

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS COMERCIALES
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA CIVIL



TRABAJO MONOGRAFICO
Para optar al título de Ingeniero Civil

TEMA:

Propuesta del proceso constructivo de las terrazas para la urbanización Las Sierritas ubicada en la comarca Santo Domingo, Managua, Nicaragua desarrollado en el segundo semestre del 2024.

TOMO I.

Documento Técnico de investigación.

Autores:

1. Br. Allan David Castillo Robleto
2. Br. Laura Elena Moreno Rivera

DOCENTE:

Arq. Jorge Katin
Coordinador de Arquitectura e Ingeniería Civil

Managua, Nicaragua, 26 de diciembre 2024



DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios, porque me ha sostenido en todo tiempo. Porque ha sido fiel en su palabra y ha cumplido cada una de sus promesas en mi vida. Puedo decir Eben-ezer “HASTA AQUÍ ME HA AYUDADO JEHOVA”

Doy gracias a mi madre, porque con su ejemplo de Valentía, Honestidad y determinación estoy convencido que planto en mi la semilla correcta para que yo pudiera dar este paso.

Agradezco a mi Esposa, porque me ha acompañado, animado y muchas veces empujado para no retroceder. Ha sido definitivamente mi ayuda idónea.

Y dedico este logro a mis hijos ALLAN y DAVID, porque han sido el principal motivo para no detenerme.

“Aunque la visión tardará aún por un tiempo, más se apresura hacia el fin, y no mentira; aunque tardare, espéralo porque sin duda vendrá, no tardará.

Habacuc 2:3

Br. Allan David Castillo Robleto



DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

Dedico esta monografía principalmente a Dios por haberme permitido llegar hasta este paso tan importante de mi carrera porque me ha cuidado y amado en cada paso que doy.

Agradezco a mi madre por su cariño, amor y apoyo en todo momento y a mi padre que, aunque físicamente no está, sé que estaría orgulloso y feliz por este momento al igual que lo estoy yo.

A mi esposo porque ha sido pilar en todo tiempo, me ha empujado, aconsejado y ha sostenido mi mano para poder llegar a tener este logro y culminar la carrera.

Y mis hijos por ser esa parte motivacional de mi vida y se que este logro es un fundamento para sus vidas.

Br. Laura Elena Moreno Rivera



RESUMEN

El conocimiento adquirido en la asignatura de explotación de equipos es el de conocer los diversos usos de la maquinaria básica que se utiliza en la construcción, principalmente, de las vías terrestres. En el proceso de la adquisición de este conocimiento, se detalla la forma como se cuantifican los rendimientos de estas máquinas, así como los tiempos de trabajo que se requieren para llevar a cabo las actividades donde intervienen en el desarrollo de obras civiles.

Es un hecho que para la ejecución de obras civiles, la Ingeniería es empleada en gran medida, y que las demandas de la sociedad para desarrollar proyectos que ayuden al progreso de la humanidad, cada día son más comunes; por tal razón, las obras de ingeniería civil se hacen más avanzadas para responder a las exigentes necesidades de la sociedad.

La denominada maquinaria pesada, se utiliza para la elaboración de todo tipo de obra, desde construcción de viviendas, hasta proyectos que desafían el ingenio humano como túneles o puentes que unirán continentes. Es así que, sin la ayuda de estos equipos y tecnologías no se podrían llevar a cabo los proyectos que se plantean para un desarrollo.

Es precisamente el desarrollo de proyectos en Nicaragua, lo que exige a la Ingeniería Civil hacer obras de alta calidad; en esta labor cobra importancia una actividad fundamental, denominada movimiento de tierra, que es el conjunto de actividades que se realizan en un terreno para la ejecución de una obra. Dichas actividades deben ser ligadas a un plan estratégico que inicia no solo con la estimación de obra, sino con la adecuada planeación para la ejecución de los trabajos de la manera más conveniente, de ahí su gran importancia en todo proyecto ingenieril.



Muchas veces los Ingenieros Civiles o Arquitectos, se preocupan por la elaboración de presupuestos que permiten garantizar la optimización de los recursos, así como de la escogencia de la maquinaria para la ejecución de un proyecto, pero no siempre esto garantiza la buena confección de la obra, y es precisamente este el interés de la presente investigación, ya que se debe planear y diseñar técnicas administrativas, así como establecer mecanismos adecuados de comunicación entre los involucrados en este proceso, para el empleo de maquinarias en obras de movimiento de tierras, analizando la función y aplicando variables que permitan mejorar la productividad del equipo, en cuidado con la gestión de adecuados procesos de mantenimientos.



ABSTRACT

The knowledge acquired in the course of equipment operation is to know the different uses of the basic machinery used in construction, mainly in land roads. In the process of acquiring this knowledge, it is detailed how to quantify the performance of these machines, as well as the working times required to carry out the activities where they intervene in the development of civil works.

It is a fact that for the execution of civil works, engineering is used to a great extent, and that the demands of society to develop projects that help the progress of humanity are more common every day; for this reason, civil engineering works are becoming more advanced to meet the demanding needs of society.

The so-called heavy machinery is used for the development of all types of works, from housing construction to projects that challenge human ingenuity such as tunnels or bridges that will unite continents. Thus, without the help of these equipment and technologies, it would not be possible to carry out the projects that are proposed for development.

It is precisely the development of projects in Nicaragua that requires high quality civil engineering works; in this work a fundamental activity, called earth moving, becomes important, that is the set of activities carried out on a site for the execution of a work. These activities must be linked to a strategic plan that begins not only with the



estimate of work, but with the proper planning for the execution of the works in the most suitable way, hence its great importance in any engineering project.

Civil engineers or architects are often concerned with drawing up budgets that ensure the optimization of resources, as well as the choice of machinery for the execution of a project, but this does not always guarantee the good execution of the work, and it is precisely this which is of interest to the present research, since administrative techniques must be planned and designed, as well as appropriate communication mechanisms established between those involved in this process, The use of machinery in earthmoving works, analyzing the function and applying variables that allow to improve the productivity of the equipment, taking care of the management of adequate maintenance processes.



ÍNDICE

Capítulo I. Generalidades	10
1.1 Introducción	10
1.2 Antecedentes	11
Capítulo II. La problemática	13
2.1 El problema	13
2.2 Objetivos	14
2.3 Justificación	15
Capítulo III: Marco teórico	16
3.1 Generalidades	16
3.2 Conceptos, definiciones	18
3.2.1 Equipos de movimiento de tierra	20
3.2.2 Maquina para Movimiento de tierra	22
3.2.3 Productividad	33
3.2.4 Mantenimiento	37
Capítulo IV: Marco jurídico	40
4.1 Normativas nacionales	40
4.2 Aspectos legales del proyecto	40
Capítulo V: Diseño metodológico	41
5.1 Tipo de investigación	41
5.2 Descripción del Área de estudio	42
5.3 Consideraciones de la empresa constructora	46
5.4 Resumen de atrasos	52
5.5 Gestión de mantenimiento	52
5.6 Planos	53
5.7 Diagrama metodológico	54
Capítulo Vi: Análisis de resultado	56
6.1 Descripción del terreno	57
6.2 Cantidad de obra	57



6.3 Balance / Selección de equipos	59
6.4 Estimación de producción	70
6.5 Programación física	91
Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones	97
7.1 Conclusiones	97
7.2 Recomendaciones	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
ANEXOS	100
Anexo 1: Programación de ejecución física.	101

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

ÍNDICE DE TABLAS.



Capítulo I. Generalidades

1.1 Introducción

Actualmente se observa como avanza la tecnología de una manera acelerada, en la que se ponen a la disposición de profesionales y estudiantes de la ingeniería civil diversas herramientas para trabajar proyectos con una mejor calidad y exactitud.

Los movimientos de tierra son actividades constructivas muy frecuentes en la ejecución de la infraestructura vial, el desarrollo urbano, social e industrial. Estas actividades son competencia de los profesionales de la construcción y en especial de los ingenieros civiles, por la tal razón deben ser estudiadas para ser capaces de diseñar y construir con eficiencia tales trabajos.

La idea fundamental de este trabajo es detallar los procedimientos y uso de una herramienta muy útil para cálculo de movimiento de tierras, aclarando a los lectores que únicamente se enfoca este documento en lo que se refiere al proceso constructivo de la terracería de obras verticales y terracería vial calculando los volúmenes de obra y no al diseño geométrico de carreteras.

Las características que se deben considerar en el cálculo de volúmenes de tierra para una terracería implican tareas tales como: “alineación horizontal, alineación vertical, sección transversal y longitudinal”.

Algo muy importante y que no debe descartarse al momento de utilizar la tecnología para desarrollar proyectos de ingeniería civil, es el criterio suficiente que se debe tener para el desarrollo de la cuantificación de movimiento de tierras.

1.2 Antecedentes

Hace algunas décadas un ingeniero de costos sólo se concretaba en analizar unitariamente cada concepto de obra, dejando al futuro superintendente y residentes, la tarea de proponer tamaños de equipo, esto debido a que en épocas pasadas se trabajaba cada obra en base a la experiencia de proyectos ya ejecutados, dejando un poco limitado la interrelación entre aquellos que planteaban la estrategia y aquellos que ejecutaban los proyectos de movimiento de tierra, principalmente por las muchas limitaciones teóricas y de maquinaria que existía.

Pero el desarrollo de una obra de movimiento de tierra va más allá de la escogencia del tipo de máquina a utilizar y de la estimación de costos unitarios poco precisos en épocas pasadas. Fue necesario poner atención al entorno en el que se desarrolla el proyecto, las condiciones del terreno y el proceso de estimación de factores que influían en la producción de los equipos utilizados para fines específicos. Se desarrollaron técnicas y planes estratégicos a partir de comparaciones entre un proyecto y otro. Fue así que la experiencia jugó un papel importante para crear la teoría no solo para los fabricantes de maquinaria pesada, sino para aquellos que las emplean.

A medida que se van generando nuevos proyectos de ingeniería, la experiencia de aquellos vinculados con el movimiento de tierra ha provocado intuir en nuevas teorías de administración de maquinaria, considerando nuevos factores y técnicas de aplicación, así como estimación, acompañado de estrategias de mantenimiento de maquinaria pesada.

Por ello, a lo largo del tiempo se han creado nuevos conceptos que permiten que el ingeniero tenga un mejor manejo de la estimación y consideración de un proyecto de movimiento de tierra, como lo son Procesos, Sistemas administrativos y Sistemas productivos que han permitido el éxito de una organización, que de forma



directa depende de la eficiencia del conjunto de técnicas y procedimientos que se utilizan diariamente para alcanzar las metas.

Adicionalmente, este tipo de trabajos se han enfocado dentro de la organización, experiencia y trabajo diario de cada directivo, supervisor y empleado, constituyendo aspectos vitales para el enriquecimiento y consecuente fortalecimiento de las experiencias empleadas por las empresas constructoras.

Capítulo II. La problemática

2.1 El problema

Los métodos para el cálculo de movimiento de tierra que se implementaban a mano o por medio una plantilla en Excel requería tiempo para desarrollarlo, después dibujarlo; todo esto basándose que, si por motivos ajenos al trabajo se cambian algunos de los datos, se tenía que volver a calcular desde el inicio.

La idea fundamental de este trabajo es determinar el equipo para realizar el movimiento de tierra, detallar los procedimientos y el personal requerido.

Algo muy importante y que no debe descartarse al momento de utilizar la tecnología para desarrollar proyectos de ingeniería civil, es el criterio suficiente que se debe tener para el desarrollo de la cuantificación de movimiento de tierras.

Lo que se pretende es crear una pauta de análisis y cálculo del movimiento de tierra para la construcción de una terracería de la III y IV etapa de la urbanización Las Sierritas.

Cuando se está preparando el cálculo de movimiento de tierra, se realizan las siguientes preguntas:

- ¿Cómo hacer el cálculo de movimiento de tierra?
- ¿Qué se hace en el movimiento de tierra?
- ¿Cómo se calcula el metro cúbico de tierra?
- ¿Qué actividades están involucradas en la partida de movimiento de tierra?



2.2 Objetivos

Objetivo General:

Determinar el proceso constructivo de las terrazas para la urbanización Las Sierritas ubicada en la comarca Santo Domingo, Managua, Nicaragua desarrollado en el segundo semestre del 2024.

Objetivos Específicos:

1. Conocer los tipos de maquinaria empleadas en proyectos de movimiento de tierra, que permitan una mejor elección de las mismas, de acuerdo a sus características.
2. Analizar la función y rendimiento de los principales equipos empleados en movimiento de tierra, específicamente en la ejecución de terrazas y calles.
3. Determinar estrategias que faciliten el mejoramiento de la productividad aplicada a la maquinaria para la estimación de cantidades de obra, así como, técnicas en gestión de mantenimiento de maquinaria que brinden el buen funcionamiento del equipo.

2.3 Justificación

La experiencia en el campo de los proyectos de movimiento de tierra demuestra que existen en muchos casos, procesos de ejecución que no se trabajan de la manera adecuada, debido a que en el desarrollo de las actividades no se consideran o no se establecen adecuadas estrategias, tanto de planeación, como de logística, auxilio de recursos técnicos que limitan el buen desarrollo de la obra. De esta manera se hace necesario crear metodologías de administración para desarrollar una buena ejecución en cada etapa de la obra.

Es imperioso que las etapas de desarrollo del movimiento de tierra, sean vistas como un proceso; que indica toda secuencia de pasos, tareas o actividades que conducen a un cierto producto, el cual es el objetivo de dicho proceso. Propósito por lo cual esta tesis se basa en el análisis evaluativo de los procesos actuales con el que se utiliza la maquinaria para que a partir de los resultados se establezca una adecuada secuencia de pasos que ayuden a desarrollar de manera correcta todos aquellos procesos por el cual pasa una obra de movimiento de tierra, desde la estimación de cantidad de obra hasta ajustar planes de mantenimientos para la maquinaria que se utilizara.

Para ello, se evaluarán técnicas administrativas para la aplicación de maquinarias en obras de movimiento de tierra. La formulación de ésto permitirá obtener mejores resultados no solo al que realiza la estrategia, si no a quien administra la maquinaria en el frente de la obra, así como a todos aquellos ligados al buen funcionamiento del equipo como principal activo.

Capítulo III: Marco teórico

3.1 Generalidades

El cálculo del volumen de tierra a excavar no es solo un mero trámite administrativo, sino que tiene un impacto significativo en varios aspectos de un proyecto de construcción:

Planificación y presupuesto: Un cálculo preciso del volumen de tierra permite estimar con mayor exactitud la cantidad de materiales necesarios, como tierra, arena, grava y hormigón. Esto, a su vez, facilita la elaboración de un presupuesto más preciso y realista, evitando sorpresas desagradables en el transcurso del proyecto.

Logística y gestión de recursos: Conocer el volumen de tierra a excavar permite optimizar la logística del proyecto, planificando de manera eficiente el transporte de materiales, la asignación de maquinaria y la organización de la mano de obra. Esto se traduce en un uso más eficiente de los recursos disponibles y en una reducción de los costos operativos.

Control del proyecto y seguimiento de avances: El cálculo del volumen de tierra excavado sirve como indicador del progreso del proyecto. Al comparar el volumen excavado con el volumen total planificado, se puede evaluar el avance del proyecto y detectar posibles desviaciones o retrasos. Esta información es vital para el control del proyecto y la toma de decisiones oportunas.

Seguridad y prevención de accidentes: Un cálculo preciso del volumen de tierra a excavar permite diseñar taludes seguros y estables, evitando posibles derrumbes que podrían poner en riesgo la seguridad de los trabajadores y la integridad de las estructuras circundantes.



Para obtener un cálculo preciso del volumen de tierra a excavar, es importante seguir estos consejos:

Realizar un levantamiento topográfico detallado del terreno: Esto permitirá obtener información precisa sobre las dimensiones y la forma del terreno.

Utilizar herramientas y métodos adecuados: La elección de las herramientas y métodos dependerá de la complejidad del terreno y la precisión requerida.

Revisar cuidadosamente los cálculos: Es importante verificar los cálculos para evitar errores que podrían tener consecuencias significativas.

Considerar el factor de esponjamiento: El factor de esponjamiento es un factor que se utiliza para ajustar el volumen de tierra excavada debido a la expansión del material tras la excavación.

Consultar con profesionales: Si se tiene dudas sobre el cálculo del volumen de tierra a excavar, es recomendable consultar con profesionales de la construcción o ingenieros especializados en excavaciones.

3.2 Conceptos, definiciones

Los movimientos de tierra son actividades constructivas muy frecuentes en la ejecución de la infraestructura vial, el desarrollo urbano, social e industrial de un país. Estas actividades son de la competencia de los profesionales de construcción y en especial de los Ingenieros Civiles, por tal razón deben ser estudiadas para ser capaces de diseñar y construir con eficiencia tales trabajos.

El éxito de un contratista en una obra de movimiento de tierra está basado principalmente en la posibilidad de ofrecer sus servicios a un costo más bajo que los de la competencia, es decir, para que un movimiento de tierra sea rentable, significa alcanzar la más alta producción posible por horas de trabajo, minimizando los costos de producción, esto solo se puede conseguir si es capaz de disponer de la maquinaria adecuada o idónea para cada trabajo específico, y realizando mediante controles de calidad cada uno de los procesos.

Es necesario que las etapas de desarrollo del movimiento de tierra, sean vistas como un proceso y no como actividades aisladas, de forma tal que se consideren como una secuencia de pasos, tareas o actividades que conducen a un cierto producto, el cual, es el objetivo de dicho proceso, es decir, un proceso es la secuencia de fases consecutivas en la elaboración de un producto.

A su vez, los procesos productivos, deben ser vistos como un sistema. Entendiendo por sistema, un conjunto organizado de partes interactuantes e independientes, que se relacionan formando un todo unitario y complejo. Cabe aclarar que las partes que componen al sistema, no se refieren al campo físico (objetos), sino más bien funcional. De este modo las partes pasan a ser funciones básicas relacionadas por el sistema. Al definir los procesos productivos como sistemas, se está



asegurando que estos cuenten con propósitos claramente definidos, con objetivos y con un conjunto de tareas que conlleven a la obtención de resultados.

Un sistema de producción será entonces, un conjunto de objetos que se relacionan entre sí para procesar insumos y convertirlos en el producto definido por el objetivo del sistema la cual consta de tres elementos básicos.

Entradas del sistema

Son los recursos mediante los cuales el sistema debe ser alimentado, es decir, ingresos del sistema que pueden ser recursos materiales, recursos humanos o informativos. Las entradas constituyen la fuerza de arranque que suministra al sistema sus necesidades operativas.

Proceso

Conjunto de operaciones a través de las cuales los insumos se transforman en el producto terminado. Se debe saber siempre cómo se efectúa esta transformación. Incluye tecnología de los activos productivos de materiales indirectos, los métodos y el conocimiento.

Salidas

Son los resultados que se obtienen de procesar las entradas. Al igual que las entradas estas pueden adoptar la forma de productos, servicios e información. Las mismas son el resultado del funcionamiento del sistema o alternativamente, el propósito para el cual existe el sistema.

Las salidas de un sistema se convierten en entrada de otro, que la procesará para convertirla en otra salida, repitiéndose este ciclo indefinidamente. Definiendo el

movimiento de tierra como el conjunto de movimientos de una parte de la superficie de la tierra, de un lugar a otro, y en su nueva posición, crear una nueva forma y condición física deseada al menor costo posible.

3.2.1 Equipos de movimiento de tierra

Equipo o maquinaria estándar

Es aquel tipo de maquinaria especializada que se fabrica en serie, de la cual existe en el mercado variedad de modelos, tamaños y formas de trabajo, las que se adecuan a diversas labores, tienen la ventaja adicional de que para ellas normalmente existen repuestos y su operación es relativamente estándar.

Equipos o maquinaria especial

Son aquellos que se fabrican para ser usados en una sola obra de características especiales o para un tipo de operación específica, es decir, que su origen está en una necesidad puntual que es satisfecha mediante su diseño y construcción.

Otra forma de clasificar los equipos de construcción, es atendiendo a la actividad que desempeñan en el desarrollo de la obra, por lo que se dividen en:

Equipos de excavación y movimiento de tierras

Los equipos de excavación y movimiento de tierra en su mayoría componen la familia de palas y excavadoras, las que se desarrollaron a partir de la creación de una máquina mecánica (alrededor de 1836) que duplicó el movimiento y efectividad del trabajo de un hombre cavando con una pala de mano. Entre ellos tenemos: Tractor,



Bulldozer, Cargador frontal, Pala Mecánica, Draga, Excavadora, Retroexcavadora, Zanjadora.

Equipos de transporte horizontal de materiales

Se considera dentro de este grupo a todos aquellos equipos destinados al acarreo de material dentro de una obra. Entre estos se cuentan: Camiones, Vagones, Traíllas, Cintas transportadoras, Trenes.

Equipos de transporte vertical de materiales

El principal equipo de transporte vertical de materiales es la grúa, que se usa para alzar, bajar y transportar carga de un punto a otro dentro de la zona de trabajo, existen grúas fijas o móviles, hidráulicas, telescópicas y con pluma la que se conoce como de tipo de torre y es la que se usa más en construcción.

Equipos de compactación y terminación

La compactación es el proceso de incrementar la densidad de un suelo mediante la aplicación de fuerzas mecánicas. Las cuatro fuerzas que se usan para compactar son: carga estática, vibración, impacto y amasado. Como equipos de compactación se incluyen los siguiente: Placas compactadoras vibratorias y compactadores neumáticos, Rodillos lisos, Rodillos neumáticos, Rodillos pata de cabra.

Equipos de producción de hormigón

Entre estos equipos podemos mencionar a: Plantas mezcladoras, Camiones mixer, Bombas, Vibradores.

Otros equipos y herramientas

Son los equipos que sirven como accesorios para los equipos, para que estos puedan desempeñar otras funciones, entre ellos tenemos: Compresores de aire (Estacionaria, Móvil o Portátil), Bombas de agua, Martinetes, Perforadores.

3.2.2 Maquina para Movimiento de tierra

Ahora podemos hablar un poco más acerca de las máquinas que comúnmente son utilizadas en Nicaragua para la ejecución de obras viales, así sea para el movimiento de tierra, compactación, corte excavación u otra actividad, siendo los siguientes:

- Bulldozers o topadoras
- Motoniveladora
- Excavadoras
- Retroexcavadora
- Cargadores frontales
- Vibro compactadoras
- Camiones

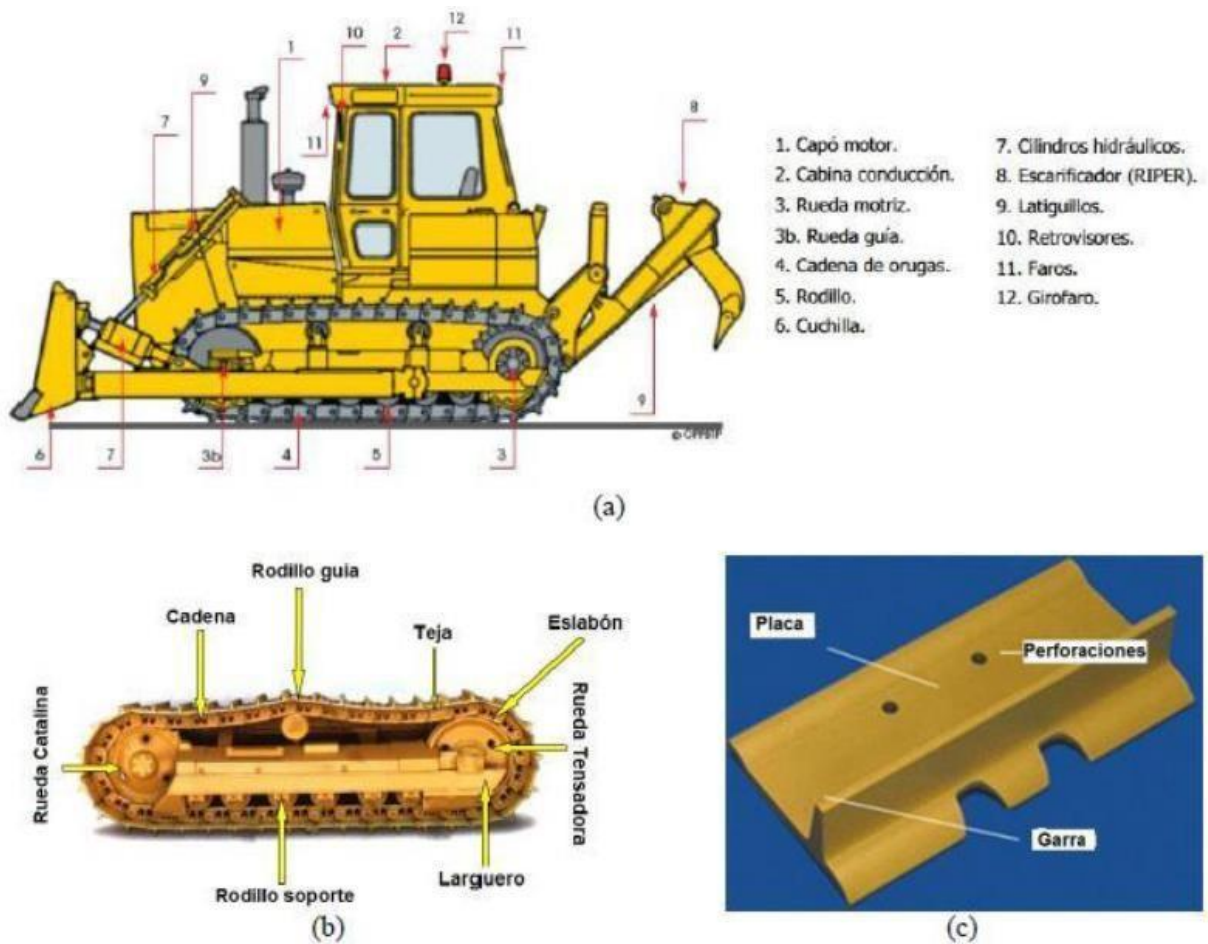
Entonces una vez conocidos los equipos más utilizados para actividades de movimiento de tierra podemos hablar un poco más acerca de aquellas maquinarias primordiales para obras de este tipo:

Bulldozers.

El Tractor con una gran potencia y robustez en su estructura, diseñado especialmente para el trabajo de corte (excavando) y al mismo tiempo empuje con la hoja (transporte). En esta máquina son montados diversos equipos para poder ejecutar su trabajo, además, debido a su gran potencia, tiene la posibilidad de empujar o apoyar a otras máquinas cuando estas lo necesiten (Ej. una mototrailla).

Figura 1:

Bulldozer



Fuente: Manual de rendimiento de maquinaria Caterpillar. (2016). Edición 31

Estas máquinas se utilizan durante el proyecto de construcción en operaciones tales como: limpieza del terreno de árboles y maleza, apertura de brechas en terrenos



rocosos, movimientos de tierra en estanques, cortes carreteros u otros, esparcimiento de rellenos de tierra y limpieza de escombros en sitios de construcción. Algunos modelos poseen un roter o diente escarificador, que permite la remoción de roca o terrenos duros.

Motoniveladora.

Están compuestas de un tractor de cuatro ruedas, que en su parte delantera tiene un brazo largo o bastidor apoyado en un tren delantero de dos ruedas, las cuales son de dirección. La motoniveladora está equipada con una hoja de corte dotada de movimientos vertical y horizontal, y de rotación y de translación en su propio plano, la misma está montada entre su eje delantero y sus ejes traseros de tracción. El movimiento horizontal de la hoja varía de 0° a 180° en relación al eje longitudinal de la máquina. En el plano vertical su inclinación puede llegar a 90° en relación al suelo.

Esta gran movilidad de la hoja de corte le permite situarse con precisión en diversas posiciones, puede girar horizontalmente mediante la rotación del círculo de giro, e inclinarse lateralmente con relación a su eje vertical, también puede inclinarse con relación a su eje horizontal, además puede desplazarse vertical y lateralmente, lo cual le permite cortar, mezclar, nivelar y botar los materiales de exceso.

Las motoniveladoras tienen amplia maniobrabilidad y algunas poseen radio corto de viraje según el modelo y fabricante, debido a su bastidor articulado y a las ruedas delanteras de viraje cerrado. Sus ruedas delanteras tienen inclinación lateral con respecto a sus propios ejes, lo que les permite adaptarse fácilmente a los desniveles del terreno, y soportar empujes laterales cuando trabaja con la cuchilla inclinada.

Por ser una máquina de comandos sensibles, usada en operaciones de acabado, su rendimiento operacional depende en gran manera de la buena planificación de las operaciones a ser ejecutadas, y de la habilidad del operador.

Son máquinas especialmente construidas para efectuar trabajos de mezclado, conformación, nivelación y afinado, entre los cuales se pueden citar los siguientes:

- Conformación y nivelación de Plataformas y de terraplenes
- Mezclado, revoltura y extendido de materiales
- Extendido de ripio y de mezclas asfálticas
- Re perfilado y afinado del movimiento de tierras
- Apertura y limpieza de cunetas de drenaje superficial
- Remoción y desbroce de vegetación
- Conformación y mantenimiento de taludes de corte
- Regularización de capas que serán compactadas en los terraplenes
- Mantenimiento de caminos en general

Figura 2:

Motoniveladora

Esquema



Fuente: Manual de rendimiento de maquinaria Caterpillar. (2016). Edición 31 **Excavadoras y retrocargadoras.**

Es una Máquina autopropulsada sobre llantas u orugas con un bastidor especialmente diseñado que monta a la vez un equipo de carga frontal y otro de excavación. Dentro de las retroexcavadoras encontramos equipos de trabajo mixto como las retrocargadora o mixtas las cuales tienen un equipo de cargue frontal y un equipo de excavación trasero.

La retroexcavadora es una máquina diseñada para realizar excavaciones por debajo de su nivel de sustentación.

Las retroexcavadoras son utilizadas para realizar obras civiles tales como acueductos, alcantarillados. En las actividades de excavaciones de brechas y

colocación de tuberías, así como también en proyectos de infraestructura como hidroeléctricas, vías, túneles entre otros,

Gracias a su alcance y productividad las retroexcavadoras han abierto paso a nuevas aplicaciones en excavaciones en general, trabajos de canteras y manejo de materiales, complementándose en otros casos con otros equipos de movimiento de tierra.

Máquina retroexcavadora de llantas

En la Retroexcavadora de neumáticos el tren de rodadura está compuesto de ruedas de caucho. Los órganos de mando de desplazamiento, dirección y frenos están en la cabina del conductor. La estabilidad durante el trabajo se asegura con estabilizadores independientes de las ruedas.

Figura 3:

Retroexcavadora de llantas o Backhoe

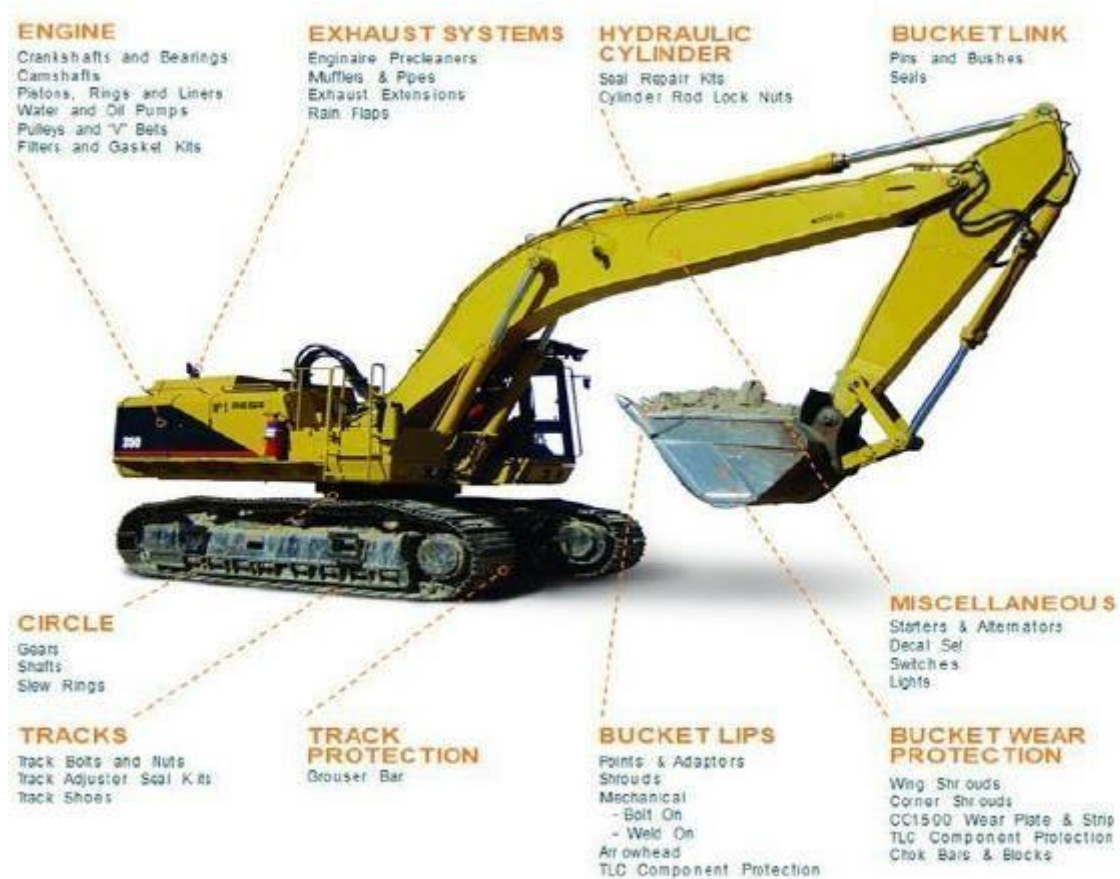


Fuente: Manual de rendimiento de maquinaria Caterpillar. (2016). Edición 31

Máquina retroexcavadora.

En las Retroexcavadoras de cadenas u orugas, el chasis está soportado por dos cadenas paralelas. Así mismo, los órganos de mando, igual que en la de neumáticos, se encuentran en la cabina del conductor

Figura 4:
Excavadora de oruga



Fuente: Manual de rendimiento de maquinaria Caterpillar. (2016). Edición 31

Cargadores frontales.

Es una herramienta de trabajo instalada sobre un tractor de orugas o llantas neumáticas, que sirve para elevar materiales desde el nivel de sustentación de la máquina hasta una altura determinada por las características geométricas de la misma máquina.

Cargadores son utilizados principalmente para:

Movimiento de tierras de materiales sueltos

Arranque de material sueltos Cargue de volquetas.

Transporte de material, (distancias cortas), hasta su punto de descarga:
tolvas,

Acopios intermedios y escombreras.

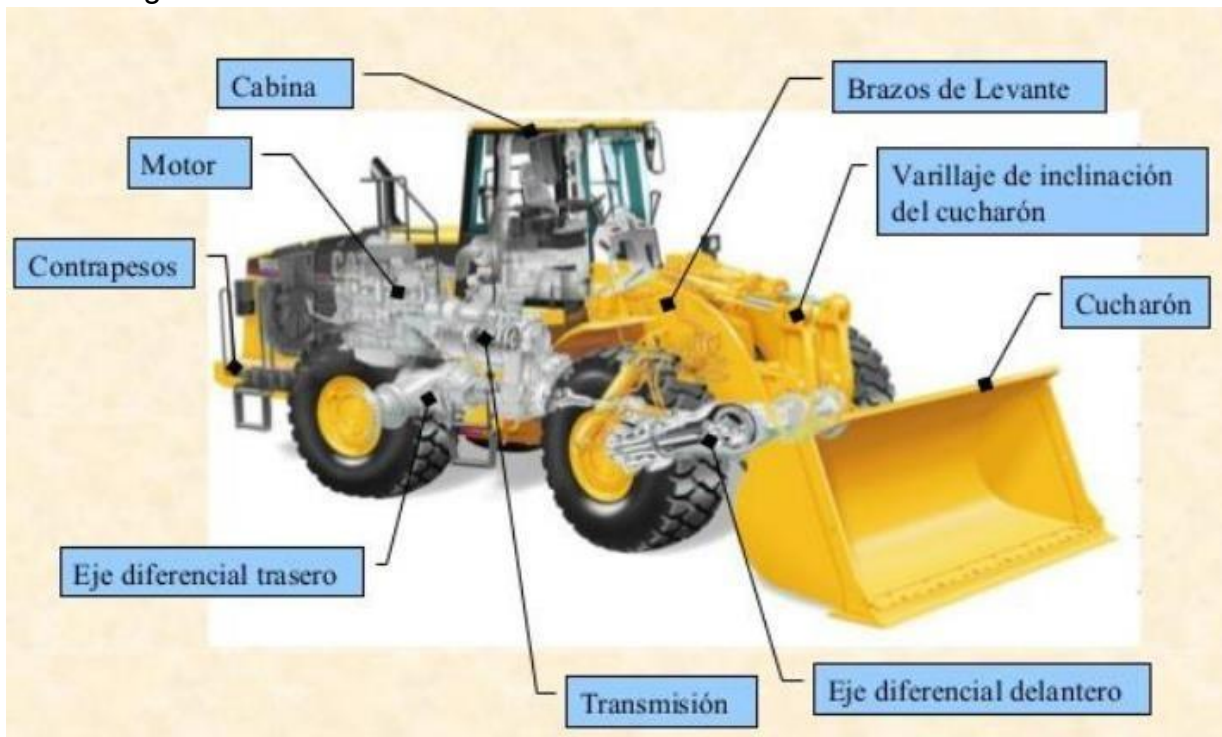
Rezaga de materiales producto de una voladura.

Construcción y limpieza de pistas de transporte.

Preparación de rampas y accesos.

Figura 5:

Cargador Frontal



Fuente: Manual de rendimiento de maquinaria Caterpillar. (2016). Edición 31

En su mayoría son articulados ruedas motrices direccionales, brazo, palanca de descarga, cilindros hidráulicos.

Compactadoras.

Estos equipos están diseñados para aumentar la densidad del suelo con el propósito de darle resistencia al mismo en dependencia del uso que se le va a dar, por ello es necesario conocer algunos conceptos básicos que ayudaran a entender el uso de estos equipos.

Compactación.

Es la operación mecánica de elevar la densidad del suelo, o sea el peso por unidad de volumen. Se acepta generalmente que la fuerza del suelo aumenta con la densidad. Hay tres factores importantes que afectan la compactación.

Granulometría del material

Contenido de Humedad

Capacidad Soporte

Tipos de Compactadores

El equipo de compactación se clasifica generalmente en los descritos a continuación:

Pata de Cabra

Vibratorio

Neumáticos

Pisones de alta velocidad

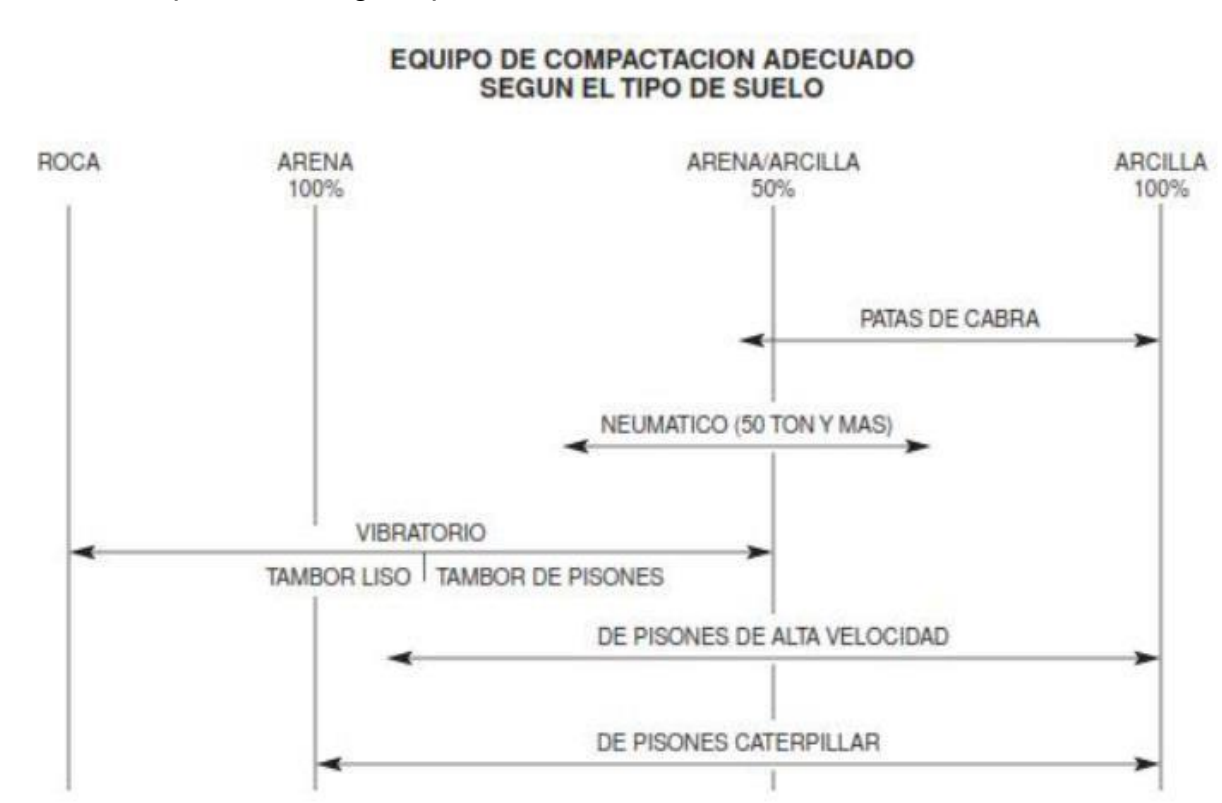
Ruedas Cortadoras

Existen también combinaciones de estos tipos, tales como el tambor vibratorio de acero liso.

Es necesario conocer el tipo de compactador que se debe utilizar según el tipo de suelo, por ello se presenta a continuación un esquema que permite de forma sencilla escoger el compactador adecuado:

Figura 6:

Compactación según tipo de suelo



Fuente: Manual de rendimiento de maquinaria Caterpillar. (2016). Edición 31

Camiones.

Las volquetas son la maquinaria más utilizada en cualquier tipo de obra civil. Son vehículos que poseen un dispositivo mecánico para volcar la carga que transportan en un cajón que reposa sobre el chasis del vehículo. La composición mecánica de la volqueta depende precisamente del volumen de material que pueda

transportar el cajón. Por tal razón, este tipo de maquinaria de carga cumple una función netamente de transporte ya sea dentro de la misma obra o fuera de ella.

Los volquetes se clasifican en:

Bastidor rígido: Son unidades de transporte cuyo chasis es rígido en este grupo se encuentran las volquetas sencillas de 7 m³ a más. Son utilizados para transporte de materiales de playa y movimientos de tierra con vías de acceso en buenas condiciones en cuanto a rodadura y especificaciones de vía.

Bastidor articulado: Son unidades de transporte en donde el chasis es articulado, lo cual permite el tránsito por terrenos más difíciles y son utilizados para movimientos de tierra masivos.

3.2.3 Productividad

Para la selección de equipos de construcción, depende de varios factores, como la productividad, la renta horaria, entre otros.

La productividad del equipo de construcción es una base primordial para su selección al planear una operación. Es la expresión empleada para asignar el rendimiento del equipo en una unidad de tiempo (normalmente una hora), donde la cantidad de tiempo depende principalmente de las condiciones del trabajo y de la dirección del mismo, así como, de la destreza del operador, y de la coordinación con las demás fuerzas de construcción. En este sentido es necesario manejar los siguientes conceptos:



Productividad Óptima (Qp)

Es la mejor productividad que puede esperarse de un equipo, está regida por las limitaciones de diseño del equipo y su determinación se basa en la situación ideal de que el equipo trabaje los 60 min de cada hora.

Productividad Normal (Qn)

Es la operación del equipo no automatizado con un régimen de producción un poco más bajo. Puede suponerse igual a la productividad óptima, durante 45 ó 50 min de cada hora.

$$Qn = fw \times Qp$$

Donde:

fw: factor de eficiencia el de trabajo que resulta al dividir la cantidad de minutos trabajados en una hora entre 60 minutos

Productividad real (Qr)

$$Qr = fp \times Qn = fw \times fp \times Qp = fa \times Qp$$

Factor de eficiencia del trabajo (fw)

Su promedio normal es 0.83 y su origen está en el porcentaje de trabajo de un equipo en una hora. Este factor es el resultado de un promedio estadístico obtenido en campo, el cual es calculado determinando el tiempo total de producción de un equipo



en un espacio de 60 minutos. Los resultados obtenidos basados en nuestra experiencia demuestran que el factor de eficiencia de trabajo está dado por la relación 50/60.

Esto quiere decir que el operador de maquinaria trabaja un promedio de 50 minutos por hora. Considerando la distracción, habilidad, nivel de precisión y comprensión del trabajo como los índices que más influyen en la pérdida de tiempo.

Factor de dirección del trabajo (fp)

Toma en cuenta las interrupciones de operación del equipo relacionados con la organización del trabajo y de la dirección del mismo. Se determinará según los criterios siguientes:

0-60 - 0,70 **Mala - Aceptable Organización.**

0,71 - 0,80 **Regular - Buena Organización.**

0,81 - 0,90 **Buena Organización.**

0,91 - 0,95 **Excelente Organización.**

Factor de productividad real (fa)

Es un factor de eficiencia general de operación que es el producto de:

$$fw \times fp.$$

También podemos mencionar algunas afectaciones a la producción de un equipo que deben ser consideradas a la hora de crear planes de ejecución y estimación de obras como lo son:

Tabla 1.

Factores de afectación a la producción de un equipo de construcción.

Conceptos	% afectación
Por lluvia	5% - 6%
Reparaciones	12% - 15 %
Roturas	18 % - 20%
Otras causas	5% - 7%

Fuente. Elaboración Propia

Los factores de afectación por lluvias están basados en trabajos realizados en la zona del pacifico y corresponden a un registro estadístico de bitácoras de campo obtenido por fiscales de equipos que acompañan la ejecución de la obra en periodos lluviosos.

Las reparaciones y roturas están consideradas por el estado del equipo que se encuentra ejecutando un proyecto, estos pueden variar significativamente en base al estado de la máquina. Generalmente estos datos se han obtenido del registro histórico de reparaciones o mantenimientos correctivos llevados por el encargado de taller de mecánica. Quedando registrados en el expediente de cada máquina.

Las afectaciones a la productividad, también está dado por causas muchas veces ajenas a la gestión que realiza la administración de la obra. En este caso estos registros corresponden a imprevistos que se desarrollan de forma casual y pueden considerarse estos como:

- Falta de combustible por parte del proveedor
- Fallos de equipos de fabrica
- Suministros Mecánicos
- Eventualidades fortuitas



El tiempo como medida para la ejecución de la obra también se debe tomar en cuenta al momento de realizar la selección del equipo, ya que esta depende directamente de las siguientes consideraciones de tiempo:

El tiempo permitido por el contrato de construcción.

La sincronización de las operaciones secuenciales.

Las variaciones de las tarifas de renta del equipo, con el tiempo que toma a los equipos realizar la operación.

3.2.4 Mantenimiento

Para profundizar sobre el mantenimiento de maquinaria de construcción, primero se necesita conocer los conceptos básicos presentados a continuación:

Mantenimiento Correctivo:

Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.

Mantenimiento Preventivo:

Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.

Mantenimiento Predictivo:

Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados y en ocasiones de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.

Mantenimiento Cero Horas (Overhaul):

Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer revisiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.

Mantenimiento en Uso:

Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (toma de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran



formación, sino tan solo entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

El “Punto óptimo del mantenimiento” es aquel que el costo de mantenimiento está influenciado por el costo de falla. Eso significa que la estrategia óptima de mantenimiento es aquella que minimiza el efecto de los componentes de costo, esto es “que el costo de reparación es menor que el costo de pérdida de producción”.

La generación de un plan de mantenimiento, obedece a una necesidad. Toda necesidad genera la asignación de recursos y toda asignación de recursos genera erogaciones de dinero.

Durante muchos años, el tipo de mantenimiento predominante ha sido el Preventivo, que consiste en la sustitución o reparación de componentes a intervalos fijos determinados ya sea en base a recomendaciones del fabricante del equipo o por estadísticas extraídas de los historiales. Pero esto no garantiza los niveles de confiabilidad requeridos en la actualidad, al mismo tiempo que lleva a un sobrecosto por sustitución de partes o lubricantes cuando todavía se encuentran aptos para el uso.

El Mantenimiento Predictivo se enfoca a los síntomas de falla que se identifican utilizando las distintas técnicas tales como análisis de lubricantes, análisis de vibraciones, y ensayos no destructivos como: radiografías, ultrasonido, termografía, etc. que permiten detectar los síntomas de inicio de falla de la maquinaria.

El mayor beneficio de la utilización de estas herramientas, es que se logra una alerta temprana que permite planificar una parada para corregir el problema, alcanzando de esta manera una mayor disponibilidad de la maquinaria y una reducción del número de fallas catastróficas.

Programa de Monitoreo de Condición (MBC):

1. Detectar condiciones que motivan una falla
2. Detectar problemas en la maquinaria
3. Evitar fallas catastróficas
4. Diagnóstico de causa de falla
5. Proyección de vida útil

Las técnicas de Monitoreo de Condición se pueden clasificar en:

1. Inspecciones de la maquinaria
2. Medición del desempeño
3. Monitoreo de las condiciones dinámicas de la maquinaria
4. Monitoreo de partículas de desgaste

Capítulo IV: Marco jurídico

4.1 Normativas nacionales

Para la redacción de esta investigación, se utilizó los siguientes documentos, para complementar los estudios académicos y redacción de la sintaxis técnica.

- ✓ Fondo de Inversión Social de Emergencias FISE. Catálogo de etapas y subetapas.
- ✓ Ministerio de Transporte e Infraestructura MTI (2008). Manual para revisión de costo y presupuesto.
- ✓ Especificaciones generales para la construcción de caminos, calles y puentes NIC 2000

La principal característica del NIC-2000 viene a ser como un documento contractual en que el Contratante no es exclusivamente el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), sino también cualquier otra institución estatal de la República de Nicaragua, Alcaldía, Organismos no Gubernamentales, Instituciones o Personas del Sector Privado, que deberán hacer uso de él cuando vayan a construir un camino, carretera o puente dentro del territorio nacional, así como para la construcción o rehabilitación de calles, puentes o viaductos en los municipios.

4.2 Aspectos legales del proyecto

El proyecto es del sector privado le pertenece a CERMONT con fondos propios de la empresa, el terreno será utilizado para la ampliación y construcción de la III y IV etapa en la Urbanización Las Sierritas en la comarca Santo Domingo, Managua Nicaragua.

Capítulo V: Diseño metodológico

5.1 Tipo de investigación

Esta investigación, según el nivel de profundidad fue descriptiva, porque se detallaron las actividades para la elaboración del proyecto.

Según el tiempo de ocurrencia la investigación fue prospectiva, ya que la información necesaria se recopiló a medida que se fue aplicando el método directo.

El enfoque de este estudio fue cuantitativo, para determinar el tipo de maquinaria y el tiempo de ejecución que conllevo cada una de las actividades del proyecto.

Se hizo uso del método deductivo para abordar los conocimientos relacionados con el sistema constructivo.

El método de análisis, fue imperativo para analizar y procesar la información bibliográfica y elaborar el marco teórico. De la misma manera, se hizo uso del método para examinar cual era la condición idónea de concluir el proyecto.

El método de síntesis, permitió redactar las conclusiones que se derivan del análisis de los resultados y las conclusiones del informe monográfico.

5.2 Descripción del Área de estudio

Antes de colocar la estructura de pavimento se deberá efectuar en el terreno natural los siguientes:

Retirar todos los objetos superficiales, arboles, troncos, raíces, piedras, basura etc.

En la excavación y corte en terrenos adyacentes a vías existentes se tomarán en consideraciones las cercanías de las casas, muros, garajes, y otras estructuras, no se permitirá que los materiales extraídos y colocados obstruyan la visibilidad desde las edificaciones existentes ni el libre y seguro desplazamiento de sus habitantes.

Dentro de los alcances del proyecto se contempla lo siguiente:

La base tendrá un espesor de 0.20m y estará conformado 100% material selecto tipo Agrenic.

La base se compactará en capas no mayor a 0.20m con su humedad óptima.

La compactación será del 98% como mínimo del Proctor Standar con la humedad optima del 14%.

El perfil de la superficie y base deberá ser el mismo que el requerido para la superficie de rodamiento. El límite de tolerancia permisible será de 1 cm como máximo.

Los rellenos y cortes en los lugares donde está considerado construir andenes tendrán un grado de compactación del 90% Proctor Stándar.

El andén de concreto de 2500 psi tendrá un espesor de 5cm con sisados 1.5cm y modulación de 1.5mts máximos, se construirán sobre una capa de arena 3cm de espesor.

El acabado final se dará a través de un fino arenillado después del sisado

Para la ejecución del proyecto se conocen las cantidades de obra a ejecutar, así como las condiciones de trabajo por parte del dueño. En este caso el dueño de la obra solicitó un tiempo estimado de entrega de 60 días máximo. Cada actividad comprende la secuencia descrita por el dueño y no está relacionada con un orden específico de ejecución. Dichas actividades fueron descritas por el dueño tal y como se muestra a continuación:

Abra y destronque

Limpieza del terreno que comprende la obra, se deberá remover 0.20 mts de capa vegetal como mínimo y deberá ser desalojado al vertedero autorizado o según lo acordado entre ambas partes.



Corte en terrazas

Se cortará el suelo descapotado y limpio libre de cualquier maleza o material que no sea considerado como apto por parte del dueño hasta llegar al nivel de diseño propuesto en los planos.

Se deberá escarificar 0.15 mts bajo el nivel de diseño incorporando agua al proceso para garantizar una compactación de 95% Proctor Standart.

Relleno y compactación con material de sitio en terrazas

El relleno deberá realizarse en capas no mayores de 0.20 mts. Se podrá utilizar el material de sitio como relleno a menos que el dueño indique lo contrario. Se deberá realizar pruebas de compactación por cada capa de material colocada cumpliendo con el 95% de Proctor Standart.

Corte en calle a nivel de andén

El nivel de andén peatonal deberá ser ajustado a un nivel no mayor a 0.11 mts sobre la rasante, garantizando una pendiente transversal de 2% en dirección al eje central en ambas bandas tal y como se muestra en la siguiente sección típica:

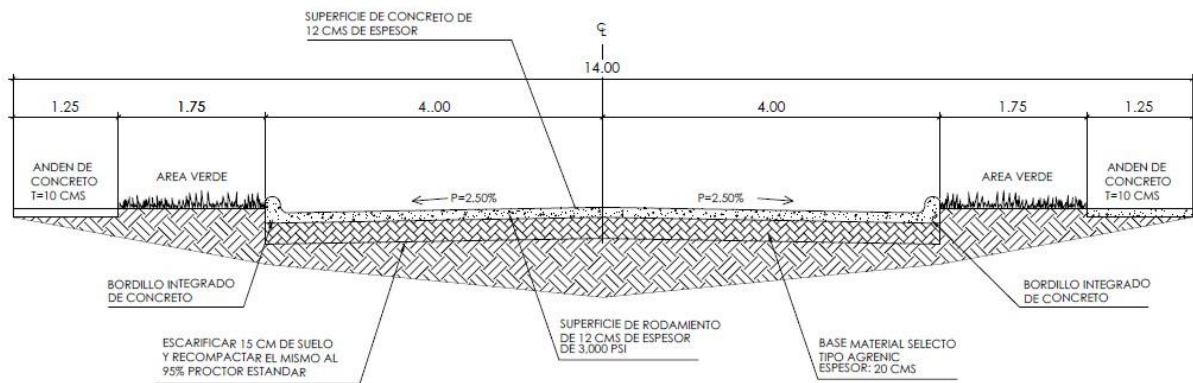
Donde el área sombreada corresponde al corte necesario para ajustar la cota de andén. Dicho material podrá ser utilizado como relleno a menos de que se indique lo contrario.

Corte en calle a nivel de sub rasante.

Comprende el corte necesario para llegar al nivel de sub rasante en calles y está dado por la siguiente sección típica:

Figura 7:

Sección de corte a nivel de Sub Rasante.



Fuente. Elaboración propia

Donde el área sombreada corresponde al corte necesario para ajustar la cota de sub rasante. Dicho material podrá ser utilizado como relleno a menos de que se indique lo contrario. Se deberá escarificar el nivel de sub rasante agregando agua al proceso para garantizar 90% Proctor Modificado.

Desalojo de material producto de corte en calles.

Desalojo de tierra sobrante producto del corte en calles, incluyendo extracción, carga, transporte y reposición en lugar fijado por la Dirección de Obra ubicado a 5km del proyecto.

Colocación de Base

Base

El material de Base debe ser material mejorado considerando las siguientes especificaciones de diseño:

- a) Material: 100% tipo Agrenic
- b) Compactación: Proctor Standar 98% Mínimo
- c) Las partículas gruesas de estos materiales deben ser duras y duraderas.

El diseño de niveles de terrazas y geométrico de calles deberá ser respetado y no se aceptarán modificaciones a menos que el dueño indique lo contrario.

Los trabajos de movimiento de tierra se ajustarán al cálculo de volúmenes adjunto en los planos de la obra.

Se entregarán en tiempo y forma todos los trabajos que en este proyecto se indican y únicamente se extenderán los plazos de entregas para atrasos justificados y aprobados por el dueño de la obra.

Carpeta de rodamiento

La carpeta será de concreto hidráulico MR-42 de 12cm de espesor. La transferencia de cargas será mediante trabazón de los agregados. En las juntas frías se instalarán pasa juntas en las transversales y barras de amarre en las juntas longitudinales.

Las varillas o barras pasa juntas deberán estar libres de cualquier imperfección o deformación que se restrinja su deslizamiento libre dentro del concreto, estas barras deberán estar engrasadas en toda su longitud.

La modulación de las losas deberá satisfacer la relación de esbeltez de 1.0-1.40 máximo. La longitud mayor de la losa será de 2.00 mt y el ancho máximo será de 2.00mts.

Todas las juntas deberán ser selladas debidamente.

Todas las losas tendrán una textura estriada transversal en su superficie.

5.3 Consideraciones de la empresa constructora

A continuación, se realizará una descripción de todas aquellas consideraciones que tomó la empresa constructora para ejecutar el proyecto.

Tabla 2.

Rendimientos por Equipo y Actividad

EQUIPO	MODELO	PRODUCTIVIDAD REAL CORTE	PRODUCTIVIDAD REAL CARGA (MATERIAL SUELTO)	PRODUCTIVIDAD EN RELLENO DE TERRAZAS	PRODUCTIVIDAD EN CORTE DE TERAZAS	PRODUCTIVIDAD PARA BASE Y SUB-BASE
Tractor	CAT D6H XL	100 m3/hr				
Excavadora	CAT 320D ₂	120 m3/hr	170 m3/hr			
Motoniveladora	CAT 120H			31.3 m3/hr	20.2 m3/hr	60 m3/hr
Compactadora	CAT CS54B			15.5 m3/hr	10.1 m3/hr	

Fuente: Elaboración propia

Los rendimientos fueron proporcionados por la Empresa Constructora, considerando estos como los de mayor importancia para la estimación de cantidades de obra.

Administración

Se conoce que la obra fue dirigida bajo la siguiente estructura administrativa:

Un **Gerente de Proyecto**. Administrando la obra y llevando controles de avances físicos financieros. Así mismo la gestión de todos los recursos con los que cuenta la obra durante la ejecución del proyecto.

Un **Ingeniero Residente** a cargo de la obra. Su función se establece como el control de recursos en el proyecto, así como la dirección del mismo. Llevando registros de avance y de servicio a la maquinaria.

Un **Maestro de Obra** dirigiendo las actividades en campo. Su función considera la orientación del personal para ejecutar todas las actividades que componen la obra, así como llevar el control del mismo, tanto de operadores, ayudantes y Topografía.

Estrategia de Trabajo

Se estableció por parte de la empresa constructora el siguiente orden de actividades a realizar para ejecutar el Proyecto:

Movilización y Desmovilización

Se consideró por parte de la empresa constructora el uso de la siguiente maquinaria, estableciendo como rentas horarias para 'este proyecto las indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 3.

Descripción de equipos

EQUIPOS	MODELO	CANTIDAD	RENTA
TRACTOR	CAT D6H XL	1.00	\$ 85/Hr
MOTONIVELADORA	CAT 120H	2.00	\$ 75/Hr
EXCAVADORA	CAT 320D ₂	1.00	\$ 65/Hr
VOLQUETES	International	6.00	\$ 40/Hr
COMPACTADORA	CAT CS54B	1.00	\$ 50/Hr
CISTERNAS	International	2.00	\$ 110/Día

Fuente: Elaboración propia

El traslado de la maquinaria se realizó con ayuda de un Cabezal y un Low Boy para maquinaria pesada, con una renta estimada de \$ 175.00, para traslado en Managua y sus cercanías.

El costo de traslado difiere para volquetes y cisternas ya que éstos llegaron rodando al proyecto, por lo que se estableció un costo unitario por hora de \$ 40.00 para traslado. Toda la maquinaria se trasladó del mismo punto ubicado en las inmediaciones de camino viejo a Santo Domingo hacia los semáforos del Memorial Sandino en la pista sub-urbana.

La lista de equipos con los que la empresa constructora cuenta al momento de ejecutar la obra son los siguientes:

Tabla 4.

Listado de Equipos Propios

EQUIPOS	CANTIDAD	MODELO	ESTADO
TRACTOR	2.00	CAT D6H XL	DISPONIBLE
MOTONIVELADORA	4.00	CAT 120H	DISPONIBLE
EXCAVADORA	3.00	CAT 320D ₂	DISPONIBLE
VOLQUETES	10.00	INTERNATIONAL	DISPONIBLE
COMPACTADORA	2.00	CAT CS54B	DISPONIBLE
MINICARGADOR	3.00	CAT 236 D	DISPONIBLE
CABEZAL	3.00	MACK VISION	DISPONIBLE
RETROCARGADORA	2.00	CAT 416F	DISPONIBLE

Fuente: Elaboración propia

La fecha del traslado inició el 18 de Julio del 2024, en el orden presentado a continuación:

Tabla 5.

Movilización de maquinaria. La ruta de traslado es de 8 km.

EQUIPOS NECESARIOS	CANTIDAD	FECHA DE LLEGADA
TRACTOR	1	18/9/2024
MOTONIVELADORA	2	24/7/2024
EXCAVADORA	1	20/7/2024
VOLQUETES	6	21/7/2024
COMPACTADORA	1	22/7/2024
CISTERNAS	2	18/7/2024

Fuente: Elaboración propia

ABRA Y DESTRONQUE

Para esta actividad se ha utilizado un tractor CAT D6 XL que realizo la totalidad de la limpieza en el área. No se estableció un parámetro de limpieza detallado por lo cual se crearon acopios de materiales en toda el área de trabajo.



Se inició con el desalojo considerando una Excavadora CAT 320 D y seis volquetes para acarreo externo.

El tiempo de duración de esta actividad se realizará en de 5.5 días según registro proporcionado por la empresa constructora. Esto incluyo las actividades de limpieza y desalojo.

Corte en terrazas

La actividad de corte en terrazas se iniciará una vez que finalizará la limpieza de toda el área. Se empleó por parte de la empresa constructora la siguiente maquinaria:

- 1 motoniveladora CAT 120 H
- 1 vibro compactadora CAT CS533
- 1 cisterna de 3000 Glns

El corte en terraza se llevó a cabo en 15 días con una motoniveladora, iniciando los trabajos en Bloque A y B hasta culminar con Bloque C.

Se indica que esta actividad se realizara de forma simultánea con relleno en terrazas, así como corte de calles a nivel de andén y Sub rasante.

Relleno y compactación con material de sitio en terrazas

Se indica que la maquinaria utilizada en esta actividad consta de 1 modulo completo. Cada módulo comprende los siguientes equipos:

- 1 motoniveladora
- 1 Vibro compactadora
- 1 cisterna



Volquetes (Los equipos de transporte se integran a la actividad según sea necesario el acarreo, sea interno o externo).

El material utilizado para el relleno fue producto del corte en calles y terrazas, teniendo una duración de 15 días.

Corte en calle a nivel de andén

Se indica la maquinaria empleada para esta actividad a como sigue:

- 1 tractor CAT D6 XL, (Mismo utilizado para limpieza)
- 1 excavadora CAT 320 D
- 4 camiones Volquetes

En esta actividad la empresa constructora utilizó la Excavadora CAT 320 D y 4 Volquete International, incluyendo a la misma, la actividad de carga y transporte interno para relleno en terrazas.

Se estima que la duración de esta actividad será de 10 días.

Corte en calle a nivel de Sub Rasante

Esta actividad precedió al corte en calle a nivel de andén y se describe con el mismo procedimiento y maquinaria. Se estima que la duración de esta actividad será de 9 días.

Colocación de Base

Esta etapa del proyecto fue llevada a cabo una vez terminadas las actividades anteriormente descritas, que comprenden todos los trabajos de corte y relleno.



Utilizando la maquinaria que se describe a continuación:

- 1 motoniveladora CAT 120 H.
- 1 vibro compactadora CAT CS533.
- 1 cisterna de 3000 Glns.

El material que se utilizó para la base y fue procesado en las proporciones descritas por las notas generales del proyecto.

Se estima que la duración de esta actividad será de 13 días.

Desalojo de Material Producto de corte en calles

El material sobrante producto del corte en calles se acopio en el área definida como Área Verde. Este se retiró al botadero autorizado posteriormente terminado la colocación del material base utilizando la siguiente maquinaria:

- 1 excavadora 320 D.
- 4 volquetes International

Se estima que la duración de esta actividad será de 5.5 días.

5.4 Resumen de atrasos

Se hace referencia según los registros llevados por la administración del proyecto (Constructora) a la cantidad de 6.5 días de demora para la entrega de la obra, los cuales se indican a continuación:

Retrasos por Lluvia.

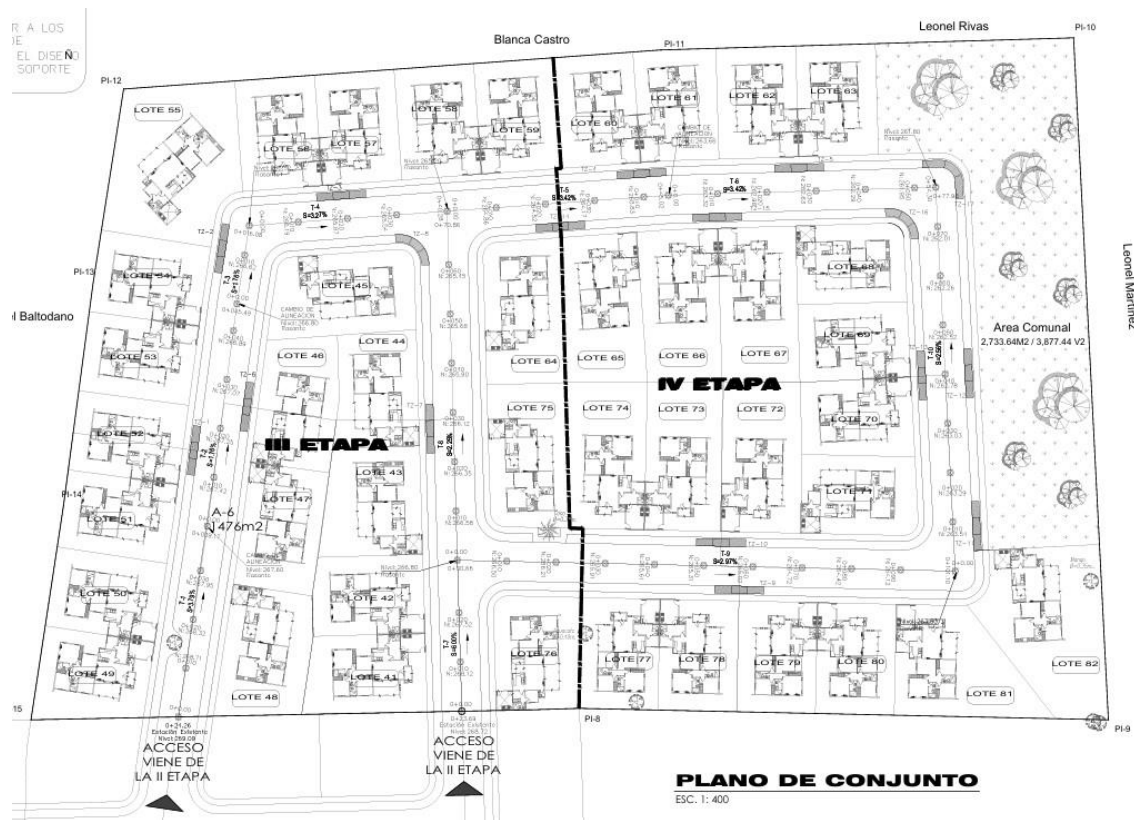
- 1.5 día (21/09/2024 y medio día de 22/09/2024).
- 1 día (1/10/2024).
- 1 día (8/10/2024).

Retrasos por días festivos.

2 días (14 y 15 de septiembre)

1 día (2 de noviembre)

5.5 Planos



5.6 Diagrama metodológico

Los movimientos de tierras son aquellas acciones que realiza el hombre para variar o modificar la topografía de un área o zona, con vista a adaptarla al proyecto previamente confeccionado, generalmente de forma mecanizada, mediante el empleo de las maquinarias diseñadas especialmente con esta finalidad.

A continuación, se detalla la maquinaria, personal, costo de renta y el proceso para la ejecución de las actividades que conforman el movimiento de tierra del proyecto:

Maquinaria proyecto sierritas

Excavadora CAT 320

Retroexcavadora CAT 416

Volquetes

Motoniveladora CAT 12 H

Vibro compactadora CAT CS533

Cisterna de agua internacional

Lowboy

Personal

Cada Equipo (Maquina) 1 Operador

Ayudantes fijos (Corresponde a guiar y/o apoyar a los operadores para que los cortes sean aproximados)

Ayudante que ubica (camiones) los viajes de relleno

Fiscal (encargado de control de horómetros, ejemplo que los equipos no estén encendidos innecesariamente, suministro de combustible, conteo de viajes de desalojo.

Ingeniero Residente

Mantenimiento de maquinaria

El mantenimiento de los equipos le corresponde al dueño del equipo, su costo va incluido en el costo de renta horaria, se les hace mantenimiento cada 250 horas (cambio de filtros, aceite) adicional cada dos días se engrasan.

Costo renta horaria

- Excavadora \$65 – 4 galones por hora
- Retroexcavadora \$35 – 2.2 galones por hora
- Volquetes \$40 por hora – 8 km por galón
- Motoniveladora \$75 – 3.5 galones por hora
- Vibro compactadora \$50 – 2 galones por hora
- Cisterna \$110 – 12 km por galón
- Lowboy \$175 cada movimiento

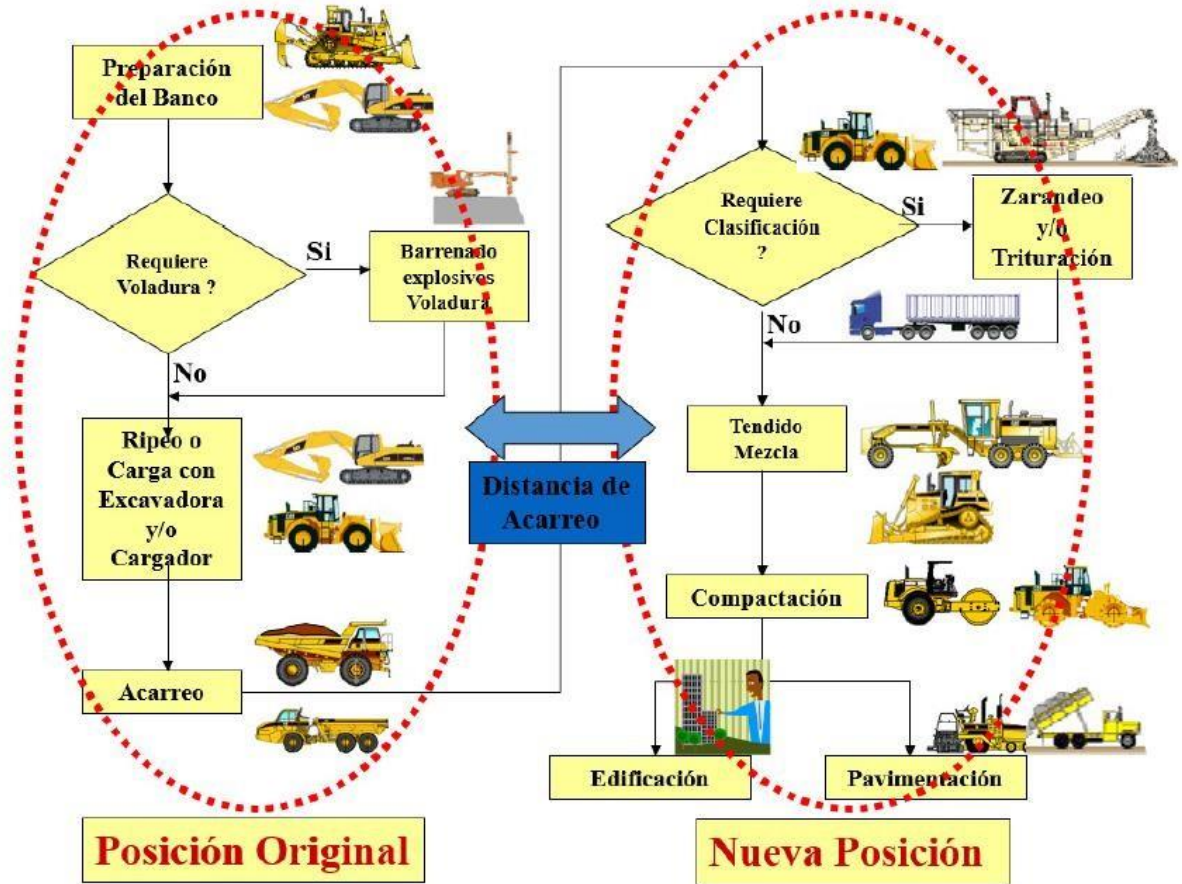
Estos costos de renta incluyen:

- Operador,
- Mantenimientos,
- NO incluyen combustible;
- 4 horas mínimas de trabajo (es decir se trabaje o no se trabajare se tenían que pagar 4 horas mínimas)

En la siguiente figura se describe las actividades y maquinarias que se involucran en el movimiento de tierra para una obra horizontal.

Figura 8:

Metodología para realizar un proyecto de movimiento de tierra básico.



Fuente: Manual de rendimiento de maquinaria Caterpillar. (2016). Edición 31

Capítulo VI: Análisis de resultado

Se establecerán todos aquellos parámetros utilizados para determinar la maquinaria adecuado para ejecutar las actividades del proyecto en base a los alcances contractuales de ejecución.

Por tanto, se utilizarán todos los valores proporcionados por La Empresa Constructora, tales como: Rentas Horarias de equipos, Rendimientos, Factores de Afectación a la producción, Maquinaria empleada y Programa Físico – Financiero como punto de comparación final para establecer las conclusiones de este documento.



Considerando las estimaciones realizadas por La Empresa Constructora podemos iniciar con la actividad de Movilización y Desmovilización. Cabe mencionar que todas las actividades de aquí en adelante descritas están basadas en los datos otorgados por la administración en función del proyecto, permitiendo de esta manera realizar un análisis y estimación aproximado a lo realizado por dicha administración.

6.1 Descripción del terreno

Las condiciones del terreno en donde se ejecutará la obra presentan una gruesa capa vegetal, así también como escombros, basura y algunos troncos de árboles.

El terreno presenta condiciones topográficas bastantes regulares, con pendientes mínimas que van de sur a norte. Teniendo una extensión de 1.22 Mnz (8,540 m²).

Para iniciar con la limpieza es necesario considerar el equipo más adecuado para realizar dicha tarea, por ello es imperioso estar claros de las condiciones del lugar.

6.2 Cantidad de obra

A continuación, se muestran los alcances contractuales elaborados por el dueño de la obra, los cuales se utilizarán para determinar el tiempo de duración para el movimiento de tierra del proyecto.

Tabla 6.

Cantidad de obras contractuales

ITEM	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD CONTRATO
10	TERRAZAS		10,864.85
10.1	Descapote de terreno. 20 cms.	m3	1114.99
10.2	Desalojo de material procedente del Descapote fuera del sitio.	m3	1449.49
10.3	Escarificación y Compactación E= 15 cm.	m2	5574.98

ITEM	DESCRIPCIÓN	UM	CANTIDAD CONTRATO
10.4	Corte de terreno para conformar terraza	m3	943.84
10.5	Relleno con Material del sitio Procesado y compactado hasta alcanzar el Nivel Terminado en Terrazas. En capas no mayores de 30 cm. Al 90% Proctor Estd.	m3	554.55
10.6	Acarreo Interno de Material para Relleno.	m3	720.92
10.7	Desalojo de material procedente del corte fuera del sitio.	m3	506.08
20	CALLE COSTADO ESTE (DE LA EST. 0+000.00 A LA EST. 0+040.00) Y CALLE COSTADO SUR (DE LA EST. 0+025.27 A LA EST. 0+101.10)		1,372.31
20.1	Escarificación y Compactación E= 15 cm.	m2	923.83
20.2	Corte de terreno para conformar terracería de Calle.	m3	194.99
20.3	Desalojo de material procedente del corte fuera del sitio.	m3	253.49
30	ZANJAS DE INFILTRACION		3,219.75
30.1	Excavación de Zanjas de Infiltración TZ-4, TZ-15, TZ-5, TZ-17 con las Siguiete Dimensiones (1.5mts x 10.00 mts x 7.5 mts) Y Zanja de infiltración TZ-16 con dimensiones de 1.5 mts x 14 mts x 7.5 mts	m3	607.50
30.2	Desalojo de Material Excavación de Zanjas de Infiltración fuera del sitio	m3	789.75
30.3	Suministro de Piedra Volcánica	m3	607.50
30.4	Carga y Acarreo de piedra volcánica	m3	607.50
30.5	Colocación de Piedra Volcánica para filtros.	m3	607.50
40	BASE EN CALLE CON MATERIAL SELECTO		1,348.09



40.1	Base de material selecto Tipo Agrenic procesado y compactado al 95% Proctor estándar.	m3	184.46
40.2	Suministro y acarreo de material selecto para hacer calles	m3	239.798
40.3	Suministro y Colocación Topográfica de formaleta metálica, para espesor de 12 cm, con Bordillos Integrado, colocación de concreto en forma directa desde el camión, vibrado Enrazado con codal de aluminio, floteado, acabado, y Escobillado, colocado de curador a base de membrana biodegradable, colocación de controlador de expansión con film, cortes de 2.5mm x 3 cm, sello de juntas con vulkem 45, colocación de acero en juntas de Construcción Transversal N° 5 Long. 0.2 m @ 0.3 m. Limpieza y Entrega Final.	m2	923.83

Fuente. Elaboración propia

6.3 Balance / Selección de equipos

El balanceo de equipo consiste en el proceso de selección de equipo en función de un programa de ejecución de la obra que resulte capaz de cumplir con los plazos estipulados por el mismo, previendo incluso causas de fuerza mayor. Los pasos a seguir en el balanceo de equipo son:

1. Juzgar y elegir el equipo de construcción necesario para cada actividad de la obra.
2. Elaborar la selección de maquinaria conforme a la existencia de estas.
3. Fijar los tiempos de ejecución de cada parte de la obra en base a los manuales de cada tipo y/o de acuerdo a experiencias vividas en el campo

Abra y Destronque

Esta actividad comprende la remoción de materia vegetal, escombros, tala de árboles y todo aquel material que es necesario extraer para dar condiciones al área de trabajo.

Descapote

Debido a ello será necesario un equipo que empuje el material no deseado creando acopios para su debida extracción, así también extraer una capa de 0.20 mts de tierra debido a la abundante maleza presente.

El equipo que cumple con las características requeridas para esta actividad es el Tractor, ya que posee la suficiente fuerza para remover y empujar el material no deseado creando montículos en puntos estratégicos para su posterior desalojo.

Para realizar de una manera eficiente el descapote es necesario realizar un análisis del área a limpiar y determinar la estrategia adecuada para que el tractor realice el trabajo en el menor tiempo posible.

Para ello debemos establecer longitudes de 50 mts, en los cuales el tractor deberá cortar y empujar el material para realizar la menor cantidad de cúmulos de tierra; esto permitirá que el equipo de carga no se movilice de un lado a otro en busca de los acopios.

Debido a que el área de trabajo se caracteriza por tener una longitud aproximada de 8,540 mts², dividiremos en franjas de trabajos los sectores donde el tractor deberá realizar la limpieza.

Quedando de esta manera 4 zonas de acopio que posteriormente serán desalojadas por el equipo de carga.

Por consiguiente, una vez establecida la estrategia deberemos estimar el tiempo necesario para llevar a cabo la actividad de descapote:

Considerando lo siguiente:

$$\text{Area (A)} = 8,540 \text{ m}^2$$

$$\text{Espesor a descapotar (e)} = 0.20 \text{ m}$$

$$PR = 100 \text{ m}^3/\text{Hr}$$

Para esta actividad la producción real será afectada por el factor de eficiencia de trabajo f_w únicamente considerando que el equipo está sujeto a un régimen de mantenimiento centrado en la confiabilidad y que las condiciones climáticas y de topografía son beneficiosas.

$$T = \left(\frac{A \times e}{PR} \right) / f_w ; \text{Hrs}$$

$$T = 20.58 \text{ Hrs}$$

Basados en jornadas laborales de 8 Hrs diarias se estimará la cantidad de días necesarios para finalizar la actividad de limpieza.

$$T = 20.58 \text{ Hrs} / 8 \text{ Hrs/Dia} = 2.57 \text{ Dias}$$

Para fines de presupuesto es necesario redondearlo a 3 días.

Carga y acarreo

Una vez estimado la cantidad de días que serán necesarios para realizar el descapote, debemos pensar en el desalojo del mismo proyectando el empleo de un equipo de carga y acarreo que se aproxime al match. (Relación entre capacidad del cucharón y capacidad de volquete) la cual teóricamente es 1:6.

Para ello se debe considerar que existen escombros, tierra suelta y algunos troncos que deberán ser cargador de tal manera que el tiempo de carga deberá ser el menor posible.

En este caso por naturaleza el equipo con mejores características para realizar la carga es la Excavadora debido a que es muy versátil al poseer un brazo con un equipo de trabajo que permite recoger el material suelto rápidamente, así como un tren de rodaje con orugas que ayudan a desplazarse en terrenos irregulares.

Además de ello los tiempos de carga podrán ser más eficientes empleando algunas estrategias que serán descritas posteriormente.

Algo muy importante que debemos considerar y hacer cumplir en campo para disminuir los tiempos de carga y hacerlos más eficientes será colocar la excavadora y volquete en el acopio de tal forma que se forme un ángulo de 45° entre el eje longitudinal de ambos equipos, esto permitirá realizar 1.2 veces más rápido el ciclo de carga combinado con una ubicación adecuada en altura de la excavadora respecto al plano inferior del acopio, lo cual permite que la excavadora únicamente gire para cargar al volquete.

Entonces una vez ubicado el botadero será necesario realizar un análisis de producción que nos ayude a determinar en qué momento será conveniente iniciar con el desalojo.

Para realizar este análisis se deben de comparar la producción del tractor vs la producción de la excavadora para que el ciclo se genere de forma constante y permita que toda la maquinaria trabaje sin parar.

Por tanto, iniciaremos con la carga teniendo en cuenta los siguientes datos.

Tabla 7:

Valores de velocidad de volquetes en orden de trabajo

Item	Valor	Unidad
Velocidad Cargado (Volquete)	30	km/hr
Velocidad Vacío (Volquete)	45	km/hr
tiempo de carga (Excavadora)	2.5	min
Maniobra (Volquete)	1	min

Fuente. Elaboración propia

Cabe destacar que los valores de velocidad tanto cargados como vacíos se estimaron en función del recorrido hacia el botadero ya que es una calle transitada donde podemos encontrar escuelas, zonas residenciales y tránsito de peatones a lo largo del recorrido.

Los tiempos de carga están proyectados tanto al tipo de material que se está cargando, que en este caso es suelo suelto y cuyo factor de desprendimiento puede llegar hasta 1.3 veces el volumen compacto. Así como al modo en que se trabaje la excavadora, en este caso se puede configurar para que trabaje en modo potencia habilitando la bomba hidráulica de la excavadora a su máxima expresión, permitiendo que el equipo trabaje con rapidez en la carga y giros.

Uno de los principales objetivos de este análisis es también determinar el número de volquetes a utilizar, considerando siempre un equipo de acarreo extra, que en este caso llamaremos volquete comodín, este permitirá que siempre tengamos un volquete esperando a ser cargado en el ciclo. Además, es una garantía tenerlo ya que esto permite mitigar cualquier pinchadura o avería del equipo de acarreo.

Ahora debemos determinar la distancia más crítica para iniciar con el cálculo, esto se puede lograr teniendo en cuenta la distancia que existe desde el botadero hasta cada uno de los acopios que se tienen en el proyecto.

Ahora será necesario determinar el tiempo de ciclo que comprende cargar, votar y regresar a la zona de carga el cual puede ser determinado con la siguiente ecuación:

Tiempo de Ciclo

$$= \frac{\text{Distancia al Botadero}}{\text{Velocidad Cargado}} + \frac{\text{Distancia a la Zona de Carga}}{\text{Velocidad Vacío}} + \text{Tiempo de Carga} + \text{Tiempo de Maniobra}$$

Se calcula el tiempo de ciclo para cada distancia Acopio-Botadero, de esta manera podremos determinar el ciclo crítico:

*Tiempo de Ciclo*_(2.1 Kmts)

$$= \left[\left(\frac{2100 \text{ mts}}{30 \text{ Kmts/Hr}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ Kmt}}{1000 \text{ mts}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ Hr}} \right) \right] + \left[\left(\frac{2100 \text{ mts}}{45 \text{ Kmts/Hr}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ Kmt}}{1000 \text{ mts}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ Hr}} \right) \right] + 2.50 \text{ min} + 1 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de Ciclo}_{(2.1 \text{ Kmts})} = 7 \text{ min} + 2.50 \text{ min} + 1 \text{ min} = 10.50 \text{ min}$$

Tiempo de Ciclo_(2.25 Kmts)

$$= \left[\left(\frac{2250 \text{ mts}}{30 \text{ Kmts/Hr}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ Kmt}}{1000 \text{ mts}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ Hr}} \right) \right] \\ + \left[\left(\frac{2250 \text{ mts}}{45 \text{ Kmts/Hr}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ Kmt}}{1000 \text{ mts}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ Hr}} \right) \right] + 2.50 \text{ min} + 1 \text{ min}$$

$$\text{T tiempo de Ciclo}_{(2.25 \text{ Kmts})} = 7.5 \text{ min} + 2.50 \text{ min} + 1 \text{ min} = 11 \text{ min}$$

Tiempo de Ciclo_(2.35 Kmts)

$$= \left[\left(\frac{2350 \text{ mts}}{30 \text{ Kmts/Hr}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ Kmt}}{1000 \text{ mts}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ Hr}} \right) \right] \\ + \left[\left(\frac{2350 \text{ mts}}{45 \text{ Kmts/Hr}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ Kmt}}{1000 \text{ mts}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ Hr}} \right) \right] + 2.50 \text{ min} + 1 \text{ min}$$

$$\text{T tiempo de Ciclo}_{(2.35 \text{ Kmts})} = 7.83 \text{ min} + 2.50 \text{ min} + 1 \text{ min} = 11.33 \text{ min}$$

Tiempo de Ciclo_(2.45 Kmts)

$$= \left[\left(\frac{2450 \text{ mts}}{30 \text{ Kmts/Hr}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ Kmt}}{1000 \text{ mts}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ Hr}} \right) \right] \\ + \left[\left(\frac{2450 \text{ mts}}{45 \text{ Kmts/Hr}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ Kmt}}{1000 \text{ mts}} \right) \times \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ Hr}} \right) \right] + 2.50 \text{ min} + 1 \text{ min}$$

$$\text{T tiempo de Ciclo}_{(2.45 \text{ Kmts})} = 8.16 \text{ min} + 2.50 \text{ min} + 1 \text{ min} = 11.66 \text{ min}$$

A como es de esperar, el recorrido más largo dará como resultado un tiempo de ciclo similar. Esto ahora nos permitirá determinar la cantidad exacta de volquetes necesarios para realizar el desalojo del material descapote.

Considerando todos los valores inmersos en el traslado del material podemos auxiliarnos de la siguiente tabla, donde se establecen los intervalos de maniobra y carga, pudiendo así determinar el volumen de material desalojado en una hora.

Tabla 8:

Ciclo de Carga y Maniobra de Camiones

Ciclo de carga y maniobra en minutos	Camiones	Volumen (m3)	Volumen Acumulado (m3)
0-3.5	1ro	10	10
3.5-7	2do	10	20
7-10.5	3ro	10	30
10.5-14	4to	10	40
14-17.5	1ro	10	50
17.5-21	2do	10	60
21-24.5	3ro	10	70
24.5-28	4to	10	80
28-31.5	1ro	10	90
31.5-34	2do	10	100
34-37.5	3ro	10	110
37.5-41.5	4to	10	120
41.5-45	1ro	10	130
45-48.5	2do	10	140
48.5-52	3ro	10	150
Ciclo de carga y maniobra en minutos	Camiones	Volumen (m3)	Volumen Acumulado (m3)
52-55.5	4to	10	160
55.5-59	1ro	10	170

Fuente. Elaboración propia

Si observamos el intervalo de tiempo entre los 10.50 y 14 minutos y considerando un camión comodín; es sencillo concluir que la cantidad de camiones necesarios para cubrir el tramo será de 4 Volquetes de 10 m³, ya que si consideramos el tiempo de ciclo a los 2100 mts se obtienen 10.50 minutos tiempo en el cual el primer



volquete ha completado la ruta quedando en espera de que salga el cuarto volquete que en ese mismo instante estará ubicado en la zona de carga.

De igual manera si consideramos el tiempo de ciclo más crítico con 11.66 minutos se observa que el primer volquete siempre llegara justamente cuando el cuarto este ubicado en la zona de carga quedando en ambos casos un volquete esperando a ser cargado.

Esto nos asegura que un ciclo de carga y acarreo continúo permitiendo explotar de manera eficiente a la excavadora que producirá **170 m³/Hr**

Una vez determinado el total de equipos a utilizar para esta fase podemos encargarnos del cálculo de tiempo de ejecución y costo de la misma.

Considerando lo siguiente:

$$\text{Abundamiento} = 1.3$$

$$\text{Area (A)} = 8540 \text{ m}^2$$

$$\text{Espesor a descapotar (e)} = 0.20 \text{ m}$$

$$\text{Volumen Descapote} = A \times e \times \text{Abundamiento}$$

$$\text{Volumen Descapote} = 8540 \text{ m}^2 \times 0.20 \text{ m} \times 1.30 = 2,220.4 \text{ m}^3$$

Para esta actividad la producción real será afectada por el factor de eficiencia de trabajo **f_w** únicamente considerando que el equipo está sujeto a un régimen de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Si consideramos que la producción de la excavadora es de **170 m³/Hr** entonces podemos determinar el tiempo total para realizar el desalojo teniendo en cuenta jornadas laborales de 8.50 hrs diarias.

$$T = \left(\frac{3139.40 \text{ m}^3}{170 \text{ m}^3/\text{Hrs}} \right) / 0.83 = 22.25 \text{ Hrs}$$

$$T = \frac{22.25 \text{ Hrs}}{8.50 \text{ Hrs}/\text{Dia}} = 2.62 \text{ Dias}$$

Considerando que los volquetes trabajaran las **8. 50 Hrs/Dia**, entonces el tiempo total de desalojo será:

$$T = 2.62 \text{ Dias} \times 8.5 \text{ Hrs/Dia} = 22.27 \text{ Hrs}$$

Para efectos de costo será necesario calcular el total de horas volquete considerando que se utilizaran 4.

$$T = 2.62 \text{ Dias} \times 8.5 \text{ Hrs/Dia} = 22.27 \text{ Hrs} \times 4 = 89.08 \text{ Hrs}$$

El costo unitario por desalojo será:

$$\text{Costo Unitario}_{\text{Desalojo}} = \frac{\text{Horas Volquete} \times \text{Renta}}{\text{Volumen Descapote Suelto}}$$

$$\text{Costo Unitario}_{\text{Desalojo}} = \frac{89.08 \text{ Hrs} \times \$42}{3139.42 \text{ m}^3} = \$1.19/\text{m}^3$$

Obtenido todos los tiempos podemos calcular el costo total de la actividad, pero antes debemos observar que los tiempos de Tractor y Excavadora estén ligados.

Para ello debemos determinar con exactitud el día en que arribaran cada equipo. Esto se puede determinar de forma sencilla, si observamos el tiempo de ejecución para la actividad de limpieza, el tractor necesita 3.5 días para realizar todos los acopios por tanto será el primero en llegar, así mismo podemos decir que la excavadora necesita de 2.62 días para cargar todo el material descapote. Por tanto, tendrá que ser trasladada un día después para que el ciclo se cumpla a cabalidad.

Corte y relleno global

Para esta etapa será necesario describir la metodología en que se llevara a cabo esta fase, ya que es conveniente seleccionar la maquinaria adecuada para realizar las tareas de corte y relleno, por lo cual estará determinada de la siguiente manera:

Corte de calles a nivel de andén

Esta estrategia permitirá extraer el material necesario para iniciar con el relleno de terrazas, creando dos frentes de trabajos en paralelo, incorporando a dos motoniveladoras y una compactadora, así como el equipo de corte, carga y acarreo.

Importante es analizar los volúmenes del proyecto ya que esto permite tomar decisiones más acertadas para el uso y empleo de la maquinaria, así como la estrategia adecuada para iniciar cada etapa, por ello se observa que las terrazas no están balanceadas y será necesario trabajar en función del volumen de relleno necesario para alcanzar los niveles de diseño. Será necesario iniciar con el corte de andén ya que esto permitirá extraer material para los rellenos en terrazas y a su vez el equipo que trabaje en la terraza, en este caso la Motoniveladora, podrá trabajar sin complicaciones para alcanzar los niveles de diseño. Esto debido a que aproximadamente cada terraza tendrá un nivel de diseño de 0.30 mts por encima del nivel de andén.

Corte en terrazas

En este caso el espesor promedio de corte en terraza se encuentra entre 0.15 y 0.25 mts de espesor, por lo tanto, este corte se puede hacer empleando una Motoniveladora. Como estrategia para reducir tiempo y debido a la disponibilidad de equipos se utilizarán dos Patroles, trabajando los bloques de par en par.

Relleno en terrazas

Sera necesario iniciar relleno a partir del Bloque A hasta llegar al Bloque C, trabajando dos terrazas en paralelo ya que se tiene disponible dos Motoniveladoras, además de los volquetes necesarios para abastecer el volumen de material que garantice el trabajo continuo de los patroles con una producción de 31 m³/hr para terrazas.

Corte de calles a nivel sub rasante

Una vez alcanzado los niveles de andén se dispondrá de la maquinaria para ajustar los niveles de terracería siguiendo un orden adecuado, que se ajuste a las necesidades de material de las terrazas, hasta alcanzar sus niveles de diseño. Se ajustará la terracería 0.32 mts por debajo de la rasante de diseño en cada calle.

Conformación y nivelación de sub rasante

Una vez terminadas las terrazas se ajustarán los niveles de terracería en cada calle para posteriormente colocar la capa de Base de 0.20 mts. Se trasladará el material de base a la producción de 31 m³/hr, que desarrolla la motoniveladora para colocación de material granular.

6.4 Estimación de producción

Corte de calles a nivel de andén

Esta etapa debe justificar de manera detallada el tiempo en que debe ser iniciada por ello se necesita analizar los volúmenes de trabajo que demanda el proyecto.

Realizando una suma algebraica de los volúmenes de Corte (+) y Relleno (-) en terrazas se obtiene:

$$\text{Volumen de Corte} = 762.115 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de Relleno} = 1801.128 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Neto} = 762.115 \text{ m}^3 - 1801.128 \text{ m}^3 = -1039.013 \text{ m}^3$$

Se necesitan 1039.013 m³ de material de relleno para ajustar los niveles de diseño en terrazas por lo cual se debe extraer este material de las calles que tienen un volumen neto de 2386.300 m³ de corte divididos en 1361.526 m³ en corte a nivel de andén y 1024.774 m³ a nivel de cajuela (Terracería). Por lo cual se iniciará con el corte en calle a nivel de andén, volumen suficiente para satisfacer la demanda de material en terrazas.

Para esta tarea será necesario utilizar los siguientes equipos:

Tabla 9:

Productividad de equipos

EQUIPO	CANTIDAD	MODELO	Productividad Optima	ACTIVIDAD
Excavadora	1	CAT 320D ₂	170 m ³ /Hr	Carga de Material Suelto
Tractor	1	CAT D6T XL	100 m ³ /Hr	Corte
Volquete	6	Internacional	60/110 m ³ /Hr	Acarreo Interno/ Externo

Fuente. Elaboración propia

La escogencia de la maquinaria estará en dependencia de las actividades precedentes, así como de la actividad a realizar. Se establecerá una afectación a la producción por eficiencia de 0.83.

Analizando cada una de las tablas descritas anteriormente se puede establecer una lógica de trabajo que garantiza la constante acción de la maquinaria y la ejecución de más de una actividad simultánea. Por tanto, partiremos del corte en calle a nivel de andén:

Se utilizará el mismo tractor que realizó el descapote ya que esto garantiza no aumentar los costos de movilización. Estimando un total de 2.32 días de corte a nivel de andén se asegura que la producción en corte sea mayor a lo que carga la excavadora.

Se plantea el corte a nivel de calle utilizando una excavadora, esto permite que no se pierdan los niveles de andén definidos previo a este proceso, ya que la profundidad de corte para llegar al nivel de sub rasante es de 0.50 mts. Esto considerando hacer una comparación entre el uso de tractor y/o excavadora, que garantice que esta actividad sea productiva y eficiente.



Corte en terrazas

Utilizando la motoniveladora CAT 120 H, se analizará el Bloque A36 para determinar los tiempos de corte.

Sabiendo que el equipo posee una hoja estándar de 3.66 mts y una velocidad de 5 Km/Hr en corte y 15 Km/Hr en retroceso. Como el material está consolidado se cortará en capas de 0.15 mts. En base a la presión ejercida con la vertedera al suelo.

Se conoce lo siguiente:

Area de Corte = 301.097 m²

Nivel de Diseño = 125.400

Nivel de TN = 125.537

Ancho de Trabajo = 19.500 mts

Largo de Trabajo = 16.060 mts

Considerando 0.20 mts de traslape

Velocidades de trabajo

$$V_{\text{Corte}} = 5 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \times 1 \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 83 \text{ m/min}$$
$$V_{\text{Desgarramiento}} = 5 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \times 1 \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 83 \text{ m/min}$$
$$V_{\text{Retroseso}} = 15 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \times 1 \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 250 \text{ m/min}$$
$$V_{\text{Conformando}} = 7 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \times 1 \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 116 \text{ m/min}$$
$$V_{\text{Nivelando}} = 4 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \times 1 \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 66 \text{ m/min}$$

Tiempo de franja

Para corte se tomara una inclinacion de 10° por lo tanto;

Longitud efectiva de Vertedera = 3.60 m

Numero de Franjas

= $\Sigma(\text{Longitud efectiva de vertedera} - \text{Traslape}) = \text{Ancho de Lote}$

Numero de Franjas = 3.60 m + 3.40 m + 3.40 m + 3.40 m + 3.40 m + 2.30 m

= 19.50 m \approx 6 Franjas

Escarificando

Tiempo Franja = Tiempo de Maniobra + $V_{\text{Desgarramiento}}$ + $V_{\text{Retroseso}}$

$$\text{T tiempo Franja} = 2 \text{ min} + \frac{19.50 \text{ m}}{83 \text{ m/min}} + \frac{19.50 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 2.31 \text{ min}$$

Cortando

Tiempo Franja = Tiempo de Maniobra + V_{Corte} + $V_{\text{Retroseso}}$

$$\text{T tiempo Franja} = 1 \text{ min} + \frac{19.50 \text{ m}}{83 \text{ m/min}} + \frac{19.50 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 1.31 \text{ min}$$

Considerando que se cortarán 0.137 mts, y que se darán 6 pasadas para conformación y 4 para nivelar por cada franja se obtiene:

Conformando

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Franja} &= \text{Tiempo de Maniobra} + V_{\text{Conformando}} + V_{\text{Retroceso}} \\ \text{Tiempo Franja} &= 0.5 \text{ min} + \frac{19.50 \text{ m}}{116 \text{ m/min}} + \frac{19.50 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 0.746 \text{ min} \end{aligned}$$

Nivelando

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Franja} &= \text{Tiempo de Maniobra} + V_{\text{Nivelando}} + V_{\text{Retroceso}} \\ \text{Tiempo Franja} &= 2.5 \text{ min} + \frac{19.50 \text{ m}}{66 \text{ m/min}} + \frac{19.50 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 3.090 \text{ min} \end{aligned}$$

Tiempo Franja TOTAL

$$\begin{aligned} &= (\text{Tiempo FranjaDesgarramiento} + \text{Tiempo FranjaCorte} \\ &+ \text{Tiempo FranjaConformando} + \text{Tiempo FranjaNivelando}) \\ &\times \text{Numero de Franjas} \end{aligned}$$

Tiempo de franja total

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Franja TOTAL} &= [2.31 \text{ min} + 1.31 \text{ min} + (0.746 \text{ min} \times 6) + \\ &(3.090 \text{ min} \times 4)] \times 6 \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo Franja TOTAL} = 122.736 \text{ min} \approx 2.045 \text{ Hr}$$

Importante mencionar que la compactadora estará dispuesta para realizar de forma inmediata la aplicación de energía al suelo, considerando que entrará a compactar cada franja que la motoniveladora termine. Por consiguiente, se establecerá que el tiempo de compactación será igual a:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo de Compactacion} &= \frac{\text{Tiempo Franja TOTAL}}{2} \\ \text{Tiempo de Compactacion} &= \frac{2.045 \text{ Hr}}{2} = 1.02 \text{ Hr} \end{aligned}$$



Considerando los requerimientos de compactación será necesario obtener como mínimo el 95 % de Proctor Standard para terrazas, por lo tanto, se deberá cumplir con el 20% de humedad óptima para conseguir la densidad máxima.

Esto significa que la cisterna deberá estar presente en el proceso de desgarramiento, proceso y nivelación una vez que la compactadora salga del terreno principalmente en el último de los procesos para garantizar la ausencia de poros en el material.

Relleno en terrazas

Utilizando la motoniveladora CAT 120 H, se analizará el Bloque A para determinar los tiempos de relleno.

Sabiendo que el equipo desarrolla una producción de 31 m³/Hr para Terrazas debido a las condiciones de espacio, geometría y proceso del material. Se considera una velocidad de 9 Km/Hr para movimiento de material con vertedera y rellenos en capas de 0.30 mts máximos.

Importante mencionar que los rellenos de lotes se iniciaran de mayor a menor cota y en aquellos lotes que pertenecen al mismo bloque y que comparten un mismo nivel de diseño se considerara una adecuada ubicación de trabajo para el patrol.

En el caso de relleno se escarificará la base del terreno (TN) a 0.15 mts, incorporando agua en contenido óptimo para garantizar una adecuada superficie para las capas superiores que permitirán alcanzar la cota de diseño.

Se conoce lo siguiente:

$$\text{Area de Relleno} = 344.437 \text{ m}^2$$

$$\text{Nivel de Diseño} = 125.939$$

$$\text{Nivel de TN} = 125.437$$

$$\text{Ancho de Trabajo} = 16.060 \text{ mts}$$

$$\text{Largo de Trabajo} = 22.200 \text{ mts}$$

Considerando 0.20 mts de traslape

Se tiene que el volumen de relleno es de 103.331 m³.

Velocidades de trabajo

$$V_{\text{Tiro}} = 9 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \times 1 \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 150 \text{ m/min}$$
$$V_{\text{Desgarramiento}} = 5 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \times 1 \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 83 \text{ m/min}$$
$$V_{\text{Retroceso}} = 15 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \times 1 \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 250 \text{ m/min}$$
$$V_{\text{Conformando}} = 7 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \times 1 \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 116 \text{ m/min}$$
$$V_{\text{Nivelando}} = 4 \frac{\text{Km}}{\text{Hr}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{Km}} \times 1 \frac{\text{Hr}}{60 \text{ min}} = 66 \text{ m/min}$$

Tiempo de franja

Para movimiento de material se tomara una inclinacion de 0° por lo tanto;

$$\text{Longitud efectiva de Vertedera} = 3.66 \text{ m}$$

$$\text{Numero de Franjas} =$$

$$\Sigma(\text{Longitud efectiva de vertedera} - \text{Traslape}) = \text{Ancho de Lote}$$

$$\begin{aligned} \text{Numero de Franjas} &= 3.60 \text{ m} + 3.40 \text{ m} + 3.40 \text{ m} + 3.40 \text{ m} + 2.26 \text{ m} \\ &= 16.06 \text{ m} \approx 5 \text{ Franjas} \end{aligned}$$

Escarificando

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Franja} &= \text{Tiempo de Maniobra} + V_{\text{Desgarramiento}} + V_{\text{Retroceso}} \\ \text{Tiempo Franja} &= 2 \text{ min} + \frac{16.06 \text{ m}}{83 \text{ m/min}} + \frac{16.06 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 2.25 \text{ min} \end{aligned}$$

Conformando

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Franja} &= \text{Tiempo de Maniobra} + V_{\text{Conformando}} + V_{\text{Retroceso}} \\ \text{Tiempo Franja} &= 0.5 \text{ min} + \frac{16.06 \text{ m}}{116 \text{ m/min}} + \frac{16.06 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 0.757 \text{ min} \end{aligned}$$

Considerando que se rellenara 0.502 mts, y que se darán 6 pasadas para conformación y 4 para nivelar por cada franja se obtiene:

Primer Capa (0.25 mts):

Relleno

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Franja} &= \text{Tiempo de Maniobra} + V_{\text{Tiro}} + V_{\text{Retroceso}} \\ \text{Tiempo Franja} &= 0.5 \text{ min} + \frac{16.06 \text{ m}}{150 \text{ m/min}} + \frac{16.06 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 0.671 \text{ min} \end{aligned}$$

Conformando

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Franja} &= \text{Tiempo de Maniobra} + V_{\text{Conformando}} + V_{\text{Retroceso}} \\ \text{Tiempo Franja} &= 0.5 \text{ min} + \frac{16.06 \text{ m}}{116 \text{ m/min}} + \frac{16.06 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 0.757 \text{ min} \end{aligned}$$

Nivelando

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Franja} &= \text{Tiempo de Maniobra} + V_{\text{Nivelando}} + V_{\text{Retroceso}} \\ \text{Tiempo Franja} &= 2.5 \text{ min} + \frac{16.06 \text{ m}}{66 \text{ m/min}} + \frac{16.06 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 2.807 \text{ min} \end{aligned}$$

Se debe realizar el mismo procedimiento para la colocación de la segunda capa de 0.25 mts, esto para alcanzar la cota de diseño. Por tanto:

Tiempo de franja total

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Franja TOTAL} &= (\text{Tiempo Franja}_{\text{Desgarramiento}} + \text{Tiempo Franja}_{\text{Relleno}} \\ &+ \text{Tiempo Franja}_{\text{Conformando}} + \text{Tiempo Franja}_{\text{Nivelando}}) \\ &\times \text{Numero de Franjas} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Franja TOTAL} &= [2.25 \text{ min} + (0.757 \text{ min} + 0.757 \text{ min} + 0.757 \text{ min}) \times 6 \\ &+ (0.671 \text{ min}) \times 2 + (2.807 \text{ min} + 2.807 \text{ min}) \times 4] \times 5 \end{aligned}$$

$$\text{Tiempo Franja TOTAL} = 198.37 \text{ min} \approx 3.306 \text{ Hr}$$

$$\text{Tiempo de Compactacion} = \frac{\text{Tiempo Franja TOTAL}}{2}$$

$$\text{Tiempo de Compactacion} = \frac{3.306 \text{ Hr}}{2} = 1.653 \text{ Hr}$$

Anteriormente hemos podido observar el análisis de tiempo de ejecución por cantidad de obra para la motoniveladora, tanto para corte como relleno. Entonces podremos establecer producciones para ambos casos:

Corte

Para el proyecto se conoce un volumen de corte de 41.250 m³, culminados en 2.045 Hrs por tanto podremos calcular la producción real de la motoniveladora en corte de terrazas:

$$P_{\text{real CORTE}} = \frac{\text{Volumen}_{\text{CORTE}}}{\text{Tiempo}}$$
$$P_{\text{real CORTE}} = \frac{41.250 \text{ m}^3}{2.045 \text{ Hrs}} = 20.17 \text{ m}^3/\text{Hr}$$

Relleno

Para el proyecto se conoce un volumen de relleno de 103.331 m³, culminados en 3. 306 Hr por tanto podremos calcular la producción real de la motoniveladora en relleno de terrazas:

$$P_{\text{real RELLENO}} = \frac{\text{Volumen}_{\text{RELLENO}}}{\text{Tiempo}}$$
$$P_{\text{real RELLENO}} = \frac{103.331 \text{ m}^3}{3.306 \text{ Hrs}} = 31.255 \text{ m}^3/\text{Hr}$$

De esta manera se puede estimar el tiempo total para motoniveladora, compactadora, cisterna y ayudantes en la confección de terrazas. Utilizando los volúmenes por lotes estimaremos estos tiempos. Cabe mencionar que esta etapa se considera con jornada laboral de 8.5 Hrs/Día, por lo cual es necesario monitorear constantemente los trabajos para evitar bajar vacíos en los equipos.

Tabla 10:

Resumen de lotes bloque Sur-Este A

LOTES	Volumen corte (m3)	Volumen relleno (m3)	Tiempo de corte (Hrs)	Tiempo de relleno (Hrs)
BA-1	41.25	90.329	2.045	2.89
BA-2	23.115	0	1.146	0
BA-3	0	103.331	0	3.306
BA-4	0	68.832	0	2.202
BA-5	15.258	86.4	0.756	2.764
BA-6	192.499	86.4	9.544	2.764
Total	272.122	435.292	13.491	13.926

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, el tiempo total en ambas actividades será:

Tabla 11:

Resumen de tiempos estimado para corte y relleno con motoniveladora

Tiempo Totales	Valor
Tiempo de corte (Hrs)	38.833
Tiempo de relleno (Hrs)	57.627

Fuente: Elaboración propia

Anteriormente descrito, el total de horas producción de Motoniveladora será útil para estimar los tiempos de trabajo de compactadora, cisterna y ayudantes, por tanto:

Tiempo total (Hrs) motoniveladora.

$$\text{Tiempo Total} = 38.833 \text{ Hrs} + 57.627 \text{ Hrs} = 96.46 \text{ Hrs}$$

$$\text{Tiempo Total} = \frac{96.46 \text{ Hrs}}{8.5 \text{ Hrs/Dia}} = 11.34 \approx 12 \text{ Dias}$$

Tiempo total (Hrs) compactadora.

$$\text{Tiempo Total} = \frac{96.46 \text{ Hrs}/2}{8.5 \text{ Hrs/Dia}} = 5.67 \approx 6 \text{ Dias}$$

Una vez determinada la producción de la Motoniveladora en relleno será necesario analizar la carga y acarreo de este material.

Primeramente, debemos analizar la cantidad de material que debemos mover y de donde lo sacaremos.

Si observamos el Anexo 4, será sencillo el análisis de volúmenes; ya que si realizamos la suma algebraica para relleno en terrazas obtenemos lo siguiente, considerando (+) para relleno y (-) para corte.

$$\Sigma(\text{Volumen Relleno} - \text{Volumen de Corte}) = \text{Volumen Neto en Terrazas}$$

$$\begin{aligned} &\Sigma(435.292 - 272.122) + (0.000 - 81.227) + (0.000 - 80.918) + (98.986 - 0.000) \\ &+ (251.136 - 61.65) + (518.760 - 0.000) + (206.208 - 131.400) \\ &+ (290.746 - 134.798) = \text{Volumen Neto en Terrazas} \end{aligned}$$

$$\text{Volumen Neto en Terrazas} = 1039.013 \text{ m}^3 (+)$$



Por tanto, será necesario extraer 1039.013 m³ de material para relleno en terrazas, ahora si analizamos los volúmenes en la sección de calles y andenes tenemos:

$$\text{Volumen Andenes} = 1361.526 \text{ m}^3 (-)$$

Analíticamente podemos observar que el volumen de corte en andenes satisface la demanda de material para rellenar las terrazas, por lo cual es imperioso detallar la estrategia adecuada para realizar el traslado del material al punto donde se necesite.

Se debe estar claro que se necesita satisfacer una demanda de 31 m³/hr para relleno en terrazas, aumentando hasta 62 m³/hr, cuando ambas motoniveladoras requieran de material, esto principalmente en los Bloques D, E, F, G y H ya que serán trabajados simultáneamente de par en par.

Para entender de una forma clara la lógica de trabajo debemos analizar los tiempos de duración en bloques, ya que esto permitirá traslapar las actividades de acarreo con las de corte y relleno en terrazas.

Se debe analizar el corte de andén y calle en simultáneo para considerar si es factible que los patroles entren a conformar las calles inmediatamente estos salgan de las terrazas.

Considerando que el material de sitio se utilizó para relleno en terrazas, lo cual indica que únicamente se consideraran para esta fase a Motoniveladora, Compactadora, Cisterna y Ayudantes.



Corte de calles a nivel Sub Rasante

Para esta actividad es necesario realizar un comparativo entre corte y carga con excavadora y corte con tractor. Esto con el objetivo de garantizar la estrategia idónea que permita menores tiempos y menores costos. Por tanto, se estimará considerando lo siguiente:

Debemos realizar un cálculo comparativo para corte a nivel de calle entre Tractor y Excavadora.

Como punto de partida se establecerá como patrón la Calle N° 1, debido a que las terrazas se trabajan del bloque A al C.

Excavadora

Corte

El factor de desprendimiento: depende de la capacidad de desprendimiento que posea el suelo a remover

$$\text{Factor de desprendimiento} = 1$$

Las características del cucharón de la excavadora se utilizan para el cálculo de la capacidad de corte que tiene dicho equipo

Volumen del cucharón: 1.20 m³

El volumen a cortar será: 174.221 m³

Se asumen tiempos de corte, maniobra y retorno, tomando en cuenta equipos de la misma categoría en otros proyectos

$$\text{Tiempo de corte} = 0.42 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de maniobra} = 0.5 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de retorno} = 0.25 \text{ min}$$

Se calcula el tiempo de ciclo

$$\text{Tiempo de ciclo} = T_{\text{corte}} + T_{\text{maniobra}} + T_{\text{retorno}}$$

$$\text{Tiempo de ciclo} = 0.42 \text{ min} + 0.5 \text{ min} + 0.25 \text{ min} = 1.17 \text{ min}$$

El rendimiento óptimo para la excavadora se calcula con la siguiente expresión:

$$\text{Rendimiento óptimo} = \frac{\text{Capacidad del equipo}}{\text{Tiempo de ciclo}}$$

$$\text{Rendimiento óptimo} = \frac{1.20 \text{ m}^3}{1.17 \text{ min}} = 1.0256 \text{ m}^3/\text{min}$$

La productividad óptima no es más que el rendimiento óptimo expresado en unidad de hora

$$\text{Productividad óptima} = \frac{1.0256 \text{ m}^3}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{\text{hr}} = 61.5384 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Productividad real} = \text{Productividad óptima} * \text{Factor de tiempo de trabajo real}$$

$$\text{Productividad real} = \frac{61.5384 \text{ m}^3}{\text{hr}} * 0.83 = 51.0769 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Volumen a cortar}}{\text{Productividad real}}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{174.221 \text{ m}^3}{51.0769 \text{ m}^3/\text{hr}} = 3.411 \text{ hrs}$$

Carga

Capacidad del cucharón: 1.20 m³

El volumen a cargar será el volumen de banco que se cortó, incrementado por el abudamiento, que para este caso será 30%.

Volumen Suelto = (174.221 m³)*(1.30) = 226.4873 m³

Se asume tiempo de ciclo, tomando como referencia equipos de la misma categoría, utilizados en proyectos anteriores.

$T_{ciclo} = 2 \text{ min}$

El cálculo del Rendimiento será igual a:

$$\text{Rendimiento óptimo} = \frac{\text{Capacidad del equipo}}{\text{Tiempo de ciclo}}$$

$$\text{Rendimiento óptimo} = \frac{1.20 \text{ m}^3}{2 \text{ min}} = 0.6 \text{ m}^3/\text{min}$$

La Productividad óptima

$$\text{Productividad óptima} = \frac{0.6 \text{ m}^3}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{\text{hr}} = 36 \text{ m}^3/\text{hr}$$

La Productividad Real será:

$\text{Productividad real} = \text{Productividad óptima} * \text{Factor de tiempo de trabajo real}$

$$\text{Productividad real} = \frac{36 \text{ m}^3}{\text{hr}} * 0.83 = 29.88 \text{ m}^3/\text{hr}$$

El tiempo de trabajo es:

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Volumen a cargar}}{\text{Productividad real}}$$
$$\text{Tiempo} = \frac{226.4873 \text{ m}^3}{29.88 \text{ m}^3/\text{hr}} = 7.5799 \text{ hrs}$$

Tractor

Corte

Para este cálculo se analizó la forma más eficiente de corte para el tractor, se dividió en tres tramos iguales (la longitud de estos varía en dependencia de la longitud de la calle), como ejemplo de cálculo se utilizará la calle 1 que tiene 60 mts de longitud, por lo que cada tramo será de 20 mts.

$$\text{Capacidad del tractor} = 3.93 \text{ m}^3 \text{ Distancia}$$
$$= 20 \text{ m}, 40 \text{ m}, 60\text{m}.$$

Se asume un tiempo de maniobra

$$\text{Tiempo de maniobra} = 0.5 \text{ min}$$

Velocidades de acuerdo a la ficha técnica del equipo

$$\text{Velocidad de avance} = 6 \text{ km/hr}$$

$$\text{Velocidad de retroceso} = 4.2 \text{ km/hr}$$

Cálculo del tiempo de avance para las tres distancias

$$\text{Tiempo avance} = \frac{\text{Distancia (m)}}{\text{Velocidad } \left(\frac{\text{m}}{\text{min}}\right)}$$

$$\text{Tiempo de avance} = \frac{20 \text{ m}}{100 \text{ m/min}} = 0.2 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de avance} = \frac{40 \text{ m}}{100 \text{ m/min}} = 0.4 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de avance} = \frac{60 \text{ m}}{100 \text{ m/min}} = 0.6 \text{ min}$$

Tiempo de retroceso para las tres distancias

$$\text{Tiempo de retroceso} = \frac{20 \text{ m}}{70 \text{ m/min}} = 0.286 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de retroceso} = \frac{40 \text{ m}}{70 \text{ m/min}} = 0.571 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de retroceso} = \frac{60 \text{ m}}{70 \text{ m/min}} = 0.857 \text{ min}$$

Tiempo de ciclo para las tres distancias

Tiempo de ciclo =

Tiempo de avance + Tiempo de maniobra + Tiempo de retorno

Tiempo de ciclo 20m = 0.2 min + 0.5 min + 0.286 min = 0.986 min

Tiempo de ciclo 40m = 0.4 min + 0.5 min + 0.571 min = 1.471 min

Tiempo de ciclo 60m = 0.6 min + 0.5 min + 0.857 min = 1.957 min

El volumen a cortar en cada tramo será:

Volumen para cada tramo = 58.074 m³

Cálculo del rendimiento para cada tramo

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Capacidad del tractor}}{\text{Tiempo de ciclo}}$$

$$\text{Rendimiento}_{20m} = \frac{3.93 \text{ m}^3}{0.986 \text{ min}} = 3.987 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Rendimiento}_{40m} = \frac{3.93 \text{ m}^3}{1.471 \text{ min}} = 2.671 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Rendimiento}_{60m} = \frac{3.93 \text{ m}^3}{1.957 \text{ min}} = 2.008 \text{ m}^3/\text{min}$$

Productividad Óptima del tractor para cada tramo

$$\text{Productividad óptima} = \text{Rendimiento} * 60 \text{ min/hr}$$

$$\text{Productividad óptima}_{20m} = 3.987 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} = 239.217 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Productividad óptima}_{40m} = 2.671 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} = 160.252 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Productividad óptima}_{60m} = 2.008 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 60 \frac{\text{min}}{\text{hr}} = 120.482 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$K_{\text{material}} = 1$$

$$\text{Productividad real} = P_{\text{óptima}} * \text{Factor de eficiencia} * K_{\text{material}}$$

$$\text{Productividad real}_{20m} = 239.217 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * 0.83 * 1 = 198.550 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Productividad real}_{40m} = 160.252 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * 0.83 * 1 = 133.010 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Productividad real}_{60m} = 120.482 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} * 0.83 * 1 = 100.000 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Tiempo} = \frac{\text{Volumen de corte m}^3}{\text{Productividad real m}^3/\text{hr}}$$

$$\text{Tiempo}_{20m} = \frac{58.074 \text{ m}^3}{198.550 \text{ m}^3/\text{hr}} = 0.2924 \text{ hr}$$

Carga

Capacidad del tractor: 3.93 m³

Volumen de carga: 226.4873 m³

Tiempo de ciclo: 3 min

$$\text{Rendimiento óptimo} = \frac{\text{Capacidad del equipo}}{\text{Tiempo de ciclo}}$$

$$\text{Rendimiento óptimo} = \frac{3.93 \text{ m}^3}{3 \text{ min}} = 1.31 \text{ m}^3/\text{min}$$

Productividad óptima:

$$\text{Productividad óptima} = \frac{1.31 \text{ m}^3}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{\text{hr}} = 78.6 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Productividad Real:

$$\text{Productividad real} = \frac{78.6 \text{ m}^3}{\text{hr}} * 0.83 = 65.238 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Tiempo:

$$\text{Tiempo} = \frac{226.4873 \text{ m}^3}{65.238 \text{ m}^3/\text{hr}} = 3.472 \text{ hrs}$$

A como muestran los resultados obtenidos se obtiene un tiempo total de corte y carga con excavadora de 3.41 Hrs y 7.57 Hrs respectivamente. Para tractor se obtiene un tiempo de corte de 1.31 Hrs y 3.47 Hrs de carga utilizando Excavadora.

Por tanto, realizando un análisis económico muy sencillo utilizando el tiempo total de trabajo utilizando únicamente las rentas de cada maquinaria se obtiene:

Tabla 12:

Comparación de corte en calle a nivel de sub rasante

Equipo	Tiempo de corte (Hrs)	Tiempo de relleno (Hrs)
Excavadora	3.41	7.57
Tractor / Excavadora	1.31	3.47

Fuente: Elaboración propia

De igual manera nos podemos apoyar en la Tabla de volúmenes y tiempos de corte a nivel de andén y sub rasante con tractor51, ya que de esta se ajustan los tiempos para garantizar la continuidad del trabajo con el resto de maquinaria.

Conformación y nivelación de sub rasante

Como anteriormente se ha descrito la actividad de conformar y nivelar la terracería precede al corte a nivel de terracería, tarea que permite bajar a la cota de sub rasante.

Tal y como se indica en cada tabla de costos unitarios de corte de andén y terracería respectivamente, se utiliza la motoniveladora para ajustar la cota adecuada según sea la actividad. Por ello únicamente se presenta un ejemplo de cómo calcular la cantidad de obra que requiere el patrol para garantizar el cumplimiento de ajuste de terracería.

Conformando

Calle 1 (61.74 mts)

$$\text{Tiempo Franja} = \text{Tiempo de Maniobra} + V_{\text{Conformando}} + V_{\text{Retroceso}}$$

$$\text{Tiempo Franja} = 0.5 \text{ min} + \frac{61.74 \text{ m}}{116 \text{ m/min}} + \frac{61.74 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 1.279 \text{ min}$$

Nivelando

Calle 1 (61.74 mts)

$$\text{Tiempo Franja} = \text{Tiempo de Maniobra} + V_{\text{Nivelando}} + V_{\text{Retroceso}}$$

$$\text{Tiempo Franja} = 2.5 \text{ min} + \frac{61.74 \text{ m}}{66 \text{ m/min}} + \frac{61.74 \text{ m}}{250 \text{ m/min}} = 3.68 \text{ min}$$

Considerando:

Longitud efectiva de Vertedera = 3.66 m

Y asumiendo un ancho de calle de 6.30 mts

Tiempo Total = 1. 279 min + 3. 68 min = 4. 959 min

Colocación de material granular base y sub base

Se trasladará el material en base a la producción de 60 m³/hr, que desarrolla la motoniveladora para colocación de material granular.

Sabiendo que se tienen disponibles dos motoniveladoras para esta actividad, se puede estimar el tiempo necesario para la colocación del material. Únicamente se debe conocer el volumen total a colocar.

Ahora partiremos del análisis realizado, basado en el rendimiento de la motoniveladora que se tiene para esta tarea, así como de algunos valores tales como la velocidad de operación del equipo en dependencia de la tarea que se esté realizando. Estos y otros datos los proporciona el fabricante. En caso de no tener un dato estadístico de producción es válido utilizar manuales de rendimientos tal como manual de rendimiento de Caterpillar edición 2016.

6.5 Programación física

Cada una de las actividades hasta ahora descritas, sería la línea base del proyecto, ya que estiman un costo de ejecución y permiten la adecuación de la estrategia seleccionando los recursos correctos con los que se ejecutara de manera eficiente la obra.

Por ello, es sumamente importante adicionar a esto una herramienta que permita mostrar el comportamiento que tendrá la ejecución de la obra, controlando de forma adecuada los recursos y a su vez permitiendo corregir cualquier debilidad que se presente.

Una vez determinada la selección adecuada de la maquinaria, así como la estimación de cantidades de obra como su valor monetario por actividad, es imperante



mantener control de las actividades ejecutadas que deben estar regidas por un programa global que permita a su vez detallar cada sub actividad.

Existen diferentes formas de llevar una programación y a su vez control de la ejecución de un proyecto, una de ellas es a través de softwares especializados que nos permiten ver el paso a paso de las actividades; además de un control físico-financiero de la obra. Esto está íntimamente relacionado con la estrategia que se plantea a la hora de realizar un presupuesto de movimiento de tierra, ya que en muchas ocasiones no se ejecutan las obras de la manera en cómo se visiono al momento de realizar un presupuesto.

Se utilizará el programa Project 2022 aplicación creada por Microsoft el cual permite de gran manera organizar las tareas y agregar los recursos que se han proyectado utilizar en la ejecución de movimiento de tierra de condominio bello amanecer. A continuación, se muestra los resultados de la programación física

Imagen 9:

Desglose de Tareas Proyecto



Id	Nombre de tarea	u/m	Duración	Comienzo	Fin
1	INICIO		28 días	jue 18/07/24	mar 20/08/24
2	TERRAZAS DE LA ETAPA IV SUB ETAPA 2		22 días	jue 18/07/24	mar 13/08/24
3	Descapote de terreno. 20 cms.	m3	0 días	jue 18/07/24	jue 18/07/24
4	Desalojo de material procedente del Descapote fuera del sitio.	m3	7 días	jue 18/07/24	vie 26/07/24
5	Escarificación y Compactación E= 15 cm.	m2	9 días	vie 02/08/24	mar 13/08/24
6	Corte de terreno para conformar terraza	m3	5 días	sáb 27/07/24	vie 02/08/24
7	Relleno con Material del sitio Procesado y compactado hasta alcanzar el Nivel Terminado en Terrazas. En capas no mayores de 30 cm. Al 90% Proctor Estd.	m3	6 días	sáb 27/07/24	sáb 03/08/24
8	Acarreo Interno de Material para Relleno.	m3	6 días	sáb 27/07/24	sáb 03/08/24
9	Desalojo de material procedente del corte fuera del sitio.	m3	4 días	sáb 03/08/24	jue 08/08/24
10	CALLE COSTADO ESTE (DE LA EST. 0+000.00 A LA EST. 0+040.00) Y CALLE COSTADO SUR (DE LA EST. 0+025.27 A LA EST. 0+101.10)		7 días	mar 06/08/24	mié 14/08/24
11	Escarificación y Compactación E= 15 cm.	m2	4 días	vie 09/08/24	mié 14/08/24
12	Corte de terreno para conformar terracería de Calle.	m3	1 día	mar 06/08/24	mié 07/08/24
13	Desalojo de material procedente del corte fuera del sitio.	m3	2 días	mié 07/08/24	vie 09/08/24
14	ZANJAS DE INFILTRACION		7 días	lun 29/07/24	lun 05/08/24
15	Excavación de Zanjas de Infiltración TZ-4, TZ-15, TZ-5, TZ-17 con las Siguiete Dimensiones (1.5mts x 10.00 mts x 7.5 mts) Y Zanja de infiltracion TZ-16 con dimensiones de 1.5 mts x 14 mts x 7.5 mts	m3	1 día	mié 31/07/24	mié 31/07/24
16	Desalojo de Material Excavación de Zanjas de Infiltración fuera del sitio	m3	1 día	mié 31/07/24	mié 31/07/24
17	Suministro de Piedra Volcánica	m3	6 días	lun 29/07/24	lun 05/08/24
18	Carga y Acarreo de piedra volcánica	m3	6 días	lun 29/07/24	lun 05/08/24
19	Colocación de Piedra Volcánica para filtros.	m3	6 días	lun 29/07/24	lun 05/08/24
20	BASE EN CALLE CON MATERIAL SELECTO		5 días	mié 14/08/24	mar 20/08/24
21	Base de material selecto Tipo Agrenic procesado y compactado al 95% proctor estándar. Acero Estructural para tragante pluvial.	m3	2 días	mié 14/08/24	vie 16/08/24
22	Suministro y acarreo de material selecto para hacer calles	m3	2 días	mié 14/08/24	vie 16/08/24
23	Suministro y Colocación Topográfica de formaleta metálica, para espesor de 12 cm, con Bordillos Integrado, colocación de concreto en forma directa desde el camión, vibrado Enrazado con codal de aluminio, floteado, acabado, y Escobillado, colocado de curad	m2	3 días	vie 16/08/24	mar 20/08/24
24	FIN		0 días	mar 20/08/24	mar 20/08/24

Fuente: Elaboración propia

Cada actividad descrita en la imagen anterior establece un orden de trabajo que no necesariamente será escalonado, esto estará en dependencia de las estrategias que se tomen más convenientes para iniciar la obra en campo y que permitan un mejor desempeño de la maquinaria. Y que estén relacionadas de manera muy cercana a las atendidas en la elaboración del presupuesto.

Ahora los tiempos de duración de cada actividad estarán en dependencia del rendimiento calculado anteriormente.

De igual manera los recursos que son los equipos a utilizar en cada actividad descrita en el programa de ejecución deberán ser detallados uno por uno, especificando su costo por renta horaria, así como todos aquellos costos en los cuales se incurre para poder tener dicho recurso en la obra.

De esta manera se puede agrupar la información permitiendo obtener un programa físico financiero y de seguimiento que sirve de comparativo con el presupuesto de la obra. Cabe destacar que el diagrama de Gantt que se forme luego de agregar cada una de las actividades de ejecución y debidamente relacionadas unas con otras nos permitirán observar cual será la ruta crítica del programa, permitiendo tener mayor énfasis en las tareas que componen dicha ruta crítica.

Una buena estrategia de seguimiento al programa de obra será establecer una línea base al proyecto, así como también fechas de estado que permiten realizar un monitoreo de las actividades. Esto permite detectar cualquier atraso, y tomar medidas inmediatas para corregirlos. De igual manera nuestras fechas de estado serán nuestro punto de partida para cualquier reprogramación que se deba hacer, y así dar el seguimiento adecuado a dichas actividades.

Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

Partiendo del análisis del uso de la maquinaria requerida para la ejecución del proyecto, se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1) La maquinaria propuesta para ejecutar la obra una vez conocidos los alcances, permite desarrollar todas las actividades que describe el proyecto, en caso de algunas tareas como lo es el corte a nivel de sub rasante explica un proceso que es analizado en función de la lógica de trabajo, así como del costo de ejecución del mismo, considerando más efectivo el uso excavadora y tractor para el corte y traslado del material con una disminución del 47% del costo de corte y acarreo en Sub rasante.
- 2) El rendimiento de los principales equipos empleados en el movimiento de tierra, estará ligado con la gestión de mantenimiento de maquinaria para brindar el buen funcionamiento del equipo.
- 3) Las estrategias adoptadas para el mejoramiento de la productividad aplicada a la maquinaria logro estimar la ejecución en 60 días calendarios, a través la programación detalla de las actividades.

7.2 Recomendaciones

A partir del análisis de los resultados, realizamos las siguientes recomendaciones como estrategias para potenciar la productividad de la maquinaria:

- 1) Las Especificaciones NIC-2000 son normativas en la administración y construcción de obras viales y deben ser incorporadas al Contrato, por referencia, si se quiere contar con una herramienta que comprometa y obligue a ambas partes contratantes con fuerza legal ante cualquier instancia judicial, o de arbitramento.
- 2) El MTI retiene su autoridad como Rector de la actividad vial del país que dicta las normas para la seguridad del público y la estabilidad y calidad de la red vial, en la ejecución de todo proyecto de construcción vial (Público o Privado); por tal motivo, será necesario que el Contratante y El Contratista estén sujetos a la reglamentación que sobre estos aspectos dicte el Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- 3) La falta de mantenimiento crea afectaciones que pueden ser perjudiciales para la maquinaria y para el avance del proyecto en sí, generando mayores costos de ejecución, que a la larga provocan pérdidas sustanciales.
- 4) Crear una organización sistemática que incluya al personal de mantenimiento.
- 5) Conocer los tipos de maquinarias a utilizar en obras de movimiento de tierra y las características de cada una de ellas.
- 6) Programar Mantenimientos Preventivos, los que se deben realizar fuera de la jornada laboral
- 7) El uso del Software Project que permite establecer una ruta crítica así como garantizar que los recursos no estén en conflicto.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gestión del mantenimiento módulo IV (2016). NIMAC
- www.fise.gob.ni
- Hernández J. (2008). Gestión de una empresa de movimiento de tierra. Tesina.
- Marengo J. (2016). Posgrado de Explotación de Equipos. Gestión de la maquinaria pesada para movimiento de tierra módulo 1.
- Marengo J. (2016). Posgrado de Explotación de Equipos. Maquinaria de construcción civil modulo I.
- Manual de rendimiento de maquinaria Caterpillar. (2016). Edición 31



ANEXOS

Anexo 1: Programación de ejecución física.

