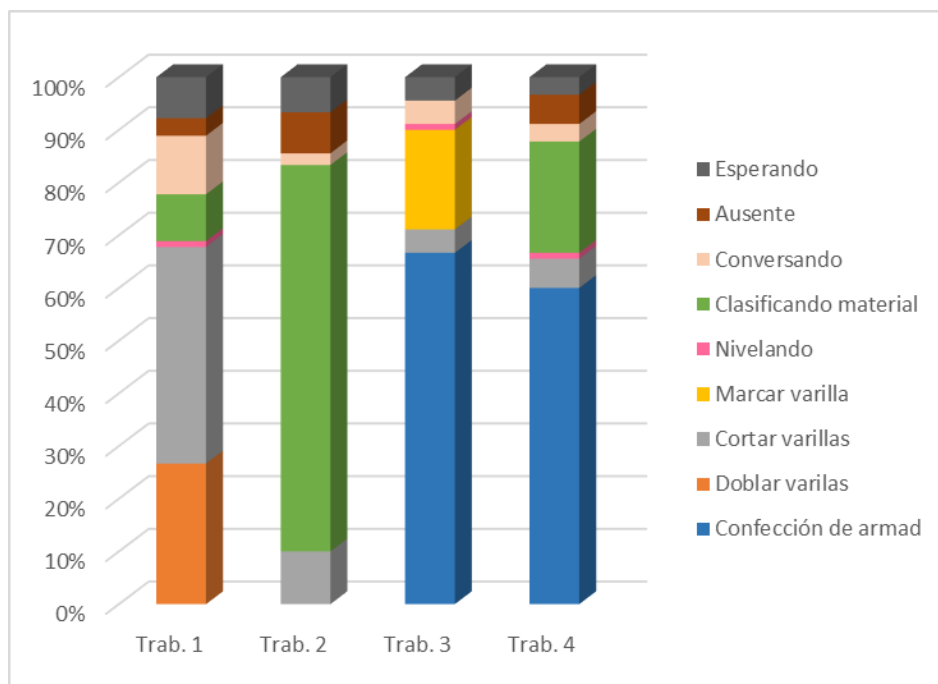


Figura 60 Crew Balance en la actividad de confección de armadura de vigas para la medición 3.

Confección de muros

Para esta actividad, se presentan los resultados de productividad para la técnica de Work Sampling en las figuras 61, 62, y las condiciones en las que se efectuaron las mediciones de

productividad aplicando esta técnica en los cuadros 48, 49, 50, 51, 52 y 53.

Mediciones – Work Sampling.

CUADRO 48. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 1.	
Fecha	07, marzo, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Soleado
Temperatura	28° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	378
Equipo utilizado	Tenazas Andamios Cinta métrica

CUADRO 49. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 2.	
Fecha	07, marzo, 2016
Hora	1:00 p.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Nublado
Temperatura	21° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	393
Equipo utilizado	Tenazas Andamios Cinta métrica

CUADRO 50. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 3.	
Fecha	08, marzo, 2016
Hora	1:00 p.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Soleado
Temperatura	26° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	404
Equipo utilizado	Tenazas Andamios Cinta métrica

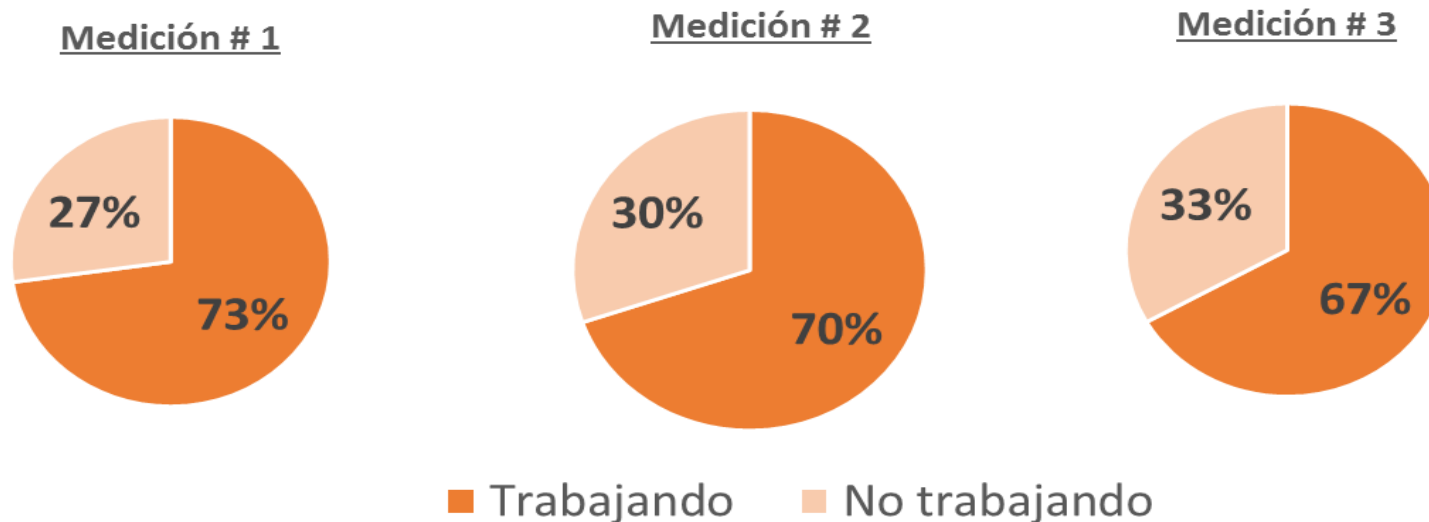


Figura 61. Productividades de mediciones 1, 2 y 3 aplicando Work Sampling en la confección de armadura de muros.

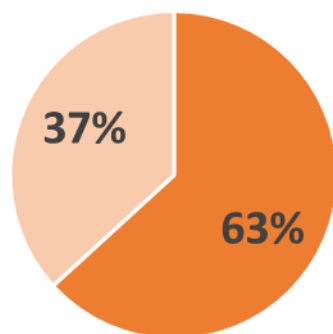
Mediciones – Work Sampling.

CUADRO 51. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 4.	
Fecha	16, marzo, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Soleado
Temperatura	26° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	397
Equipo utilizado	Tenazas Andamios Cinta métrica

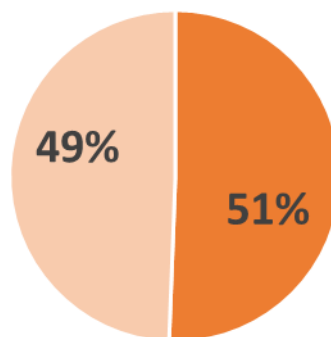
CUADRO 52. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 5.	
Fecha	17, marzo, 2016
Hora	10:30 a.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Soleado
Temperatura	26° C
Cuadrilla	9 trabajadores
Observaciones	494
Equipo utilizado	Tenazas Andamios Cinta métrica

CUADRO 53. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 6.	
Fecha	18, marzo, 2016
Hora	2:30 p.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Soleado
Temperatura	26° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	400
Equipo utilizado	Tenazas Andamios Cinta métrica

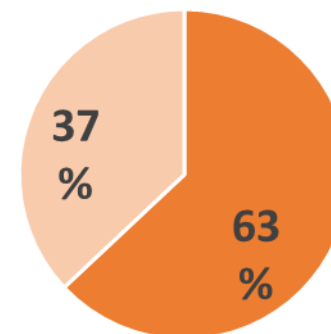
Medición # 4



Medición # 5



Medición # 6



■ Trabajando ■ No trabajando

Figura 62. Productividades de mediciones 4, 5, y 6 aplicando Work Sampling en la confección de armadura de muros.

Seguidamente, se muestra en la figura 63 los resultados máximos en los distintos números de trabajadores por cuadrilla.

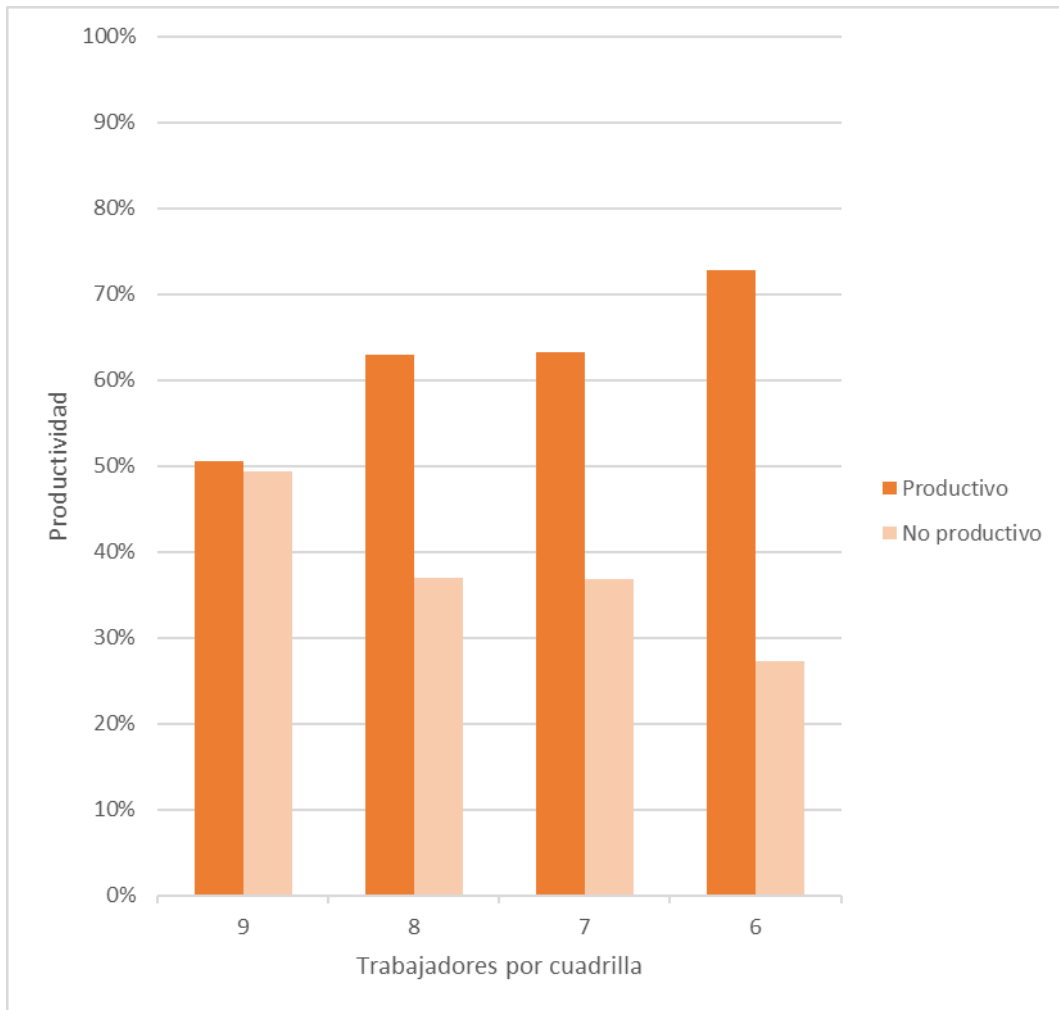
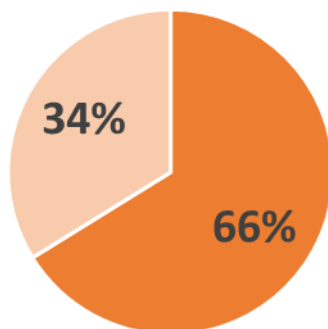


Figura 63. Productividad aplicando Work Sampling a la confección de armadura de muros.

Mediciones – Five Minute Rating

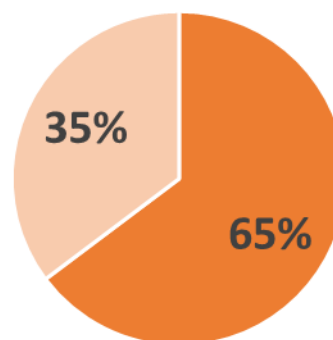
CUADRO 54. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 1.	
Fecha	09, marzo, 2016
Hora	1:00 p.m.
Lugar de medida	Edificio 5B
Clima	Soleado
Temperatura	26° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	411
Equipo utilizado	Tenazas

Medición # 1



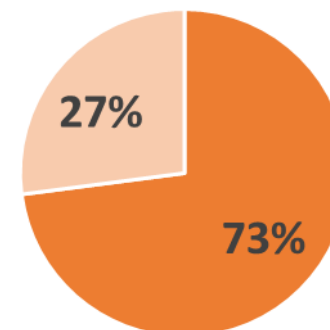
CUADRO 55. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 2.	
Fecha	10, marzo, 2016
Hora	2:30 p.m.
Lugar de medida	Edificio 5B
Clima	Soleado
Temperatura	27° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	397
Equipo utilizado	Tenazas

Medición # 2



CUADRO 56. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 3.	
Fecha	17, marzo, 2016
Hora	1:00 p.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Soleado
Temperatura	29° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	362
Equipo utilizado	Tenazas Cinta métrica

Medición # 3



■ Trabajando ■ No trabajando

Figura 64. Productividades de mediciones 1, 2 y 3 aplicando Five Minute Rating en la confección de armadura de muros.

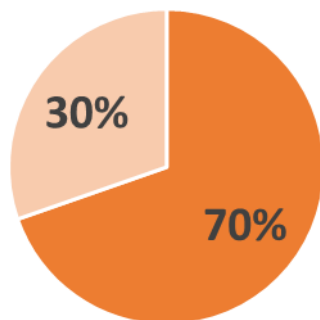
Mediciones – Five Minute Rating.

CUADRO 57. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 4.	
Fecha	18, marzo, 2016
Hora	7:40 a.m.
Lugar de medida	Edificio 3B
Clima	Soleado
Temperatura	27° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	369
Equipo utilizado	Tenazas

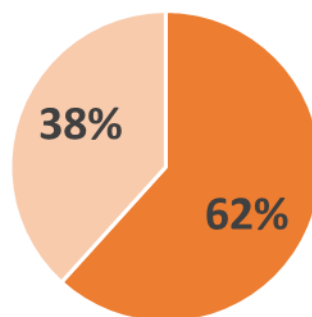
CUADRO 58 CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 5.	
Fecha	18, marzo, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Edificio 3B
Clima	Soleado
Temperatura	28° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	363
Equipo utilizado	Tenazas

CUADRO 59. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 6.	
Fecha	19, marzo, 2016
Hora	7:30 a.m.
Lugar de medida	Edificio 3B
Clima	Soleado
Temperatura	27° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	307
Equipo utilizado	Tenazas Sopladora Cinta métrica

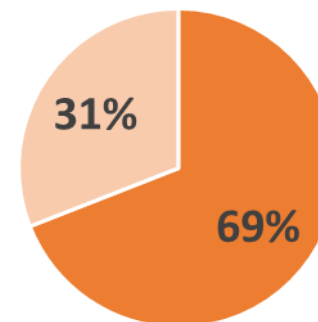
Medición # 4



Medición # 5



Medición # 6



■ Trabajando ■ No trabajando

Figura 65. Productividades de mediciones 4, 5 y 6 aplicando Five Minute Rating en confección de armadura de muros.

Posteriormente, se presenta en la figura 66 los resultados máximos obtenidos en las mediciones de productividad aplicada a la actividad de muros con los distintos números de trabajadores por cuadrilla.

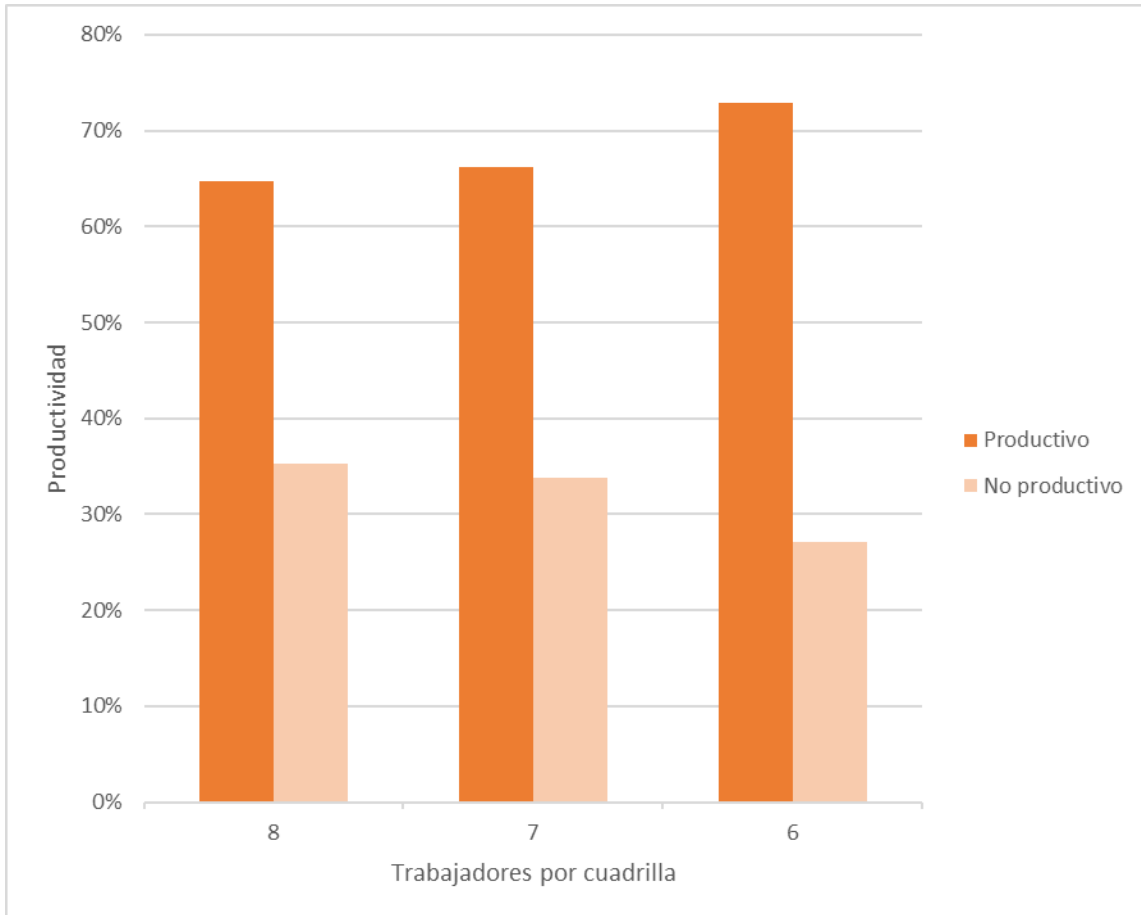


Figura 66. Productividad aplicando Five Minute Rating para la confección de armadura de muros.

Para la figura 67, se muestra la confiabilidad de los datos, al representar las mediciones de productividad en muros realizadas por las técnicas de Work Sampling y Five Minute Rating,

ambas mediciones se asemejan bastante con las productiidades, sienod el número óptimo de trabajadores por cuadrilla para realizar las vigas de cinco para lograr una excelente productividad

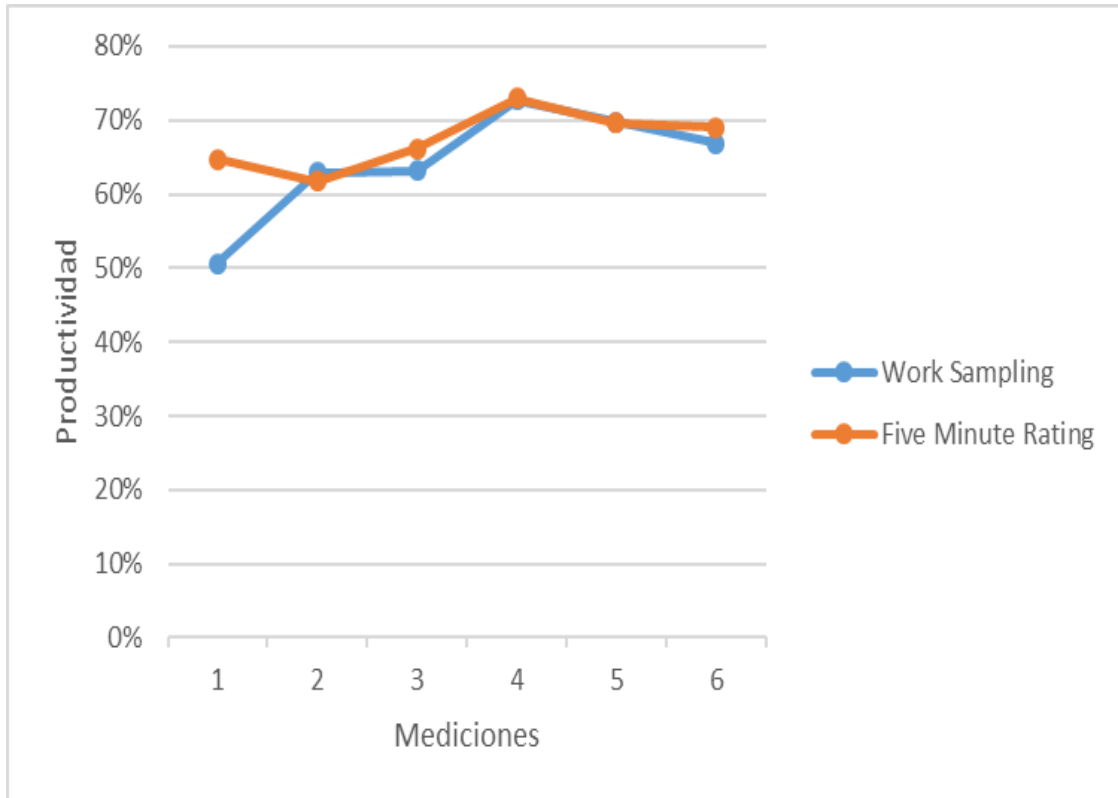


Figura 67. Comparación de productividad aplicando Work Sampling contra Five Minute Rating.

Mediciones – Crew Balance

Seguidamente, se presenta la información obtenida de productividad en la actividad de muros utilizando la técnica Crew Balance o balance de cuadrillas para cada una de las mediciones.

Para el cuadro 60, se presentan las condiciones bajo las cuales se realizaron las observaciones en la medición # 1.

Medición # 1

CUADRO 60. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 1 DE CREW BALANCE.	
Fecha	19, enero, 2016
Hora	10:12 a.m.
Lugar de medida	Edificio 4B
Clima	Soleado
Temperatura	23° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	420
Equipo utilizado	Tenazas

A continuación, se muestra el cuadro 61 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo a cada tipo de trabajo, es decir, trabajo productivo, trabajo contributivo y trabajo no

contributivo, así como sus respectivos porcentajes.

CUADRO 61. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE CONFECCIÓN DE ARMADURA DE MUROS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	248	59.0
Trabajo Contributivo (TC)	Nivelando	24	5.6
	Clasificando material	13	3.0
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	5	1.2
	Ausente	79	18.8
	Esperando	39	9.2
	Instrucción	6	1.4
	Observando	7	1.7
Total		420	100%

En la figura 68 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

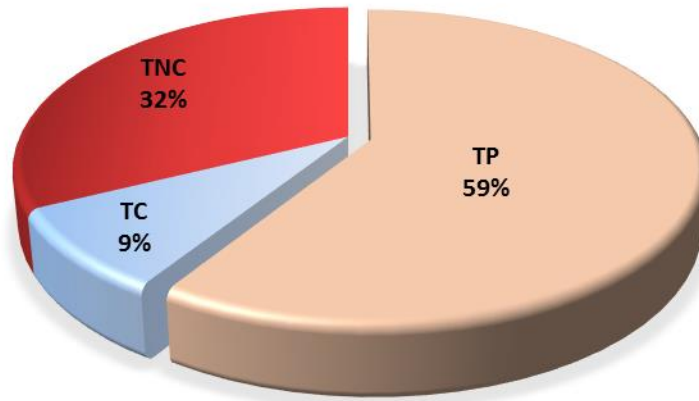


Figura 68. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 1.

Por su parte en la figura 69 se muestran las inversiones de tiempo que dedica la cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan.

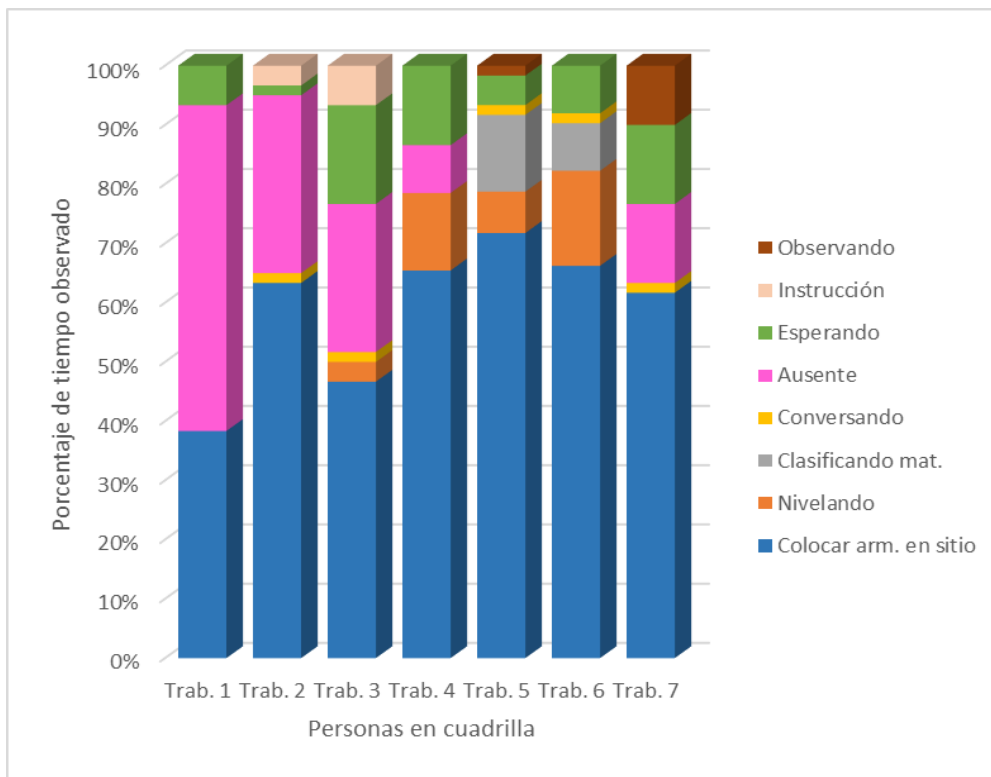


Figura 69. Crew Balance en la actividad de confección de armadura de muros para la medición 1.

CUADRO 62. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 2 DE CREW BALANCE.	
Fecha	21, enero, 2016
Hora	1:00 p.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Soleado
Temperatura	29° C
Cuadrilla	8 trabajadores
Observaciones	480
Equipo utilizado	Tenazas Cinta métrica

Seguidamente, se muestra el cuadro 63 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización del trabajo,

en productivo, contributivo y no contributivo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 63. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE CONFECCIÓN DE ARMADURA DE MUROS			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	271	56.6
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	8	1.7
	Midiendo varilla	8	1.6
	Nivelando	16	3.3
	Clasificando material	8	1.7
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	21	4.4
	Ausente	92	19.2
	Esperando	52	11.0
	Observando	3	0.6
Total		480	100%

En la figura 70 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

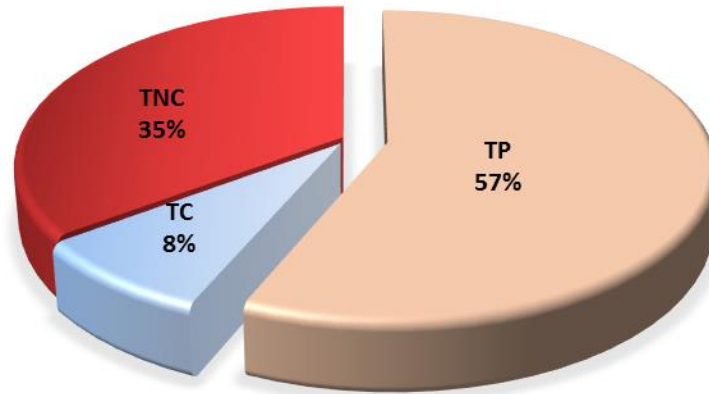


Figura 70. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 2.

Por su parte en la figura 71 se muestran las inversiones de tiempo que dedica la cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan.

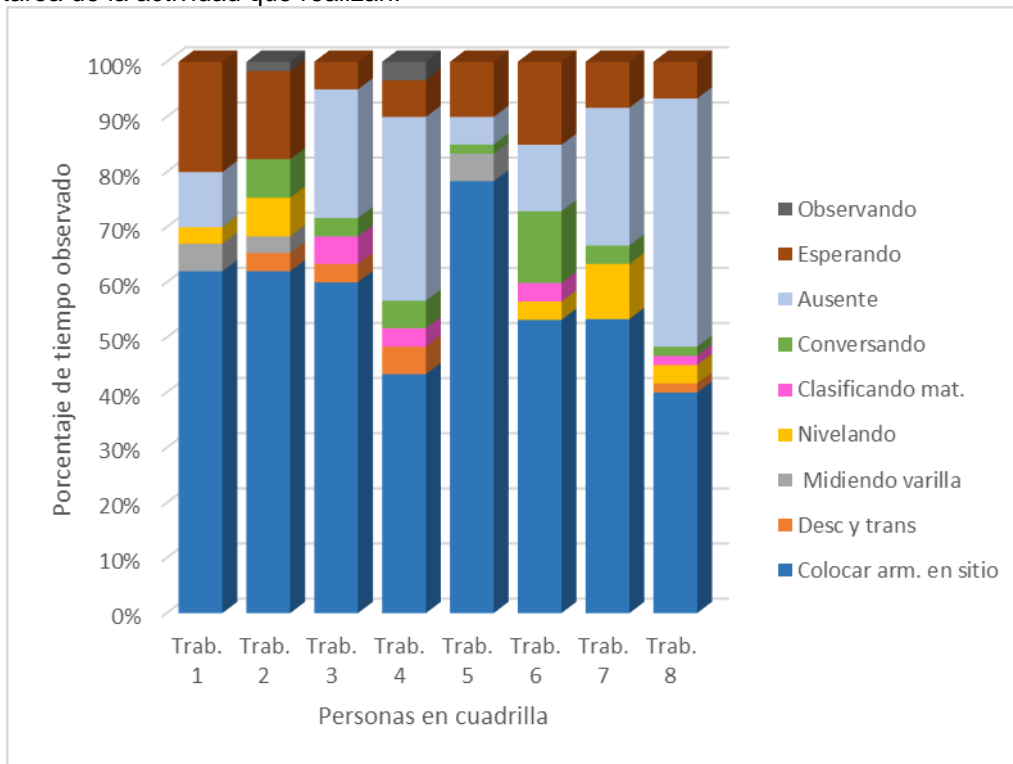


Figura 71. Crew Balance en la actividad de confección de armadura de muros para la medición 2.

CUADRO 64. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 3 DE CREW BALANCE.	
Fecha	26, enero, 2016
Hora	10:00 a.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Soleado
Temperatura	25° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	357
Equipo utilizado	Tenazas Cinta métrica

Posteriormente, se muestra el cuadro 65 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo

a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 65. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE CONFECCIÓN DE ARMADURA DE MUROS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	223	62
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	9	3
	Midiendo varilla	3	1
	Nivelando	14	4
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	6	2
	Ausente	75	21
	Esperando	27	8
Total		357	100%

En la figura 72 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

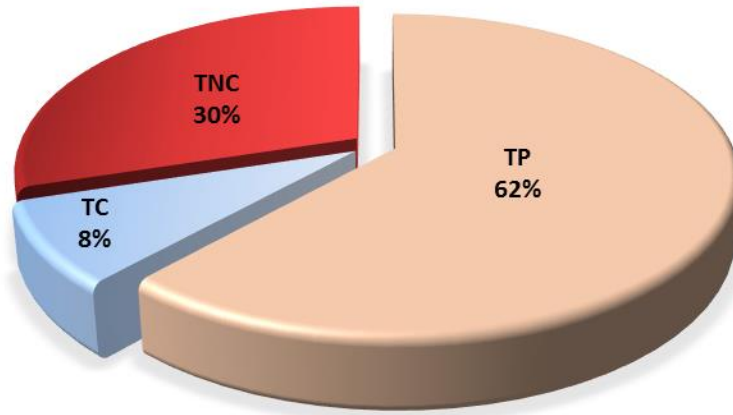


Figura 72. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 3.

Por su parte en la figura 73 se muestran las inversiones de tiempo que dedica la cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan

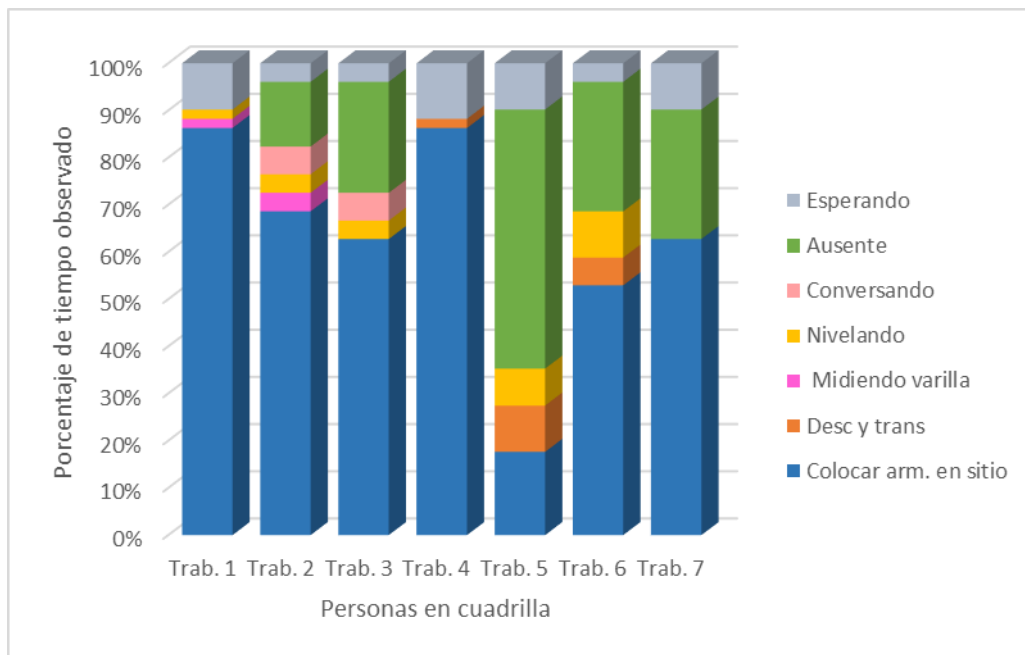


Figura 73. Crew Balance en la actividad de confección de armadura de muros para la medición 3.

CUADRO 66. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 4 DE CREW BALANCE.	
Fecha	28, enero, 2016
Hora	1:30 p.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Soleado
Temperatura	29° C
Cuadrilla	7 trabajadores
Observaciones	420
Equipo utilizado	Tenazas Cinta métrica

Seguidamente, se muestra el cuadro 67 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo

a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 67. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE CONFECCIÓN DE ARMADURA DE MUROS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	257	61,1
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	4	1.0
	Limpiar varilla y área	5	1.2
	Nivelando	3	0.7
	Midiendo varilla	13	3.1
	Clasificando material	6.	1.5
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	16	3.8
	Ausente	73	17.4
	Esperando	36	8.6
	Instrucción	4	1.0
	Observando	3	0.7
Total		420	100%

En la figura 74 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

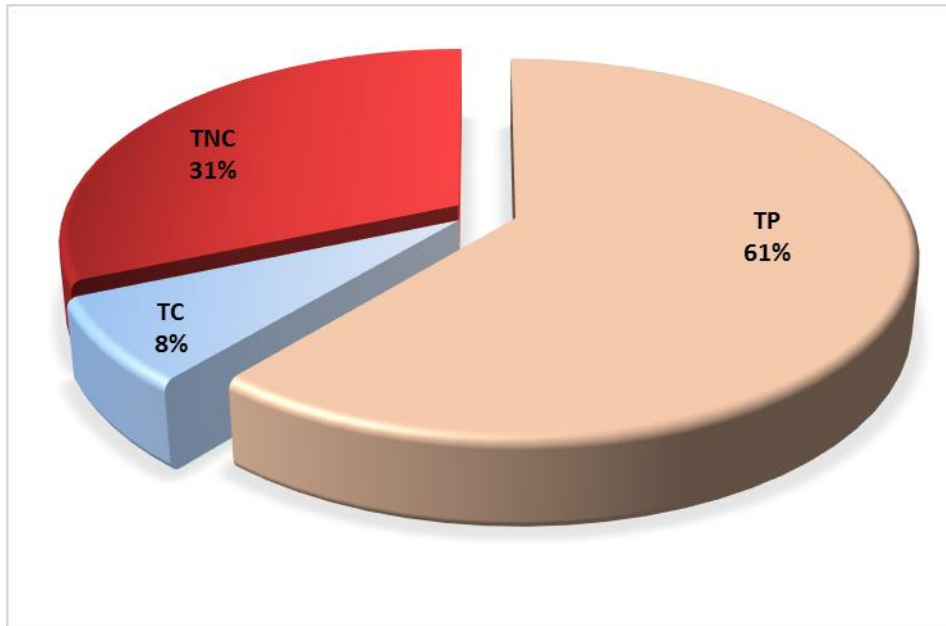


Figura 74. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 4.

Por su parte en la figura 75 se muestran las inversiones de tiempo que dedica la cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan

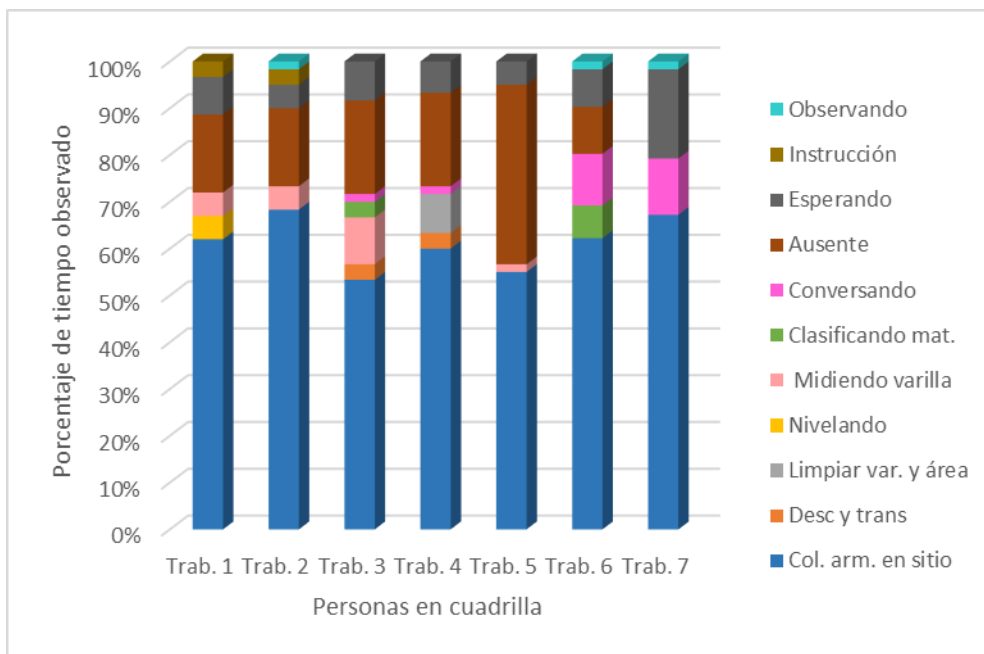


Figura 75. Crew Balance en la actividad de confección de armadura de muros para la medición 4.

CUADRO 68. CONDICIONES DURANTE LA MEDICIÓN # 5 DE CREW BALANCE.	
Fecha	4, febrero, 2016
Hora	11:00 a.m.
Lugar de medida	Campo
Clima	Soleado
Temperatura	25° C
Cuadrilla	6 trabajadores
Observaciones	180
Equipo utilizado	Tenazas Cinta métrica

Seguidamente, se muestra el cuadro 19 con los detalles de las tareas realizadas durante la medición, así como su categorización de acuerdo

a cada tipo de trabajo y sus respectivos porcentajes.

CUADRO 69. RESUMEN DEL TRABAJO OBTENIDO AL APLICAR LA TÉCNICA DE CREW BALANCE EN LA ACTIVIDAD DE CONFECCIÓN DE ARMADURA DE MUROS.			
Tipo de trabajo	Tarea	Observaciones	Porcentaje (%)
Trabajo Productivo (TP)	Colocar armadura. en sitio	109	60.4
Trabajo Contributivo (TC)	Descarga y transporte	2	1.1
	Limpiar varilla. y área	19	10.6
	Midiendo varilla	10	5.6
Trabajo No Contributivo (TNC)	Conversando	14.2	7.9
	Esperando	25.8	14.3
Total		180	100%

En la figura 76 se complementa la información del cuadro anterior, en donde se encuentran los porcentajes que se invierten en trabajo productivo

(TP), trabajo contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

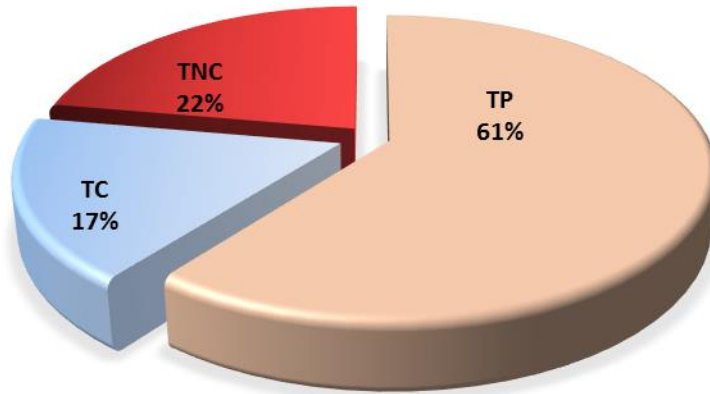


Figura 76. Porcentajes para cada categoría de trabajo en medición 5.

Por su parte en la figura 77 se muestran las inversiones de tiempo que dedica la cuadrilla para cada tarea de la actividad que realizan

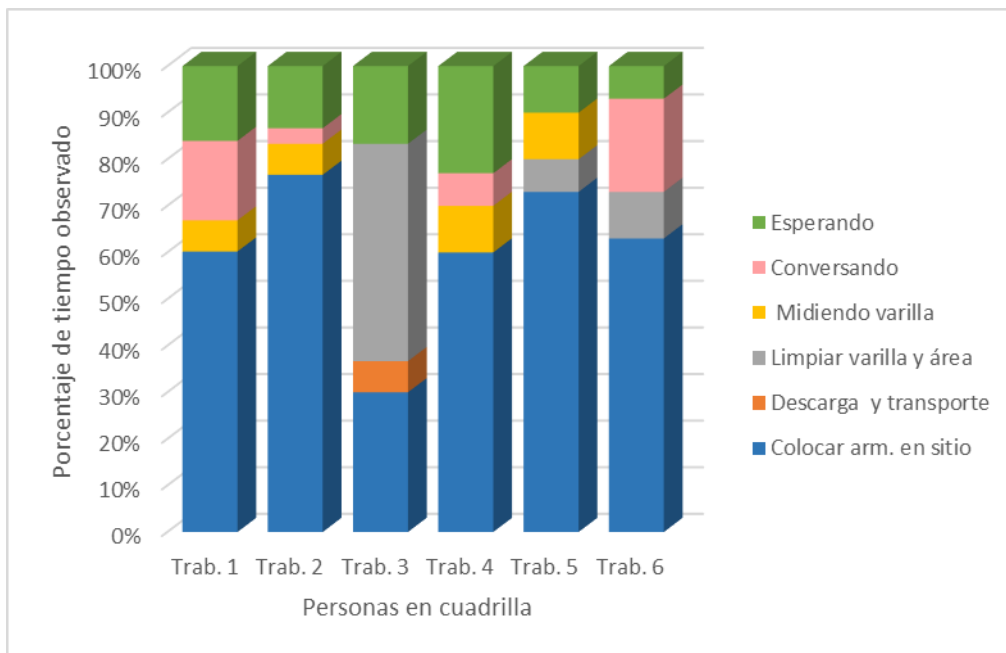


Figura 77. Crew Balance en la actividad de confección de armadura de muros para la medición 5.

Propuesta de mejoramiento

Con el fin de obtener un incremento de productividad en los procesos estudiados y así lograr una ventaja competitiva en el mercado de la construcción, se plantean los siguientes puntos donde se pueden realizar posibles cambios de mejora.

Equipo

Construir los elementos de armadura con el equipo adecuado, es decir, que contenga las características que se necesitan para el tipo de armadura a realizar, de modo que facilite las tareas de los trabajadores, ya que, al no tenerse estas condiciones, se disminuyen los tiempos de producción.

Entre las posibles mejoras que se pueden implementar están:

- La adquisición de una cortadora mecánica extra: Se observó que las varillas se cortaban con una sola guillotina, lo que en ocasiones producía atrasos para los demás trabajadores que debían esperar a que se desocupara la máquina para poder manipularla ellos.
- La introducción de una máquina cargadora: Otra de las deficiencias que se detectaron, fue que los materiales ya terminados como las vigas y columnas se debían transportar desde el banco de armadura hasta el sitio de interés por medio de los trabajadores, aumentando sin lugar a dudas, el tiempo de transporte y la fatiga que sufren los trabajadores, sin dejar de lado las afectaciones por lo incomodo de la tarea y sus repercusiones en la productividad de las actividades.
- Programación en el calendario para el mantenimiento de los equipos: Si se efectúan labores con equipo defectuoso se podría incurrir en errores en la confección de las armaduras, problemas con la seguridad de los obreros; por lo que la planificación de días de mantenimiento y prevención para los equipos en sitio mejoraría los tiempos en los procesos, debido a que los

trabajadores manipularían con mayor seguridad y confianza la maquinaria, además de contar con un equipo calibrado para la labor.

- Obreros calificados para el uso de equipos: Con las observaciones en sitio, se descubrió que la maquinaria era usada por todos los trabajadores sin importar si estaba capacitado para la labor. Por ello, se sugiere impartir capacitaciones a los obreros sobre el uso de maquinarias, esto evitaría accidentes y los costes que esto conlleva, retrasos por las curvas de aprendizaje que se darían por aquellos trabajadores que manipulan la máquina sin conocer sus funciones y/o modo de operación: El contar con un grupo que tenga conocimientos en el uso de los equipos, es ventajoso para disminuir los tiempos de elaboración de las armaduras.

Mano de Obra

De acuerdo con las observaciones realizadas en sitio, se detectó que las cuadrillas en ocasiones estaban sobredimensionadas, lo que significa que se asignaban personas a grupos de trabajos en las que las tareas por desarrollar ya estaban completas, esto implicaba personas esperando, observando o bien conversando, lo que representa tiempo de trabajo no productivo.

Para solucionar este inconveniente, se recomienda implementar capacitaciones a los obreros con el fin de elevar su conocimiento y asignar el personal a tareas de mayor dificultad.

Complementario a estas acciones, se debe llevar a cabo el correspondiente ajuste de cuadrillas para disminuir los costos por tiempos muertos.

Por otro lado, es posible implementar programas de motivación en el proyecto, para agilizar la finalización de las actividades sin descuidar la calidad de las mismas, con esto se logra reducir los tiempos de producción y sus respectivos costos.

Además, es conveniente realizar evaluaciones y pruebas en la selección de los candidatos a las labores constructivas, con el fin de garantizar que la mano de obra contratada es la que se necesita y la que está altamente calificada para las tareas que sean asignadas,

esto contribuirá a un aumento de la productividad de las actividades, favoreciendo también el costo y calidad.

En cuanto a los tiempos de ocio que se observan en las cuadrillas, colocar a una persona que supervise de manera frecuente a los trabajadores se reduciría estos tiempos ya que el supervisor se encargaría de reasignar tareas a aquellos que han terminado sus labores o que no tienen mucha participación en el grupo de trabajadores; también visualizando el trabajo realizado, se mitigarían los errores que se puedan presentar.

Estas personas que estarán a cargo de las cuadrillas, debe de tener capacitaciones para un buen manejo del grupo en donde se respete su autoridad, pero también otorgue la confianza para escuchar a sus trabajadores.

Es importante que se identifique de manera clara los supervisores para evitar confusiones y malentendidos con otros obreros, de esta forma la comunicación entre los niveles se da de manera fluida, directa y efectiva.

Contar con una persona que maneja una buena inteligencia emocional, así como una comunicación asertiva, las opiniones y posibles cambios para mejorar el proyecto podrán ser atendidas de modo amable por estos supervisores, los cuales estarán encargados de llevar estas ideas a los más altos mandos.

Es por esto que es vital crear programas de integración del personal, una correcta integración de los obreros a las labores de las cuadrillas, estaría creando un ambiente de trabajo óptimo, sin contiendas entre ellos, un ambiente de confianza, lo que trae consigo una satisfacción del trabajador por el ambiente laboral en el que se encuentra y logra realizar su trabajo de manera eficiente.

Organización del sitio

Como parte del éxito de un proyecto, se encuentra entre las estrategias la adecuada planificación de los espacios que se utilizarán para las obras temporales, una eficiente organización del sitio garantiza un desarrollo fluido de las actividades del proyecto con un menor costo y tiempo.

De acuerdo con las evaluaciones efectuadas en el sitio acerca de las obras provisionales, se observó que las mismas estaban distanciadas de

los sitios de construcción, a los vestidores y guarda ropa, al comedor común; también se notó que existían pocos servicios sanitarios para la cantidad de trabajadores en el proyecto.

Para lo cual, se determinó que la ubicación de estas obras provisionales afectaba en gran manera la productividad de las actividades que estaban en estudio, debido a la larga duración que se tenía de ir de un lugar a otro; lo que aumentaba el tiempo en que se ausentaban los trabajadores de la zona de trabajo por traer materiales desde el taller de armadura.

Se identificó que para ir a los servicios sanitarios el tiempo de duración era de aproximadamente siete minutos desde los edificios en construcción, esto por la distancia a la que se encontraba cada zona de trabajo, lo mismo sucedía con los tubos de agua potable que funcionaban para la toma de agua.

Por lo que se propone, mejorar la ubicación de estos elementos, así como abastecer con los al menos unos dos servicios sanitarios más y tres tomas de agua adicionales, tomando en cuenta la cantidad de trabajadores en el proyecto.

También, es conveniente reubicar los elementos dentro del taller de armadura, así como mejorar la ubicación del taller de armadura de modo que se faciliten el transporte de la armadura y demás elementos necesarios hasta el sitio de interés, tal como se muestra en la figura 78 y 79.

Otro punto importante, es el reacomodo de los elementos que componen el taller de armadura de manera que se realice un proceso fluido en la confección de la armadura.

Por otro lado, el proveer de agua potable, microondas y casilleros para guardar la comida en el comedor, es beneficioso para el proyecto, ya que se estarían reduciendo los tiempos que se toman antes y después de la hora de descanso por motivos de espera para calentar alimentos.

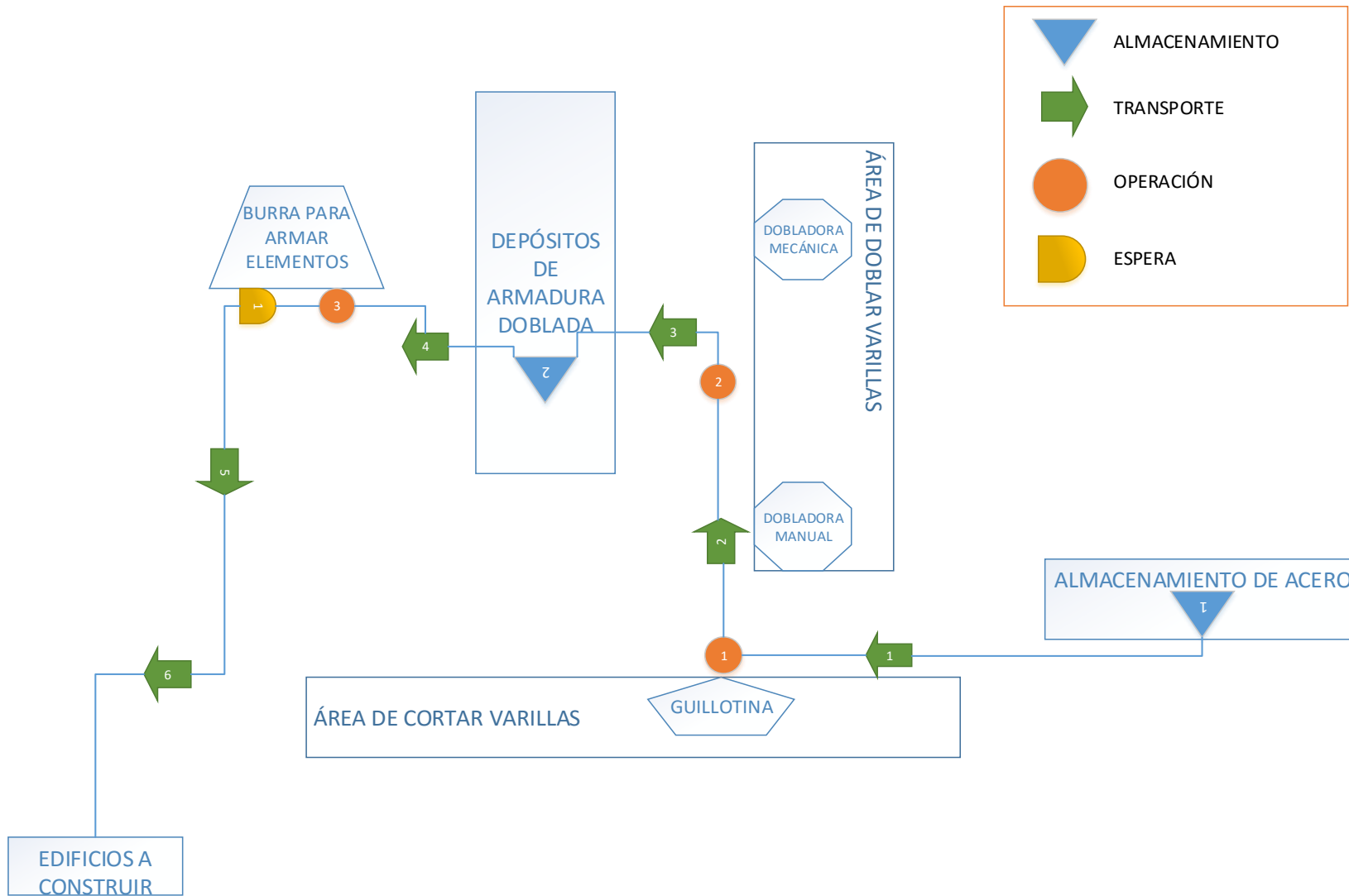


Figura 78. Mejora del diseño del taller de armadura.

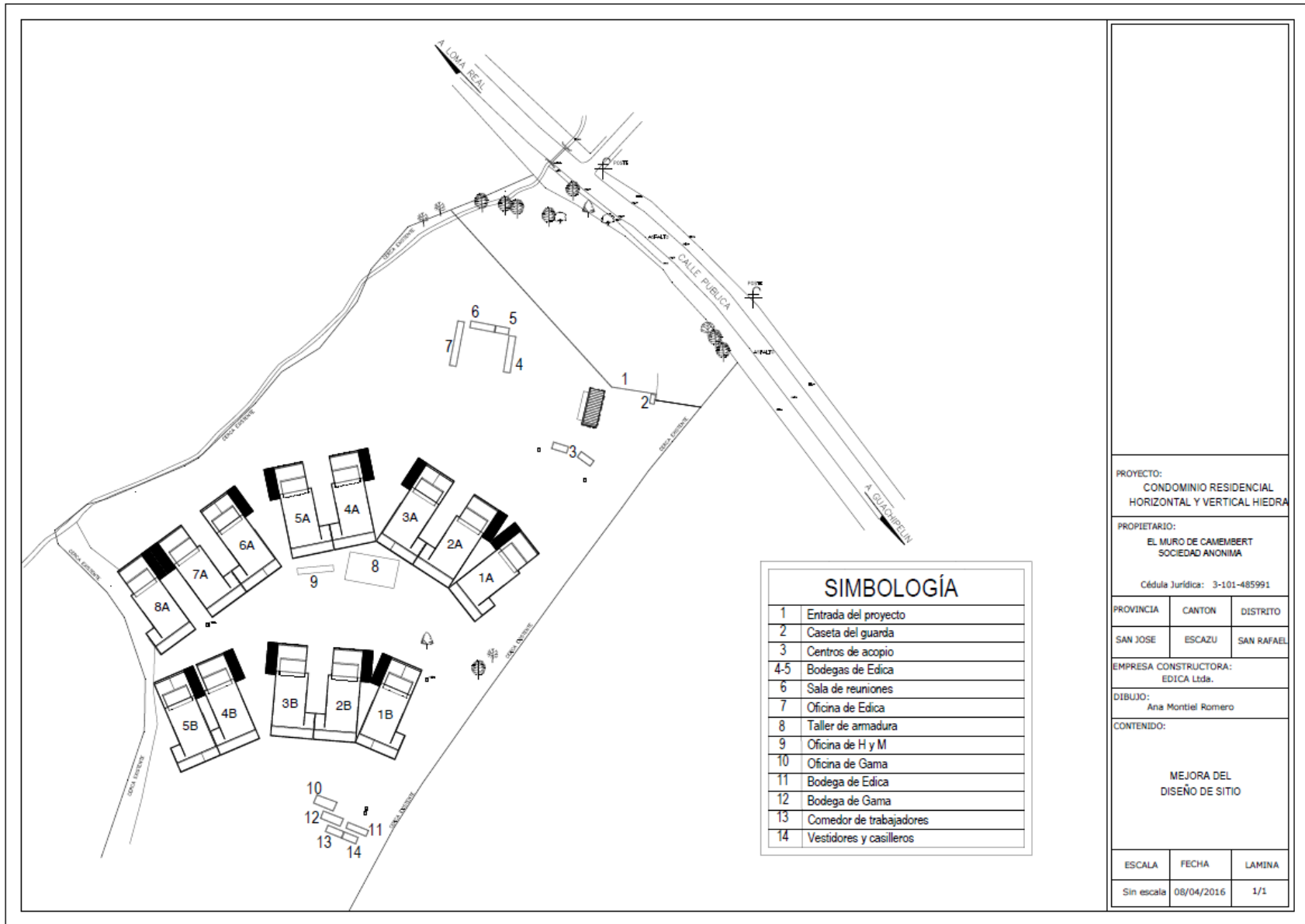


Figura 79. Mejora del diseño de sitio

Reestructuración de los procesos de las actividades.

Contemplando la información que respecta a la productividad y recorridos en el taller de armadura, se realizaron diagramas de flujo básico para las actividades, con el fin de visualizar de una mejor manera los procesos que se deben seguir para conseguir una buena productividad en la confección de armadura; en la

figura 78 se puede apreciar los procedimientos por seguir para la actividad de entrepisos En la figura 79 están las actividades para vigas y finalmente en la figura 80 se encuentra el diagrama de flujo para muros.

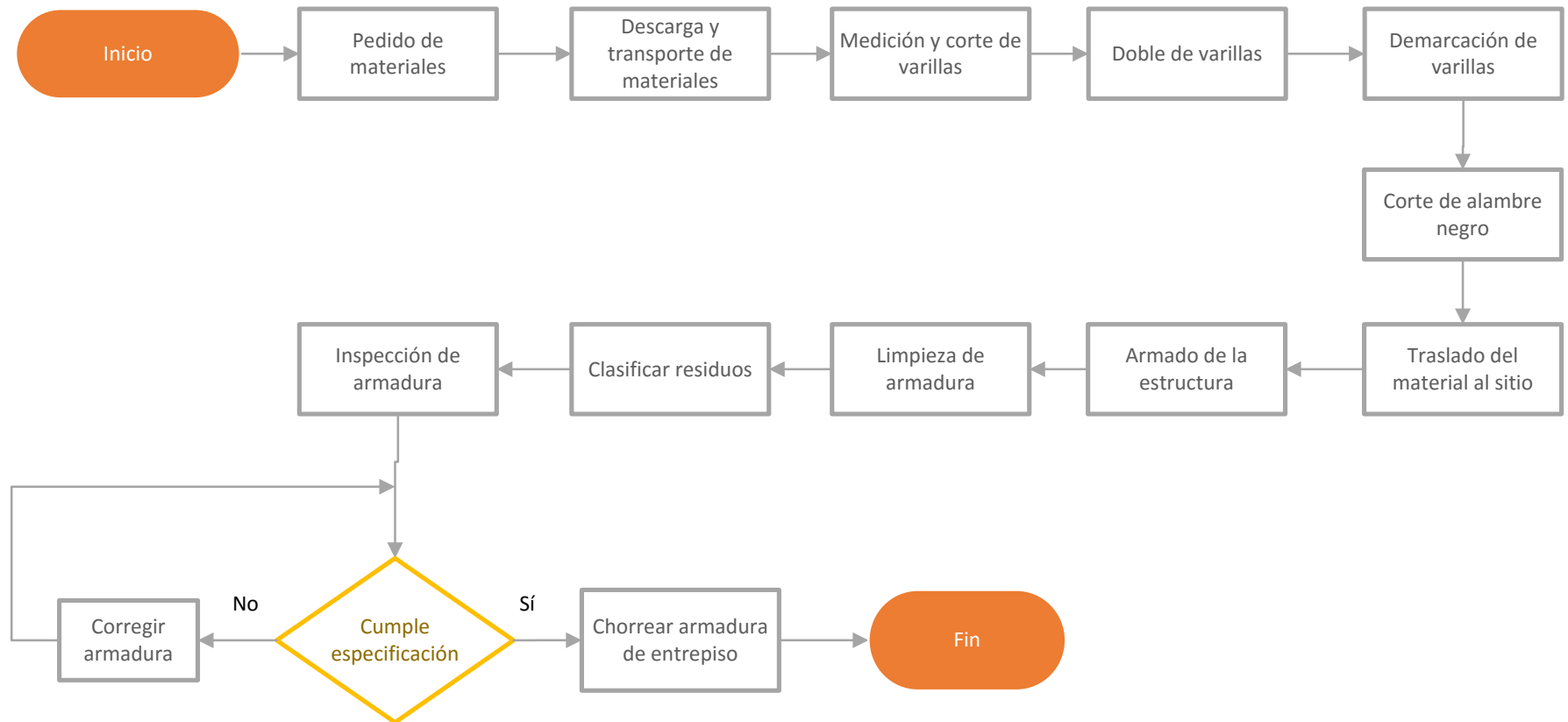


Figura 80. Diagrama de flujo para entrepiso.

Reestructuración del proceso de confección en la actividad de vigas.

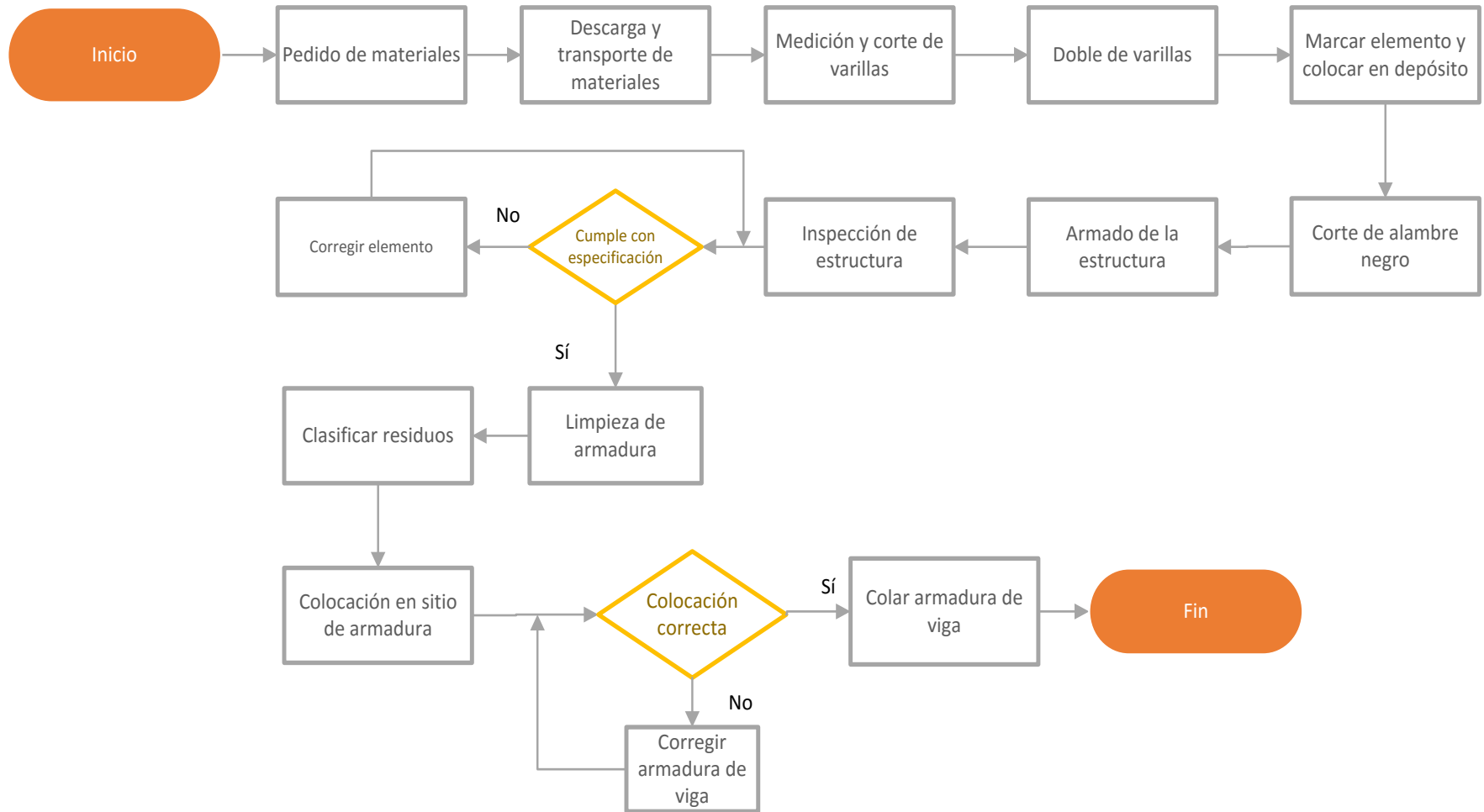


Figura 81. Diagrama de flujo para vigas.

Reestructuración del proceso de confección en la actividad de muros.

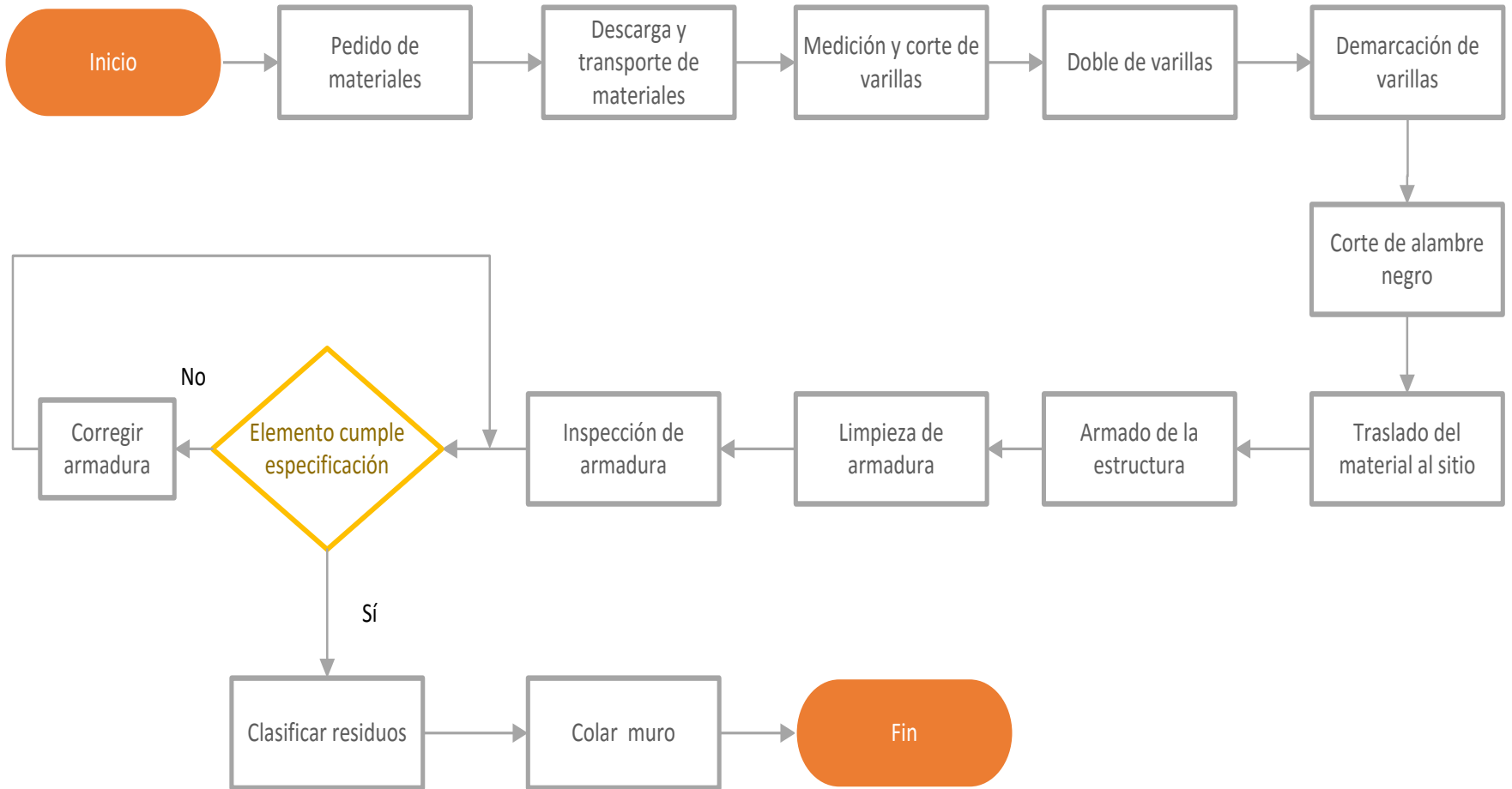


Figura 82. Diagrama de flujo para muros.

Análisis de los resultados

Selección de las actividades críticas

Los elementos estructurales son de vital importancia en el soporte de los edificios, por lo que, se deben de realizar de acuerdo con las especificaciones en plano y con el control de calidad que amerita. Es por esto que se eligieron las actividades de acero con mayor importancia.

Tal como se muestra en el cuadro 1, las actividades de mayor impacto en el proyecto corresponden a entrepisos, vigas y muros con un costo aproximado de 9 443 990 colones, 7 991 765 colones y 10 878 615 colones, respectivamente.

Las actividades anteriores son de gran importancia para el proyecto debido a que estas representan un alto porcentaje en el desarrollo de la obra gris, también porque son elementos esenciales en la estabilidad de los edificios, también fueron clasificadas como críticas considerando el procedimiento de confección, su inversión en mano de obra y la dificultad de corregir en caso de que se presente un error o una modificación estructural de último momento.

Para definir la importancia de las actividades, se describen como vitales a aquellos elementos que brindan soporte estructural a los edificios, tales como los muros y los entrepisos, además, se les da un valor importante a aquellos elementos que en caso de una corrección poseen un nivel de complejidad alto, como lo es la actividad de vigas, pues estos elementos son difíciles de intervenir una vez instalados en el sitio por lo que se procura confeccionar e instalar sin errores.

Además, dichas actividades críticas son las que se realizan con mayor frecuencia durante el proceso de obra gris del proyecto, lo cual es un factor que se puede considerar para realizar modificaciones que afecten de modo positivo en la productividad de las mismas, a su vez un

impacto en la reducción de costos para el proyecto y tiempo de entrega de la obra gris, dando como resultado satisfacciones por parte de las empresas involucradas, así como por parte del cliente.

Estas actividades se encuentran dentro de las actividades vitales por mejorar en aspectos de productividad, las mismas afectan a nivel de costos en aproximadamente un 80% de las actividades de armadura, según se muestra en la figura 8.

Dicha importancia fue complementada con la figura 9, en donde se muestra que, las actividades anteriores son críticas cuando se contempla su costo, dificultad de confección y demás criterios antes mencionados, dado que se encuentran en los más altos valores y rangos.

Es por estas razones que a las otras actividades presentadas en el cuadro 1, no se les realizó el estudio de productividad, pues se consideran como actividades que impactan alrededor de un 20% del costo de armadura, según figura 8 que corresponde al diagrama de Pareto.

Condiciones del entorno

Al inspeccionar el terreno donde se desarrolla el proyecto, se observa que el espacio designado para oficinas y algunas bodegas, cuentan con buenas instalaciones electromecánicas y disposiciones de agua potable, no obstante, existen bodegas muy alejadas, además, los talleres de trabajo cuentan con deficiente iluminación para que el personal desempeñe sus labores con plena satisfacción, según lo indican detalles descritos en el cuadro 4.

Una deficiencia que presenta en el diseño de sitio presentado en la figura 10, es que, la ubicación de las instalaciones temporales que se

encuentran cercanas a la entrada del proyecto, se tendrán que reubicar durante el desarrollo del proyecto de construcción, esto cuando haya un avance considerable del mismo, pues dichas instalaciones que corresponden a oficinas, bodegas, taller de armadura y demás se colocaron en una de las áreas de construcción del proyecto.

Por su parte, los servicios sanitarios y los tubos que sirven como tomas de agua manifiestan insuficiencias en su localización, tal como se indicó el cuadro 4, lo que significa que el trabajador invierte tiempo en el desplazamiento hacia el uso de estos servicios, lo que implica costos por tiempos muertos, esto no sucedería si se encontraran ubicados en zonas estratégicas o bien se aumentaran estas unidades, de modo que el trabajador no se ausente más de lo normal de su lugar de trabajo.

Asimismo, con el vestidor y el comedor de los trabajadores, presentados en la figura 11, los cuales no satisfacen el total de las necesidades del trabajador pues el espacio establecido no tiene la capacidad para albergar a todos los trabajadores en los momentos que se requieren, este aspecto afecta los niveles de trabajo de manera negativa, ya que muchos de ellos optan por ausentarse al menos cinco minutos antes de la hora de descanso y se presentan alrededor de otros cinco minutos después del tiempo de descanso o almuerzo, por la lejanía de las instalaciones.

Al evaluar el terreno, se notó que no existían áreas de seguridad demarcadas o puntos de reunión en caso de emergencia, además, las zonas donde existía algún tipo de riesgo estaban regularmente demarcadas, sin embargo, se rescata que los trabajadores de armadura cumplían íntegramente las normas de seguridad de la empresa y la correcta colocación de los equipos de seguridad, lo cual es una buena práctica en lugares de construcción.

Además, las condiciones generales en las que se desarrolla el proyecto, que se muestran de la figura 13 a la figura 18, indican que, uno de los factores que afectan al personal es la excesiva cantidad de polvo que había en el momento, así como las pendientes que tenía el terreno, las cuales eran desfavorables para el personal.

Por otro lado, se notó que el material de acero no contaba con protección a los agentes climáticos que puedan afectar el mismo, pues se

colocaban en campo abierto, expuestos al sol y a la lluvia, mientras que su elevación respecto al nivel de suelo era escasa, lo que facilitaba la corrosión de las varillas y a su vez, aunque en menor grado, la calidad del acero.

Se realizó un análisis de los movimientos que realizan los trabajadores en el taller de armadura así como de las distancias de las zonas de operación del mismo, el cual se detalló en la figura 19 y figura 20, el diagrama de recorrido se elaboró bajo los movimientos de un solo trabajador realizando cada una de las tareas bajo la secuencia observada, pero cabe el inconveniente que, no había un solo trabajador designado específicamente para esa zona y para la realización de todas las tareas, sino que se efectúan entre varios, lo que significa que en cierto momento se obstruirán en sus labores.

Como parte de esta evaluación se determinó que, realizando toda la secuencia de tareas para una confección de vigas se tardan más de 10 minutos en tan sólo cortar la varilla, doblar el arco correspondiente y desplazarse de un lado a otro en el taller de armadura.

Uno de los factores que conllevan a estas demoras es que se notó que los trabajadores colocan los elementos de la estructura según su tamaño, pero los elementos están apilados unos a la par de otros, lo que puede llevar a errores por traslape de elementos o demoras por elegir el elemento correcto, estos elementos corresponden a ganchos y arcos.

Mientras que, trasladándose al edificio más cercano (edificio 2A) desde el mismo taller de armadura, se dura aproximadamente dos minutos recorriendo una distancia de unos 60 metros y al más lejano unos cuatro minutos (edificio 5B), recorriendo una distancia de 200 metros aproximadamente, estos valores contemplando sólo la llegada al lugar, tal como se indicó en el cuadro 5.

Además, se identificó que la zona de depósito de residuos o centro de acopio de acero se encuentra a 22 metros del taller de armadura, lo cual es una distancia razonable, además que el mismo depósito se encuentra cerca de la entrada del proyecto, lo cual es beneficioso en las ocasiones donde se deba de recolectar dichos residuos para ser procesados por otras entidades.

Entre las opiniones que daban los involucrados en temas de acero, el taller de armadura se ubicaba en una zona poco

beneficiosa para los trabajadores, pues estaba alejada de los edificios y sitios comunes, ya que ellos debían transportar los elementos debido a que no contaban con máquinas de carga que le facilitarían la labor, además el terreno de construcción contaba con pendientes como ya se mencionó, lo cual implica un cansancio para el personal de armadura y retrasos en los tiempos de transporte.

Para mejorar los tiempos de desplazamiento, el taller de armadura debió de ubicarse en una zona más cercana a la zona de trabajo, se estimó el recorrido si el taller hubiese estado en medio del bloque de construcción A y el bloque de construcción B, y se pudo notar que los tiempos de desplazamientos se reducen a la mitad aproximadamente, lo que implica una reducción en el costo de estos tiempos muertos.

Condiciones del ambiente laboral

Al someter a evaluación las condiciones en que se laboraban en el proyecto, esto por medio de encuestas aplicadas al personal (apéndice 1, 2, 3) y observaciones realizadas en el proyecto, se tiene que los trabajadores comparten una buena relación con el encargado del proceso, pues cuentan con información necesaria para la labor, buenos materiales y equipos en la mayoría de los casos, tal como lo demostrado la figura 21, con lo anterior se puede decir que es una buena práctica, además de tener los materiales y equipos de seguridad o bien las herramientas en el tiempo en que se deben de emplear.

Sin embargo, la distribución de la mano de obra no siempre es acertada, pues los encuestados opinan que en ocasiones la cuadrilla está sobredimensionada y en otras existe falta de personal, afectando así, la productividad y calidad de la actividad realizada por mal manejo del recurso humano, otro de los factores que afecta la productividad de las actividades y que se muestra en la figura 21, es que el personal no siempre es el adecuado para las labores, pues no cuenta con la habilidad o experiencia necesaria para la labor.

En cuanto a la metodología que se aplica para desarrollar las labores referentes a su

campo, se encontró que, la mayoría de las obras del proyecto son realizadas mediante subcontratos (figura 22); a pesar que el rendimiento, calidad o costo son algunos de los criterios de escogencia de los mismos, según encuesta aplicada al ingeniero responsable de la obra (apéndice 3), estos terminan afectando a la empresa en gran medida.

Del mismo modo, la empresa en ocasiones retrasa a los subcontratistas, al no terminar a tiempo sus labores, o realizar modificaciones a destiempo de las actividades, esto se reflejó en la figura 23; en temas de armadura, estos se ven obligados a destinar el personal hacia labores que aún no deben ser ejecutadas, con el fin de adelantar trabajos, pudiendo verse afectadas en temas de calidad dichas labores, cometer errores en la armadura por afectaciones del personal de la empresa o bien en afectar a la empresa constructora en temas de pérdida por sobreproducción.

También se muestra en la figura 24, la corrección de actividades está presente aún en este proyecto en un 80% aproximadamente, las tres principales causas de estas correcciones se presentaron en la figura 23.

De acuerdo con la figura 25, las modificaciones de los planos, son el mayor factor que afecta de modo negativo a la productividad de las actividades, se indica en dicha figura que representan el 46% de las causas de corrección, pues aparte de tener que realizar los cambios que se indican al inicio del proyecto, los trabajadores deben de invertir tiempo en reuniones extraordinarias para conversar el asunto de las modificaciones, cuando se pudo haber acordado con antelación para no incurrir en errores.

Otras de las causas de las correcciones de actividades, es el descuido de los trabajadores, un encargado que omitió comunicar detalles a sus trabajadores, un ayudante que olvidó colocar un elemento en la estructura, son ejemplos de descuido por parte de los involucrados en la actividad o bien una información que se brinda en forma confusa también es causa de error, según resultado de las encuestas aplicadas.

Por otro lado, una de las causas de baja productividad de una actividad es el nivel de satisfacción del trabajador y, en cuanto a las áreas designadas para realizar la labor, también se tienen inconvenientes, pues la zona se percibe como desordenada, mal acomodo de los

elementos tanto a nivel del taller de armadura como en la propia zona de construcción de los edificios, lo anterior de acuerdo con la figura 26.

En la figura 27, se demostró que la mayor causa de baja productividad resultó ser el factor clima con un 12% del total de los encuestados, pues se trabajaba en un rango de 24°C a 29°C aproximadamente, lo cual agotaba a los trabajadores en general, como segundo factor se encontró las dimensiones del espacio de trabajo en un 11%, pues estos espacios eran reducidos y luego las distancias de transporte del material con un 10% del total de los encuestados.

Acumulando tantos aspectos negativos, los trabajadores a lo largo del día se indisponían a sus labores, disminuyendo los niveles de productividad de las actividades.

Entre otras causas que afectan la productividad se encuentran la falta de organización en los pedidos de elementos al banco de armadura, depósitos de elementos de armadura terminados inexistentes, por ejemplo, depósitos para los distintos tipos de aros y que no haya confusiones a la hora de solicitar uno de ellos, también existe los efectos que se dan a causa de la rotación del personal, todo esto se demostró en el diagrama de causa y efecto (Diagrama de Ishikawa) para la baja productividad presentado en la figura 28.

Aunque en este proyecto no se presentan problemas de materiales y equipos, podría resultar una posible causa de baja productividad, como el desperfecto de herramientas, baja calidad de los materiales y equipos, la ausencia de mantenimiento a los equipos puede retrasar las obras en el proyecto.

Productividad de las actividades

Para realizar este estudio de productividad, a cada actividad crítica seleccionada se le aplicaron tres técnicas de medición de productividad, a saber: Work Sampling, Five Minute Rating y Crew Balance.

Las mediciones se realizaron en tanto en el taller de armadura, para vigas, como en el sitio de construcción de los edificios, para las actividades de entepiso y muros.

Estas mediciones variaron en los días y horas, con el fin de conseguir el comportamiento de los trabajadores durante la jornada lo más aproximado posible.

Se realizaron entre tres y seis mediciones de cada técnica para cada actividad en estudio, al no establecer un número de cuadrilla fijo para realizar las actividades, se notó una alta variedad de la cuadrilla en un margen de tiempo relativamente corto, lo cual afecta la productividad de la actividad.

Confección de armadura de losas de entepiso.

Respecto a las mediciones realizadas con la técnica Work Sampling aplicada a la actividad de entepisos, y de acuerdo con los cuadros y figuras presentadas en la sección de resultados, se obtiene una menor productividad cuando se evalúa las labores en una cuadrilla con 12 trabajadores, dando como resultado un 59% de personas que trabajaron durante el tiempo de observaciones, esto se puede deber a factores como exceso de personas en la cuadrilla, el cansancio acumulado durante el día, pues la medición se realizó durante horas de la tarde, entre otras.

Del mismo modo, se realizaron mediciones en horas de la mañana, cuando las cuadrillas eran de alrededor de seis personas y los resultados de productividad fueron de menos del 65%, lo cual está dentro de lo regular, sin embargo, al realizar mediciones entre 7 y 8 personas en la cuadrilla, se lograron valores de productividad mayores a un 65%, estas observaciones realizadas durante el proyecto tienen en su mayoría un 95% de confiabilidad.

Por lo que, según el estudio de productividad realizado con la técnica Work Sampling y los resultados mostrados en la figura 31, el mayor porcentaje de personas trabajando, se da cuando la cuadrilla está compuesta por ocho (8) trabajadores, pues con un número mayor o menor a estos ocho trabajadores, la productividad disminuye y se presenta el riesgo de una cuadrilla sobredimensionada o bien que sea tan pequeña que los trabajadores no logren terminar la labor impuesta en el mismo tiempo y con el mismo rendimiento.

Este valor de trabajadores por cuadrilla, se confirmó utilizando la técnica Five Minute Rating, pues analizando los valores mostrados en la figura 32 y 33, así como los cuadros que contienen las condiciones bajo las que se realizaron las mediciones, se tiene que, los valores máximos de productividad se obtienen cuando se presentan cuadrillas compuestas por ocho personas, pues se llegan a porcentajes de productividad por encima del 70% aun en condiciones adversas, como trabajar en temperaturas que sobrepasan los 25°C y en el edificio más lejano al taller de armadura, donde se encuentran los elementos y materiales que se deben de transportar para conformar el entrepiso.

Inclusive, con una cuadrilla se obtienen valores de productividad aceptables, pues los mismos se acercan al 65% de personas trabajando durante el tiempo que se realizó la toma de información con Five Minute Rating; mientras que, con una cuadrilla de 6 personas promedio, los valores de productividad, nuevamente disminuyen hasta rondar el 60%, esto se obtuvo a pesar de la medición se realizó en horas de la mañana, cuando los trabajadores aún cuentan con la suficiente energía, esta medición se pudo ver afectada por la lejanía del edificio en que se estaba trabajando, pues este era el más lejano al taller de armadura, donde se encontraban los elementos que constituían el entrepiso.

Por lo que, en la figura 34 mostrada en la sección de resultados, se reflejó que la mayor productividad se da cuando se tiene una cuadrilla de 8 trabajadores.

En la figura 35, se mostró la convergencia entre las mediciones hechas por las dos técnicas antes mencionadas, lo que da un nivel de confiabilidad de los datos que se obtuvieron aplicando Work Sampling y Five Minute Rating a las cuadrillas de armadura. Estos valores resultaron de un promedio de personas observadas en los tiempos de medición, pues en la cuadrilla, las personas se ausentaban por algún tiempo, ya sea por otras labores asignadas, por necesidades fisiológicas o bien por la necesidad de transportar material al sitio.

Del mismo modo, se presentan los resultados obtenidos aplicando a las cuadrillas de trabajo la técnica conocida como Crew Balance, los cuales se muestran por medición realizada.

Para la medición # 1, de acuerdo con los cuadros 18, 19 y las figuras 34, 35; el trabajo

productivo obtenido en una cuadrilla de 6 personas es de aproximadamente 54%, los cuales se invierten en tareas como colocar los elementos en el sitio o el doblar las varillas para terminar de conformar el entrepiso, no obstante, un alto porcentaje de tiempo se dedicaron a acciones como la espera, ya sea espera por materiales, espera a que un compañero terminara su labor para poder continuar, entre otros, lo cual no beneficia a la cuadrilla en sí. Otro factor que contribuyó a tener una productividad baja, fue la lejanía del lugar con respecto a la armadura, pues uno de los trabajadores pasó una gran parte del tiempo ausente por razones de acarreo de material, lo que aumentó el trabajo no contributivo o bien llamado, trabajo no productivo.

Para la medición número dos, se obtuvo de igual manera, un alto porcentaje de trabajo no productivo, en el que tuvo un gran porcentaje las ausencias, en este caso por razones desconocidas, pues cuando regresaban no traían material o equipo necesario consigo, sino que se disponían a observar, lo que se clasifica también como trabajo no productivo, esto se puede deber a que la cuadrilla estaba sobredimensionada pues se contaba con 10 trabajadores en la cuadrilla, tal como se muestra en los cuadros y figuras que respectan a esta medición.

Con la medición número tres, se obtuvieron buenos resultados, pues en la mayor parte del tiempo observado se dedicó a tareas de trabajo productivo como lo es la colocación de armadura en sitio, tal como se mostró en el cuadro 23 y se complementa con la figura 41 que muestra el porcentaje de tiempo acumulado por trabajador para cada actividad que realizan los mismos, esto a pesar de ser en un edificio alejado

Respecto a la medición número 4, se tiene que, de acuerdo con la información mostrada en los cuadros y figuras respectivas, se redujo el trabajo no productivo en un 19%, mientras que la productividad de la actividad fue de un 60% básicamente invertida en la colocación de armadura en el sitio donde se realizaba la medida (edificio 7A); por su parte, el trabajo contributivo fue de un 21%, donde el 16% se dedicó a la limpieza del material, y en esto tuvo mucha participación uno de los 7 trabajadores observados.

Posteriormente, en la medición 5, se obtuvo un trabajo productivo de un 60% aproximadamente con una cuadrilla de 8 personas, las tareas que tuvieron mayor

participación fueron la colocación de la armadura en sitio y en las tareas de trabajo contributivo fue la nivelación de las varillas, mientras que en el trabajo no productivo se dieron acciones como ausentismo del lugar de observación, personas esperando para realizar sus labores, entre otras.

De la misma forma como se observó en los gráficos del balance de cuadrillas, se notó que la mayor parte de los trabajadores realizan una labor efectiva y productiva.

Finalmente, en la medición número seis, se observaron 8 trabajadores que dieron un trabajo productivo de un 55% aproximadamente, en labores contributivas de un 25% centrados en tareas como la limpieza de las varillas y la clasificación de material para un mejor acomodo del lugar, sin embargo, las ausencias y esperas aportaron un gran porcentaje al trabajo no productivo, acciones que se dieron con varios trabajadores.

Con los porcentajes de trabajo productivo mencionados en párrafos anteriores, se estima que la mayor productividad se ofrece cuando se tiene 8 personas en la cuadrilla,

Confección de armadura de vigas

Para las mediciones correspondientes a la actividad de la confección de las vigas del proyecto, por el contrario de los entrepisos, para lograr un mayor porcentaje de productividad se requiere de menos trabajadores en la cuadrilla, lo cual tiene su fundamento en que el espacio donde se realiza este elemento es reducido, cuentan con sólo una guillotina para el corte de varillas y con sólo una dobladora mecánica.

En ocasiones se conseguía un número de cuadrilla muy grande, esto es debido a que los trabajadores que se presentaban al sitio en ocasiones llegaban a interrumpir la labor, en otras ocasiones realizaban funciones que les correspondían a los trabajadores que estaban en la cuadrilla que se estaba midiendo.

Se presentaron también situaciones en que un trabajador dedicaba su tiempo a confeccionar los aros y ganchos que se necesitaban para el elemento, lo cual ayudaba con la confección de las vigas, dado que los demás obreros sólo se dedicaban a armar la estructura sin preocuparse de la confección de ganchos o aros, pues sólo

debía escoger de la zona donde se colocaban, los elementos correspondientes a la viga que se estaba armando.

Lo anterior se fundamenta con la información que se presentó en los resultados que se obtuvieron de las técnicas Work Sampling, Five Minute Rating y Crew Balance.

Considerando los resultados presentados por la técnica Work Sampling, se pudo determinar que, el número óptimo de trabajadores en la confección de armadura debe de ser de cinco personas, logrando un porcentaje de personas trabajando de un 76% durante la mañana y durante la tarde, esto según los resultados de las mediciones 3, 4 y 5 realizadas con dicha técnica.

Del mismo modo, la medición 2, indicó que la productividad disminuye en casos donde se excede la cuadrilla de trabajo, como en este caso, trabajar con 9 personas resultó perjudicial pues la productividad dio porcentajes de un 73%, el cual aún es aceptable, pero en un espacio tan estrecho se trabaja mejor con menos personas.

Por su parte, las mediciones realizadas con la técnica conocida como Five Minute Rating, complementaron los datos discutidos anteriormente; pues cuando se midió a cuadrillas compuestas por 5 personas los porcentajes rondaron en un 78% de personas trabajando, dichos porcentajes se mantuvieron tanto de mañana a unos 27°C de temperatura como en la tarde con 29°C, en días distintos y soleados. Mientras que, si se aumentaba estas cuadrillas a un valor de 7 personas, tal como se presentaron en las mediciones 4, 5 y 6, la productividad se reduce a un 75% lo cual es aceptable de acuerdo a la teoría en donde se indica que la proporción de productividad en los ámbitos de construcción alcanza proporciones de un 40-60% pero no es tan efectiva como si se tuviese 5 personas en el taller de armadura trabajando con las vigas.

Considerando la figura correspondiente a la comparación de las mediciones ejecutadas con Work Sampling y con Five Minute Rating (Fig. 54), en donde ambas se asemejaron y dieron una mayor confiabilidad a la información brindada, se establece que la mayor productividad se consigue disponiendo de una cuadrilla con 5 trabajadores.

Por otro lado, estudiando los resultados por el método de Crew Balance, en la medición 1, que se realizó con tres trabajadores en cuadrilla, se obtuvo un trabajo no contributivo de un 14% esto, en gran mayoría por la espera de preparar

los elementos que conforman la viga, más que todo a la espera de los aros correspondientes.

Mientras que en la medición 2, se realizó cuando en el taller de armadura había 5 personas, es decir, una cuadrilla de 5 trabajadores, en la misma se determinó que el trabajo productivo alcanzado fue de un 54% y el contributivo de un 19% según se indica en la figura 57, sin embargo, el trabajo no productivo se acerca al 27% en la que la mayoría se debió a ausentismos.

En la figura 58 se pudo notar que el trabajador 1 se concentró en preparar los elementos que se requerían para la creación del elemento, lo cual ayudó a que cada uno de los restantes trabajadores se ahorrara esos minutos y sólo se concentrarán en terminar el elemento en cuestión.

Por su parte, en la tercera medición, realizada en horas de la tarde y con temperatura superior a los 25°C; se tiene un trabajo productivo del 54% aproximadamente junto con un trabajo contributivo de un 31%, en donde la mayoría de las tareas se dedicaron a la confección de armadura, a preparar los elementos que la conforman y a la clasificación de material, mientras que el trabajo no contributivo arrojó un 15% que fue invertido en conversaciones o esperas, todo esto basado en los cuadros y figuras correspondientes a esta medición. (Cuadros 46, 47 y figuras 59, 60).

Confección de armadura de muros

Respecto a la información que se obtuvo aplicando la técnica Work Sampling a la actividad de armado de muros, la cual se presentó en la sección de resultados (cuadros 48-53 y figuras 61-63), se tiene que, teniendo en el lugar de trabajo una cuadrilla de 6 personas, se consiguió una productividad alrededor de un 70%, rindiendo mayormente en horas de la mañana.

Por otro lado, en los casos donde las cuadrillas fueron más de 6 personas, la productividad de las mismas se vio afectada de manera negativa, se obtuvo valores que de aproximadamente 63% para cuadrillas de 7 y 8 personas, mientras que, para un grupo de trabajo con 9 personas, la productividad descendió en gran manera a un 51%, a pesar de que las condiciones laborales no eran tan adversas, pues

se realizó la medida en horas de la mañana y la temperatura fue de 26°C.

Para el caso de los datos dados, utilizando la técnica Five Minute Rating, tomando en cuenta los cuadros 54-59 y las figuras 64-66; se determinó que el grupo de trabajo también debe ser de 6 personas, pues para las mediciones en donde se contó con esta cantidad de trabajadores, la productividad rangos entre 69% y 73%, siendo las condiciones de la localidad cercanos a 27°C de temperatura, en climas soleados. Por su lado, para las mediciones donde se contaba con más de 6 personas, la productividad disminuyó, siendo la más baja de un 62% para un total de 8 personas.

La razón de esta disminución se puede encontrar en que la longitud del muro y el espacio de trabajo no permite a muchas personas realizando actividades que traten de conseguir el mismo objetivo, pues se debe tener en cuenta que, también hay personas de otras áreas, como de la parte electromecánica, las cuales también se esfuerzan por terminar sus labores.

Al comparar los datos obtenidos en las mediciones de ambas metodologías (Fig. 67) se nota que ambas logran alcanzar una productividad superior a 70%, este máximo valor se logró con una cuadrilla de 6 personas medidas a una temperatura alrededor de 28°C.

En el caso de la actividad evaluada por la técnica Crew Balance, se observa que en la medición 1, el porcentaje de trabajo productivo estuvo alrededor de un 59%, lo cual es beneficioso; sin embargo, el porcentaje de trabajo no productivo fue de 32%, el cual es un valor alto, esto tuvo razones en que la mayor parte del tiempo observado el trabajador 1 se ausentó del lugar de trabajo por razones diversas (Fig. 69), lo que implica que la cuadrilla estaría en condiciones de trabajar con 6 personas.

Para la medición 2, se contaba con 8 personas en la cuadrilla, lo que dio un trabajo productivo de un 57% desarrollando labores de colocación de la armadura básicamente, no obstante, el valor del trabajo no contributivo al igual que la medición 1, se encontró alto, pues este fue de un 35% que se distribuyeron en acciones como ausencias del personal, conversaciones entre los mismos trabajadores y esperas, por lo que no se recomienda esta cantidad de trabajadores en la cuadrilla.

En la medición 3, nuevamente se presentó un valor alto de trabajo no productivo, siendo este

de un 30%, donde el mayor porcentaje se debió a ausencias del personal. Asimismo, resultó en la medición 4 realizada con la técnica Crew Balance, en donde las ausencias tomaron participación en un 17.4%, con 7 trabajadores en cuadrilla para estas dos mediciones.

Mientras que en la medición 5 realizada con esta técnica, el trabajo productivo fue de un 61%, lo cual es un porcentaje elevado y beneficioso para la empresa, esta medición resultó de una cuadrilla de 6 trabajadores, lo que corresponde a un valor de cuadrilla coincidente con los resultados por parte de la técnica Work Sampling y Five Minute Rating; también se logra reducir el valor para el trabajo no contributivo en un 22% pero en este caso no hubo ausencias, este valor se debió a conversaciones entre los mismos trabajadores y a las esperas; por su parte el trabajo contributivo se presentó en un 17% con tareas como la limpieza de varillas, la medición de las mismas para alinear los siguientes elementos y la descarga y transporte de material.

Propuesta de mejoramiento

Equipo

Como parte de las mejoras que se deben de efectuar en la obra constructiva, es la implementación de equipos que faciliten las labores de los empleados, buscando una reducción respecto a las fatigas de los mismos.

De igual manera, es conveniente colocar a personal altamente calificado para manipular los equipos y herramientas de alto riesgo, de modo que la curva de aprendizaje no se extienda por mucho tiempo.

Por otro lado, aunque no se realizaron mediciones de mantenimiento, es aconsejable que se confeccione un calendario de mantenimiento a los equipo y herramientas de modo que no afecte con las labores de la empresa, esto con el fin de lograr un buen rendimiento de los posibles equipos o herramientas nuevas, así como de aquellos equipo o herramientas que están en uso durante este proyecto.

Mano de Obra

Respecto a la mano de obra, las capacitaciones y charlas de inducción iniciales resultan de provecho para la empresa, pues el personal está en el alcance de mejor competitividad en las labores designadas, tal como se describió en la sección de resultados respecto a las mejoras que son posibles de realizar en el proyecto en cuestión.

Las motivaciones, programas de integración del personal y contar con una clara cadena de mando son prácticas que se deberían implementar en la metodología de construcción de este proyecto, pues estos cambios son los que elevan la productividad en el proyecto, al reconocer el trabajo de un empleado, este se siente importante, esencial y su nivel de satisfacción en el proyecto mejora, mejorando las labores de su trabajo, así como influenciando a los demás compañeros a realizar un trabajo con excelencia.

También, es importante la asignación de supervisores de cuadrilla, que controlen las labores que se realizan con el fin de disminuir los errores debido a descuidos, ya que esto optimiza aún más el tiempo, y así se puede asignar esta cuadrilla a otras labores en menor tiempo del que se tiene actualmente en el campo.

Organización del sitio

En cuanto a la organización del sitio, es de buen nombre realizar las planificaciones de las posibles ubicaciones de las obras temporales con anticipación.

Se presentó en la figura 78, una mejora a la estructuración del taller de armadura, en cual se observó que la secuencia de tareas es fluida y no habría problemas o bien inconvenientes por obstrucción del paso de los mismos trabajadores o bien de los elementos que se encuentran ahí colocados.

La guillotina se procedió a colocar de modo que los trabajadores no deban de rodearla para proceder a doblarlas y seguir con los pasos de confección de armadura que se realizan en este sitio.

Por su parte, el lugar del taller de armadura donde se encuentra actualmente no es el adecuado, debido a la lejanía de los lugares de

interés y debido a que se debe de reubicar durante el desarrollo del proyecto, por lo que en la figura 79, se presentó la mejor opción de ubicación respecto al área total del proyecto y de las etapas que se estaban construyendo en ese momento, se mostró que el mismo es provecho ubicarlo en medio de los edificios, pues existe el espacio suficiente para el pasó de maquinarias de cualquier género; además, la oficina y bodega que corresponde al subcontrato de la armadura también se deberían de reubicar cerca de este taller de trabajo pues esto disminuye los tiempos de transporte.

Cabe destacar que en esta nueva ubicación favorece a la productividad, pues se establecen cerca de los edificios de interés, de los vestidores y también del comedor de trabajadores, lo que implica una reducción en los tiempos muertos que se presentan con la ubicación de este taller cerca de la entrada del proyecto.

Reestructuración de los procesos.

Como parte del plan para mejorar la productividad, se formuló unos diagramas de flujo básico, que representan los pasos por seguir según la actividad, esta herramienta es de gran ayuda debido a que busca orientar a los trabajadores a realizar sus labores con mayor fluidez.

En la figura 80, se observó que, en el proceso de confección de entepiso, luego del armado de cada elemento se debe de diferenciar de manera clara de los otros que se están confeccionado para no cometer errores por confusión de elementos; también debe de existir una limpieza previa a la chorrea de cada elemento para no incurrir en acabados de baja calidad. Para llevar a cabo la chorrea de los elementos se debe de efectuar las tareas correspondientes, las cuales no fueron mencionadas por el hecho de que les correspondían a otras cuadrillas.

Por su parte, en el diagrama para la confección de vigas (Fig. 81) se observó que luego de inspeccionar armadura se deberá de limpiar de impurezas y clasificar los residuos de la zona para depositarlos en el centro de acopio respectivo, esta acción garantiza que la zona de trabajo se mantendrá limpia y ordenada como también que el elemento llevará la calidad que se necesita para ofrecer una buena resistencia.

También deberá existir personal encargado de inspeccionar el elemento antes de que sea trasladado del taller de armadura al sitio de interés y antes de que se lleve a cabo la chorrea, para que no existan atrasos por modificaciones de los mismos, mejorando así la productividad respecto a costos por modificación de elementos o corrección de errores, así como una mejora en el tiempo de entrega de las actividades.

Del mismo modo, para el diagrama de flujo para muros mostrado en la figura 82, se deberán tener las mismas prácticas de limpieza y cuidado, antes de colar los elementos, también se debe de inspeccionar de acuerdo a las últimas especificaciones con el fin de mitigar cambios o reparaciones en dichos muros y de optimizar el tiempo.

También se debe de colocar en su sitio los residuos pertenecientes al acero, pues esto es una buena práctica de limpieza, orden y cuidado del ambiente.

Conclusiones

- Los procesos de mayor impacto a la empresa constructora en el área de acero, fueron las actividades de vigas, entrepisos y muros, pues ellas representaban cerca del 80% del costo total del acero.
- La deficiente o nula planificación de las obras temporales, conllevará a corto plazo a gastos por el traslado de las obras que se deben de reubicar por estar en zonas de construcción, como lo es el taller de armadura, las oficinas, sala de reuniones, entre otras.
- Al estudiar en temas de productividad las actividades elegidas, las mismas se acercaron al rango de productividad promedio en la construcción, el cual es de 40-60%, según Oglesky, Parker & Howell (1988). Aun así, los niveles de tiempo contributivo y no contributivo se pueden mitigar reorganizando al personal y designándolos a cuadrillas fijas.
- Se detectó que el diseño del sitio de este proyecto produjo que los tiempos para transportar material y para desplazarse de una zona a otra fueran bastante elevados, esto provocado por la lejanía de los materiales encontrados en el taller de armadura con respecto a las áreas de interés.
- Al analizar la secuencia de los procesos para cada actividad, se detectaron tareas necesarias que no estaban contempladas en un inicio, como clasificar de manera clara el elemento elaborado, o inspeccionar el elemento en temas de especificaciones antes de su instalación, por lo que es una buena práctica establecer los métodos y pasos a seguir para desarrollar la actividad con antelación, esto disminuirá los tiempos de producción.
- Durante el análisis de comportamiento de los trabajadores se demostró que los mismos tienden a abandonar sus labores para llegar a tiempo a las zonas comunes. Por lo que, mantener un control del personal y ubicar estas zonas con mayor cercanía a la zona de trabajo eleva la efectividad de las labores y disminuye los costos por tiempos muertos.
- El evaluar regularmente la efectividad de los proyectos en temas de tiempo de producción y calidad contribuye a obtener un panorama de la metodología que se está empleando y esto facilita la toma de decisiones de acciones correctivas a tiempo.

Recomendaciones

- Documentar las productividades máximas obtenidas por cada cuadrilla y establecer un número específico de trabajadores por cuadrilla para cada actividad con el fin de obtener una labor eficiente y con la más alta productividad.
- Para conseguir una mayor eficiencia en las actividades estudiadas en este proyecto, se debió de planificar de manera adecuada y anticipada la ubicación de todas las obras temporales del proyecto, específicamente de las oficinas, bodegas, taller de armadura, entre otras, esto evita tener que reubicar las obras temporales durante la construcción del proyecto por motivos que se ubicaban en parte de la zona de construcción.
- Realizar charlas de inducción y capacitación a los trabajadores acerca del manejo de las maquinarias facilitará la realización de las tareas de manera eficiente.
- Coordinar con los responsables de la obra para definir el mayor porcentaje de modificaciones a los planos con anticipación al proyecto, para evitar contratiempos por errores o reuniones de acuerdos innecesarios.
- Acondicionar los talleres de trabajo de manera adecuada para mitigar los efectos que se puedan sufrir por las condiciones del clima, o bien por las condiciones del terreno donde se encuentra el proyecto.
- Evaluar a los trabajadores de manera regular durante la construcción de la obra, en temas de desempeño de las tareas asignadas, así como reconocer los logros del trabajador o cuadrilla más sobresaliente, ya que este es un método de motivación del personal que favorece a mejorar la efectividad de cada trabajador respecto a su desempeño.
- Desarrollar una planificación de las actividades realizadas por las cuadrillas de cada subcontratista y de la empresa, de modo que no se afecten entre sí.
- Manejar un control adecuado en la solicitud de elementos de armadura, con el fin de evitar olvidos o retrasos en la salida de los pedidos.
- Realizar una planificación con respecto al mantenimiento y calibración de los equipos, incluyendo inspecciones antes y después de su uso.
- Implementar las mejoras planteadas, para contribuir a una mayor productividad en obra, tales como los cambios en la metodología de diseño o bien, el reacondicionamiento del taller de armadura.
- El almacenaje al aire libre de los materiales de acero, conlleva a que el mismo adquiera impurezas, afectando su calidad. Por lo que, se debe designar un lugar techado y sin que se tenga contacto con el suelo.
- Realizar una selección previa de los posibles candidatos a trabajadores de la construcción, a través de cartas de recomendación que fundamenten la experiencia en la realización de tareas y actividades que se ejecutan en la construcción de armadura, esto favorece a que las cuadrillas estén capacitadas para la labor encomendada.

Apéndices

A continuación, se presentan 2 apéndices, los cuáles muestran la siguiente información:

- Apéndice 1: Formato de encuesta de productividad en las actividades de la construcción aplicada a trabajadores en armadura.
- Apéndice 2: Formato de encuesta de productividad en las actividades de la construcción aplicada a subcontratistas.
- Apéndice 3: Formato de encuesta de productividad en las actividades de la construcción aplicada a ingeniero responsable.
- Apéndice 4: Resultados de las técnicas de productividad aplicadas.

Referencias

- Botero, L; Álvarez, M. (2003). *IDENTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA CONSTRUCCIÓN*. UNIVERSIDAD EAFIT. No. 130: pp.65-78.
- Botero, L; Álvarez, M. (2004). *GUÍA DE MEJORAMIENTO CONTINUO PARA LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE VIVIENDA*. UNIVERSIDAD EAFIT. No.136: pp.50-64.
- Cantú, A et. al 2009. **PRODUCTIVIDAD REAL EN OBRAS CIVILES. ANÁLISIS DE UN CASO**. Extraído el 15 de Abril de 2016 desde: <http://docplayer.es/15571850-Productividad-real-en-obras-civiles-analisis-de-un-caso.html>
- Galarza, M. (2011). **DESPERDICIO DE MATERIALES EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN CIVIL: MÉTODOS DE MEDICIÓN Y CONTROL**. Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. p.89
- Leandro, A. (2008). MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS. **TECNOLOGÍA EN MARCHA**. 21(No.4): pp.64-68.
- Leandro, A. (2015). **APUNTES DEL CURSO "DISEÑO DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS", IMPARTIDO EL I SEMESTRE DEL 2015**. Cartago: TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.
- Oglesby, C et. al 1989. **PRODUCTIVITY IMPROVEMENT IN CONSTRUCTION**. New York: McGraw Hill.
- Serpell, A. (1986). PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN. **INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN** (No.1): pp.53-59.