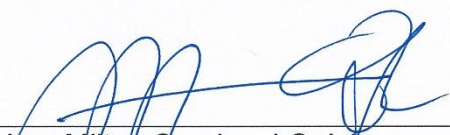


CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

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



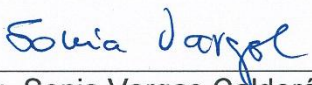
Ing. Gustavo Rojas Moya.
Director



Ing. Milton Sandoval Quiros.
Profesor Guía



Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.
Profesora Lectora



Ing. Sonia Vargas Calderón.
Profesora Observadora

Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Construcción

Estimación de rendimiento y productividad de equipo y mano de obra de un proyecto vial
con declaratoria de emergencia

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

Daniel Sánchez Varela

Cartago, Diciembre 2018.

Estimación de rendimiento y productividad de equipo y mano de obra de un proyecto vial con declaratoria de emergencia

Abstract

The following project focuses on the estimation of performance and productivity of heavy machinery and labor of road infrastructure activities under the emergency declaration of the project "Rehabilitación de la superficie de ruedo del camino 03-05-077 Santa Cruz – Iglesia de Bonilla" of Turrialba canton.

The purpose is to present a compilation of reliable data about the performance of heavy machinery and labor of some activities of a road project, in order that they serve for estimating the costs and duration of similar projects. Initially, the project analyzes and characterizes the activities that make up the infrastructure work, this implies documentary review, observation and interviews with those in charge of the parties involved. The yields and effective time or productivity of machinery and labor are taken by field observations to determine the real work in the area.

Subsequently, we proceed to analyze the main variables that affect the productivity of the team, these variables are essential to determine the impact of a project of this nature that have an emergency character.

Finally, the management of the municipality, the road committees or development associations and the company and subcontractors of the project of interest to observe and support the information that concerns productivity and the impact on the performance of machinery and equipment are analyzed. labor in the rehabilitation processes of a road.

Keywords: performance of machinery, road infrastructure, emergency declaration.

Resumen

El siguiente proyecto se enfoca en la estimación de los rendimientos y productividad de maquinaria pesada y mano de obra de actividades de infraestructura vial bajo declaratoria de emergencia del proyecto "Rehabilitación de la superficie de ruedo del camino 03-05-077 Santa Cruz – Iglesia de Bonilla" del cantón de Turrialba.

La finalidad es presentar una recopilación de datos acerca de los rendimientos de maquinaria pesada y mano de obra de algunas actividades de un proyecto vial, con el fin que sirvan para la estimación de los costos y duración de proyectos similares. Inicialmente el proyecto analiza y caracteriza las actividades que conforman la obra de infraestructura, esto implica revisión documental, observación y entrevistas a encargados de las partes involucradas. Los rendimientos y tiempo efectivo o productividad de maquinaria y mano de obra se toman mediante las observaciones en campo para determinar el trabajo real en la zona.

Posteriormente, se procede a analizar las principales variables que afectan la productividad del equipo, estas variables son fundamentales para determinar la afectación de un proyecto de esta índole que posee carácter de urgencia.

Finalmente se analiza la gestión de la municipalidad, de los comités de carreteras o asociaciones de desarrollo y de la empresa y los subcontratistas del proyecto de interés para observar y apoyar la información que incumbe en la productividad y el impacto en el de rendimiento de maquinaria y mano de obra en los procesos de rehabilitación de una carretera.

Palabras claves: rendimiento de maquinaria, infraestructura vial, declaratoria de emergencia.

Estimación de rendimiento y productividad de equipo y mano de obra de un proyecto vial con declaratoria de emergencia

Estimación de rendimiento y productividad de equipo y mano de obra de un proyecto vial con declaratoria de emergencia

DANIEL SÁNCHEZ VARELA

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

Noviembre del 2018

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	4
Marco teórico	1
Metodología	12
Resultados	18
Análisis de los resultados	54
Conclusiones.....	61
Anexos	64
Referencias	74

Prefacio

Actualmente los costos de proyectos de infraestructura vial y otras obras de construcción están siendo objeto de análisis para aumentar la eficacia y eficiencia en el momento del desarrollo. Los proyectos viales son una parte importante de la infraestructura de un país para permitir el libre comercio y transporte de personas y productos, estas labores por ser de gran longitud y tamaño requieren importante utilización de maquinaria pesada y mano de obra. Estas máquinas que poseen características que permiten movilizar grandes cantidades de material son las que marcan pauta para tener un proyecto viable económicamente, es importante desde el punto de vista financiero que el presupuestista conozca los rendimientos de una máquina o de las actividades en campo las cuales existen muchos métodos para el cálculo, pero el análisis en campo permite medir la productividad y un rendimiento más real de la máquina, mano de obra y los equipos de trabajo realizando las diversas labores, que afronta una serie de eventos naturales, exteriores, técnicos y administrativos que afectan la cantidad de trabajo que se realiza en el campo.

Las infraestructuras viales en Costa Rica pueden ser las estructuras más vulnerables por presentar daños por diversos fenómenos naturales. El cantón de Turrialba presenta vulnerabilidad a desastres naturales atmosféricos, volcánicos y sísmicos, esto requiere inversiones en rehabilitación de las carreteras por parte de la municipalidad y el gobierno.

La investigación permite proporcionar datos que colaboren a disminuir la incertidumbre en la realización de obras civiles y a dar datos rápidos de posibles duraciones y costos de una maquinaria para atender proyectos de esta envergadura que poseen gran importancia para la población afectada y así que los profesionales encargados den una respuesta rápida a los eventos. Igualmente, es básico analizar cómo la empresa adjudicada, el gobierno local y los comités de vecinos colaboran y gestionan el proyecto con el fin de obtener el mayor beneficio.

Agradecimientos

Agradezco a la municipalidad de Turrialba a los ingenieros del departamento de Gestión Vial y otras personas que colaboraron en poder obtener y realizar la investigación en el proyecto vial

Agradezco a la empresa adjudicada del proyecto y los empleados de AJIMA S.A. por permitirme participar y colaborar en el proyecto e integrarme en el avance de este brindándome consejos e información.

Agradezco a los vecinos y comités de la zona que siempre estuvieron colaborando y brindando ayuda para realizar el proyecto

Agradezco al profesor guía el Ing. Milton Sandoval por acompañarme y guiarme por este proceso a pesar de todas las circunstancias que se presentaron para poder obtener un fin en el proyecto y por la comprensión de lo sucedido desde el principio de la realización.

Finalmente agradezco al Tecnológico de Costa Rica y la Escuela de Ingeniería en Construcción por darme los medios y recursos que me permitieron adquirir los conocimientos técnicos y humanos para aportar y desarrollar la sociedad desde la perspectiva de la construcción.

Dedicatoria

Dedico este trabajo como un esfuerzo realizado para poder obtener este grado académico a mis padres que aportan la compañía, el apoyo, el seguimiento, el entusiasmo y los recursos para poder estudiar y llevar a cabo el sueño de ser Ingeniero en Construcción a lo largo de todos estos años.

A mis amigos y compañeros que compartieron, celebraron y acompañaron todo el proceso universitario realizando diversas actividades y proyectos por todos los años que nos esforzamos en cumplir la meta que tenemos cada uno en nuestras vidas.

Resumen ejecutivo

El proyecto de investigación desarrollado es estimación y recopilación de rendimientos y análisis de situación de actividades de un proyecto vial con declaratoria de emergencia de la vía cantonal 03-05-077 del cantón de Turrialba, este tiene como objetivo ser base y fuente de consulta de la situación del trabajo de maquinaria y mano de obra en obras viales del cantón, para estimar con certeza tiempos de duración y costo de un trabajo dado que se deba realizar. Este tema se analiza por la afectación y el desconocimiento de datos esenciales por partes de ingenieros u otros profesionales para llevar a cabo proyectos viales de zonas rurales y en otras construcciones, al no contar con un dato real del trabajo de un equipo determinado o de una actividad

Además del objetivo mencionado anteriormente, se realizó un estudio del trabajo de la productividad de las actividades con mayor costo y duración aplicando métodos analíticos, se realizó una caracterización de las actividades y del proyecto y se extraen los factores que tienen mayor incidencia en el trabajo de las actividades analizadas, así como un análisis de las acciones y gestión del proyecto que impactan el rendimiento y productividad de las actividades y del proyecto en general.

El método utilizado para determinar todos los datos es de observación en campo, lo cual con la ayuda de un cuaderno de apuntes se puede tomar nota de todo aquel dato relevante e importante, igualmente se utilizan registros fotográficos y de video para posterior análisis y cronómetros para llevar tiempo, igualmente se realizan investigaciones teóricas y consultivas de documentos o entrevistas a los involucrados en el proyecto.

Algunos de los datos obtenidos por medio de los métodos son los rendimientos de maquinaria pesada utilizada en los trabajos, los datos de productividad que muestran como el tiempo efectivo de la maquinaria se encuentran en niveles aceptables de productividad, mientras las actividades realizadas por mano de obra presentan niveles de trabajo productivo menores

comparado con el equipo, con todos estos datos se realizan un cuadro donde se introducen todos los valores por actividad y maquinaria de los rendimientos obtenidos generalmente de equipos como excavadoras hidráulicas, tractores, retroexcavadoras, volquetes, motoniveladoras, compactadoras y cuadrilla de mano de obra.

Las actividades analizadas corresponden a excavación de la vía, excavación para estructuras, colocación de alcantarillas, relleno de alcantarillas, conformación y limpieza de zanjas y cunetas, colocación de base y subbase y construcción de estructuras de obra de arte de alcantarillas, estos son básicos para rehabilitar la transitabilidad en vías de bajo tránsito rurales dañadas por las lluvias y otros factores, con el fin de mejorar la salida y evacuación de persona en caso de actividades volcánicas del volcán Turrialba a la cual se encuentra dentro de la zona de afectación.

Con respecto a los factores que afectan la productividad de maquinaria se destacan por el grado de incidencia causas como condiciones del sitio con 28% de afectación, mantenimiento, tránsito de personas y vehículos, averías y daños, interrupción vecinal, entre otros, que son factores que producen impacto en el trabajo de una máquina al reducir el tiempo efectivo.

Finalmente se realizó un análisis del impacto de la gestión de un proyecto vial con esta importancia obteniéndose datos como el impacto de los actores en las actividades o las acciones que comete la empresa tanto positivas como negativas en el proyecto.

En conclusión, se obtiene un resumen recopilatorio del rendimiento de las actividades donde intrínsecamente se tiene los factores atmosféricos, geológicos, humanos y técnicos que probablemente se presentan durante la realización de actividades similares y con maquinaria; se destaca como la maquinaria varía su rendimiento a lo largo de las observaciones y la varianza del trabajo de una misma máquina realizando trabajos en actividades similares. Se observa como por la longitud del proyecto y por el espacio público

utilizado se ve afectado por el tránsito de vehículos y personas, por quejas de vecinos y personas que colindan o utilizan la vía y la problemática de zonas rurales con la instalación y colocación inadecuada de servicios públicos dentro del derecho de vía de las carreteras, que produce que se afectan tales servicios y afectan los trabajos por daños por el paso de maquinaria pesada. Con respecto a la productividad se distingue como a mayor participación humana como fuerza de trabajo disminuye la productividad de una actividad y

como otros sujetos involucrados ajenos a la empresa constructora como municipalidad, instituciones o comités de caminos realizan acciones o cambios que afectan el desarrollo normal de una actividad. Las decisiones de la empresa constructora en la gestión tienen un impacto importante en el rendimiento si no tiene buena comunicación, instrucciones claras o seguimiento de cronograma y la coordinación y previsión del material necesario para el desarrollo de la obra.

Introducción

El siguiente informe se basa en la estimación de los rendimientos y productividad de mano de obra y equipo de las actividades del proyecto de restauración de infraestructura vial y obras relacionadas de la ruta 03-05-077, carretera Santa Cruz – Bonilla bajo declaratoria de emergencia administrado por la Municipalidad de Turrialba y financiado por la Comisión Nacional de Emergencias.

El proyecto tiene como fin brindar una perspectiva acerca de la capacidad o eficacia de los operarios, administradores, subcontratistas de mano de obra y equipos en general, esto se enmarca en un tema que es fundamental para el cálculo de costo y duración de actividades de índole vial. El proyecto se basa en la recolección de datos de rendimientos y productividad en el sitio para obtener los datos para representar la realidad de las actividades, aplicando análisis de la situación en obra y conceptos estadísticos.

El tema es de importancia para la Municipalidad de Turrialba para tener una perspectiva de trabajo en proyectos viales con declaratoria de emergencia, esto debido a que el cantón tiene vulnerabilidad a sufrir daños ya sea por tormentas fuertes o eventos volcánicos, por estos motivos se requiere un buen estado de las vías para evacuación o distribución de ayudas, además de satisfacer las necesidades de transporte en condiciones normales. Esta información permite a los ingenieros municipales contar con una base de datos para la estimación del costo de maquinaria para trabajos de rehabilitación, reconstrucción, construcción y mantenimiento de vías municipales.

Además, el proyecto tiene como objetivo el reconocer todas aquellas variables que afectan el rendimiento de mano de obra y equipo. Igualmente, es información aprovechable para las

empresas interesadas en participar en licitaciones en proyectos similares en la región de Turrialba y de utilidad para las municipalidades circundantes del cantón.

Objetivos

Objetivo general

- Proporcionar un conjunto de rendimientos de mano de obra y equipo de las actividades del proyecto de rehabilitación de la superficie de ruedo del camino 03-05-077 Santa Cruz – Iglesia de Bonilla en Turrialba.

Objetivos específicos

- Describir las actividades presentadas en el proyecto de infraestructura vial con declaratoria de emergencia.
- Determinar los rendimientos y productividad de mano de obra y equipo correspondientes a las actividades analizadas del proyecto de infraestructura vial.
- Analizar las variables que afectan el rendimiento y productividad de mano de obra y equipo del proyecto vial.
- Analizar la gestión del proyecto de infraestructura vial con declaratoria de emergencia y su impacto en el rendimiento de las actividades del proyecto.

Marco teórico

El marco teórico que apoya la información del proyecto indaga en todas las características de un proyecto vial de esta clase, inicialmente se identifica conceptos de infraestructura vial, licitación pública y declaratoria de emergencia como tema central del tipo de proyecto evaluado. Posteriormente se define y amplía el tema de rendimiento y productividad, así como variables de afectación y otros conceptos utilizados en la determinación y eficiencia de la mano de obra y equipo. Finalmente se conceptualizan términos de planificación, mantenimiento y costos de un proyecto, y definiciones de estadística y muestreo.

Infraestructura vial pública

La infraestructura vial corresponde al conjunto de elementos estructurales que permiten el desplazamiento de vehículos cumpliendo con requerimientos mínimos de confortabilidad y seguridad de un punto a otro del plano (s.a., 2018). Este tipo de obra de infraestructura es vital para la economía de un país o región, pero por su importancia y porque son obras que se extienden en largas distancias por todo tipo de terrenos, suelos, irregularidades topográficas implican un alto costo. En el sector construcción las infraestructuras viales tienen tres fases donde se debe involucrar algún tipo de maquinaria pesada, estas son construcción, mantenimiento y rehabilitación. La construcción es la creación o mejoramiento de una superficie vial ya sea inexistente o que se requiere modificar para mejorar las condiciones, el mantenimiento son aquellas actividades que se aplican periódicamente para alargar la vida útil de la carretera y finalmente la rehabilitación implica la

reconstrucción de la carretera existente debido a irregularidades presentes que impiden que los vehículos circulen confortable y seguro por la vía, la cual requiere regresar a las condiciones mínimas que permiten satisfacer al usuario.

La infraestructura vial no solamente corresponde a la carpeta asfáltica y sus respectivas capas, existente otras obras vitales para superar y preservar la carretera como las obras de arte o hidráulicas (alcantarillas, puentes, cunetas, entre otras), obras de protección (muros, enrocados, chorreado de taludes) y obras de seguridad (demarcación, señalización vertical y horizontal, reductores de velocidad, barreras, aceras). (LANAMME, 2017)

En Costa Rica la infraestructura vial es muy densa y diversa, pues existente variedad de tipo de carreteras como el tipo administrativo vías nacionales (administrado por MOPT) y municipales (administrado por Municipalidades); del tipo de material de lastre, de pavimento flexible, pavimento rígido, entre otros y vías por capacidad que tiene una cantidad de carriles por sentido para abastecer la demanda vehicular. Las carreteras están reguladas por la ley 5060 "Ley de caminos públicos" de Costa Rica, mientras la construcción, rehabilitación y mantenimiento de carreteras se rige por el Manual CR-2010 del Ministerio de Obras Públicas y Transportes.

Licitación pública

La licitación pública de acuerdo con la Contraloría General de la República de Costa Rica (2006) se define como un concurso que deben aplicar las entidades públicas para la compra de bienes y servicios para efecto de seleccionar la mejor oferta por precio y calidad, garantizando la libre y justa participación de todos los oferentes que cumplan con los requerimientos. Además, este proceso se

divide en dos: licitación pública y licitación abreviada, según La Ley de Contratación Administrativa y el Reglamento de Contratación Administrativa (Ministerio de Hacienda, 2006).

La licitación pública es el proceso más abierto y formal y con plazo más amplio mientras, la licitación abreviada es un proceso más corto con menos requerimientos en el que se convoca a participar a un número de empresas inscritas, y es muy utilizado en casos de emergencias que necesitan reparar el daño rápido.

Declaratoria de Emergencia

Según la Ley 8488 de Emergencias y Prevención del Riesgo (Asamblea Legislativa, 2005) la Declaración de Emergencia es emitida por el poder ejecutivo de la república aplicado en todo el territorio nacional debido a algún desastre o suceso que afecte a los costarricenses. El artículo 30 de la Ley 8488 menciona que hay tres fases de atención de emergencia: fase de respuesta, fase de rehabilitación y fase de reconstrucción. La fase de reconstrucción es la que tiene mayor tiempo de ejecución pues esta requiere de los estudios técnicos y recursos para realizarse, esta fase repone los servicios públicos afectados como obras infraestructura pública.

Rendimiento

El rendimiento de los trabajadores (mano de obra) y maquinaria de una obra de construcción es un elemento importante para la estimación correcta de los tiempos de duración de cada actividad e igualmente la realización del presupuesto de un proyecto de construcción.

Este es un dato sumamente importante, pero en cierto caso ignorado por los ingenieros y arquitectos, que puede marcar una diferencia entre las ganancias y las pérdidas de una empresa constructora, por lo que es necesario realizar un análisis de la capacidad de trabajo en una obra.

En el área laboral el rendimiento de maquinaria es poco usual de analizar o investigar, por lo que, si en mano de obra se tiende a utilizar datos lejos de la realidad, en maquinaria se utilizan datos que pueden ser bastantes contraproducentes a la compañía debido a lo sobreestimados que se calculan.

Con lo anterior, la medición de rendimiento de mano de obra y maquinaria tienen diferentes perspectivas de análisis, por lo que es necesario realizar un análisis diferenciado para ambos procesos para poder abarcar las condiciones que afectan a ambos procesos constructivos.

Rendimiento de Mano de obra

El rendimiento de mano de obra se define como la cantidad de obra de alguna actividad completamente ejecutada por una cuadrilla, compuesta por uno o varios operarios de diferente especialidad por unidad de recurso humano, normalmente expresada como um/HH (unidad de medida de la actividad por hora Hombre). (Botero L, 2002)

Rendimiento de maquinaria

El rendimiento de maquinaria se define como el número de unidades de trabajo que realiza una máquina en una unidad de tiempo que depende directamente de las condiciones del sitio de trabajo, generalmente realizadas en una hora. La unidad de trabajo por lo general es por metro cúbico o por tonelada de tierra removida, transportada u otra actividad, representándose como m/h, m²/h, m³/h o ton/h pero igualmente existen otras unidades para determinar el trabajo de máquinas especializadas. (Lozano Bello, 2013)

El rendimiento de maquinaria pesada puede ser calculado por tres funciones, según Roberto Vargas (1999).

- Por gráficos: para este se utilizan fichas técnicas de fabricante donde existen gráficos y cuadros con información relevante a la operación de la máquina.

- Mediante fórmulas: existen fórmulas propuestas para conocer el rendimiento de una máquina y factores que evitan la incertidumbre del dato teórico con la realidad. Utilizando una fórmula general y sencilla para el cálculo.

$$R = 60 \text{ min} \times E \times Vc \times Tc \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

R: rendimiento.

E: factor de eficiencia.

Vc: Volumen movido por ciclo.

Tc: tiempo de ciclo.

- Por observación directa: este es el tipo de análisis que más tiempo requiere en realizar, se estima el rendimiento en el sitio de la operación de la máquina, analizando las condiciones naturales y técnicas.

aunque son aspectos meramente teóricos para un sector construcción que tiene la tendencia a emplear datos empíricos o usar datos que de alguna manera no se acercan a la realidad de la elaboración de la actividad constructiva, este hecho marca que las empresas constructoras se enfrenten a retrasos y sobrecostos de una actividad.

La productividad se define como la cantidad obra realizada eficientemente en un tiempo determinado, este término es afectado por varias variables al igual que el rendimiento, pero tiene un análisis más relacionado con factores cualitativos y no cuantitativos como lo es el rendimiento (Leandro A, 2016).

La productividad se divide en tres términos de tiempo, tiempo productivo, tiempo improductivo y tiempo contributivo. El tiempo productivo corresponde al lapso de tiempo de producción de un bien o servicio que genera ingresos o valor, el tiempo improductivo es el trabajo que no añade valor al producto y el tiempo contributivo es el tiempo invertido en un proceso o actividad que no aporta valor, pero se debe llevar a cabo (Leandro A, 2015).

Rendimiento nominal o teórico

Es el rendimiento de una máquina en excelentes condiciones de trabajo, estado y sin interrupciones; este es el que brindan los fabricantes en sus catálogos de ventas. Estos datos no son reales pues las condiciones son las ideales por lo que se deben aplicar factores de acuerdo con las condiciones previstas o experimentadas en otros proyectos (Malpica C, 2014).

Rendimiento y productividad

Los rendimientos de mano de obra determinan el mejoramiento de la eficiencia en la productividad de una empresa, por ende, si se requiere mejorar la capacidad de realizar una actividad efectivamente se debe iniciar con el análisis de rendimientos, estos elementos son mutuamente complementarios en un proyecto de construcción,

Factores que afectan la productividad

Existen varios factores que implican una influencia positiva o negativa en la productividad, esto debido a que cada proyecto tiene diversas condiciones que lo hacen único, de acuerdo con Luis Fernando Botero (2012) estos factores que afectan el rendimiento y consumo de mano de obra se agrupan en siete categorías, esto es importante porque, son variables que afectan directamente a los operarios de equipos y mano de obra de otras actividades.

- Economía general: este factor hace referencia a la situación económica actual de la región o país, esto se relaciona con el rendimiento porque a más estable está la economía más proyectos en construcción, pero menos mano de obra calificada disponible, por ende, se tiende a

buscar trabajadores inexpertos que disminuyen el rendimiento.

- Aspectos laborales: cuando un empleado tiene mayor satisfacción con su trabajo por el salario, incentivos, seguros, capacitaciones entre otros aspectos que motivan a un empleado a realizar una mejor labor debido al buen ambiente laboral mejoran el rendimiento.
- Clima: las condiciones climáticas pueden favorecer o entorpecer la labor de una actividad, en situaciones de lluvia, alta o baja temperatura, condiciones del suelo siempre afectan el rendimiento.
- Actividad: la labor de ciertos trabajos implica complejidad, riesgo, discontinuidad, actividades predecesoras, tipicidad que en el momento puede favorecer que el trabajador realiza de manera efectiva la tarea.
- Equipamiento: disponer de equipos acordes a la tarea y con mayor tecnología con mantenimiento oportuno y con medidas de protección aseguran que el rendimiento aumente.
- Supervisión: la existencia de información, clara y concisa, y de una organización en el sitio de trabajo de supervisión y seguimiento facilitan la ejecución de una tarea.
- Trabajador: un empleado capacitado en las tareas, con experiencia, con salud emocional, mental y física, con períodos de descanso y con buena actitud y desempeño en la labor incentivan un mayor rendimiento.

Determinación de rendimiento de mano de obra

Para realizar un correcto análisis de rendimientos se utilizan definiciones y cálculos de estadística básicos con el fin de asegurar la veracidad de los datos.

Según Milton Sandoval (2013) la técnica para medir rendimientos inicia con la obtención de

los datos, los cuales son el tiempo de duración de la actividad, cantidad de obra realizada y cantidad de obreros trabajando, esto según la clasificación entre operario, ayudante y peón, el cual se calcula según el trabajador de la cuadrilla de la siguiente manera.

$$hH = t \cdot \#operarios + t \cdot \#ayudantes + t \cdot \#peones$$

(Ecuación 2)

Donde:

t : tiempo en horas.

Ope/Ayu/Peo: cantidad de trabajadores

Determinado la cantidad de tiempo realizado se procede a calcular el rendimiento de la tarea como lo representa la ecuación 3.

$$Ri = \frac{hH}{CT} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

Ri = rendimiento de la actividad.

hH = horas-hombre.

CT = cantidad de trabajo.

Los datos de rendimientos calculados de una misma actividad, se le aplica un promedio en general, para dar veracidad de que los datos obtenidos son una representación cercana de la realidad de la actividad, esto debido a la posible discrepancia de valores por el hecho de que los trabajadores no laboran con la misma frecuencia y eficiencia a largo de la labor de una tarea.

$$\bar{R} = \frac{\sum Ri}{n} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

\bar{R} : rendimiento promedio.

$\sum Ri$: sumatoria de los rendimientos.

n : número de datos de rendimientos.

Por último, es necesario realizar un análisis matemático de aquellos tiempos de trabajo que el empleado no realiza, pero están dentro de la jornada de trabajo, tales como tiempos de espera, tiempos de obra parada, entre otros. Este factor se le conoce como factor de tiempo muerto y se calcula de la siguiente manera.

$$Tm = \frac{tim}{jd - tim} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

Tm: factor tiempo muerto

jd: jornada diaria

tim: tiempo improductivo

El tiempo improductivo es la suma de todas aquellas horas en la que no se labora directamente en la actividad asignada y se representa como unidad de tiempo por lo general en horas.

El factor de tiempo muerto se aplica al rendimiento promedio para obtener la capacidad real de trabajo de la cuadrilla.

$$\bar{R}_{efectivo} = \bar{R} \cdot (1 + Tm) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Conceptos de Maquinaria

Las máquinas en el sector construcción han contribuido a reducir tiempos y aumentar el trabajo que un grupo de personas sería incapaz de realizar en mucho menos tiempo, con esto permitiendo desarrollar obras de un gran tamaño en períodos cortos y evitando que los empleados se expongan a peligros y dolencias por realizar labores que necesitan mucha fuerza.

El rendimiento de una máquina depende en gran medida de la velocidad y de la potencia, pues en el mercado las empresas automotrices han creado una alta gama de productos de máquinas para la construcción que tienen diversos propósitos y capacidades produciendo que exista gran variedad de rendimientos en obra (Medina A, 2016).

En el caso de las máquinas de construcción a diferencia de otros vehículos, estos deben enfrentarse a zonas de poco acceso y movilidad, por lo que la potencia y velocidad están

relacionados con la resistencia de rodamiento y la resistencia a la pendiente del vehículo.

De acuerdo con Alejandro Medina (2016) En el mercado de máquinas de construcción existen tres tipos de categorías que se dividen según la función y trabajo a realizar, las cuales son:

- Maquinaria para excavación: esta incluye tractores, excavadoras, escarificadoras, motoniveladoras,
- Maquinaria para remoción y transporte: estos son los tractores, traillas, mototraillas, volquetes y camiones.
- Maquinaria para esparcimiento y compactación: estos son tractores con pala, motoniveladoras y compactadoras.

Cabe señalar que la práctica ante la variedad de equipo el ingeniero debe seleccionar la máquina que más favorezca el avance de la obra. Para seleccionar una máquina se debe analizar la resistencia del suelo, el volumen de extracción, las distancias a zona de descarga, tipo de camino de acarreo, tipo y tamaño del equipo de acarreo, tiempo disponible de trabajo, tipo de material a extraer y el rendimiento de la máquina.

Las máquinas pesadas de construcción utilizadas actualmente funcionan en su mayoría con Diesel y están en constante actualización y desarrollo de materiales ligeros y resistentes, aumento de potencia, mayor maniobrabilidad y versatilidad de los órganos de trabajo, mejoría en el confort de la cabina del operario, más controles automáticos y mandos y transmisiones hidráulicas. Las partes esenciales de una máquina es el motor, el sistema de transmisión, el sistema de tren y rodaje, el sistema de control, el chasis y los órganos de trabajo (hojas, escarificadores, cubo, pala, etc.).

Determinación de rendimiento de maquinaria

Para calcular el rendimiento de una máquina se debe tener especial cuidado, debido a la variedad de máquinas y al sitio de trabajo. Para realizar el cálculo de rendimiento de una obra es necesario reconocer ciertos factores que garantizan o afectan la cantidad de trabajo de la máquina.

El procedimiento de cálculo y análisis de resultados sigue el mismo lineamiento propuesto para el cálculo de rendimientos de mano de obra, con el fin de que al aplicar los conceptos estadísticos den sustento a los datos obtenidos.

El método general teórico se basa en 5 aspectos capacidad volumétrica de la máquina, tiempo de ciclo, número de ciclo por hora, rendimiento teórico y factores de eficiencia.

Uno de los factores que afecta en gran medida el trabajo de la máquina es el factor abundamiento del suelo, es necesario para conocer cuánto material se debe extraer, remover o transportar del sitio de trabajo. Se define el abundamiento como una propiedad física del suelo de expansión cuando es extraído de su estado natural en el terreno. Este factor se puede calcular de la siguiente manera:

$$A = \left(\frac{\gamma_n}{\gamma_s} - 1 \right) \cdot 100 \text{ (Ecuación 7)}$$

Donde:

A : factor de abultamiento

γ_n : densidad del suelo en banco

γ_s : densidad suelta del suelo

En el caso extracción y luego compactación se posee la siguiente ecuación para identificar el factor de encogimiento.

$$E = \left(1 - \frac{\gamma_n}{\gamma_c} \right) \cdot 100 \text{ (Ecuación 8)}$$

E : factor de encogimiento

γ_n : densidad del suelo en banco

γ_c : densidad compacta del suelo

Los datos de densidad se realizan de acuerdo con estudios de campo del tipo de suelo o utilizando cuadros de información de suelo que ofrecen datos aproximados con respecto a lo que se aprecia en el sitio de trabajo; como por ejemplo el cuadro 1, que detalla el tipo de material y un factor de abundamiento.

CUADRO 1. FACTORES DE ABUNDAMIENTO	
Material	Factor de abundamiento
Arcilla, limo	1,30
Arena, grava	1,15
Concreto, piedra	1,50

Fuente: Manual Técnico de Construcción de Holcim Apasco.

Este son datos importantes para evitar errores con la cantidad de material a transportar, por ejemplo, el Walter Ibañez 2012 en el libro Costos y Tiempos en Carreteras utiliza un 20% de factor abundamiento para calcular las actividades de acarreo.

La capacidad del receptáculo (palas, cuchillas o cucharones) son los elementos que componen y varían en cada máquina para realizar las diversas maniobras donde al conocer las dimensiones del elemento se puede conocer el volumen del suelo que se puede extraer o almacenar para determinar la duración extrayendo una cantidad determinada de material por unidad de tiempo.

El factor de eficiencia es otro elemento que permite conocer el rendimiento de una máquina como se aprecia en la ecuación 1, este factor está relacionado a las pérdidas de eficiencia generadas por las condiciones de administración y por las condiciones en sitio del proyecto. Las condiciones de administración están relacionadas con el estado de la máquina y la coordinación del equipo mientras las condiciones del sitio son la superficie del terreno, la topografía, las condiciones climáticas, entre otras. El cuadro 2, se observa una referencia resumida de como valorar este factor según las condiciones.

CUADRO 2. FACTOR DE EFICIENCIA				
Condiciones de la obra	Condiciones de administración			
	Excelente	Buena	Mediana	Mala
Excelentes	0,84	0,81	0,76	0,70
Buenas	0,78	0,75	0,71	0,65
Medianas	0,72	0,69	0,65	0,60
Malas	0,63	0,61	0,57	0,52

Fuente: Métodos, Planeamiento y equipos de construcción, Peurifoy R.

Dentro del factor de eficiencia se encuentran un conjunto de factores los cuales son: eficiencia en tiempo, operación, administración,

tipo de material, estado de material, carga o copeteo, maniobra y alcance, pendiente del terreno, condiciones del camino, clima, uso, efecto de altitud, desperdicio, humedad, temperatura y polvo (Malpica C, 2014).

Otro factor que afecta el rendimiento de una máquina es la resistencia al rodamiento. Este término se define como el conjunto de fuerzas en oposición al movimiento de un vehículo sobre un terreno. Medina A, 2016 indica que esta resistencia se debe a las irregularidades y rugosidades de la superficie, a la fricción de las llantas o las orugas sobre el camino, o las diferentes fricciones del motor, caja de velocidad y mandos finales. Para la maquinaria con ruedas la resistencia depende del tamaño, presión y diseño de estrías de la llanta y en maquinaria de orugas dependen más de la condición de la superficie del terreno. La resistencia de rodamiento se expresa en kilogramos de tracción requerido para mover cada tonelada del vehículo sobre una superficie. En el cuadro 3 se presentan algunos de los valores de resistencia al rodamiento según el tipo de superficie de tránsito y el tipo de movilización llantas u orugas de la máquina.

CUADRO 3. RESISTENCIAS AL RODAMIENTO KG/TON			
Tipo de superficie	Orugas	Llantas	
		Alta presión	Baja presión
Concreto liso	30	20	25
Asfalto	30-35	20-35	25-30
Tierra compactada	30-40	20-35	25-35
Tierra con baches	40-55	50-70	35-50
Arena suelta, grava suelta	80-100	130-145	75-100
Tierra, muy lodoso, suave	100-120	150-200	140-170

Fuente: Medina Alejandro, 2016.

La resistencia a la pendiente es un factor importante, debido a que en todo vehículo la potencia disminuye conforme la inclinación es mayor, y conforme a mayor peso de carga, la resistencia a la pendiente suma a la máquina 10 Kg por cada 1% de la pendiente por cada Tonelada del peso de la máquina y la carga (Medina A., 2016).

Estos factores de resistencia al rodamiento y a la pendiente, afectan en más medida a las vagonetas, ya que estos deben transitar a velocidades mayores por todo el sitio del proyecto y el exterior con la carga y sin la carga, teniendo que aplicar mayor tracción para superar las fuerzas que impiden el movimiento.

Pero el factor más utilizado para cálculos de producción de maquinaria es la eficiencia horaria, según Cinthya Malpica se refiere a la producción óptima o la mejor producción alcanzable de trabajo en períodos de 60 minutos. En la realidad este valor de acuerdo a diversas fuentes como Alejandro Medina y Cinthya Malpica se trabaja entre 45 – 50 minutos por hora, a este tiempo en el campo de la productividad se le conoce como tiempo productivo o factor operacional que está correlacionado con el factor de eficiencia (Malpica C, 2014).

Para calcular el rendimiento de la maquinaria varía dependiendo de la máquina y las especificaciones técnicas del vehículo, por lo que es necesario preparar una ecuación diferente para el tipo de máquina, porque cada uno posee diversos factores que la hacen única como la potencia o la capacidad. A continuación, se presentan algunas de las máquinas más comunes en construcción de infraestructura que identifica y caracteriza (Victor Cadena, 2013).

Tractor: máquina de remoción y transporte de suelo; el cálculo depende del tamaño, el tipo y la capacidad de la hoja, el operador y el tipo de suelo de trabajo.

Cargador y Retroexcavadora: la función es transportar y extraer suelo e igualmente cargar volquetes u otros camiones; el rendimiento depende del tamaño y capacidad de la pala, el operador y el tipo de suelo e indirectamente depende de la constancia de las vagonetas.

Excavadoras: la función es similar al cargador, pero este alcanza mayores distancias por el alcance del brazo; depende del tamaño y capacidad de la pala, el operador y el tipo de suelo.

Motoniveladoras: equipo encargado de remover y esparcir el suelo en un espacio, depende del tamaño de la cuchilla, el operador, el tipo de suelo, la distancia recorrida, el número de pasadas y la velocidad de operación.

Compactadores: equipo utilizado para compactar suelo en un sitio mediante el ejercicio de peso y vibración; depende del ancho del cilindro, la velocidad, el espesor de compactación, el tipo de suelo y el número de pasadas.

Volquetes: este vehículo es utilizado para transportar a velocidades mayores y a distancias largas materiales, debido a las excavaciones. Este es el apoyo necesario para la maquinaria de extracción. Las vagonetas dependen de la capacidad de la canasta, la potencia y la distancia recorrida hasta el sitio de botadero del suelo para realizar la labor, además su rendimiento varía conforme a las condiciones del sitio.

Volquetes articulados: este tipo de maquinaria tiene la misma función que un volquete tradicional, la diferencia radica en que la cabina del operario y el volquete se encuentran unidos articuladamente, permitiendo gran maniobrabilidad y movilidad en espacios difíciles o estrechos.

Ciclo de trabajo

El ciclo de trabajo de maquinaria se conceptualiza como el ciclo total de tiempo de operaciones para iniciar, desarrollar y regresar al punto de inicio de una actividad; Víctor Yepes, (2015) define el ciclo de trabajo como “la serie de elementos u operaciones elementales que se suceden para realizar completamente una tarea u operación” (pag.74).

Este ciclo generalmente está compuesto por varias máquinas y ayudantes, que realizan en conjunto una actividad, la combinación de diversas máquinas y personal facilitan la obtención de mayor eficiencia en la elaboración de una tarea. Las máquinas que realizan el trabajo principal se les denomina máquinas principales, y el equipo que sirve a la máquina principal se les denomina máquina auxiliar, tal como el caso de una excavadora y dos vagonetas.

Los ciclos de operación de maquinaria incluyen la definición de rendimiento de ciclo de trabajo, por consiguiente, incorpora el rendimiento de las diversas máquinas que operan en grupo, para esto es necesario conocer el tiempo del ciclo y el volumen de material transportado o extraído del sitio de trabajo; la ecuación 4 se observa que el rendimiento de un ciclo es la cantidad de material transportada por ciclo multiplicada por la duración de cada ciclo.

$$Rend = \frac{\text{cantidad material}}{\text{ciclo}} \cdot \frac{\text{ciclo}}{\text{tiempo}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Cada maquinaria tiene sus propios propósitos de uso, estas son influenciadas por el tipo de actividad que afecta y determina el rendimiento del ciclo; por ejemplo, carga, descarga, transporte, remoción, extracción, esparcimiento, acarreo, espera, retorno entre otras.

Las actividades antes mencionadas son incluidas como el tiempo de ciclo y las actividades que incluyen maniobras, cambios, ajustes, entre otros se denominan tiempos fijos estas dependen de las características cada máquina y el tiempo muerto es el momento donde la máquina se encuentra en espera para operar.

Los tiempos en espera de máquinas trabajando en conjunto, ya sea por parte de la máquina principal o auxiliar se les denomina cuello de botella. En la figura 1, se aprecia un diagrama donde un camión es la que produce el cuello de botella, pues el cargador debe esperar el regreso del camión.

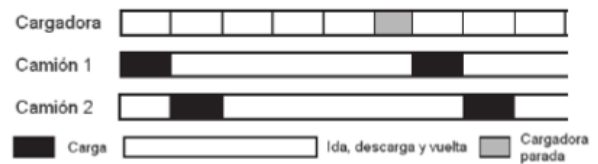


Figura 1. Esquema de máquinas trabajando en conjunto.
Fuente: Víctor Yepes, 2015

Existen unos factores de producción en equipo que brindan información clave para corregir y aumentar la capacidad de trabajo efectivo e influyen en el rendimiento. Víctor Yepes, (2015), enlista los siguientes factores de producción en equipo:

- Factor de disponibilidad: es el cociente de tiempo disponible y tiempo laborable real. Valores bajos indican mala conservación, lentitud en reparaciones, falta de repuestos o mal estado de la máquina
- Factor de utilización: es el cociente del tiempo de utilización y el tiempo de disposición. Valores bajos indican mala programación, falta de comunicación, falta de supervisión, entre otros.
- Factor operacional: es el cociente de la producción media por hora de

utilización y la producción tipo de una máquina.

Variables que afectan el rendimiento de maquinaria

La maquinaria al igual que la mano de obra está sometida a factores que disminuyen el rendimiento eficaz en la realización de una determinada tarea. Las demoras en rutina, las restricciones de operación, las condiciones del sitio, la dirección y la supervisión son factores importantes que se deben analizar cuando se está realizando un análisis previo y durante el trabajo de una máquina o equipo de trabajo.

- Las demoras en el sitio incluyen demoras inevitables, cansancio o tiempo para necesidades fisiológicas del operador, el abastecimiento de combustible o el lubricante, el mantenimiento de rutina, etc.
- Las restricciones de operación son las desventajas que puede tener la maquinaria para realizar el trabajo como el ángulo de giro, la altura o profundidad de excavación, pendientes y coeficientes de rodamiento.
- Las condiciones del sitio tienen que ver con el clima, tipo de suelo, temperatura entre otras que afectan tanto a la máquina como al operario.
- La supervisión y dirección abarca el tema de la planeación, la organización, la experiencia, el control, el suministro, los servicios y el mantenimiento para tener el mejor aprovechamiento de la máquina o el equipo de trabajo.

Factores positivos en rendimiento

Para conseguir obtener buenos rendimientos de maquinaria pesada en un proyecto constructivo se deben ordenar varios elementos; Cinthya Malpica (2014) menciona algunos de estas variables

importantes para obtener un proyecto eficiente en tiempo y costo.

- Capacitación del personal.
- Innovación de técnicas de operación de equipo.
- Planificación adecuada.
- Programas de motivación personal.
- Adecuado mantenimiento de equipos.
- Diseños de vías y zonas donde el trabajo se realiza con mayor comodidad.
- Mejor fragmentación de la roca volada.
- Planificación adecuada del mantenimiento de equipos.
- Utilización de programas de cómputo para simular los movimientos de los equipos durante los procesos y analizar resultados.

Mantenimiento de máquinas

El mantenimiento es un conjunto de recursos físicos (capital, recursos humanos y equipo), tecnología e información con el objetivo de mejorar la efectividad del sistema de producción, aumentando la confiabilidad y garantizando la seguridad del equipo. Esto es importante porque es uno de los factores que definen el rendimiento y productividad de una máquina en obra. Existen tres tipos de mantenimiento de máquinas las cuales Julio Sandoval (2013) define como:

- **Mantenimiento Preventivo:** son las acciones realizadas sin que ocurre una avería o falla. Se realiza en momentos no producción planificado previamente.
- **Mantenimiento Correctivo:** son las acciones realizadas para corregir una avería o falla después de ocurrida. Este mantenimiento produce parada de la producción afectando ciclo de trabajo y los costos no están presupuestados.
- **Mantenimiento Predictivo:** este consiste en determinar la condición técnica de la máquina en funcionamiento usando sistemas de medición. Este necesita inversión para aplicar ensayos y otros sistemas.

Planificación de obra

La planificación de cualquier obra constructiva es elemental para tener los ingresos y metas pactadas y esperadas. Víctor Cadena menciona que una inadecuada planificación de un proyecto para las actividades de movimientos de tierras produce problemas, por ejemplo: desconocimiento del precio por metro cúbico de excavación, maquinaria involucrada presenta rendimiento mínimo, elección equivocada de maquinaria en el movimiento de tierras, inconvenientes en plazos acordados en contrato, incremento de costos debido a que se debe usar mayor cantidad de maquinaria mayor que el ofertado, rubro tendrá que reliquidarse y por ende la creación de un contrato complementario.

Para proyectos de importancia para los pobladores y comerciantes de la zona y entidades, necesitan participación en el avance de la obra y la colaboración, por lo que la gestión del proyecto debe considerar la participación de todos los involucrados sin entorpecerse unos a otros y los trabajos.

La planificación de obra implica control general de la obra, la clave para el control eficaz de un proyecto es medir el avance real y compararlo oportuna y regularmente con el avance planeado y emprender de inmediato cualquier acción correctiva. (Gido y Clements, 2012). El control general incluye términos de control costos, tiempo, calidad que son necesarios para obtener excelentes rendimientos y productividad, pues estos controles pueden afectar positiva y negativamente el factor de eficiencia de la maquinaria.

Costo de operación

La maquinaria usada en la construcción posee un costo que involucra ciertos elementos que permiten que la máquina realice las labores de acuerdo a sus características que se presentan en las fichas técnicas del fabricante, esto debido a que con el tiempo, las actividades, el ambiente y

otros agentes afectan y deterioran la máquina, además los factores presentes en el sitio de trabajo también determinan los costos que pueden acarrear en la máquina por temas de mantenimiento, reparación, limpieza, cambios y uso. Julio Sandoval (2013) (pag.3) menciona "para conocer el costo de operación de maquinaria es necesario identificar la clasificación de los diferentes factores que interactúan..., estos son el recurso humano y el rubro combustible".

El recurso humano implica las prestaciones laborales y las cargas sociales, mientras el rubro combustible es importante por el alto valor y alto consumo del combustible. Estas dos variables corresponden a las que impactan más el costo de operación, pero existen otras variables de menor costo como lubricantes, filtros, grasas, mantenimientos preventivos y correctivos.

Conceptos de estadística

Para tener buena representatividad de los datos, estos deben ser analizados por métodos estadísticos que permiten reducir la incertidumbre y expresar la realidad del muestreo realizado con estadística descriptiva.

La estadística descriptiva es un conjunto de métodos usados para la recolección de datos y para organizar en forma de tablas y gráficos, incluyendo medidas de estadística y variabilidad de los datos (Salinas, 2010). Algunos conceptos de estadísticos importante son:

- Media aritmética: es la suma de todos los valores divididos entre el tamaño de la muestra.
- Coeficiente de variación: es una medida de la dispersión de los datos con respecto a la media aritmética.
- Varianza: medida de variabilidad del grado de homogeneidad de las observaciones.
- Desviación estándar: es una medida de la centralización o dispersión para variables de razón y de intervalo. Es el valor de la

distancia de los datos con respecto a la media, está correlacionado con el coeficiente de variación.

- Mediana: corresponde al dato central de una secuencia de datos ordenados. Para número de datos pares se utiliza la media de entre los datos centrales y para muestras impares e utiliza la siguiente ecuación $(n+1)/2$, donde n es el tamaño de la muestra.
- Moda: se define como el valor que tiene mayor frecuencia.
- Rango: es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo.

El valor atípico corresponde a un valor extrañamente grande o pequeña del conjunto de datos. Producen efectos desproporcionados en los resultados estadísticos como interpretaciones engañosas. Existen diversos métodos para excluir un valor atípico (outlier) como el método de Tukey que toma la diferencia entre el primer cuartil y el tercer cuartil llamada rango intercuartílico. Un valor atípico se considera leve cuando se encuentra 1.5 veces la distancia del rango y extremo cuando se encuentra 3 veces la distancia del rango intercuartílico y se representa en un diagrama de caja (boxplots). El primer cuartil corresponde a la mediana de la primera mitad de los valores, el segundo cuartil es la mediana de todos los valores y el tercer cuartil es la mediana de la segunda mitad de los datos.

Diagramas Micro Cyclone

Los diagramas Micro Cyclone consisten en una red ensamblada por medio de nodos que describen los procesos de construcción y todos los recursos necesarios para el correcto flujo de las actividades. Esta simulación fue elaborada por Daniel W. Halpin.

Diagramas de Ishikawa

Los diagramas de causa – efecto conocido como de Ishikawa o de pescado son una forma gráfica de representar los problemas identificados estructurándose en una rama principal que es la causa principal a cierto problema y luego en ramas secundarias, para ello se deben tener bien identificado todas las causas que inciden en el problema para transmitir el mensaje para buscar la solución óptima.

Técnica de muestreo

Existen varios tipos de técnicas para muestreo para este caso la técnica por muestreo no aleatorio o de juicio se propone para aplicar en el proyecto, esta se basa en el juicio o experiencia de la persona con respecto a la actividad observada, donde se evita usar análisis estadísticos. Por tanto, el juicio corresponderá al evaluador de la actividad y con el apoyo del análisis de datos y herramientas.

Metodología

La metodología de investigación se divide en cuatro etapas una por cada objetivo, la primera etapa es de recolección de datos e identificación de las actividades del proyecto que se realizan consultando, adquiriendo y observando documentos del proyecto, la segunda etapa es de análisis y estimación de los rendimientos en campo de las actividades del proyecto, la tercera etapa es de análisis de productividad de equipo y mano de obra en las actividades del proyecto vial y la cuarta etapa se fundamenta en analizar el impacto de la gestión del proyecto en el rendimiento de la maquinaria y en el desarrollo de la obra

Objetivo 1

Para la primera etapa se realizan entrevistas a los involucrados del proyecto estos son empresa adjudicada, municipalidad y comités de caminos de las comunidades beneficiadas con el proyecto vial. El fin es encontrar todos aquellos documentos acerca del proyecto y cada una de las actividades para describir estas últimas y recopilar la información que se relacione con ellas. La mayor parte de los documentos son públicos por lo que únicamente se debe solicitar a las autoridades o personas encargadas para realizar la revisión documental y otros documentos de uso más privado se llega a un consenso con la empresa de que solo es con fines académicos para obtener la información necesaria para analizar el desarrollo de las actividades. Esta etapa es fundamental para describir las actividades e identificar a los involucrados. Para entenderla forma de trabajo de los operarios y otros trabajadores a lo largo del proyecto y visualizar correctamente el rendimiento de cada una de las actividades, se utilizará la técnica de observación.

Igualmente, como parte de este objetivo indaga en la relación de las actividades en campo mencionando los equipos utilizados, personal,

condiciones y funcionamiento del equipo de trabajo.

Objetivo 2

Esta fase corresponde a la más importante debido a que se obtienen los datos necesarios para respaldar la investigación. La recolección de datos se realiza de acuerdo con mecanismos de cálculos que permiten conocer que tan efectiva es la realización de una actividad, por lo que es necesario la presencia constante del investigador en el proyecto para poder cubrir los tiempos de mayor y menor rendimiento de trabajadores, con el fin de establecer una media confiable y tomar nota de los hallazgos ocurridos en campo. Por ejemplo, en caso de que la actividad se realiza por un tiempo prolongado, se obtendrán datos en horarios de mañana y tarde además de los días con mayor diferencia en la semana lunes, miércoles y viernes que representan diferentes tipos de actitudes por parte del trabajador. La maquinaria también debe pasar este procedimiento, pero con un enfoque diferente al de la mano de obra. Estos datos pasarán por los filtros estadísticos y paramétricos para descartar aquellos datos que no ofrecen una estimación real del trabajo, estos serán evaluados tanto cuantitativamente por los resultados obtenidos y cualitativamente por las condiciones de máquina y sitio de trabajo.

Los datos de rendimientos de maquinaria tienen una diferencia con respecto a los rendimientos de mano de obra, pues los factores que afectan o la forma con que se realizan los cálculos difieren por ser una máquina, esto hace

que la dependencia en los rendimientos sean factores mecánicos. En tanto la obtención de los datos en campo, no difieren en gran medida con los de mano de obra porque en sí son datos de duración para elaborar una actividad.

En la obtención de los datos que respalden los cálculos de rendimientos es necesario contar con las características del vehículo las cuales se revisan de acuerdo con las fichas técnicas de la maquinaria y modelo correspondiente que se observa en campo. Esto debido a que necesita conocer temas como la potencia, dimensiones y volumen de carga entre otras.

En campo también se tiene que verificar las condiciones del sitio, en específico del suelo igualmente de las condiciones climáticas para analizar cuanto afectan las fuerzas que disminuyen la efectividad del equipo, en este caso es necesario conocer ciertas características del suelo por temas abultamiento y compactación, las cuales se procede a establecer un método o información para obtenerlas.

Por motivos de que cada máquina requiere diferentes factores los cuadros de obtención de datos difieren unos de otros por lo que se toma datos de tiempo generalmente en campo; por ejemplo, tiempo que tarda un cargador removiendo cierta cantidad de metros cúbicos o cargando una vagoneta. En la figura 2, se observa el cuadro utilizado para recolectar y controlar los datos obtenidos del campo, esta corresponde de un espacio para colocar la actividad, la fecha y la hora, las condiciones del sitio de observación como clima o suelo, y posterior un espacio las máquinas, tiempo y cantidad de trabajo realizado y por último se inserta un espacio para detallar las observaciones realizadas de muestreo.

Cuadro de Obtención de Rendimientos de Maquinaria in Situ					
Actividad:			Fecha:		
Condiciones:			Hora:		
Dato	Máquina	Tiempo			Cantidad ()
		Inicio	Fin	Diferencia	
Observaciones generales:					

Figura 2. Cuadro de obtención de rendimientos de maquinaria.

Microsoft Excel 2010.

En el espacio de observaciones generales se colocan datos como por ejemplo años de labor de operario, si el operario opera la máquina entre otras, en otras palabras, datos destacados y necesarios para el análisis de la actividad.

Igualmente se utiliza el cuaderno de notas es otra forma de tomar todas aquellas observaciones necesarias, es esencial, pues en las tablas mostradas anteriormente no se pueden anotar todos los sucesos o información necesaria de lo visto en el sitio de trabajo.

Para una mejor observación y para tener la capacidad de encontrar ciertas acciones o acontecimientos del campo, es necesario tener un registro fotográfico y videográfico de la maquinaria, mano de obra, condiciones, procesos entre otros que permitan dar acompañamiento a las anotaciones del cuaderno de notas y de los cuadros de información. Este registro incluye fotografías, videos y otros documentos necesarios y autorizados.

Con respecto a la productividad se realiza un estudio del trabajo con el fin de obtener datos de productividad, improductividad y trabajo contributivo realizando y anotando observaciones en tiempos determinados realizando observaciones cada 10 o 15 segundos dependiendo de la duración de la tarea en una hora de trabajo para obtener niveles de confianza confiables, además por la cantidad de actividades en analizar y tareas se seleccionan las tareas o actividades con influyen mayormente en el costo y duración del proyecto según los datos suministrados y analizados.

Objetivo 3

Este objetivo consiste en analizar todas aquellas variables que afectan el rendimiento y productividad de una máquina y la mano de obra de un proyecto de infraestructura vial bajo declaratoria de emergencia, la metodología se enfoca en anotar por observación en campo utilizando el cuaderno de notas o bitácora todos aquellos acontecimientos que impactan el trabajo en las actividades del proyecto, esto realizado con las visitas a lo largo de la duración del proyecto.

Igualmente, se realiza una medición de la productividad de los equipos y mano de obra en cada una de las actividades tomando nota de las acciones ocurridos durante un período de tiempo de observación de la actividad, estos tiempos dependen de la duración en el caso de máquinas se realiza por cada hora y en mano de obra por el tiempo que duren trabajando.

Objetivo 4

Este objetivo desarrolla el impacto de la gestión de un proyecto en el rendimiento de las actividades, esto con el fin de identificar y relacionar buenas prácticas y malas de la gestión de un proyecto con declaratoria de emergencia. Esto se realiza observando, documentando y consultados en el proyecto y con los involucrados durante el período de observación en el proyecto.

Cronograma de muestreo

Las actividades que se someten al análisis de rendimientos son aquellas que conforme el avance de la obra del proyecto, a partir desde el movimiento de tierras hasta el alcance de las actividades que se puedan cubrir durante el período de evaluación que se extiende por 80 días naturales que se menciona en la oferta del contratista.

Descripción de sitio de muestreo

El proyecto constructivo de infraestructura vial corresponde a la carretera municipal 03-07-077 perteneciente a la Municipalidad de Turrialba, esta es la ruta que une los poblados de Santa Cruz y Bonilla atravesando otros poblados, el camino es de lastre y el proyecto en general abarca la reparación, ampliación, conformación, construcción de obras de arte, entre otras actividades de la vía. El proyecto es adjudicado por contratación pública por declaratoria de emergencia con fondos de la Comisión Nacional de Emergencias a la empresa AJIMA S.A. la cual realizará el proyecto por 80 días naturales. El proyecto lleva como nombre Contratación de emergencia 2018CE-MT-000002-01 “Rehabilitación de la superficie de ruedo del camino 03-05-077 Santa Cruz – Iglesia de Bonilla-Santa Cruz, Turrialba”. En la figura 3, se puede apreciar una imagen satelital de la ruta que tiene una longitud de 12.7 km, los cuales se pretende intervenir 11,7 km.

La región es una zona lechera de gran importancia económica del distrito de Santa Cruz y Santa Teresita. Es una zona montañosa con una altitud entre 1360 – 1476 msnm con temperaturas promedio de 18-22°C. Para la época del año que se realiza el análisis julio-agosto presenta constantes lluvias, usualmente en horas de la tarde.

Como característica importante de la vía es la intervención más importante que se le ha dado a esa vía, para el sector del Cruce de Guayabo a Bonilla, las condiciones actuales son poca transitabilidad e incomfort del usuario de la vía, así como lo angosto de la vía y poca capacidad de la infraestructura en evacuación de aguas pluviales.

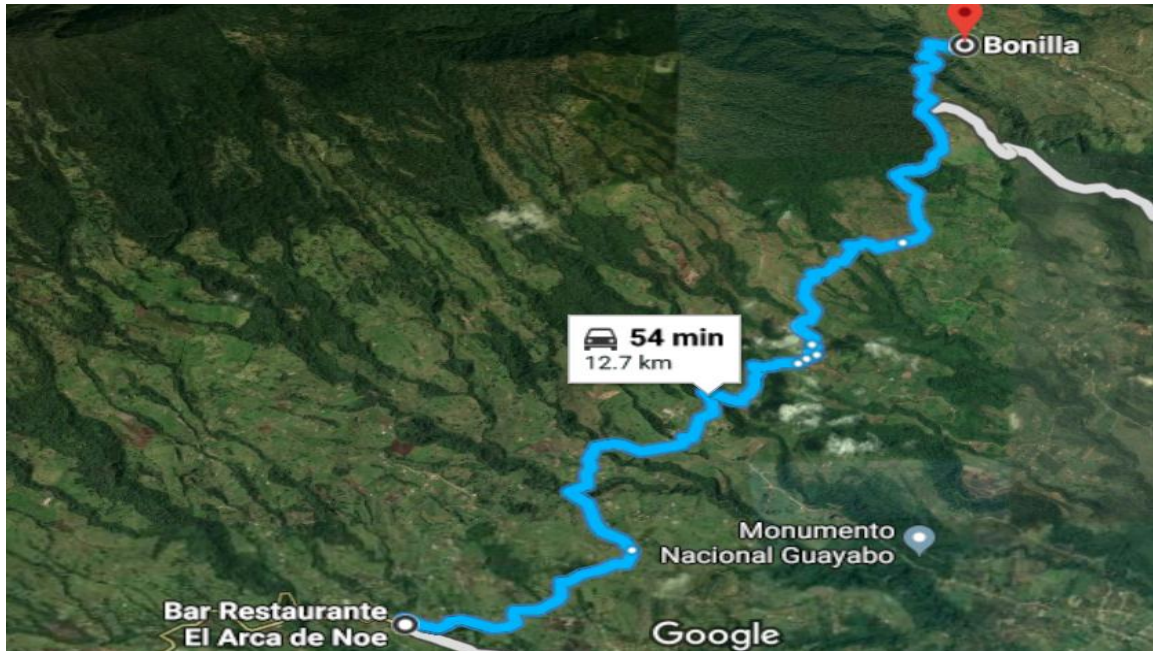


Figura 3. Ruta cantonal 03-05-077 Santa Cruz – Bonilla, Turrialba.
Fuente: Google Maps.

Actividades por analizar

A continuación, se presentan las actividades o renglones de pago que se van a analizar del proyecto de rehabilitación vial, de acuerdo con la división de actividades presentada por la empresa adjudicada de acuerdo con lo establecido en el cartel, en cada uno se detalla la maquinaria a usar y la característica del trabajo a realizar.

Excavación en la vía

Esta actividad corresponde a la eliminación de irregularidades de los taludes de la vía, para dar mayor estabilidad al terreno y así evitar derrumbes, la segunda tarea que está relacionada con la primera es ampliar el ancho de la vía, extrayendo el material de los taludes desde la base para tener mayor transitabilidad en la carretera, en la figura 4, se puede observar la maquinaria trabajando en un talud de la vía.

Para esta actividad el tractor realiza una tarea paralela que es acomodar, esparcir y

trasladar el material extraído y depositado en el botadero por la vagoneta.



Figura 4. Excavación de la vía.

Excavación para estructuras

Esta actividad corresponde a la extracción de material y alcantarillado actual de la zona para la colocación de las alcantarillas nuevas. Este requiere equipo de excavadora hidráulica y vagoneta. Ver figura 5.



Figura 5. Excavación para estructuras.



Figura 7. Relleno para alcantarillas.

Instalación de alcantarillado

Esta actividad corresponde a la colocación de alcantarillas de 800 mm, 1000 mm, 1500 mm y 2120 mm en diversos sitios y anchos en la vía, sustituyendo alcantarillas viejas que no tienen la suficiente capacidad hidráulica. Esta actividad requiere utilizar una excavadora hidráulica para transportar las alcantarillas, compactador manual vibratorio. Ver figura 6.



Figura 6. Instalación de tubería.

Relleno para estructuras, alcantarillas y obras de arte

Este trabajo consiste en el relleno de las excavaciones realizada para albergar estructuras como tuberías de alcantarilla, cabezales, enrocados, etc. La actividad requiere excavadora, vagoneta y compactador manual vibratorio. Ver figura 7.

Excavación, limpieza y conformación de cunetas, canales o zanjas

Esta actividad consiste en la limpieza y conformación de las cunetas, canales de río o zanjas de la carretera, con el fin de encauzar correctamente las aguas pluviales de forma natural. Esta actividad requiere retroexcavadora, tractor, vagonetas, niveladora. Ver figura 8.

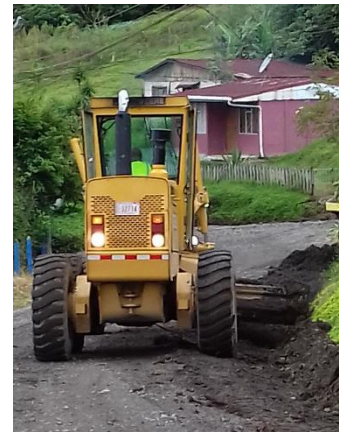


Figura 8. Limpieza y conformación de cunetas y zanjas.

Colocación de material de préstamo o subbase

Esta actividad corresponde a la colocación de material de préstamo para dar nivel y sustentación a los sitios de deslizamiento. Este trabajo requiere niveladoras, compactadoras, tanques de agua y vagonetas. La figura 9 muestra una niveladora colocando el material.



Figura 9. Colocación de subbase en la vía.



Figura 11. Elaboración de cabezales y placas de alcantarilla.

Colocación de base de agregados

Este trabajo consiste en el suministro, acarreo, colocación, conformación y compactación de material de base en la superficie de rueda de acuerdo con espesores de secciones típicas de la vía. Esta actividad requiere niveladoras, compactadoras, tanques de agua y vagonetas de acarreo de material. Ver ilustración de figura 10



Figura 10. Colocación de base de agregados.

Construcción de estructuras de obras de arte

Esta actividad consiste en el suministro de concreto y construcción de cabezales reforzados con acero para las alcantarillas de hormigón previamente colocadas, para esto requiere retroexcavadora y vibradores de concreto, además de peones. Ver figura 11.

Resultados

Información del Proyecto

El proyecto consta de 7 actividades especificadas en la oferta presentada por la empresa encargada de la construcción de la obra.

El cuadro 4 detalla el desglose de las actividades del proyecto y el precio por cada una. La figura 12, muestra el monto porcentual que posee cada una de las actividades a realizar en el proyecto con respecto al monto total ofertado y le cuadro 5 muestra la duración en días del proyecto y cada una de las actividades de acuerdo con el diagrama de Gantt presentado por la empresa en la oferta del proyecto. Estos datos forman parte de la revisión documental que poseen los actores del proyecto.

CUADRO 4. PRECIO POR ACTIVIDADES DEL PROYECTO	
Actividad	Precio
Excavación en la vía	₪38.111.850,00
Excavación para estructuras	₪16.924.157,71
Tubería de alcantarilla	₪104.801.745,00
Relleno para estructuras	₪39.759.720,00
Excavación y limpieza de zanjas	₪7.976.730,30
Reacondicionamiento de subrasante	₪8.471.642,40
Material de préstamo para acabado	₪169.225.875,00
Base de agregados	₪165.299.131,00
Concreto estructural	₪110.467.500,00
Enrocado de concreto	₪35.827.410,00
Limpieza de tomas, alcantarillas	₪612.864,00
Precio Total Ofertado	₪697.478.625,41

Fuente: Orden de compra Empresa AJIMA Contratación emergencia N°2018CE-MT-000002-01.

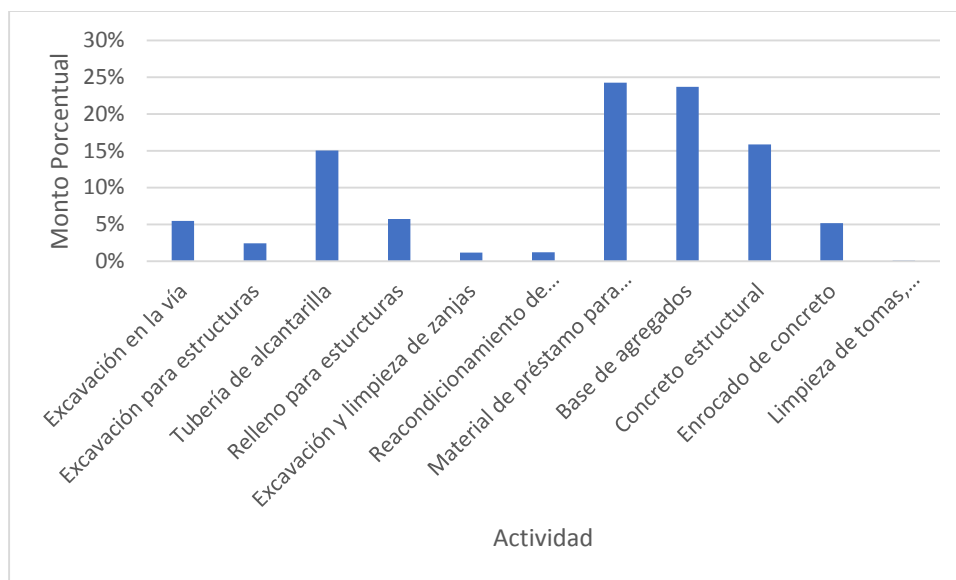


Figura 12. Monto porcentual por actividad de la obra.

Fuente: Orden de compra Empresa AJIMA Contratación emergencia N°2018CE-MT-000002-01.

CUADRO 5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PROYECTO	
Actividad	Duración (días)
Duración General	80
Tramitología CFIA	5
Excavación en la vía	75
Excavación para estructuras	27
Tubería de alcantarilla	32
Relleno para estructuras	32
Excavación y limpieza de zanjas	4
Reacondicionamiento de subrasante	4
Material de préstamo para acabado	20
Base de agregados	19
Concreto estructural y acero	57
Enrocado de concreto	10
Limpieza de tomas, alcantarillas	17

Fuente: Oferta de Empresa AJIMA Contratación emergencia N°2018CE-MT-000002-01.

Caracterización, rendimiento y productividad de actividades

se aprecian las tareas presentadas en cada actividad por medio de un diagrama de Micro Cyclone como la caracterización de las actividades según lo visto en el sitio de trabajo, posteriormente se observan los cuadros que detallan la información relacionada a rendimientos y productividad de actividades, tareas, maquinaria y mano de obra según corresponda con el trabajo realizada en cada una de los procesos.

La siguiente información es la recopilación y análisis de algunas de las actividades que componen el proyecto de rehabilitación vial, donde

Actividad 1. Excavación de la vía

A continuación, en la figura 13 se presenta el diagrama de Micro Cyclone de la actividad excavación de la vía donde se muestran las tareas a realizar y la maquinaria utilizada.

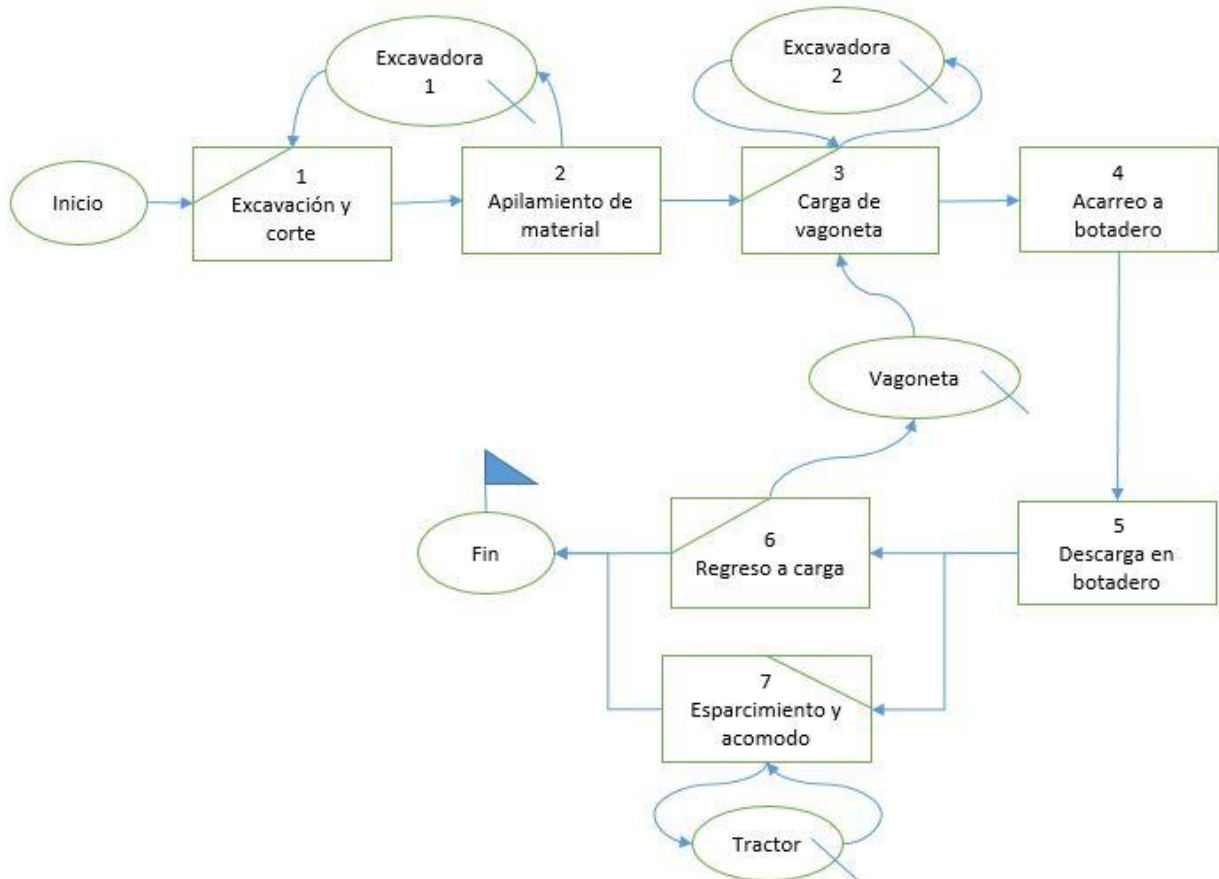


Figura 13. Diagrama de Micro Cyclone de la actividad excavación de la vía.

Los siguientes cuadros son los datos de rendimientos obtenidos en campo de la actividad y de la maquinaria de la actividad de excavación de la vía, esta actividad implica realizar cortes y estabilización de taludes, además de la ampliación de la vía. Esta actividad se realiza entre las estaciones 5+000 y 11+400 que es el tramo final de la carretera el cual no ha tenido intervención de este tipo anteriormente. Cabe destacar que los datos y la actividad se llevaron cabo en una época con lluvias recurrentes y fuertes por lo que se presentaron dificultades con la maquinaria.

El cuadro 3 muestra datos generales de la actividad como duración y volumen de material

extraído, posteriormente se observan en el cuadro 6 y 7 el rendimiento de maquinaria. El cuadro 8 muestra los tiempos críticos obtenidos que utilizan los encargados para determinar el trabajo de una máquina. EL cuadro 9 y 10 detallan datos de productividad de la actividad y finalmente el cuadro 11, 12 y 13 son los datos de rendimiento obtenidos de un tractor removiendo y acomodando material en los botaderos. Las excavadoras hidráulicas son diferentes se tiene JCB JS200, Volvo EC212B y Terex TXC225 y los volquetes son Case 330 y CAT 725.

CUADRO 6. DATOS GENERALES DE ACTIVIDAD	
Volumen extraído (m ³)	14400,00
Distancia intervenida (km)	6,70
Duración (días)	24
Duración (horas)	222,0

Tarea 1.1 Excavación con excavadora

CUADRO 7. RENDIMIENTO DE EXCAVADORA HIDRÁULICA EN TAREA DE EXCAVACIÓN DE TALUDES						
Tarea	Máquina	Volumen extraído (m ³)	#	Tiempo (segundos)	Tiempo (horas)	Rendimiento (m ³ /h)
Conformación de taludes y excavación de la vía	Excavadora hidráulica de 1,2 m ³ o 20 toneladas	0,996	1	13.10	0,003639	273,70
			2	12.60	0,003500	284,57
			3	15.90	0,004417	225,49
			4	16.05	0,004458	223,42
			5	14.45	0,004014	248,13
			6	15.21	0,004225	235,74
			7	14.60	0,004055	245,62
			8	13.10	0,003639	273,70
			9	14.30	0,003972	250,76
			10	14.10	0,003917	254,28
			11	13.50	0,003750	265,60
			12	13.47	0,003742	266,17
			13	14.20	0,003944	252,54
			14	12.34	0,003428	290,55
			15	12.17	0,003381	294,59
Rendimiento promedio (m³ banco/hora)						258,99
Desviación estándar						22,04
CV						0,0851
Rendimiento final (m³ banco/hora)						298,62

La tarea 1.1 corresponde al proceso donde la excavadora realiza las excavaciones necesarias en la vía como ampliación de la vía, conformación de taludes de los cuales extrae y

acumula a un lado de la vía pública en montículos de material.

CUADRO 8. TIEMPO EFECTIVO DE TRABAJO DE EXCAVADORA POR HORA	
Observación	Tiempo Efectivo (min/hr)
1	44
2	41
3	44
Media	43,0

CUADRO 9. PRODUCTIVIDAD DE EXCAVADORA HIDRÁULICA			
Observación	Trabajo Productivo (%)	Trabajo Improductivo (%)	Trabajo Contributivo (%)
1	73	12	15
2	68	15	17
3	65	21	14
Media	68,6	16,0	15,3

Tarea 1.2 Excavadora cargando vagoneta

La tarea 1.2 es el trabajo realizado por la excavadora hidráulica cargando el material

extraído y acumulado previamente en la vía en el volquete para depósito en el botadero.

CUADRO 10. RENDIMIENTO DE EXCAVADORA HIDRÁULICA CARGANDO VAGONETA						
Tarea	Máquina	Volumen cargado (m ³)	#	Tiempo (min)	Tiempo (horas)	Rendimiento (m ³ -suelto/h)
Carga de vagoneta de material excavado en la vía	Excavadora con balde de 1,2 m ³ o de 20 toneladas	13	1	2:37	0,0436	298,17
			2	2:49	0,0469	276,95
			3	2:50	0,0472	275,42
			4	2:56	0,0489	265,91
			5	3:01	0,0503	258,56
			6	2:43	0,0453	287,12
			7	2:59	0,0497	261,46
			8	3:01	0,0503	258,56
			9	3:03	0,0508	255,75
			10	3:07	0,0519	250,48
			11	3:09	0,0525	247,62
			12	3:10	0,0528	246,31
			13	3:14	0,0539	241,28
			14	3:15	0,0542	240,00
			15	3:44	0,0622	209,00
			16	4:02	0,0672	193,39
			17	4:06	0,0683	190,25
			18	4:44	0,0789	164,79
			19	4:49	0,0803	161,94
			20	4:50	0,0806	161,39
			21	4:50	0,0806	161,39
			22	5:02	0,0839	154,96
			23	5:07	0,0853	152,44
			24	5:08	0,0856	151,95
			25	5:37	0,0936	138,87
			26	6:11	0,1031	126,15
			27	6:23	0,1064	122,19
			28	6:31	0,1086	119,71
			29	6:31	0,1086	119,71
			30	6:51	0,1142	113,88

CUADRO 11. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
Valor mínimo	113,88
Valor máximo	298,17
Primer cuartil	142,143
Media	334,276
Tercer Cuartil	256,542
Límite inferior	-29,46
Límite superior	428,14
Desviación estándar	61,04
CV	0,170
Rendimiento (m ³ -suelto/h)	203,52
Rendimiento (m ³ -en banco/h)	168,92
Rendimiento final (m ³ -suelto/h)	230,59

CUADRO 12. TIEMPO EFECTIVO DE TRABAJO DE EXCAVADORA POR HORA	
Observación	Tiempo Efectivo (min/hr)
1	45
2	50
3	42
Media	46

CUADRO 13. PRODUCTIVIDAD DE EXCAVADORA HIDRÁULICA			
Observación	Trabajo Productivo (%)	Trabajo Improductivo (%)	Trabajo Contributivo (%)
1	75	8	17
2	83	7	10
3	70	19	13
Media	76,0	11,3	13,3

Con trabajo contributivo se refiere a todas aquellas tareas que no generan algún valor a la actividad o tarea realizándose en este caso para la excavadora son tareas como acomodar material en la vía, movilización de rocas, traslado de

material, compactación de material en la vía entre otras, estas acciones son frecuentes en los trabajos por condiciones características de una vía pública con tránsito de personas y vehículos.

Tarea 1.3 Acarreo de vagoneta a botadero

CUADRO 14. CICLO DE EXCAVADORA Y VAGONETA ARTICULADA EN ACTIVIDAD EXCAVACIÓN DE LA VÍA			
Equipo: Vagoneta articulada de 13 m ³ y Excavadora hidráulica de 1,2 m ³			
Distancia promedio a botadero: 300 m			
Dato	Tiempo de ciclo cronómetro	Tiempo ciclo (horas)	Rendimiento de ciclo (m³/h)
1	8:08	0,1356	95,87
2	9:54	0,1650	78,79
3	12:36	0,2100	61,90
4	10:50	0,1806	72,00
5	12:49	0,2136	60,86
6	12:30	0,2083	62,41
7	14:24	0,2400	54,17
Rendimiento promedio (m³/h)			69,43
Desviación estándar			14,17
CV			0,20
Rendimiento final (m³/h)			88,04

CUADRO 15. PRODUCTIVIDAD DE VAGONETA EN TAREA DE ACARREO DE MATERIAL EXCAVADO A BOTADERO			
Observación	Trabajo Productivo (%)	Trabajo Improductivo (%)	Trabajo Contributivo (%)
1	72	28	0
2	74	26	0
3	75	25	0
Media	73,4	26,8	0

Para el caso del trabajo contributivo de una vagoneta se aprecia en el campo que es prácticamente nulo, no realizan otras tareas además de las propias y las que corresponden a las improductivas, esto se debe a que se considera que ninguna de las acciones corresponde a trabajo contributivo de la actividad. Igualmente, cabe

destacar que el trabajo improductivo no se toma en cuenta los períodos de espera de carga, ya que corresponde a tiempo detenidos por la excavadora. Para este caso los períodos de espera de vagoneta tienen un promedio de espera por hora de 10 minutos.

Tarea 1.4 Remoción y conformación de botaderos

CUADRO 16. RENDIMIENTO DE TRACTOR EN TAREA DE CONFORMACIÓN DE Y ESPARCIMIENTO						
Actividad	Máquina	Volumen removido (m ³)	#	Tiempo (min)	Tiempo (hrs)	Rendimiento (m ³ /h)
Remoción y traslado de suelo en botaderos y calle	Tractor CAT D4-G 80 HP Balde 1,85m ³	13	1	1:45	0,0292	445,66
			2	1:50	0,0306	424,84
			3	2:10	0,0361	360,11
			4	2:52	0,0478	272,08
			5	3:11	0,0531	245,01
			6	2:30	0,0417	311,98
			7	2:42	0,0450	288,89
			8	2:00	0,0333	390,39
			9	2:20	0,0389	334,28
			10	2:50	0,0472	275,42
			11	2:32	0,0422	308,06
			12	2:14	0,0372	349,46
			13	1:55	0,0319	407,52
			14	2:05	0,0347	374,64
			15	2:01	0,0336	386,90
			16	2:26	0,0406	320,20
			17	2:38	0,0439	318,91

CUADRO 17. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
Valor mínimo	245,01
Valor máximo	445,66
Primer cuartil	296,128
Media	334,276
Tercer Cuartil	386,905
Límite inferior	159,96
Límite superior	523,07
Desviación estándar	58,05
CV	0,454
Rendimiento promedio (m ³ suelto/h)	340,68
Rendimiento final (m ³ suelto/h)	374,75

Para la tarea realizada por el tractor no se pudo tomar datos de productividad debido a que únicamente realiza su trabajo en períodos de 3 minutos cuando la vagoneta deposita el material en el botadero, lo que es insuficiente para dar un dato que represente este aspecto.

Actividad 2. Excavación de estructuras

La figura 14 muestra las tareas necesarias para realizar la actividad de excavación de estructuras y los equipos y maquinarias utilizados en cada una, utilizando el método de Micro Cyclone de acuerdo a las observaciones en campo de la actividad para determinar las características reales del trabajo.

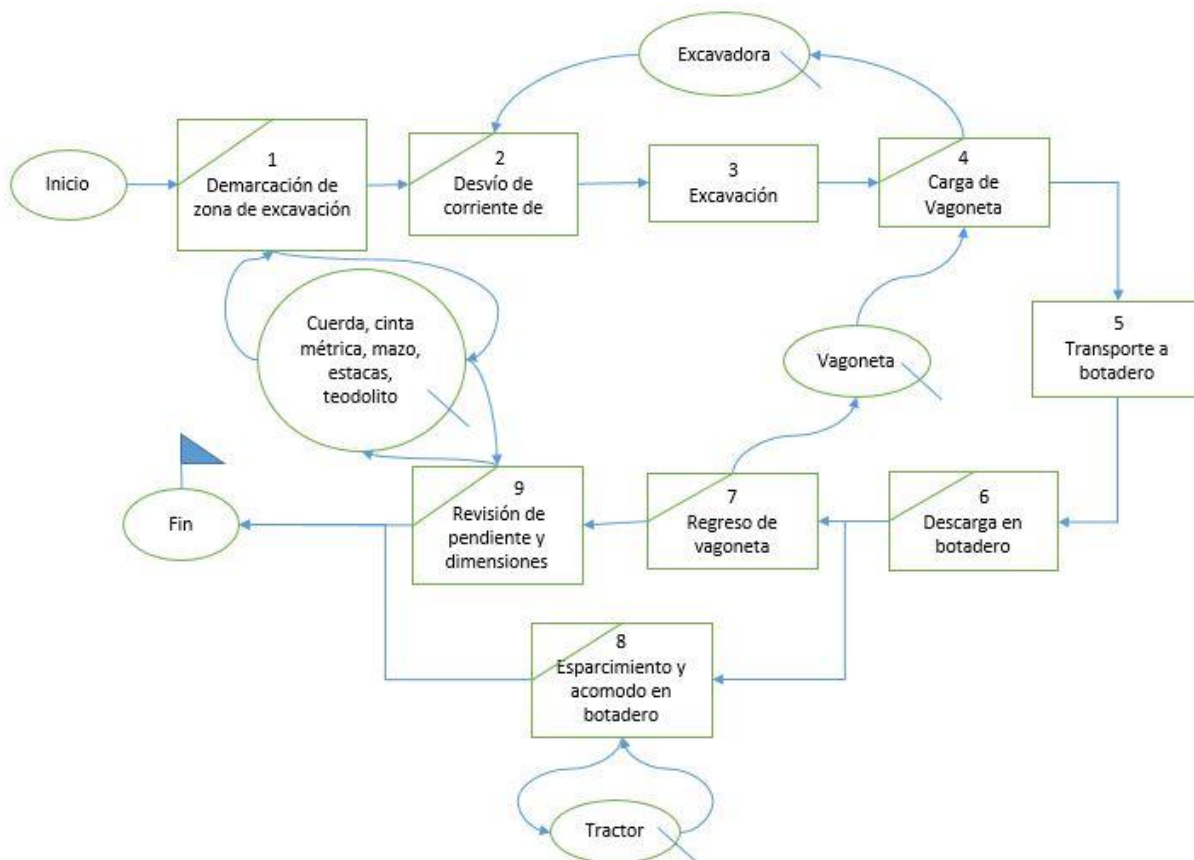


Figura 14. Diagrama de Micro Cyclone de la actividad excavación de estructuras.

Los cuadros presentados a continuación detallan los rendimientos obtenidos para la actividad de excavación de estructuras de las alcantarillas a colocar, esta actividad se inicia a realizar desde la estación 1+150 donde se encuentra la primera alcantarilla a cambiar, la longitud utilizada para alcantarilla es de 14 metros en casi todos los casos.

El cuadro 18 muestra el rendimiento de la actividad considerando todos los factores que se pueden presentar en esta actividad tanto mecánicos, humanos y naturales, mientras el cuadro 19 detalla el rendimiento de la excavadora hidráulica usada para el trabajo de excavar el material.

CUADRO 18. RENDIMIENTO GENERAL DE ACTIVIDAD EXCAVACIÓN PARA ESTRUCTURAS					
Volumen extraído (m ³)	Volumen excavado (m ³)	Tiempo		Rendimiento (m ³ /h)	Rendimiento promedio (m ³ /h)
		Cronómetro	Horas		
30,9	24,41	47:32	0,7922	30,81	32,89
30,9	24,41	54:58	0,5989	40,76	
30,9	24,41	51:10	0,8528	28,62	
36,4	28,76	54:60	0,9167	31,37	
Desviación estándar					5,38
CV					0,1636
Rendimiento final (m³/h)					36,18

CUADRO 19. RENDIMIENTO DE EXCAVADORA EN ACTIVIDAD DE EXCAVACIÓN PARA ESTRUCTURAS							
Material	Equipo	Volumen extraído (m ³)	Volumen excavado (m ³)	Tiempo		Rendimiento (m ³ /h)	Rendimiento promedio (m ³ /h)
				Cronómetro	Horas		
Suelo granular con alcantarillas y otras estructuras en sitio	Excavadora 1 m ³ - 20 Ton	12	9,48	4:33	0,0758	125,02	113,84
				3:28	0,0578	164,07	
				5:23	0,0897	105,69	
				5:34	0,0928	102,16	
				6:19	0,1053	90,05	
				6:24	0,1067	88,85	
				4:42	0,0783	121,07	
Desviación estándar							26,12
CV							0,2294
Rendimiento final (m³/h)							125,22

Actividad 3. Colocación de alcantarillas

La figura 15 se observa el diagrama de Micro Cyclone de las tareas realizadas en la instalación

de las tuberías de alcantarillas de concreto reforzado tipo III C-76 marca Campeón de diámetro de 800mm, 1000mm, 1500mm y 2120mm.

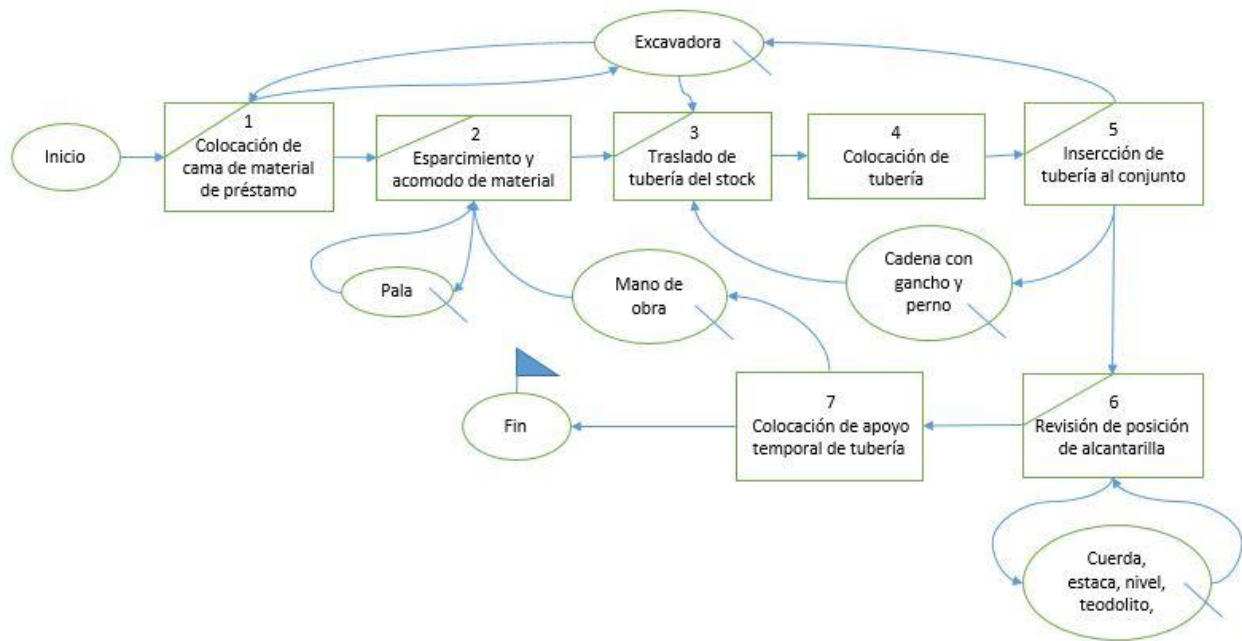


Figura 15. Diagrama de Micro Cyclone de la actividad instalación de alcantarillas.

Este proceso posee características diferentes con respecto a otras actividades, pues en esta existe una combinación de maquinaria pesada como la excavadora o retroexcavadora con mano de obra para colocar como se aprecia el diagrama, por esta razón identificar un rendimiento para los trabajadores y el equipo tiene dificultades por lo que es más conveniente utilizar un dato general de instalación de estructuras como rendimiento. Además, esta actividad presenta peligros y especial cuidado por el traslado de tubos de concreto de grandes dimensiones y peso.

A continuación, los cuadros recopilan la información obtenida en campo. El cuadro 20 muestra los recursos necesarios para la realización de los procesos, el cuadro 21 contiene el rendimiento obtenido de la colocación de alcantarilla de tres diámetros diferentes y el cuadro 22 se encuentra el rendimiento de colocación de la cama de alcantarilla con material de préstamo para reposar la estructura en un suelo firme. El cuadro 23 muestra el rendimiento de la actividad en general de instalación de diferentes alcantarillas.

CUADRO 20. LISTA DE RECURSOS			
Mano de obra	Recursos	Materiales	Maquinaria
3 peones(D=2,13m)	Cinta métrica	Tubo de concreto	1 excavadora 20 Ton
2 peones (D<1,50m)	Palanca de hierro	Material de préstamo (10 cm)	1 camión
1 operario	Cuerda	Varilla #3	
1 operario excavadora	Manguera		
	Martillo		
	Pala		
	Cadena con gancho		
	Teodolito		

CUADRO 21. RENDIMIENTO DE COLOCACIÓN DE ALCANTARILLAS					
Diámetro (m)	Largo (m)	Tiempo de colocación		Rendimiento (m/h)	Rendimiento final (m/h)
		Cronómetro	Horas		
2,12	1,00	5:35	0,0931	0,0953	0,1108
		3:36	0,0600		
		7:58	0,1328		
1,50	2,00	7:34	0,1261	0,1137	0,1322
		6:05	0,1014		
1,00	2,50	6:37	0,1103	0,0898	0,1044
		4:23	0,0731		
		3:50	0,0639		
		6:43	0,1118		

Cabe destacar para esta tarea que para los diámetros de 2,13 m se utilizan mucho más equipo y peones debido a las dimensiones y la medidas de seguridad deben ser mucho más exigentes y cuidadosas por el peso y dimensiones del tubo de concreto que se transporta y coloca, para este se dura aproximadamente 2 días en colocar una línea completa de 8-9 m de longitud, ya que el peso de la misma produce sucesos no previstos que reducen la eficacia; por ejemplo suelo no resiste el peso, caída de tubo por fallo de

cadena, agua corriendo por el sitio, lluvia. Para el caso de las alcantarillas de 80 cm no se pudo apreciar la colocación de ninguna debido a que se colocan pocas.

La tarea de cama de alcantarilla es la colocación de una capa de 10 cm de material de préstamo como soportante de la tubería de concreto utilizando una excavadora hidráulica y el trabajo en menor medida de personal que dispersa el material.

CUADRO 22. RENDIMIENTO DE COLOCACIÓN DE CAMA DE ALCANTARILLA CON EXCAVADORA				
Volumen	Tiempo de colocación		Rendimiento (m³/h)	Rendimiento final (m³/h)
	Cronómetro	Horas		
4,80	14:06	0,2350	0,1436	0,1670
1,28	4:17	0,0714		
3,20	7:14	0,1206		
3,20	8:50	0,1472		

CUADRO 23. PRODUCTIVIDAD GENERAL DE ACTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ALCANTARILLAS			
Muestreo	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo Improductivo
1	64%	18%	18%
2	63%	20%	17%
3	68%	18%	14%
Media	65,0%	18,7%	16,3%

Actividad 4. Relleno para estructuras

La figura 16 muestra las tareas y equipo utilizado para la realización de la actividad de relleno de estructuras de alcantarilla y obras de arte por medio de un diagrama de Micro Cyclone.

Para esta actividad igual existen la combinación de maquinaria con mano de obra, pero en esta actividad sí existe una división más visible entre las tareas; por ejemplo, colocación de material de préstamo realizado únicamente por la excavadora o retroexcavadora y compactación manual realizado con trabajadores.

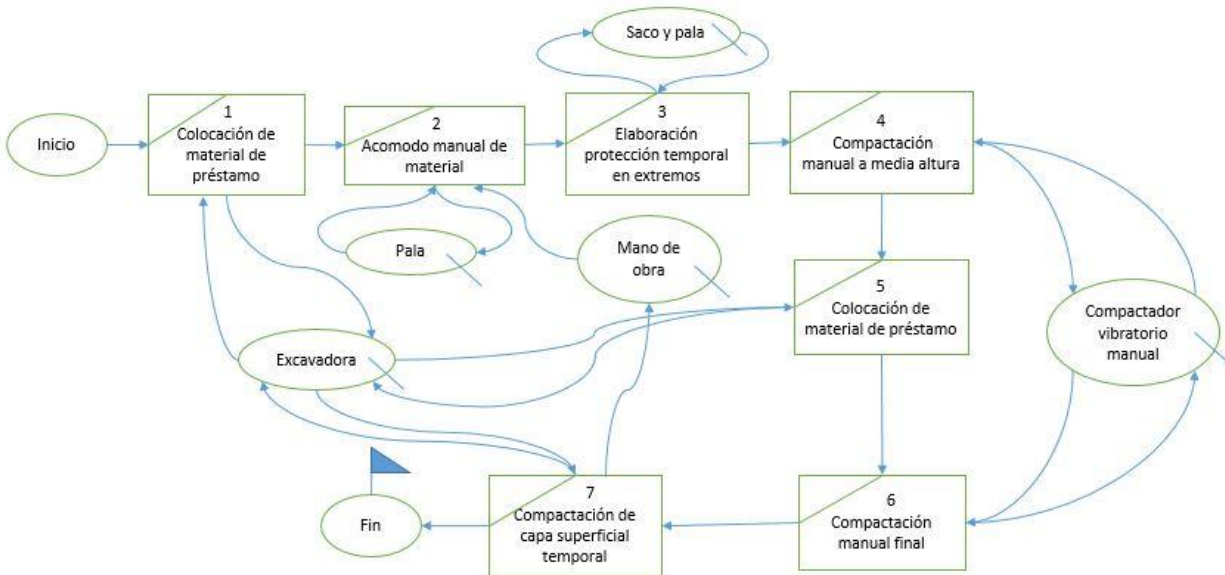


Figura 16. Diagrama de Micro Cyclone de la actividad relleno de estructuras.

Inicialmente, el cuadro 24 describe los recursos que se utilizan en las tareas de la actividad. El cuadro 25 detalla el rendimiento de la excavadora colocando el material de préstamo alrededor de la alcantarilla colocada anteriormente, este valor es aplicable para cualquiera de los diámetros de alcantarilla

colocados en el sitio. El cuadro 26 y 27 indican valores obtenidos y analizados de tiempo efectivo y productividad de la excavadora en la actividad. Para la tarea de compactación manual el cuadro 28 y 29 indican el rendimiento y productividad.

CUADRO 24. LISTA DE RECURSOS DE ACTIVIDAD DE RELLENO DE ESTRUCTURAS			
Mano de obra	Recursos	Materiales	Equipo
1 peón (compactación)	Compactador manual	Material de préstamo	Excavadora o retroexcavadora
1 peón (relleno)	Palas		

CUADRO 25. RENDIMIENTO DE EXCAVADORA EN ACTIVIDAD DE RELLENO DE ZANJAS PARA ALCANTARILLAS						
Actividad	Máquina	Volumen colocado (m3)	#	Tiempo (min)	Tiempo (hrs)	Rendimiento (m³/h)
Relleno para estructuras	Excavadora balde de 1m ³ - 20 Ton	21,67	1	14:28	0,2411	89,88
			2	15:40	0,2611	83,00
			3	16:20	0,2722	79,61
			4	14:35	0,2431	89,14
			5	17:23	0,2897	74,80
Rendimiento promedio						83,29
Desviación estándar						6,39
CV						0,08
Rendimiento final						87,21

CUADRO 26. PRODUCTIVIDAD DE ACTIVIDAD DE RELLENO DE ALCANTARILLAS			
Dato	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo Improductivo
1	90%	7%	3%
2	85%	10%	5%
3	84%	10%	6%
Media	86,3%	9%	4,7%

CUADRO 27. TIEMPO EFECTIVO DE TRABAJO DE EXCAVADORA POR HORA EN ACTIVIDAD DE RELLENO	
Observación	Tiempo Efectivo (min/hr)
1	54
2	50
3	51
Media	51,7

Obtener el tiempo efectivo de una máquina para esta actividad se dificulta porque el equipo no está trabajando por períodos de una hora, para poder obtener un dato cercano del tiempo efectivo se utilizan los datos de

productividad obtenidos en las observaciones en campo y se extrae un dato de minutos por hora al multiplicar el porcentaje por 60 minutos.

CUADRO 28. RENDIMIENTO DE COMPACTACIÓN CON COMPACTADOR ZAPATA			
Dato	Área (m²)	Tiempo (horas)	Rendimiento (m²/h)
1	28	0,1756	159,453
2	30	0,2600	115,385
3	28	0,1819	153,931
4	30	0,2411	124,430
Rendimiento promedio (m²/h)			138,30
Rendimiento final (m²/h)			177,02
Horas Hombre promedio (hH/m²)			0,00737
Horas Hombre final (hH/m²)			0,00943

CUADRO 29. PRODUCTIVIDAD DE COMPACTACIÓN CON COMPACTADOR ZAPATA			
Dato	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo Improductivo
1	65%	9%	26%
2	60%	12%	28%
3	55%	14%	31%
Media	60,0%	12,0%	28,0%

Actividad 5. Excavación, conformación y limpieza de cunetas y zanjas

La figura 17 detalla las tareas que se realizan en el proyecto para la actividad de excavación conformación y limpieza de las cuentas, zanjas o

canales a lo largo de la vía y los equipos utilizados para la realización por medio de un diagrama de Micro Cyclone.

Esta actividad se realiza en dos tramos y se utilizan maquinarias diferentes, para el tramo 0+000 a 5+000 se utiliza niveladora, retroexcavadora y vagoneta, para el tramo 7+000 a 11+400 se utiliza tractor, retroexcavadora y vagoneta.

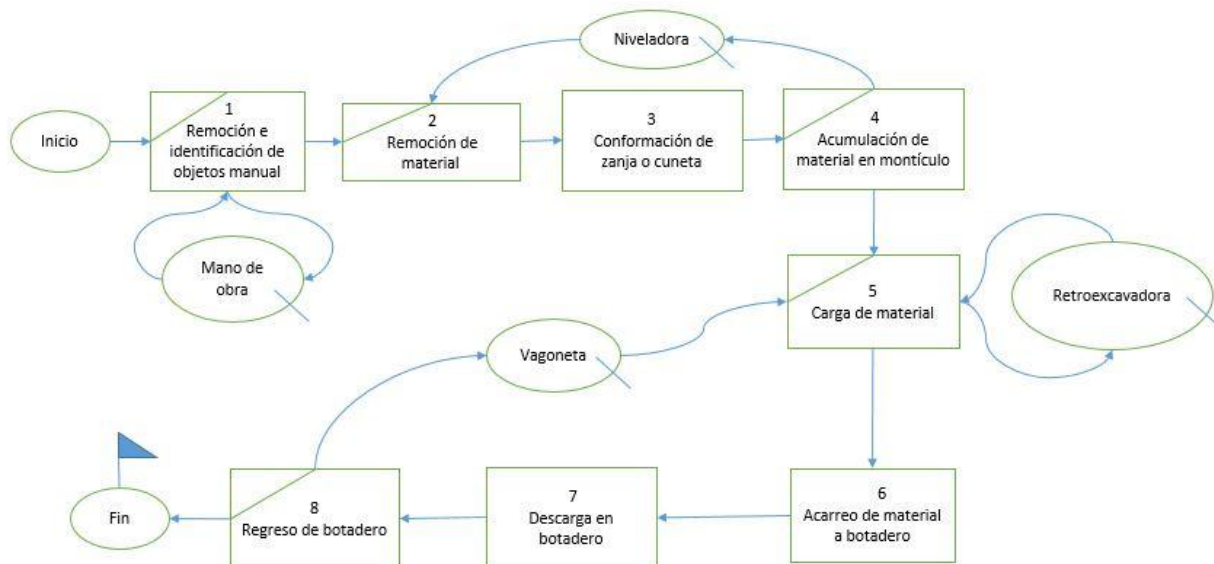


Figura 17. Diagrama de Micro Cyclone de la actividad excavación, conformación y limpieza de cunetas y zanjas.

A continuación, el cuadro 30 detalla el rendimiento de una niveladora realizando la actividad de conformación de cunetas o zanjas de la vía.

realizando la tarea de remoción y carga de material extraído con motoniveladora de la conformación de cunetas y zanjas.

El cuadro 31 y 32 muestra el rendimiento de retroexcavadora John Deere 310 G de 72 HP

CUADRO 30. RENDIMIENTO DE MOTONIVELADORA EN ACTIVIDAD DE CONFORMACIÓN DE CUNETAS				
Motoniveladora John Deere 770 BH – 250 HP				
Dato	Área (m²)	Tiempo cronómetro	Tiempo (horas)	Rendimiento (m²/h)
1	67,5	12:51	0,2142	315,34
2	30,0	7:16	0,1211	247,73
3	37,5	5:25	0,0903	415,28
4	45,0	6:51	0,1142	394,05
5	103,5	20:50	0,3472	298,10
Rendimiento promedio (m²/h)				334,10
Rendimiento (m/h)				233,78
Desviación estándar				69,45
CV				0,21
Rendimiento final (m²/h)				257,16

CUADRO 31. RENDIMIENTO DE RETROEXCAVADORA EN REMOCIÓN Y CARGA DE VOLQUETE DE MATERIAL DE DESECHO						
Actividad	Máquina	Volumen extraído (m³)	#	Tiempo (min)	Tiempo (hrs)	Rendimiento (m³/h)
Remoción del material extraído de excavación de cunetas y zanjas	Retroexcavadora 72 HP	12	1	6:19	0,1053	113,98
			2	6:54	0,1150	104,35
			3	7:08	0,1189	100,93
			4	7:30	0,1250	96,00
			5	8:13	0,1369	87,63
			6	8:37	0,1436	83,56
			7	9:40	0,1611	74,49
			8	10:33	0,1758	68,25
			9	11:20	0,1889	63,53
			10	11:50	0,1972	60,85
			11	13:30	0,2250	53,33
			12	14:05	0,2347	51,12
			13	16:05	0,2681	44,77
			14	18:10	0,3028	39,63

CUADRO 32. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	
Valor mínimo	39,63
Valor máximo	113,98
Primer cuartil	55,213
Media	71,368
Tercer Cuartil	93,907
Límite inferior	-2,83
Límite superior	151,95
Desviación estándar	23,71
CV	0,170
Rendimiento promedio (m ³ /h)	74,46
Rendimiento final (m ³ /h)	81,91

Actividad 6. Colocación de subbase de material de préstamo

La figura 18 muestra el diagrama de Micro Cyclone que representa todas las actividades y herramientas

utilizadas para llevar a cabo el proceso según las observaciones en campo. Este proceso corresponde de colocar una base estabilizadora para posteriormente colocar la base o capa final que tendrá la carretera de lastre.

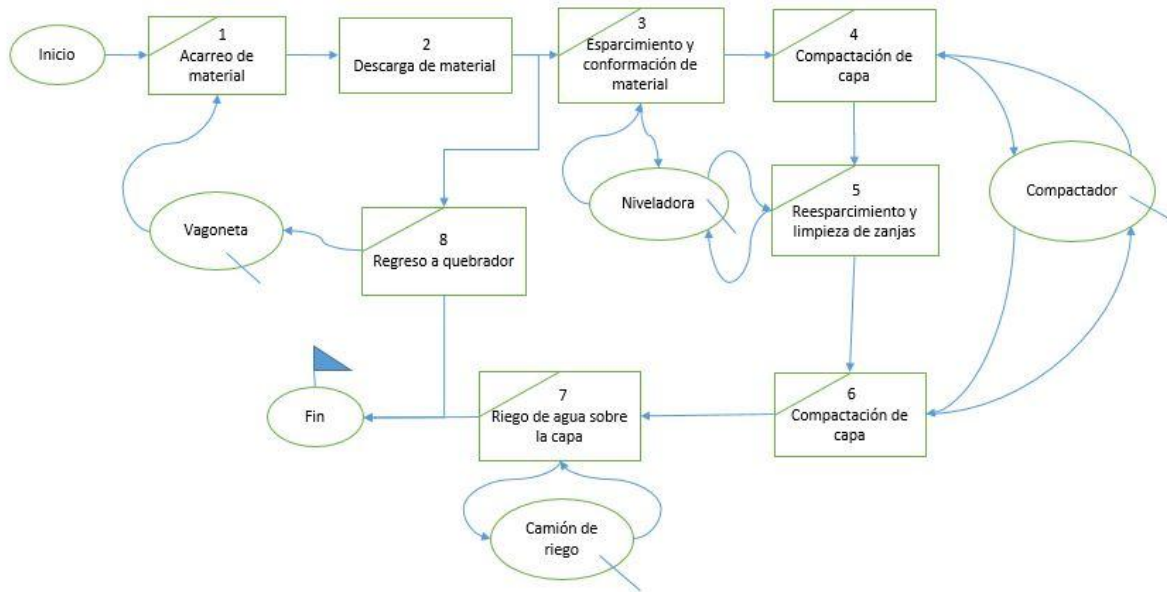


Figura 18. Diagrama de Micro Cyclone de la actividad material de préstamo.

La figura 19 muestra la distancia recorrida por las vagonetas desde el quebrador ubicado en La Susanita de Turrialba hasta el proyecto, cabe destacar que los camiones deben recorrer alrededor de 21,7 kilómetros con una altitud de los 593 msnm hasta los 1361 msnm esto implica aproximadamente 768 metros de diferencia entre las ubicaciones, pasando por el centro de la ciudad

de Turrialba y rutas de mucho tránsito. En el momento de observación se utilizan 4 vagonetas para realizar la tarea, tres de ellas para colocación de base y una vagoneta para material de relleno de alcantarillas. En el cuadro 33 se observa la duración de las vagonetas en realizar los viajes y el rendimiento de kilómetros por hora.

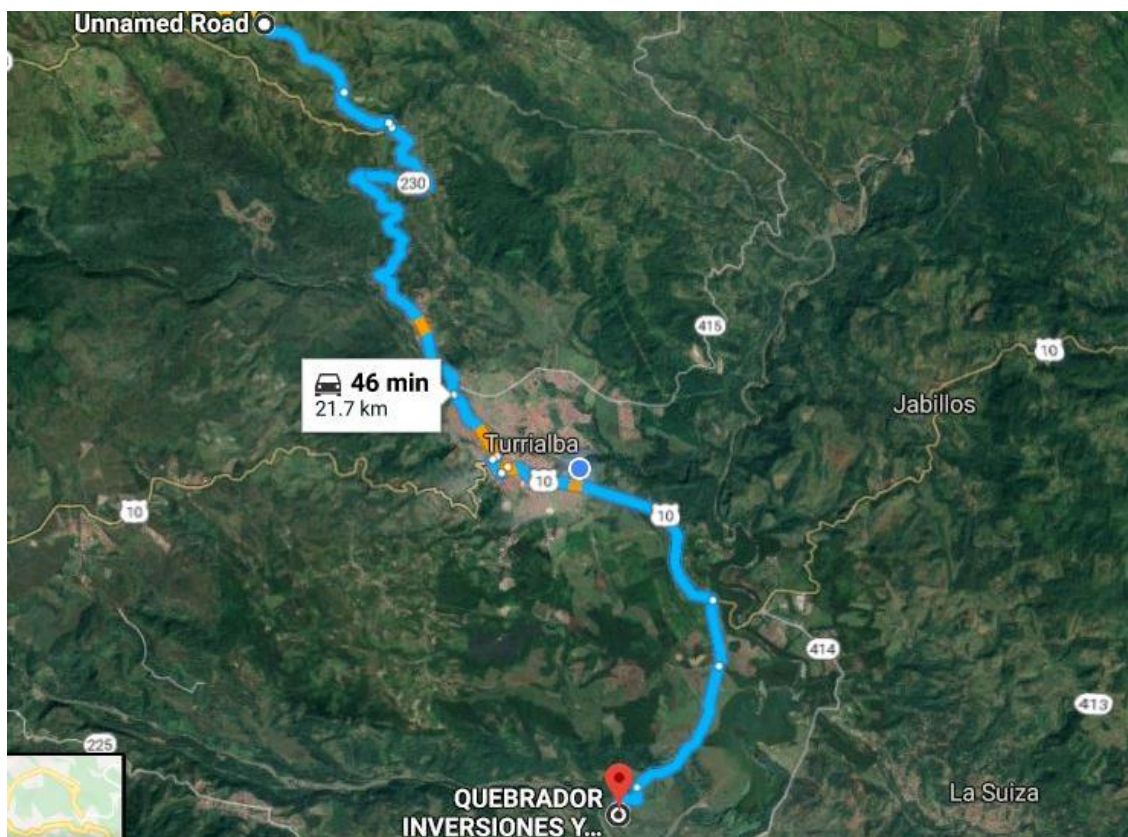


Figura 19. Distancia recorrida por vagoneta de Quebrador al Proyecto.
Fuente: Google Maps.

CUADRO 33. RENDIMIENTO Y DATOS DE TAREA DE ACARREO DE MATERIAL CON VOLQUETES					
Actividad	Dato	Tiempo de traslado cronómetro	Tiempo (horas)	Distancia promedio (km)	Rendimiento (m ³ /h)
Acarreo de material de Préstamo de Quebrador al proyecto	1	3:46:08	3,769	21,7	3,32
	2	3:43:08	3,719		3,36
	3	3:44:57	3,749		3,33
Rendimiento promedio (m³/h)					3,34
Desviación estándar					0,0225
CV					0,0067

La velocidad promedio de estos vehículos por la carretera es baja por la carga que trasladan y la pendiente que se debe subir cargado, de ahí la duración de acarreo. Cabe mencionar que entre más se adentran en la carretera, se utiliza mayor cantidad de vagonetas para transportar material, el problema es que los camiones transiten por una vía angosta y con curvas peligrosas produciendo

obstaculización de otras tareas, por ejemplo, ocurrió un día de trabajo que se acumularon 10 vagonetas en la vía esperando descargar el material, pero a su vez impedían realizar la misma tarea por la cual traían el material. Los volquetes son 12,5 m³

Los siguientes cuadros 34 y 35 muestran el rendimiento obtenido en el sitio de trabajo de la

motoniveladora realizando la tarea de esparcir y conformar la subbase de estabilización de la vía y el rendimiento del rodillo vibratorio realizando la misma actividad respectivamente. El aspecto de productividad y tiempo efectivo de dichas

actividades se presentan en los cuadros 36 y 37 para la motoniveladora y, 38 y 39 para el rodillo vibratorio.

Las capas colocadas en la vía corresponden a un espesor de 20 cm.

CUADRO 34. RENDIMIENTO DE MOTONIVELADORA EN ACTIVIDAD COLOCACIÓN DE SUB BASE				
Motoniveladora KOMATSU GB 655 o 220 HP				
Dato	Área (m²)	Tiempo cronómetro	Tiempo (horas)	Rendimiento (m²/h)
1	188	44:06	0,7350	255,78
2	188	35:18	0,5525	340,27
3	188	42:30	0,7083	265,42
Rendimiento promedio (m²/h)				287,16
Desviación estándar				46,25
CV				0,16
Rendimiento final (m²/h)				319,61

CUADRO 35. PRODUCTIVIDAD DE MOTONIVELADORA EN COLOCACIÓN DE SUB BASE			
Dato	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo Improductivo
1	85%	4%	11%
2	83%	3%	13%
3	86%	3%	10%
Media	84,7%	3,3%	11,3%

CUADRO 36. TIEMPO EFECTIVO DE TRABAJO DE MOTONIVELADORA POR HORA	
Observación	Tiempo Efectivo (min/hr)
1	51
2	50
3	52
Media	52,0

CUADRO 37. RENDIMIENTO DE COMPACTADOR EN ACTIVIDAD COLOCACIÓN DE SUB BASE				
COMPACTADOR AMMANN ASC 100 o 10 ton				
Dato	Área (m³)	Tiempo cronómetro	Tiempo (horas)	Rendimiento (m³/h)
1	37,6	16:02	0,2672	140,72
2	37,6	18:43	0,31194	120,54
3	37,6	21:00	0,35	107,43
Rendimiento promedio (m³/h)				122,89
Desviación estándar				16,77
CV				0,14
Rendimiento final (m³/h)				140,10

CUADRO 38. PRODUCTIVIDAD DE COMPACTADOR EN COLOCACIÓN DE SUB BASE			
Dato	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo Improductivo
1	84%	4%	12%
2	82%	4%	14%
3	81%	3%	16%
Media	82,3%	3,7%	14,0%

CUADRO 39. TIEMPO EFECTIVO DE TRABAJO DE COMPACTADOR POR HORA	
Observación	Tiempo Efectivo (min/hr)
1	50
2	49
3	48
Media	49,0

Actividad 7. Colocación base de agregados

La actividad 7 es la etapa final de rehabilitación de la vía, la figura 20 muestra el diagrama Micro cyclone del trabajo con cada una de las tareas

realizadas, cabe destacar que prácticamente es el mismo que la actividad de material de préstamo, la diferencia es el material colocado y el detallado con que se realizan las tareas de nivelación y esparcimiento.

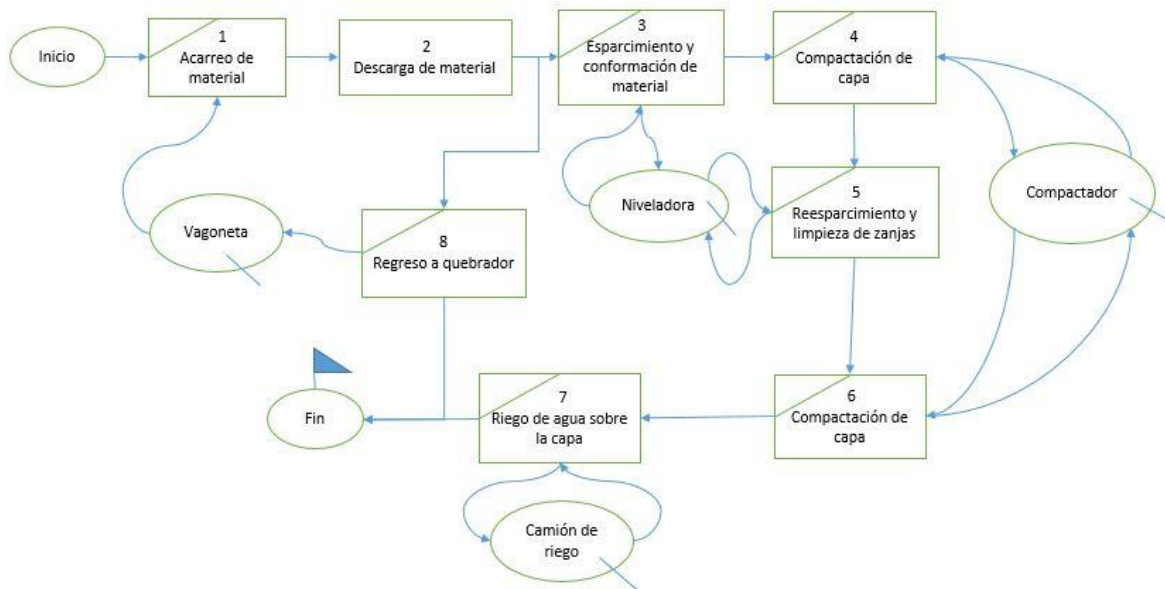


Figura 20. Diagrama de Micro Cyclone de la actividad base de agregados.

El cuadro 40 se aprecia el rendimiento de la motoniveladora en la actividad de colocación de base y el cuadro 41 es el rendimiento del rodillo vibratorio realizando compactación de la base.

La productividad de actividad no se pudo obtener debido a que se inicia a realizar al final del

proyecto que implica que no se puede cubrir al momento del cierre de la recolección de datos en campo por parte del autor del proyecto de graduación. La subbase colocada es de 20 cm de espesor.

CUADRO 40. RENDIMIENTO DE MOTONIVELADORA EN ACTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE BASE ESTABILIZADA				
Motoniveladora KOMATSU GB 655 de 220 HP				
Dato	Área (m²)	Tiempo cronómetro	Tiempo (horas)	Rendimiento (m²/h)
1	188	44:52	0,7478	251,40
2	188	45:26	0,7572	248,28
3	188	47:30	0,7917	237,46
Rendimiento promedio (m²/h)				245,71
Desviación estándar				7,32
CV				0,03
Rendimiento final (m²/h)				273,48

CUADRO 41. RENDIMIENTO DE COMPACTADORA EN ACTIVIDAD COLOCACIÓN DE BASE ESTABILIZADA				
COMPACTADORA AMMANN ASC 100 de 10 toneladas				
Dato	Área (m ³)	Tiempo cronómetro	Tiempo (horas)	Rendimiento (m ³ /h)
1	37,6	20:10	0,3361	111,87
2	37,6	19:47	0,3297	114,04
3	37,6	23:14	0,3872	97,11
Rendimiento promedio (m ³ /h)				107,67
Desviación estándar				9,21
CV				0,086
Rendimiento final (m ³ /h)				122,74

Actividad 8. Estructuras de obras de arte

La figura 21 muestra las tareas necesarias para realizar la actividad de construcción de obras de arte y los equipos y maquinarias utilizados en cada

una. Para esta actividad se generaliza un poco la tarea por la diferencia que ocurre entre las diferentes estructuras. La obras hidráulicas analizadas son cabezales, delantales, aletones de alcantarilla.

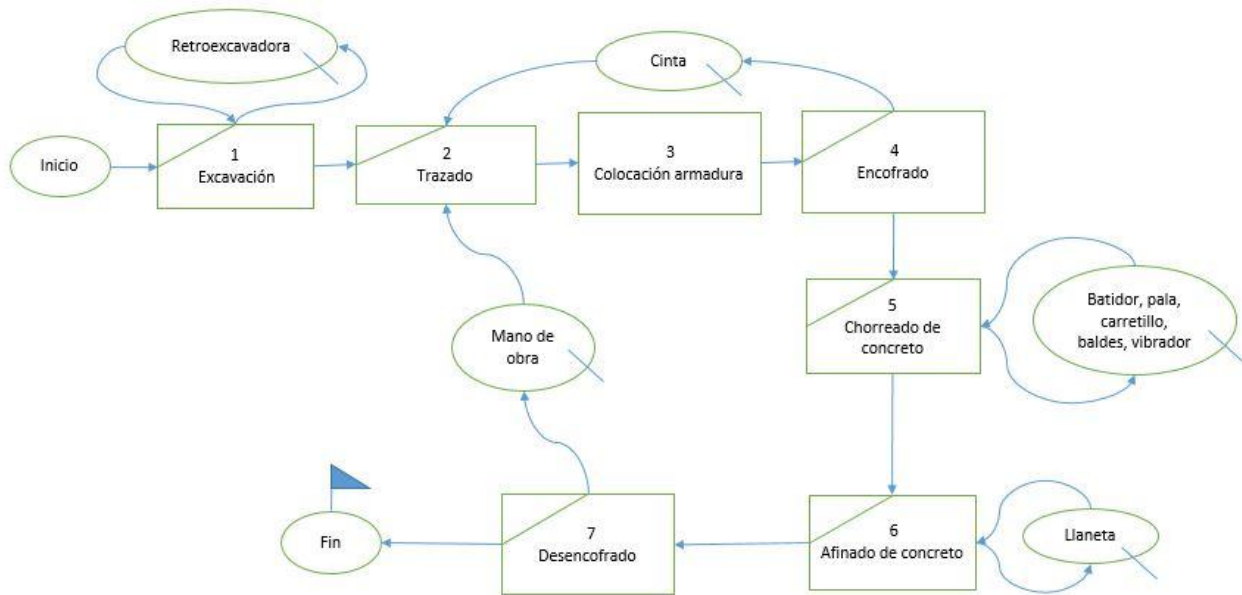


Figura 21. Diagrama de Micro Cyclone de construcción de obras de arte.

CUADRO 42. RENDIMIENTO DE EXCAVACIÓN CON RETROEXCAVADORA 72 HP DE ALCANTARILLAS PARA COLADO DE OBRAS DE ARTE		
Duración (horas)	Cantidad excavado (m³)	Rendimiento (m³/h)
0,5775	11,13	19,27
0,5530	10,20	18,44
Rendimiento promedio (m³/h)		18,86
Desviación estándar		0,5854
Rendimiento final (m³/h)		20,75

La actividad descrita en el cuadro 42 del rendimiento corresponde a excavar el material colocado de alcantarilla y ampliar la zona de trabajo para construcción de cabezales y otras estructuras, de acuerdo con las medidas de diseño de las estructuras en realizarse. Retroexcavadora John Deere 310G

Para esta tarea no se pudo obtener productividad de la maquinaria trabajando.

A continuación, se presentan los cuadros describiendo los recursos cuadro 43 de la actividad de colocación de armaduras. El cuadro 44 es el rendimiento de dicha actividad y el cuadro 45 es la productividad.

CUADRO 43. LISTA DE RECURSOS DE COLOCACIÓN DE ARMADURA			
Mano de obra	Recursos	Materiales	Equipo
2 operarios 4 peones 1 maestro de obras	Doblador "grifo" Alicate Escaleras	Varillas de acero #4 y #5 Alambre negro	No hay

CUADRO 44. RENDIMIENTO DE COLOCACIÓN DE ARMADURA DE ALETONES DE ALCANTARILLA				
Duración (horas)	Cantidad de acero (ml)	Cuadrilla	Rendimiento (ml/h)	Rendimiento (hH/ml)
2,7611	187,5	6	67,91	0,00245
2,7432	183,6	6	66,93	0,00249
Rendimiento promedio (ml/h)			67,42	0,00247
Desviación estándar			0,69	2,54E-05
Rendimiento final(ml/h)			85,96	0,00315

CUADRO 45. PRODUCTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ARMADURA			
Dato	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo Improductivo
1	55%	20%	25%
2	49%	21%	30%
Media	52,0%	20,5%	27,5%

Para esta tarea es importante mencionar que las estructuras con varillas en obras de arte no corresponden a lo usual en estas obras, solo se utilizan en casos donde la estructura tiene dimensiones considerables y requiera resistencia adicional por otros factores según identifican ingenieros.

Posteriormente, se realiza la actividad de encofrado de las estructuras, el cuadro 46 describe los recursos utilizados, el cuadro 47 detalla el rendimiento y el cuadro 48 es la productividad.

CUADRO 46. LISTA DE RECURSOS DE ENCOFRADO			
Mano de obra	Recursos	Materiales	Equipo
1 operario	Alicate	Paneles	No hay
2 peones	Mazo	Madera	
	Martillo	Puntales	
	Motosierra	Clavos	

CUADRO 47. RENDIMIENTO DE ENCOFRADO DE OBRAS DE ARTE				
Duración (horas)	Cantidad (m²)	Cuadrilla	Rendimiento (m²/h)	Rendimiento (hH/m²)
6,33	8,4	3	1,3614	0,2512
5,75	8,4	3	1,4609	0,2282
6,42	8,4	3	1,3084	0,2548
Rendimiento promedio (m²/h)			1,3769	0,2447
Desviación estándar			0,0774	0,0144
CV			0,0562	0,0590
Rendimiento final (m²/h)			1,6839	0,2993

CUADRO 48. PRODUCTIVIDAD DE ENCOFRADO			
Dato	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo Improductivo
1	54%	28%	18%
2	49%	27%	24%
3	51%	24%	25%
Media	51,3%	26,3%	22,3%

Con respecto al rendimiento y productividad de la tarea de encofrado de cabezales y otras estructuras la colocación de paneles posee una duración similar a la colocación de puntales, parte esencial para contener la cantidad de concreto chorreado y evitar que la presión del concreto abra el encofrado y se pierda lo realizado, por eso en campo se presta tiempo y precaución para evitar incidentes relacionados, además se suma la configuración que se debe

realizar con los paneles por el tubo y obstáculos presentes en el sitio de colocación.

La tarea de colado de concreto de 240 kg/cm² en las estructuras, procede después del encofrado, el cuadro 49 muestra los recursos de la tarea, el cuadro 50 es el rendimiento y el cuadro 51 presenta la productividad del trabajo en términos porcentuales.

CUADRO 49. LISTA DE RECURSOS DE COLADO DE CONCRETO			
Mano de obra	Recursos	Materiales	Equipo
2 operarios 3 peones 1 maestro de obras	Vibrador Batidora Palas Carretillos	Arena Piedra Cemento	No hay

CUADRO 50. RENDIMIENTO DE MEZCLA Y COLADO DE CONCRETO DE OBRAS DE ARTE				
Duración (horas)	Volumen colado (m³)	Cuadrilla	Rendimiento (m³/h)	Rendimiento (hH/m³)
3,40	2,99	5	1,67	0,227
4,08	7,40	5	1,81	0,110
4,75	11,02	8	2,32	0,054
Rendimiento promedio (m³/h)			1,94	0,131
Desviación estándar			0,3406	0,0885
CV			0,1756	0,6756
Rendimiento final (m³/h)			2,671	0,180

CUADRO 51. PRODUCTIVIDAD DE MEZCLA Y CHORREA			
Dato	Trabajo Productivo	Trabajo Contributivo	Trabajo Improductivo
1	40%	22%	38%
2	38%	23%	39%
3	39%	25%	36%
Media	39,0%	23,3%	37,7%

Para esta tarea es importante mencionar que existen muchas técnicas para chorrear y realizar la mezcla de concreto, los datos fueron obtenidos de manera que la mezcla se realiza en batidora y se distribuye por medio de carretillos o directamente en el encofrado, en general la chorrea de concreto se dura en promedio de 1 a 3 minutos dependiendo del método aplicado pero en total un ciclo de mezcla y chorrea promedio los 6 a 7 minutos para el caso de estructuras como cabezales, aletones, delantales, pie de cabezal

entre otras que tienen la característica que se realiza todas esas tareas en la vía pública con tránsito de personas y vehículos y con mucha exposición al ambiente externo.

El cuadro 52 presenta los recursos observados durante la actividad de desencofrado, mientras el cuadro 53 muestra el rendimiento y el cuadro 54 es la productividad de la tarea.

CUADRO 52. LISTA DE RECURSOS DE DESENCOFRADO			
Mano de obra	Recursos	Materiales	Equipo
3 peones	Mazo Alicate Martillo	No se utilizan	No hay

CUADRO 53. RENDIMIENTO DE DESENCOFRADO DE OBRAS DE ARTE				
Duración (horas)	Cantidad (m²)	Cuadrilla	Rendimiento (m²/h)	Rendimiento (hH/m²)
1,68	8,4	3	5,0000	0,0667
2,08	8,4	3	4,0385	0,0825
1,75	8,4	3	4,8000	0,0694
Rendimiento promedio (m²/h)			4,6128	0,0729
Desviación estándar			0,5074	0,0085
CV			0,1100	0,1163
Rendimiento final (m²/h)			6,398	0,101

CUADRO 54. PRODUCTIVIDAD DE DESENCOFRADO			
Dato	Trabajo Productivo	Trabajo Improductivo	Trabajo Contributivo
1	50%	39%	11%
2	55%	40%	5%
3	58%	37%	5%
Media	54,3%	38,7%	7,0%

FACTORES QUE AFECTAN PRODUCTIVIDAD

Este proyecto vial posee un ambiente diferenciado a otros por la longitud y exposición que se percibe debido a ser un proyecto público de importancia para los pobladores de la zona como la principal vía de transporte, debido a esto los factores que disminuyen la productividad tienden a ser diferentes con respecto a proyectos privados y con acceso restringido de personas externas al proyecto. A continuación, se analizan cada uno de los factores más representativos que se observaron en el proyecto.

Tránsito de externos

El proyecto consta de 12,7 kilómetros de longitud que atraviesa alrededor de cinco pueblos y es vía de comunicación y ruta alterna entre dos distritos del cantón de Turrialba, esto implica tránsito de personas, vehículos y animales, aunque el tránsito promedio diario de la zona es muy baja con respecto a otras rutas del cantón se estima un TPD de 8 veh/hora. Por el ancho del camino y presencia de ríos y precipicios la zona de trabajo es limitada por ende se debe utilizar el espacio disponible para el movimiento de tierras con la maquinaria y otras actividades. El problema es que las personas no respetan el área de trabajo de la maquinaria y cruzan o se mantienen en la zona sin aviso alguno provocando la detención de los trabajos, igualmente pasa con los vehículos y paso de animales los operarios tienden a detener las obras para permitir el paso, pero continuamente y en cada momento. En ciertas ocasiones el operario

de la máquina recurre a habilitar el paso por obstrucciones en la vía para el paso de los vehículos y en otras ocasiones debe extraer vehículos atascados en la vía provocando pérdida de combustible y tiempo durante períodos cortos, pero en otras ocasiones extensos.

Averías y daños

En este caso entra una variable que es fundamental reconocer anticipadamente en el movimiento de tierras la presencia de gran cantidad de rocas en los taludes y la vía, estas y otras variables produce que los daños en las máquinas como la excavadora y tractor aumenta el daño y la frecuencia del mismo; por ejemplo, doblado de piezas, ruptura de piezas, golpes a la máquina, descarrilamiento de orugas, abolladuras entre otras. En el proyecto se detecta que las máquinas sufren daños y averías frecuentemente a pesar del mantenimiento preventivo que se aplica, esto implica pérdidas en tiempo que pueden ser de días, pues el cambio de la máquina o piezas se dificulta por el acceso al sitio.

Mantenimiento de maquinaria

El mantenimiento de la maquinaria es sumamente importante para aumentar la productividad, pero este se debe aplicar correctamente para evitar pérdida de tiempo por brindar mantenimiento a la máquina, En el proyecto frecuentemente se detiene el trabajo de la máquina para brindarle mantenimiento o revisión como engrasar, cambiar piezas, limpiar, entre otras tareas. El

mantenimiento es realizado por el mismo operario de la máquina que responsablemente están a cargo de los cuidados.

Incomunicación

La incomunicación es un problema frecuente y se da en mayor proporción en la línea de gestor o director a los operarios o ayudantes, estas acciones ocurren por la utilización de medios de comunicación como celulares y utilizando aplicaciones de chat que requieren internet móvil pero que se dificulta por la cobertura de la zona, impidiendo dar las instrucciones, cambios o problemas necesarios, este hecho provoca que las máquinas detengan las labores hasta poder recibir las instrucciones de trabajo claras y concisas, para evitar realizar labores no necesarios o peligrosas.

Condiciones del sitio

El proyecto es realizado en una zona montañosa de las faldas del Volcán Turrialba con presencia de precipicios, nacientes y ríos que cruzan la vía, además de roca volcánica. Estas variables producen que la máquina disminuya su productividad para realizar acciones de esquivar, acomodamiento, tratamiento, traslado entre otras tareas, y que los operarios deban incurrir en ser más precavidos y cuidadosos con las labores para evitar accidentes realizando las labores despacio.

En la condición climática el clima tiende a cambiar espontáneamente, pero normalmente es muy estable con presencia de lluvias en las tardes y mañanas soleadas o nublados con temperaturas frescas, las lluvias intensas en conjunto con la condición del suelo producen que se deban detener las actividades de la maquinaria para evitar accidentes, atascamientos o agravar daños en las máquinas y propiedades.

Interrupción vecinal

Este factor corresponde a todas las complicaciones presentadas para trabajar debido a los dueños y vecinos de las propiedades colindantes con la carretera en reparación, estos presentan quejas o paralizan la obra por motivos personales o legales correspondientes a los trabajos realizados cerca de sus propiedades, esto implica que las labores se deban trasladar a otro punto a la detención total de la actividad hasta resolver el conflicto, normalmente se presentan estas detenciones por problemas de derecho de vía y línea de propiedad o por intereses de personas al tener cosechas o productos o por el simple hecho de la intranquilidad o afectación del espacio por el uso de maquinaria.

Daños a servicios públicos

Por el tamaño y peso de la maquinaria estas tienden a provocar daños en tuberías, cables aéreos y vías, estos daños implican reparaciones y detenciones de las labores de las actividades hasta resolver el problema producido. A pesar de ser una zona rural y poco poblado se dieron varios problemas relacionados con los servicios públicos por falta de preocupación o confianza y por deficiente guía de ayudantes o personas de la empresa. Estos problemas tienen la repercusión de que deben llegar las autoridades correspondientes para reparar el daño y por ende deben cerrar el paso parcial o total impidiendo el tránsito fluido de la maquinaria.

Los problemas anteriormente expuestos se reflejan en la figura 21 como un diagrama de pescado o Ishikawa para obtener un resumen claro y secuencial de las causas y consecuencias que se referencian ante la problemática que afecta la productividad y rendimiento de las máquinas en una obra vial rural de bajo tránsito, además la figura 22 describe porcentualmente cuanto equivale la afectación de cada una de las causas expuestas, se estima de acuerdo a las anotaciones diarias en tiempo realizadas vistas durante las visitas al sitio de trabajo en diferentes períodos de la semana.

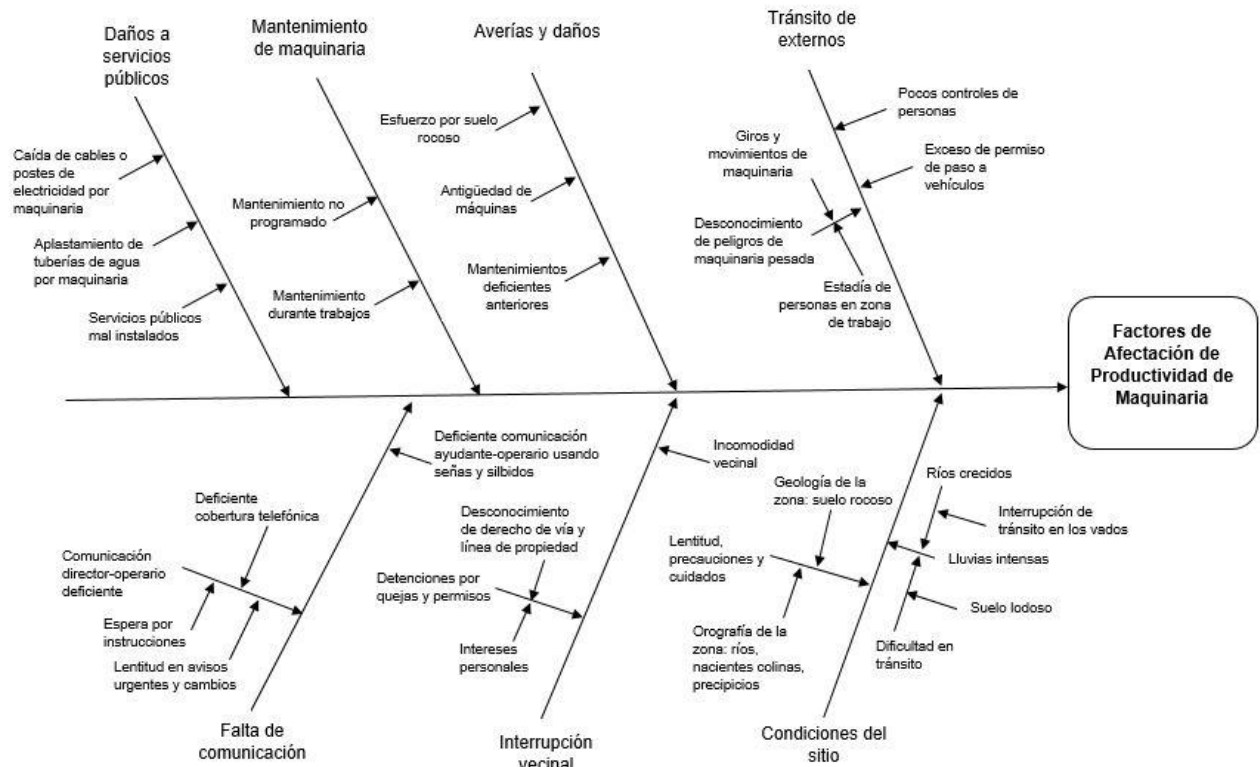


Figura 21. Diagrama de Ishikawa de factores de afectación de productividad de maquinaria.
Fuente: Elaboración del autor.

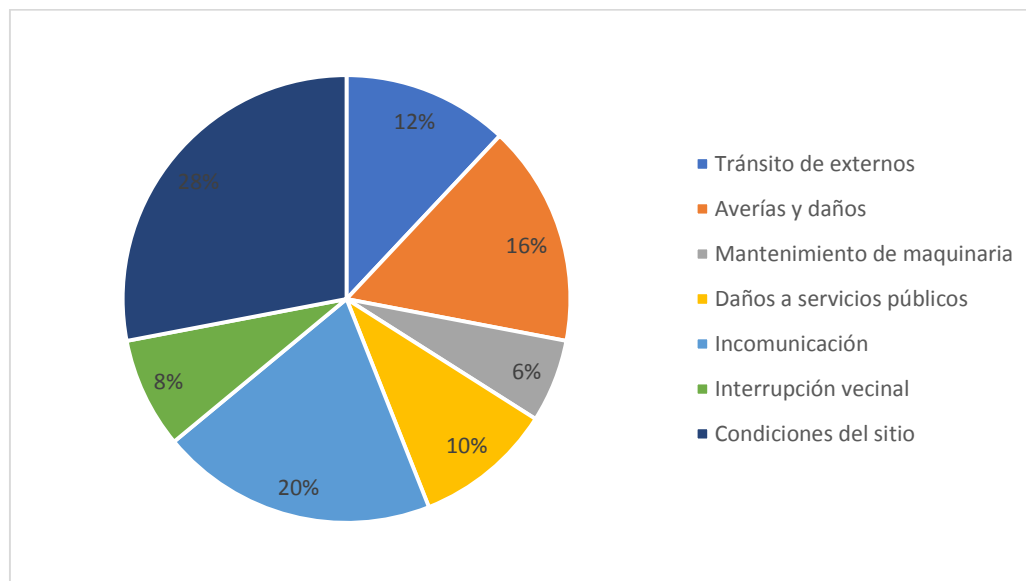


Figura 22. Mayores factores de afectación de productividad de maquinaria.
Fuente: Elaboración del autor.

Nota: Los valores se obtienen de las observaciones de campo de acuerdo con la cantidad de tiempo perdido y repetitividad de los factores en el campo.

El cuadro 55, presenta un análisis de anotaciones de campo diaria correspondiente a horas diarias trabajadas o jornada laboral destacando las horas trabajadas y sin trabajar excluyendo los tiempos correspondientes a horas de comidas, las horas sin trabajar corresponde al tiempo muerto o inefectivo en el que la maquinaria no se encuentra en funcionamiento; por ejemplo usualmente se pierde tiempo al inicio de la jornada

de una hora y media en organización y espera de instrucciones, igualmente se destacan salidas antes de la hora final de jornada y otros tiempos extras que no trabaja el equipo.

La jornada diaria inicia a las 6:00 y finaliza a las 17:00 con 30 minutos de almuerzo y 15 minutos de desayuno.

CUADRO 55. HORAS DIARIAS TRABAJADAS POR MAQUINARIA GENERAL			
Trabajo diario	Jornada laboral	Horas trabajadas	Horas sin trabajo
1	10,5	7,5	3,0
2		8,0	2,5
3		9,0	1,5
4		8,0	2,5
5		9,0	1,5
6		9,0	1,5
7		8,0	2,5
8		7,0	3,5
9		9,0	1,5
10		9,5	1,0
Media		8,4	2,1

GESTIÓN DEL PROYECTO

Se realiza un análisis de todos aquellos detalles destacables observados en el campo positivos y negativos, para determinar las variables que inciden en tener alta o baja productividad.

La figura 23, muestra la organización del proyecto vial con declaratoria de emergencia detallando los actores y funciones de cada uno.

El cuadro 56 identifica cada una de las acciones realizadas por los entes involucrados que afectan el obtener un buen rendimiento y el cuadro 57 son las prácticas realizadas por el contratista que inciden en mejorar y tener un buen rendimiento y productividad de las más destacables observadas en el proyecto.



Figura 23. Diagrama organizacional y participación de los actores involucrados en el proyecto N°2108-CN-MT-00002-01

CUADRO 56. DEFICIENCIAS DETECTADAS DE LOS ACTORES DEL PROYECTO QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DIARIO Y DE LA MAQUINARIA		
Actor	Deficiencia	Afectación
Gobierno Local	Desinformación de propietarios de la vía sobre ampliaciones y corte de taludes de propiedades colindantes con la carretera. Poca claridad y modificación de diseño original en estructuras hidráulicas.	Detención o traslado de maquinaria a otros sitios del proyecto mientras se soluciona el conflicto. Implica modificación de armaduras y colocación de formaletas posteriormente colocadas con diseños originales.
Comisión Nacional de Emergencias	Identificación de modificaciones o cambios necesarios posterior a finalización de actividad.	Implica realización de retrabajos en actividades.
Comités de Caminos y Asociaciones de Desarrollo	Debilidad y desinformación para coordinación con empresa constructora con cierres del camino por efecto de tránsito de personas, estudiantes y mercancías por la única vía transitable. Problemas de coordinación y permisos para habilitar botaderos de material extraído de la vía.	Implica detener constantemente la maquinaria y personal y realizar acciones que no aportan a la actividad para habilitar el paso Implica mayores tiempos de acarreo de material disminuyendo productividad de actividad de excavación de la vía, excavación de estructuras y conformación de cuentas y zanjas
Empresa constructora	No información al comité de caminos sobre los cierres previstos. Multiplicidad de roles, poca claridad de obreros del trabajo que deben realizar	Implica quejas y discusiones de habitantes y transeúntes que requieren pasar por la vía constantemente. Personal se confunde o realiza otros trabajos que no son los que generan buen rendimiento.

Los aspectos que corresponde a malas prácticas realizadas por la empresa o acciones que impiden obtener resultados de rendimiento y productividad aceptables, se toman en cuenta cuando se detalla los factores que afectan la productividad como incomunicación o poca

coordinación, así como el tiempo perdido mencionado en el cuadro 52 acerca de la pérdida diaria de horas productivas, por lo que es redundante volver a mencionar tales aspectos, que se amplían más en el análisis de resultados.

CUADRO 57. PRÁCTICAS APLICADAS POR LA EMPRESA CONSTRUCTORA EN LA GESTIÓN DEL PROYECTO CON IMPACTO POSITIVO EN EL RENDIMIENTO	
Práctica	Impacto
Control de producción por medio de chequeadores que están presentes en las actividades del proyecto.	Se tiene un control más detallado y estricto con respecto al rendimiento y productividad diario y por actividad del proyecto.
Búsqueda y establecimiento de botaderos de material no clasificado en las propiedades cercanas de las actividades del proyecto.	Los botaderos cercanos a los sitios de actividad disminuyen los ciclos de producción haciéndolos más productivos sin adquirir más maquinaria para cubrir tiempos de distancia.
Adquisición, observación y revisión de datos de tiempos de ciclos de operación de maquinaria por parte de chequeadores y encargados.	Mejoramiento del rendimiento de ciclos y maquinaria al tener conocimiento de operarios o máquinas que no rindan, utilizan tiempos críticos.
Aplicación de medidas de seguridad mínimas y de control de personas en el área de trabajo	Menores detenciones debido a medidas de seguridad mínimas como chalecos o cintas para evitar situaciones inoportunas durante la realización de las actividades o señalización apropiada en la vía con personal encargado de controlar el tránsito.
Consultar y solicitar permiso a propietarios, entidades y otras, antes y durante la realización de alguna actividad que perjudique el tema de propiedad privada y ambiental.	Actividades transcurren con normalidad y fluidez sin el efecto de alguna acción que perjudique la realización.

CUADRO RESUMEN

El cuadro resumen que se presenta seguidamente contiene todos los datos obtenidos y analizados de rendimiento del proyecto vial con declaratoria de emergencia de cada una las maquinarias, mano de obra, tareas y actividades analizadas durante el

tiempo de observación en campo. Las máquinas utilizadas para cada actividad y tarea corresponden de acuerdo con la revisión en el cartel de licitación a la maquinaria mínima requerida para que el proyecto se lleve a cabo, por tanto, los datos son válidos para utilizar como referencia o cálculo en otros proyectos similares.

CUADRO 58. RESUMEN DE RENDIMIENTO DE ACTIVIDADES DE REHABILITACIÓN DE PROYECTO VIAL MUNICIPAL RURAL DE BAJO TRÁNSITO EN EL CANTÓN DE TURRIALBA				
Ítem	Descripción	Actividad	Equipo	Rendimiento
204.01a	Excavación de la vía	Excavando	Excavadora hidráulica 20 Ton o 1,2 m ³	298,62 m ³ -banco/h
		Cargando	Excavadora hidráulica 20 Ton o 1,2 m ³	191,39 m ³ -suelto/h
		Ciclo cargando y botando	Excavadora hidráulica 20 Ton o 1,2 m ³ y Volquete articulado 15 m ³	88,04 m ³ suelto/h
		Remoción y esparcimiento en botadero	Tractor 80 HP balde 1,83 m ³	374,75 m ³ suelto/h
CR.209.01	Excavación para estructuras	Excavación	Excavadora hidráulica 20 Ton o 1,2 m ³	125,22 m ³ banco/h
CR.602.01	Tubería de concreto reforzado - Colocación de tubería de alcantarilla	Tubería 1000 mm	Excavadora hidráulica 20 Ton o 1,2 m ³	0,1108 m/h
		Tubería 1500 mm		0,1322 m/h
		Tubería 2120 mm		0,1044 m/h
		Colocación de cama de piedra de tubería	Excavadora hidráulica 20 Ton o 1,2 m ³	0,1670 m ³ /h
CR.209.04(a)	Relleno para estructuras, alcantarillas	Relleno de alcantarilla	Excavadora hidráulica 20 Ton o 1,2 m ³	87,21 m ³ banco/h
		Compactación manual	Compactador de zapato "sapo"	177,02 m ² /h 0,00943 hH/m ²
CR.663.01	Excavación, limpieza y conformación de cunetas y/o canales o zanjas	Conformación de cunetas y limpieza	Motoniveladora 220 HP	257,16 m/h
		Remoción de material extraído de cunetas	Retroexcavadora Back Hoe 72 HP	81,91 m ³ /h
CR.204.05	Material de préstamo selecto para acabado	Colocación de subbase	Motoniveladora 220 HP	319,61 m ² /h
		Compactación de subbase	Compactadora 10 Ton	140,10 m ³ /h
CR.301.03	Base de agregados	Colocación de base	Motoniveladora 220 HP	273,48 m ² /h
		Compactación de base	Compactadora 10 Ton	122,74 m ³ /h
CR.552.01 y CR.554.01	Concreto estructural clase A y acero estructural grado 40	Excavación	Retroexcavadora Back Hoe 72 HP	20,75 m ³ banco/h
		Colocación de armadura	Mano de obra	85,96 m/h * 0,00315 hH/m
		Encofrado		1,684 m ² /h ** 0,2993 hH/m ²
		Colado y mezcla		2,671 m ³ /h * 0,180 hH/m ³
		Desencofrado		0,101 hH/m ² ** 6,398 m ² /h

Nota: Ton: Toneladas, HP: horse power (caballos de fuerza).

*cuadrilla conformada de 6 personas

** cuadrilla conformada de 3 personas

Análisis de los resultados

Los proyectos viales con declaratoria son proyectos de suma importancia por la urgencia que tienen, por lo que se requiere realizarlo en el menor tiempo posible, a pesar de todos los inconvenientes de trámites licitatorios y administrativos de las entidades públicas. Para este proyecto basado en el presupuesto presentado en los renglones de pago por parte de la empresa se aprecia que el proyecto incluye cierta cantidad de actividades de acuerdo con el CR-2010, las cuales tienen como fin rehabilitar el camino y dar capacidad a algunos pasos de agua.

Las actividades que más consumen recursos del proyecto según la figura 12 son material de préstamo con el 24%, base de agregados con el 23%, demostrando la similitud entre las actividades por los recursos utilizados para llevarla a cabo, seguidamente se tiene el concreto estructural y acero que se utilizan para elaborar las estructuras de obras de arte, y cuarto las tuberías de concreto de alcantarilla con un 15% de los recursos; de estas actividades se destacan que son las que utilizan recursos materiales para habilitar la carretera y las distintas obras, en segundo lugar se encuentra el grupo de excavación de la vía, relleno de estructuras y enrocado, cabe destacar que la mayoría de actividades utilizan maquinaria pesada de construcción para realizar las labores de ahí la dependencia de maquinaria en obras viales.

Analizando la duración de las actividades del cuadro 4, se tiene que excavación de la vía se estima una duración de 75 días que equivale a la duración general del proyecto a pesar de que el cuadro 4 y figura 13 indican que es la sexta actividad que más recursos destina, pero esto es importante, pues para dicha actividad se utilizan únicamente maquinaria como excavadoras, volquetes y tractores.

Otra actividad sumamente determinante de la duración del proyecto es lo concerniente a las estructuras de obras de arte, la excavación,

relleno y colocación rondan los 32 días de realización, mientras la construcción de cabezales y otras obras se estima en 57 días según los cálculos de la empresa adjudicada.

De acuerdo con lo anterior prácticamente todas las actividades del proyecto son determinantes para el éxito de este, pero se necesita conocer la capacidad o rendimiento de realización real de estas apartando los datos teóricos que no consideran diferentes factores de la zona, el ambiente o de las acciones de los operadores.

Actividad 1. Excavación de la vía

La excavación de la vía es la primera actividad analizada, se lleva a cabo únicamente en un sector de 7 kilómetros aproximadamente, la mayoría del tiempo posee condiciones favorables de clima estable, soleado con temperaturas agradables y con lluvias ligeras en las tardes que permiten operar la maquinaria eficientemente. Está actividad según el cuadro 5 debería durar 75 días, pero en la realidad únicamente tuvo duración de 24 días como se parecía en el cuadro 6 para extraer 14200 metros cúbicos, esto implica que no se estima correctamente este trabajo, produciendo holgura en el tiempo de lo previsto en el cronograma inicial de la obra. Otro aspecto importante es que apenas esta actividad iniciará otras actividades debían iniciar lo que realmente no se produjo, por tanto, por una cantidad de días únicamente se pudo apreciar excavación de la vía en la carretera.

El análisis del rendimiento de la actividad de excavación de la vía implica ver cómo se lleva a cabo el trabajo en el sitio, la figura 14, indica que se realizan tareas de excavación, carga, acarreo, esparcimiento y reacomodo en los botaderos designados, estos depósitos de material no clasificado se encuentran ubicados en casi todos los casos, a distancias menores de 500 metros de longitud desde el punto de extracción. Para la

actividad, la empresa subcontrata compañías de renta de maquinaria de la zona o cercanas al cantón o región, para las tareas se utilizan dos excavadoras de 20 toneladas, 2 volquetes articulados de 15 metros cúbicos y un tractor de 80 caballos de fuerza. La primera tarea analizada es excavación realizada únicamente por una excavadora hidráulica, la cual con respecto donde se le indique, extrae, conforma taludes y amplía la vía dejando el material apilado a un lado de la carretera, para ello se toman datos a diferentes horas, sitios y días de la semana de rendimiento y productividad el cual se aprecia en el cuadro 7. El rendimiento de la excavadora extrayendo material de banco es de 298,62 m³ por hora considerando el factor de tiempo muerto el cual posee un coeficiente de variación de 8% de acuerdo con el cuadro 8, considerado aceptable por la poca diferencia entre datos y la productividad analizada es del 68,7%, que en tiempo efectivo es de 43 minutos en una hora de trabajo, el tiempo improductivo es del 16% y tiempo contributivo es aproximadamente del 15,3% según datos del cuadro 9 y 10. Para el abultamiento del material se asume de 17% de acuerdo con Andrés González y Juan Cherné (2012) de caracterización de suelos arcillosos en estado natural

La tarea de carga y acarreo es la siguiente actividad analizada, en esta, la excavadora carga el volquete con el material apilado en la vía dejado por la primera excavadora hidráulica, el rendimiento de la excavadora cargando un volquete es de 230,59 m³ sueltos por hora como se aprecia en el cuadro 11, este dato tiene importante relevancia, porque la diferencia entre datos según el cuadro 12 y 13 es apreciable, equivale a un coeficiente de variación del 17%, con tiempo efectivo de 46 minutos que implica productividad del 76%, que es mayor que la excavación realizada por la primera excavadora, en esta se debe mencionar que el tiempo de espera de carga, no se toma en cuenta como dato porque está tarea es conjunta con el volquete articulado, la improductividad es de 11,3% pero en este caso realiza más tiempo contributivo 15,3% en tareas como habilitación de la vía para tránsito, traslado, acomodo de material, entre otras.

El ciclo de carga y acarreo por parte de excavadora y volquete tiene un rendimiento de 88,04 m³/h, con coeficiente de variación igualmente alto correspondiente al 20% que se aprecia en el cuadro 14 y 15, implicando que los datos varían mucho y a pesar de eliminar datos

atípicos los conjuntos de datos son muy dispersos y variados produciendo que el método utilizado no funcione por tener una diferencia entre cuartiles alta. Para esta tarea se analiza la productividad de la vagoneta realizando el acarreo, esto implica carga, acarreo a botadero, descarga y regreso, para esto el tiempo contributivo es casi nulo porque realizar otras acciones por el volquete son limitadas, la productividad es de aproximadamente del 76% con improductividad de 26,8% debido a detenciones por conversaciones, revisiones mecánicas, atascamientos o daños mecánicos.

Finalmente la última tarea analizada de esta actividad corresponde a la realizada por un tractor de 80 HP, que es básicamente esparcir y acomodar el material extraído, acarreado y descargado en los botaderos designados, el rendimiento del tractor se aprecia en el cuadro 16 es de 340,68 m³ suelto/hora, este igualmente tiene un coeficiente alto por la variación de los datos con un coeficiente de variación del 45% esto implica que es difícil determinar un tiempo y rendimiento para una máquina, porque dependiendo de los factores de la labor, el rendimiento cambia, para esta actividad no se analiza la productividad, porque el período de acción observado no es suficiente para tomar datos certeros de trabajo.

Actividad 2. Excavación para estructuras

La siguiente actividad forma parte de las actividades necesarias en colocación de tuberías de alcantarilla, la figura 15 indica el proceso que es similar al de excavación de la vía, incluyendo las tareas de excavación, carga, acarreo y esparcimiento, únicamente para este trabajo se analiza el rendimiento de la excavadora extrayendo el material compuesto por alcantarillas existentes, material granular y material lodoso y arcilloso en poca cantidad, ya que, las otras tareas no son frecuentes apreciarlas por la cantidad de material desplazado y el tiempo muerto que implica tener maquinaria detenida por mucho tiempo; en el cuadro 18 y 19 se aprecia el rendimiento de la excavadora de 125,22 m³ en banco por hora, comparado con la excavación de la vía es bajo, pero esto es motivado, porque se tienen dimensiones determinadas de excavación y materiales como estructuras de concreto que se deben extraer y el tránsito de personas y vehículos

que al evitar cortar el tránsito de la carretera se realiza una excavación por tramos de la longitud a colocar de tubería, para esta tarea no se obtiene productividad, debido a que se descarta por el tiempo y costo inicialmente analizado de las actividades del proyecto.

Actividad 3. Colocación de alcantarillas

Para las actividades de excavación, colocación y relleno se utiliza la misma excavadora de 20 toneladas, pues se avanza de acuerdo con la alcantarilla colocada para rehabilitar el tránsito en la zona lo más pronto posible.

La actividad de colocación es un trabajo diferente con respecto a otras actividades en esta, se utiliza maquinaria y personal para realizar las acciones de diferentes longitudes y diámetros de tubería, por tanto, no se obtiene un rendimiento de mano de obra o maquinaria, sino se calcula uno para la actividad en conjunto. El proceso implica colocación de cama de piedra de alcantarilla de 10 cm de espesor, traslado de tubería de concreto, y colocación con tareas de medición y alineamiento como se observa en la figura 19. En el cuadro 21, el rendimiento final de la actividad, utilizando una excavadora hidráulica y 4 peones es de 0,1670 m³/hora para la colocación de la cama y para la colocación de alcantarillas se divide por el diámetro colocado obteniendo en el cuadro 22 para la tubería de diámetro de 2,13 metros 12,20 unidades por hora, para tubería diámetro de 1,50 metros 10,22 unidades por hora y para diámetro de 1,00 metro 12,96 unidades por hora. La productividad en el cuadro 20, medida para esta actividad es del 65%, mientras tiene de tiempo improductivo 18,7% y de trabajo contributivo de 16,3%, dado mayormente por tiempos de ocio, conversación, detención por problemas y realización de actividades, medición y alineamiento.

Cabe destacar que factores como corrientes de agua natural o vecinal afectan la colocación, así como el tránsito de personas por el peligro existente por manejar estructuras tan pesadas, que en este caso no se estuvo exento de accidentes, sin heridos para este trabajo, producido por caídas de los tubos de concreto por fallas de la cadena que la eleva.

Actividad 4. Relleno para estructuras.

La actividad de relleno utiliza una excavadora de 20 toneladas para colocar material de préstamo almacenado a un lado del sitio de trabajo para cubrir la alcantarilla hasta el nivel de la subrasante.

El proceso se conforma de traslado de material, relleno con excavadora y pala en menor medida y compactación gradual del material colocado.

El rendimiento de la actividad es de 87,21 metros cúbicos por hora según el cuadro 25 de la excavadora realizando esta actividad, la mano de obra realiza labores contributivas a la actividad como acomodar el material o colocación de sacos rellenos. La productividad se calcula del 86,3% un valor que implica un tiempo efectivo por hora de 54 minutos, obteniendo valores de tiempo contributivo e improductivo bajos, porque la actividad es sencilla y de poca duración, en este caso se realizan más acciones contributivas que improductivas.

Posterior, se realiza la compactación por capa y la capa final a nivel de la vía, esto se realiza con un compactador de zapata manejado por un peón que posee un rendimiento según el cuadro 28 de 177,02 m² por hora y en términos de mano de obra 0,00943 horas hombre por metro cuadrado. En el cuadro 29, la productividad de esta labor es del 60% y 28% de improductividad causado por detenciones, tiempos de ocio o descanso.

Actividad 5. Conformación y limpieza de cunetas o zanjas

El proceso básicamente utiliza motoniveladora y compactadora, aunque para las observaciones realizadas no se aprecia un uso real de la compactadora, también se utiliza retroexcavadora y volquete de 12 m³ para retirar y acarrear el material extraído de la conformación y limpieza.

La tarea de conformación y limpieza es realizada por una motoniveladora de 220 HP que obtiene un rendimiento de 257,16 metros lineales por hora, mientras que la retroexcavadora o "back hoe" posee un rendimiento para la remoción de los materiales acumulados en la vía por la

motoniveladora de 81,91 m³ por hora cargados de material en un volquete de 12 m³, en este caso el ciclo de volquete-retroexcavadora no se estima, porque los tiempos y sucesos vistos en campo impiden realizar una medición exacta por que los botaderos se encuentran a diferentes distancias.

Para estas tareas no se obtiene productividad porque no es una de las actividades seleccionadas de análisis.

Un punto importante de exponer es que la actividad conocida como conformación de subrasante se realiza en menor cantidad casi nula en el mismo instante que conformación cunetas, por lo que no se obtuvo rendimiento de esta labor.

Actividad. 6. Colocación de base de material de préstamo

Material de préstamo es el proceso de colocación de subbase de material sobre la carretera, para ello se utiliza una motoniveladora y compactadora, así como volquetes para acarreo de material, el proceso tiene como tareas el acarreo, esparcimiento, nivelación y por último la compactación de la capa de 20 cm de espesor que se aprecia en la figura 18.

Para iniciar se realizar un análisis de las tareas de acarreo de material del quebrador, el quebrador se encuentra a 21,7 Km del proyecto aproximadamente medido a la estación 1+500, como se aprecia en la figura 18 y la altitud de traslado es de aproximadamente 768 m de diferencia entre los puntos, con estos datos y la inclinación que posee la vía en varios puntos implica que los volquetes cargados tengan velocidades de 15-20 Km/h de acuerdo a comentarios de operarios prácticamente por las pendientes deben trasladarse utilizando la primera marcha, este punto debe ser bastante importante para cualquier proyecto de la zona por la diferencias de altitud presentes, un dato estimado es que una vagoneta tiene el rendimiento en 3.34 m³/h de acuerdo con el cuadro 33, por tanto de acuerdo a esto se debe estimar cuantos camiones deben utilizarse para tener un avance significativo diario, pues en este caso los operarios de motoniveladora y compactadora debían esperar horas para trabajar nuevamente.

Excluyendo el tema de acarreo se obtiene el rendimiento y productividad de los otras máquinas, la motoniveladora es de 319,61 m²/h

con varianza del 13%, el cual indica poca varianza de los datos pero superior al 10% y la productividad es de 84,7% equivalente a 52 minutos de tiempo efectivo por parte del operador que realiza pocas detenciones, para esta máquina el trabajo contributivo es mínimo según el observado; para la compactadora el rendimiento es de 140,10 m³/h con 14% de varianza de los datos, la productividad es buena con 82,3% mayormente afectado por al tránsito no autorizado de vehículos o detenciones.

Actividad 7. Colocación de base de agregados

El proceso de esta actividad es semejante al de material de préstamo, pues igualmente se coloca una base de 20 cm de espesor recibiendo compactación que debe ser cercana al 95% Proctor modificado, la maquinaria es la misma, la diferencia yace en el material utilizado y la finalización del trabajo, esto se puede confirmar visualizando la figura 11 y 12 de las actividades mencionadas. El rendimiento final de la motoniveladora es de 273,48 m²/h y para el compactador es de 122,74 m³/h con varianza del 3% y 8% indicando que los datos se encuentran en cercanos entre sí, los datos se aprecian en el cuadro 40 y 41 respectivamente. Para esta actividad por ser una de las últimas en iniciarse dentro del período del proyecto no se pudo obtener la productividad de la misma, pero es posible utilizar los datos de la actividad de material de préstamo para correlacionar las tareas, además de acuerdo con el cronograma presentado en la oferta se inicia más tarde de previsto.

Actividad 8. Concreto estructural y acero de refuerzo.

Esta actividad en otras palabras es la construcción de las estructuras de obras de arte hidráulicas utilizada para preservar, habilitar y proteger la alcantarilla y la capa de ruedo, el proceso está compuesto en su mayoría de mano de obra, las tareas observadas y expresadas en el diagrama de procesos de Micro Cyclone figura 19 son: excavación, armadura, encofrado, colado y desencofrado.

La actividad de excavación es mínima únicamente para ampliar y limpiar la zona donde se construirá la estructura, utiliza una retroexcavadora de 72 HP, la cual observa en el cuadro 43, tiene un rendimiento final de 20,75 m³ en banco por hora extraída aplicando el factor de incremento, cabe mencionar que la productividad es media a pesar de que no se midió.

La tarea de armadura no es una tarea frecuente para este tipo de obras que utilizan manuales de diseño que no presentan varillas, pero en casos que se requiera se utiliza como aletones o delantales, el rendimiento de la mano de obra de esta actividad es de 0,00315 horas hombres por metro lineal o 85,96 m/h se aprecia en el cuadro 45, la productividad de esta tarea según el cuadro 46 es del 52% de las observaciones la productividad implica el 28% de los datos debido a detenciones, ocio, entre otras acciones.

La tarea de encofrado o formaleta corresponde al proceso de colocar paneles, madera, puntales y accesorios para dar la forma del cabezal o cualquier estructura, en el cuadro 47 el rendimiento es de 1,684 m²/h o 0,299 hH/m², en el cuadro 48 la productividad obtenida es de 51,3% y en segundo lugar el tiempo se consume en trabajo contributivo 26,3% en tareas como mediciones, cortes, modulaciones, entre otras. Esta actividad es la que más se tiene cuidado en el campo por los trabajadores para evitar sucesos como que la formaleta se caiga o se abra, por tanto, se destina mucho tiempo en la colocación de los puntales, amarras y grapas para dar estabilidad al encofrado cuando el concreto ejerza la presión por el colado monolítico aplicado en gran cantidad.

La tarea de mezcla y colado es el trabajo central del proceso este implica preparar un concreto con la resistencia adecuada en campo utilizando métodos manuales como la batidora, el proceso que implica más trabajo por parte de mano de obra, en comparación con otros procesos. El rendimiento de esta tarea es de 2,671 m³/h o 0,180 hH/m³ según el cuadro 50, la productividad se ve interrumpida por tránsito de vehículos y personas, porque el proceso se realiza en plena vía pública, el valor porcentual productivo observado en el cuadro 52 es de 39% y trabaja improductivo de 37%, esto implica que se destina más tiempo a actividades que no dan valor a la tarea como tiempo ocioso y conversación.

Por último, la tarea de desencofrado finaliza la actividad, está implica después de un tiempo de fraguado y endurecimiento del concreto se retiran los paneles, en este caso se retiran al día siguiente. El rendimiento de la tarea observado en el cuadro 54 es de 6,40 m²/h o 0,101 hH/m², en el cuadro 55, la productividad de esta tarea es del 54,3% de las observaciones y de improductividad de 38,7% motivado por tiempos muertos de ocio, conversación.

Factores que afectan productividad

Como parte del apoyo a los resultados de productividad se determinan y obtienen los factores más destacables y que más incidencia tienen en las actividades las cuales requieren de maquinaria como movimiento de tierra, esto para traer a luz estos que producen mayor afectación en la realización de una tarea, para ello se puede apreciar el diagrama de Ishikawa el cual resume todos estos factores de acuerdo con las causas.

El primer factor analizado es el tránsito de externos, esto significa que se debe detener la maquinaria y abrir el paso momentáneamente para permitir la circulación de los vehículos, personas y animales esto incurre en que la maquinaria deba realizar movimientos o traslados que no aportan trabajo productivo a la actividad, según las observaciones los casos que se inducen a este factor principalmente son poco o nulo control de personas llamados banderilleros que se encargan de controlar y permitir el paso de vehículos a pesar de que existe señalización permanente, las personas atraviesan la zona hasta el punto de acercarse a la zona donde se encuentra el equipo realizando las maniobras, siendo un peligro y a su vez motivando a los operadores a moverse o tener mayor precaución por la presencia de personas en el sitio; otra causa relacionado a lo anterior es la poca conciencia de los transeúntes del peligro de maquinarias que tienen grandes dimensiones y peso y que posee puntos ciegos de visibilidad por ejemplo giros de la excavadora, traslado y retroceso de volquetes entre otros y acompañado por la estadía prolongada en el sitio de personas ajenas a la obra que no cumplen medidas de seguridad.

El segundo factor que se presenta es la avería y daño causado en la maquinaria pesada

debido a las tareas que debe realizar e igualmente a deterioro o piezas dañadas anteriormente y antigüedad, este factor es sumamente importante de poder predecir y reducir por el acceso a sitios tan lejanos de talleres o empresas que puedan reparar los daños, ya que implica en traslado de piezas y operarios de mantenimiento, perdiéndose mucho tiempo diario de trabajo.

El mantenimiento de maquinaria es otro de los que generan retrasos en la obra, que a pesar de ser no prolongados son frecuentes, el impacto de este factor no es tan significativo como otros factores, pues implica tomar medidas tempranas para evitar otros factores que producen mayor afectación. Generalmente lo que se observa que verdaderamente afecta son mantenimiento improvisados o no programados realizados en cualquier momento y mantenimiento durante las actividades implicando detención de otras maquinarias.

Como se le distinguen la maquinaria pesada posee como característica grandes dimensiones y peso por lo que la operación debe ser controlado desde el interior como el exterior, debe existir previa revisión del sitio a trabajar, pero cuando no se realiza se incurren a generar daños a los servicios públicos que se colocan dentro del derecho de vía, tales como tubería de agua potable, cables de electricidad y postes de alumbrado público, entre otros, estos daños inciden en la detención de la maquinaria hasta poder reestablecer el servicio o moverse a otra zona para continuar en ciertas ocasiones se debe realizar trabajos para colaboración en la reparación del daño.

Las condiciones del sitio afectan mucho el trabajo efectivo de la maquinaria, por ejemplo este factor se origina según las observaciones por, dificultad de tránsito por suelos lodosos que implica que la maquinaria no posee la tracción suficiente para superar la resistencia al rodamiento generada por lluvias y por el paso constante de vehículos pesados, por el mismo sitio, igualmente la vía, tiene deficiencia de puentes en los ríos que implica atravesarlos por medio de vados, la geología de la zona también define la extracción de material y por último la orografía de una zona montañosa con presencia de precipicios, ríos con cañones, colinas entre otras irregularidades, estas reducen el espacio de maniobra de los operarios induciéndolos en el peligro y en ser precavidos, obligándolos a trabajar lento.

La interrupción vecinal no es un factor determinante, pues no es repetitivo y ocurre ocasionalmente, pero es importante tenerlo en cuenta en obras de la magnitud de una carretera que impacta a los propietarios y vecinos de las comunidades, este problema es generado mayormente a desconocimiento básico legal de las vías del país y otros por intereses personales de quienes presentan quejas o realizan discusiones.

Finalmente, el factor de Falta de comunicación entre los encargados, operarios, ayudantes, chequeadores y banderillero inciden en que se realizan movimientos, trasladados y actividades o tareas que no aportan y generan desorden en la obra, esto ocurre porque se utilizan aplicaciones virtuales que requieren conexión a internet para transmitir los mensajes, pero al ser una zona rural y montañosa con deficiente cobertura telefónica e interrumpida, genera que los mensajes lleguen tarde a su destinatario o del todo no se transmitan, por ende se realizan detenciones para esperar instrucciones o avisos o por errores de comunicación.

Con las observaciones realizadas se estima el porcentaje reflejado en la figura 12 del como estos factores afectan la productividad de la maquinaria de una actividad, en este caso las condiciones del sitio representa el 28% de las observaciones realizadas y que tiene más probabilidad de apreciarse en un proyecto vial, seguidamente de problemas de incomunicación y averías y daños con el 20% y 16% respectivamente de los casos y con menor afectación se encuentra el tránsito de externos con el 12%, daños a servicios públicos con el 10%, interrupción vecinal 8% y por último con el 6% mantenimiento de maquinaria.

Otro aspecto analizado para un proyecto de este tipo la productividad general diaria, se determina de acuerdo con las anotaciones realizadas y la presencia durante todo el día en el proyecto se pierden entre 2 horas y 2 horas 30 minutos de tiempo de la jornada de 10 horas en ninguna actividad productividad esto ocurre frecuentemente en las horas de la mañana la entrada y en la tarde de la salida del trabajo.

Gestión vial

Para este apartado se realiza un pequeño análisis de la gestión vial del proyecto, debido a que este

factor es determinante para el éxito del proyecto por ende afecta el rendimiento y productividad de una actividad dada, para este se analizan todos los actores presentes en el proyecto, los cuales en la figura 20 son la Comisión Nacional de Emergencias (CNE), la Municipalidad de Turrialba, los Comités de Caminos de los pueblos y la empresa contratista y subcontratistas, es importante dicho determinarlos y reconocer los aportes y funciones de cada actor como se observa en el cuadro 56, en este caso el gobierno local es supervisor de la obra y realiza las recomendaciones necesarias para un aprovechamiento del proyecto, el CNE aporta los recursos a la empresa y la comisión de caminos es un actor vigilante de los recursos materiales y equipo y colaborador en la zona para con la empresa y municipalidad con respecto a la comunicación con los habitantes, habilitación de botaderos, permisos, riesgos y otras características que conozcan los pobladores. Según las observaciones y las funciones de cada actor puede producir un menor rendimiento de las actividades, por ejemplo si el comité de caminos no informa a los vecinos e instituciones educativas de los cierres de vía, se presentan quejas, obligando a la empresa a habilitar rápido o momentáneamente el tránsito, otro caso es que los supervisores del CNE y Municipalidad realicen observaciones de cambio de diseño o trabajo de alguna actividad provocando que se deba realizar nuevamente el trabajo o aplicar los cambios necesarios a lo ya iniciado, por esto motivo es importante que no solo la empresa constructora recibe la mala nota por tener problemas de productividad o rendimiento sin tener en cuenta a los otros actores que usualmente no se introducen como afectación en las actividades.

Por último en el cuadro 57 se aprecia, el análisis de algunas de las buenas prácticas, realizadas destacables por la constructora durante las observaciones en el proyecto, estas prácticas impactan el rendimiento de una actividad realizando modificaciones de personal o maquinaria o toras acciones, el control de producción por medio de chequeadores permite tener bajo supervisión a los operarios de las máquinas realizando actividades esto permite tener el detalle de cuanto producen por hora o por día y así realizar las correcciones pertinentes si diera bajo rendimiento, otra acción es buscar con anticipación los botaderos para desecho de material lo más cercanos y con menor distancia

entre botaderos para obtener buenos rendimientos en las actividades de excavación, obtener tiempo de los rendimientos de los ciclos de la maquinaria para enviar llamado de atención al operario por no realizar el trabajo dentro de tiempos normales de una máquina, poseer medidas de seguridad en la vía y con los empleados para evitar accidentes y ser advertencia para conductores de las obras realizadas con el fin de impedir tener detenciones o paradas bruscas por tránsito, y la última acción observada es anticipadamente consultar o solicitar permisos a entidades o propietarios para realizar algún tipo de actividad y con esto evitar detenciones antes o durante de la obra.

Entre las acciones que más repercuten el rendimiento del proyecto son las esperas por instrucciones, los problemas de comunicación, problemas de mando de quién da las ordenes de cuales trabajos se deben realizar, coordinación, realización de trabajos nuevamente por desconocer cómo se debía realizar la obra; estas acarrear tiempo que se puede aplicar para otras actividades, además un desacierto importante es no cumplir con el cronograma establecido que a pesar que no repercute en el momento, se denota con el avance de la obra como las actividades se afectan por el hecho urgente de la empresa d cumplir con el tiempo del proyecto, realizando varias tareas en un mismo tiempo o que se necesita trabajar rápidamente, produciendo congestión, problemas de tránsito, atascamientos, choque de actividades en un mismo sitio, detenciones prolongadas de maquinaria y personal, y el factor administrativo que más afecta es el retraso con el material necesario para llevar a cabo las tareas, el cual no posee coordinación de entrega de material con respecto a la elaboración de las actividades y determina la productividad y rendimiento de la máquina, el operario y la actividad.

Cuadro Resumen

Finalmente, cumpliendo con el objetivo principal del proyecto se estima los rendimientos de tareas maquinarias, mano de obra o actividades según corresponda, siendo el cuadro 58 de fácil acceso y con maquinaria que normalmente se utiliza en proyecto viales y que solicitan en los carteles de licitación de obras con particularidades semejantes, esto datos son obtenidos del previo análisis de los resultados.

Conclusiones

- Las actividades que más generan costo al proyecto son las que requieren más material como lo son material de préstamo y base de agregados con aproximadamente el 20% del costo total, el cual requiere mayor seguimiento y control.
- La actividad de excavación de la vía de acuerdo con la estimación del contratista es de 75 días, cuando realmente se realiza en 24 días, implicando sobrestimación de la duración de la actividad, destacando la problemática del tema de rendimientos de maquinaria en obras viales.
- El rendimiento y productividad de excavación dependen directamente de la efectividad de la maquinaria en funcionamiento, pues solo utilizan equipos como excavadoras, tractores y vagonetas como fuerza para realizarla, existiendo dependencia entre las máquinas para realizar los procesos de la actividad y afectando cuando se de el faltante de alguna de las máquinas que conforman la actividad.
- Las tareas donde se involucra maquinaria generalmente tienen alta productividad promediando el 70% con respecto a las que poseen mano de obra que promedian el 50%
- Actividades como relleno de alcantarillas y colocación de alcantarillas dependen de mano de obra y maquinaria en igual medida, la cual impide discernir el rendimiento por separado y requieren mayores medidas seguridad para evitar incidentes.
- El rendimiento en las actividades de colocación de subbase y base son semejantes, lo cual es lo esperado por tratarse de actividades con procesos similares con la diferencia del material colocado y el espesor de la capa, lo cual permite utilizar el mismo rendimiento y elementos para estas actividades viales.
- La obtención de material para las actividades se debe coordinar anticipadamente para evitar contratiempos en zonas de alta montaña y considerar la velocidad de traslado de los volquetes y la característica de la zona para aumentar la productividad diaria y disminuir los tiempos muertos.
- La productividad en las tareas de la actividad de obras de arte tiene las productividades más bajas, indicando que la fuerza humana es menos efectiva que la maquinaria, pero requiere mayor dedicación de la persona en realizar el trabajo.
- Los datos de rendimiento de maquinaria presentan diferencias entre sí, debido a factores en las condiciones meteorológicas, del material extraído y de la operación de la máquina en mayor medida, afectando los resultados y los análisis estadísticos con coeficientes de varianza altos en ciertas tareas.
- Los rendimientos obtenidos tienen incluidos los factores más comunes presentados en un proyecto con las características citadas, por lo que son datos útiles para proyectos viales o actividades que posean y se realicen con las condiciones similares a las descritas.
- La productividad de un proyecto vial es afectada por diversos factores, pero mayormente por las condiciones del sitio, las actividades más afectadas por dicho factor son las excavaciones por peso de los volquetes y por el lodo generado en el traslado y descarga, debido al contenido de humedad.
- Los factores que presentan mayor incidencia en el proceso productivo de un equipo pesado en el proyecto son las

condiciones del sitio donde se realiza el trabajo con el 28%, incomunicación entre encargados, operarios y ayudantes con un 16% y averías y daños de la maquinaria con el 20% de los casos observados.

- El proyecto al estar expuesto al público y no poseer cerramiento, está expuesto al tránsito de personas y vehículos exponiendo al peligro a personas y trabajadores y afectando el desarrollo de las tareas manuales y la operación normal de la maquinaria teniendo como consecuencia disminución del rendimiento y la productividad.
- El rendimiento y productividad de una máquina varía con respecto al trabajo a realizarse, por lo que no es correcto utilizar valores de rendimiento perteneciente a un proceso en diferentes actividades de un proyecto infraestructura vial.
- La participación de varias organizaciones implica diversos criterios y acciones que tienen impacto en la productividad de un proyecto vial que exigen a la empresa constructora a realizar, modificar o mejorar algunos aspectos de las actividades de lo previsto inicialmente y que impacta el antes y el durante de la realización de un trabajo.
- Las actividades de un proyecto vial están expuestas a factores atmosféricos, humanos, geológicos y técnicos en mayor medida que proyectos puntuales como edificaciones, por el cambio de los factores a lo largo del avance de la obra, que aumenta o disminuye el impacto de los factores.
- Las buenas prácticas como revisión de productividad diaria o tiempos de ciclos y duración realizados por la empresa permiten tener el control de malos resultados o que no se ajustan al rendimiento normal de la máquina implicando la realización de cambios de personal o máquinas.
- Los tiempos muertos diarios son aproximadamente de 2,1 horas diarias y tienen mayor incidencia en las horas de entrada y salida de los operarios y trabajadores del trabajo, afectando la producción diaria.

Recomendaciones

- Para evitar el sesgo se deben obtener más datos de rendimientos por la variabilidad de las condiciones de los proyectos viales en las actividades.
- Es recomendable utilizar cálculos estadísticos para detectar datos erróneos o distantes de la realidad y para verificar el comportamiento de los datos de rendimiento.
- Se requieren realizar más investigaciones de rendimiento y productividad de proyectos viales similares, para combatir la problemática vial del país por parte de empresa o instituciones para demostrar la realidad nacional vial.
- Se requieren proyectos de investigación que analicen la gestión de los proyectos viales desde la perspectiva de los gobiernos locales o nacional y desde la empresa constructora encargada de elaborar el proyecto para determinar más detalladamente los factores que más afectan.
- Analizar el efecto de los diversos factores como condiciones del sitio o de coordinación en investigaciones futuras de maquinaria individual y con técnicas para dar certeza de valores técnicos
- Estimar los rendimientos de equipos en diferentes actividades o condiciones para tener un panorama claro de la diferencia entre los datos con el fin de evitar utilizar rendimientos para actividades que no corresponden y que den un resultado real del trabajo.
- Es recomendable para otros trabajos de investigación de rendimientos realizar comparación con datos teóricos de rendimientos de maquinaria.
- Realizar análisis comparativos o ingeniería de valor de selección de maquinarias apropiadas para el proyecto por ejemplo camión volquete y volquete articulado con beneficios y deficiencias.
- Se recomienda como mejora a los diagramas Micro Cyclone introducir los valores de rendimiento y productividad para mejor visualización para realizar un software de cálculo.
- Se recomienda analizar la estructura, el funcionamiento y la comunicación entre los actores presentes en un proyecto vial.
- Se recomienda para futuros trabajos investigativos realizar estudios de productividad de las actividades que poseen mano de obra y equipo en conjunto de actividades de un proyecto de infraestructura vial.

Anexos

A continuación, se presentan los cuadros que describen los datos de productividad obtenidos en campo para las tareas seleccionadas de acuerdo con los costos y duración.

Actividad 1. Excavación de la vía

CUADRO 59. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD EXCAVADORA HIDRÁULICA EN EXCAVACIÓN					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Excavación	149	Detenido	5	Acomodando material	18
Traslado en el sitio de construcción	26	Conversando	8	Traslado de material	
		Tránsito de vehículos y personas	10	Compactación de material en la vía	3
		Daños mecánicos		Liberando espacio de material en la vía	10
		Ayudando a vehículos y personas	6	Observando el sitio	1
		Problemas de la vía		Mantenimiento	4
Total	212		96		77
Total Porcentual	55%		25%		20%

CUADRO 60. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD EXCAVADORA HIDRÁULICA EN EXCAVACIÓN					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Excavación	136	Detenido	6	Acomodando material	16
Traslado en el sitio de construcción	20	Conversando	13	Traslado de material	4
		Tránsito de vehículos y personas	13	Compactación de material en la vía	4
		Daños mecánicos		Liberando espacio de material en la vía	15
		Ayudando a vehículos y personas	3	Observando el sitio	
		Problemas de la vía		Mantenimiento	
Total	156		35		39
Total Porcentual	68%		15%		17%

CUADRO 61. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD EXCAVADORA HIDRÁULICA EN EXCAVACIÓN					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Excavación	143	Detenido	6	Acomodando material	18
Traslado en el sitio de construcción	16	Conversando	14	Traslado de material	0
		Tránsito de vehículos y personas	17	Compactación de material en la vía	3
		Daños mecánicos	5	Liberando espacio de material en la vía	13
		Ayudando a vehículos y personas	10	Observando el sitio	
		Problemas de la vía		Mantenimiento	
Total	159		53		34
Total Porcentual	65%		21%		14%

CUADRO 62. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD EXCAVADORA HIDRÁULICA CARGANDO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Excavación	149	Detenido	5	Acomodando material	18
Traslado en el sitio de construcción	26	Conversando	8	Traslado de material	
		Tránsito de vehículos y personas	10	Compactación de material en la vía	3
		Daños mecánicos		Liberando espacio de material en la vía	10
		Ayudando a vehículos y personas	6	Observando el sitio	1
		Problemas de la vía		Mantenimiento	4
Total	175		29		36
Total Porcentual	73%		12%		15%

CUADRO 63. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD EXCAVADORA HIDRÁULICA CARGANDO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Excavación	136	Detenido	6	Acomodando material	16
Traslado en el sitio de construcción	20	Conversando	13	Traslado de material	4
		Tránsito de vehículos y personas	13	Compactación de material en la vía	4
		Daños mecánicos		Liberando espacio de material en la vía	15
		Ayudando a vehículos y personas	3	Observando el sitio	
		Problemas de la vía		Mantenimiento	
Total	156		35		39
Total Porcentual	68%		15%		17%

CUADRO 64. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD EXCAVADORA HIDRÁULICA CARGANDO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Excavación	143	Detenido	6	Acomodando material	18
Traslado en el sitio de construcción	16	Conversando	14	Traslado de material	0
		Tránsito de vehículos y personas	17	Compactación de material en la vía	3
		Daños mecánicos	5	Liberando espacio de material en la vía	13
		Ayudando a vehículos y personas	10	Observando el sitio	
		Problemas de la vía		Mantenimiento	
Total	159		53		34
Total Porcentual	65%		21%		14%

CUADRO 65. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD VAGONETA EN ACARREO A BOTADERO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Traslado ida y vuelta	53	Detenido	12	Mantenimiento	24
Descarga	36	Conversando	8	Revisión técnica	21
Carga	91	Tránsito de vehículos y personas	4		
		Daños mecánicos	20		
		Atascamientos	31		
Total	180		75		45
Total Porcentual	60%		25%		15%

CUADRO 66. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD VAGONETA EN ACARREO A BOTADERO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Traslado ida y vuelta	57	Detenido	14	Mantenimiento	29
Descarga	46	Conversando	10	Revisión técnica	12
Carga	68	Tránsito de vehículos y personas	6		
		Daños mecánicos	22		
		Atascamientos	26		
Total	171		78		41
Total Porcentual	59%		27%		14%

CUADRO 67. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD VAGONETA EN ACARREO A BOTADERO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Traslado ida y vuelta	55	Detenido	11	Mantenimiento	7
Descarga	58	Conversando	11	Revisión técnica	13
Carga	82	Tránsito de vehículos y personas	7		
		Daños mecánicos	18		
		Atascamientos	24		
Total	194		71		20
Total Porcentual	68%		25%		7%

Actividad 3. Instalación de alcantarillado

CUADRO 68. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ALCANTARILLAS					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Amarrando y transportando tubo de concreto	34	Detenido	20	Midiendo	26
Colocando tubo	134	Conversando	16	Alineando	28
Colocando cama de alcantarilla	56	Tránsito de personas	10	Discutiendo soluciones	9
		Problemas en colocación	22		
		Buscando herramientas	12		
Total	224		63		63
Total Porcentual	64%		18%		18%

CUADRO 69. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ALCANTARILLAS					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Amarrando y transportando tubo de concreto	22	Detenido	9	Midiendo	32
Colocando tubo	108	Conversando	16	Alineando	29
Colocando cama de alcantarilla	87	Tránsito de personas	10	Discutiendo soluciones	8
		Problemas en colocación	8		
		Buscando herramientas	12		
Total	217		55		69
Total Porcentual	63%		16%		20%

CUADRO 70. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ALCANTARILLAS					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Amarrando y transportando tubo de concreto	33	Detenido	7	Midiendo	37
Colocando tubo	121	Conversando	15	Alineando	26
Colocando cama de alcantarilla	84	Tránsito de personas	10		
		Problemas en colocación	5		
		Buscando herramientas	12		
Total	238		49		63
Total Porcentual	68%		14%		18%

Actividad 4. Relleno para estructuras

CUADRO 71. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD DE RELLENO DE ESTRUCTURAS					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Colocando material	81	Detenido	0	Transportando material	0
		Conversando	3	Apilando material	0
		Tránsito de personas	0	Trasladándose	6
Total	81		3		6
Total Porcentual	90%		3%		7%

CUADRO 72. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD DE RELLENO DE ESTRUCTURAS					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Colocando material	72	Detenido	0	Transportando material	0
		Conversando	4	Apilando material	4
		Tránsito de personas	0	Trasladándose	5
Total	72		4		9
Total Porcentual	85%		5%		10%

CUADRO 73. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD DE RELLENO DE ESTRUCTURAS					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Colocando material	71	Detenido	0	Transportando material	6
		Conversando	3	Apilando material	
		Tránsito de personas	2	Trasladándose	3
Total observaciones	71		5		9
Total Porcentual	84%		6%		10%

CUADRO 74. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD DE COMPACTACIÓN MANUAL					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Compactación	39	Detenido	8	Trasladándose	3
		Conversando	8	Revisando o encendiendo máquina	2
Total observaciones	39		16		5
Total Porcentual	65%		26%		9%

CUADRO 75. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD DE COMPACTACIÓN MANUAL					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Compactación	35	Detenido	6	Trasladándose	5
		Conversando	11	Revisando o encendiendo máquina	2
Total observaciones	35		17		7
Total Porcentual	60%		28%		12%

CUADRO 76. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD DE COMPACTACIÓN MANUAL					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Compactación	33	Detenido	5	Trasladándose	5
		Conversando	14	Revisando o encendiendo máquina	3
Total observaciones	33		19		8
Total Porcentual	55%		31%		14%

Actividad 6. Colocación de subbase de material de préstamo

CUADRO 77. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD DE NIVELADORA COLOCANDO SUB BASE					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Esparciendo	34	Detenido	4	Traslado	6
Nivelando	82	Tránsito vehículos	10	Compactación ligera	0
Cunetas y zanjas	20	Conversando	4		
Total observaciones	136		18		6
Total Porcentual	85%		11%		4%

CUADRO 78. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD DE NIVELADORA COLOCANDO SUB BASE					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Esparciendo	33	Detenido	3	Traslado	2
Nivelando	83	Tránsito vehículos	13	Compactación ligera	3
Cunetas y zanjas	17	Conversando	5		
Total observaciones	133		21		5
Total Porcentual	83%		13%		3%

CUADRO 79. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD DE NIVELADORA COLOCANDO SUB BASE					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Esparciendo	36	Detenido	2	Traslado	5
Nivelando	78	Tránsito vehículos	10	Compactación ligera	0
Cunetas y zanjas	21	Conversando	4		
Total observaciones	135		16		5
Total Porcentual	86%		10%		3%

CUADRO 80. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD DE RODILLO COMPACTANDO SUB BASE					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Compactación	60	Detenido	3	Traslado	3
		Tránsito vehículos	9		
		Conversando	0		
Total observaciones	60		9		3
Total Porcentual	84%		12%		4%

CUADRO 81. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD DE RODILLO COMPACTANDO SUB BASE					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Compactación	58	Detenido	0	Traslado	3
		Tránsito vehículos	10		
		Conversando	0		
Total observaciones	58		10		3
Total Porcentual	82%		14%		4%

CUADRO 82. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD DE RODILLO COMPACTANDO SUB BASE					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Compactación	57	Detenido	0	Traslado	3
		Tránsito vehículos	10		
		Conversando	2		
Total observaciones	57		12		3
Total Porcentual	81%		16%		3%

Actividad 7. Concreto estructural y acero refuerzo

CUADRO 83. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ARMADURA					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Corte de varilla	42	Conversando	22	Traslado de varilla	46
Colocación de varilla	117	Ocioso	20	Medición	31
Amarrado de varilla	53	Buscando herramienta	29		
		Buscando materiales	25		
Total observaciones	212		96		77
Total Porcentual	55%		25%		20%

CUADRO 84. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD DE COLOCACIÓN DE ARMADURA					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Corte de varilla	39	Conversando	25	Traslado de varilla	41
Colocación de varilla	104	Ocioso	27	Medición	35
Amarrado de varilla	46	Buscando herramienta	34	Sosteniendo varilla	5
		Buscando materiales	29		
Total observaciones	189		115		81
Total Porcentual	49%		30%		21%

CUADRO 85. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD DE ENCOFRADO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Colocación de panel	33	Conversando	35	Medición	23
Colocando madera	21	Ocioso	21	Transporte de panel	35
Colocando puntales	73	Buscando herramienta	27	Limpiando panel	11
Colocando prensas y amarras	81	Buscando materiales	25		
Total observaciones	208		108		69
Total Porcentual	54%		28%		18%

CUADRO 86. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD DE ENCOFRADO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Colocación de panel	30	Conversando	34	Medición	30
Colocando madera	21	Ocioso	19	Transporte de panel	47
Colocando puntales	66	Buscando herramienta	27	Limpiando panel	15
Colocando prensas y amarras	72	Buscando materiales	24		
Total observaciones	189		104		92
Total Porcentual	49%		27%		24%

CUADRO 87. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD DE ENCOFRADO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Colocación de panel	29	Conversando	31	Medición	32
Colocando madera	22	Ocioso	17	Transporte de panel	49
Colocando puntales	69	Buscando herramienta	24	Limpiando panel	15
Colocando prensas y amarras	76	Buscando materiales	20		
Total observaciones	196		92		96
Total Porcentual	51%		24%		25%

CUADRO 88. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD DE MEZCLA Y COLADO DE CONCRETO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Mezclando concreto	51	Conversando	95	Preparando material para mezcla	48
Colando concreto	57	Detenido	51	Transportando materiales	14
Vibración de mezcla	15			Preparando espacio para mezcla	23
Esparciendo mezcla	31				
Total observaciones	154		146		85
Total Porcentual	40%		38%		22%

CUADRO 89. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD DE MEZCLA Y COLADO DE CONCRETO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Mezclando concreto	48	Conversando	97	Preparando material para mezcla (cubicando)	53
Colando concreto	51	Detenido	53	Transportando materiales	15
Vibración de mezcla	16			Preparando espacio para mezcla	21
Esparciendo mezcla	31				
Total observaciones	146		150		89
Total Porcentual	38%		39%		23%

CUADRO 90. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD DE MEZCLA Y COLADO DE CONCRETO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Mezclando concreto	47	Conversando	90	Preparando material para mezcla (cubicando)	53
Colando concreto	53	Detenido	49	Transportando materiales	16
Vibración de mezcla	18			Preparando espacio para mezcla	27
Esparciendo mezcla	32				
Total observaciones	150		139		96
Total Porcentual	39%		36%		25%

CUADRO 91. MUESTREO 1 PRODUCTIVIDAD DE DESENCOFRADO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Quitando panel	14	Conversando	60	Transportando panel	14
Quitando madera	46	Ocioso	67	Acomodando panel	23
Extrayendo prensas y amarras	107	Buscando herramienta	23	Guardando prensas y otras herramientas	5
Aflojando panel	26				
Total observaciones	193		150		42
Total Porcentual	50%		39%		11%

CUADRO 92. MUESTREO 2 PRODUCTIVIDAD DE DESENCOFRADO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Quitando panel	20	Conversando	62	Transportando panel	6
Quitando madera	51	Ocioso	79	Acomodando panel	7
Extrayendo prensas y amarras	117	Buscando herramienta	13	Guardando prensas y otras herramientas	6
Aflojando panel	24				
Total observaciones	212		154		19
Total Porcentual	55%		40%		5%

CUADRO 93. MUESTREO 3 PRODUCTIVIDAD DE DESENCOFRADO					
Trabajo Productivo		Trabajo Improductivo		Trabajo Contributivo	
Quitando panel	22	Conversando	63	Transportando panel	8
Quitando madera	53	Ocioso	70	Acomodando panel	8
Extrayendo prensas y amarras	120	Buscando herramienta	9	Guardando prensas y otras herramientas	4
Aflojando panel	28				
Total observaciones	223		142		20
Total Porcentual	58%		37%		5%

Referencias

- Yepes, V. 2015. **COSTE, PRODUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE MAQUINARIA PARA CONSTRUCCIÓN.** Valencia, España. Editorial Universitat Politècnica de València
- Peurifoy, R. 1975. **MÉTODOS, PLANEAMIENTO Y EQUIPOS DE CONSTRUCCIÓN.** México. Editorial McGraw-Hill.
- Ibáñez, W. 2011. **COSTOS Y TIEMPOS EN CARRETERAS 2° EDICIÓN.** Lima, Perú. Editorial Macro E.I.R.L., 612p.
- Ibáñez, W. 2012. **MANUAL DE COSTOS Y PRESUPUESTOS DE OBRAS VIALES 1° EDICIÓN.** Lima, Perú. Editorial Macro E.I.R.L.
- Vargas, R. 1999. **LA MAQUINARIA PESADA EN MOVIMIENTO DE TIERRAS (DESCRIPCIÓN Y RENDIMIENTO).** Tesis final de graduación por el grado de licenciatura en Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de la Construcción. Cartago, Costa Rica. 74p.
- Malpica, C. 2014. **EVALUACIÓN DE RENDIMIENTOS DE EQUIPOS EN LAS OPERACIONES DE MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN EL MINADO CERRO NEGRO YANOCCHA-CAJAMARCA.** Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú 79p.
- Medina, A. 2017. **MAQUINARIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VÍAS.** Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica
- Camacho, D. 2016. **ANÁLISIS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS, MEDIDA DE PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTOS EN EL EDIFICIO TIC'S DEL ITCR.** Tesis final de graduación por el grado de licenciatura en Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de la Construcción. Cartago, Costa Rica. 186p.
- Padilla, A. 2016. **PRODUCTIVIDAD Y RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA PARA ALGUNOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS SELECCIONADOS EN LA EJECUCIÓN DEL EDIFICIO ISLHA DEL ITCR.** Tesis final de graduación por el grado de licenciatura en Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de la Construcción. Cartago, Costa Rica. 186p.
- Cadena, V. 2013. **ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCTIVIDAD Y SU INFLUENCIA EN EL MOVIMIENTO DE TIERRAS POR MÉTODOS MÉCANICOS.** Tesis final de graduación por el grado de licenciatura en Ingeniería Civil. Instituto. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. 219p.
- CATERPILLAR INC. 2009. **MANUAL DE RENDIMIENTO CATERPILLAR 39.** Illinois, USA.
- Organización Internacional del Trabajo. 2003. **TASAS DE PRODUCTIVIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN BASADA EN MANO DE OBRA.** Lima, Perú.
- Araya, I. 2015. **HERRAMIENTA PARA LA ESTIMACIÓN DE COSTOS BASADA EN LOS RENGLONES DE PAGO DEL CR-2010, PARA EL PRIMER PROGRAMA DE LA RED VIAL CANTONAL.** Tesis para

optar por el grado de licenciatura en Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.

Cherné, J. y Aguilar, A. (2012). **MOVIMIENTOS DE TIERRAS**. Lima, Perú.

Contraloría General de la República. 2006. **LICITACIÓN PÚBLICA**. San José, Costa Rica.

s.a. 2018. **CARRETERAS Y SUS COMPONENTES**.

Ministerio de Hacienda, República de Costa Rica. 2006. **LEY Y REGLAMENTO DE CONTRATACIÓN ADMINISTRATIVA**. San José, Costa Rica.

Asamblea Legislativa de Costa Rica. 2005. **LEY 8488 DE EMERGENCIAS Y PREVENCIÓN DEL RIESGO**. San José, Costa Rica.

Botero, F. 2007. **ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS Y CONSUMOS DE MANO DE OBRA EN ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN**. EAFIT Universidad. Medellín, Colombia.

Leandro, A. 2016. **APUNTES DEL CURSO DE DISEÑO DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS. ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**, Tecnológico de Costa Rica.

Sandoval, M. 2015. **APUNTES DEL CURSO COSTOS DE CONSTRUCCIÓN**. Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.

Salinas, H. 2010. **ESTADÍSTICA: CONCEPTOS DE VARIANZA Y DEFINICIONES**. Universidad de Atacama.

Lozano B, 2013. **MAQUINARIA PARA EL MOVIMIENTO DE TIERRAS**. Lima, Perú.

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LANAMME. 2017. **MATERIAL DEL CURSO INSPECTORES VIALES**. San José, Costa Rica.