

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción

Estudio de Rendimientos y Control de Costos en la Construcción de Muros de
Gaviones

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

Dany José Hernández Quesada

Cartago, Setiembre 2019.

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. Juan Carlos Coghi Montoya, Ing. Alonso Poveda Montoya, Ing. Milton Sandoval Quirós, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director



Ing. Juan Carlos Coghi Montoya.
Profesor Guía



Ing. Alonso Poveda Montoya.
Profesor Lector



Ing. Milton Sandoval Quirós.
Profesor Observador

Estudio de rendimientos y control de costos en la construcción de muros de gaviones.

Abstract

Below is a report covering productivity issues and labor returns such as cost control and timeframes for the construction of a gabion wall produced in Playa Naranjo, Puntarenas.

As part of the scope of the project, a detailed budget of the gabion wall is carried out, which has a size of 490 m³, a study of labour productivity using Crew Balance and Work Sampling techniques, a study of the performance of the hand of o by wall construction height level and cost control developed using the earned value management technique to obtain information on how expenses and deadlines are developed with respect to budgeted.

Finally, a proposal for improvement was put forward by drawing up a budget with the information of returns obtained and without outsourcing the labour force to another company.

As results it was obtained that the work crew presents a productive work in a range between 60% and 80% in all samples obtained classifying in a normal range according to Botero 2002.

Labor performance increases by 30% for the second level compared to the first level and 15% for the third level compared to the second level.

The project presented a deficiency over the study weeks in terms of terms of time and an increase in actual costs compared to the budgeted.

Keywords: Productivity, yields, gabion walls, cost control, crew balance, work sampling, earned value management.

Resumen

A continuación, se presenta un informe el cual abarca temas de productividad y rendimientos de la mano de obra y el control de costos y plazos de la construcción de un muro de gaviones elaborado en Playa Naranjo, Puntarenas.

Como parte del alcance del proyecto se realiza un presupuesto del muro de gaviones el cual posee una dimensión de 490 m³, un estudio de productividad de la mano de obra por medio de las técnicas de Crew Balance y Work Sampling, un estudio del rendimiento de la mano de obra por nivel de altura de construcción del muro y un control de costos elaborado por medio de la técnica de gestión del valor ganado para obtener información de cómo se desarrollan los gastos y los plazos con respecto a lo presupuestado.

Por último, se planteó una comparación de presupuestos con base en la información obtenida en este proyecto, analizando el costo del proyecto subcontratando y sin subcontratar la mano de obra con otra empresa.

Como resultados se obtuvo, que la cuadrilla de trabajo presenta un trabajo productivo en un rango entre el 60% y el 80% en todas las muestras obtenidas clasificándose en un rango Normal según Botero 2002.

El rendimiento de la mano de obra aumenta en un 25% para el segundo nivel comparado con el primer nivel y un 12% para el tercer nivel comparado con el segundo nivel.

El proyecto presentó una deficiencia a lo largo de las semanas de estudio en cuanto a plazo y un aumento de los costos reales comparado con lo presupuestado.

Palabras clave: Productividad, rendimientos, muros de gaviones, control de costos, crew balance, work sampling, gestión del valor ganado.

Estudio de rendimientos y control de costos en la construcción de muros de gaviones.



Estudio de rendimientos y control de costos en la construcción de muros de gaviones.

DANY JOSÉ HERNÁNDEZ QUESADA

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

Julio del 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	4
Marco Teórico	5
Metodología	16
Resultados	18
Análisis de los resultados	55
Conclusiones.....	64
Recomendaciones	66
Apéndices	67
Anexos	73
Referencias	77

.

Prefacio

El presente proyecto se dividió en dos la problemática presentada por la empresa, por un lado, se encuentra la falta de control de costos y plazos en la construcción de muros de gaviones y por el otro se realizó un estudio del rendimiento y la productividad de la mano de obra en este tipo de construcciones debido que, por la forma de trabajo de la empresa, no se maneja este tipo de información lo cual es importante conocer.

Si bien es cierto hoy existe mucha información y tecnología para la administración de proyectos constructivos, en algunos sectores del gremio las aplicaciones de técnicas para control de obra son mínimas ya que es común pensar que, por el tipo de obra, al ser un proyecto de una baja magnitud no se presenta mucho personal ni recursos, por lo que no se le aplica un adecuado control. Es por esto que se plantea el primer problema donde se aplicó un control de plazos y costos de construcción por medio de una técnica sencilla y que brinda una información valiosa llamada Gestión del Valor Ganado (GVG).

Es clave mencionar que una de las partes más importantes de todo el proceso de construcción es la planeación, es decir, a partir de esta se desarrolla el proyecto por lo tanto es crucial prestar atención durante esta etapa debido que será la línea base del proyecto, por lo tanto, como parte de este estudio se desarrolló un presupuesto y una programación de la obra debido que estos juegan un papel fundamental en el desarrollo de un proyecto.

La segunda parte del proyecto abarca la medición de los rendimientos de la mano de obra junto con un estudio de la productividad igualmente de la mano de obra, este estudio es planeado para obtener la información necesaria para que la empresa el día de mañana pueda optar por cambiar su estilo de trabajo de ser necesario con el fin de mejorar utilidades y hacer de sus licitaciones más competitivas.

Agradecimientos

Agradezco a mi familia y amigos que siempre me apoyaron a seguir adelante e hicieron de esta etapa de mi vida muy placentera, pero principalmente, a mis padres que me apoyaron tanto emotivamente como económicamente a lo largo de toda mi vida como estudiante y durante la elaboración de este proyecto de graduación.

A mi profesor guía Juan Carlos Coghi por guiarme y aconsejarme durante todo este proceso.

A los ingenieros de Maccaferri quienes me ayudaron de alguna u otra forma, pero en especial al ingeniero Cristian Mata que me brindaron la oportunidad de elaborar este proyecto dentro de la empresa y me facilitaron la información necesaria para poder desarrollar este proyecto.

Por último, agradezco a Dios que me dio la salud, la fuerza de voluntad, la perseverancia y la sabiduría para lograr completar esta etapa universitaria.

Resumen ejecutivo

El siguiente informe muestra una serie de información acerca de un proyecto el cual abarca los temas de productividad, rendimientos y control de costos en la construcción de un muro de gaviones ubicado en el cantón de Puntarenas.

Actualmente, la empresa encargada de la construcción del muro no utiliza algún tipo de técnica para el control de costos ni plazo durante la construcción de los proyectos, además de que la mano de obra es subcontratada, por lo que no se cuenta con información de rendimientos del personal. He de ahí donde se parte para realizar este trabajo.

La primera fase constó de realizar un debido estudio y recopilación de información con la que cuenta la empresa para así mantener una guía de lo que es críticamente necesario y abarcar estas necesidades en el proyecto.

Luego durante la segunda fase se procedió a elaborar un presupuesto detallado, el cual funcionará como línea base para el control de costos que se realizó como fase 4.

Como fase 3 se procedió a la toma de datos en sitio, para esto fue necesario elaborar una serie de machotes para recolectar la información lo más completa posible mostrados en el apéndice A, B y C. Para el caso de la medición de la productividad por medio de las técnicas de Crew Balance y Work Sampling se logró obtener los datos acerca de en qué actividades se distribuye el tiempo de trabajo y comparado con la teoría que tan productiva es la cuadrilla de trabajo. Como resultados se obtuvo, que la cuadrilla presenta entre un 60% y un 80% de trabajo productivo clasificándose como una productividad normal según Botero 2002 (Cuadro 1).

En el caso de los rendimientos de la mano de obra tomados en el sitio, se captaron datos en distintos tiempos del día para ampliar la población de la muestra y así los resultados de la mano de obra se acerquen a la realidad. Para la toma de rendimientos se dividió el proceso constructivo en las actividades más destacadas para así ampliar la información obtenida y ver los rendimientos en síntesis de todo el proceso constructivo. Las

actividades destacadas son: Armado, colocación de geotextil, colocación de formaleta (formaleteo), llenado y costura de cajones. El proceso constructivo incluye un relleno cuyos resultados no se consideran representativos.

Los rendimientos además son tomados por nivel de altura de gavión con el motivo de conocer la afectación de la altura en este tipo de construcciones, por otro lado, la actividad que conlleva mayor consumo de mano de obra es el llenado de cajones.

La construcción del segundo nivel es un 14% más lento que la construcción del primer nivel y la construcción del tercer nivel es un 14% más lento que el segundo nivel dando como conclusión que a mayor altura se presenta un mayor consumo de la mano de obra.

Como fase 4 se realizó un control de costos y plazo por medio de la técnica de Gestión del Valor Ganado. Para la aplicación de esta técnica fue necesaria la elaboración de un presupuesto el cual se realizó en la fase 2 como ya se mencionó anteriormente. Este presupuesto funciona como línea base del proyecto, es decir, fue la información teórica con la cual se compararon los costos reales tomados de la obra.

Durante las 3 semanas de estudio el proyecto mostró datos negativos en cuanto al plazo y costo estimados inicialmente, esto debido a una serie de variables a la hora de la construcción del proyecto las cuales no se tomaron en cuenta en el presupuesto.

Además, en cuanto al plazo se presentaron distintas complicaciones como atrasos por parte de la empresa encargada del relleno y la afectación de un temporal climático el cual influyó en la jornada de trabajo común.

Por último, como quinta fase se planteó elaborar un presupuesto con la información obtenida y compararlo con el presupuesto inicial el cual utiliza un subcontrato de la mano de obra, esto para conocer la funcionalidad de la metodología de trabajo utilizado por la empresa.

A partir del estudio donde por medio de los rendimientos obtenidos se calcula la duración del proyecto y el costo total sin subcontrato se

determina la obtención de un ahorro aproximado de ₡1 178 712 colones, ₡2 406 colones por metro cúbico, en otras cifras un 5% del costo.

Introducción

La rama administrativa de los proyectos de ingeniería civil, es un área que va creciendo constantemente actualizando y creando cada vez más nuevas técnicas que ayudan a mantener el control de las obras, para así identificar deficiencias a tiempo, corregirlas y disminuir el impacto negativo en los proyectos. No obstante, a pesar de esto según Botero la industria de la construcción es uno de los sectores que se ha estancado en cuanto a desarrollo en Latinoamérica, es por esto que comúnmente se le caracteriza a esta área con falta de efectividad y deficiencias. (Botero & Álvarez, 2004)

En el presente proyecto se encontrará información necesaria para mejorar en la administración tanto en la etapa de planificación como en la ejecución de construcciones de muros de gaviones.

Con base en investigaciones previas para conocer la metodología de trabajo de la empresa se identifican aspectos claves que la empresa no toma en cuenta, factores importantes para mantener un buen control de sus proyectos.

Actualmente, la información de rendimientos es nula, esto debido que la empresa subcontrata la mano de obra para la construcción de los muros por lo tanto esta información es necesaria para la correcta estimación de presupuestos y para la determinación de si es rentable o no este tipo de contrato para la empresa.

Además, dentro de este informe se incluye información acerca de estudios de productividad realizados por medio de crew balance y work sampling a la mano de obra en la construcción de un muro de gaviones, donde se evalúa el comportamiento de la cuadrilla en los distintos niveles del muro que se presentan en este tipo de construcción, además, se realizaron múltiples muestras a distintas horas del día para analizar cómo se comporta el personal en cuanto a eficiencia productiva.

Por otro lado, se realiza un conjunto de mediciones las cuales muestran el rendimiento y consumo del personal de las actividades descritas, analizando la variación con respecto a la altura del muro.

Por último, se elabora una plantilla básica para llevar controles de costos y plazos por medio de la técnica de gestión del valor ganado.

Existen registros de múltiples proyectos donde son utilizadas estas técnicas de trabajo, sin embargo, la información obtenida de construcciones de muros de gaviones relacionado a la productividad y rendimientos es muy poca, por lo tanto, este proyecto pretende obtener resultados claves los cuales servirán como información complementaria hacia los temas de productividad, rendimientos y control de costos.

El presente proyecto tiene como objetivo general analizar los rendimientos de la mano de obra y el control de costos en el proceso de construcción de un muro de gaviones.

El primer objetivo específico de este proyecto tiene como fin realizar una investigación del proceso de planificación, manejo de rendimientos y sistemas de control de costos y plazos que utiliza la empresa en la actualidad para la construcción de muros de gaviones. En segundo se plantea desarrollar mediante una secuencia de pasos, la programación y el presupuesto de las actividades necesarias para la construcción de un muro de gaviones.

Como tercer objetivo se planea determinar los rendimientos y la productividad de la mano de obra en actividades específicas del proceso constructivo. Como cuarto objetivo se plantea realizar un control de costos y plazo durante el proceso constructivo del muro de gaviones por medio de la técnica de gestión del valor ganado.

Como quinto y último objetivo se plantea elaborar un presupuesto con la información obtenida para comparar con la metodología utilizada por la empresa actualmente.

Marco Teórico

En el siguiente capítulo se describe una serie de referencias las cuales ayudan a simplificar el entendimiento del documento por parte del lector, aclarando los diferentes temas que abarca el trabajo.

Gaviones

Los gaviones son cajones de malla de alta resistencia de forma rectangular dentro de la cual se colocan rocas debidamente seleccionadas y acomodadas.

La utilización de este tipo de elementos es muy común en la ingeniería al ser utilizados como muros de contención a gravedad, revestimiento y contención de canales, sistematización pluvial y protección y control de erosión. Son estructuras flexibles, permeables, monolíticas y altamente resistentes (Maccaferri América Latina, s.f.), además debido a la facilidad de armado se elimina la utilización de mano de obra especializada, no obstante, es necesario impartir cursos de capacitación al personal nuevo con el fin que conozca las técnicas y cuidados necesarios para el desarrollo efectivo del proceso constructivo.

Maccaferri es uno de los líderes mundiales en la fabricación y suministro de este tipo de estructuras, los cuales son producidos con mallas hexagonales de doble torsión y amarrados con hilos de acero, además estos poseen un recubrimiento el cual le da protección contra la corrosión.

Proceso Constructivo

El proceso constructivo de muros de gaviones es muy sencillo y rápido.

Inicialmente es necesario realizar un trabajo topográfico para demarcar los puntos del terrazo donde se irán a colocar las bases de los

muros, generalmente la empresa solicita que este trabajo se encuentre realizado previamente.

Para la elaboración de estos muros se divide el proyecto en secciones de muro. Se inicia construyendo la sección de muro más baja avanzando siempre de abajo hacia arriba, esto hasta alcanzar un mismo nivel con las demás secciones.

Inicialmente se arman los cajones necesarios de maya de triple torsión para completar el primer nivel de la sección más baja. luego se colocan en la sección de terraza que corresponde.

Una vez colocados los cajones se procede a colocar el geotextil donde se especifique en los planos constructivos; generalmente es colocado en las caras que se encuentran en contacto directo con el suelo. Luego se coloca formaleta, usualmente se utilizan tubos de acero y se coloca principalmente en la cara expuesta (visible) de 3 a 4 tubos para evitar deformaciones severas y mantener la estética del muro. En los lados restantes se coloca solamente 1 tubo para mantener la posición de los cajones y evitar deformaciones igualmente.

Se prosigue a llenar los gaviones, para este caso se utiliza piedra de río con una granulometría mínima de 100 mm y máxima de 200 mm, obtenida del tajo Guarial de Paquera. Conforme se va llenando los cajones se colocan tensores de alambre tal y como lo especifica el diseño.

Una vez lleno los gaviones se procede a desdoblar las tapas para cubrir el gavión y se realiza la costura de estas para finalizar con el relleno debidamente compactado tal y como se especifica en el diseño. Este proceso se repite en todos los niveles del muro, una ilustración del proceso se muestra en la figura 1.

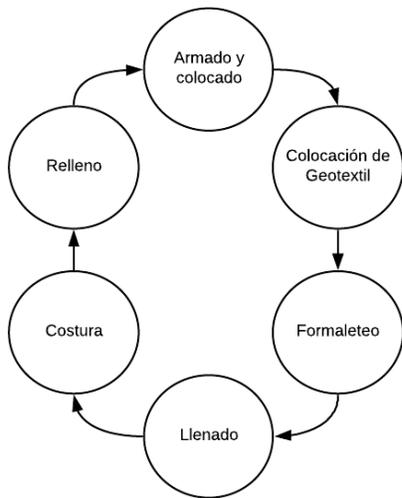


Figura 1. Proceso constructivo de muros de gaviones.

Productividad

La construcción dentro de nuestro país es un gremio que se encuentra en crecimiento día con día, por lo tanto, los procesos, las técnicas y herramientas se deben de ir actualizando con el fin de llegar a lo que toda empresa constructora desea, la eficiencia y efectividad.

En la mayoría de América Latina la industria de la construcción presenta un bajo desarrollo reflejado por problemas de deficiencia y baja efectividad. Si bien es cierto este tipo de actividad presenta una serie de características que generan este comportamiento como lo son: curva de aprendizaje limitada, influencia de las condiciones climáticas, poca capacitación, falta o nula planificación, además la mayoría de las actividades son basadas en la experiencia, falta de investigación, etc. (Botero, 2002).

He de ahí el principio de los estudios de productividad la cual según Serpell “es 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” (Serpell, Productividad en la construcción, 1986). Es decir que la productividad es la relación entre el resultado que se obtuvo con los recursos utilizados, dando a entender que entre más recursos se gasten para obtener un mismo

resultado o menos resultados (con menor calidad) se obtengan con los mismos recursos hay una menor productividad, lo anterior se ve reflejado en la ecuación descrita en el manual de buenas prácticas para incrementar la productividad en procesos de construcción (Leandro Hernández, 2018).

$$Productividad = \frac{Resultados\ logrados}{Recursos\ empleados} \quad (Ec. 1)$$

Tipos de productividad

Actualmente existen distintos tipos de trabajos o actividades donde puede ser medida la productividad, es clave diferenciar el tipo de productividad debido que los factores que la afectan depende del tipo de trabajo que se esté realizando.

Inicialmente se menciona la productividad de la mano de obra, se puede decir que es la más importante debido que influye en todas las demás actividades en los proyectos, además de que es la que se encuentra presente en mayor abundancia dentro de las construcciones. Es por esto que para este proyecto se considera el factor más importante a medir, además, dentro de los proyectos de este tipo al ser obras de menor magnitud el control sobre equipos y materiales es muy preciso por lo que la sección que presenta mayor variabilidad es la de la mano de obra.

Además de la productividad de la mano de obra existe la productividad de los materiales este tipo de productividad tal y como lo menciona Leandro, se basa en el control y optimización de la materia prima de los proyectos, es decir mantener un control en la generación de desperdicios ya que estos son los que presentan mayor costo (Leandro Hernández, 2018).

Por último, se encuentra la productividad de la maquinaria, la cual específicamente es el rendimiento de todos los equipos que normalmente se estima su costo por hora. Este tipo de productividad es muy importante debido que generan altos costos de alquiler si no se regulan y programan bien su cantidad, lo que podría afectar drásticamente el costo y plazo de un proyecto.

Como se mencionó anteriormente, para efectos de este proyecto se trabajará solamente

con la productividad y rendimientos de la mano de obra debido a la limitación del alcance.

Otro punto clave a mencionar es la clasificación de la productividad, es decir, cuando se encuentra un alta, baja o normal productividad. De acuerdo a la propuesta de John S. Page en su libro "Estimator General Construction man-hour manual" recalca por Botero en el documento de "Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción" se presenta el Cuadro 1, el cual clasifica la eficiencia de la productividad en la mano de obra.

Cuadro 1. Clasificación de la eficiencia de la mano de obra en la construcción. <

EFICIENCIA DE LA PRODUCTIVIDAD	RANGO
Muy Baja	10%-40%
Baja	41%-60%
Normal (Promedio)	61%-80%
Muy Buena	81%-90%
Excelente	90%-100%

Fuente: Botero, 2002.

- Bajas condiciones de seguridad laboral que generan altas tasas de accidentes.
- Composición inadecuada de cuadrillas de trabajo.
- Distribución inadecuada de los materiales de construcción.
- Escasez de materiales requeridos.
- Escasez de maquinaria y herramientas.
- Lugares de trabajos topográficamente complicados.
- Excesivo control de calidad.
- Clima y condiciones adversas (Botero & Álvarez, 2004).



Figura 2. Factores que inciden sobre la productividad. (Botero, 2004)

Factores que afectan la productividad

La productividad en el trabajo se ve afectada por múltiples factores es por esto que se considera que en el sector construcción es muy difícil manejar este tipo de controles y mejoras.

Es esencial que el profesional a cargo de la obra conozca los factores que afectan positiva y negativamente a la obra para así tomar acciones, para disminuir y controlar los últimos y fomentar los primeros.

Botero y Álvarez mencionan que algunos de los factores que afectan negativamente los proyectos son:

- Errores en el diseño y falta de especificaciones.
- Modificaciones al diseño durante la etapa de ejecución.
- Falta de supervisión.
- Sobreplación de trabajadores en espacios reducidos.
- Alta rotación de trabajadores.

Mejoramiento de la productividad

Para el mejoramiento de la productividad Botero y Álvarez hablan acerca de una metodología a seguir (ver Figura 3), inicialmente se mide la productividad con el fin de recopilar la información de campo necesaria para posteriormente, evaluarla y conocer a profundidad los factores que principalmente afectan negativamente el rendimiento de los trabajadores, para finalmente desarrollar e implementar planes de mejoramiento.



Figura 3. Ciclo del mejoramiento de la productividad (Botero, 2004).

Técnicas de medición de productividad

Antes de explicar las distintas técnicas a utilizar es esencial mencionar que la productividad se mide en las distintas actividades del proyecto y para completar cada actividad se presenta una faena de trabajo donde no siempre se está aportando directamente a la actividad, por lo tanto, basado en Serpell (1986) el trabajo del personal se clasifica como:

Trabajo Productivo

El trabajo productivo es todo aquel que aporta directamente a la ejecución de la actividad como por ejemplo armando cajones, acomodando las rocas, excavando, colocando alambre de ensamblaje, etc.

Trabajo Contributivo

El Trabajo contributivo es aquel que se debe realizar, pero no aporta al avance de la actividad, se puede decir que es el trabajo necesario para que se pueda dar un trabajo productivo, como, por ejemplo: sosteniendo cajones, limpiando desperdicios, arreglando herramientas y equipo, etc.

Trabajo No Contributivo

Por último, se encuentra el trabajo no contributivo, este es todo aquel tiempo en el que el trabajador no aporta en ningún sentido a la ejecución de la actividad, como, por ejemplo: esperando por falta de materiales o equipo, esperando instrucciones, tiempos de ocio, reconstrucción de trabajos mal hechos, etc.

Las distintas técnicas de trabajo se basan en la clasificación del trabajo tal y como se mencionó anteriormente. A continuación, se presentan los 2 tipos de medición de productividad a desarrollar en este proyecto:

Work Sampling

Work Sampling ó muestreo de trabajo, está basado en estadística de muestreo y el objetivo primordial es observar una actividad por un tiempo específico y determinar el tipo de trabajo que se está realizando para determinar qué tan productiva es la cuadrilla en una actividad específica.

Normalmente se trabaja con una pequeña parte de la población para este caso se tomarán mediciones en cuadrillas de máximo 5 integrantes luego se analiza la información y se construye un límite de confianza alrededor de ella.

El Work Sampling calcula el porcentaje de tiempo en que los trabajadores son productivos con respecto al total de tiempo en que estos trabajadores estuvieron involucrados.

A continuación, se presenta el procedimiento a realizar para la recolección de datos:

1. Primero se clasifican las tareas que realizan los distintos trabajadores en trabajo productivo, contributivo y no contributivo.
2. Luego se elabora un sistema para recolectar y administrar los datos
3. Se prosigue a realizar observaciones aleatorias a los trabajadores en una operación dada en el campo, como se mencionó anteriormente la observación debe de indicar el tipo de trabajo que están realizando los trabajadores.
4. Por último, se apuntan los resultados de las observaciones y por medio de ecuaciones de estadísticas se calculan los porcentajes de trabajo. (Dozzi & AbouRizk, 1993)

Para explicar el cálculo de los porcentajes de productividad se elabora el siguiente ejemplo, si en 5 observaciones totales, 3 observaciones el trabajador estaba realizando trabajo productivo, 1 observación trabajo contributivo y 1 observación trabajo no contributivo se puede concluir que el trabajo presenta 60% de trabajo productivo, 20% contributivo y 20% de No contributivo.

Para que un muestreo de trabajo sea efectivo estadísticamente se deben de tomar una cantidad de observaciones específicas tal y como lo menciona Dozzi y AbouRizk en su libro "Productivity in Construction" para obtener un error de muestreo del 5% y un nivel de confianza del 95% se deben realizar mínimo 384 observaciones. (Dozzi & AbouRizk, 1993)

Esta cantidad de observaciones ha sido determinada a partir de amplios estudios en la teoría del muestreo estadístico realizado a lo largo de los años lo cual es un número confiable a utilizar, existen distintos métodos para determinar este número de observaciones, el más utilizado es por medio de un nomograma (Figura 4) mencionado por Oglesby, Parker y Howell (1988).

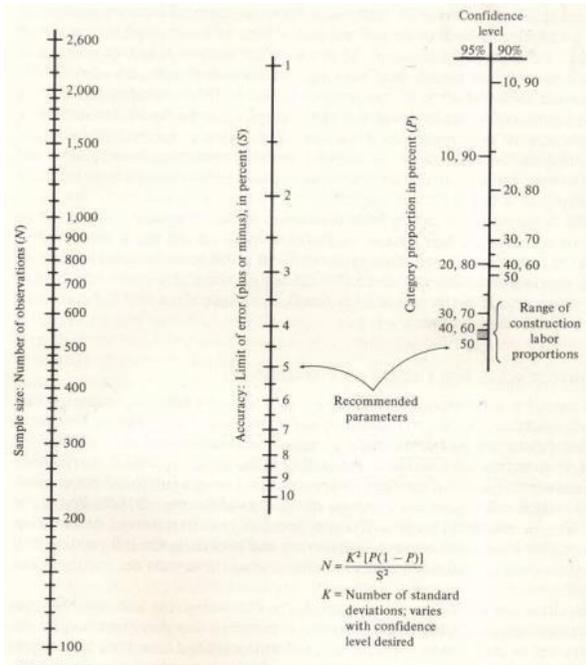


Figura 4. Nomograma para relacionar tamaño de la muestra. (Oglesby, Parker y Howell ,1988)

Crew Balance

Crew Balance conocido en español como carta de balance, es una técnica la cual utiliza un conjunto de gráficos de barra donde en la ordenada se presenta el tiempo y la abscisa se establecen los recursos en este caso el personal de las cuadrillas (Dozzi & AbouRizk, 1993).

Cada empleado o trabajador posee una barra vertical la cual se encuentra subdividida en los tiempos que se gastó en cada actividad que realizó el trabajador tomando en cuenta los tiempos productivos, contributivos y no contributivos (Dozzi & AbouRizk, 1993).

Se seleccionó esta técnica debido que es utilizada para actividades cíclicas tal y como los son la construcción de muros de gaviones. La idea

de utilizar este tipo de técnicas es para determinar la eficiencia del proceso constructivo que realizan los trabajadores con el fin de obtener los factores que estén afectando negativamente el proceso.

Este estudio es muy importante debido que nos muestra el tiempo que gasto cada trabajador y en qué lo gasto, dando información adicional la cual se comparará y complementará con la técnica Work Sampling.

Para la recolección de datos el procedimiento es muy similar al del work sampling, con la diferencia en que se califica al trabajar con la descripción de la actividad que este está realizando.

A partir de crew balance por medio de la (Ec. 2), según Dozzi y AbouRizk se logra conocer un porcentaje de efectividad de los trabajadores.

$$Efectividad = \frac{\text{tiempo trabajado}}{\text{total del ciclo}} \quad (Ec. 2)$$

Rendimientos

Al igual que la medición de la productividad existen distintos tipos de rendimientos, ya sea de la mano de obra, de la maquinaria y equipo o de los materiales, los cuales se encuentran definidos anteriormente.

Para este caso se estudian los rendimientos de la mano de obra en las distintas actividades de construcción de un muro de gaviones, esto debido que la mano de obra es el recurso que presenta mayor variabilidad en este tipo de construcciones, además, de que es lo requerido por la empresa tal y como se menciona en el apartado de prefacio.

Los rendimientos son una sección muy importante a la hora de realizar los presupuestos y programación de la obra, por lo tanto, es necesario que estos sean lo más preciso posible para así evitar atrasos y gastos. Para este caso la empresa no cuenta con rendimientos específicos, por lo tanto, este estudio es sumamente importante para así obtener un conocimiento de la mano de obra y mejorar los presupuestos y la programación de la obra y por ende aumentar la competitividad de la empresa.

En la actualidad existe mucha confusión entre el rendimiento y el consumo de la mano de obra por lo que es importante definir ambos

conceptos. Según Botero, el rendimiento es la cantidad de obra terminada en un tiempo en específico realizada por uno o más trabajadores, esta es representada en um/HH (unidad de medida por horas hombre) (Botero, 2002).

El consumo de la mano de obra es el inverso matemático del rendimiento, es decir lo que dura uno o más trabajadores en realizar una cantidad de obra en específico, esta se representa en HH/um (horas hombre por unidad de medida) (Botero, 2002).

Factores que afectan el rendimiento de la mano de obra.

Como bien se sabe todos los proyectos de construcción poseen características diferentes, es por esto que la mano de obra es de los recursos que varían con respecto a las condiciones que presenta el tipo de construcción.

Botero clasifica los factores en 7 categorías: Economía General, Aspectos Laborales, Clima, Actividad, Equipamiento, Supervisión y Trabajador.

La economía general en el sector es uno de los factores de afectación debido que por ejemplo si en el sector se posee una buena economía con bastantes construcciones y buenas tendencias y resultados en los negocios locales la productividad de la mano de obra es menor debido que cuando los sectores se encuentran económicamente bien se tiene mayor dificultad para conseguir mano de obra calificada y supervisores competentes lo cual da como resultado recurrir a mano de obra inexperta lo cual disminuye la eficiencia de los rendimientos (Botero, 2002).

En el caso de los aspectos laborales estos afectan los rendimientos dependiendo por ejemplo del tipo de contrato, al poseer una contratación por trabajo terminado el rendimiento es mejor que al contratar personal por hora, a esto se le adjunta los problemas con sindicatos, la falta de incentivos y pagos injustos por obras terminada. Es necesario mencionar que el ambiente de trabajo influye mucho en los rendimientos, al poseer una buena relación con los trabajadores se poseen mejores rendimientos lo mismo pasa al garantizarles seguridad tanto social como industrial (Botero, 2002).

Como lo menciona Botero, el Clima es un factor que puede afectar negativamente los

rendimientos, por lo tanto, es necesario tomar en cuenta la temperatura, el estado del tiempo y las condiciones del suelo antes de realizar cualquier cálculo de rendimientos.

Dependiendo de la actividad que se irá a realizar así se comportarán los rendimientos, lo que es el grado de dificultad, los riesgos de trabajo, la discontinuidad de las actividades y el orden y aseo afectan directamente los rendimientos de la mano de obra. Cabe mencionar que la tipicidad del trabajo influye en los rendimientos es decir si se está bajo la presencia de actividades repetitivas o cíclicas se mejora la producción.

Por otro lado, mantener una constante supervisión de las operaciones y un equipo y maquinaria de trabajo adecuado mejoran los rendimientos de la mano de obra.

Por último, un factor que afecta es el estado del trabajador, un trabajador que posea problemas personales, un mal ritmo de trabajo y falta de habilidad o capacitación afectan negativamente los rendimientos, por esta razón es importante poner atención al comportamiento del personal.

Medición del rendimiento y consumo de la mano de obra

Para la determinación de los rendimientos y consumos se utiliza la información detallada en el folleto del curso costo de construcción (2009) elaborado por Ing. Milton Sandoval, la Ing. Giannina Ortiz y el Ing. Eduardo Paniagua. Todas las ecuaciones descritas en esta sección de rendimientos tienen como origen el documento mencionado anteriormente, que tiene como título: "Folleto de costos de construcción" (Sandoval, Ortiz, & Paniagua, 2009).

Cabe destacar que el procedimiento a continuación describe la forma de cálculo del consumo de la mano de obra, para obtener el resultado del rendimiento se debe invertir la ecuación (Ec. 3) dando como resultado la ecuación (Ec. 4) cuyas unidades se encuentran en um/HH, el resto del procedimiento es el mismo a excepción de la aplicación del factor de incremento el cual se encuentra explicado más adelante.

Inicialmente se determinan los datos de los tiempos de duración para completar una cantidad específica de la actividad determinada,

cabe destacar que es importante obtener la cantidad de los miembros de la cuadrilla y su rango. En este caso todos los trabajadores se clasifican en el rango de gavionero.

Una vez obtenidos los datos se procede a realizar los cálculos necesarios aplicando la ecuación (Ec. 3) (Sandoval, Ortiz, & Paniagua, 2009).

$$R = \frac{t * n}{V} \quad (Ec. 3)$$

Dónde:

R: Consumo horas-hombre (HH)/unidad.

n: número de obreros que participaron en dicha actividad.

V: Volumen de trabajo realizado

$$RR = \frac{V}{t * n} \quad (Ec. 4)$$

Dónde:

RR: Consumo horas-hombre (HH)/unidad.

n: número de obreros que participaron en dicha actividad.

V: Volumen de trabajo realizado

Posteriormente, se procede a realizar los análisis estadísticos necesarios.

Se analizan los consumos obtenidos aplicando a cada muestra los respectivos promedios, las desviaciones estándar y los coeficientes de variación con las ecuaciones (Ec. 5), (Ec. 6) y (Ec. 7) respectivamente, tomando en cuenta que tal y como lo menciona Sandoval, Ortiz y Paniagua, una distribución normal de los datos presenta un coeficiente de variación menor al 2%, de no ser así es necesario proceder a la eliminación de datos. (Sandoval, Ortiz, & Paniagua, 2009)

$$Rp = \frac{R1 + R2 + \dots Rn}{n} \quad (Ec. 5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(R1 - Rp)^2 + (R2 - Rp)^2 + \dots (Rn - Rp)^2}{n}} \quad (Ec. 6)$$

$$C.V = \frac{\sigma}{Rp} \quad (Ec. 7)$$

Dónde:

Rp: Promedio

R: Consumos obtenidos

n: Cantidad de consumos obtenidos

σ : Desviación Estándar

C.V: Coeficiente de Variación

Por último, debido que los resultados calculados son netos, es necesario aplicar un factor de corrección para contemplar los tiempos de alimentación, transporte de materiales servicios sanitarios, etc. El cálculo del coeficiente se realiza con la ecuación (Ec. 8) (Sandoval, Ortiz, & Paniagua, 2009).

$$f.i = \frac{t.c * 100}{h.d - t.c} \quad (Ec. 8)$$

Dónde:

f.i: factor de incremento

t.c: tiempo consumido en otras actividades

h.d: horas diarias de trabajo total

Para este caso basado en el folleto de costos de construcción 2009, los tiempos consumidos en otras actividades se encuentran representados en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Estimación de factor de incremento.

Factor de Incremento	hr
- Café 0.25 hr	0.25
- Almuerzo 0.50 hr	0.5
- Solicitud de materiales 0.05 hr	0.05
- Entrega de materiales 0.13 hr	0.13
- Transporte de materiales 0.17 hr	0.17
- Servicio sanitario 0.17 hr	0.17
Factor de Corrección (f.c):	1.27
Factor de incremento (f.i):	14.5%

Fuente: (Sandoval, Ortiz, & Paniagua, 2009).

Una vez calculado el factor de incremento el consumo a tabular se calcula con la ecuación (Ec. 9) (Sandoval, Ortiz, & Paniagua, 2009). Para

aplicar el factor de incremento al rendimiento se utiliza la ecuación (Ec. 10).

$$R = Rp * (1 + f.i) \quad (Ec. 9)$$

Dónde:

R: Consumo final HH/unidad

Rp: Consumo Promedio HH/unidad

f.i: Factor de incremento.

$$RRf = \frac{RRp}{(1 + f.i)} \quad (Ec. 10)$$

Dónde:

RRf: Rendimiento final HH/unidad

RRp: Rendimiento Promedio HH/unidad

f.i: Factor de incremento.

Control de costos y plazo

Para el control de costos y plazos por medio de investigaciones previas tomando en cuenta recomendaciones de profesores y profesionales en el área se determinó que una posible técnica para llevar un control de costos es la Gestión del Valor Ganado (GVG).

Esta es una técnica muy sencilla de usar y presenta resultados valiosos acerca del desempeño de un proyecto, la idea de este tipo de técnicas es controlar el proyecto basado en un presupuesto detallado y una programación de las actividades de la obra. En otras palabras, se compara el trabajo ya realizado (Real) con lo que se estimó inicialmente antes de comenzar (Planeado).

Basado en el documento "La gestión del valor ganado y su aplicación" de Rodolfo Ambriz del Project Management Institute (PMI) se deduce que para implementar el GVG en un proyecto inicialmente se define la línea base de medición del desempeño del proyecto (Performance Measurement Baseline, PMB) lo cual abarca un desglose del trabajo (Alcance), una descripción del tiempo de trabajo (Cronograma) y un desglose del coste de las actividades de la obra. (Presupuesto) (Ambriz Avelar, 2008)

Valores Principales

Para aplicar la técnica correctamente es necesario conocer los 3 valores principales:

Valor Planeado (PV): El valor planeado es el valor presupuestado, el PMB al día de la fecha. (Ec. 11)

Valor Ganado (EV): El valor ganado o devengado es la cantidad que se ha presupuestado o que inicialmente se había previsto para el trabajo realmente completado hasta el día del corte. (Ec. 12)

Costo Real (AC): El costo Real es el costo según facturas, es lo que realmente se ha gastado a la fecha del corte. (Ec. 13)

Estos 3 valores son la base de toda la metodología de aplicación de la técnica, son los datos de entrada y a partir de estos se calculan los demás valores los cuales darán la información del desempeño del proyecto. Los valores pueden ser representados en promedio al dividirlos entre el presupuesto hasta la conclusión (Budget at Completion, BAC), siendo este anterior el coste total presupuestado inicialmente. (Ambriz Avelar, 2008)

$$PV\% = \frac{PV}{BAC} \quad (Ec. 11)$$

$$EV\% = \frac{EV}{BAC} \quad (Ec. 12)$$

$$AC\% = \frac{AC}{BAC} \quad (Ec. 13)$$

Variaciones

Consecuentemente se describen los valores denominados "variaciones" clasificados en variación del cronograma (SV) (Ec. 14) y variación del costo (CV) (Ec. 15), los cuales como la palabra lo dicen representan la variación que posee el proyecto en cuanto al plazo y costo comparando lo real con lo teórico, en este caso el valor ganado juega el papel más importante debido que ambas variaciones depende del él.

$$SV = EV - PV \quad (\text{Ec. 14})$$

$$CV = EV - AC \quad (\text{Ec. 15})$$

Al igual que los valores principales, las variaciones pueden ser representadas en porcentajes.

$$SV\% = \frac{SV}{PV} \quad (\text{Ec. 16})$$

$$CV\% = \frac{CV}{EV} \quad (\text{Ec. 17})$$

Índices de Rendimiento

Luego se calculan los índices de rendimientos los cuales muestran el comportamiento del proyecto y lo eficiente que se ha sido tanto el costo como el plazo según lo presupuestado. Existen 3 índices: el índice del rendimiento del cronograma (SPI) (Ec. 18), el índice del rendimiento del costo (CPI) (Ec. 19) y el índice del rendimiento hasta concluir (TCPI) (Ec. 20) que tal y como lo menciona Sergio Herrera, PMP de la Universidad Católica de Murcia, el TCPI indica lo eficiente que se tiene que ser a partir de la fecha del corte hasta la finalización del proyecto para recuperar las posibles variaciones que se han ido acumulando hasta la fecha de seguimiento.

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (\text{Ec. 18})$$

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (\text{Ec. 19})$$

$$TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AC} \quad (\text{Ec. 20})$$

Pronósticos

Por último, un aspecto muy importante es que por medio de la GVG no solamente se logra conocer el comportamiento pasado del proyecto si no, que también se puede conocer el comportamiento a

futuro del desempeño del costo y plazo si no se realizan las correctas modificaciones.

Con base en los datos obtenidos anteriormente se es posible proyectar a futuro por medio de 2 estimaciones: el Estimado hasta concluir (ETC) (Ec. 23) que es el costo necesario hasta concluir el proyecto y la Estimación a la conclusión (EAC) (Ec. 24) que es la nueva cantidad de trabajo necesaria para completar las actividades del cronograma. (Herrera & Antón, 2015).

Según Herrera, la aplicación de las formulas dependen de 2 situaciones que se pueden dar durante el desarrollo del proyecto hasta la fecha del corte.

La primera es que las variaciones que se hayan presentado sean atípicas, es decir, que se hayan presentado problemas puntuales, no usuales que teóricamente no deberían de volver a ocurrir en el proyecto como perdidas de material, atrasos de los proveedores, etc. Si el proyecto presenta este comportamiento se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$ETC = BAC - EV \quad (\text{Ec. 21})$$

$$EAC = AC + ETC = AC + (BAC - EV) \quad (\text{Ec. 22})$$

Por otro lado, el comportamiento más común de los proyectos es que se presenten variaciones típicas, es decir que se hayan cometido errores a la hora de la estimación de los costos de los recursos o de la duración del trabajo. De ser así se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$ETC = \frac{BAC - EV}{CPI} \quad (\text{Ec. 23})$$

$$EAC = AC + ETC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI} = \frac{BAC}{CPI} \quad (\text{Ec. 24})$$

Para entender mejor los valores que integran la GVG se puede observar la Figura 5.

Análisis de la GVG

A continuación, dentro del Cuadro 3 se presenta un resumen para recordar los acrónimos y fórmulas al lector:

Cuadro 3. Resumen de valores de GVG

NOMBRE	ACRÓNIMO	ECUACIÓN
Presupuesto a la conclusión	BAC	---
Valor Planeado	PV	---
Valor Ganado	EV	---
Costo Real	AC	---
Estimado a concluir (Proyección)	ETC	$(BAC-EV)$ ó $[(BAC-EV)/CPI]$
Estimación a la conclusión (Proyección)	EAC	$(AC+ETC)$ ó (BAC/CPI)
Variación del costo	CV	$EV-AC$
Variación del cronograma	SV	$EV-PV$
Índice de rendimiento del costo	CPI	EV/AC
Índice de rendimiento del cronograma	SPI	EV/PV
Índice del rendimiento hasta concluir	TCPI	$(BAC-EV)/(BAC-AC)$

Fuente: (Herrera & Antón, 2015).

Una vez obtenida toda la información se procede a analizar los datos obtenidos. Para el análisis es necesario examinar el Cuadro 4, basado en el cuadro de análisis de variación de Herrera, S (2015).

Como se aprecia en el Cuadro 4 un proyecto puede comportarse en 9 formas diferentes basado en la línea del costo y el plazo, sin embargo, para mejor entendimiento se parte de analizar el costo y el tiempo de un proyecto por separado.

Básicamente, cuando un proyecto presenta el CV positivo (mayor que 0) y el CPI mayor que 1, quiere decir que el costo real de proyecto hasta la fecha del corte va mejor que lo presupuestado, es decir se ha gastado menos de lo que se tenía previsto. Cuando el CV es igual a 0 y el CPI igual a 1 el costo del proyecto es exactamente igual a lo que se tenía presupuestado y el último caso que se podría dar es cuando el CV es negativo y el CPI menor que 1, dando a entender que se está gastando más de lo que se tenía presupuestado.

De igual forma sucede con la línea del tiempo, cuando el SV es positivo y el SPI es mayor que 1 el proyecto está durando menos de lo programado, cuando el SV es igual a 0 y el SPI igual a 1 el proyecto se comporta de forma ideal en cuando al tiempo, es decir se está durando lo que se programó y por último si el SV es negativo y el SPI es menor que 1 el proyecto va atrasado. Por lo tanto, al combinar los 3 casos del tiempo con los 3 casos del costo se da origen a las 9 formas de comportamiento de un proyecto.

Cuadro 4. Análisis de datos de la GVG.

MEDICIONES DEL DESEMPEÑO		TIEMPO		
		SV>0 y SPI>1.0	SV=0 y SPI=1.0	SV<0 y SPI<1.0
COSTO	CV>0 y CPI>1.0	Programación Presupuesto	Programación Presupuesto	Programación Presupuesto
	CV=0 y CPI=1.0	Programación Presupuesto	Programación Presupuesto	Programación Presupuesto
	CV<0 y CPI<1.0	Programación Presupuesto	Programación Presupuesto	Programación Presupuesto

Fuente: Herrera, S. (2015)

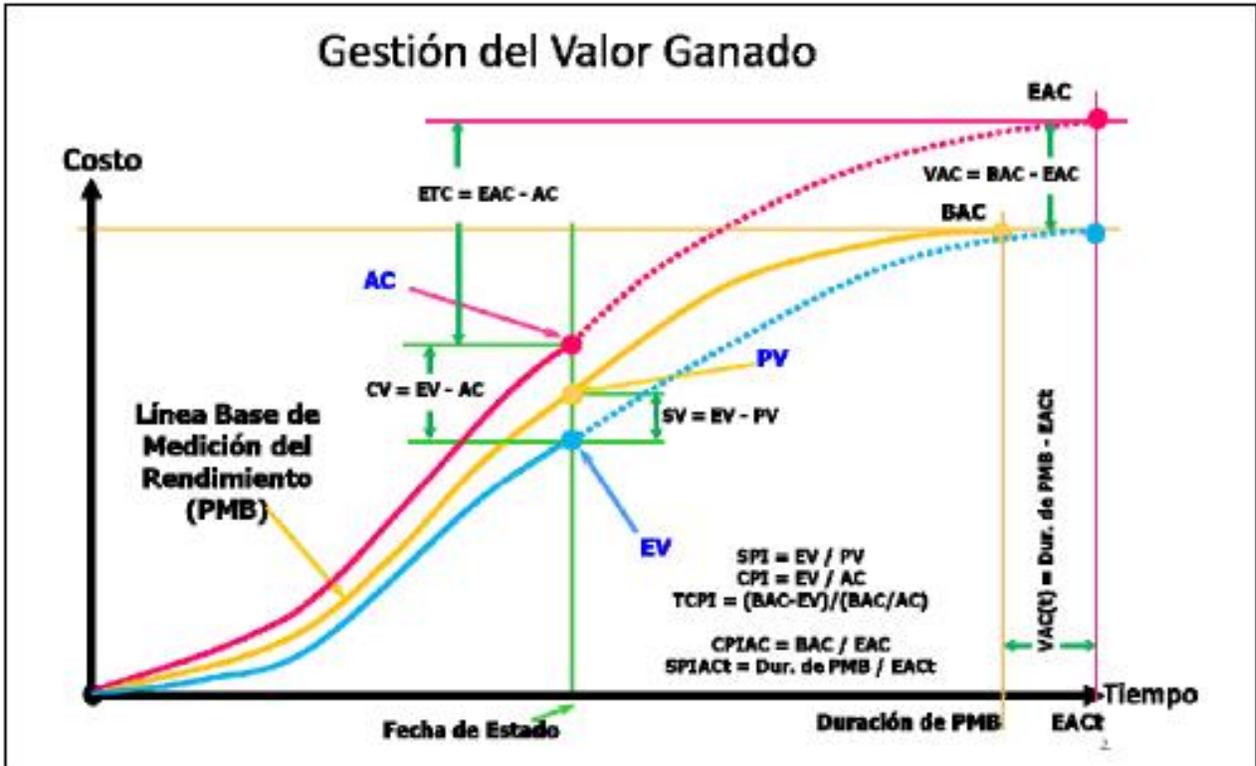


Figura 5. Ejemplo de gráfica de GVG (Ambriz Avelar, 2008).

Metodología

En el siguiente apartado se describe las herramientas y metodología de trabajo utilizada para cumplir con la finalidad del proyecto.

El proyecto de estudio es un muro de gaviones ubicado en el cantón central de la provincia de Puntarenas, específicamente en la construcción de la carretera que una Playa Naranja con Paquera.

Fase 1

Inicialmente se elabora una investigación acerca de temas de planificación y programación de actividades de trabajo para la construcción de muros de gaviones que actualmente utiliza la empresa para el desarrollo de sus proyectos, a esto se le adjunta la recopilación acerca de las técnicas de control de costos y plazo que hoy en día son utilizadas para el control de este tipo de construcción.

Por otro lado, se busca la información que maneja la empresa acerca de los rendimientos de la mano de obra utilizados para la elaboración de presupuestos.

A partir de la información obtenida de esta fase, se moldeó el planteamiento del problema para darle la finalidad específica del proyecto.

Fase 2

Una vez realizado el estudio de la metodología de trabajo utilizado por la empresa y la recopilación de información acerca de la planificación de obra, se elaboró una programación esperada del proyecto a evaluar mediante el programa MS Project, además se elaboró un presupuesto del muro por medio de las consultas a los profesionales de la empresa que realicen las actividades relacionadas.

Estas 2 actividades son fundamentales debido que funcionan como línea base del

proyecto, la cual se comparará con los recursos gastados realmente obtenidos en el sitio, todo esto necesario para llevar a cabo la fase 4.

Fase 3

La fase 3 y la fase 4 se desarrollaron paralelamente debido que ambas se basan en la obtención de datos en el sitio.

Inicialmente para la fase 3 por medio de las investigaciones previas y consultas a profesionales y profesores realizadas durante la fase 1 y 2, se identificó qué técnicas de medición de productividad y rendimientos aplicar y a cuáles actividades aplicarlas, de tal manera de que la información obtenida fuera representativa y sea un reflejo de lo ocurrido en la realidad.

Las técnicas para medir la productividad seleccionadas fueron el Crew Balance y Work Sampling ambas explicadas en el apartado de marco teórico, estas son aplicadas específicamente por nivel de muro, cabe destacar que se toman datos diferentes para cada técnica y en diferentes tiempos de trabajo con el fin de ampliar la gama de información.

Al realizar varias actividades simultáneas, se elabora un cronograma de trabajo para la obtención de los datos, de ahí se observa que se varía los tiempos para obtener información, es decir, se midió la productividad y los rendimientos tanto en la mañana como en la tarde con el fin de mantener la representatividad de los datos.

Para la obtención de los rendimientos de la mano de obra inicialmente se determinaron las actividades del proceso constructivo a investigar. Por solicitud de la empresa dada la problemática con la falta de rendimientos y al ser un proyecto de muy pocas actividades se concluyó medirlas todas con el fin de obtener la mayor información posible y así los resultados obtenidos sean de mayor utilidad para la empresa.

Por medio de la recopilación de información obtenida en el sitio del proyecto, al

aplicar una serie de simples cálculos se determinan los distintos rendimientos, dicho proceso se describe en el apartado de marco teórico, basado en el libro de costos de construcción de Sandoval, Ortiz y Paniagua.

Otro punto importante que se abarca en el proyecto es el análisis del comportamiento de los rendimientos del personal conforme se aumenta de altura de construcción, debido que la variabilidad de esto podría afectar directamente los costos de construcción, lo cual si no se prevé se podría generar un mal presupuesto y por ende problemas dentro de alguna licitación.

Fase 4

La cuarta fase consiste en la metodología para la obtención de información de control de costos y plazos en el proyecto, al igual que en la fase anterior se identificaron las técnicas de control de costos que más se ajusten a este tipo de obra, dando camino a la aplicación de la metodología de gestión de valor ganado descrita en el apartado de marco teórico. Por medio de una investigación y estudio de las distintas técnicas de medición de control de costos y por medio de consultas a profesionales y profesores del área, se decidió utilizar este tipo de técnica debido que es fácil de aplicar y brinda una valiosa información acerca del comportamiento de los costos y plazos del proyecto dando con la finalidad de lo propuesto.

Una vez identificadas las técnicas de control de costos a utilizar, se realizó un plan de trabajo y las hojas de cálculo necesarias para la

recolección de los datos con el fin de aplicar con efectividad la técnica de valor ganado y acaparar toda la información necesaria para así obtener resultados acertados. Al estar bajo la presencia de un proyecto de corta duración se decidió realizar los cortes de control semanalmente.

Fase 5

Por último, la quinta fase de este proyecto abarca la elaboración de un análisis de la información obtenida. A partir de este análisis se plantea una comparación entre un presupuesto nuevamente realizado con los resultados obtenidos en este proyecto con el presupuesto inicialmente elaborado esto con el fin de verificar si la metodología de trabajo se puede optimizar para mejorar las licitaciones, esta actividad se realiza por medio de investigación de los costos utilizados por parte de la empresa subcontratada, además se proponen recomendaciones para mejorar tanto los rendimientos y productividad, como para el control de costos y plazo.

En el caso de rendimientos y productividad las mejoras se basan en actualizar la información de rendimientos.

Para el caso del control de costos se analizó el comportamiento de la técnica GVG adoptado para este proyecto de muros de gaviones y se brindará las hojas de cálculo que contienen esta técnica para que la empresa la pueda utilizar como herramienta en nuevos futuros proyectos de muros de gaviones.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tanto en campo como en oficina a partir de estudios realizados personalmente.

Ubicación del proyecto

El sitio donde se recopilan los datos de campo, es en la construcción de un muro de gaviones en la ruta 160 Playa Naranjo-Paquera, el cual está ubicado específicamente en el kilómetro 4+100 en el sentido Playa Naranjo hacia Paquera (ver Figura 6).

El sitio es una zona muy seca con muy pocas lluvias a lo largo del año. Las temperaturas rondan entre los 22°C a los 33°C.

El muro tiene un tamaño de 490 metros cúbicos y posee 5 niveles de gaviones alcanzando una altura máxima de 5 metros en la sección más alta.

Debido a inconvenientes fuera del alcance de la empresa constructora del muro, el proyecto en estudio se suspendió temporalmente por lo tanto se lograron obtener datos hasta el tercer nivel, se recomendó trabajar con los datos obtenidos hasta el momento debido que no es posible conocer cuando se reanudará el proyecto es por esta razón se muestran los resultados hasta el tercer nivel.



Figura 6. Ubicación exacta del proyecto (Google Maps)

Armado de cajones: Esta actividad involucra el armado de cajones, unión de estos, transporte y colocación en el sitio junto con el ensamblaje al resto de gaviones.

Planificación

Para la sección de planificación se presentan la programación de secuencia de actividades junto con un diagrama de Gantt obtenido mediante el programa MS Project el cual funciona como línea base del proyecto (ver Figura 14).

El proyecto se dividió en secciones debido que el método constructivo es de la sección más baja a las más alta, por lo tanto, se siguió esta línea según los planos (ver Figura 13). El proceso constructivo se desglosa en 5 tareas realizadas por los trabajadores y una por la empresa a cargo de la carretera: Armado de cajones, Llenado de cajones, Costura, colocación de geotextil y relleno.



Figura 7. Armado de cajones.

Colocación de geotextil: Esta actividad abarca el cortado de la cantidad a colocar, el extendido y el

costureo de la tela al muro en el sitio que se especifica según los planos.



Figura 8. Amarrado de geotextil.

Colocación de Formaleta (Formaleteo): El formaleteo se desarrolla seguidamente después de que los cajones son armados y colocados, y se desarrolla al mismo tiempo que el colocado del geotextil. Esta actividad es muy importante debido que brinda estabilidad a los cajones para evitar deformaciones, además de que mantiene la estética del muro.



Figura 9. Formaleta colocada en cara visible del muro.

Llenado de cajones: Dentro de esta actividad se toma en cuenta el llenado de los cajones, el acomodo de rocas y el careo que es la técnica de acomodo de rocas en la cara visible del muro.



Figura 10. Llenado de cajones.

Costura: Para esta actividad se toma en cuenta la costura de las tapas de los gaviones con el fin de garantizar un cierre total de estas. Para desarrollar esta costura es necesario aplicar una técnica en específico la cual se da por medio de capacitaciones previas a los trabajadores.



Figura 11. Costura de tapa de cajón.

Relleno: Por ultimo esta actividad abarca el relleno masivo de sustitución el cual sostendrá el muro, este es compactado en capas de máximo 30 cm de espesor tal y como lo menciona el diseño.



Figura 12. Compactación de franja de 1 metro que colinda con el muro.

Una vez especificadas las actividades se asignaron las duraciones y secuencias de estas (ver Figura 14), esta información es basada en la experiencia del encargado y profesionales del área.

Además, se presenta un presupuesto de la obra basado en información obtenida por parte de los ingenieros de Maccaferri (Cuadro 5), junto con una planificación de secuencia de actividades con sus debidos plazos mediante el programa Project el cual muestra un diagrama de Gantt mencionado anteriormente (Figura 14).

Esta información sirve como línea base del proyecto para la elaboración de los controles de costos semanales junto con la programación de obra. En este caso no se consideraron costos indirectos debido que dentro del precio por el subcontrato de la mano de obra se incluyen estos. La empresa solo se encarga de vender los materiales a utilizar y el pago por metro cúbico construido a la empresa subcontratada, fuera de esto cualquier costo externo es brindado por la empresa constructora de la carretera.

Por otro lado dentro del presupuesto no se tomó en cuenta el relleno debido que este es realizado por la empresa constructora de la carretera y según información por parte de los ingenieros de la empresa esta actividad normalmente es realizada por el cliente al igual que el terraceo y topografía, por lo tanto esta información no se considera para este presupuesto, no obstante, este fue considerado en la programación de obra con el fin de no afectar los plazos de trabajo según la secuencia de actividades y contar con la naturaleza del trabajo

de un proyecto convencional, además como información adicional se calculó el rendimiento de la maquinaria de este relleno.

Por otro lado, en la Figura 13 se presenta una vista frontal del muro en construcción junto con la división en secciones realizadas para facilitar el entendimiento por parte del lector.

Teóricamente se construye hasta el segundo nivel de la sección 4 del muro cuya extensión es de 14 metros, luego se empieza a construir los 2 primeros niveles de la sección 3 del muro con 6 metros de longitud, posteriormente, se traslada a la sección 2 del muro y se construyen igualmente los 2 primeros niveles de 20 metros de longitud, luego se construye los 2 primeros niveles de la sección 1 del muro con 10 metros de longitud, nuevamente se traslada a la sección 4 y vuelve a empezar el proceso, y así sucesivamente con el resto de secciones hasta completar la altura del muro, esta es la forma de construir este tipo de proyectos la cual tiene como metodología ir equilibrando los niveles de las distintas secciones.

Cada 2 niveles de altura se debe rellenar al menos 50 centímetros para alcanzar un mayor nivel de terreno y poder seguir avanzando.

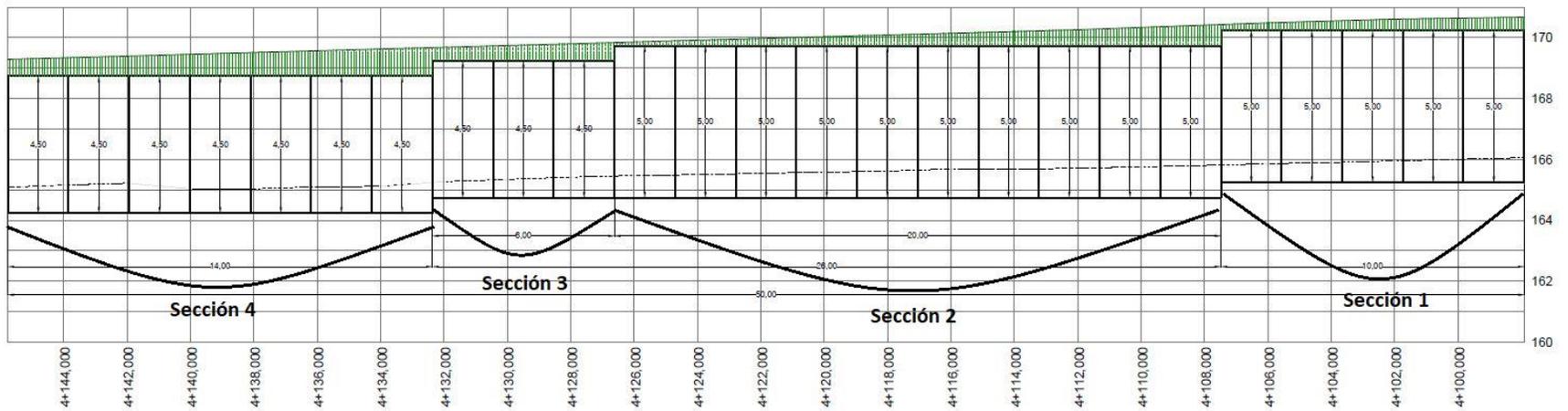


Figura 13. Vista frontal del muro de gaviones de estudio en el kilómetro 4+100 dividida en secciones. (Maccaferri de Centroamérica.

Cuadro 5. Presupuesto del muro 4+100

Costos Directos	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Sobrellenado	Costo total
Primer nivel					
Mano de obra	m3	140	¢12 000		¢1 680 000
Piedra gavi3n	m3	140	¢13 000	20%	¢2 184 000
Caj3n + Geo-textil	m3	140	¢17 100		¢2 394 000
Total por nivel					¢6 258 000
Segundo Nivel					
Mano de obra	m3	125	¢12 000		¢1 500 000
Piedra gavi3n	m3	125	¢13 000	20%	¢1 950 000
Caj3n + Geo-textil	m3	125	¢17 100		¢2 137 500
Total por nivel					¢5 587 500
Tercer Nivel					
Mano de obra	m3	100	¢12 000		¢1 200 000
Piedra gavi3n	m3	100	¢13 000	20%	¢1 560 000
Caj3n + Geo-textil	m3	100	¢17 100		¢1 710 000
Total por nivel					¢4 470 000
Cuarto Nivel					
Mano de obra	m3	75	¢12 000		¢900 000
Piedra gavi3n	m3	75	¢13 000	20%	¢1 170 000
Caj3n + Geo-textil	m3	75	¢17 100		¢1 282 500
Total por nivel					¢3 352 500
Quinto Nivel					
Mano de obra	m3	50	¢12 000		¢600 000
Piedra gavi3n	m3	50	¢13 000	20%	¢780 000
Caj3n + Geo-textil	m3	50	¢17 100		¢855 000
Total por nivel					¢2 235 000
Costo total de niveles					¢21 903 000

Subtotal	¢21 903 000
Imprevistos (2%)	¢438 060
COSTO TOTAL	¢22 341 060
COSTO/M3	¢45 594

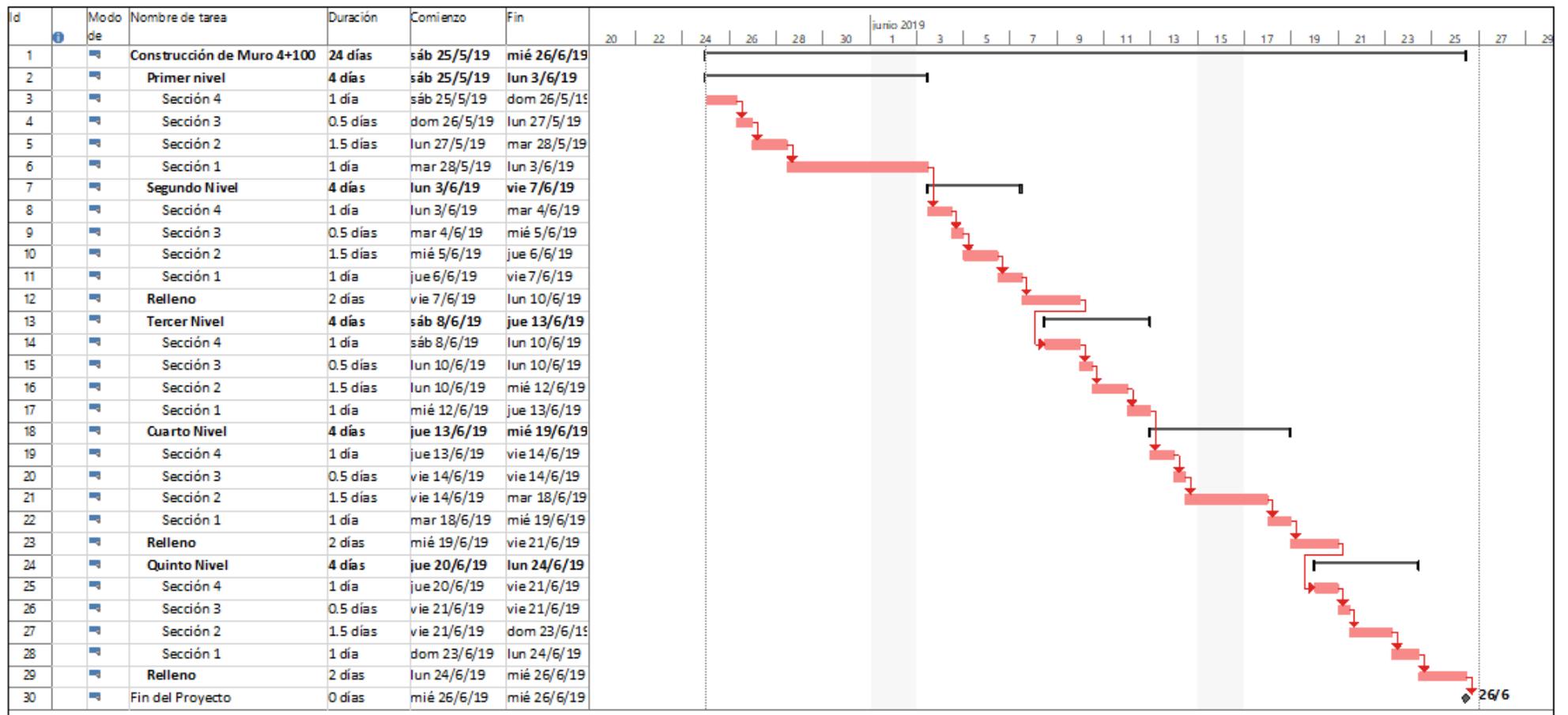


Figura 14. Programación de secuencia de actividades en Project 2016

Productividad

La productividad se determinó mediante 2 técnicas: Work Sampling y Crew Balance. Los datos recopilados para una técnica son distintos para la otra, esto con el fin de obtener mayor información de productividad y hacer de las muestras una información representativa.

Se obtuvieron productividades por niveles de muro por lo cual se estamparán los resultados en este sentido.

Cabe destacar que las mediciones para datos de crew balance se realizaron cada 30 segundos tal y como se muestran en los cuadros de información respectivos, para work sampling el intervalo de medición es de 15 segundos.

Los trabajadores medidos siempre fueron los mismos y se encuentran etiquetados en el mismo orden tanto para crew balance como para el work sampling, esto con la finalidad de obtener las condiciones más similares para ambos métodos.

Además, las actividades a analizar se dividen en 3: Construcción del primer nivel, Construcción del segundo nivel y Construcción del tercer nivel, no se subdividió por las tareas de armado, colocación de geotextil, colocación de formaleta, llenado y costura debido que la cuadrilla es muy pequeña y durante la construcción, los gavioneros trabajan en estas tareas simultáneamente.

En el apartado de apéndice se muestra el machote utilizado para la medición de productividad tanto por crew balance como por work sampling, apéndice A y apéndice B respectivamente.

Para el desarrollo de la medición de productividades se distribuyeron las actividades realizadas por los trabajadores en trabajo productivo, contributivo y no contributivo, tal y como se muestra en el Cuadro 6. Donde de la actividad 1 a la 8, mostradas en color verde son las actividades productivas, de la 9 a la 12 las actividades contributivas de color amarillo y de la 13 a la 18 las actividades no contributivas de color rojo.

Cuadro 6. Distribución de actividades por tipo de trabajo.

Act	Tarea
Act 1	Armando cajón
Act 2	Costura
Act 3	Careando
Act 4	Acomodando
Act 5	Llenando
Act 6	Colocando formaleta
Act 7	Colocando geo-textil
Act 8	Otra Productiva
Act 9	Transportando herramienta o material
Act 10	Detallando acomodado
Act 11	Sosteniendo formaleta
Act 12	Otra Contributiva
Act 13	Hablando
Act 14	Acomodando Vestimenta
Act 15	Parado
Act 16	Descansando
Act 17	Esperando
Act 18	Otra NO Contributiva
Trabajo Productivo:	
Trabajo Contributivo:	
Trabajo No Contributivo:	

Cuadro 7. Información Crew Balance Nivel 1 mañana

Primer Nivel

Crew Balance

Para el crew balance del primer nivel se detalla la información de obtención de datos en el Cuadro 7, además se muestran en la Figura 15 la gráfica del tiempo gastado en cada actividad por los trabajadores y en la Figura 16 se muestra el porcentaje de eficiencia de cada trabajador y el promedio de estos.

Fecha:	4/6/2019
Hora Inicio:	09:31
Hora Fin:	09:44
Intervalo de medición:	30 s
Temperatura:	33 °C
Cantidad de trabajadores observados:	5
Cantidad de observaciones por trabajador:	26

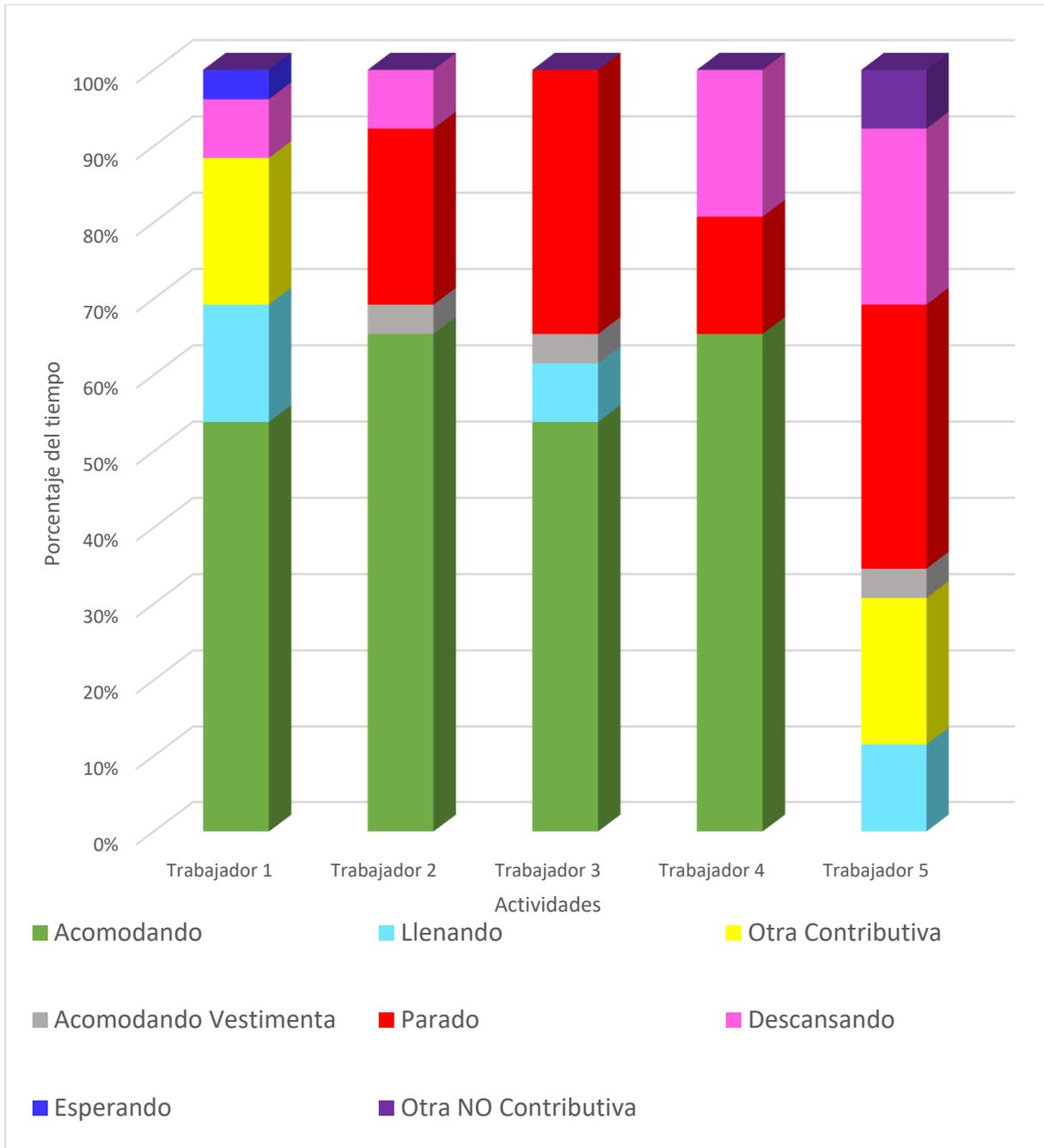


Figura 15. Crew Balance Nivel 1

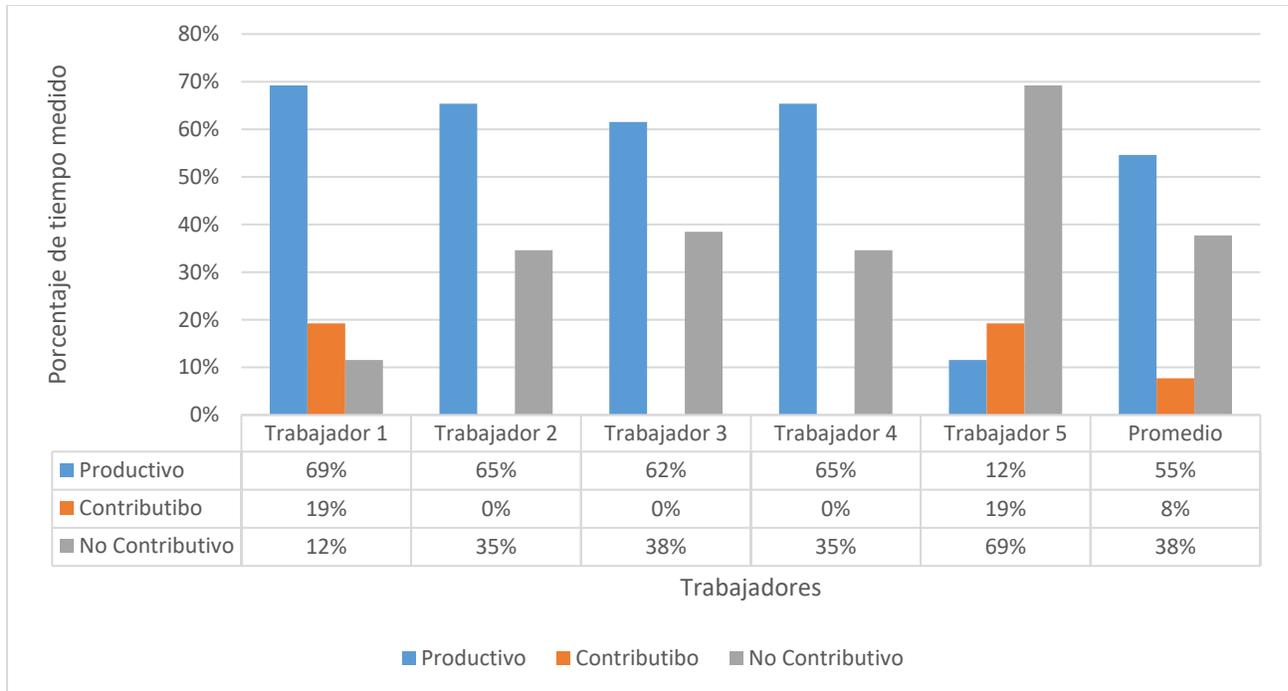


Figura 16. Eficiencia de los trabajadores según crew balance en el primer nivel.

Work Sampling

A continuación, se presentan los resultados de la técnica Work Sampling aplicados el día 4 de junio del 2019. Dentro del Cuadro 8, se presenta información de las condiciones de observación.

Posteriormente se muestran los gráficos con el porcentaje de cada tipo de trabajo (productivo, contributivo y no contributivo) que gasta cada trabajador y el promedio de estos (Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21 y Figura 22).

Cuadro 8. Información Work Sampling nivel 1 mañana.

Fecha:	4/6/2019
Hora Inicio:	10:25
Hora Fin:	10:47
Intervalo de medición:	15 s
Temperatura:	33 °C
Cantidad de trabajadores observados:	5
Cantidad de observaciones por trabajador:	84



Figura 17. Porcentaje de productividad del trabajador 1 en el nivel 1.

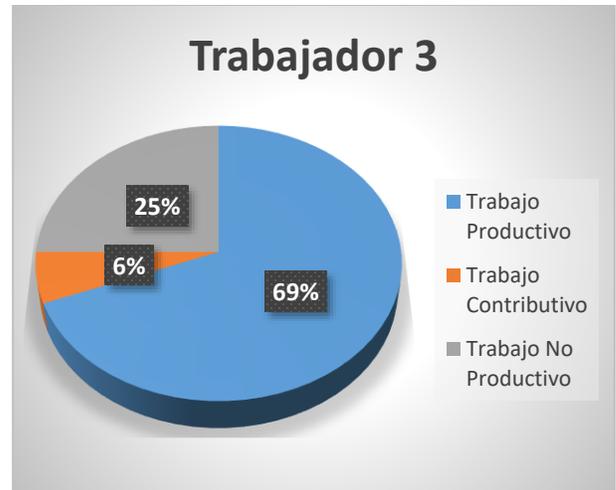


Figura 19. Porcentaje de productividad del trabajador 3 en el nivel 1.



Figura 18. Porcentaje de productividad del trabajador 2 en el nivel 1.



Figura 20. Porcentaje de productividad del trabajador 4 en el nivel 1

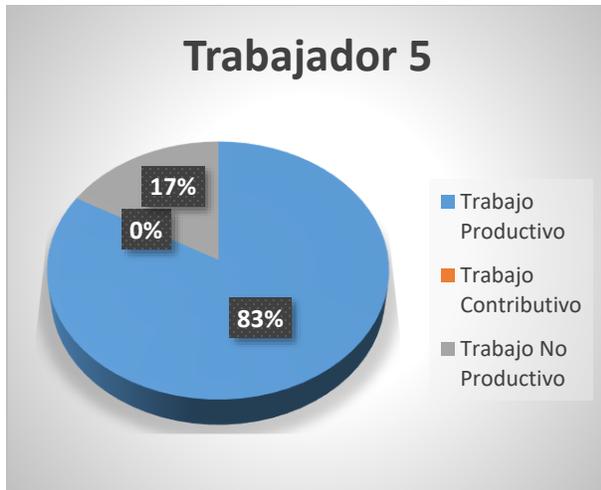


Figura 21. Porcentaje de productividad del trabajador 5 en el nivel 1.

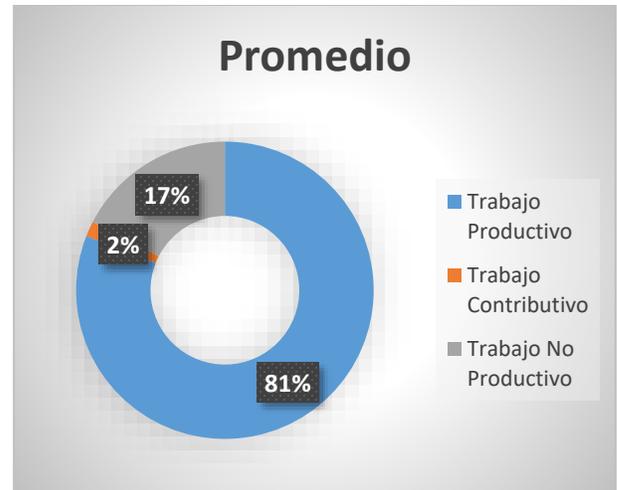


Figura 22. Porcentaje de productividad promedio de los trabajadores en el nivel 1.

Segundo Nivel

Crew Balance nivel 2 mañana

Como resultados del Crew Balance del segundo nivel se muestran 2 muestras de estudio, una desarrollada en horas de la mañana y la segunda en horas de la tarde con el motivo de observar comportamientos en la productividad de la cuadrilla a distintas horas del día. Dentro del Cuadro 9. Información Crew Balance nivel 2 mañana. se aprecia la información de las condiciones de observación de datos.

En la Figura 23 se muestra la gráfica del tiempo gastado en cada actividad por los trabajadores en la mañana y en la Figura 24 se

muestra el porcentaje de eficiencia de cada trabajador y el promedio de estos igualmente en la mañana.

Cuadro 9. Información Crew Balance nivel 2 mañana.

Fecha:	28/5/2019
Hora Inicio:	08:40
Hora Fin:	09:00
Intervalo de medición:	30 s
Temperatura:	28 °C
Cantidad de trabajadores observados:	5
Cantidad de observaciones por trabajador:	39

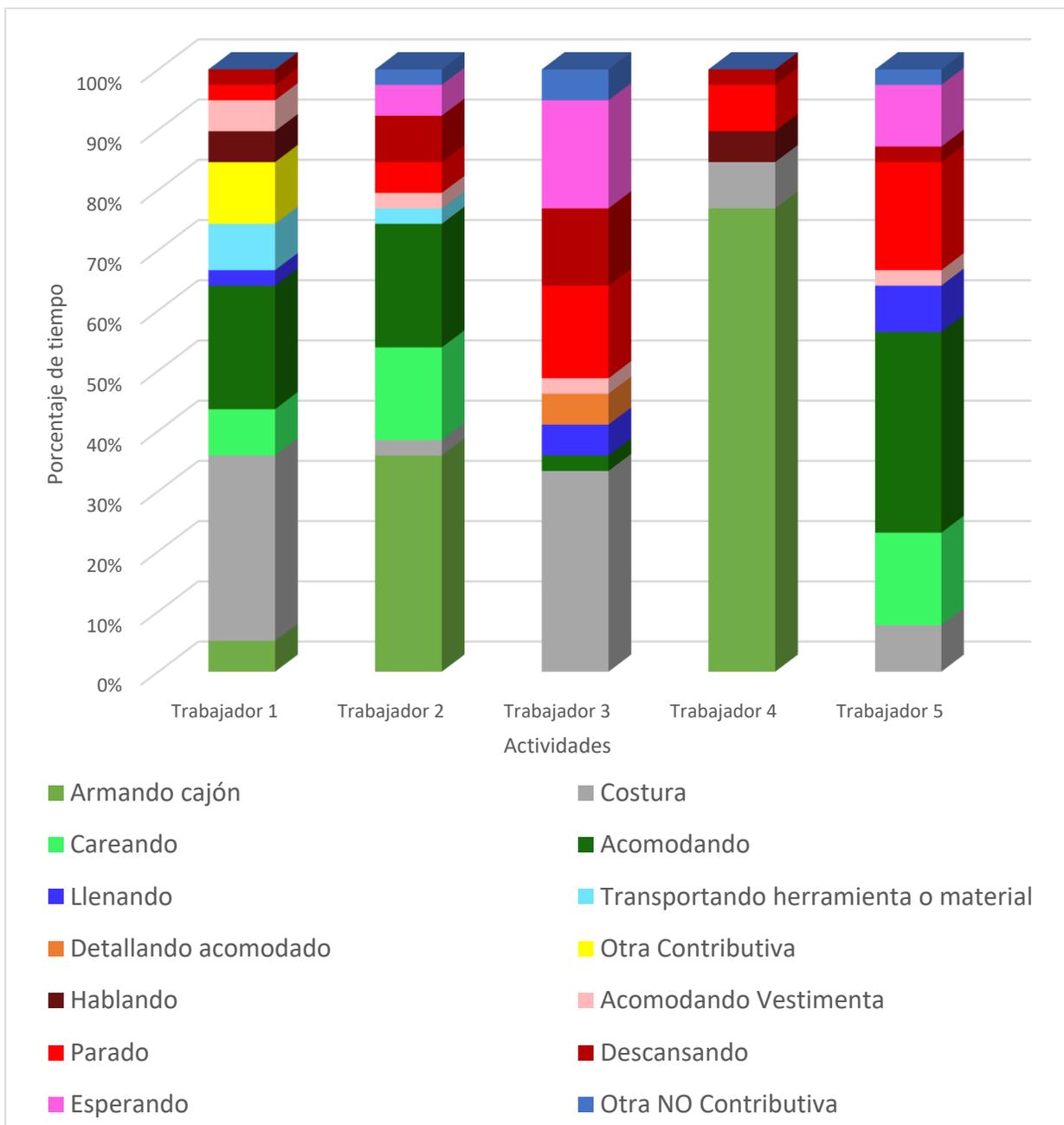


Figura 23. Crew Balance nivel 2 mañana.

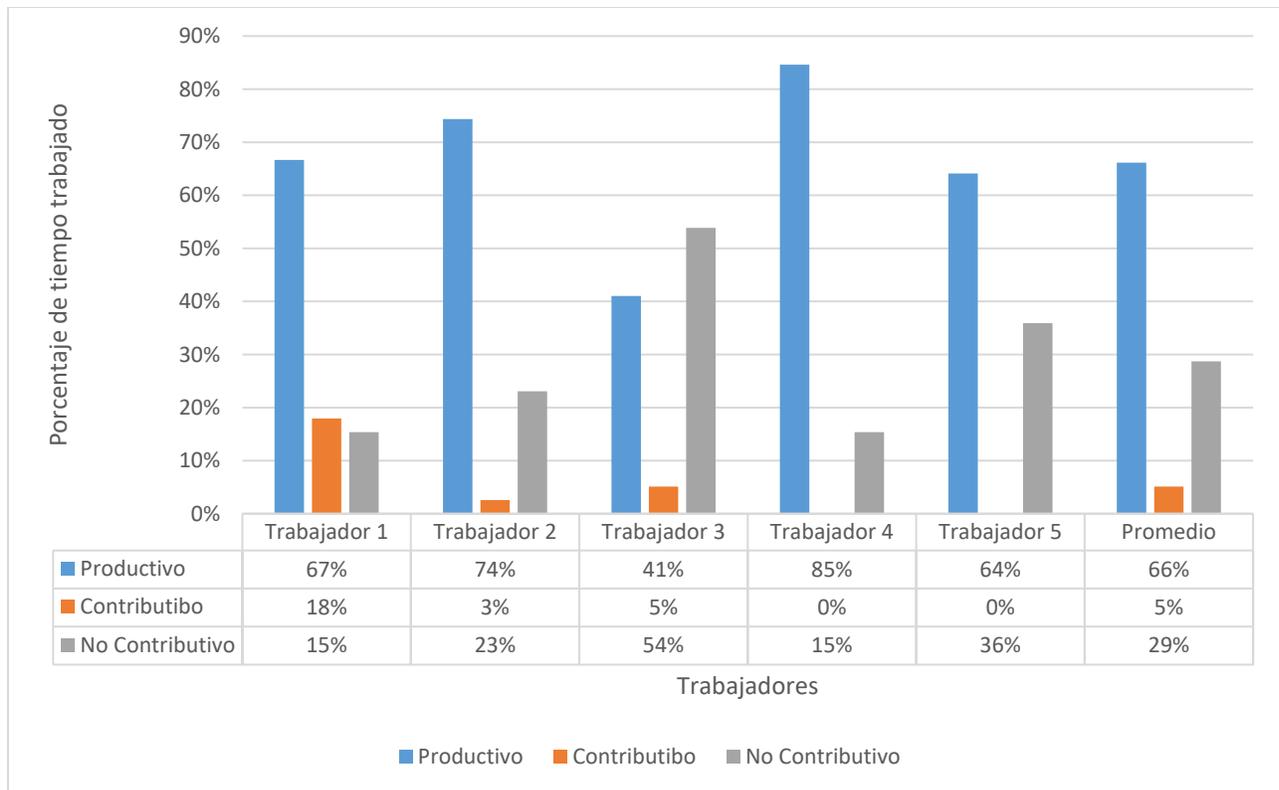


Figura 24. Eficiencia Crew Balance Nivel 2 mañana.

Crew Balance nivel 2 tarde

A continuación, se presentan los resultados del crew balance realizado en horas de la tarde para el nivel 2. En el Cuadro 10 se muestra la información de las condiciones en que fueron tomadas las observaciones. En la Figura 25 se muestra el tiempo gastado por los trabajadores en cada actividad en horas de la tarde y en la Figura 26 se muestra la eficiencia de estos mismos trabajadores igualmente en horas de la tarde.

Cuadro 10. Información Crew Balance Nivel 2 tarde.

Fecha:	28/5/2019
Hora Inicio:	13:20
Hora Fin:	13:33
Intervalo de medición:	30 s
Temperatura:	28 °C
Cantidad de trabajadores observados:	5
Cantidad de observaciones por trabajador:	26

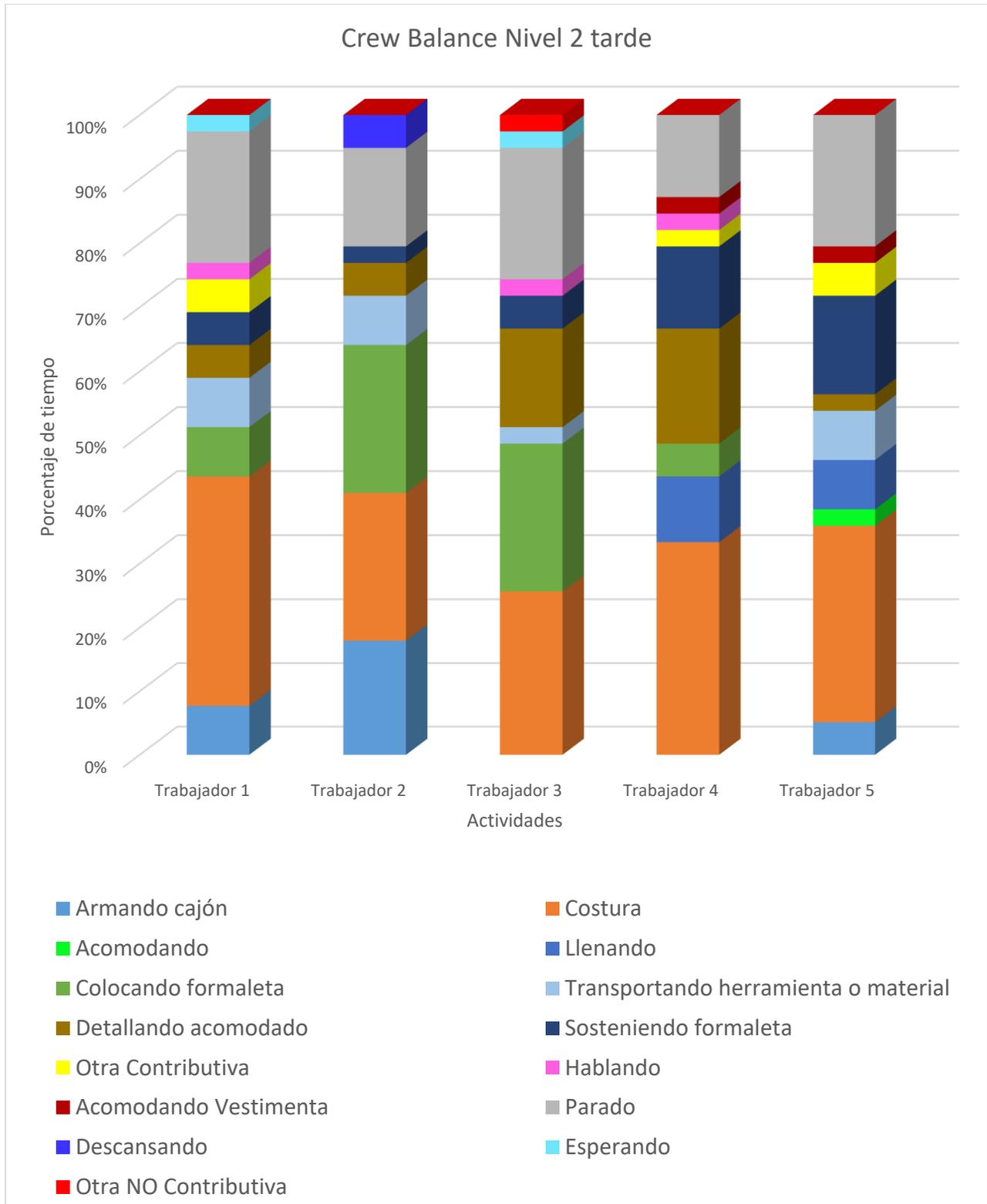


Figura 25. Crew Balance nivel 2 tarde

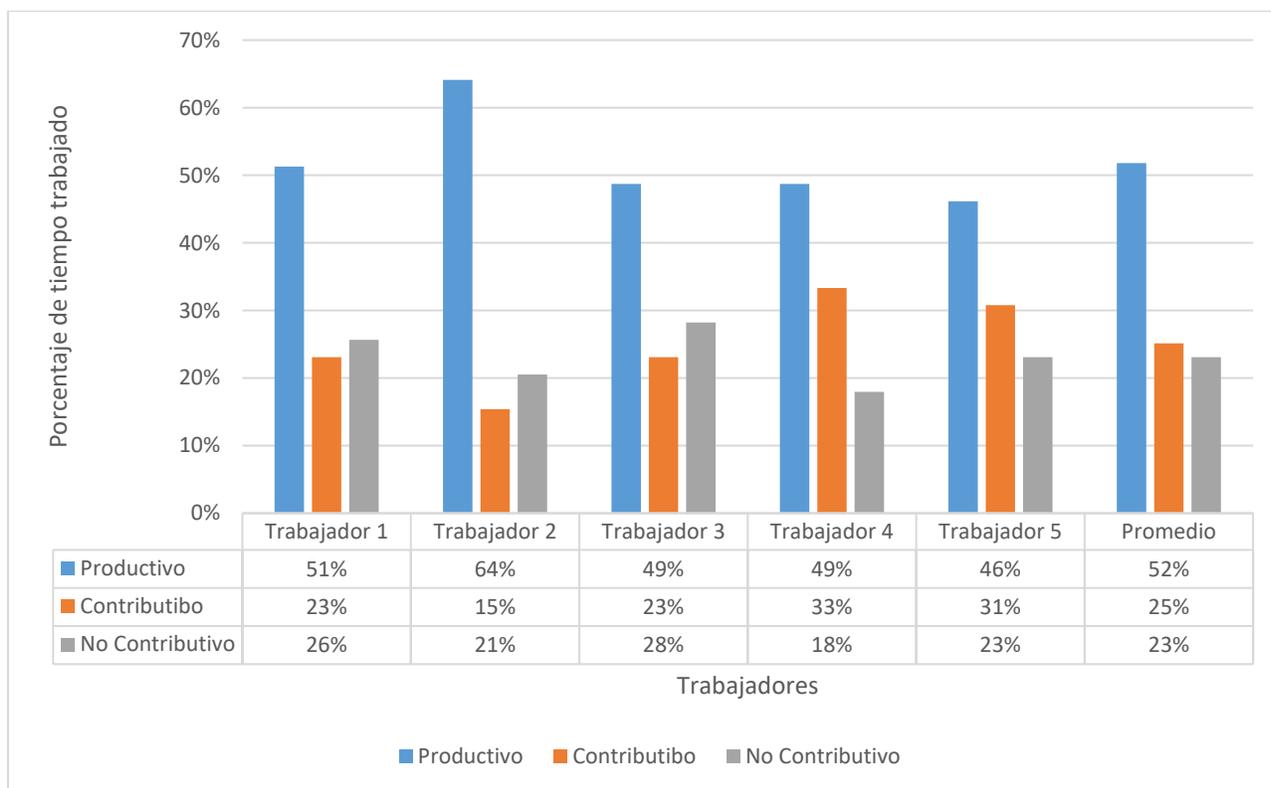


Figura 26. Eficiencia de Crew Balance Nivel 2 tarde.

Work Sampling Nivel 2

En el Cuadro 11 se muestra la información del sintió en que fueron tomadas las observaciones para el work sampling del segundo nivel. Seguidamente se muestran los gráficos con el porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo de cada trabajador y el promedio de estos. (Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31 y Figura 32)

Cuadro 11. Información Work Sampling Nivel 2 mañana.

Fecha:	28/05/2019
Hora Inicio:	14:10
Hora Fin:	14: 21
Intervalo de medición:	15 s
Temperatura:	28 °C
Cantidad de trabajadores observados:	5
Cantidad de observaciones por trabajador:	84



Figura 27. Porcentaje de productividad del trabajador 1 en el nivel 2.

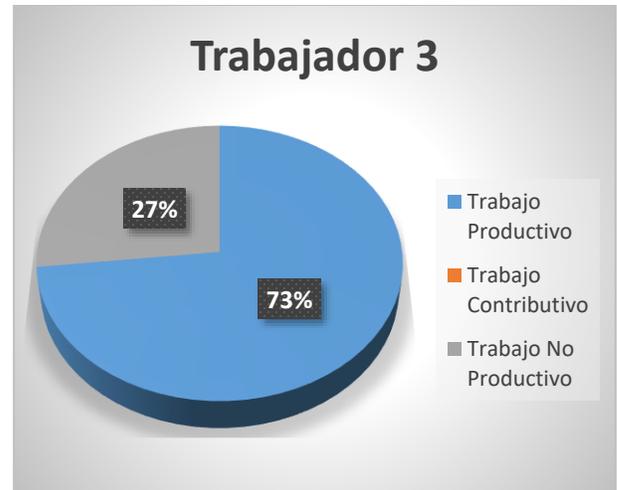


Figura 29. Porcentaje de productividad del trabajador 3 en el nivel 2.

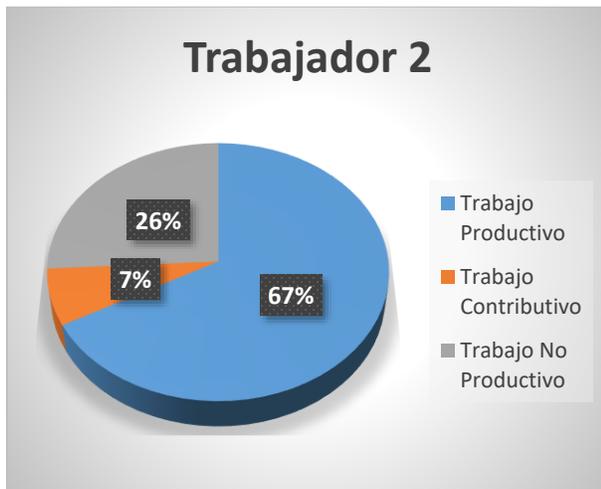


Figura 28. Porcentaje de productividad del trabajador 2 en el nivel 2.



Figura 30. Porcentaje de productividad del trabajador 4 en el nivel 2.

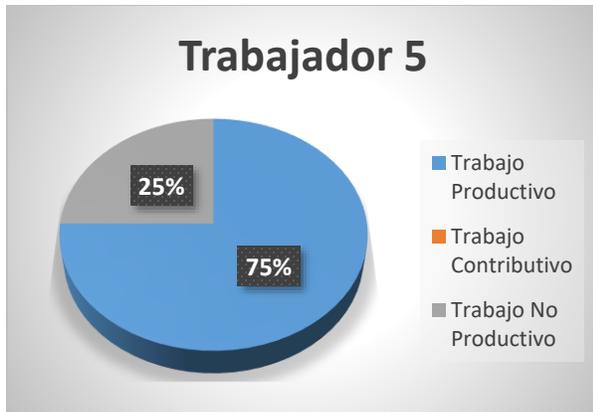


Figura 31. Porcentaje de productividad del trabajador 5 en el nivel 2.

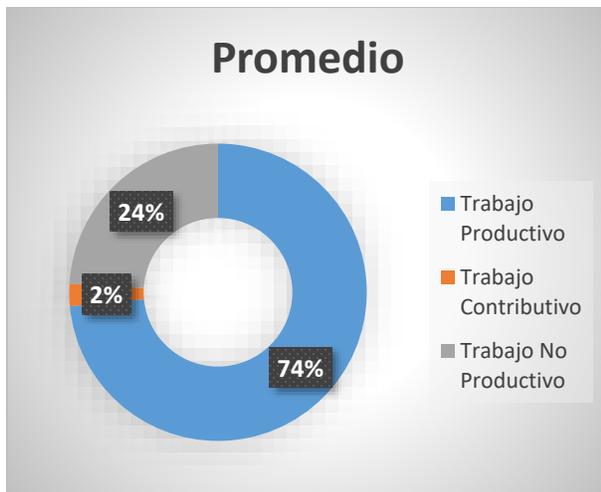


Figura 32. Porcentaje de productividad promedio de los trabajadores en el nivel 2.

Tercer Nivel

A continuación, se presentan los resultados de la medición de productividad del tercer nivel por medio de las técnicas del crew balance y work sampling.

Crew Balance nivel 3

Dentro del Cuadro 12 se muestra la información que corresponde a las condiciones en que fueron tomadas las observaciones, seguidamente dentro de la Figura 33 se muestra un gráfico de barras con el porcentaje de tiempo gastados por cada trabajador en las actividades previamente establecidas. Por último, para este crew balance se muestra la eficiencia de cada trabajador y el promedio de esta en la Figura 34.

Cuadro 12. Información Crew Balance Nivel 3 tarde.

Fecha:	3/6/2019
Hora Inicio:	15:05
Hora Fin:	15:18
Intervalo de medición:	30 s
Temperatura:	29 °C
Cantidad de trabajadores observados:	5
Cantidad de observaciones por trabajador:	26

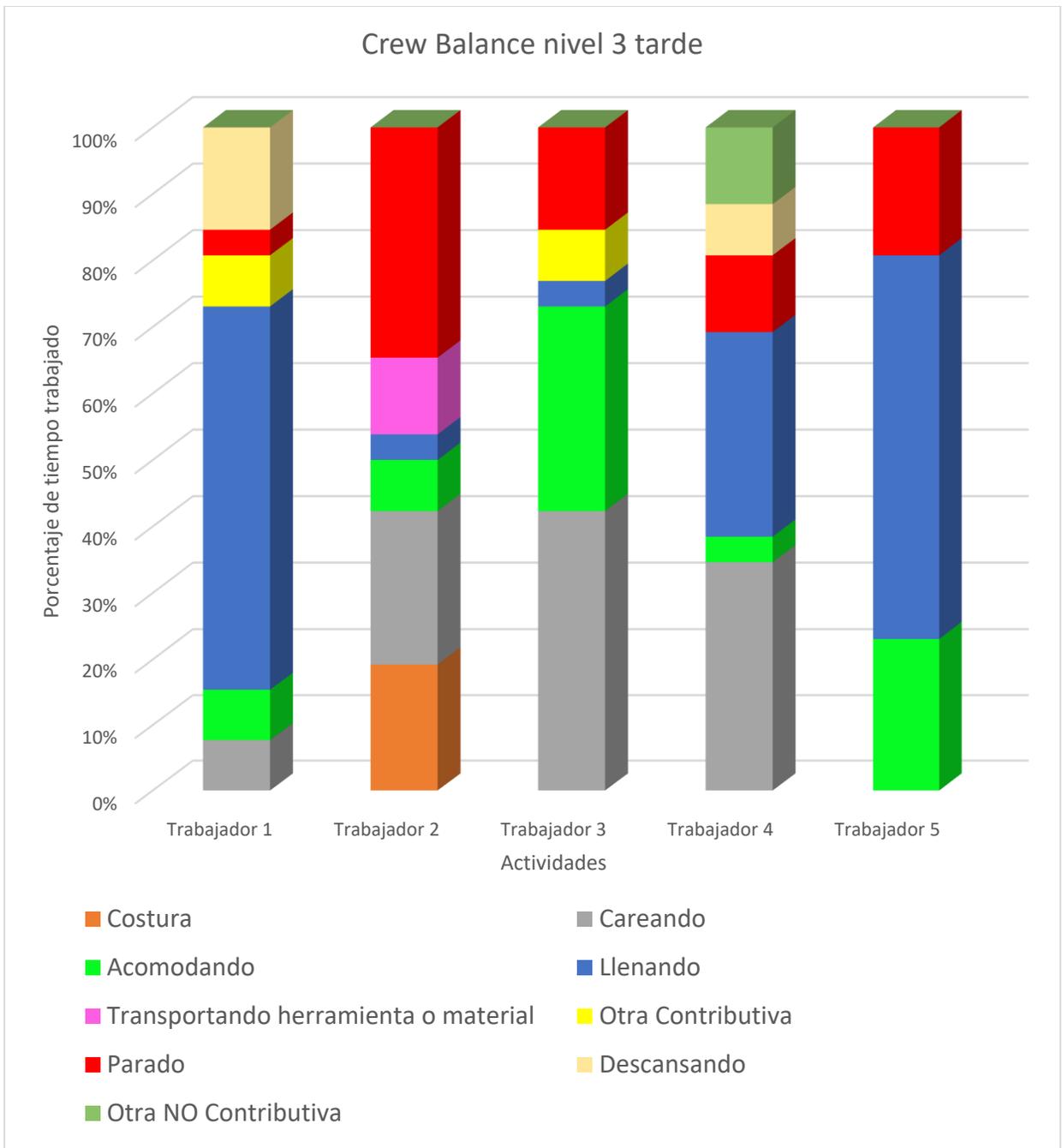


Figura 33. Crew Balance nivel 3 tarde.

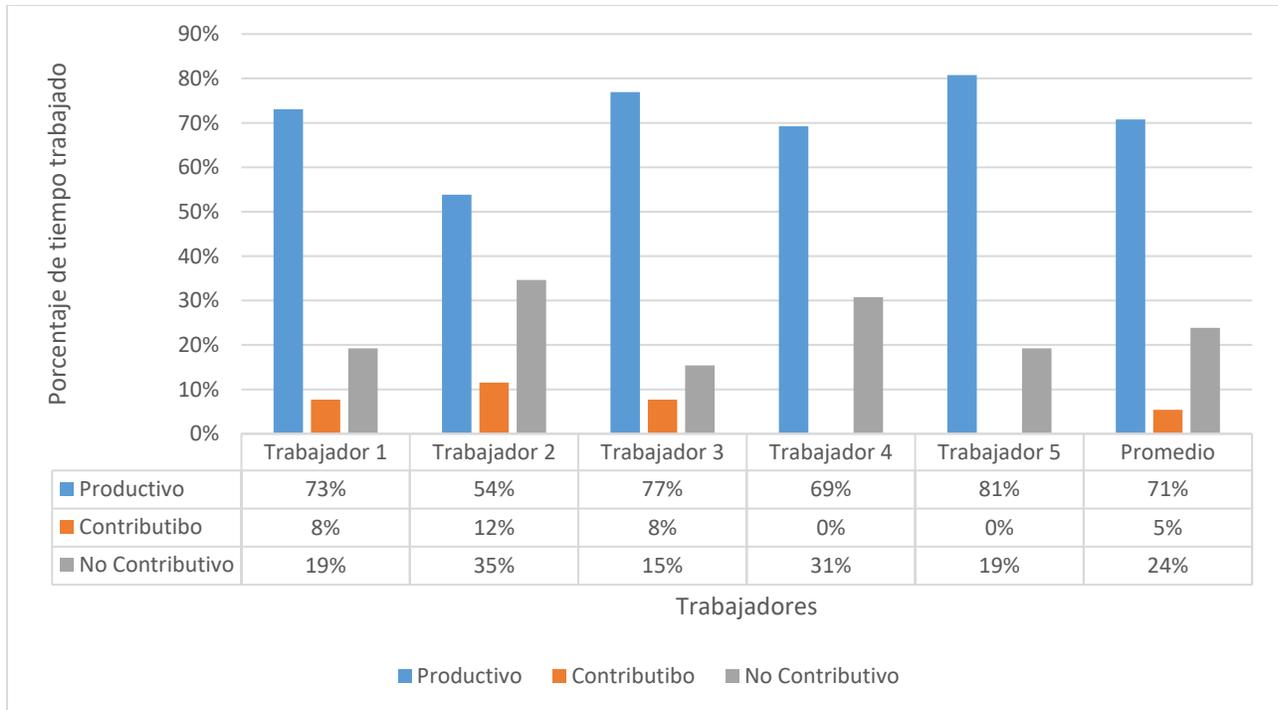


Figura 34. Eficiencia Crew Balance nivel 3 tarde.

Work Sampling nivel 3 mañana

A continuación, se presentan 2 muestras de Work Sampling la primera distribuida en horas de la mañana y la segunda en horas de la tarde con el motivo de obtener información valiosa para la comparación de eficiencia de la cuadrilla en diferentes horas del día.

Dentro del Cuadro 13 se muestran las condiciones en que fueron tomadas las observaciones. Seguidamente se muestran los gráficos de cada trabajador con su respectivo porcentaje de trabajo productivo, contributivo y no contributivo. (Figura 35, Figura 36, Figura 37, Figura 38, Figura 39 y Figura 40)

Cuadro 13. Información Work Sampling Nivel 3 mañana.

Fecha:	3/6/2019
Hora Inicio:	9:15
Hora Fin:	9:40
Intervalo de medición:	15 s
Temperatura:	29 °C
Cantidad de trabajadores observados:	5
Cantidad de observaciones:	84



Figura 35. Porcentaje de productividad del trabajador 1 en el nivel 3.

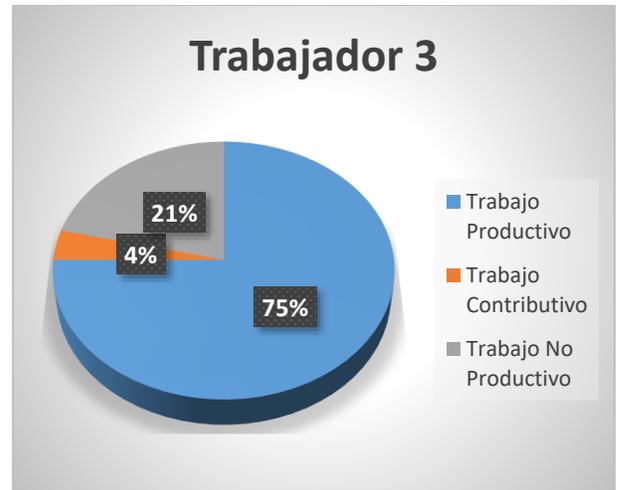


Figura 37. Porcentaje de productividad del trabajador 3 en el nivel 3 mañana.



Figura 36. Porcentaje de productividad del trabajador 2 en el nivel 3 mañana.

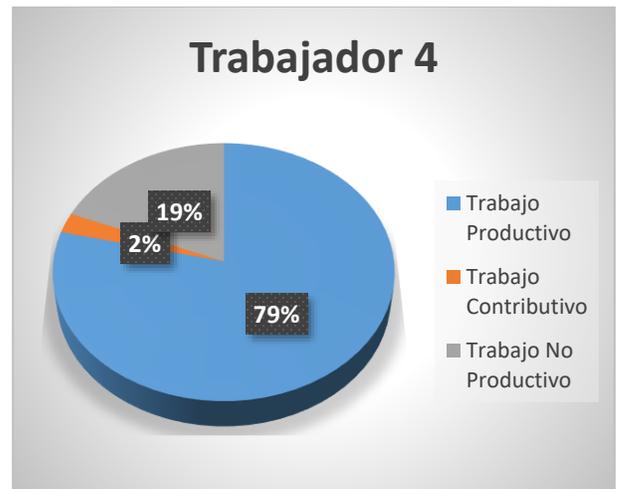


Figura 38. Porcentaje de productividad del trabajador 4 en el nivel 3 mañana.

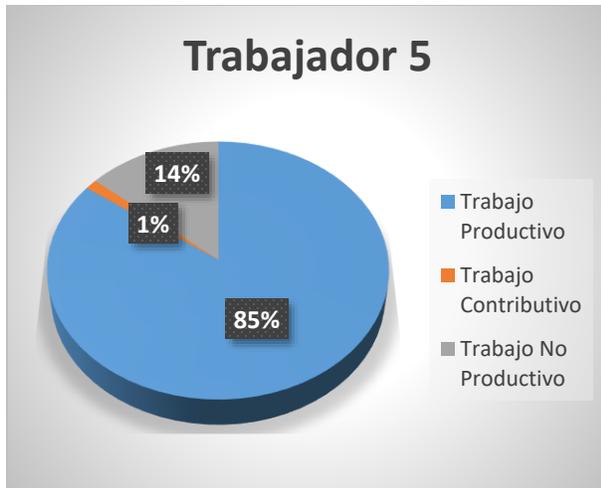


Figura 39. Porcentaje de productividad del trabajador 5 en el nivel 3 mañana.

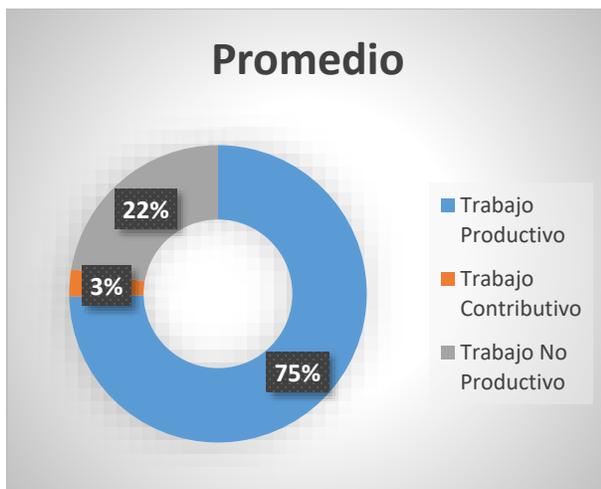


Figura 40. Porcentaje de productividad promedio de los trabajadores en el nivel 3 mañana.

Cuadro 14. Información Work Sampling Nivel 3 tarde.

Fecha:	3/6/2019
Hora Inicio:	14:22
Hora Fin:	14:47
Intervalo de medición:	15 s
Temperatura:	30 °C
Cantidad de trabajadores observados:	5
Cantidad de observaciones:	84

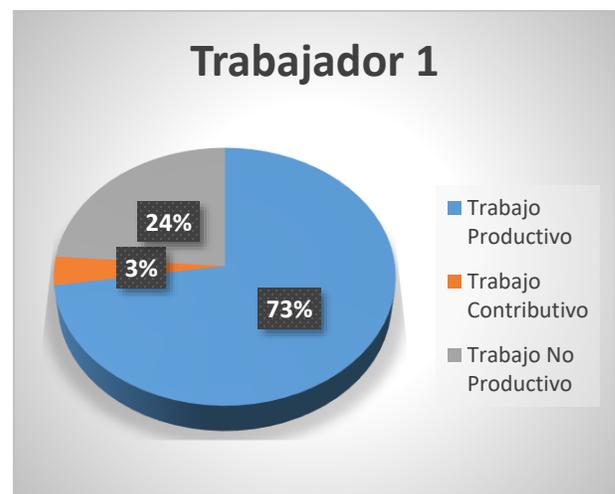


Figura 41. Porcentaje de productividad del trabajador 1 en el nivel 3 tarde.

Work Sampling nivel 3 tarde

Dentro del Cuadro 14 se muestra la información de las condiciones en que fueron tomadas las observaciones para el work sampling del tercer nivel. Posteriormente se muestran una serie de gráficas las cuales denotan el porcentaje del trabajo productivo, contributivo y no contributivo que desarrolló cada trabajador y el promedio de estos. (Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46)

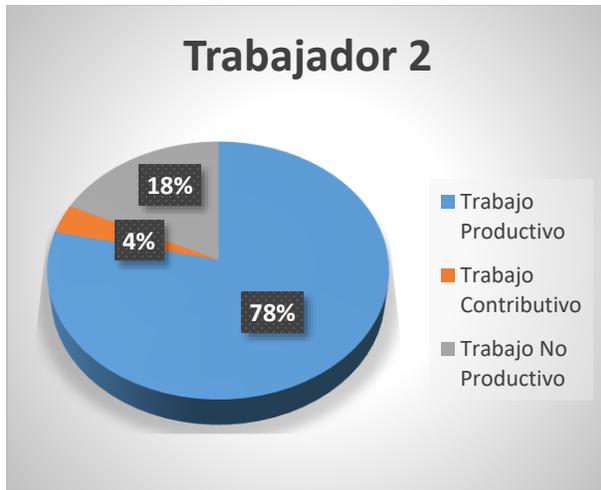


Figura 42. Porcentaje de productividad del trabajador 2 en el nivel 3 tarde.

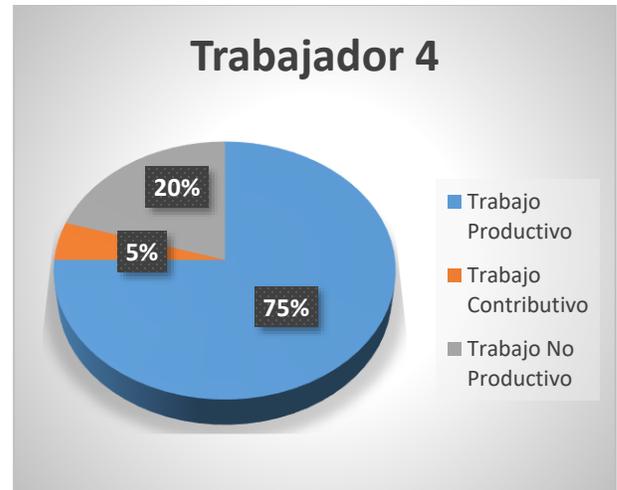


Figura 44. Porcentaje de productividad del trabajador 4 en el nivel 3 tarde.



Figura 43. Porcentaje de productividad del trabajador 3 en el nivel 3 tarde.



Figura 45. Porcentaje de productividad del trabajador 5 en el nivel 3 tarde.

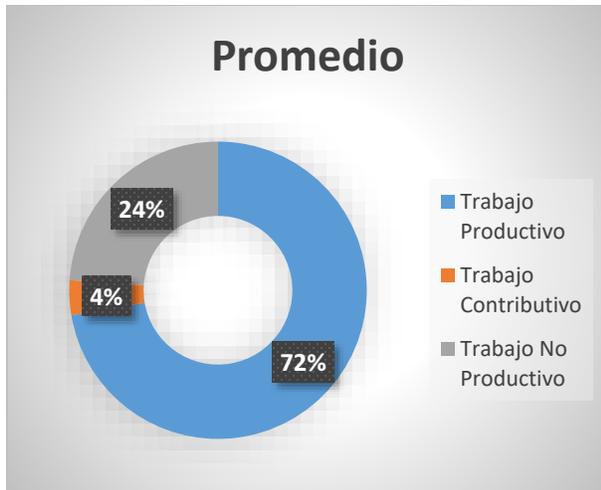


Figura 46. Porcentaje de productividad promedio de los trabajadores en el nivel 3 tarde.

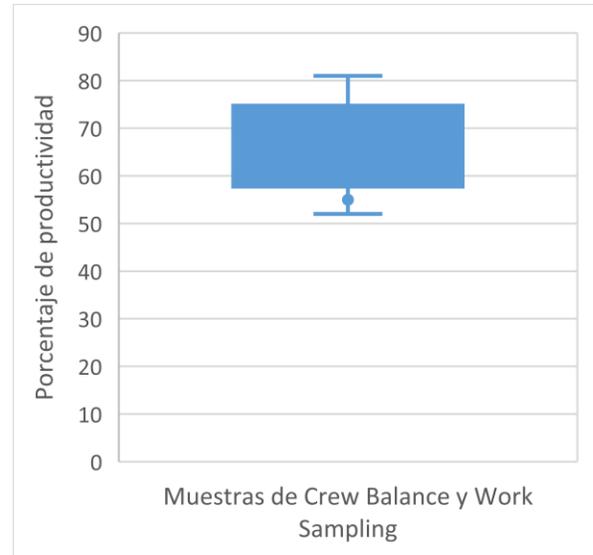


Figura 47. Distribución de datos de productividad.

Análisis Estadístico de resultados de productividad.

Los siguientes resultados muestran un pequeño análisis estadístico realizado a todas las muestras de productividad realizadas se realizó un análisis con todos los datos obtenidos (Cuadro 15 y Figura 47) y otro análisis con los datos que presentan mayor similitud (Cuadro 16 y Figura 48) arrojando la siguiente información:

Cuadro 15. Resultados de análisis estadístico sin corregir.

Promedio (%)	Desviación estándar	Coficiente de variación (%)
68	10	15

Cuadro 16. Resultado de análisis estadístico con datos corregidos.

Promedio (%)	Desviación estándar	Coficiente de variación (%)
73	5	7

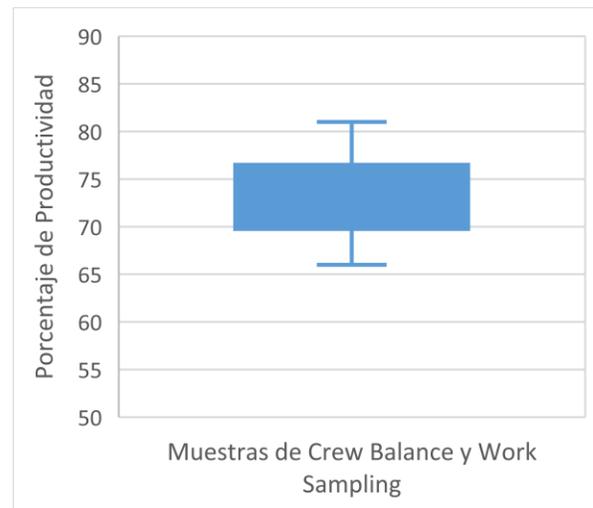


Figura 48. Distribución de datos de productividad corregidos.

Rendimientos

Para la medición de estos rendimientos se utilizó el machote mostrado en el apéndice C. Estos rendimientos fueron medidos a distintas horas del día y en distintas condiciones climatológicas el rango de temperatura en que fueron medidos rondan entre 29°C y los 33°C.

Además, se debe mencionar que, a la hora de cronometrar el tiempo, este fue detenido en el momento en que los trabajadores se detenían a descansar, almorzar, tomar café, etc. Es decir, el tiempo utilizado es un tiempo efectivo de trabajo. Las dimensiones de los cajones son utilizadas como unidad para medir el trabajo, esto debido que, al ser elementos estandarizados de 1, 1.5 y 2 metros facilita la determinación del trabajo realizado, además que por cuestiones de pago al personal se realizan por cajones de 1 metro cúbico construido.

Cabe recalcar que tal y como se menciona en el apartado de marco teórico existe el consumo de la mano de obra y el rendimiento de la mano obra, ambos valores utilizan las mismas variables sin embargo, el rendimiento representado en unidad por horas hombre es el inverso del consumo de la mano de obra el cual se representa en horas hombre por unidad y se calcula basado en el procedimiento del folleto de costos de construcción (Sandoval, Ortiz, & Paniagua, 2009).

En el Cuadro 22 se muestra el rendimiento total por niveles, para esto fue necesario realizar conversiones del rendimiento de la colocación de geotextil el cual se estimó que en un m³ se coloca 1 metro lineal de geotextil; el rendimiento de la colocación de formaleta, el cual se estimó que para un metro cubico se necesita 1 metro lineal de formaleta y el rendimiento de la costura el cual se estimó que en un metro cúbico se necesitan 3 metros lineales de costura. Esta información se consideró por medio de la observación en el proceso constructivo en sitio. Cabe destacar que esto es una aproximación a la realidad.

Por otro lado, tal y como se menciona en el apartado de marco teórico se aplicó un factor de incremento para simular los tiempos no contributivos que se dan comúnmente en las construcciones, los cuales se encuentran detallados en el Cuadro 2.

Los resultados mostrados en la Figura 49 representan los rendimientos en metros cúbicos por horas hombre (m³/HH) del armado por nivel.

En la Figura 50 se muestran los resultados de los rendimientos de la colocación de geotextil en metros lineales por horas hombre (ml/HH). La Figura 51 muestra los resultados del rendimiento del colocado de formaleta por nivel en metros lineales por horas hombre (ml/HH). El rendimiento del llenado de cajones mostrados en la Figura 52 se encuentra en metros cúbicos por horas hombre (m³/HH). Dentro de la Figura 53 se muestran los resultados de la costura por nivel en metros lineales por horas hombre (ml/HH) y por último en la Figura 54 se muestran los resultados del rendimiento total por nivel en metros cúbicos por horas hombre (m³/HH).

Dentro del Cuadro 23 se presentan los consumos del relleno, para esta actividad se utilizó una Excavadora Caterpillar de 20 toneladas modelo 320 DL, una compactadora Caterpillar CS533E de 10 toneladas y una vagoneta de 12 m³ Caterpillar 765, no obstante la cantidad de mediciones de rendimiento tomadas para esta actividad son muy pocas por lo tanto no se consideran representativos.

A continuación, se presentan los resultados de los rendimientos con factor de incremento por nivel obtenidos en el sitio, se adjunta información del consumo de la mano de obra con factor de incremento y sin factor de incremento.

Cuadro 17. Rendimientos del armado de todos los niveles.

	Consumo		Rendimiento
	Armado (HH/m ³) con f.i	Armado (HH/m ³) sin f.i	Armado (m ³ /HH) con f.i
Nivel 1	0.201	0.176	4.974
Nivel 2	0.589	0.515	1.697
Nivel 3	1.079	0.942	0.927

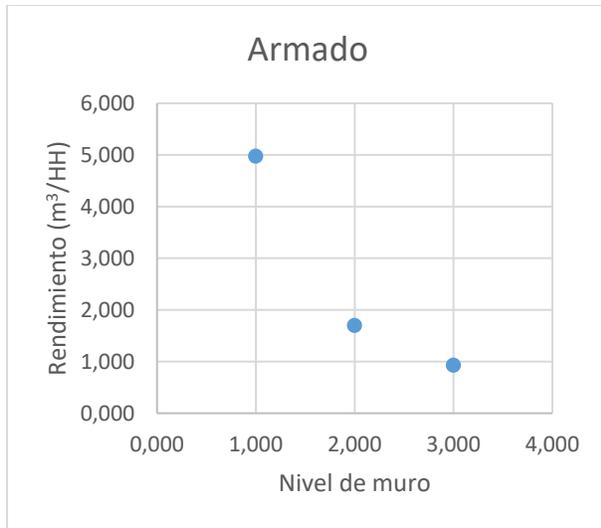


Figura 49. Gráfica de rendimientos del armado por nivel.

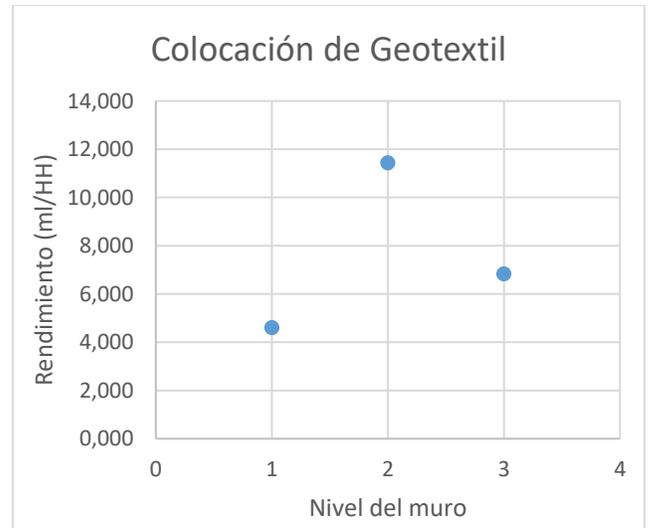


Figura 50. Grafica de rendimientos de colocación de geotextil por nivel.

Cuadro 18. Rendimientos del colocado de geotextil de todos los niveles.

	Consumo		Rendimiento
	Colocado de Geotextil (HH/ml) con f.i	Colocado de Geotextil (HH/ml) sin f.i	Colocado de Geotextil (ml/HH) con f.i
Nivel 1	0.218	0.190	4.601
Nivel 2	0.088	0.076	11.432
Nivel 3	0.146	0.128	6.830

Cuadro 19. Rendimientos del colocado de formaleto de todos los niveles.

	Consumo		Rendimientos
	Formaleteo (HH/ml) con f.i	Formaleteo (HH/ml) sin f.i	Formaleteo (ml/HH) con f.i
Nivel 1	0.103	0.090	9.750
Nivel 2	0.246	0.215	4.078
Nivel 3	0.256	0.223	3.914

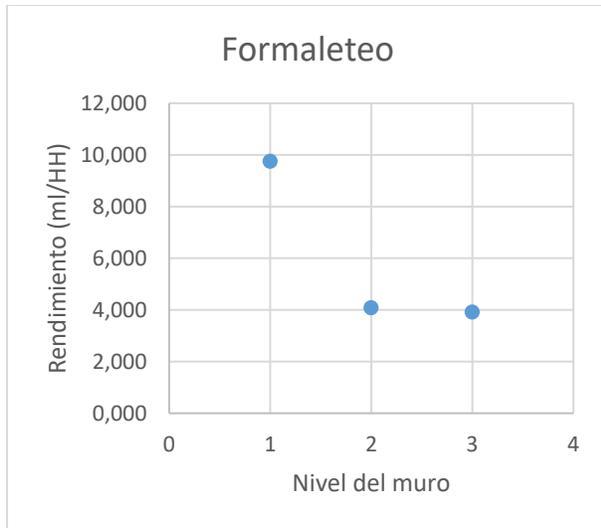


Figura 51. Gráfica de rendimientos del colocado de formaleta por nivel.

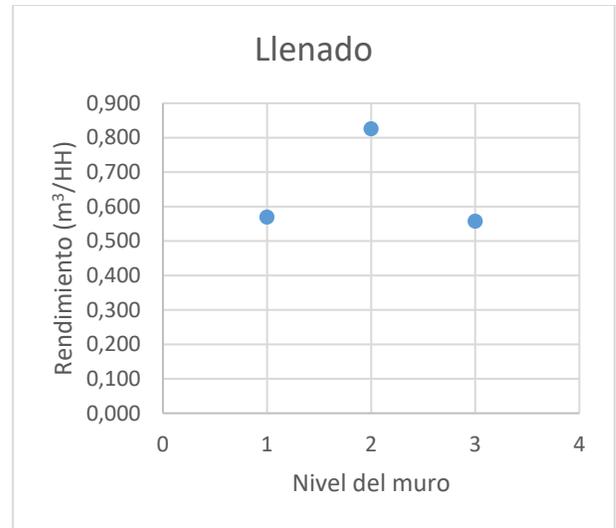


Figura 52. Gráfica de rendimientos del llenado por nivel.

Cuadro 20. Rendimientos del llenado de todos los niveles.

	Consumo		Rendimientos
	Llenado (HH/m3) con f.i	Llenado (HH/m3) sin f.i	Llenado (m3/HH) con f.i
Nivel 1	1.758	1.534	0.569
Nivel 2	1.212	1.058	0.826
Nivel 3	1.796	1.568	0.557

Cuadro 21. Rendimientos de la costura de todos los niveles.

	Consumo		Rendimientos
	Costura (HH/ml) con f.i	Costura (HH/ml) sin f.i	Costura (ml/HH) con f.i
Nivel 1	0.160	0.140	6.250
Nivel 2	0.360	0.315	2.790
Nivel 3	0.154	0.134	6.512

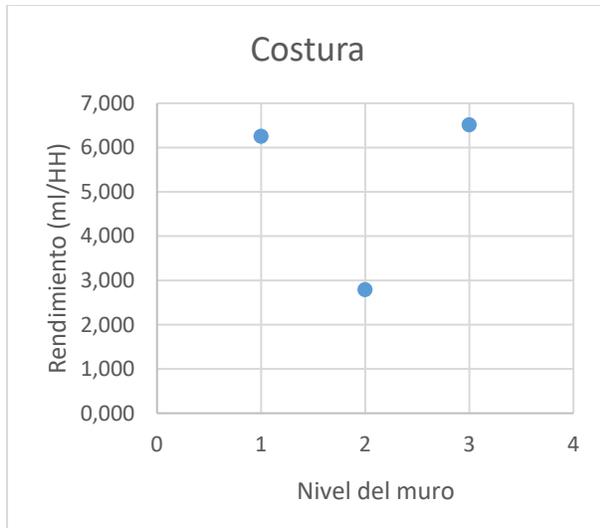


Figura 53. Gráfica de rendimientos de la costura por nivel.

Cuadro 22. Rendimiento total por nivel.

	Consumo		Rendimientos
	Total (HH/m3) con f.i	Total (HH/m3) sin f.i	Total (m3/HH) con f.i
Nivel 1	2.760	2.411	0.362
Nivel 2	3.216	2.809	0.311
Nivel 3	3.737	3.264	0.268



Figura 54. Gráfica de rendimientos de construcción total de nivel.

Cuadro 23. Consumo del relleno

Relleno		
Excavadora (HH/m3)	Rodillo Vibratorio (HH/m3)	Sapo (HH/m3)
0.033	0.046	0.287

Control de costos

Inicialmente se adjunta el cuadro resumen de todos los cortes realizados (Cuadro 24). Para la semana 1 el día de corte se realizó el 31 de mayo del 2019, para la semana 2 el corte se elaboró el 8 de junio del 2019 y para la última semana de estudio el corte se realizó el día 14 de junio del 2019.

Los costos reales son estimados tomando en cuenta que se mantiene un mismo coste en los cajones y geotextil, la variabilidad que se da será debido a la utilización de más o menos material.

Para el caso de la piedra se calcula el costo de esta puesta en sitio tomando en cuenta los precios vigentes por metro cúbico por kilómetro de acarreo por parte del tajo Guarial, esta información se encuentra dentro de la memoria de cálculo.

Debido que el proyecto de construcción no presenta mucha extensión ni complejidad, la técnica de gestión de valor ganado no fue aplicada con la totalidad de sus índices y proyecciones, los cuadros resumen muestran los resultados que se consideran necesarios para no saturar de información.

Cuadro 24. Resumen de cortes semanales como control de costos.

		Semana 0	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Valor Planificado Acumulado	PV	₪0	₪5 505 476	₪12 593 063	₪18 378 941
Costo Real		₪0	₪2 906 493	₪6 626 759	₪6 895 087
Costo Real Acumulado	AC	₪0	₪2 906 493	₪9 533 253	₪16 428 340
Porcentaje de avance completado de la semana	% Avance	0%	14%	41%	66%
Valor ganado del trabajo realizado acumulado	EV	₪0	₪2 840 506	₪8 760 887	₪15 365 178

Costo total presupuestado (BAC)	₪22 341 060
--	--------------------

Corte 31 mayo 2019

El primer corte semanal se realizó el día 31 de mayo del 2019, a continuación, se presentan los resultados de la semana 1, se adjuntan las gráficas de gestión del valor ganado en la Figura 55 y dentro del Cuadro 25 se presentan los índices y variaciones del comportamiento de los costos y plazo del proyecto realizado.

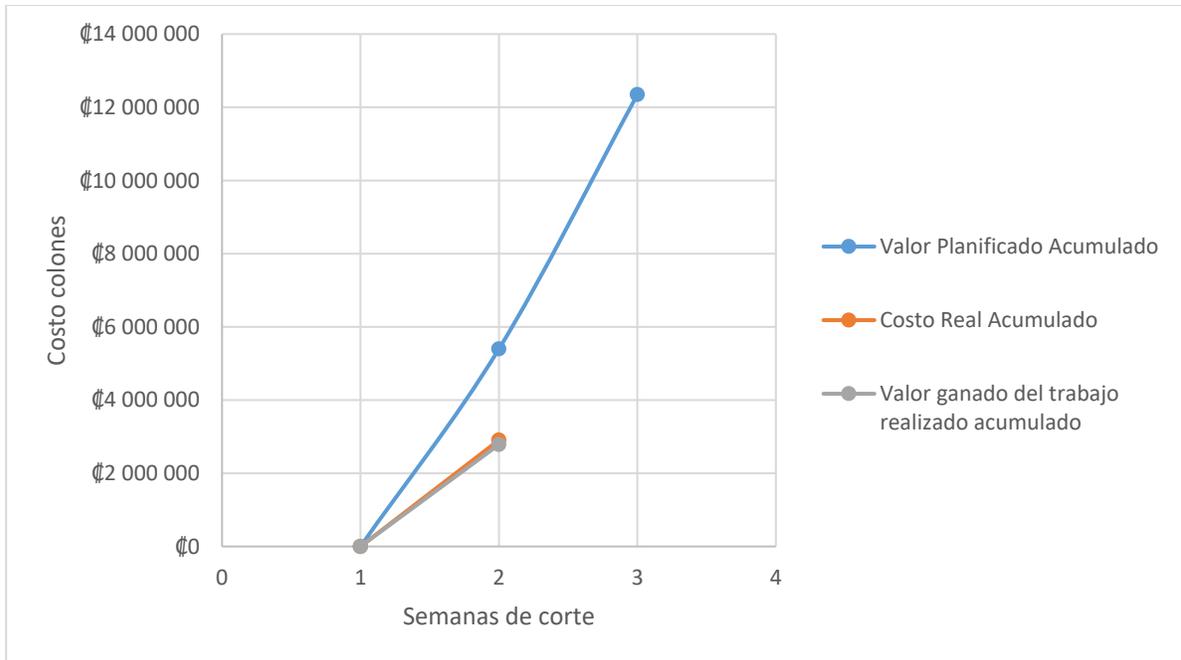


Figura 55. Gráfica de gestión del valor ganado corte semana 1.

Cuadro 25. Resumen de índices y variaciones corte semana 1.

Índices y variaciones	Valor
Variación del costo [$CV=EV-AC$]	-COP 65 987
Variación del cronograma [$SV=EV-PV$]	-COP 2 664 969
Índice de rendimiento del costo) [$CPI = EV/AC$]	0.977
Índice de rendimiento del cronograma del proyecto [$SPI = EV/PV$]	0.516
Estimación a la conclusión [$EAC = BAC/CPI$]	COP 22 860 060

Corte 8 junio 2019

Para el segundo corte realizado el día 8 de junio del 2019 se presentan los resultados de la semana 2, se adjuntan las gráficas de gestión del valor ganado en la Figura 56 y dentro del Cuadro 26 se

presentan los índices y variaciones del comportamiento de los costos y plazo del proyecto realizado.

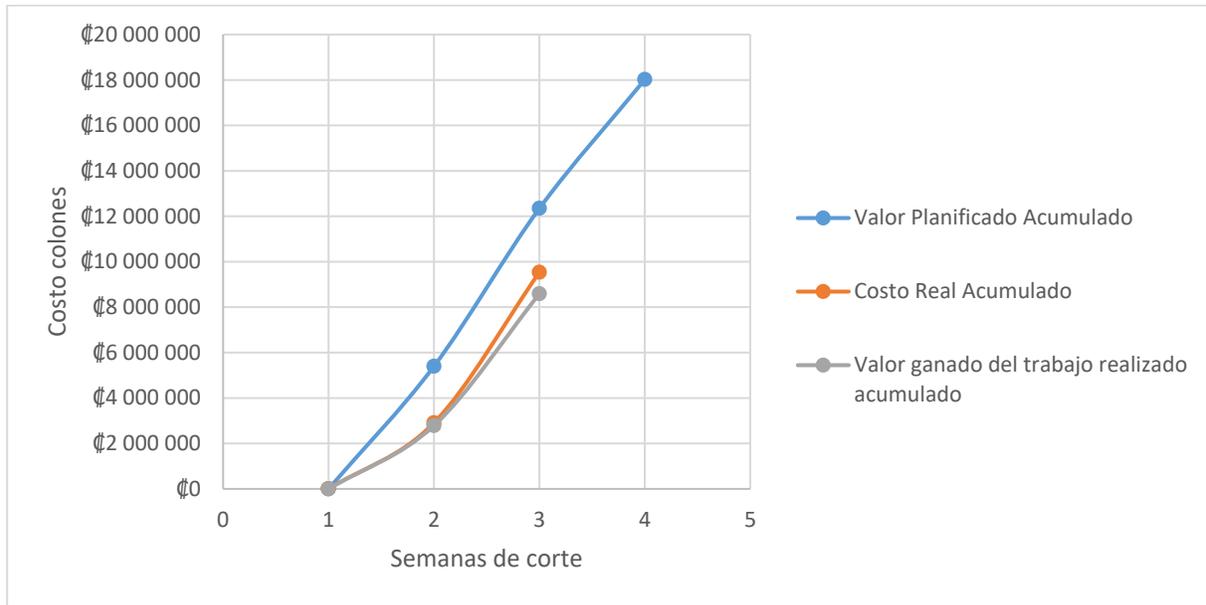


Figura 56. Gráfica de gestión del valor ganado corte semana 2.

Cuadro 26. Resumen de índices y variaciones corte semana 2.

Índices y variaciones	Valor
Variación del costo [$CV=EV-AC$]	-COP 772 366
Variación del cronograma [$SV=EV-PV$]	-COP 3 832 176
Índice de rendimiento del costo [$CPI = EV/AC$]	0.919
Índice de rendimiento del cronograma del proyecto [$SPI = EV/PV$]	0.696
Estimación a la conclusión [$EAC = BAC/CPI$]	COP 24 310 662

Corte 14 junio 2019

Por último, se presentan los resultados del último corte de la semana 3, como resultados se adjuntan las gráficas de gestión del valor ganado en la Figura 57 y dentro del Cuadro 27 se presentan los índices y variaciones del comportamiento de los costos y plazo del proyecto realizado.

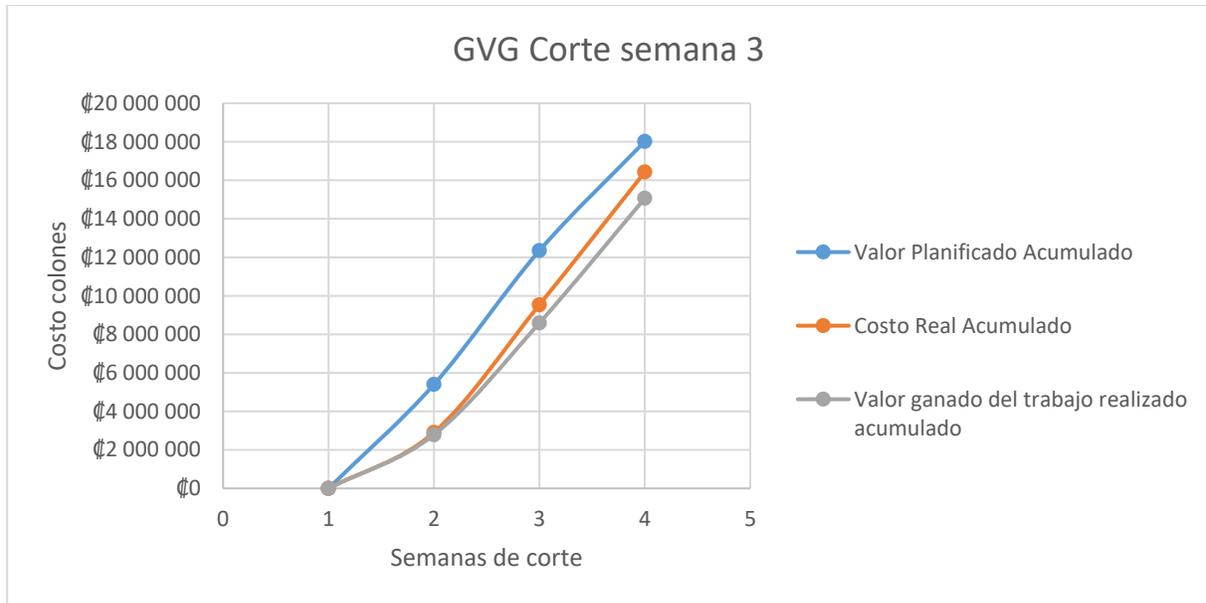


Figura 57. Gráfica de gestión del valor ganado corte semana 3.

Cuadro 27. Resumen de índices y variaciones corte semana 3.

Indíces y variaciones	Valor
Variación del costo [$CV=EV-AC$]	-COP 1 063 162
Variación del cronograma [$SV=EV-PV$]	-COP 3 013 763
Índice de rendimiento del costo [$CPI = EV/AC$]	0.935
Índice de rendimiento del cronograma del proyecto [$SPI = EV/PV$]	0.836
Estimación a la conclusión [$EAC = BAC/CPI$]	COP 23 886 903

Comparación de presupuestos

A continuación, se muestra el resultado del cálculo de costo de mano de obra con la información determinada en este proyecto con el motivo de realizar un análisis de deficiencia o beneficio que genera la utilización o no del subcontrato, se

aclara que los costos se encuentran en unidad de colones.

Dentro del Cuadro 28 se aprecia las especificaciones para la estimación del costo de la mano de obra, se tomó en cuenta que la cuadrilla tiene un tamaño de 10 personas según lo visto en el sitio además por medio de consultas al encargado se determinó que el costo de los gavioneros por hora es de COP5500 colones por metro cúbico.

Como complemento se calcula el costo de la mano de obra con los rendimientos obtenidos en este informe y aplicando un costo de COP1300

colones por hora a los trabajadores, basado en los salarios mínimos impuestos por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.

Además, se calculó que por motivos de reajustes a la hora de la construcción se elaboran un 2% más de metros cúbicos del tamaño original según el diseño. (Ver Cuadro 29)

Por otro lado, se aplica un cobro por cargas sociales de un 52% del costo total de la mano de obra que por ley debe pagarse. (Cuadro 29)

Se determinó como costos indirectos el alquiler de casa de habitación para trabajadores y encargado basado en consultas realizadas al encargado de la obra más los viáticos del encargado tal y como se aprecia en el Cuadro 30, a los trabajadores no se les remunera ningún monto de viáticos, los gastos de alimentación corren por ellos mismo.

Por último, se muestra en el Cuadro 31 el costo total según el presupuesto por subcontrato con el fin de realizar la comparación y mostrar el ahorro.

Cuadro 28. Costos de mano de obra con rendimientos sin subcontrato.

Niveles	Cantidad/nivel (m ³)	Tamaño de cuadrilla	Costo/m ³	Rendimiento (HH/m ³)	Duración total (HH)	Duración en días	Duración días redondeados	Costo total (Colones)	Costo total salarios por hora (Colones)
1	140	10	¢5 500	2.76	38.64	3.86	4.00	¢770 000	¢502 320
2	125	10	¢5 500	3.22	40.20	4.02	5.00	¢687 500	¢522 600
3	100	10	¢5 500	3.74	37.37	3.74	4.00	¢550 000	¢485 810
4	75	10	¢5 500	4.26	31.95	3.20	4.00	¢412 500	¢415 368
5	50	10	¢5 500	4.86	24.28	2.43	3.00	¢275 000	¢315 679
TOTAL:	490					TOTAL:	20.00	¢2 695 000	¢2 241 777

Cuadro 29. Continuación de costos de mano de obra sin subcontrato.

		Costo con salario por m ³	Costo con salario por hora
Encargado		¢400 000	¢400 000
Total sin cargas sociales		¢3 095 000	¢2 641 777
Cargas sociales	52%	¢1 609 400	¢1 373 724
Costo total		¢4 304 400	¢3 615 501
Costo /m3		¢8 784	¢7 379

Cuadro 30. Presupuesto sin subcontrato.

Costos Directos	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Sobrellenado	Costo total
Primer nivel					
Mano de obra	m3	140	¢8 784		¢1 229 829
Piedra gavi3n	m3	140	¢13 000	20%	¢2 184 000
Caj3n + Geo textil	m3	140	¢17 100		¢2 394 000
Total por nivel					¢5 807 829
Segundo Nivel					
Mano de obra	m3	125	¢8 784		¢1 098 061
Piedra gavi3n	m3	125	¢13 000	20%	¢1 950 000
Caj3n + Geo textil	m3	125	¢17 100		¢2 137 500
Total por nivel					¢5 185 561
Tercer Nivel					
Mano de obra	m3	100	¢8 784		¢878 449
Piedra gavi3n	m3	100	¢13 000	20%	¢1 560 000
Caj3n + Geo textil	m3	100	¢17 100		¢1 710 000
Total por nivel					¢4 148 449
Cuarto Nivel					
Mano de obra	m3	75	¢8 784		¢658 837
Piedra gavi3n	m3	75	¢13 000	20%	¢1 170 000
Caj3n + Geo textil	m3	75	¢17 100		¢1 282 500
Total por nivel					¢3 111 337
Quinto Nivel					
Mano de obra	m3	50	¢8 784		¢439 224
Piedra gavi3n	m3	50	¢13 000	20%	¢780 000

Cajón + Geo textil	m3	50	₡17 100		₡855 000
Total por nivel					₡2 074 224
Costo total de niveles					₡20 327 400

Costos Indirectos	Unidad	Cantidad	Costo Unidad		Costo total
Alquiler Bodega	mes		₡0		₡0
Alquiler Cabaña Sanitaria	mes		₡0		₡0
Alquiler de Hospedaje	mes	1	₡300 000		₡300 000
Acarreo de materiales	viaje		₡0		₡0
Viáticos	mes		₡120 000		₡120 000
Total Costos Indirectos					₡420 000
Subtotal					₡20 747 400
Imprevistos (2%)					₡414 948
COSTO TOTAL					₡21 162 348
COSTO/M3					₡43 188

Cuadro 31. Comparación de costos.

Costo Total con subcontrato:	₡22 341 060
Costo/m3 con subcontrato:	₡45 594

Ahorro:	₡1 178 712
Ahorro/m3	₡2 406

Buenas prácticas

A continuación, se presentan una serie de buenas prácticas para garantizar la efectividad de un proyecto de construcción de muros de gaviones según lo observado en sitio y basado en el criterio de los profesionales del área.

La etapa de planificación de proyectos es una de las más importantes, es esencial que se realice un presupuesto detallado del proyecto, tomando en cuenta los pequeños detalles que a grandes rasgos afectan el desarrollo de la obra.

Para este tipo de construcciones al usar materiales modulares como lo son los cajones se podría pensar que es muy difícil que se generen imprevistos, no obstante, estos cajones tienden a variar sus dimensiones en más menos 5% de sus

longitudes según las notas técnicas de Maccaferri, es por esta razón que a la hora de construir grandes extensiones de muro estos pequeños centímetros se acumulan convirtiéndose en metros, por lo tanto, en algunos casos se es necesario adjuntar el material restante. Por lo que, si no se estima esta variación podría generar gastos que no se tienen previstos.

La piedra es el material que puede presentar mayor variabilidad en estas construcciones debido que toda piedra es diferente. Realizar investigaciones previas acerca de los tajos proveedores del proyecto es fundamental, ya que es necesario conocer factores de forma, granulometría y pesos del material para realizar una estimación de los porcentajes de imprevistos.

Este porcentaje se aplica principalmente debido que, por ejemplo, los 12 metros cúbicos de piedra que se transporta en una vagoneta no serán 12 metros cúbicos de gavión construido, existe un tema de acomodo para disminución de espacios vacíos que aplican los gavioneros a la hora del llenado. Se acomodan las piedras dentro de los cajones de tal manera que quede la menor cantidad de espacios vacíos entre ellas, dándole mayor densidad al gavión y por ende un mejor desempeño.

Actualmente la empresa estima que este porcentaje de acomodo afecta entre un 15% y un 20% la cantidad de piedra a necesitar, entonces si la vagoneta descarga 12 metros cúbicos de piedra, se construyen 9.6 metros cúbicos de gavión aproximadamente quitando el 20% de piedra que no se utiliza, por lo tanto, durante la estimación de estos costos es necesario considerar estos aspectos para no generar pérdidas en el proyecto. Cabe destacar que este porcentaje depende de la granulometría y el factor de forma del material. Para efectos del caso de estudio se tomó un 20% de sobrellenado.

Otra buena práctica es realizar cubicajes a las vagonetas que transportan la piedra al sitio, para conocer si realmente la cantidad de material que se está entregando es lo que se solicitó, debido que de no ser así se estaría pagando material que no se está entregando y, además, se llegará al punto de que la cantidad de material solicitado no alcanzará para la conclusión del muro. Por otro lado, se debe observar que la vagoneta a la hora de entrega se encuentre completamente llena y que no existan anomalías en la góndola.

La demarcación y terraceo del terreno (ver Figura 79) es sumamente importante, se recomienda realizarla por medio de topografía debido que, al no estimar bien las pendientes de la superficie, para muros muy altos errores de centímetros en la base pueden llegar a hacer irregularidades en la corona del muro.

Es necesario realizar visitas previas al sitio de construcción por temas de acceso, debido que la piedra entre más cerca esté de los cajones facilita la labor de llenado, por lo tanto, de no tener un acceso libre el transporte manual de la piedra al sitio de construcción generará mayor duración y desgaste afectando el rendimiento de los trabajadores.

Por último, debido al tipo de contrato que se da con los trabajadores (por obra terminada), para ellos entre más produzcan más ganan, por lo que al acelerar las labores se tiende a dar trabajos mediocres, es por esta razón que se debe tener un control constante durante la construcción de la obra. Este encargado deberá contar con las actitudes y experiencia necesaria para manejar la cuadrilla y deberá estar presente diariamente en la construcción, además, el tipo de remuneración será por medio de un salario fijo.

Análisis de los resultados

Dentro del siguiente apartado se realiza el correspondiente análisis, interpretación y discusión de los resultados obtenidos en el proyecto.

Inicialmente al desarrollar la investigación previa de la metodología de trabajo empleada por la empresa se llega a conocer acerca de la información existente, con la cual se deberá arrancar para la elaboración del proyecto. Por medio de reuniones con los ingenieros de la empresa se dio a conocer los posibles problemas ya descritos en el apartado de prefacio.

Basado en esta investigación previa se conoce que la empresa por el momento no maneja datos de rendimientos, esto debido al protocolo de trabajo que ellos utilizan, actualmente la empresa desarrolla servicios de diseño y venta de materiales, muy pocas veces realiza la etapa de construcción y cuando sucede esta se lleva a cabo por una empresa subcontratada.

Actualmente basado en la experiencia de los ingenieros y encargados se estima el presupuesto y plazos de los proyectos, no obstante, no existe información alguna acerca de datos de rendimientos de la mano de obra los cuales facilitarían la estimación de esta etapa de planificación.

De aquí se parte para el desarrollo del proyecto cuyo fin principal es la medición de rendimientos de la mano de obra en los distintos niveles de construcción de muros de gaviones. Como complemento y parte del alcance del proyecto se realiza un control de costos del proyecto por medio de la técnica de gestión del valor ganado (GVG), la cual podría llegar a utilizarse en nuevos futuros proyectos de construcción de muros de gaviones.

Planificación

Inicialmente para la elaboración de un debido estudio de rendimientos y control de costos se estimó un presupuesto y programación del muro de gaviones ubicado en el kilómetro 4+100 de la carretera de Playa Naranjo a Paquera (Ruta 160) cuya descripción se encuentra detallada en el apartado de resultados. Cabe destacar que este presupuesto (Cuadro 5) se realizó basado en costos aproximados brindados por los ingenieros de la empresa, proveedores y contratistas, es decir, no son los costos reales del proyecto en estudio presupuestados por la empresa.

El costo final por metro cúbico para el proyecto de estudio es de ₡45 594 colones lo cual al compararlo con el Manual de Valores Base unitarios por tipología constructiva emitido en octubre del 2017 por el ministerio de hacienda para muros menores a 500 metros cúbicos el costo por metro cúbico es de aproximadamente ₡55 000 colones (Ministerio de Hacienda, 2017) lo cual son ₡9 406 colones más de lo presupuestado siendo esto una gran diferencia. Parte de esta diferencia se debe a que el costo presupuestado es sin utilidad.

Es importante destacar que los costos de los materiales por metro cúbico brindados por los ingenieros posiblemente son menores que los reales utilizado en el proyecto de estudio debido que el proyecto se encuentra a aproximadamente 121 kilómetros del centro de San José donde además se es necesario la utilización de un ferry para el acceso al sitio, lo cual afecta directamente los costos por temas de transporte al sitio y además el costo de la mano de obra se eleva. Es notable destacar que no se logró tener acceso al costo real de los materiales puestos en sitio estimados por la empresa, debido que son datos financieros protegidos por esta, sin embargo, por medios propios y basado en información brindada

por el ingeniero a cargo se aproximan los costos tomando en cuenta las condiciones anteriormente descritas.

Para la programación se elabora una secuencia de actividades (Figura 14) basada en el conocimiento del encargado de obra el cual posee poco más de 10 años de experiencia en construcción de muros de gaviones.

La construcción de los muros inicia desde la sección más baja y se avanza por construcción de niveles, es decir, se trata de ir alcanzando el mismo nivel en todas las secciones hasta finalizar la altura del muro, esto debido que, si se construyen todos los niveles de una sección primero, los gaviones al no tener apoyos laterales corren el peligro de deformarse, lo cual podría ocasionar el colapso de la estructura. Además, por el mismo motivo, durante el proceso constructivo se debe de realizar el relleno correspondiente aproximadamente a cada 2 niveles de altura máximo, si no, no es posible continuar con la construcción del muro lo cual fue uno de los problemas de atraso en la construcción del muro en estudio.

Para el caso de estudio se dividió el proyecto en cuatro secciones mostradas en la Figura 13 del apartado de resultados y la explicación del proceso constructivo se encuentra en el apartado de resultados sección de planificación.

Durante la construcción se estima que existen variables en las longitudes de los cajones construidos por lo tanto, en algunos casos los niveles pueden medir un poco menos de lo calculado, esto debido que los gaviones se encuentran doblados y a la hora de desdoblarlos estos no alcanzan las dimensiones requeridas variando en pocos centímetros, es por esto que durante la construcción fue necesario agregar una hilada de 1 metro de longitud más en la sección 3, equivalente a 10.5 metros cúbicos en total, esto debido que no se logró alcanzar la longitud requerida con la cantidad de cajones calculados en el diseño. A este fenómeno se le denomina como reajuste por construcción o imprevistos y según las especificaciones técnicas se permite hasta un 5% de variabilidad en las longitudes de los cajones, para este caso en específico se considera un imprevisto de un 2% del tamaño del muro.

Productividad

Tal y como se muestra en el Cuadro 6 se determinaron las posibles tareas que realizan los trabajadores durante la construcción de muros de gaviones, estas se clasificaron en trabajo productivo, contributivo y no contributivo para aplicar las técnicas del crew balance y para facilitar la observación y clasificación de datos en el work sampling.

Con el crew balance del primer nivel tal y como se muestra en la Figura 16 se obtuvo que los trabajadores en promedio alcanzan una eficiencia del 55 % en trabajo productivo, un 8% de trabajo contributivo y un 38% de trabajo no contributivo siendo este último el porcentaje más alto de los 3 niveles. A este comportamiento se le ve asociado la temperatura del sitio la cual ronda los 30°C y al ser trabajadores de la gran área metropolitana el cambio de temperatura afecta la eficiencia de los trabajadores y genera ese alto porcentaje de trabajo no contributivo en este primer nivel de construcción, cabe destacar que algunos trabajadores durante ese día de trabajo tuvieron dificultades para laborar debido a la insolación. Según Botero en el Cuadro 1 se clasifica este resultado como una eficiencia de la productividad baja (Botero, 2002), además, cabe destacar que este promedio se ve desfavorecido por el trabajador 5 cuya eficiencia es de solamente un 12% los demás trabajadores mantienen una eficiencia entre el 60% y 80% lo cual al ignorar este resultado según botero se clasifica como una productividad normal (Botero, 2002). Los trabajadores generaron tiempos no contributivos acomodándose la vestimenta, hablando, esperando o simplemente parados por la fatiga tal y como se muestra en la Figura 15.

Ahora, tomando en cuenta la productividad medida con work sampling para este mismo nivel realizada el mismo día 30 minutos después se denota un aumento significativo en el porcentaje de trabajo productivo dando como resultado un promedio del 81% en cuanto al trabajo contributivo disminuyó a un 2% y el trabajo no contributivo disminuyó a un 17%, tal y como se muestra en la Figura 22. Este cambio en la eficiencia de los trabajadores se debe a que estos realizan un pequeño receso para hidratarse y descansar lo cual mejoró el desempeño. Este resultado ha sido el mejor en cuanto a productividad de todas las muestras y se clasifica en el rango de buena eficiencia (Botero, 2002).

Para el segundo nivel se realizaron 2 medidas de crew balance una en la mañana y otra en la tarde. Se presentaron ligeras lluvias durante todo el día siendo esta muestra diferente a la de los otros 2 niveles debido a la baja interacción de los trabajadores con el sol, además, tal y como se muestra en el Cuadro 9, Cuadro 10 y Cuadro 11 la temperatura fue la menor comparada a la presentada en las muestras de los 2 otros niveles (28 °C). La primera muestra de crew balance es realizada a las 8:40 de la mañana, presentando en promedio de los 5 trabajadores un 66% de trabajo productivo, un 5% de trabajo contributivo y un 29% de trabajo no contributivo tal y como se muestra en la Figura 24. Al observar la Figura 26 de los datos tomados a las 13:20 del mismo día, se observa una disminución en el trabajo productivo a un 52% pero disminuyendo el trabajo no contributivo a un 23% es decir se aumentó el trabajo contributivo a un 25%, esto debido que las actividades realizadas por los trabajadores observados la mayoría fueron en colocación de formaleta, por lo tanto el sostener formaleta para el amarre de esta y el transporte de los tubos y varillas utilizados para este fin, fueron tareas necesarias pero se considera sin aporte al avance de la obra.

Por otro lado tomando en cuenta los resultados promedio del work sampling del nivel 2 elaborado alrededor de las 11 de la mañana (Figura 32), se observa que la eficiencia de los trabajadores mejoró obteniendo un 74% de trabajo productivo con un mínimo de trabajo contributivo y un 24% de trabajo no contributivo, es decir, el cambio de la mañana a la tarde se dio solamente debido al desarrollo del tipo de tarea que estaban realizando los trabajadores, por lo tanto se puede decir que la eficiencia de los trabajadores se mantiene basándose en el comportamiento relativamente constante del porcentaje de trabajo no productivo. Para este segundo nivel según el análisis realizado se clasifica una eficiencia de la productividad normal (Botero, 2002) según el rango de porcentajes del Cuadro 1.

Para el tercer nivel se realizó una muestra de crew balance y 2 muestras de work sampling, apreciando la información del crew balance elaborado en la tarde, el cual se muestra en la Figura 34 y el promedio del work sampling de la tarde (Figura 46), los porcentajes de los 3 tipos de trabajo son prácticamente iguales lo cual da una mayor credibilidad acerca del comportamiento de la cuadrilla debido que ambas muestras se hicieron con 15 minutos de diferencia. De igual

forma los datos del work sampling obtenidos durante horas de la mañana (Figura 40) tienen un comportamiento muy parecido a las muestras de la tarde, cabe destacar, que la mayor parte del tiempo de las 3 muestras la cuadrilla se dedicó a llenar cajones, por lo que se mantuvieron desarrollando las mismas tareas. El rango de eficiencia de la productividad del tercer nivel según Botero es un comportamiento normal.

Basado en el análisis estadístico de toda la población de resultados, como se observa en el Cuadro 15, existe un 14% de variabilidad entre los datos lo cual genera desconfianza, este comportamiento se corrobora en la Figura 47, donde se aprecian puntos fuera del gráfico de cajas.

Es por esta razón que se realiza una corrección de los datos, eliminando los datos que se salen de la normalidad (ver Figura 47), para aumentar la homogeneidad de los resultados de la productividad.

Al observar el Cuadro 16 y la Figura 48, se determina que el coeficiente de variación de Pearson de los resultados corregidos es de un 7% lo cual brinda una mayor confianza en los datos debido a su comportamiento homogéneo, por lo que se concluye que en promedio la productividad de los trabajadores es de un 73%, lo cual se clasifica en un comportamiento normal o "promedio" según Botero.

Durante el estudio se observó que el personal que labora en este proyecto se encuentra debidamente capacitado por lo que se considera que el principal factor que afecta la productividad es el calor en el sitio. Como se observó en los resultados de la productividad del nivel 1 los trabajadores mejoraron la productividad después del descanso, por lo tanto, para mejorar la efectividad de la mano de obra se recomienda realizar descansos obligatorios para que los trabajadores se hidraten y recuperen energías para seguir trabajando.

Rendimientos

Para el cálculo de rendimientos es necesario dividir el proceso constructivo en actividades con el fin de obtener la mayor información. Tal y como se aprecia en el Cuadro 6, previo al cálculo de rendimientos se observó la construcción de una pequeña sección de muro con el fin de apreciar el

proceso constructivo para posteriormente determinar las actividades que lo conforman llegando a subdividir las en 6 actividades de medición.

Estas actividades se mantienen con un comportamiento cíclico durante toda la construcción de la obra. La recolección de datos es realizada durante 4 semanas de trabajo tomando en cuenta que la asistencia al proyecto ronda entre 3 y 4 días a la semana.

El tamaño de cuadrilla inicial fue de 7 personas el cual fue aumentado a 10 personas después de la semana 2 de trabajo, debido que por las condiciones del sitio no se avanzaba tal cual lo esperado.

Al ser un proyecto donde todos los trabajadores realizan todas las actividades de trabajo, existen variables dentro de la toma de rendimientos debido que, en algunas ocasiones por ejemplo 5 trabajadores empezaban realizando la actividad durante la medición y solo 4 terminaban concluyéndola, lo cual es un factor muy común que afecta gran parte de estos resultados.

Dentro de los resultados obtenidos se presenta el consumo de la mano de obra representada en HH/unidad basado en el procedimiento de cálculo de rendimientos del folleto de costos de construcción (Sandoval, Ortiz, & Paniagua, 2009). Además, se muestra el rendimiento de la mano de obra el cual tiene un comportamiento inverso al consumo y es representado en unidad/HH.

Para la primera actividad de estudio que es el armado de cajones cuyos resultados se encuentran dentro del Cuadro 17, se destaca que esta actividad se realiza normalmente en un mismo sitio para todos los niveles. Se arman los cajones necesarios aproximadamente en secciones de 4 a 8 metros lineales, los trabajadores lo transportan de forma manual y se colocan en la sección correspondiente donde son amarrados a las secciones ya colocadas para garantizar un comportamiento monolítico del muro.

Tal y como se demuestra en la Figura 49, esta actividad presenta variaciones entre los niveles, esto se debe a que en el primer nivel, al no tener gaviones por debajo solo se realiza amarre entre secciones laterales, es por esta razón que el rendimiento en el nivel 1 es mayor, a diferencia de los otros 2 niveles. El nivel 3 es levemente menor al nivel 2 esto debido que al

trabajar a mayor altura el colocado de las secciones del tercer nivel sobre el segundo nivel conlleva a un mayor trabajo por lo tanto el consumo de la mano de obra es mayor.

Para la actividad de colocación de geotextil, esta es una labor muy sencilla y rápida, debido que consta solamente del cortado de geotextil (ver Figura 58) y el amarrado. Apreciando la Figura 50 se observa que en el primer nivel el rendimiento es menor, es decir se genera un mayor consumo de la mano de obra esto debido que el nivel se encuentra dentro de una terraza. Al trabajar en un espacio reducido se afecta el desempeño de los trabajadores, para el segundo nivel, este se encuentra a la altura del nivel de terreno lo que facilita el colocado del geotextil mejorando el rendimiento de los trabajadores. Para el tercer nivel, este se encuentra a una mayor altura que el segundo lo que ocasiona un aumento en el consumo de la mano de obra es decir una disminución del rendimiento.



Figura 58. Geotextil colocado en tercer nivel.

Al igual que la colocación de geotextil, la colocación de formaleta es una actividad que los trabajadores realizan de forma rápida. Básicamente esta actividad abarca el transporte de la formaleta (tubos estructurales o simples varillas), se colocan y se sostienen mientras otro

trabajador las amarra a los gaviones, la cantidad de tubos, o varillas utilizadas varían. Para la cara posterior al talud (visible) se utilizan usualmente de 3 a 4 elementos como formaleta (ver Figura 59) debido que esta al ser la cara visible del muro se es necesario mantener una mayor estética (ver Figura 60), para la cara frontal al talud se coloca solamente 1 elemento de soporte (ver Figura 58) cuya duración de colocación es de aproximadamente 1 minuto por metro lineal, este elemento se coloca para mantener en posición el cajón mientras se llena, sin embargo no siempre se utiliza debido que el acabado final de la cara no se verá debido que se encuentra enterrada.



Figura 59. Cantidad de tubos de formaleta a utilizar.



Figura 60. Estética de cara visible del muro.

En cuanto al rendimiento del formaleteo, la colocación de este en el primer nivel presenta un menor consumo de la mano de obra comparado con los otros 2 niveles cuyos consumos son mayores, en otras palabras los trabajadores mostraron un mayor rendimiento en el primer nivel que en el segundo y tercero tal y como se aprecia en la Figura 51, demostrando que existe un aumento en la dificultad en la colocación de formaleta conforme se aumenta de nivel.

El llenado es la actividad más significativa del proyecto, es la que muestra mayores duraciones y prácticamente es la acción principal de la construcción de muros de gaviones. Dentro de esta actividad se toman en cuenta el lanzado de rocas, el acomodo de rocas, la colocación de tensoras y el careo (acomodo de rocas en la cara visible del muro), es por esto que es la actividad con mayores consumos de la mano de obra.

Durante las mediciones de rendimiento se observa que la piedra se encuentra lo más cerca posible de los cajones (ver Figura 61). Las vagonetas descargan directamente la piedra en el lugar, no obstante, para que la vagoneta pueda

realizar esta acción, es necesario que los cajones se encuentren llenos con al menos una cama de piedras, debido que si se descarga la piedra y los cajones se encuentran vacíos estos son muy susceptibles a que se deformen por el golpe.



Figura 61. Colocación de la piedra cerca del muro.

Otro factor importante que influye en la determinación de los rendimientos de llenado, es que la cuadrilla cuenta con un back hoe como ayuda, el cual se encarga de revolver la piedra (Figura 62) y aglutinarla en pequeñas montículos, lo cual facilita el lanzamiento de las piedras y ayuda a encontrar los tamaños adecuados de rocas para llenar los cajones, de no ser revuelta la piedra, en la superficie se aglomeran las rocas pequeñas (desperdicios) que comúnmente se lo conoce como “menudo”, es por esto que la piedra constantemente debe ser revuelta lo cual, si no se realizara con el back hoe se deberá realizar manualmente, lo que aparte de generar mayor fatiga a los trabajadores el consumo será mayor.



Figura 62. Back Hoe revolviendo la piedra.

El rendimiento del llenado del primer nivel es menor que el del segundo nivel, una posible causa a este comportamiento fue la falta del back hoe a la hora de tomar algunas mediciones por lo tanto el revolvimiento de la piedra se vuelve más lento, junto a este factor se asocian muchas más variables que dependen del trabajador que realice la acción. Un trabajador llena 0.569 m^3 del primer nivel en una hora de trabajo, para el segundo nivel un trabajador llena 0.826 m^3 en una hora y para el tercer nivel un trabajador llena 0.557 m^3 en una hora, como se observa en este comportamiento el rendimiento disminuyó del segundo al tercer nivel, esto sucede debido que a mayor altura se genera mayor complicación para meter las piedras en los cajones. Lo anterior se ve claramente reflejado en la Figura 52.

La costura es otra actividad de estudio la cual muestra un rendimiento mucho mayor comparado con el de llenado tal y como se muestra en el Cuadro 21. El rendimiento del segundo nivel es mucho menor que el del tercer nivel, queriendo decir que se facilita la colocación de geotextil al aumentar de altura, esto se asocia a que al tener más espacio de trabajo la maniobrabilidad de los trabajadores mejora.

Por último, se presenta el rendimiento total por nivel en el Cuadro 22, cabe destacar que este rendimiento no fue medido, si no que fue calculado indirectamente con los rendimientos de las actividades medidas, para el caso de la colocación de geotextil, formaleta y costura se realizó la debida conversión de unidades esto se encuentra explicado en el apartado de resultados sección de rendimientos, cabe destacar que estas conversiones se realizaron tomando en cuenta lo

observado en sitio. En la Figura 54 se puede apreciar que el comportamiento de los rendimientos es lo esperado, existe una variación del rendimiento conforme se aumenta de altura, este se reduce debido que como bien se sabe el maniobrar a una mayor altura sobre el nivel de terreno se es más complicado.

Para el primer nivel se tiene un rendimiento de $0.362 \text{ m}^3/\text{HH}$, para el segundo nivel se posee un rendimiento de $0.311 \text{ m}^3/\text{HH}$ y para el tercer nivel el rendimiento es de $0.268 \text{ m}^3/\text{HH}$. Al consultarle al encargado de obra cuánto dura una persona construyendo un metro cúbico este respondió que aproximadamente 3 horas, lo cual es bastante acertado a los resultados de los rendimientos obtenidos por nivel.

Los rendimientos obtenidos en este estudio presentan una variabilidad menor a un 10% entre los datos. Basado en la teoría según el folleto de costos de construcción es recomendable que la variación de los datos se encuentre menor a un 2% (Sandoval, Ortiz, & Paniagua, 2009), la gran mayoría de los resultados obtenidos si cumplen con este requerimiento, no obstante, dentro de los resultados obtenidos algunos sobrepasan este 2%.

Existen múltiples variables que se pueden generar a la hora de realizar las observaciones, las cuales van desde afectación por parte del entorno hasta la más crítica que es que las mediciones se realizan sobre un factor humano del cual no se tiene control, además de que el personal no posee un 100% de eficiencia tal y como se observó en el análisis de productividad, por lo que la probabilidad de obtener una baja variabilidad entre los resultados es muy baja.

El tipo de trabajo, costumbres que realizan los trabajadores y principalmente que las observaciones se realizan sobre una persona de la cual no se tiene control son razones por las que se considera que el rango propuesto por Sandoval, Ortiz y Pacheco es muy bajo para este proyecto en específico. Además, el ingeniero Julio Cesar Angel Gutiérrez menciona que el porcentaje de variabilidad de los datos no describe que tan acertado o no se encuentra la información, para esto es necesario realizar otra muestra y compararla con los resultados obtenidos en este estudio (Gutierrez).

Por otro lado, analizando la duración total del proyecto obtenida por medio de los rendimientos recopilados en este estudio, la cual dio como resultado un total de 20 días de duración

(ver Cuadro 28) y comparándola con la duración total del proyecto (24 días) obtenida por medio de la experiencia del encargado de la obra (mostrada en la Figura 14), se obtiene una diferencia de 4 días, cabe destacar que los 20 días de duración no incluyen la duración del relleno, la cual si se utiliza la información brindada por el encargado afecta 3 días la obra, por lo tanto se concluye que los resultados de los rendimientos obtenidos se acercan mucho a la realidad variando la duración calculada por ambos métodos en 1 día.

En conclusión, los datos obtenidos no cumplen con el rango de variabilidad teórico especificado por Sandoval, Ortiz y Pacheco, no obstante, los rendimientos obtenidos son el reflejo de lo que sucede realmente en este tipo de construcciones.

En cuanto a los datos de consumo de la maquinaria del relleno tal y como se menciona en el apartado de resultados solo se logró obtener una medición de rendimiento para cada tipo de maquinaria, por lo tanto, se consideran datos escuetos y no representativos. No obstante, para la empresa esta información no es tan necesaria debido que, en la mayoría de los casos los rendimientos de la maquinaria se encuentran en fichas técnicas brindadas por los fabricantes, además los resultados de rendimientos de maquinaria en relleno obtenidos en este proyecto solo son de un tipo de maquinaria en específico.

Control de costos

Para el control de costos es necesario aclarar que como línea base se tomó el presupuesto realizado, el cual es basado en costos brindados por el ingeniero de la empresa, por proveedores y contratistas, por lo tanto, es posible que a la hora de adaptarlos al lugar en sitio se vean afectados, en otras palabras al no lograr obtener acceso a los costos de los materiales puestos en sitio, se realiza una aproximación para considerar estas condiciones, por lo tanto, no son los costos reales utilizados por la empresa para este proyecto, no obstante, para la finalidad de este estudio, el presupuesto elaborado funciona debido que el objetivo es aplicar la técnica de gestión de valor ganado y ver el comportamiento de esta.

Como se menciona en el apartado de resultados se presenta solo un valor como proyecciones, el EAC, esto debido que por la magnitud del proyecto no se es necesario conocer

tantos valores a futuros y saturar de información los resultados a interpretar, por lo que se consideró que con el EAC es suficiente para conocer el costo final si se mantiene el rendimiento actual.

Considerando el desarrollo del proyecto para el cálculo del EAC se utiliza la ecuación (Ec. 24), esto debido que la variabilidad de los costos se debe a errores de estimación en el presupuesto inicial y no por variables atípicas. (Herrera & Antón, 2015)

En el primer corte realizado el 31 de mayo del 2019, se observa dentro de la Figura 55 que la línea de tendencia del costo real acumulado se encuentra ligeramente por arriba de la línea de valor ganado esto quiere decir que se está gastando un poco más de lo que se debería de haber gastado para el porcentaje de avance que se lleva, por otro lado, al comparar las líneas de valor ganado con la de valor planeado, se observa que el proyecto se encuentra atrasado. Estos atrasos se deben en parte por la presencia de un pequeño temporal climático que ocasionó la suspensión de labores hasta nuevo aviso.

Dentro del Cuadro 25 se aprecia este resultado cuantitativamente, según la variación del costo (CV) se han gastado ₡65 967 colones más según lo presupuestado, esto se debe que se elaboraron varios metros cúbicos como muestra para ser evaluados en el laboratorio por parte del departamento de inspección del proyecto. Analizando la variación del cronograma (SV) el atraso del proyecto se ve reflejado ₡2 664 969 colones aproximadamente.

El índice de rendimiento del costo (CPI) se encuentra levemente por debajo de 1, es decir se encuentra con un desempeño bajo en cuanto al costo y el índice de rendimiento del cronograma (SPI) muestra un resultado de 0.516, siendo este un rendimiento del proyecto deficiente en cuanto al plazo hasta la fecha de corte. Si se mantiene este mismo desempeño según la estimación a la conclusión (EAC), el proyecto al finalizar tendrá un costo total de ₡22 860 060 colones.

En el corte de la semana 2 realizado el 8 de junio del 2019, apreciando la Figura 56 al comparar el costo real con el valor ganado, se muestra un aumento en la diferencia de valores comparado con el corte anterior, esto quiere decir que para este corte se generaron más gastos que lo previsto para la cantidad de trabajo realizado, lo cual según el CV el gasto acumulado es de ₡772 366 colones, parte de este comportamiento se

debe a que se hizo una estimación deficiente en el costo de la piedra puesta en sitio, además se colocó mayor cantidad de geotextil en el primer nivel a solicitud del ingeniero inspector de la empresa cliente.

Para el plazo, la gráfica de valor ganado sigue por debajo del valor planeado dando a entender la existencia de atraso en la obra, el cual según el SV equivale a ₡3 832 176 colones.

En cuanto al CPI tal y como se muestra en el Cuadro 26, este disminuyó en comparación al corte anterior, pasó de 0.977 a 0.919, quiere decir que se ha disminuido el desempeño en cuanto a costo, por otro lado, el SPI aumento pasando de 0.516 a 0.696 es decir, se mejoró el desempeño en cuanto plazo en comparación con el corte anterior, no obstante, sigue estando por debajo de 1 siendo esto desfavorable para el proyecto, estos atrasos se dieron principalmente por falta de coordinación de la maquinaria necesaria para el relleno el cual correspondía a la empresa constructora de la carretera, por lo tanto al no rellenar, la cuadrilla de trabajo no puede avanzar generando que las labores se suspendieran.

Para este caso en específico los atrasos en la obra no generaban multas ni afectación directa al proyecto, sin embargo, al no poder avanzar en la construcción del muro la suspensión de labores generaron un descontento en la cuadrilla de trabajo, recalando que esta es remunerada por metros cúbicos construidos, además, al extenderse la duración del proyecto se es necesario extender los plazos de alquiler de habitación para los empleados lo cual podría afectar los costos estimados en el presupuesto.

Si el proyecto mantiene este desempeño según el EAC el proyecto al finalizar tendrá un costo de ₡24 310 662 colones.

Para el último corte realizado el 14 de junio tal y como se muestra en la Figura 57, el proyecto sigue teniendo mayor costo real que lo previsto, obteniendo un gasto de ₡1 063 162 colones de más según el CV del Cuadro 27 esto debido a los mismo error de en el costo de la piedra presupuestado inicialmente. De igual forma se encuentra con atrasos en las actividades reflejando un costo en atrasos de ₡3 013 763.

Según el CPI del Cuadro 27 el desempeño del costo mejoró, pasó de 0.919 a 0.935 y el SPI pasó de 0.696 a 0.836 dando una mejora significativa en el desempeño en cuanto a plazo, esto se debe a que se incorporó personal y además los trabajadores se empezaban a adaptar

al clima por lo que se aceleró el ritmo de trabajo. Si se mantiene este rendimiento según el EAC el costo total de la obra será de ₡23 886 903 colones al finalizarla.

En conclusión, a los resultados del control de costos, en todos los cortes tanto el plazo como el costo generan un impacto negativo al proyecto en cuanto a lo presupuestado inicialmente, el costo real de la piedra puesta en sitio es de ₡16300 colones por metro cúbico, es decir ₡3300 colones más costosa que lo que se estimó inicialmente, siendo este factor el más influyente en la variación del costo.

Para mitigar este comportamiento es importante elaborar un presupuesto con los costos lo más exacto posible junto con las adecuadas duraciones de las actividades, además, se recomienda incluir dentro del documento de la contratación, cláusulas por atrasos generados al proyecto ocurridos por situaciones fuera del alcance de la empresa, que fue el principal factor que afectó la duración del proyecto. Dentro de estas cláusulas se remunerará cualquier costo extra emitido debido a estos atrasos.

Comparación de Presupuestos

Una vez tomados los rendimientos se procede a realizar un análisis del costo del proyecto sin subcontrato de la mano de obra, el cual se encuentra especificado en el Cuadro 28 y Cuadro 29, dando un costo de ₡8 748 colones por metro cúbico de construcción, ₡3 216 colones menos que lo presupuestado con subcontrato, cabe destacar que dentro de este costo se incluyen los gastos de cargas sociales.

A este análisis se le agrega el presupuesto completo tomando en cuenta el mismo costo de materiales e incorporando algunos costos indirectos como lo son viáticos del encargado y el alquiler de hospedaje tanto para el encargado como para los trabajadores tal y como se muestra en el Cuadro 30. Estos costos indirectos son estimaciones basadas en consultas al encargado de la obra. Para este caso de estudio no se contabilizaron gastos por alquiler de bodega ni de servicio sanitario debido que la empresa constructora cliente brindaba estos servicios.

Tomando en cuenta este análisis en el Cuadro 31 se muestra que de no usar subcontrato de mano de obra la empresa se ahorra ₡2 406 colones por metro cúbico, equivalente para este proyecto a ₡1 178 712 colones.

Aparte se estimó el costo de la mano de obra utilizando los consumos obtenidos en este estudio junto con el costo por hora basado en la lista de salarios mínimos del Ministerio de Trabajo. Para este caso se utilizó un costo de los trabajadores de ₡1 300 colones por hora y al trabajar un total de 10 horas por día se determina que el costo de la mano de obra es de ₡3 615 501 colones, ₡688 899 colones más barato que el costo de la mano de obra con remuneración por metro cúbico construido. No obstante, cabe recalcar que a la hora de cambiar la modalidad de pago a colones por hora el rendimiento de la mano de obra irá a disminuir (habrá un mayor consumo de la mano de obra), por lo tanto, el costo total se elevará.

Al cambiar la metodología de trabajo la empresa se ahorrará un 5% del costo por metro cúbico de construcción aproximadamente, lo cual haría de sus licitaciones más competitivas.

No obstante, la metodología actual de trabajo por medio de subcontrato de la mano de obra desentiende a la empresa de todos los cobros y papeleo necesario para cumplir con lo reglamentario.

Es recomendable ampliar el estudio de rendimientos para conocer con exactitud la variabilidad de estos a mayor altura para poder realizar un presupuesto más detallado y por ende la comparación sea más precisa.

Conclusiones

- 1) Debido a la metodología de trabajo de la empresa, no se posee información de rendimientos de mano de obra por lo que la estimación de presupuestos y plazos de proyectos se basa meramente en la experiencia de los ingenieros.
- 2) La falta de información de rendimientos puede generar sobrecostos o faltantes en la estimación de los presupuestos por lo que disminuye el nivel de competitividad de la empresa en cuanto a licitaciones.
- 3) Actualmente el control de costos elaborado por parte de la empresa se basa en el control solamente de los materiales vendidos, durante la construcción de las obras no se realiza controles de plazo.
- 4) La variabilidad en la longitud de los cajones afecta directamente el presupuesto de la obra, debido que se estima que podría influir hasta en un 5% el tamaño total de metros cúbicos construidos.
- 5) En promedio se presenta una productividad de un 73% en la mano de obra, la eficiencia de la cuadrilla de trabajo se clasifica en un rango normal según Botero.
- 6) Las actividades no contributivas más comunes en la que se gasta el tiempo de trabajo son descansando, parado y esperando las cuales se asocian a la sensación térmica de la zona.
- 7) Las condiciones climáticas del sitio específicamente la insolación fue el factor que principalmente afectó la productividad de la mano de obra.
- 8) La productividad de los trabajadores mejoró en un 26% después de realizar un lapso de descanso.
- 9) Basado en las muestras de Work Sampling y Crew Balance corregidas se concluye que los resultados de la medida de productividad son muy homogéneos mostrando una desviación estándar de 5 unidades con un coeficiente de variación del 7% lo que describe una baja variabilidad entre los datos.
- 10) El rendimiento del segundo nivel es un 14% mayor que el rendimiento del primer nivel y el rendimiento del tercer nivel es un 14% mayor al rendimiento del segundo nivel, 1 trabajador dura 2 horas con 46 minutos aproximadamente para completar un metro cúbico del primer nivel, 3 horas con 13 minutos para completar un metro cúbico del segundo nivel y 3 horas con 45 minutos para completar un metro cúbico del tercer nivel.
- 11) Los rendimientos obtenidos en este análisis, no cumplen en su totalidad con el rango de variabilidad propuesto por los ingenieros Sandoval, Ortiz y Paniagua, debido a las múltiples fuentes de variación que generan los trabajadores a la hora de tomar observaciones en este tipo de construcciones. Es necesario elaborar una segunda muestra de rendimientos para comparar con los resultados obtenidos en este informe.

- 12) La duración total del proyecto calculada por medio de los rendimientos obtenidos en este estudio y adjuntando la duración teórica de los rellenos es de 1 día menos que la duración del proyecto calculada por medio de duraciones basadas en la experiencia de más de 10 años del encargado, generando confianza en los resultados de los rendimientos obtenidos.
- 13) Los rendimientos de la maquinaria en el relleno muestran resultados poco representativos debido que solo se logró obtener una medición de rendimientos, esto por dificultades para coordinar con la empresa constructora de la carretera para el desarrollo de la actividad.
- 14) La aplicación de la gestión del valor ganado es una técnica adecuada para la utilización en muros de gaviones, esta genera información valiosa en cuanto al rendimiento del costo y plazo de la obra, por lo que se recomienda utilizarla en futuros proyectos.
- 15) Durante todo el proceso constructivo el desempeño de los costos fue deficiente es decir se gastó más cantidad que la presupuestada para el porcentaje de avance real del proyecto, esto debido a una baja estimación del costo de la piedra en el presupuesto inicial de ₡3300 colones más económica.
- 16) Los atrasos en la obra generaron descontento en los trabajadores por falta de trabajo.
- 17) La empresa al cambiar la metodología de trabajo y no subcontratar la mano de obra, para el proyecto de estudio se ahorra aproximadamente ₡1 178 712 colones, en otras cifras ₡2406 colones por metro cúbico equivalente a un 5% del costo total por metro cúbico.
- 18) Con los rendimientos obtenidos en este estudio, suponiendo un costo de los trabajadores de ₡1300 colones por hora y para una jornada de trabajo de 10 horas al día, la empresa se ahorra ₡688 899 colones en el costo de la mano de obra.

Recomendaciones

- 1) Se recomienda ampliar el estudio de productividad y rendimientos a proyectos con distintas condiciones climáticas para analizar si la variabilidad que se presenta es significativa en comparación a los resultados obtenidos en este informe.
- 2) Es necesario realizar mediciones de rendimiento en la mayor cantidad de niveles posibles con el fin de ampliar la información y estimar los porcentajes de disminución de rendimientos por nivel.
- 3) Se recomienda realizar otro estudio de rendimientos para comparar la variabilidad de los resultados con los resultados presentes en este informe.
- 4) Se recomienda para los restantes muros de gaviones a construir dentro de la carretera realizar descansos obligatorios a los trabajadores cada cierto tiempo junto con una hidratación adecuada, debido que las condiciones climáticas del sitio pueden afectar no solo la eficiencia de los trabajadores si no, la propia integridad física.
- 5) Es necesario para realizar un adecuado control de costos utilizar los datos reales utilizados para el proyecto lo cual se recomienda realizar los controles de costos con esta información para conocer a profundidad el comportamiento real del proyecto.
- 6) Se recomienda realizar encuestas a los trabajadores para identificar las actividades que más les generan problemas en cuanto a atrasos.
- 7) Para la elaboración de un adecuado presupuesto es necesario determinar un porcentaje adecuado de desperdicios de piedra por lo tanto se recomienda realizar estudios de desperdicios para actualizar esta información, además, es necesario identificar los porcentajes de reajustes por construcción de antiguos proyectos para así mantener un conocimiento más amplio y poder aproximar este porcentaje a la realidad de los proyectos y así mejorar la estimación en costos de cuantos metros cúbicos de más se necesitan para construir con efectividad los nuevos futuros proyectos.
- 8) Es necesario aplicar mejoras a las hojas electrónicas de control de costos brindada para así automatizar y facilitar tanto la introducción de los datos iniciales como la interpretación de los resultados de los cortes.

Apéndices

Apéndice A: Ejemplo de Machote para aplicación de técnica de medición de productividad Crew Balance.

Apéndice B: Ejemplo Machote para aplicación de técnica de medición de productividad Work Sampling.

Apéndice C: Datos de Rendimientos de todos los niveles

Apéndice B: Ejemplo Machote para aplicación de técnica de medición de productividad Work Sampling

Actividad: Llenado Nivel 3 mañana																	
Intervalo de medición:			15 segundos			Fecha:			3 de junio 2019								
N° Obs	N° Per	Trajador 1			Trajador 2			Trajador 3			Trajador 4			Trajador 5			Observaciones
		P	C	NP	P	C	NP	P	C	NP	P	C	NP	P	C	NP	
1	5	1			1			1			1			1			
2	5	1			1			1			1			1			
3	5	1			1			1			1			1			
4	5	1			1			1			1			1			
5	5	1			1			1			1			1			
6	5	1			1			1			1			1			
7	5	1			1			1			1			1			
8	5	1					1			1			1		1		
9	5			1			1	1			1						1
10	5	1					1				1		1				1
11	5		1				1	1			1						1
12	5	1			1					1	1						1
13	5	1			1			1			1						1
14	5			1	1			1			1						1
15	5		1				1	1						1		1	
16	5	1			1			1						1		1	
17	5	1			1			1			1						1
18	5	1					1			1	1						1
19	5	1			1					1	1						1
20	5	1					1	1						1			1
21	5	1					1	1						1		1	
22	5	1					1			1		1					1
23	5	1			1			1						1		1	
24	5	1			1					1	1						1
25	5			1	1			1			1						1
26	5			1			1			1	1						1
27	5	1					1	1			1						1
28	5	1					1	1			1						1
29	5			1			1			1	1						1
30	5	1			1			1			1						1
31	5	1			1			1			1						1
32	5	1			1					1	1						1
33	5			1			1	1			1						1
34	5			1			1			1	1						1
35	5			1			1			1				1			1
36	5	1			1					1							1
37	5	1			1			1			1					1	
38	5	1			1			1			1						1
39	5	1					1	1			1					1	
40	5	1			1			1			1						1
Suma		58	3	19	52	3	25	60	3	17	63	2	15	68	1	11	
Porcentaje de productividad		73%	4%	24%	65%	4%	31%	75%	4%	21%	79%	3%	19%	85%	1%	14%	

Apéndice C: Datos de Rendimientos sin corregir.

Primer Nivel

Actividad: Armado de cajones y colocación Nivel: 1

Tipo trabajador: Gavionero

No	Hora Inicio	Hora Fin	Cantidad de Trabajadores	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (m3)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	09:25:00	09:50:00	1	m3	2	1	1	2	00:25:00	0	25	0.416666667	0.208333333	4.8
2	09:39:00	09:50:00	1	m3	2	1	1	2	00:16:00	0	16	0.183333333	0.091666667	10.90909091
3	10:08:00	10:24:00	1	m3	1.5	1	1	1.5	00:16:00	0	16	0.266666667	0.177777778	5.625
4	10:23:00	10:33:00	1	m3	2	1	1	2	00:10:00	0	10	0.166666667	0.083333333	12
5	10:26:00	10:32:00	1	m3	1.5	1	1	1.5	00:06:00	0	6	0.1	0.066666667	15
6	08:30:00	10:01:00	4	m3	3.5	10	1	35	01:31:00	1	31	15.166666667	0.173333333	5.769230769

Promedio:	0.1335185
Desv. Esta:	0.0598008
Coef. Vari:	0.4478837
f.i:	14.5%
Consumo (HH/m3):	0.15294

Actividad: Llenado de cajones Nivel: 1

Tipo trabajador: Gavionero

No	Hora Inicio	Hora Fin	Cantidad de Trabajadores	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (m3)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
2	08:50:00	12:01:00	5	m3	3.5	6	0.5	10.5	03:11:00	3	11	3.183333333	15.16873016	0.659695964
3	13:00:00	17:10:00	7	m3	3.5	8	0.5	14	04:10:00	4	10	4.166666667	2.083333333	0.49
4	13:20:00	16:30:00	4	m3	4	2	1	8	03:00:00	3	0	3	15	0.666666667
5	13:45:00	15:34:00	1	m3	2	1	1	2	01:49:00	1	49	1.816666667	0.908333333	1.100917431
6	13:51:00	15:58:00	1	m3	2	1	1	2	02:07:00	2	7	2.186666667	1.058333333	0.94488189
7	13:48:00	15:52:00	1	m3	2	1	1	2	02:04:00	2	4	2.066666667	1.033333333	0.967741935
8	06:30:00	09:50:00	10	m3	3.5	6	1	21	03:20:00	3	20	3.333333333	1.587301587	0.63
9	08:30:00	10:50:00	3	m3	1.5	6	1	9	02:20:00	2	20	2.333333333	0.777777778	1.285714286

Promedio:	1.3080357
Desv. Esta:	0.4371777
Coef. Vari:	0.3342246
f.i:	14.5%
Consumo (HH/m3):	1.49832

Actividad: Colocación de costura Nivel: 1

Tipo trabajador: Gavionero

No	Hora Inicio	Hora Fin	Cantidad de Trabajadores	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (ml)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	10:00:00	10:07:00	1	ml	0	0	0	1	00:07:00	0	7	0.116666667	0.166666667	8.571428571
2	10:26:00	10:31:00	1	ml	0	0	0	1	00:05:00	0	5	0.083333333	0.083333333	12
3	07:50:00	08:45:00	2	ml	0	0	0	10	00:55:00	0	55	0.316666667	0.183333333	5.454545455
4	10:05:00	10:18:00	1	ml	0	0	0	1	00:13:00	0	13	0.216666667	0.216666667	4.615384615
5	13:41:00	13:43:00	1	ml	0	0	0	1	00:08:00	0	8	0.133333333	0.133333333	7.5
6	14:50:00	15:23:00	4	ml	0	0	0	15	00:33:00	0	33	0.55	0.146666667	6.818181818

Promedio:	0.15
Desv. Esta:	0.0476095
Coef. Vari:	0.3246104
f.i:	14.5%
Consumo (HH/ml):	0.168

Actividad: Colocación de geotextil Nivel: 1

Tipo trabajador: Gavionero

No	Hora Inicio	Hora Fin	Cantidad de Trabajadores	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (ml)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	11:10:00	11:24:00	2	ml				6	00:14:00	0	14	0.233333333	0.077777778	12.85714286
2	08:50:00	09:30:00	2	ml				10	00:40:00	0	40	0.666666667	0.133333333	7.5
3	10:30:00	11:28:00	1	ml				5	00:58:00	0	58	0.966666667	0.183333333	5.172413793
4	08:05:00	08:38:00	2	ml				6	00:33:00	0	33	0.55	0.183333333	5.454545455
5	11:13:00	11:24:00	4	ml				4	00:11:00	0	11	0.183333333	0.183333333	5.454545455
6	10:47:00	10:53:00	4	ml				4	00:12:00	0	12	0.2	0.2	5

Promedio:	0.1618519
Desv. Esta:	0.0474363
Coef. Vari:	0.2930849
f.i:	14.5%
Consumo (HH/ml):	0.1854

Actividad: Colocación de formaleta Nivel: 1

Tipo trabajador: Gavionero

No	Hora Inicio	Hora Fin	Cantidad de Trabajadores	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (ml)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	10:25:00	10:34:00	2	ml				4	00:09:00	0	9	0.15	0.075	13.33333333
2	09:05:00	09:16:00	2	ml				4	00:11:00	0	11	0.183333333	0.091666667	10.90909091
3	09:33:00	09:45:00	2	ml				6	00:12:00	0	12	0.2	0.066666667	15
4	12:48:00	13:02:00	3	ml				8	00:14:00	0	14	0.233333333	0.0875	11.42857143

Promedio:	0.0802083
Desv. Esta:	0.0114741
Coef. Vari:	0.1430538
f.i:	14.5%
Consumo (HH/ml):	0.09188

Segundo Nivel

Actividad: Armado de cajones y colocación

Nivel: 2

Tipo de trabajador Gavionero

No*	Hora Inicio	Hora Fin	Cant Obrero	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (m3)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	12:31:00	15:35:00	2	m3	2	8	1	16	03:04:00	3	4	3.066666667	0.383333333	2.608695652
2	10:11:00	11:08:00	1	m3	2	1	1	2	00:57:00	0	57	0.95	0.475	2.105263158
3	10:02:00	12:28:00	3	m3	2	7	1	14	02:26:00	2	26	2.433333333	0.521428571	1.917808219
4	10:18:00	11:20:00	1	m3	2	1	1	2	01:02:00	1	2	1.033333333	0.516666667	1.935483871
5	09:45:00	10:40:00	10	m3	2.5	6	1	15	00:55:00	0	55	0.916666667	0.611111111	1.636363636
6	02:14:00	04:04:00	4	m3	2.5	4	1	10	01:50:00	1	50	1.833333333	0.733333333	1.363636364
7	15:16:00	16:47:00	5	m3	2.5	6	1	15	01:31:00	1	31	1.516666667	0.505555556	1.978021978
8														
9														
10														

Promedio:	0.5352041
Desv. Esta:	0.1103923
Coef. Vari:	0.2062621
f.i.:	14.5%
Consumo (HH/m3):	0.613063

Actividad: Llenado de cajones

Nivel: 2

Tipo de trabajador Gavionero

No*	Hora Inicio	Hora Fin	Cant Obrero	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (m3)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	07:00:00	12:02:00	8	m3	2.5	8	1	20	05:02:00	5	2	5.033333333	2.013333333	0.496688742
2	13:00:00	17:10:00	7	m3	3.5	8	0.5	14	04:10:00	4	10	4.166666667	2.083333333	0.48
3	13:20:00	15:55:00	4	m3	4	2	1	8	02:35:00	2	35	2.583333333	1.291666667	0.774193548
4	13:45:00	15:34:00	1	m3	2	1	1	2	01:49:00	1	49	1.816666667	0.908333333	1.100917431
5	13:51:00	15:58:00	1	m3	2	1	1	2	02:07:00	2	7	2.116666667	1.058333333	0.94488189
6	13:48:00	15:52:00	1	m3	2	1	1	2	02:04:00	2	4	2.066666667	1.033333333	0.967741935
7	12:55:00	16:10:00	4	m3	2	6	1	12	03:15:00	3	15	3.25	1.083333333	0.923076923
8	13:00:00	14:01:00	1	m3	1	1	1	1	01:01:00	1	1	1.016666667	1.016666667	0.983608557
9	13:02:00	14:08:00	1	m3	1	1	1	1	01:06:00	1	6	1.1	1.1	0.909090909

Promedio:	1.2875926
Desv. Esta:	0.4431815
Coef. Vari:	0.3441939
f.i.:	14.5%
Consumo (HH/m3):	1.474906

Actividad: Colocación de costura

Nivel: 2

Tipo de trabajador Gavionero

No*	Hora Inicio	Hora Fin	Cant Obrero	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (ml)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	10:40:00	11:22:00	10	ml				21	00:42:00	0	42	0.7	0.333333333	3
2	09:40:00	09:50:00	1	ml				27	00:53:00	0	53	0.883333333	0.327804944	3.056603774
3	09:40:00	09:50:00	1	ml				1	00:10:00	0	10	0.166666667	0.166666667	6
4	09:50:00	09:58:00	1	ml				1	00:08:00	0	8	0.133333333	0.133333333	7.5
5	13:20:00	13:37:00	1	ml				1	00:17:00	0	17	0.283333333	0.283333333	3.529411765
6	13:25:00	13:36:00	1	ml				1	00:11:00	0	11	0.183333333	0.183333333	5.454545455
7	13:50:00	13:57:00	1	ml				1	00:07:00	0	7	0.116666667	0.116666667	8.571428571
8														
9														
10														

Promedio:	0.2205467
Desv. Esta:	0.0191371
Coef. Vari:	0.4163601
f.i.:	14.5%
Consumo (HH/ml):	0.252631

Actividad: Colocación de geotextil

Nivel: 2

Tipo de trabajador Gavionero

No*	Hora Inicio	Hora Fin	Cant Obrero	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (ml)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	11:10:00	11:24:00	2	ml				6	00:14:00	0	14	0.233333333	0.077777778	12.85714286
2	15:28:00	16:05:00	2	ml				8	00:37:00	0	37	0.161666667	0.154166667	6.486486486
3	10:25:00	10:33:00	1	ml				15	00:08:00	0	8	0.133333333	0.088888889	11.25
4	10:48:00	11:11:00	1	ml				2	00:23:00	0	23	0.383333333	0.191666667	5.217391304
5	10:21:00	10:30:00	2	ml				4	00:09:00	0	9	0.15	0.075	13.33333333
6														
7														
8														
9														
10														

Promedio:	0.1175
Desv. Esta:	0.0525544
Coef. Vari:	0.4472711
f.i.:	14.5%
Consumo (HH/ml):	0.134593

Actividad: Colocación de formaleta

Nivel: 2

Tipo de trabajador Gavionero

No*	Hora Inicio	Hora Fin	Cant Obrero	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (ml)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	13:03:00	13:40:00	3	ml				12	00:37:00	0	37	0.161666667	0.154166667	6.486486486
2	14:03:00	14:21:00	3	ml				4	00:18:00	0	18	0.3	0.225	4.444444444
3	09:54:00	10:23:00	3	ml				8	00:29:00	0	29	0.483333333	0.18125	5.517241379
4	10:41:00	11:15:00	3	ml				8	00:34:00	0	17	0.283333333	0.10625	9.411764706
5	10:30:00	10:37:00	7	ml				4	00:07:00	7	7	0.116666667	0.204166667	4.897959184
6														
7														
8														
9														
10														

Promedio:	0.1741667
Desv. Esta:	0.0462247
Coef. Vari:	0.2654047
f.i.:	14.5%
Consumo (HH/ml):	0.199504

Tercer Nivel

Actividad: Armado de cajones

Nivel: 3

Tipo Obrero: Gavionero

Cant Obrero (n):

No*	Hora Inicio	Hora Fin	Cant Obrero	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (m3)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	12:45:00	14:36:00	8	m3	2	8	1	16	01:51:00	1	51	1:51	0.925	1.081081081
2	13:22:00	14:07:00	1	m3	1	2	1	2	00:45:00	0	45	0:45	0.375	2.666666667
3	13:30:00	15:25:00	8	m3	2	8	1	16	01:55:00	1	55	1:55	1.916666667	1.043478261
4	13:50:00	15:05:00	8	m3	2	8	1	16	01:15:00	1	15	1:15	1.25	1.6
5	14:30:00	16:06:00	8	m3	2	14	1	28	01:36:00	1	36	1:36	0.457142857	2.1875
6														
7														
8														
9														
10														

Promedio:	0.6680952
Desv. Esta:	0.2657542
Coef. Vari:	0.3977789
f.i:	14.5%
Consumo (HH/m3):	0.765287

Actividad: Llenado de cajones

Nivel: 3

Tipo Obrero: Gavionero

Cant Obrero (n):

No*	Hora Inicio	Hora Fin	Cant Obrero	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (m3)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	06:30:00	09:15:00	7	m3	6	2	1	12	02:45:00	2	45	2:45	1.604166667	0.623376623
2	08:30:00	15:30:00	8	m3	7	2	1	14	07:00:00	7	0	7	4	0.25
3	09:05:00	11:20:00	1	m3	2	1	1	2	02:15:00	2	15	2:15	1.125	0.888888889
4	12:21:00	15:10:00	1	m3	2	1	1	2	02:49:00	2	49	2:49	2.816666667	0.710069172
5	14:03:00	14:55:00	1	m3	1	1	1	1	00:52:00	0	52	0:52	0.866666667	1.153846154
6	14:10:00	14:53:00	1	m3	1	1	1	1	00:43:00	0	43	0:43	0.716666667	1.395348837
7	07:00:00	11:00:00	10	m3	2.5	15	1	37.5	04:00:00	4	0	4	10.66666667	0.9375
8	12:05:00	13:50:00	7		2	4	1	8	01:45:00	1	45	1:45	1.5125	0.653061224
9	13:55:00	15:25:00	5		1	2	1	2	01:30:00	1	30	1:30	3.75	0.266666667
10														

Promedio:	1.7854167
Desv. Esta:	1.2216166
Coef. Vari:	0.6843315
f.i:	14.5%
Consumo (HH/m3):	2.045151

Actividad: Colocación de costura

Nivel: 3

Tipo Obrero: Gavionero

Cant Obrero (n):

No*	Hora Inicio	Hora Fin	Cant Obrero	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (ml)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	09:37:00	09:57:00	3	ml				14	00:20:00	0	20	0:20	0.333333333	0.07428571
2	13:00:00	13:58:00	1	ml				6	00:58:00	0	58	0:58	0.966666667	6.206396552
3	09:23:00	09:40:00	6	ml				15.5	00:17:00	0	17	0:17	0.283333333	9.117647059
4	10:15:00	10:27:00	1	ml				1.5	00:12:00	0	12	0:12	0.2	7.5
5	10:18:00	10:26:00	1	ml				1	00:08:00	0	8	0:08	0.133333333	7.5
6	11:00:00	12:01:00	2	ml				15	01:01:00	1	1	1:01	1.016666667	7.37704918
7	13:47:00	13:54:00	1	ml				1	00:07:00	0	7	0:07	0.116666667	8.571428571
8	13:50:00	14:17:00	4	ml				25	00:27:00	0	27	0:27	0.45	13.88888889
9	14:41:00	14:44:00	1	ml				1	00:03:00	0	3	0:03	0.05	20
10														

Promedio:	0.109234
Desv. Esta:	0.0363549
Coef. Vari:	0.3383089
f.i:	14.5%
Consumo (HH/ml):	0.125125

Actividad: Colocación de geotextil

Nivel: 3

Tipo de trabajador: Gavionero

No*	Hora Inicio	Hora Fin	Cant Obrero	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (ml)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	14:50:00	15:10:00	3	ml	2.5	6		8	00:20:00	0	20	0:20	0.333333333	8
2	13:31:00	14:02:00	2	ml	2.5	6		8	00:31:00	0	31	0:31	0.129166667	7.741935484
3	09:30:00	11:42:00	1	ml	3.5	6		17	02:12:00	2	12	2:12	0.129411765	7.727272727
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

Promedio:	0.1278595
Desv. Esta:	0.0024794
Coef. Vari:	0.0183317
f.i:	14.5%
Consumo (HH/ml):	0.14646

Actividad: Colocación de formaleta

Nivel: 3

Tipo de trabajador: Gavionero

No*	Hora Inicio	Hora Fin	Cant Obrero	Unidad	Dimensiones gavion			Cantidad (ml)	Tiempo	H	min	Tiempo (h)	Consumo (HH/um)	Rendimiento (um/HH)
					Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)							
1	14:30:00	15:11:00	8	ml	2.5	6		24	00:41:00	0	41	0:41	0.683333333	4.390243902
2	11:31:00	12:10:00	2	ml	2.5	6		6	00:39:00	0	39	0:39	0.65	4.615384615
3	13:16:00	13:43:00	4	ml	3.5	6		8	00:27:00	0	27	0:27	0.225	4.444444444
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														

Promedio:	0.2231481
Desv. Esta:	0.0057824
Coef. Vari:	0.0258129
f.i:	14.5%
Consumo (HH/ml):	0.255611

Anexos



Figura 63. Costura del tercer nivel sección 4.



Figura 64. Quitado de formaleta.



Figura 65. Descarga de piedra gavión.



Figura 66. Colocación de cajones de primer nivel sección 3



Figura 67. Ubicación de piedra gavión para llenado



Figura 70. Compactación a orillas del gavión por medio de sapo compactador.



Figura 68. Revolvimiento de piedra por medio de back hoe.



Figura 71. Armado de cajones de tercer nivel sección 2.



Figura 69. Acabado de compactación



Figura 72. Colocación de cajones en segundo nivel sección 4.



Figura 73. Material a utilizar como formaleta.



Figura 74. Formaleteo de segundo nivel sección 2.



Figura 75. Acabado de costura de segundo nivel.



Figura 76. Ubicación de piedra gavión para llenado de tercer nivel de sección 2.



Figura 77. Ejemplo de colocación de formaleta en muro 4+200.



Figura 78. Ejemplo de colocación de tubería perforada.



Figura 81. Llenado de tercer nivel.



Figura 79. Ejemplo de terraseo de base de muro.



Figura 80. Sapo compactador utilizado.



Figura 82. Acabado de cara posterior al talud (visible)

Referencias

- Ambriz Avelar, R. (2008). La gestión del valor ganado y su aplicación: Managing earned value and its application. *Paper presented at PMI® Global Congress 2008—Latin America*. São Paulo, Brazil: Newtown Square, PA: Project Management Institute.
- Botero, L. F. (31 de enero de 2002). *Análisis de Rendimientos y consumo de mano de obra en actividades de construcción*.
- Botero, L. F., & Álvarez, M. E. (23 de julio de 2004). *Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento)*. Obtenido de https://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Ingenieria%20Sistemas/9.pdf
- Dozzi, & AbouRizk. (1993). *Productivity in Construction*. Canada: National Research Council Canada.
- Gutierrez, J. C. (s.f.). La variación y su significado. *Revista Universidad Eafit-No101*, 87-96.
- Herrera, S., & Antón, I. (2015). *Método del valor ganado*. Obtenido de Project Manager: <https://www.youtube.com/watch?v=9-Y35lgG704>
- Leandro Hernández, A. G. (2018). Manual de buenas prácticas para incrementar la productividad en procesos de construcción. *Camara Costarricense de la Construcción*, 48.
- Maccaferri América Latina. (s.f.). *Maccaferri Gavion Caja*. Obtenido de <https://www.maccaferri.com/br/es/productos/gaviones/gavion-caja/>
- Maccaferri América Latina. (s.f.). *Maccaferri Gaviones*. Obtenido de <https://www.maccaferri.com/br/es/productos/gaviones/>
- Ministerio de Hacienda. (Octubre de 2017). *Manual de valores base unitarios por tipología constructiva*. Obtenido de https://www.hacienda.go.cr/docs/5a383b222f943_Manual%20de%20valores%20base%20octubre%202017.pdf
- Oglesby, C., Parker, H., & Howell, G. (1989). *Productivity improvement in Construction*. New York: McGraw-Hill.
- Padilla Bonilla, A. A. (Junio de 2016). *Productividad y rendimiento de mano de obra para algunos procesos constructivos seleccionados en la ejecución del edificio ISLHA del ITCR*. Obtenido de Repositorio TEC: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6732/productividad_rendimiento_procesos_constructivos_islha.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Piñar Venegas, R. (julio de 2008). *Proyecto de construcción de un muro de gaviones de 960 m3*. Obtenido de Repositorio TEC: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6034/construccion%20de%20muro%20de%20gaviones.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PM4r BID. (s.f.). *www.connectamericas.com*. Obtenido de www.connectamericas.com
- Gestión del valor ganado excel: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:a4MXNsquU8kkJ:https://connectamericas.com/sites/default/files/articles_files/Valor%2520Ganado%2520-%2520Plantilla%2520con%2520ejemplo.xlsx+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=cr
- Sandoval, M., Ortiz, G., & Paniagua, E. (2009). *Costos de Construcción*. Cartago.

- Serpell, A. (1986). *Productividad en la construcción*. Revista de ingeniería en la construcción No. 1.
- Serpell, A., & Verbal, R. (1990). Análisis de operaciones mediante cartas de balance. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 16.
- Zamora Pereira, F. (Agosto de 2016). *Análisis de rendimiento y productividad de formaleta*

cilíndrica prefabricada, utilizada en la construcción de columnas del Country Day School. Obtenido de Repositorio TEC:
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6726/analisis_rendimiento_productividad_formaleta_cilindrica_prefabricada.pdf?sequence=1&isAllowed=y