



Administración de Maquinaria para Obras Civiles

Cristian F. González Saavedra

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomas

Monografía de grado

Ing. William Ricardo Mozo Moreno

Junio 6 del 2020

Universidad Santo Tomas

Seccional Tunja

Nota de Aceptación



Firma del tutor.
Ing. WILLIAM RICARDO MOZO MORENO

Firma de jurado 1

Firma de jurado 2

Tunja
Junio del 2020

Agradezco a Dios por otorgarme el privilegio de vivir para Realizar mis sueños, a mi familia, en especial a mis padres ya que son mi fuente de inspiración y la base de mi formación, a mi novia e hija a quien dedico mi éxito de ahora en adelante, y a las personas que creyeron en mí y me apoyaron durante mi carrera profesional.

Tabla de contenido

Introducción	11
Objetivos	13
1. Obras civiles	14
1.1. Proyecto.	14
1.1.1. Viales.....	15
1.1.2. Acueductos y Alcantarillados.....	16
1.1.3. Mineros y Canteras.....	17
1.1.4. Rellenos sanitarios y otros.....	19
2. Productividad de Maquinaria	22
2.1. Productividad.	23
2.1.1. Factor de Tiempo.	24
2.1.2. Factor de operación.	25
2.1.3. Altura.....	25
2.1.4. Administración.	25
2.1.5. Eficiencia del trabajo.....	26
2.2. Movimiento de tierras.....	26
2.2.1. Suelos.....	27
2.2.2. Características de los suelos.....	27

2.3.	Maquinaria de estudio.....	27
2.3.1.	Excavadoras Volvo.	28
2.3.2.	Cargadoras sobre ruedas Volvo.....	32
2.3.3.	Camiones Articulados Volvo.....	37
2.3.4.	Compactadoras de suelos y asfalto Volvo.....	40
2.3.5.	Extendedoras de asfalto Volvo.	45
2.3.6.	Motoniveladora SDLG.	50
2.4.	Calculo de productividad	53
2.4.1.	Productividad en Excavadoras Hidráulicas	54
	Rendimiento.	54
	Calculo para el volumen real del balde.	60
2.4.2.	Productividad en Cargadoras de ruedas.....	62
	Carga y Descarga.	62
	Carga, transporte y Descarga.	66
2.4.3.	Productividad en camiones articulados Dumpers.....	68
2.4.4.	Productividad en compactadores de suelo y asfalto.	78
2.4.5.	Productividad en Extendedoras de asfalto.....	80
2.4.6.	Productividad para Motoniveladoras.....	82
3.	Administración de maquinaria.	87

3.1. Valores para el costo por hora de maquinaria plantilla Volvo.....	88
Calculo del costo total por hora.....	94
3.1.1. Costos fijo por hora.	94
3.1.2. Costos variables por hora.	95
3.1.3. Costos de operación.....	96
Costo total por hora.	97
3.2. Plantilla alterna para el cálculo del costo total por hora.	99
3.2.1. Cargos fijos.	99
3.2.2. Cargos por consumo.	101
3.2.3. Cargos por operación.....	102
Conclusiones y Recomendaciones	103
Referencias	105

Lista de tablas

Tabla 1. Maquinaria de gran impacto utilizada en proyectos.....	20
Tabla 2. Factores según tiempo de trabajo	24
Tabla 3. Factor de operación.	55
Tabla 4. Factor de eficiencia en la administración	55
Tabla 5. Ítems para la calificación de Administración y Obra	56
Tabla 6. Clases de material a Excavar.....	58
Tabla 7. Factor de llenado del balde según material	58
Tabla 8. Tiempo de ciclo Excavadoras Grandes y Medianas Volvo.....	59
Tabla 9. Tiempo de ciclo Excavadoras Grandes y Medianas Volvo.....	59
Tabla 10. Factor de disponibilidad de la maquina Fd.	61
Tabla 11. Factor de llenado del balde para cargadoras	63
Tabla 12. Factor de eficiencia de Trabajo	63
Tabla 13. Tiempos de ciclo con modo de operación V.	65
Tabla 14. Tiempos de ciclo en modo de operación Cruz.	66
Tabla 15. Rango de velocidades según condiciones de transporte.....	67
Tabla 16. Velocidades de la cargadora L260H de Volvo.....	68
Tabla 17. Clases de maniobras y tiempos de descarga para articulados.	71
Tabla 18. Clases de maniobras de ubicación para carga y tiempos en articulados.	72
Tabla 19. Valor de Resistencia a la rodadura según la superficie del suelo.....	74
Tabla 20. Tabla de pavimentación teórica de la extendidora P4820D de Volvo.	82
Tabla 21. Eficiencia de trabajo para motoniveladoras	83
Tabla 22. Factor de pendiente para Motoniveladoras	83

Tabla 23. Longitud efectiva de nivelación (Le)	85
Tabla 24. Numero de pasadas de una Motoniveladora.	86
Tabla 25. Resumen para el cálculo del costo total por hora.....	98
Tabla 26. Factor “Q” de mantenimiento.....	100

Lista de Figuras

Figura 1. Maquinaria para construcción de vías	16
Figura 2. Tiende Tubos y Excavadora	17
Figura 3. Camión articulado, excavador y cargador.	18
Figura 4. Cargador con brazo manipulador de troncos.	20
Figura 5. Excavadoras EC950E, EC140D Y EC27D	28
Figura 6. Partes de la excavadora EC480D.....	29
Figura 7. Componentes del Sistema hidráulico en una excavadora.....	30
Figura 8. Fuerzas de una excavadora	31
Figura 9. Cargadoras de ruedas Volvo, L350H, L180HHL y L60F	33
Figura 10. Cargadora de Ruedas Volvo L150H.....	34
Figura 11. Tren Motriz cargadora de ruedas volvo.....	36
Figura 12. Sistema de cinemática para cargadoras Volvo	36
Figura 13. Dumpers Articulado Volvo, A60H y A25G	37
Figura 14. Tren Motriz Camión Articulado Volvo.	38
Figura 15. Bastidor de Camión Articulado Volvo	39
Figura 16. Compactadoras de asfalto y suelos Volvo, PT220 y SD105	41
Figura 17. Rodillo pata de cabra y liso para compactadoras de suelos volvo.....	41
Figura 18. Fuerzas que ejerce una compactadora de suelos volvo	43
Figura 19. Compactadora de asfalto Volvo, PT125	44
Figura 20. Rodillos sobrepuestos compactadoras de asfalto Volvo.....	45
Figura 21. Pavimentadoras Volvo, P7820DABG Y P5870CABG	46
Figura 22. Pavimentadora Volvo P3520B ABG	47

Figura 23. Sistema de Tornillo Sinfín.....	48
Figura 24. Reglas Variomatic Volvo	49
Figura 25. Motoniveladora SDLG, G9138	50
Figura 26. Motoniveladora SDLG, G9138F	51
Figura 27. Sistema de tracción Motoniveladora	52
Figura 28. Rangos de trabajo en una excavadora.....	57
Figura 29. Modos de carga y descarga para cargadoras.....	64
Figura 30. Clases de maniobras para descarga.....	70
Figura 31. Clases de maniobras para carga.	72
Figura 32. Grafica del tiempo de traslado con carga para el articulado A25F.....	77
Figura 33. Grafica del tiempo de traslado sin carga para el articulado A25F.....	78
Figura 34. Sección de traslapo para compactadoras.	80
Figura 35. Calculo de la longitud efectiva	85

Introducción

Las obras civiles tienen una finalidad que representa los intereses de una sociedad pues están encaminadas a brindar facilidad de comunicación en cuanto al transporte por medio de las vías, puentes, túneles, líneas férreas y todas aquellas estructuras que componen los caminos que desde la antigüedad, han servido para generar ingresos a una comunidad y acorta distancias entre sociedades; de igual manera estas obras brindan vivienda digna, centros de esparcimiento, centros educativos y de salud, además de todas las magníficas estructuras que conforman el legado de la humanidad y que hacen parte de la cultura de una sociedad que trasciende entre generaciones, todas estas obras se inician como un proyecto con estudios previos y centrados a una necesidad.

Dentro de la planeación de un proyecto se tiene que tener previsto cada detalle ya que se hace indispensable una administración de recursos y de materiales que sea lo más precisa así como real a las circunstancias que se tienen en el momento, y las que se prevén durante el tiempo de desarrollo; entre las obras civiles de gran importancia, la remoción de terrenos el descapote de predios, el transporte de tierra, así como la excavación, nivelación y pavimentación, dependen estrictamente de materiales y herramientas que faciliten y reduzcan el tiempo de ejecución como lo es la maquinaria pesada de construcción, por ello los rendimientos y los costes de operación generan un gran impacto en los presupuestos de obra.

Este trabajo tiene como objetivo explicar de manera detallada el procedimiento así como el método utilizado en el cálculo del rendimiento de manera general para cada modelo de la maquinaria pesada más usada en los proyectos de construcción y movimiento de tierras de la marca Volvo y SDLG, además se diseña una cartilla con ejercicios aplicativos para la maquinaria de estudio.

Es indispensable tener en cuenta la productividad y el consumo de una máquina para poder establecer los costes de operación y los tiempos en los que se deben realizar los mantenimientos según el trabajo y la edad de la maquinaria, y así garantizar un trabajo seguro sin ningún tipo de imprevisto que dificulte el desarrollo de ejecución del proyecto, por consecuencia de una reparación imprevista o de un costo que no se tenía contemplado en la planeación.

Objetivos

Objetivo General.

Desarrollar los parámetros y los métodos de cálculo relacionados con la productividad y el costo total por hora de la maquinaria pesada más utilizada en la construcción de vías y remoción de material.

Objetivos Específicos.

- Describir las formulas con los factores y el procedimiento a utilizar que determinen el rendimiento en los diferentes equipos de estudio.
- Definir el método con las variables en el cálculo del costo total por hora que sustenta una maquinaria durante su vida útil de trabajo.
- Elaborar una cartilla con ejercicios aplicativos que determinen la productividad y el costo por hora utilizando los métodos planteados en el presente trabajo.

1. Obras civiles

Las obras civiles son infraestructuras que sirven a la sociedad y en principio tienen beneficios particulares atendiendo a sus necesidades, como lo es el transporte con estructuras de puentes, reforzamiento de taludes, túneles, entre otros, además de servicios básicos como redes de acueducto y alcantarillado, servicios eléctricos con represas, cimentaciones para torres eléctricas y antenas de comunicación.

En cada obra es necesaria la intervención de maquinaria de construcción que según sus condiciones necesita de maquinaria específica; por ende no es viable destinar una maquinaria de excavación para carga y transporte, ya que se está incumpliendo con el propósito general para el cual fue diseñado el equipo, y con esto se está desgastando de manera considerable las partes y elementos del mismo que se sobre esfuerzan al elaborar tareas distintas.

Entre las diferentes obras que se encuentran en la ingeniería civil, se van a enunciar las más relevantes en donde es más frecuente el uso de maquinaria ya que existen obras de construcción como edificaciones, construcción de viviendas unifamiliares, mejoramiento estructural y otras, en las cuales la maquinaria que se utiliza no necesariamente es de gran importancia, por lo tanto no trasciende tanto en su administración para calcular el rendimiento y establecer los costos de operación de una manera más detallada.

1.1. Proyecto.

Un proyecto tiene como finalidad cumplir un objetivo en donde se necesitan de recursos tanto humanos como materiales para su ejecución, dentro de cada proyecto existen sub-proyectos que siguen un organigrama establecido previamente, el cual respeta un periodo de entrega y un presupuesto acordado.

Son esfuerzos encaminados a obtener un objetivo, cuando se cumple se entenderá como finalizado dicho proyecto, para ello se debe tener presente las necesidades que desde el inicio quedaron establecidas, así lo describe Alejandro, “una combinación de recursos humanos reunidos en una organización temporal para alcanzar un objetivo específico” (Zambrano de la Garza , 1998, pág. 12). Entre los proyectos en los que se pueden encontrar un gran aforo de maquinaria pesada en operación son:

1.1.1. Viales

Tienen como finalidad la construcción de carreteras caminos y vías férreas que sirven como conectores y otorgan el transporte entre ciudades o municipios, además se entienden como proyectos viales a todos aquellos que complementan la construcción de una vía (ver ***Figura 1***), como lo son: taludes, terraplenes, puentes, túneles, peajes y viaductos.

La operación de maquinaria en estos proyectos es indispensable ya que desarrolla un trabajo eficaz, de acuerdo a esto es pertinente realizar un presupuesto detallado de los consumos y en sí de la administración de cada maquinaria que va a ser utilizada para la excavación, transporte de tierra, nivelación y compactación de la misma además de las herramientas menores que son indispensables para cualquier trabajo.

La construcción de una vía utiliza una gran cantidad de maquinaria pesada, pues el rendimiento de las mismas garantiza un tiempo de ejecución corto y con ello una reducción en el presupuesto del proyecto, de acuerdo a esto es importante considerar factores como el rendimiento y el costo total por hora que los equipos utilizados en estos proyectos tendrán, y así poder definir un cálculo preciso de la magnitud económica que se maneja.

Figura 1.

Maquinaria para construcción de vías



Nota. Adoptado de volvo_show_tracked_paver_p7820d, de Volvo CE. www.volvoce.com.

<https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/asphalt-pavers/p7820d-abg/>

1.1.2. Acueductos y Alcantarillados

Estos proyectos atienden a las necesidades básicas que por derecho deben tener las personas en sus hogares, centros educativos, de salud, de trabajo, administración y de esparcimiento, como lo es el recurso hídrico. Las obras se extienden desde la adquisición del recurso, transporte al lugar de uso, tratamiento y posteriormente su vertimiento; para ello es necesaria la excavación de canales, zanjas, colocación de tubos (ver **Figura 2**), compactación de suelos, disposición del material extraído y las construcciones adicionales como diques, taludes, galerías de alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas y otros, que cumplan con los requisitos contemplados en cualquier acueducto y alcantarillado diseñado por medio de tuberías y ductos, y por ello es pertinente detallar su costo en los presupuestos que contemplan estas obras.

Figura 2.*Tiende Tubos y Excavadora*

Nota. Adoptado de volvo-benefits-pipelayers-pl4809d, de www.volvoce.com,
<https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/pipelayers/pl4809d/>

1.1.3. Mineros y Canteras

La minería consiste en la explotación del terreno para la extracción en yacimientos subterráneos de minerales, combustibles fósiles o metales de gran impacto económico, haciendo que los proyectos mineros tengan una demanda constante y se realicen perforaciones al terreno de una manera controlada según los parámetros medio ambientales que se deben cumplir hoy en día; por tanto la maquinaria de movimiento de tierras juega un papel importante en estos proyectos.

Una mina tiene un periodo de tiempo limitado por la cantidad de material a extraer y la cantidad de terreno a explotar permitidos por los entes ambientales y de control, por ello no se

contempla un proyecto general como tal sino sub proyectos encaminados a extraer material en diferentes zonas, por ende es impórtate tener en consideración los costos que se afrontan al trabajar con maquinaria de extracción.

Existe un tipo de minas a cielo abierto en las que se extrae rocas o minerales no disgregados que se utilizan en la construcción según él (Ministerio de Minas y Energia Republica de Colombia, 2003), se le conoce comúnmente con el término de canteras y el material obtenido se destina como agregado para la mezcla en concretos o relleno para zanjas de alcantarillados y vías; en estas canteras aparte de la maquinaria de trituración es necesario utilizar equipos de excavación, transporte y carga del material (Ver **Figura 3**) con la finalidad de obtener un proceso eficaz.

Figura 3.

Camión articulado, excavador y cargador.



Nota. Adoptado de volvo-benefits-articulated-hauler-a45gfs, www.volvoce.com,

<https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/articulated-haulers/a45gfs/>.

1.1.4. Rellenos sanitarios y otros.

La disposición de las basuras en una ciudad debe hacerse de una manera ordenada controlada y cumpliendo con las normas ambientales, los rellenos sanitarios son estructuras de ingeniería diseñadas para disponer los residuos sólidos en capas compactadas de basuras de manera subterránea y previamente impermeabilizadas con el fin de proteger los acuíferos de las sustancias que estas segregan, para poder realizar un relleno es necesario contar con un espacio excavado y para ello se dispone en algunos casos los territorios previamente explotados en minería con el fin de recuperar de manera adecuada el territorio utilizando las basuras como material de consolidación si lo describe (Ulloa, 2006).

Tanto los proyectos de relleno sanitario como los mineros tienen un tiempo de ejecución delimitado por la extensión de terreno a disponer y es de gran importancia contar con la ayuda de maquinaria para el movimiento de tierra, en el caso de los rellenos se necesita maquinaria para el transporte y carga de los desechos que se van a tratar, de esta manera se puede realizar un trabajo adecuado en un tiempo establecido con los niveles de compactación correctos.

Además de los proyectos viales, de acueductos, alcantarillados, mineros, canteras y rellenos sanitarios en donde se utiliza maquinaria, existen empresas privadas o públicas que disponen de maquinaria amarilla para el desarrollo de las tareas que su empresa efectúa diariamente (Ver ***Figura 4***), como la silvicultura, deforestación, las concretaras y las empresas de alimentos tipo granulares que utilizan cargadores para facilitar el transporte dentro de sus instalaciones cuando existe una importante cantidad de producto, y por ende el rendimiento y la administración de un equipo puede significar importantes consideraciones a la hora de costear la producción del entregable.

El tipo de maquinaria más utilizado o de gran impacto en cada clase de proyecto anteriormente mencionado se describe en la tabla 1 y en su mayoría son equipos de estudio utilizados en este trabajo para el cálculo de rendimiento.

Figura 4.

Cargador con brazo manipulador de troncos.



Nota. Adoptado de volvo-show-wheel-loader-1180h, de www.volvoce.com,
<https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/wheel-loaders/1180hhl/>

Tabla 1.

Maquinaria de gran impacto utilizada en proyectos

Clase de Proyecto	Viales	Acueductos y alcantarillados	Mineros y canteras	Rellenos sanitarios, otros
Maquinaria	Excavadoras sobre orugas o ruedas	Excavadoras sobre orugas o ruedas	Excavadoras sobre orugas o ruedas	Cargadores frontales sobre ruedas
	Cargadores frontales sobre ruedas	Cargadores frontales sobre ruedas	Cargadores frontales sobre ruedas	Compactadores de suelos

	Compactadores de suelos	Mini cargadores de ruedas	Topadoras	Topadoras
	Compactadores de asfalto	Compactadores de suelos	Camiones articulados	Motoniveladoras
	Extendedoras de asfalto	Motoniveladoras	Camiones rígidos	Excavadoras sobre orugas o ruedas
	Topadoras	Excavadoras compactas	Perforadoras	
	Motoniveladoras		Compactadores de suelos	

Nota. Se muestran los equipos de gran importancia en los distintos proyectos de construcción. Fuente. Autor

2. Productividad de Maquinaria

En las obras de ingeniería civil o de construcción se mide el tiempo de ejecución con la ayuda de la productividad vinculada con los cronogramas establecidos para cada actividad, además establece los parámetros para el pago y contratación de equipo de construcción como mano de obra ofrecida por una cuadrilla de trabajadores así como la cantidad de maquinaria para realizar las tareas mecánicas, y así poder determinar que costo tendrá el alquiler o la compra de equipos y cuanto tiempo demorara las tareas en ser desarrolladas.

La productividad en maquinaria pesada por lo general se mide de acuerdo a las tablas de rendimientos que aporta el fabricante calculadas según parámetros estudiados para cada equipo, estas tablas garantizan que la maquinaria se encuentra al 100% de su capacidades y sin ningún tipo de interrupción durante su trabajo; es por tanto que en ocasiones según el cálculo en estas tablas la maquinaria efectúan la labor en un tiempo de ejecución más corto, puesto que no se consideran factores en la productividad muy importantes como es el caso del clima, el terreno con respecto a su topografía, puntos de acceso para la maquinaria, abastecimiento de combustible y repuestos de la misma para su mantenimiento, además de las distancias, pendientes y ángulos de giro que deben realizar los equipos y la destreza del operador.

Entonces se puede decir que el cálculo de rendimiento realizado por el fabricante para un proyecto que está siendo estudiado o presupuestado, sirve como una aproximación que deberá corregirse durante el tiempo de ejecución en obra y tomando medidas directas con el equipo en el terreno en lo posible, estudiando de manera detallada el tiempo de ciclo, el consumo de la misma, las distancias de recorrido y la habilidad del operario. En ocasiones los rendimientos se calculan con base en la experiencia que se tiene según proyectos de movimientos de tierras anteriores, donde se estudian los parámetros de terreno, clima, habilidad del operario y topografía de manera

más detallada comparándolas con obras similares anteriormente realizadas según (Vargas Sanchez, 1999, pág. 34)

2.1. Productividad.

La productividad relaciona la cantidad de entregable ofrecido en un tiempo determinado, es decir; establece la cantidad de unidades desarrolladas en ejecución según las necesidades de material a manipular o entregar, como por ejemplo, toneladas, metros cúbicos, unidades o piezas, entre otras, y el tiempo exacto que transcurrió para obtener esta unidad con un tipo de recursos establecido como mano de obra, equipos y maquinaria. Siempre se busca que en la productividad se encuentren vinculados la calidad y el desempeño en cuanto a ofrecer un producto con el mínimo de recursos sin afectar sus características principales (Carro Paz & González Gómez , 2012).

Para la productividad en maquinaria y su desempeño durante un tiempo de trabajo se establecen las unidades o entregables según las características de la máquina y sus funciones principales, en el caso de una excavadora las unidades representativas se basan en la cantidad de material excavado y medido ya sea por metros cúbicos (m^3) o toneladas (ton), determinado por la capacidad de su implemento principal de carga conocido como balde o cuchara, y se relación con un periodo de tiempo establecido ya sea en una hora (h), por días o por jornadas de trabajo según lo disponga la administración.

En el caso de un equipo para compactación de suelos las unidades relacionadas con la productividad cambian, tomando en cuenta que las funciones de la maquina no necesariamente se encuentra relacionadas a la manipulación del terreno de manera directa como excavándolo o transportándolo, sino que lo compacta en diferentes niveles, esto hace que la unidad de medida

sea establecida como un área (m^2) o una longitud (m) de material compactado, por un tiempo determinado según lo establezca la administración.

Existen factores vinculados a determinar la productividad de una maquinaria y que se consideran esenciales para tener un cálculo detallado según (Gutierrez Angulo & Pereira Moreira, 2006), entre estos se encuentran:

2.1.1. Factor de Tiempo.

Es el factor establecido por la cantidad de minutos de trabajos dentro de una hora tiempo real, es una relación entre los minutos reales de trabajo por una máquina y 60 minutos que corresponde a una hora, con el fin de determinar la cantidad exacta de minutos trabajados con pausas y demás interrupciones dentro de una hora, para considerarlos como hora de trabajo aunque no cuenten con la totalidad de los minutos que componen la misma.

Tabla 2.

Factores según tiempo de trabajo

Tiempo de trabajo realizado en minutos	Factor de tiempo
min	(t)
60	1.00
55	0.92
50	0.83
45	0.75
40	0.67
35	0.58
30	0.50

Nota. Relación de minutos trabajados sobre tiempo de una hora en minutos.

Fuente. Autor

2.1.2. Factor de operación.

El factor de operación corresponde a las capacidades que el operador sustenta en el manejo de la maquinaria y se basa en las habilidades del operario para maniobrar la maquina durante el proceso de trabajo, entre menos contratiempos y percances, mejor es el rendimiento de la misma y corta los tiempos de ciclo lo que resulta menos tiempo para el llenado, excavado, nivelación, compactación y más.

2.1.3. Altura

La altura a nivel del mar en donde se encuentra situada la maquinaria influye en su rendimiento con respecto a la eficiencia del motor y la capacidad de potencia que este puede generar, debido a que a mayor altura sobre el nivel del mar, se encuentran menos partículas de oxígeno en el aire lo que resulta en pérdida de potencia por la falta de oxígeno en las cámaras de implosión dentro de los pistones, y por ende disminuye la velocidad de empuje que el pistón tiene dentro del motor, de igual forma reduce la velocidad del cigüeñal lo que se traduce a menos torque del motor.

Luego de los 1000 m.s.n.m la pérdida por cada 100 metros de altura es del 1%, y es algo que se debe considerar si la altura a nivel del mar del proyecto es bastante grande; Para tener en cuenta esta reducción de potencia, se debe aumentar el tiempo de ciclo ya establecido dependiendo del porcentaje que disminuye la potencia del motor, así lo describe (Vargas Sanchez, 1999, pág. 54).

2.1.4. Administración.

La buena administración en obra garantiza la eficacia de los procesos constructivos si se consideran buenas órdenes y un buen tiempo de ejecución con respecto a cronogramas establecidos, la eficiencia de la maquinaria es mejor, ya que si el equipo se encuentra estático la

productividad del mismo disminuye y se traduce como pérdida de dinero y más aún si el equipo es de alquiler.

2.1.5. Eficiencia del trabajo.

Es el producto que involucra los factores de administración, altura, eficiencia de tiempo y operación en un solo factor, que será utilizado en las fórmulas para determinar la productividad, se denota con la sigla (E).

2.2. Movimiento de tierras.

En el movimiento de tierras la productividad se encuentra vinculada de una manera constante al ser la principal fuente de medición en cuanto a la totalidad de material que se ha manipulado desde el inicio de la operación para un movimiento de tierras en masa, a ello se vinculan distintas maquinarias que hacen de este un trabajo eficaz; en el descapote del terreno una topadora o buldócer puede realizar el trabajo, la excavación en el terreno y su acumulación son las tareas dispuestas a realizar una excavadora, para el cargue en los vehículos de transporte desde los bancos del material suelto se dispone una cargadora de pala frontal y en el transporte un camión rígido o un camión con volcó comúnmente conocido como volqueta, y por último las obras de nivelación y compactación son realizadas por motoniveladora y compactador respectivamente.

Con base en lo anterior se deben seleccionar los equipos que se encargaran de realizar la tareas para el movimiento de tierras que consiste básicamente en nivelar un terreno, para ello pueden existir excavaciones de material así como relleno de material, como por ejemplo la construcción de un terraplén o la nivelación del terreno con topografía irregular para la construcción de una edificación de gran tamaño, lo que resulta en extracción de material que

sobra pues la nivelación no lo requiere o por el contrario el préstamo de material faltante (Gutierrez Angulo & Pereira Moreira, 2006).

2.2.1. Suelos.

El suelo se compone por minerales, materia orgánica, agua, aire y roca, es una capa delgada de material inerte que recubre la superficie terrestre y su conformación se remonta a millones de años; según (Guadamud Moreno , 2015) los suelos están constituidos con partículas de diferentes tamaños y entre ellas existen espacios que se llenan ya sea de aire o agua.

2.2.2. Características de los suelos.

Son las propiedades físicas que se determinan conforme análisis de laboratorio para establecer el tipo de material a trabajar y las capacidades morfológicas y físicas que estos presentan; estas características se basan en la cohesión, fricción interna, compresibilidad, elasticidad, capilaridad y textura.

En movimiento de tierras los suelos presentan cambios en sus características físicas pues al manipular el material en banco o en el terreno natural, los suelos presentan un nivel de compactación específico que se disminuye cuando se retira de sus condiciones naturales, esto quiere decir que las densidades cambian y su volumen aumenta al ser extraído, esto se conoce como expansión del material y es tenido en cuenta para el cálculo de tamaño del balde que la maquinaria de excavación requiere.

2.3. Maquinaria de estudio.

En cuanto a los equipos a estudiar en el presente trabajo se tomaran los ofrecidos comercialmente en el portafolio de maquinaria de la empresa Chaneme Comercial S.A, en su página web www.chaneme.com.co, ya que la vinculación en la misma permite sustentar la eficiencia y la calidad de las máquinas que ofrece la marca sueca Volvo en su departamento

Volvo construction equipmet (Equipos de construcción volvo) y los equipos de la marca china SDLG (Shangong Lingong Construction Machinery); en cuanto a lo anterior la maquinaria de estudio es la siguiente:

2.3.1. Excavadoras Volvo.

Figura 5.

Excavadoras EC950E, EC140D Y EC27D



Nota. Adoptado de volvo CE productos, excavadoras, de www.volvoce.com, fuente.

<https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/excavators/#/all>

Una excavadora (ver **Figura 5**) es un vehículo para el movimiento de tierras, auto propulsado por un tren de rodaje que trabaja de forma independiente a la estructura de la parte superior ya se por medio de orugas o neumáticos, la parte superior puede realizar giros de 360° gracias al eje de giro que se encuentra entre la misma y el tren de rodaje, esta estructura está compuesta por la cabina, válvulas, motor, sistema de excavación y contrapeso; a pesar de contar con una estructura de rodaje el trabajo que realiza una excavadora hace que no sea necesario usarlo al excavar, puesto que solo es utilizado para desplazarse al cambiar y reposicionar la excavadora cuando el punto o lugar de excavación sea difícil de alcanzar. Para el mecanismo de

excavación esta máquina está equipada con una estructura de acero de alta resistencia conformada por la pluma, brazo y cuchara o balde (ver **Figura 6**), articulados entre sus uniones para poder ofrecer el movimiento que le permite excavar.

Figura 6.

Partes de la excavadora EC480D



Nota. Adoptado de VolvoCE productos, excavadoras, de www.volvoce.com.co,

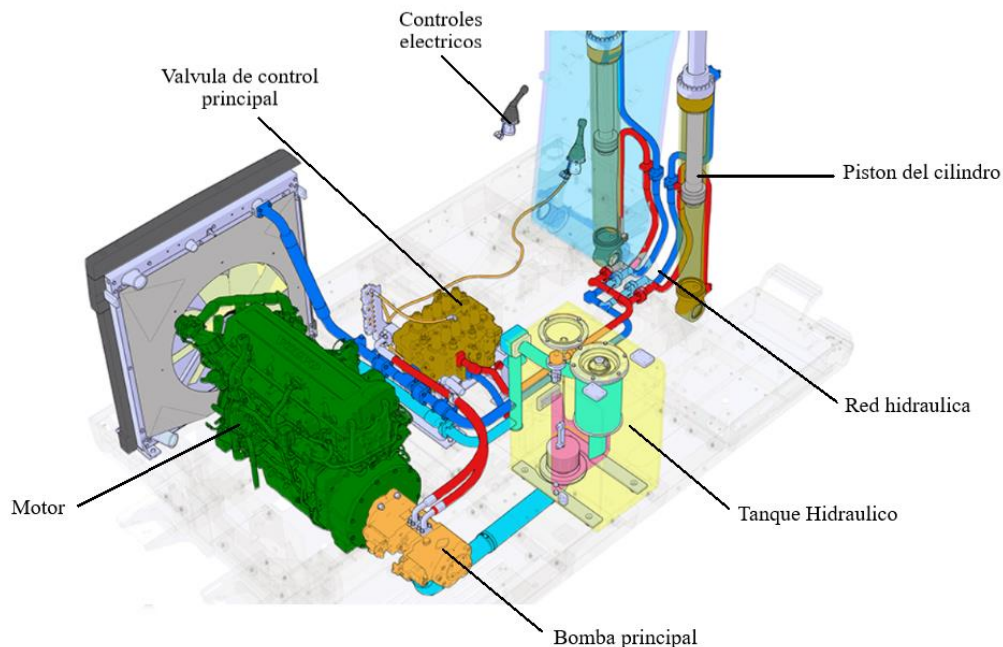
<https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/excavators/ec480d/>, edición. Autor

El sistema hidráulico de una excavadora es el principal componente que la caracteriza (ver **Figura 7**), está conformado por una secuencia de implementos que van desde la bomba principal pasando a la válvula principal que direcciona el caudal de aceite hidráulico presurizado hacia los cilindros que se encuentran posicionados para subir y bajar el mecanismo de la pluma, brazo o cuchara, en principio este es el sistema que sustenta la funcionalidad de las excavadoras,

cabe resaltar la cantidad de componentes y de accesorios que faltan por mencionar como el tanque de almacenamiento de aceite, las válvulas de alivio, así como la diferencia entre los cilindros de la pluma, brazo y balde y los controles electrónicos que ordenan a la válvula el direccionamiento del caudal.

Figura 7.

Componentes del Sistema hidráulico en una excavadora



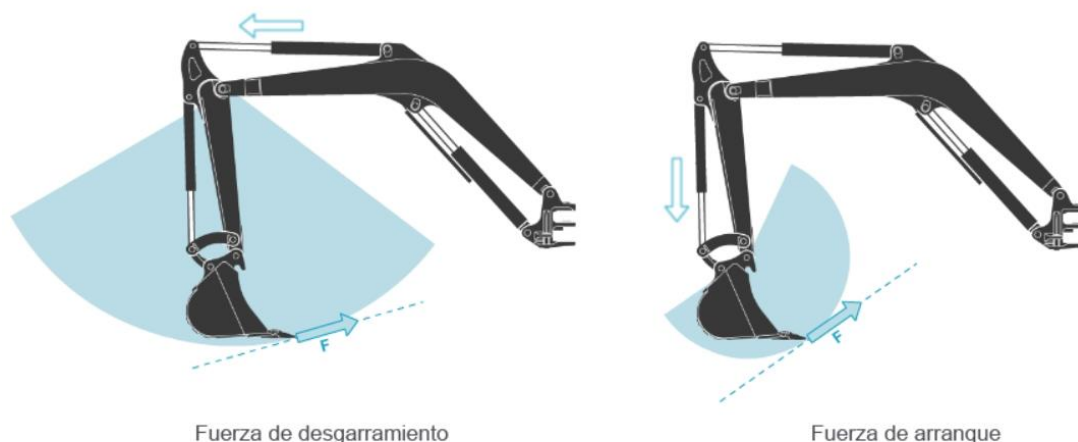
Nota. Adoptado de componentes de una excavadora, de volvo VDN (Red de distribuidores volvo), fuente curso Crawler Excavator Basics. En volvoce learning center.

La bomba principal recibe la potencia del motor de combustión interna e inyección de combustible diésel turboalimentado, que garantiza las revoluciones con las que debe trabajar la bomba de direccionamiento y poder otorgarle la potencia a la misma, y así poder alcanzar la presión necesaria que debe tener el fluido al hacer el ejercicio de bajar o subir los pistones que se encuentran dentro de los cilindros para el equipo de excavación.

Las dos grandes fuerzas que efectúa una excavadora son las de arranque y desgarramiento (ver **Figura 8**), estas fuerzas actúan sobre el material y son primordiales para poder excavar, se miden desde la punta de la cuchara y otorgan una magnitud en kN que se puede graduar dependiendo de la adecuación que tenga la excavadora como la longitud del brazo, de la pluma y el tamaño del bale así como la disposición del mismo, si es para uso general, pesado para roca, liviano o de alta resistencia.

Figura 8.

Fuerzas de una excavadora



Nota. Adoptado de fuerzas de excavación, de volvo VDN (Red de distribuidores volvo), fuente curso Crawler Excavator Basics. En volvoce learning center.

Las excavadoras volvo cuentan con un sistema que limita las pérdidas de presiones en el equipo hidráulico y así poder minimizar el consumo de combustible por la reducción de esfuerzos, este modo de operación recibe el nombre de modo ECO, el cual tiene diferentes niveles de trabajo que dependen de las capacidades que se necesitan en el proceso de excavación, no solo reduce el consumo sino que también gracias al avance en la tecnología los equipos

cuentan con motores de gran impacto y funcionalidad que brindan bajas emisiones, ayudando de manera considerable al medio ambiente en comparación con los equipos de anteriores generaciones.

Los implementos para una excavadora son variados y dependen netamente de las necesidades que se afronten en la obra, como el tipo de material y las distancias de excavación, así como el sitio de la obra dependiendo de su topografía y el clima; estos implementos se relacionan al tipo de balde, flotación de la pluma si es necesaria la nivelación en la sub rasante de una zanja o martillos hidráulicos para perforación y demolición, además de las adecuaciones como el tipo de estructura superior con un contrapeso reducido para espacios pequeños o con un tren de rodaje largo que garantiza la longitud en el contacto con el suelo y poder ofrecer una mayor tracción.

De igual manera el tamaño de una excavadora depende de las necesidades que necesite satisfacer en su proyecto de movimiento de tierras, existen rangos de llenado para los baldes según el tipo de material su densidad y volumen, pero estos rangos son limitados para cada tipo de excavadora, por consiguiente no es pertinente utilizar una excavadora con balde que al llenarlo supere la capacidad de fuerza que tiene la misma, y para ello la densidad del material es de vital importancia.

2.3.2. Cargadoras sobre ruedas Volvo.

Las cargadoras de ruedas (ver **Figura 9**) son equipos diseñados para la carga y transporte con la funcionalidad correspondiente a tres actividades básicas, la primera es a nivel del suelo y se basa en levantar el material de manera frontal con ayuda del implemento principal siendo el balde o la pala cargadora (Ver **Figura 10**); la segunda actividad corresponde al transporte del material luego de ser recogido, el transporte debe realizarse en distancias cortas pues la cargadora

no es en sí una maquinaria de solo transporte debido a que sus velocidades no se consideran óptimas para realizar grandes recorridos; y la última actividad está enfocada a la descarga del material en el sitio indicado puede ser en la tolva de una trituradora así como en un montículo o en el platón de una volqueta.

Figura 9.

Cargadoras de ruedas Volvo, L350H, L180HHL y L60F



Nota. Adoptado de VolvoCE productos, Cargadoras, de www.volvoce.com.co,

<https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/wheel-loaders/#/all>, edición. Autor

Las cargadoras son la versión mejorada de una pala cargadora, su diseño consistía básicamente en un quipo montado sobre orugas con dos plumas en forma de tijeras que se accionaban por medio de cables para poder cargar el material, su funcionalidad consistía en recoger material de un montículo transportarlo y depositarlo en un camión de volteo, así lo describe (Vargas Sanchez, 1999).

Figura 10.

Cargadora de Ruedas Volvo L150H



Nota. Adoptado de VolvoCE productos, Cargadoras, de www.volvoce.com.co,

<https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/wheel-loaders/#/all>, edición. Autor

Las cargadoras sobre ruedas tiene un tren motriz similar al de un vehículo (ver *Figura II*), a diferencia de las excavadoras sobre orugas o ruedas las cargadoras utilizan constantemente su tren motriz tanto para el transporte como para la potencia de empuje necesaria para cargar el material a nivel del suelo, este tren motriz es impulsado por un motor de inyección a diésel turboalimentado, situado en la parte trasera del equipo, una transmisión que para los equipos de volvo CE es automática con velocidades tanto para la marcha hacia delante como para atrás y es la encargada de transmitir el torque del motor al eje trasero y delantero por medio del sistema cardan, y por último la sección de dirección, así lo oferta (Volvo Construction Equipment , 2018).

El bastidor de esta maquinaria esta fraccionado en dos cada parte corresponde a cada eje de transmisión, y este se encuentra unido por un tipo de bisagra de dos puntos de esta manera el eje delantero donde se encuentra ubicado el balde para el material puede girar libremente

garantizando la dirección de la cargadora, la dirección es accionada por cilindros que funcionan de la misma manera que los cilindros utilizado para levantar el brazo del balde, con un diseño hidráulico de aceite presurizado.

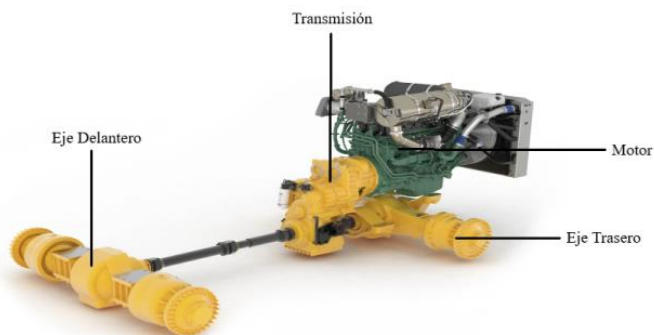
El sistema de brazo de elevación para las cargadoras de volvo viene en dos tipos, el más común y que es utilizado en diferentes marcas, es el sistema de cinemática de brazo en z que dispone el cilindro en la parte superior del brazo, el otro corresponde a un sistema de cinemática de torque paralelo (ver *Figura 12*), el cual tiene integrado el cilindro en la parte inferior del brazo de esta manera se puede cargar el material en el balde durante el transporte de una manera más horizontal, sin un ángulo de inclinación como la cinemática de barra en z, es útil y eficiente debido a que se puede cargar un porcentaje mayor de material cuando el balde se encuentra con la capacidad de llenado tipo colmado, y asegura que la cantidad de material recogido a nivel del suelo no tenga pérdidas al no existir pendiente debido a la línea paralela que existe entre el balde y el nivel del suelo.

La fuerza de arranque es la primordial en una cargadora esta se efectúa gracias al sistema de transporte y al sistema hidráulico; la cargadora es un vehículo todo terreno que ejerce tracción en las cuatro ruedas y esto ayuda a la fuerza de hincado que tiene para poder penetrar la pila de material y así llenar de mejor manera el balde.

Los tipos de balde se relacionen al igual que las excavadoras con respecto al material, existen diferentes tipos de balde según las necesidades del movimiento de tierras, como el de propósito general, el de alta resistencia, el de material liviano, horquillas para pallets y los porta implementos.

Figura 11.

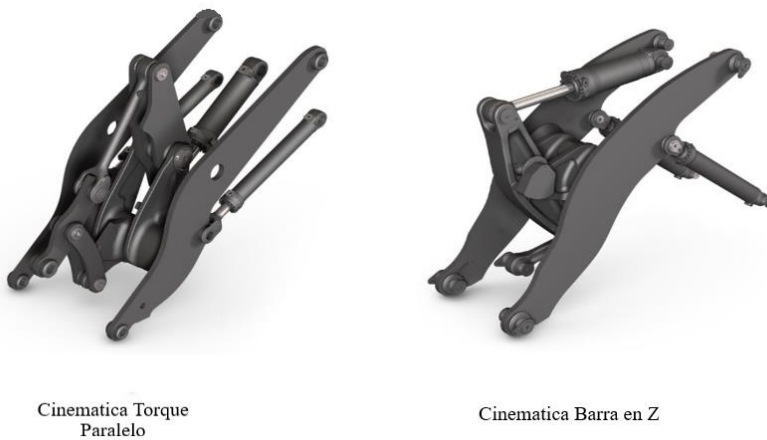
Tren Motriz cargadora de ruedas volvo



Nota. Adoptado de componentes de una cargadora, de volvo VDN (Red de distribuidores volvo), fuente curso Wheel Loader Basics. En volvoce learning center.

Figura 12.

Sistema de cinemática para cargadoras Volvo



Nota. Adoptado de componentes de una cargadora, de volvo VDN (Red de distribuidores volvo), fuente curso Wheel Loader Basics. En volvoce learning center.

2.3.3. Camiones Articulados Volvo.

Los camiones articulados (Ver **Figura 13**) son vehículos netamente utilizados para el transporte del material fuera de carreteras nacionales pues no cuentan con los parámetros para transitar dentro de las vías públicas por sus dimensiones tan grandes, un articulado volvo se considera un camión con platón de volteo tipo volqueta de grandes dimensiones, que puede almacenar en su tolva grandes cantidades de peso según el material.

Figura 13.

Dumpers Articulados Volvo, A60H y A25G



Nota. Adoptado de VolvoCE productos, camiones articulados, de www.volvoce.com.co, <https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/articulated-haulers/#/all> edición. Autor

El primer camión articulado fue creado por la marca Volvo, el tan icónico Gravel Charlie en 1966, desde entonces la compañía ha incursionado con nuevas tecnologías, rendimientos y menores consumos para los camiones articulados en las siguientes generaciones.

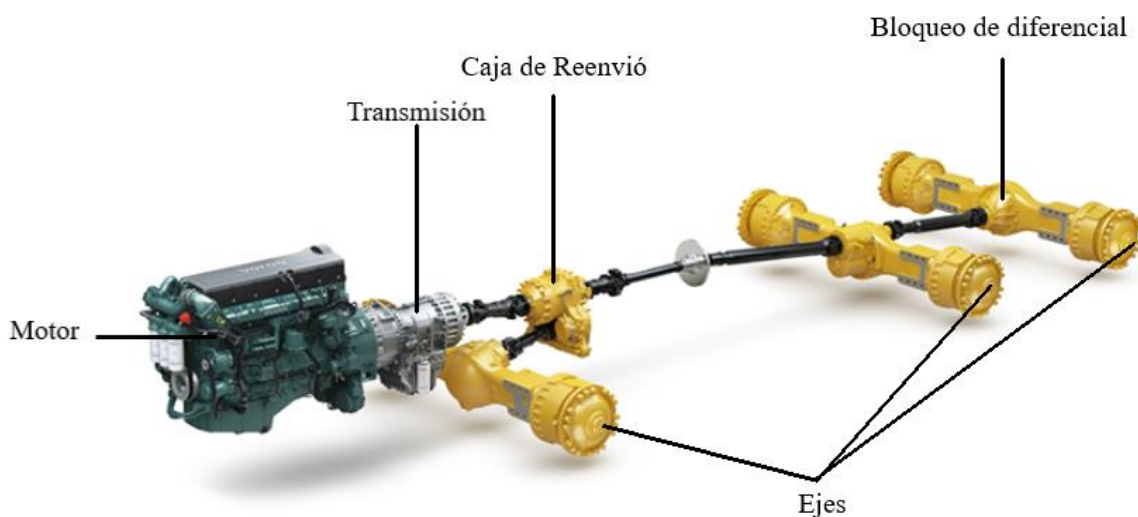
Como su nombre lo indica el distintivo de este camión es la articulación que separa el bastidor de la máquina en dos secciones, y se unen por medio de una bisagra permitiéndole a la

sección delantera perteneciente a un eje, dirigir el equipo por medio de la dirección, que de forma similar a las cargadoras trabaja con cilindros y un sistema hidráulico presurizado lo que le brinda una fácil maniobrabilidad en el transcurso de su recorrido en comparación con la cantidad de material y peso que estos equipos pueden transportar.

El sistema de transporte cuenta con un tren motriz conformado por un motor de inyección a diésel turboalimentado, la transmisión automática que distribuye el torque del motor a una caja de reenvío que maneja la distribución de potencia entre la unidad tractora o parte delantera, y las unidades de carga que se encuentran situadas debajo de la tolva con ayuda de los bloqueos de diferencial de cada eje, es un sistema de 3 ejes con 6 neumáticos que distribuyen la tracción según las necesidades de transporte y la resistencia a la rodadura que presentan los neumáticos (ver *Figura 14*).

Figura 14.

Tren Motriz Camión Articulado Volvo.



Nota. Adoptado de componentes principales de un camión articulado, de volvo VDN (Red de distribuidores volvo), fuente curso Articulated Hauler Basics. En volvoce learning center.

El camión articulado es el equipo de transporte esencial para caminos que presentan dificultades en su circulación, como suelos o carreteras que aún no han sido previamente niveladas y presenta un tipo de terreno arcilloso y con poca fricción; para superar los obstáculos y la rugosidad tan grande de los suelos, esta maquinaria cuenta con un sistema de suspensión con amortiguadores, suspensión hidráulica de gas o suspensión hidráulica, que garantizan un trabajo seguro con mínimo de pérdidas en la carga por el bajo movimiento en la tolva, y comodidad para el operador.

Figura 15.

Bastidor de Camión Articulado Volvo



Nota. Adoptado de componentes principales de un camión articulado, de volvo VDN (Red de distribuidores volvo), fuente curso Articulated Hauler Basics. En volvoce learning center.

Esta maquinaria de volvo cuenta con un bastidor tipo A (ver **Figura 15**), que permite el libre movimiento tanto de giro como de rotación en la unión de ambas secciones que conforman

el chasis total, el bastidor de la parte trasera cuenta con las uniones para abisagrar a la tolva, que es el implemento principal del camión articulado de esta manera permite subir la tolva tipo volqueta por medio de cilindros hidráulicos. La capacidad de carga establecida para los dumpers articulados Volvo esta entre el rango de 60 a 25 toneladas, y el ítem encargado de escoger esta maquinaria se establece dependiendo el material a transportar como su densidad, el camino y las distancias a recorrer.

2.3.4. Compactadoras de suelos y asfalto Volvo.

Los compactadores (ver **Figura 16**) son maquinarias utilizadas para apisonar el suelo y ayudar a compactar los terrenos y se componen de diferentes implementos que se adecuan en la parte delantera, para las compactadoras de suelos se dispone el cilindro liso (Ver **Figura 17**) y el cilindro pata de cabra, que cumplen la misma finalidad de consolidar los suelos.

Estas máquinas tienen diferentes áreas de trabajo, desde caminos, vías o avenidas, hasta aeropuertos y centros comerciales, cualquier edificación que requiera la construcción de caminos o necesite compactar las zonas ya sea para la cimentación o la base de algún terreno, una compactadora puede hacer el trabajo.

El proceso de compactación se utilizar para mejorar la calidad el terreno en cuestión, removiendo las partículas de aire que quedan al retirar el material o rellenar algún espacio, en principio la consolidación de suelos representa la agrupación de las partículas del material de tal forma que queden como el material en banco antes de retirarlo con un mínimo de vacíos (Gutierrez Angulo & Pereira Moreira, 2006).

Figura 16.

Compactadoras de asfalto y suelos Volvo, PT220 y SD105



Nota. Adoptado de VolvoCE productos, compactadoras, de www.volvoce.com.co, <https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/compactors/#/all> edición. Autor

Figura 17.

Rodillo pata de cabra y liso para compactadoras de suelos volvo

Rodillo pata de cabra



Rodillo Liso



Nota. Adoptado de catálogo de opciones compactador de asfalto y suelo, de revista volvo construction equipment building tomorrow, año 2019

Las fuerzas de las compactadoras se basan en 4 principios básicos de compactación (ver *Figura 18*) según el curso Material Basic and Four Forces of Compaction, de Volvo.

- Estática: que cumple el objetivo de compactar por medio de la gravedad, utilizando el peso propio como empuje para generar presión sobre el material que se encuentra debajo.
- Manipulación: Esta fuerza consiste en aplastar el material por diferentes lados puede ser de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, cumple la característica de agrupar las partículas del material para obtener un tamaño más reducido, ideal para suelo cohesivos.
- Impacto: La fuerza de impacto hace referencia al golpeo de un martillo, por si solo el martillo no puede generar la fuerza necesaria para clavar una puntilla por tanto es necesario utilizar una fuerza externa ya sea la aceleración de la gravedad por caída libre o cualquier otro tipo de fuerza que garantice un golpe de gran magnitud, de esta manera trabajan algunos cilindros compactadores, todo depende del material a compactar y que tanto nivel de compactación se espera.
- Vibración: esta fuerza es considerada la más poderosa en la compactación, ya que hace que las partículas del material entren en un estado de excitación y puedan moverse, reduciendo la fricción entre ellas y permitiendo la reacomodación de una manera más fácil y rápida para reducir los vacíos entre el material.

Figura 18.

Fuerzas que ejerce una compactadora de suelos volvo



Nota. Adoptado de fuerzas de compactación, de volvo VDN (Red de distribuidores volvo), fuente curso Material Basic and Four Forces of Compaction. En volvoce, learning center.

El compactador de suelos es un vehículo con rodillos auto propulsado que reduce los vacíos en el material a compactar, ya sean agregados, limos o suelos granulares, está constituido por un motor de empuje situado en la parte trasera del equipo y un cilindro en el eje delantero con el cual efectúa la acción de comprimir, este cilindro contempla una periodo de vibración establecido por el operario según las necesidades del terreno y generalmente tiene un peso considerable para efectuar las cuatro fuerzas de compactación (ver **Figura 18**).

Los compactadores de asfalto (**Figura 19**) son maquinarias diseñadas únicamente para nivelar las irregularidades en la carpeta asfáltica luego de su vaciado, se componen de dos ejes generalmente de neumáticos o cilindros con goma sin ningún relieve en la sección que tiene contacto con el asfalto, en pocas palabras totalmente lisos, esto sirve para compactar de manera adecuada las carpetas asfálticas sin que quede ninguna irregularidad en el pavimento. Algunas compactadoras de asfalto se componen de dos motores localizados en el eje trasero, con torque relativamente pequeño y bajas revoluciones para un trabajo más eficiente.

Los rodillos o neumáticos de las compactadoras de asfalto, se encuentran superpuestos (*Figura 20*) con el fin de abarcar la totalidad de espacio que tendría una compactadora de asfaltos con rodillos completos, en la parte superior de estos rodillos se encuentran unas pantallas que suministran agua como lubricante de los mismos además de quitar el material granulado que se queda incrustado en el neumático; para el suministro de agua en los rodillos se tiene en cada compactadora un tanque anti oxidación llenado con agua, de este se desprende por medio de ductos el suministro de agua para cada paleta que se encuentra en el neumático, con el suministro de agua lleno el peso estático se incrementa y el nivel de compactación por gravedad mejora.

Figura 19.

Compactadora de asfalto Volvo, PT125



Nota. Adoptado de VolvoCE productos, compactadoras, de www.volvoce.com.co,
<https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/compactors/#/all> edición. Autor

Figura 20.

Rodillos sobrepuestos compactadoras de asfalto Volvo.



Nota. Adoptado de catálogo de opciones compactador de asfalto y suelo, de revista volvo construction equipment building tomorrow, año 2019

2.3.5. Extendedoras de asfalto Volvo.

Las pavimentadoras o extendedoras de asfalto (ver **Figura 22**), son máquinas que se utilizan para suministrar las secciones de asfalto en la construcción de una vía, se adecuan según las necesidades de pavimentación, como la pendiente, las capas y sus espesores así como el ancho de la vía; existen diferentes tipos de pavimentadoras alrededor de todo el mundo, las principales tienen un sistema de transporte tipo orugas, ya que les permite tener un mejor agarre al suelo cuando desarrollan su trabajo, las pavimentadoras de ruedas a pesar de no contar con un buen agarre al suelo tienen la capacidad de trabajar a una mayor rapidez gracias al incremento de velocidad por su tracción.

Las extendedoras de asfalto Volvo funcionan gracias a un sistema de transporte, que trabaja con rangos de velocidad entre 10 a 20 Km/h según su tren motriz, en la parte delantera de

la paviementadora se encuentra una tolva que se suministra con asfalto suelto por medio de un camión volqueta, además de la tolva en la parte delantera se encuentra la sección de tracción que empuja tanto la maquina como el camión que le suministra material, la sección media, está conformada por un tornillo sinfín (*Figura 23*) que cumple con el principio de tornillo de Arquímedes, el cual consiste en una espiral que transporta el material de la tolva a la regla de pavimentación de manera constante.

Figura 21.

Pavimentadoras Volvo, P7820DABG Y P5870CABG



Nota. Adoptado de VolvoCE productos, Extendedoras de asfalto, de www.volvoce.com.co, <https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/asphalt-pavers/#/all> edición. Autor

La regla de pavimentación situada en la parte trasera es el implemento principal de una paviementadora este implemento cumple con el objetivo de ordenar el material granular de asfalto en una serie de capas sobre el terreno a pavimentar, esta regla le otorga a la capa de asfalto unas medidas específicas según se requieran, como el ancho de pavimentación que dependen del

ancho de la vía o carril a cubrir con asfalto y el espesor de la capa; las reglas tienen un proceso de pre compactación, que ayuda a comprimir el material en el suelo y así facilita la compactación final.

Figura 22.

Pavimentadora Volvo P3520B ABG



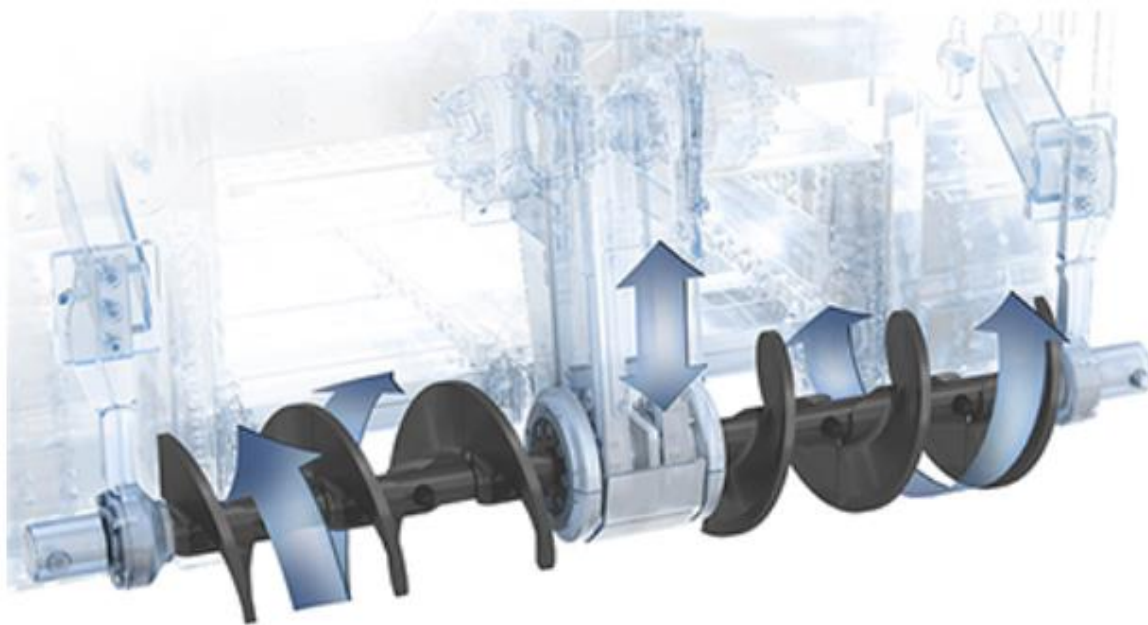
Nota. Adoptado de VolvoCE productos, Extendedoras de asfalto, de www.volvoce.com.co, <https://www.volvoce.com/colombia/es-co/chaneme/products/asphalt-pavers/#/all> edición. Autor

La pre compactación realizada por la regla se basa en un mecanismo llamado tamper, y su función es golpear la sección de pavimento colocado en el terreno por medio de unas barras de acero con forma longitudinal al ancho de la regla varias veces por segundo, existe un sistema de tamper sencillo y un sistema doble que consiste en dos barras de acero golpeando la sección de pavimento; además del sistema tamper, en algunas series de pavimentadoras se tiene el sistema de vibración que es muy similar al de una compactadora, y el sistema de presión sobre el asfalto

producido por la cantidad de peso que ejerce la regla sobre el pavimento, ya que cuenta con un peso aproximado de entre 3.0 a 3.5 toneladas para todas las máquinas.

Figura 23.

Sistema de Tornillo Sinfín



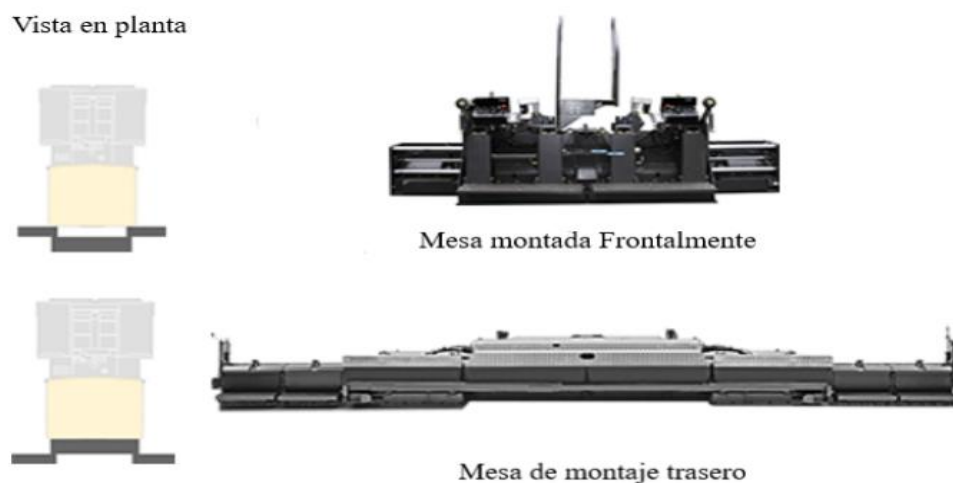
Nota. Adoptado de componentes de la máquina, de volvo VDN (Red de distribuidores volvo), fuente. Curso Paver Basics. En volvoce, learning center.

Existen dos tipos de reglas según la sección transversal de la vía, la más común es la regla tipo Variomatic (Ver **Figura 24**), esta regla puede desplegarse de tal forma que aumente el ancho de la pavimentación y tiene dos modos de trabajo, mesa adentro y afuera; el segundo tipo de regla es la fija, que no cuenta con ningún relieve y se considera una regla plana en la

pavimentación de la capas, esta regla se construye según las especificaciones del trabajo como el ancho de la vía, ya que es constante y no se puede graduar.

Figura 24.

Reglas Variomatic Volvo



Nota. Adoptado de componentes de la máquina, de volvo VDN (Red de distribuidores volvo), fuente. Curso Paver Basics. En volvoce, learning center.

En la operación de esta maquinaria se necesita de tres trabajadores, uno se encuentra manejando los controles principales de la pavimentadora en la cabina, como la velocidad de transporte, la cantidad de material para alimentarla gracias a la comunicación con el camión que le suministra y el direccionamiento de la misma, los otros dos trabajadores están a los extremos de la regla operando los controles de nivelación, dependiendo del grosor de la capa de asfalto se sube o se baja la altura de la regla y para ello se necesita de coordinación y atención al desarrollar el trabajo.

2.3.6. Motoniveladora SDLG.

La Motoniveladora (**Figura 25**) es una maquinaria equipada para la nivelación de terrenos, por su flexibilidad con la hoja de nivelación puede hacer su trabajo con o sin pendiente, usualmente son usadas para nivelar las capas de material granular que se agregan antes del material asfalto en las vías, y en ocasiones sirven para nivelar taludes que tiene un ángulo de 45 grados con la horizontal de la carretera.

Las motoniveladoras (ver **Figura 26**) están constituidas por un sistema de tracción similar al de un camión articulado, con la particularidad que la ubicación del motor esta al contrario puesto que en la parte trasera se encuentra el sistema de tracción (**Figura 27**) conformado por un motor a diésel turboalimentado, que ofrece potencia compartida por la transmisión a los dos ejes que se encuentran debajo de la cabina conformando la parte más robusta del chasis.

Figura 25.

Motoniveladora SDLG, G9138



Nota. Adoptado de Chaneme Comercial S.A, Equipos, Motoniveladoras SDLG, de www.chaneme.com.co, <https://www.chaneme.com.co/equipos/portafolio/motoniveladoras/>.

En la parte delantera se encuentra el sistema de nivelación, conformado por un anillo planetario que le permite el giro a la hoja ubicada en la parte central del bastidor delantero; la hoja se encuentra de manera transversal al eje longitudinal de la máquina, tiene una forma cóncava y puede moverse tanto de manera vertical como horizontal y sobre su propio eje, de esta manera puede alcanzar las pendientes y la inclinación para nivelar la parte inferior de los taludes.

El eje delantero es el que otorga la dirección, no es una unidad tractora por lo tanto puede ofrecer una versatilidad para oscilar sobre su propio eje con ángulos de hasta 45 grados, los cuales permiten trabajar de manera similar a la inclinación de la hoja de nivelación.

Figura 26.

Motoniveladora SDLG, G9138F



Nota. Adoptado de Chaneme Comercial S.A, Equipos, Motoniveladoras SDLG, de www.chaneme.com.co, <https://www.chaneme.com.co/equipos/portafolio/motoniveladoras/>. Edición. Autor

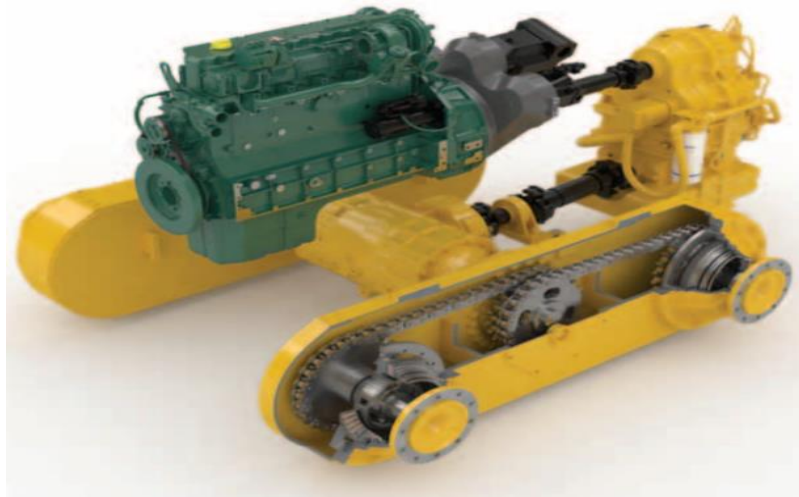
El chasis de una motoniveladora es de tipo articulado se encuentra dividido en dos partes y abisagrado en el punto de la unión, lo que le permite girar de manera sencilla todo lo que

corresponde a la sección que pertenece al sistema de nivelación de la unidad tractora. La fuerza con la que trabaja esta maquinaria proviene de la unidad tractora, que ejerce empuje y con este la hoja de nivelación puede distribuir el material sobre la superficie de una manera plana si el mismo se encuentra apilado.

Entre los implementos de una motoniveladora aparte de la hoja, se pueden agregar palas de arrastre en la parte delantera que facilita el descapote del terreno o en la dispersión del material a extender, y en la parte posterior posee escarificadores que se utilizan para terrenos duros, luego de ser usados la niveladora vuelve a pasar la hoja para completar una nivelación sin irregularidades.

Figura 27.

Sistema de tracción Motoniveladora



Nota. Adoptado de Brochure G930 de Volvo, de revista volvo global marketing, año 2013

2.4. Cálculo de productividad

El cálculo de productividad que se realiza para cada equipo se basa en tres métodos diferentes según (Vargas Sanchez, 1999).

- Método gráfico. Hace referencia a los gráficos aportados por el fabricante donde relacionan la cantidad de material en volumen que se manipula con respecto a la velocidad, distancia y tiempo, para cada tipo de maquinaria según la trayectoria curva o línea que la representa y así poder establecer de manera rápida la productividad del equipo en obra. Estos análisis son realizados en condiciones óptimas con eficiencia del 100% con respecto al trabajo que realiza el equipo, lo cual no representa exactamente lo que se trabaja en campo y resultan productividades muy altas a las esperadas.
- Formulas. Las formulas realizadas con base en estudios de productividad se asemejan a las características principales que se afrontan a la hora de trabajar con una maquinaria en la obra, ya que proporciona un factor de corrección en la fórmula que incluye, el clima de la zona, la administración, el tiempo de ciclo y la habilidad del operador al manipular el equipo. De esta manera se establece la productividad de forma más acertada.
- Por observación. La observación atiende a los factores directos que se encuentran en el lugar de trabajo, se calcula la productividad en condiciones reales, y con ayuda de antecedentes de producción realizados por otro tipo de maquinaria, para ello la experiencia del administrador maneja un papel muy importante a la hora de calcular la productividad ya que justifica las razones principales en la medición de los factores.

La evaluación de la productividad de los tipos de maquinaria anteriormente mencionados, se trabajara con el método de fórmulas para obtenerla de manera precisa y de forma más general, con distintas fuentes de información, entre ellas los manuales de rendimiento de la marca Volvo, Caterpillar y Komatsu, y que sean prácticas para el uso en general.

2.4.1. Productividad en Excavadoras Hidráulicas.

Rendimiento.

Para el cálculo de la productividad en excavadoras se necesita de la siguiente formula.

$$Q = \frac{q \times 3600 \times E}{Tf} \quad (1)$$

Donde:

- Q = Productividad en $\frac{m^3}{h}$
- q = Capacidad de volumen del balde por factor de llenado del balde en porcentaje según material, Tabla 7.

$$q = Vb \times Fll \quad (2)$$

- 3600 = Constante de conversión temporal
- E = Factor de eficiencia

El factor de eficiencia es el producto del valor escogido según las características de la obra sobre los ítems que la componen, anteriormente mencionados.

$$E = Ft \times Fop \times Fa \quad (3)$$

- Factor de tiempo (Ft). Son los minutos efectivos de hora de trabajo. Ver **Tabla 2**
- Factor de Operación ver **Tabla 3** (Fop).

Tabla 3.

Factor de operación.

Factor de eficiencia del operador		Calificación
100%	1	Experimentado
90%	0.9	Excelente
80%	0.8	Medio
70%	0.7	Regular
60%	0.6	Malo
50%	0.5	Nuevo

Nota. Factor según la capacidad del operador. Fuente. Autor.

- Factor de Administración (Fa) ver **Tabla 4**. Aunque las obras se encuentren en un estado excelente, se establece un margen de pérdida del 16% por complicaciones ajenas a la programación como un imprevisto. Para calificar en la **Tabla 5** se enumeran algunas características que presentan las condiciones de obra y administración.

Tabla 4.

Factor de eficiencia en la administración

Factor de Administración					
	Condiciones de Obra				
		Excelentes	Buenas	Regulares	Malas
Condiciones de Administración	Excelentes	0.84	0.81	0.76	0.7
	Buenas	0.78	0.73	0.71	0.65
	Regulares	0.72	0.69	0.65	0.6
	Malas	0.72	0.69	0.65	0.6

Nota. Factor de Administración y Obra. Fuente. Autor.

Tabla 5.

Ítems para la calificación de Administración y Obra

Condiciones de administración	Condiciones de obra	Calificación
Buena control en obra, tiempos de ejecución adecuados.	Fácil accesibilidad, Terreno estable, Buen clima	Excelentes
Obra controlada, Cronograma al día sin holguras.	Accesibilidad acorde, Espacio de trabajo preciso, buen clima	Buenas
Falta control en obra sin embargo se mantiene las actividades	Poco espacio en obra, Clima húmedo, falta de servicios	Regulares
No existe control en obra actividades dispersas.	Mala accesibilidad, clima lluvioso, Poco tiempo de trabajo	Malas

Nota. Algunos ítems de calificación para el Factor de Administración según tabla 3. Fuente. Autor

- T_f = Tiempo Corregido

El tiempo corregido se obtiene de la siguiente expresión.

$$T_f = T \times (1 + h) \quad (4)$$

- Factor de Altura (h). Se obtiene de la siguiente expresión y se usa siempre y cuando la altura a nivel del mar de la obra sea superior a 1000 metros.

$$h = (\text{Altura a nivel del mar de la obra} - 1000) \times 0.0001 \quad (5)$$

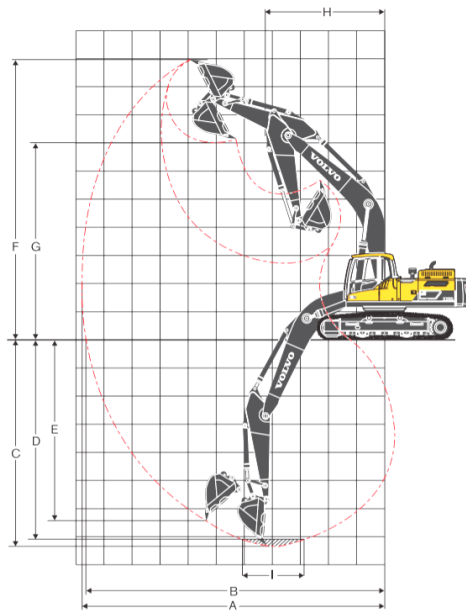
- T = Tiempo de ciclo en segundos, para excavadoras ver **Tabla 8** y **Tabla 9**

El tiempo de ciclo en una excavadora se califican según el nivel al que se encuentre la misma con respecto al vehículo o sitio de descarga, y se tiene en cuenta los parámetros como radio de giro, velocidad de giro, rango de trabajo (**Figura 28**), distancia del punto de excavación

con respecto al balde y distancia de descarga con respecto a la unión entre la pluma y el brazo; todo ello se evalúa con el fin de obtener el tiempo de ciclo más acorde si la medición en campo no es posible hacerla.

Figura 28.

Rangos de trabajo en una excavadora.



Nota. Adaptado de Brochure Volvo EC300D, de Volvo Construction Equipment, 20

El tiempo de ciclo comprende las actividades que hace la excavadora al cargar un camión desde el cargue de la cuchara, el transporte de la cuchara cargada, la descarga del material en el camión y el retorno de la cuchara vacía al punto de extracción. Los fabricantes proporcionan unos tiempos de ciclos acordes a la clase de material a excavar según la **Tabla 6** y a las características anteriormente mencionadas, estos tiempos se establecen para cada serie de máquina; volvo ofrece los siguientes para sus equipos de excavación.

“Las siguientes tablas indican el potencial de la maquina cuando se trabaja con materiales de diferentes clases y es válida para efectos de estimación en condiciones “normales” como se ha descrito anteriormente. Tiempos de ciclo aplicables para modo G – P.” (Volvo Construction Equipment, 2016).

Tabla 6.

Clases de material a Excavar.

Clases de Excavación		Ejemplo de Materiales
Clase 1	Excavación fácil	Tierra desempaquetada, arena, grava, limpieza de zanjas
Clase 2	Excavación mediana	Tierra Compactada, arcilla seca resistente, suelo con 25% menos de contenido de roca
Clase 3	Excavación media a dura	Suelo duro con hasta 50% de contenido rocoso
Clase 4	Excavación dura	Roca de tiro o suelo duro con hasta 75% contenido de roca

Nota. Clases de material a excavar para cálculo de tiempo de ciclo, Adoptado de Excavator Performance

Data, Fuente Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.533.

Tabla 7.

Factor de llenado del balde según material

Factor de llenado del balde			
Tierra/ Arcilla arenosa	%	100	a 110
Arcilla dura compactada	%	95	a 110
Arena/Grava	%	95	a 110
Roca - bien Volada	%	75	a 95
Roca - Medio fragmentada	%	60	a 75
Roca .- Mal fragmentada	%	40	a 60

Nota. Adaptado Performance Manual Volvo, de Volvo Construction Equipment

El factor de llenado del balde representado en la **Tabla 7** describe en porcentaje la capacidad de llenado real que tiene el balde, todo ello según el tipo de material pues las densidades son variables según su tipo, por ejemplo la tierra representa partículas más finas y por

ende llenan la totalidad del balde a diferencia de la roca que tiene partículas de gran tamaño y no se agrupan de manera uniforme, creando vacíos que se traducen como pérdida de espacio de llenado.

Tabla 8.

Tiempo de ciclo Excavadoras Grandes y Medianas Volvo

Tiempo de ciclo con la excavadora por encima del transportador y un ángulo de giro de 45°												
Modelo	Clase de material a Excavar (unidades en segundos)											
	1		Prom.	2		Prom.	3		Prom.	4		Prom.
EC140E	6.7	8.8	7.75	7.7	9.9	8.8	8.8	11.4	10.1	10.3	13	11.7
EC160E	7	9.3	8.15	8.1	10.4	9.25	9.1	11.9	10.5	10.8	13.7	12.3
EC180E	7	9.3	8.15	8.1	10.4	9.25	9.1	11.9	10.5	10.8	13.7	12.3
EC220E	8.3	11.2	9.75	9.7	12.7	11.2	10.8	14.3	12.55	12.8	16.8	14.8
EC250E	9.5	11.9	10.7	10.9	13.5	12.2	12	15.5	13.75	14.1	17.6	15.9
EC300E	9.6	12	10.8	11	13.5	12.3	11.7	15	13.35	13.7	17.5	15.6
EC350E	10	12.8	11.4	11.5	14.7	13.1	13	16.3	14.65	15	19.3	17.2
EC380E	10	12.8	11.4	11.5	14.7	13.1	13	16.3	14.65	15	19.3	17.2
EC480E	10.9	14.1	12.5	12.8	16	14.4	14.3	18	16.15	16.7	20.9	18.8
EC750E	12	15.5	13.8	13.6	18	15.8	15.3	20.3	17.8	17.9	23.5	20.7
ECR145E	6.9	9.1	8	8	10.3	9.15	9.1	11.9	10.5	10.7	13.4	12.1
ECR235E	7.9	10.7	9.3	9.3	12.1	10.7	10.3	13.7	12	12.3	16.1	14.2

Nota. Tiempos de ciclo según clases de material a excavar, Adoptado de Excavator Performance Data,

Fuente Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.533.

Tabla 9.

Tiempo de ciclo Excavadoras Grandes y Medianas Volvo

Tiempo de ciclo con la excavadora por encima del transportador y un ángulo de giro de 90°												
Modelo	Clase de material a Excavar (unidades en segundos)											
	1		Prom.	2		Prom.	3		Prom.	4		Prom.
EC140E	7.8	10.2	9	8.8	11.2	10	9.8	12.7	11.25	11.2	14.1	12.7
EC160E	8.1	10.8	9.45	9.2	11.8	10.5	10.1	13.2	11.65	11.7	14.9	13.3
EC180E	8.1	10.8	9.45	9.2	11.8	10.5	10.1	13.2	11.65	11.7	14.9	13.3
EC220E	9.6	13	11.3	11.1	14.4	12.8	12	15.9	13.95	14	18.3	16.2
EC250E	11	13.9	12.5	12.4	15.3	13.9	13.4	17.2	15.3	15.3	19.1	17.2
EC300E	11.1	13.9	12.5	12.5	15.3	13.9	13	16.7	14.85	14.9	19	17
EC350E	11.6	14.8	13.2	13	16.7	14.9	14.5	18.1	16.3	16.3	21	18.7
EC380E	11.6	14.8	13.2	13	16.7	14.9	14.5	18.1	16.3	16.3	21	18.7

EC480E	12.7	16.4	14.6	14.5	18.1	16.3	15.9	20	17.95	18.1	22.7	20.4
EC750E	14	18	16	15.5	20.5	18	17	22.5	19.75	19.5	25.5	22.5
ECR145E	8.1	10.6	9.35	9.1	11.6	10.4	10.1	13.2	11.65	11.6	14.6	13.1
ECR235E	9.2	12.4	10.8	10.6	13.8	12.2	11.5	15.2	13.35	13.3	17.5	15.4

Nota. Tiempos de ciclo según clases de material a excavar, Adoptado de Excavator Performance Data,

Fuente Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.533.

Calculo para el volumen real del balde.

El balde se debe seleccionar según las características básicas que se tengan en obra, con la selección de la cantidad volumétrica requerida para satisfacer una productividad anteriormente calculada, se realiza la selección de la maquina dependiendo la cantidad de material del balde adecuado. Por (Caterpillar , 2017)

Se deben calcular el número de ciclos realizado en condicione normales durante una hora para ello se utiliza la siguiente expresión.

$$C_e = \frac{3600}{T} \times F_{op} \times F_{to} \times F_d \quad (6)$$

Donde:

- C_e = Numero de ciclos efectivos en una hora.
- 3600 = Constante conversión unidades de tiempo
- T = Tiempo de ciclo en segundos
- F_{op} = Factor de Operación. Ver **Tabla 3**.
- F_{to} = Factor tiempo de operación de la maquinaria, igual al tiempo de operación efectivo. Ver **Tabla 2**.
- F_d = Factor de disponibilidad de la máquina, corresponde al valor que se le otorga al equipo según sus estado físico, si es nueva, si sus mantenimientos son realizados

a tiempo y está capacitada para trabajar al potencial máximo si es necesario, todo depende de la vida de trabajo que la misma tiene el factor se representa en la **Tabla**

10.

Tabla 10.

Factor de disponibilidad de la maquina Fd.

Factor de Disponibilidad de la maquinaria.		
Disponibilidad	Factor	Calificación
100	1	Nueva
95	0.95	Excelente
90	0.9	Buena
80	0.8	Regular
70	0.7	Mala
60	0.6	Pésimo estado

Nota. Disponibilidad de la maquina según características de su estado. Fuente. Autor

Según la productividad establecida en Ton/h que se desea obtener para la excavadora, se busca la capacidad de material que se manipula por ciclo para determinar el tipo de balde adecuado. Para ello se relación la productividad con el número de ciclos anteriormente calculado.

$$Carga\ manipulada\ por\ ciclo\ (Ton) = \frac{Productividad\ (\frac{Ton}{h})}{Ce} \quad (7)$$

Para obtener el volumen, se considera la densidad que varía dependiendo el tipo de material, y es de gran importancia tener presente el tipo de material o materiales que se van a manipular en la excavación. Se calcula con la siguiente relación.

$$Volumen\ manipulado\ por\ ciclo\ (m^3) = \frac{Carga\ manipulada\ por\ ciclo}{Densidad\ (\frac{Ton}{m^3})} \quad (8)$$

Teniendo el volumen necesario para cumplir con la productividad, se relaciona con el factor de llenado según el material, para obtener el volumen nominal del balde, como un criterio de factor de seguridad. Ver **Tabla 7**.

$$\text{Volumen nominal del balde} = \frac{\text{Volumen manipulado por ciclo (m}^3\text{)}}{\text{Factor de llenado}} \quad (9)$$

2.4.2. Productividad en Cargadoras de ruedas.

Carga y Descarga.

Considerando que la cargadora solo efectúa la actividad de recoger, bascular, descargar y volver al punto de recogida su fórmula para el rendimiento es similar al de las excavadoras.

$$Q = \frac{q \times 3600 \times E}{Tf} \quad (10)$$

Donde.

- q = Capacidad de volumen del balde, por factor de llenado del balde en porcentaje según material **Tabla 11**.
- 3600= Constante de conversión unidad de tiempo
- E = Eficiencia de Trabajo, donde se simplifican los ítems y se toma un factor en común según (Komatsu, 2013) ver **Tabla 12**.
- Tf = Tiempo corregido, su cálculo es igual al de la productividad en excavadoras, ver formulas (4) y (5).

Tabla 11.*Factor de llenado del balde para cargadoras*

Factor de llenado del balde			
Material	Densidad del material (ton/m ³)	llenado del balde %	Factor
Tierra/Arcilla	1.6	110	1.1
	1.55		
	1.5		
Arena/Grava	1.7	105	1.05
	1.65		
	1.6		
Agregado	1.8	100	1
	1.7		
	1.65		
Roca	1.7	100	1
		90	0.9
		95	0.95

Nota. Factor de llenado según densidad del material, Adoptado de Earthmoving Basics, Fuente

Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.22.

Tabla 12.*Factor de eficiencia de Trabajo*

Condiciones de operación	Eficiencia de trabajo
Bueno	0.83
Medio	0.8
Bastante Pobre	0.75
Pobre	0.7

Nota. Condiciones de operación para E, Adoptado de Productivity Wheel Loaders, Fuente Specifications & Application Handbook, Komatsu Pag.892.

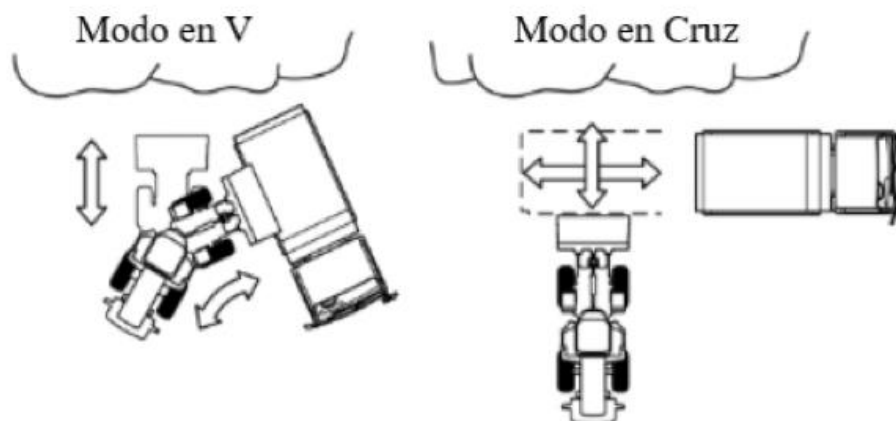
- T = Tiempo de ciclo, el tiempo de ciclo para la fórmula (4) en el caso de las cargadoras se evalúa según los siguientes criterios.

A diferencia de las excavadoras que permanecen estáticas a la hora de excavar y cargar para completar un ciclo las cargadoras utilizan su tren motriz para realizar la operación de carga y descarga, lo que tiende a evaluar el tiempo de ciclo con respecto al movimiento que realiza la cargadora cuando efectúa su trabajo, se clasifican en dos modos (**Figura 29**).

- Modo cruz. Se entiende por el movimiento en cruz que efectúa la cargadora, realizando un giro de 90 grados entre el punto de carga y el punto de descarga.
- Modo en V. Este modo efectúa un tiempo de ciclo realizado por el movimiento en V que hace la cargadora gracias al giro de 45 grados entre el sitio de carga y el lugar de descarga.

Figura 29.

Modos de carga y descarga para cargadoras



Nota. Adoptado de Productivity Wheel Loaders, Fuente. Fuente Specifications & Aplicacion Handbook, Komatsu Pag.890. Edición. Autor

De igual manera según la capacidad del balde y las características del material a manipular se establecen los promedios de tiempo de ciclo, estos tiempos son calculados por los fabricantes en condiciones normales de obra, para tener una mayor precisión es mejor cronometrar el tiempo según el modo y la condición de la obra, pero en la mayoría de casos para presupuestos de obra se toman los tiempos de ciclo que el fabricante sustenta para cada equipo puesto que no se tienen datos exactos hasta el momento.

En las **Tabla 13** y **Tabla 14** se muestran tiempos de ciclo evaluados por el fabricante con rangos y con algunas capacidades del balde, se tiene en cuenta las características del material expuestas en la **Tabla 6**.

Tabla 13.

Tiempos de ciclo con modo de operación V.

Tiempos de ciclo modo V. Unidades en segundos			
Clases del material	Capacidad del balde		
	<3 m ³	3.1 a 5 m ³	>5.1 m ³
Clase 1	27	33	39
Clase 2	33	39	42
Clase 3	42	42	45
Clase 4	45	45	48

Nota. Tabla de tiempo de ciclo en segundos, Adoptado de Productivity Wheel Loaders, Fuente Specifications & Application Handbook, Komatsu. Edición. Autor.

Tabla 14.

Tiempos de ciclo en modo de operación Cruz.

Tiempos de ciclo modo cruz. Unidades en segundos			
Clases del material	Capacidad del balde		
	<3 m ³	3.1 a 5 m ³	>5.1 m ³
Clase 1	24	30	36
Clase 2	30	36	39
Clase 3	39	39	42
Clase 4	42	45	45

Nota. Tabla de tiempo de ciclo en segundos, Adoptado de Productivity Wheel Loaders, Fuente Specifications & Application Handbook, Komatsu. Edición. Autor

Carga, transporte y Descarga.

La cargadora de ruedas puede utilizarse como un equipo de acarreo considerando que es capaz de transportar el material entre distancias menores a 300 metros, esto es útil para canteras y cementeras que tengan que trasladar agregados de una pila a un punto de trituración, o solo para trasladar grandes cantidades de material de un punto a otro.

El cálculo de la productividad se evalúa con la fórmula (10), sin embargo la variable de tiempo de ciclo (T) para la formula (4) se calcula de la siguiente manera.

$$T = \left(\frac{D}{V_c} + \frac{D}{V_r} + Z \right) \times 60 \quad (11)$$

Donde.

- D = Distancia de recorrido entre el punto de cargue y el punto de descargue en metros.
- V_c = Velocidad de transporte con el material cargado. m/min.

- V_r = Velocidad de retorno al punto de carga. m/min.
- Z = Tiempo fijo, considerado el tiempo que se demora en cargar el material en el punto de carga y el tiempo que se demora descargarlo en el punto de descarga en min. Varía entre 27 a 36 segundos según (Gutierrez Angulo & Pereira Moreira, 2006)
- 60 = Factor de conversión a segundos.

Tabla 15.

Rango de velocidades según condiciones de transporte

Velocidades de transporte		Rango de velocidades en m/min	
Condiciones de Transporte		Cargada	Vacía
Bueno	El transporte en carretera plana bien compactada, pocos baches en la superficie de la carretera, ninguna reunión de otras máquinas.	167 a 383	183 a 400
Medio	Pocos baches en la superficie del camino, carretera plana, algunos trabajos auxiliares que llevan grandes trozos de roca	167 a 300	183 a 317
Bastante pobre	Baches en la superficie de la carretera, alta tasa de trabajo auxiliar.	167 a 250	167 a 267
Pobre	Grandes baches en carretera, reunión de otras máquinas, difícil de llevar a cabo un trabajo suave, gran cantidad de trabajo auxiliar.	150 a 200	150 a 233

Nota. Rango de velocidades promedio para cargadoras según condiciones de carretera, Adoptado de Productivity Wheel Loaders, Fuente Specifications & Application Handbook, Komatsu. Edición. Autor.

En la **Tabla 15**, se encuentran valores promedio de velocidades en cargadoras de la marca komatsu, sin embargo cada fabricante dispone en sus manuales y catálogos de los equipos las velocidades de transporte de las cargadoras, según la potencia y pesos operativos y de carga. Como ejemplo la descripción que ofrece volvo para la cargadora L260H (ver **Tabla 16**) sobre la transmisión y las

velocidades según sus marchas, para utilizarla en la fórmula (II) se debe hacer la conversión de velocidad a m/min.

Tabla 16.

Velocidades de la cargadora L260H de Volvo.

Velocidad máxima	Adelante	Atrás
	km/h	
Primera Marcha	6.7	6.6
Segunda Marcha	11.6	11.4
Tercera Marcha	21.7	21.4
Cuarta Marcha	36.5	36.1

Nota. Velocidades de la cargadora L260H, Adoptado de Brochure L260H, Volvo Construction Equipment. Edición. Autor.

2.4.3. Productividad en camiones articulados Dumpers.

La productividad en camiones de carga depende de las características de su trabajo relacionadas con el tiempo recorrido, el tiempo de descarga y el tiempo de carga que se determina conforme el equipo de carga, y factores relacionados con la resistencia a la rodadura que dependen del terreno y pendiente. La fórmula para el cálculo de la productividad contempla las siguientes variables.

$$Q = q \times \frac{60}{T} \quad (12)$$

Donde.

- Q = Productividad en $\frac{m^3}{h}$
- q = Capacidad de la tolva para cargar en un ciclo en m^3

- 60 = Constante de conversión temporal
- T = Tiempo de ciclo. En min

El tiempo de ciclo establecido para un camión articulado, se determina por la siguiente expresión.

$$T = T_w + T_z + T_t + T_r \quad (13)$$

Donde.

- T_w = Tiempo de carga

El tiempo de carga lo define el tipo de máquina que efectúa el cargado del camión articulado, ya que depende de su tiempo de ciclo, además de la capacidad del balde según las características del terreno y la productividad de la misma.

Para calcular el tiempo de carga primero se establece el número de ciclos correspondientes que debe realizar la máquina de carga para llenar la tolva del camión articulado.

Así.

$$n = \frac{\text{Capacidad de carga en la tolva del camion en (ton)}}{q_c \times K \times \rho} \quad (14)$$

Donde.

- q_c = Capacidad de llenado del balde del equipo de carga en m^3
- K = Factor de llenado del balde dependiendo el equipo de carga, para excavadoras ver **Tabla 7**, Para cargadoras ver **Tabla 11**.
- ρ = Densidad del material a manipular en (ton/m³)

El número de ciclos para llenar la tolva del camión articulado se utiliza en la siguiente ecuación.

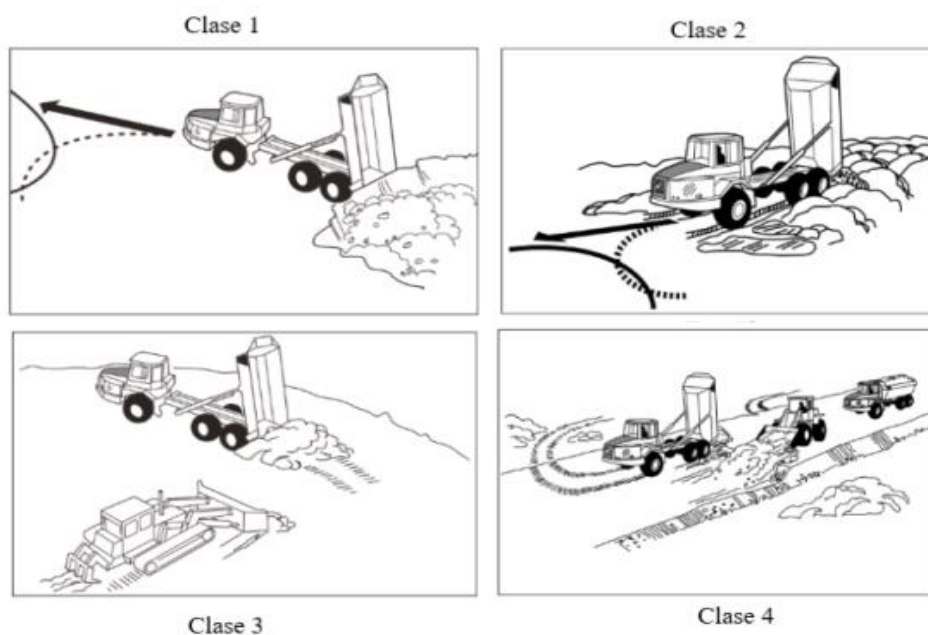
$$Tw = n \times Te \quad (15)$$

Siendo T_e = El tiempo de cada ciclo de carga para el equipo de carga. En min.

- T_z = tiempo fijo: Es el tiempo caracterizado por las maniobras que realiza el operador a la hora de situar la máquina para carga y descarga, solo se establece este tiempo en los puntos de carga y descarga. Las clases de maniobra de descarga para tiempo fijo se describen en la **Tabla 17** además de los rangos de tiempo para algunas clases de maniobras en descarga del material (ver **Figura 30**).

Figura 30.

Clases de maniobras para descarga.



Nota. Adoptado Articulated Haulers, de Volvo Performance Manual fuente. Pág. 226.

Tabla 17.

Clases de maniobras y tiempos de descarga para articulados.

Clases de maniobras para descarga de material.	
Clase 1	Clase 2
Es la clase de vertido más común, solo descargue, se cuenta desde que el operador se detiene para iniciar a descargar.	El operador del articulado puede utilizar la maquina como un medio de pre compactación, descargando el material en pequeños montículos para luego ser nivelado.
Clase 3	Clase 4
La operación de descarga se realiza según la indicación de la maquinaria extra, como una topadora, ya que el corte se lleva dependiendo la descarga de material.	Para la construcción de terraplenes, donde el área de descarga es lo bastante grande para facilitar la descarga en un punto sin interrupciones ni esperas.
Condiciones de terreno.	Tiempo de descarga (min)
Buenas	0.5 a 0.7
Regulares	1.0 a 1.3
Malas	1.5 a 2.0

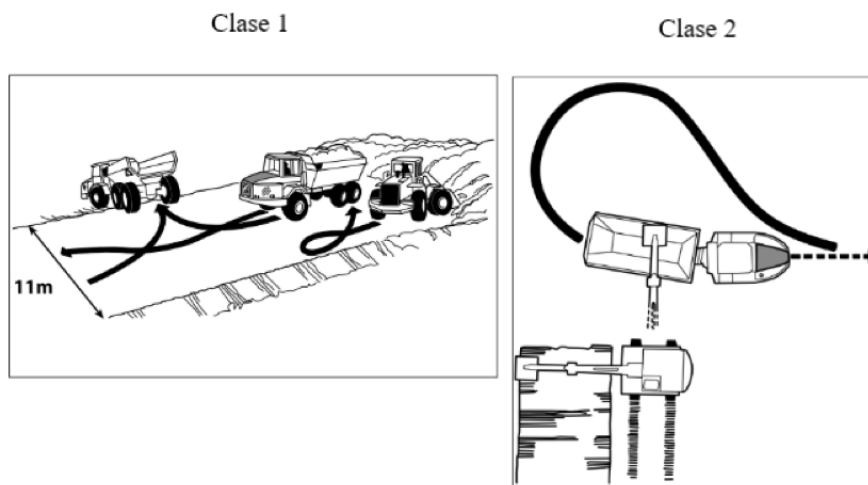
Nota. Clases de maniobras para articulados volvo y tiempos de descarga, Adoptado de Articulated Haulers,

Fuente Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.226

Los tiempos de carga para tiempo fijo, se establecen según el tiempo que demora el articulado para ubicarse en la posición de carga, en la **Tabla 18** se muestran las descripciones de las clases ilustradas en la **Figura 31**, dependiendo de las clases de carga y las condiciones de terreno se establece el tiempo que demora en promedio el articulado en posicionarse.

Figura 31.

Clases de maniobras para carga.



Nota. Adoptado Articulated Haulers, de Volvo Performance Manual fuente. Pág. 231.

Tabla 18.

Clases de maniobras de ubicación para carga y tiempos en articulados.

Clases de maniobras para Carga de material.	
Clase 1	Clase 2
Son maniobras de giro para marcha hacia adelante y atrás, para posicionarse de forma rápida gracias a sus dirección articulada	Cuando las áreas de carga son bastante grandes el articulado puede moverse libremente y hacer giros de 360° facilitando la operación y reduciendo el tiempo de ubicación.
Condiciones de terreno.	Tiempo de descarga (min)
Buenas	0.10 a 0.20
Regulares	0.25 a 0.35
Malas	0.40 a 0.50

Nota. Clases de maniobras para articulados volvo y tiempos de ubicación para carga, Adoptado de Articulated Haulers, Fuente Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.231.

Entonces.

$$T_z (\text{min}) = \text{tiempo de descarga} + \text{tiempo ubicacion para carga} \quad (16)$$

Luego de hallar T_z y T_w , se determina el tiempo de recorrido cuando el articulado está cargado, así como el tiempo de retorno cuando vuelve al sitio de carga; se puede evaluar calculando en el sitio el tiempo de recorrido para garantizar una productividad más adecuada, sin embargo en la mayoría de casos se debe evaluar por medio de fórmulas o gráficos presentados por el fabricante ya que se realiza la productividad para circunstancias a futuro, según (Gutierrez Angulo & Pereira Moreira, 2006) estos tiempos se determina con la ayuda de dos fórmulas. Las cuales son:

T_t = Tiempo de transporte

$$T_t = \frac{D}{V_c} \quad (17)$$

- D = Distancia del trayecto para el recorrido en m
- V_c = Velocidad de articulado con carga en m/min

T_r = Tiempo de retorno

$$T_r = \frac{D}{V_v} \quad (18)$$

- D = Distancia del recorrido para el retorno
- V_v = Velocidad de retorno sin carga en m/min

Las velocidades se determinan según las indique el fabricante o las tomadas en el terreno con el vehículo en operación.

En los manuales del fabricante aparecen gráficas y fórmulas para determinar los tiempos de transporte con carga y sin ella, de una manera más precisa debido a los estudios y rendimientos calculados por el mismo, en el caso de Volvo Construction Equipment se establecen unos parámetros según la resistencia a la rodadura por el tipo del material y la penetración del neumático en el terreno.

La efectividad de realizar los calculas de velocidad con tablas o ábacos suministrados por el fabricante se contempla siempre y cuando no se tenga el dato real de la maquina en operación, puesto que existen ítems o factores como materiales del terreno más abrasivos que impiden el recorrido del neumático y que aun así no se contempla en los factores aquí mencionados

Tabla 19.

Valor de Resistencia a la rodadura según la superficie del suelo.

Tipo de superficie móvil	Resistencia a la rodadura	Hundimiento de los neumáticos
	%	cm
Concreto, Asfalto seco, adoquín seco	2	-
	2	-
	3	-
Camino de grava, compactado Camino de tierra, compactado	3	-
	3	4
	5	6
Tierra de cultivo despojada, Relleno de tierra firme y seca, Tierra cultivable suelta y seca.	6	8
	8	10
	12	15
Pastizales, bancos de pastos Arena o grava, caminos de tierra sueltos, surcos profundos, porosos	12 a 15	15 a 18
	15 a 30	18 a 35
	16	20

Tierra cultivable pelada, arcilla húmeda pegajosa suelto, hielo húmedo	10 a 20	12 a 25
	35	40
	2	-

Nota. Valores de la resistencia a la rodadura en porcentaje evaluados según criterios de carga, terreno y pendiente para articulados Volvo, Adoptado de resistencia a la rodadura, hundimiento y coeficiente de tracción, Fuente Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.29.

El porcentaje en la resistencia a la rodadura suministrado en la **Tabla 19** fue calculado siguiendo parámetros específicos sobre la resistencia a la rodadura que ejerce el neumático con el material del terreno de transporte, entre estos parámetros se encuentran la presión en el inflado de los neumáticos, el nivel de fricción que tiene el neumático con el terreno, la capacidad de carga que tiene el articulado y la inclinación de los caminos en pendientes, por ello para cada camión articulado existen graficas que representan el tiempo que demora en recorrer como mínimo 200m.

Para utilizar las gráficas de tiempo se establece una resistencia a la rodadura total, la cual consiste en sumar el grado de resistencia perteneciente al porcentaje de pendiente según la carretera, más el porcentaje de resistencia a la rodadura seleccionado en la **Tabla 19**.

El grado de resistencia a la rodadura según la pendiente en porcentaje se suma cuando la pendiente del terreno sea positiva, es decir, que el articulado se encuentre andando cuesta arriba; y se resta cuando el articulado se encuentre con pendiente negativa, es decir, cuesta abajo, si la suma da negativa porque la pendiente es mayor que la resistencia a la rodadura se debe tomar solo el valor correspondiente a la resistencia a la rodadura según la **Tabla 19**.

La suma de estas dos resistencias ya mencionadas establece la resistencia total usada en la **Figura 32** ejemplo de (Volvo Construction Equipment, 2016).

En la **Figura 32** se muestra la gráfica para determinar de forma práctica el tiempo en minutos que demora un camión articulado en desplazarse con carga, según la distancia total en metros representada en la parte inferior de la gráfica, cruzada con la resistencia total a la rodadura representada por cada línea según el porcentaje de resistencia total obtenido en el cálculo anteriormente descrito.

Para conocer el tiempo de viaje que desarrolla un articulado cuando se encuentra vacío, se utiliza la resistencia total y la distancia determinadas anteriormente, y se relaciona de igual manera que la **Figura 32** pero con la **Figura 33**, estas tablas son aplicadas únicamente a un equipo en particular de camión articulado de la marca volvo, para los demás maquinaria de transporte como camiones rígidos, camiones convencionales como volquetas y de mas es necesario conocer las velocidades de operación en el sitio de trabajo.

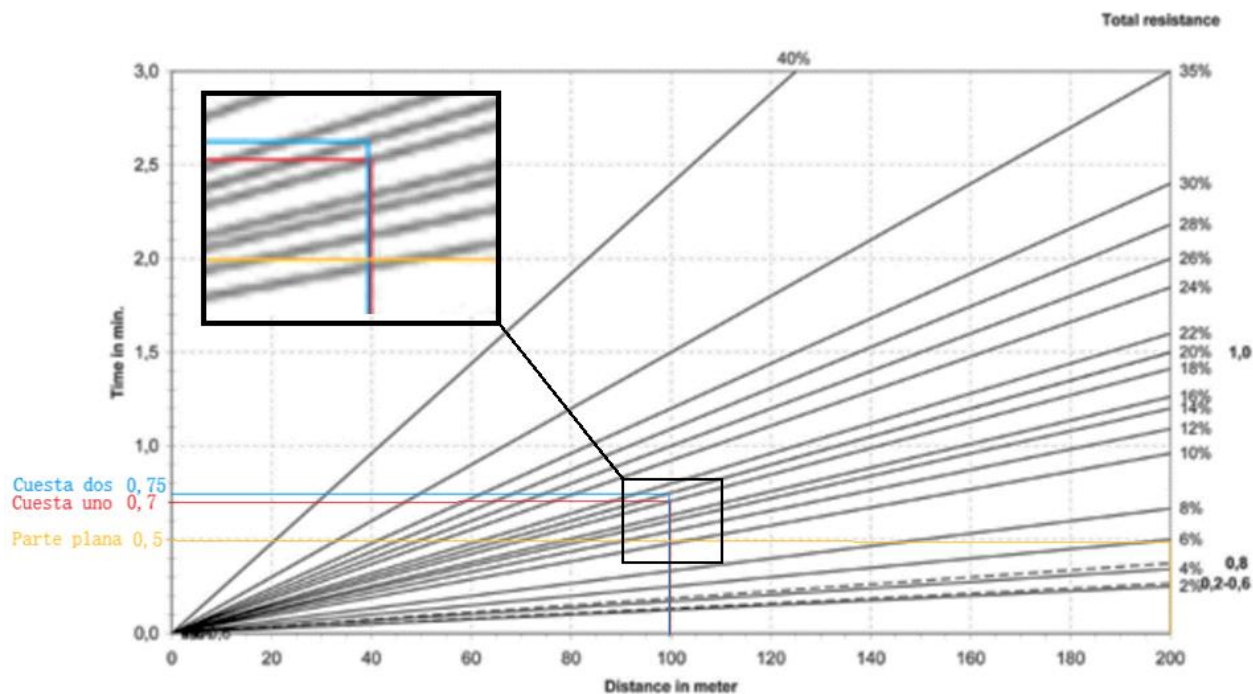
Para determinar el valor en tiempo que demora un articulado en desplazarse ya sea cargado o sin carga utilizando los ábacos de la **Figura 32** y **Figura 33** se obtiene con tres pasos, el primero es tener presente la distancia de recorrido que la maquinaria debe realizar de manera fraccionada en especial para los puntos donde existe pendiente ya sea positiva o negativa en el eje de las x, y esta distancia no debe ser mayor a 200m.

El segundo paso consiste en evaluar el porcentaje de resistencia total que será igual a la resistencia a la rodadura determinada en la **Tabla 19**, más o menos el porcentaje de pendiente según el sentido anteriormente explicado.

Por último se debe cruzar en el eje de las x la distancia de recorrido con la línea que representa en porcentaje la resistencia total, para conocer por medio del trazo de una línea horizontal al eje de las ordenadas la cantidad de tiempo que el equipo demora en transitar dicha distancia.

Figura 32.

Grafica del tiempo de traslado con carga para el articulado A25F



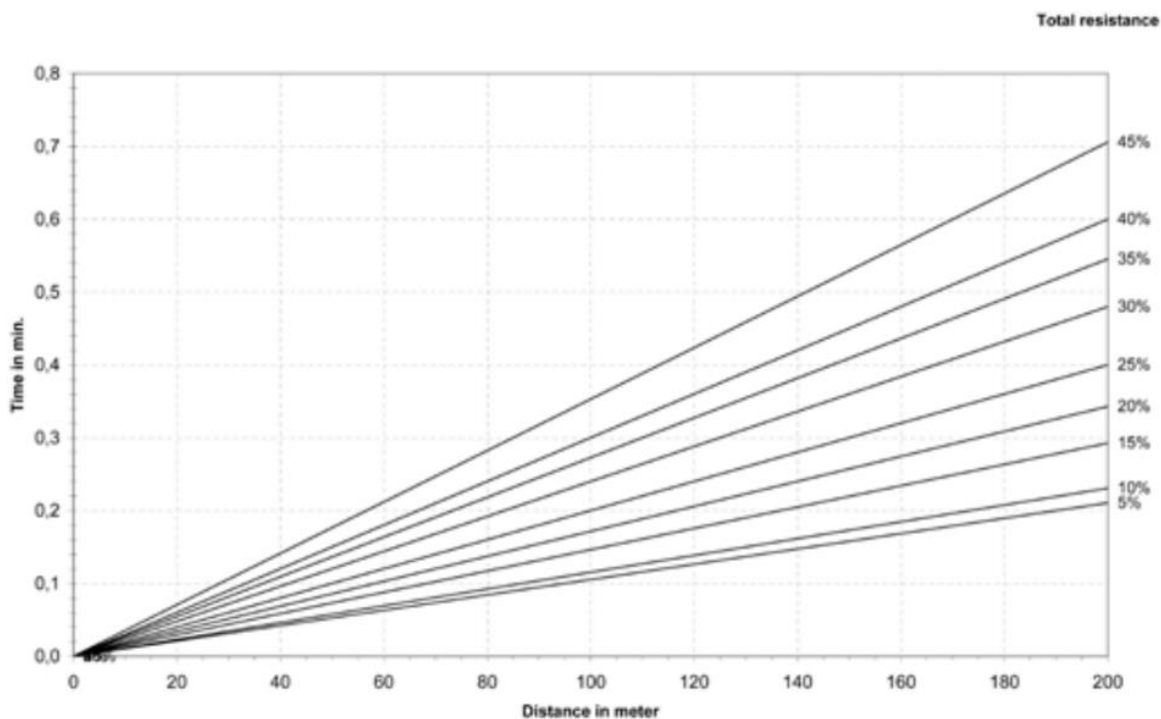
Nota. Grafica de tiempos de recorrido para articulado A25F, Adoptado de Tiempo de viaje a diferentes resistencias totales y estructura del suelo, Fuente Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.30.

Cabe resaltar que las gráficas aquí expuestas sobre tiempos de recorrido, son utilizadas únicamente para el camión articulado de serie A25F, pues cada tipo de articulado cuenta con las gráficas respectivas evaluadas con las velocidades y los pesos de sí mismo.

Por medio de los anteriores dos métodos se pueden establecer los tiempos de transporte y retorno para obtener el tiempo total y sustituirlo en la fórmula (12).

Figura 33.

Grafica del tiempo de traslado sin carga para el articulado A25F



Nota. Grafica de tiempos de recorrido para articulado A25F, Adoptado de Tiempo de viaje a diferentes resistencias totales y estructura del suelo, Fuente Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.31.

2.4.4. Productividad en compactadores de suelo y asfalto.

La productividad en compactadores está relacionada directamente al ancho de su rodillo ya que de este depende la compactación de un área. Su fórmula contempla los siguientes términos.

$$Q = \frac{W \times V \times E}{n} \quad (19)$$

Donde:

- Q = Productividad del compactador en $\left(\frac{m^2}{h}\right)$
- W = Ancho de rodillo compactador (m)
- V = Velocidad de la compactadora en (m/h)
- E = Eficiencia de trabajo.
- n = Numero de pasadas del compactador

El ancho del rodillo se mide sin la sección de traslapo (ver **Figura 34**) si la hay, considerada entre la longitud que se compacta siempre por cada pasada aun si se cambia de sentido la sección de compactación. Dependiendo de la longitud de traslapo que varía entre 0.10 a 0.30 m según el tipo de rodillo y la sección total de la vía, se le resta al ancho de rodillo (Gutierrez Angulo & Pereira Moreira, 2006).

La eficiencia de trabajo se establece por el factor de operación, debido a que la habilidad del operador es el principal componente para obtener una productividad adecuada. Para su cálculo se consideran los factores establecidos en la **Tabla 3**.

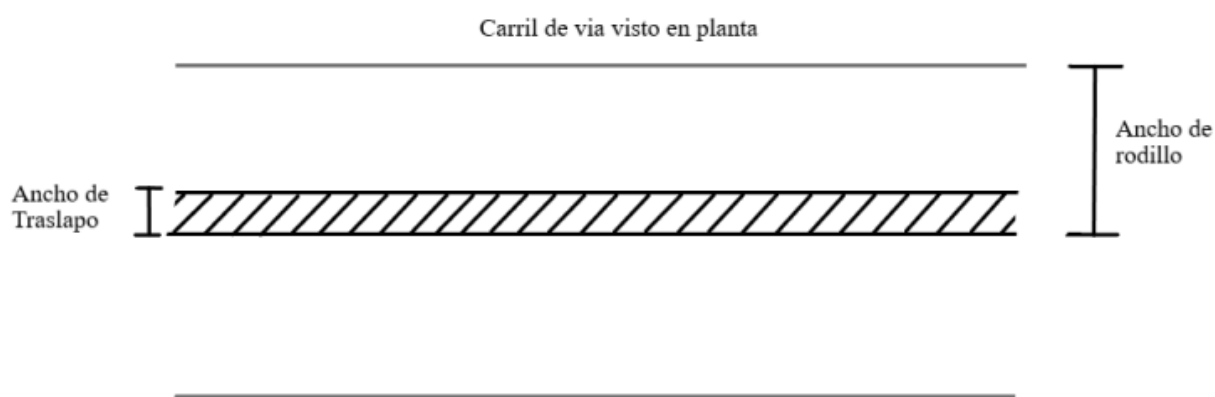
El número de pasadas se establece según el nivel de compactación que se requiere, determinado por el estudio de suelo y el dato a obtener referente al ensayo del proctor, este dato debe ser fundamental para obtener el número de pasadas, sin embargo (Gutierrez Angulo & Pereira Moreira, 2006) sustenta que el número de pasadas esta entre el rango de 6 a 12 pasadas.

En algunos casos la productividad se puede establecer en volumen de material compactado, para ello se multiplica el valor de productividad de la fórmula (19) por un espesor de la capa a compactar (H). Los fabricantes proporcionan tablas de productividad según el

modelo y considerando el número de pasadas, así como en unidades de áreas por hora o masa en toneladas por hora según la velocidad.

Figura 34.

Sección de traslape para compactadoras.



Nota. Sección de vía, carril. Fuente. Autor.

2.4.5. Productividad en Extendedoras de asfalto.

La fórmula de productividad para pavimentados es similar a la de compactadores, relaciona la anchura de la sección a pavimentar determinada por el ancho de la regla, así como el espeso de la capa a pavimentar.

$$Q = \frac{60 \times d \times H \times L \times E}{T} \quad (20)$$

Donde.

- Q = Productividad de pavimentadoras en $\left(\frac{m^3}{h}\right)$
- d = Distancia de trabajo (m)
- H = Espesor de la carpeta asfáltica (m)
- E = Eficiencia de productividad
- L = Ancho de pavimentación (m)
- T = Tiempo de ciclo en min calculado por:

$$T = \frac{D}{V} + Tz \quad (21)$$

Siendo.

- D = Distancia de trabajo en (m)
- V = Velocidad de trabajo de la maquina en (m/min)
- Tz = Tiempo fijo, establecido por el tiempo que demora en cargar el material de pavimentación en la tolva de la extendedora; entre 3 a 5 minutos son valores promedio a utilizar si no es posible tomar el tiempo de carga en sitio.

La Eficiencia de trabajo corresponde a la habilidad del operador en realizar la pavimentación y en el caso de la pavimentadora requiere de tres operadores, sin embargo se cuenta como un factor en general según la **Tabla 3**.

El fabricante de pavimentadoras volvo proporciona en el manual de rendimientos, las productividades probables en masa sobre tiempo para cada modelo según la velocidad, tal como se muestra en la siguiente tabla para la pavimentadora P4820D.

Tabla 20.

Tabla de pavimentación teórica de la extendedora P4820D de Volvo.

Pavimentación		
Producción teórica	t/h	500
	T/h	551
Espesor de la Capa	mm	300
	in	11.8
Velocidades		
Pavimentación (Max)	m/min	20
	ft/min	65.6
Transporte (Max)	Km/h	3.6
	mph	2.2

Nota. Datos de rendimientos para pavimentadoras, Adoptado de Pavimentadoras Volvo, Fuente Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.885.

2.4.6. Productividad para Motoniveladoras.

En motoniveladoras la productividad se obtiene con varios valores entre los cuales se relacionan el ángulo de la hoja de nivelación y la longitud efectiva de la misma, además de la secciones de traslapo. La fórmula contempla las siguientes variables por (Gutierrez Angulo & Pereira Moreira, 2006).

$$Q = \frac{60 \times d \times H \times Lt \times E \times p}{n \times T} \quad (22)$$

- Q = Productividad de moto niveladora en $\left(\frac{m^3}{h}\right)$
- 60 = Constante de conversión temporal
- d = Distancia de trabajo (m)
- H = Espesor de la capa de nivelación (m)

- E = Eficiencia de trabajo. Corresponde a la eficiencia de la operación de la motoniveladora según las características de la actividad ver **Tabla 21**.

Tabla 21.

Eficiencia de trabajo para motoniveladoras

Condiciones de operación	Factor E
Reparación de carreteras, nivelación	0.8
Quita nieves (arado tipo V)	0.7
Propagación, clasificación	0.6
Zanjas, retirada de nieve	0.5

Nota. Eficiencia de trabajo, Adoptado de Productivity Motor Grades, Fuente Specifications & Application Handbook, Komatsu. Edición. Autor

p = Factor de pendiente. Se obtiene según el porcentaje de pendiente y el sentido de la misma (Ver Siendo Lt igual a.

- Le = Longitud efectiva de la hoja (m). Para su cálculo se debe tener en cuenta la longitud y el ángulo de la misma y por medio de trigonometría determinar la longitud efectiva, como se muestra en la **Figura 35**.
- **Tabla 22**).
- Lt = Longitud de nivelación. Se define por la longitud de la hoja intervenida por el ángulo de la misma, menos la longitud de traslapo.

$$Lt = (Le - Lo) \quad (23)$$

Siendo Lt igual a.

- L_e = Longitud efectiva de la hoja (m). Para su cálculo se debe tener en cuenta la longitud y el ángulo de la misma y por medio de trigonometría determinar la longitud efectiva, como se muestra en la **Figura 35**.

Tabla 22.

Factor de pendiente para Motoniveladoras

Sentido de la pendiente	Pendiente del terreno	Factor (p)
	(%)	
Con la pendiente	15	1.2
	10	1.14
	5	1.07
Sin pendiente	0	1
Contrapendiente	-5	0.93
	-10	0.86
	-15	0.77

Nota. Factor de pendiente según porcentaje, Adoptado de Factor de pendiente, Fuente Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de maquinaria y equipo de construcción. Pag.33 Cap.II.

Los fabricantes aportan las longitudes efectivas por medio de tablas según las longitudes de las hojas con las que cuenta cada equipo y según el ángulo como se representa en la **Tabla 23** adoptada de (Caterpillar , 2017), en la tabla el ángulo cero representa la longitud total de las hojas que ofrece el portafolio de Caterpillar. .

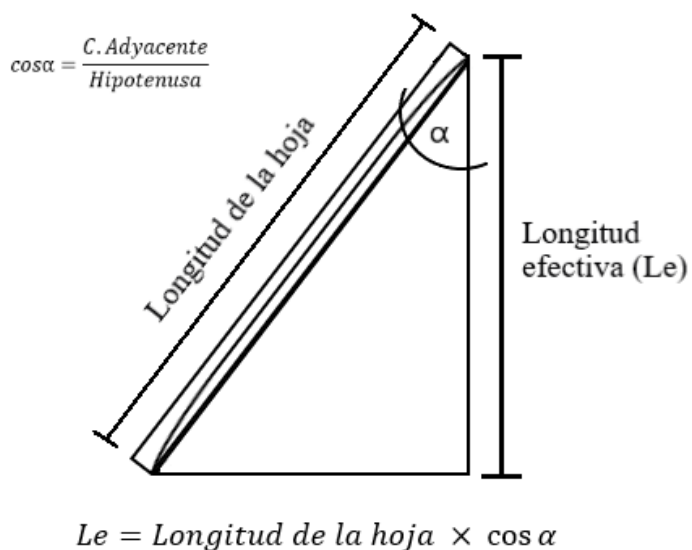
El valor de traslapo es el ancho de la sección que se superpone a la hora de nivelar una vía, (ver **Figura 34**). El promedio para motoniveladoras es de 20 cm.

- n = Numero de pasadas ver **Tabla 24**. Según la nivelación y el tipo de material que se requiere nivelar se establece el número de pasadas que la motoniveladora

debe hacer para garantizar el espesor de la capa de nivelación y el ancho de la misma.

Figura 35.

Calculo de la longitud efectiva



Nota. Trigonometría para determinar la longitud efectiva. Fuente. Autor.

Tabla 23.

Longitud efectiva de nivelación (Le)

Longitud Efectiva de la Hoja				
Angulo	m			
0°	3.66	4.27	4.88	7.32
5°	3.64	4.25	4.86	7.29
10°	3.6	4.2	4.8	7.21
15°	3.53	4.12	4.71	7.07
20°	3.44	4.01	4.58	6.87
25°	3.32	3.87	4.42	6.63
30°	3.17	3.69	4.22	6.33
35°	3	3.5	4	5.99
40°	2.8	3.27	3.74	5.61

45°	2.59	3.02	3.45	5.17
Longitud de hoja				

Nota. Valores de L_e según ángulo, Adoptado de Production Motor Grades, Fuente Caterpillar Performance Handbook, Pag.11-29.

A continuación se muestra una tabla con pasadas promedio según la actividad de la motoniveladora por (Ayllon Acosta, 2012)

Tabla 24.

Numero de pasadas de una Motoniveladora.

Actividad de Motoniveladora	Numero de pasadas (n)
Para nivelación	5 a 7
Para limpieza de maleza	3 a 5
Para escarificado de suelos	1 a 2
Para mezcla de materiales	8 a 10
Para conformación de sub rasantes	5 a 7

Nota. Numero de pasadas, Adoptado de Motoniveladoras, Fuente Maquinaria y Equipo de Construcción ing. Jaime Ayllon. Pag.55.

- T = Tiempo de ciclo en (min), correspondiente a

$$T = \frac{D}{V_n} + \frac{D}{V_r} + Z \quad (24)$$

- D = Distancia de nivelación (m).
- V_n = Velocidad de nivelación en (m/min).
- V_r = Velocidad de retorno en (m/min).
- Z = Tiempo fijo. Establecido por la acomodación de la hoja para retroceder y para comenzar a nivelar en (min).

3. Administración de maquinaria.

La administración en maquinaria es indispensable en el desarrollo de presupuestos porque garantiza el conocimiento con base en el rendimiento y los consumos del valor por hora que se debe costear cuando se es dueño de un equipo de construcción, y con esto determina los costos de pérdida si la misma no se encuentra en producción o tiene tiempos de reparación extensos.

Para ello se evaluara en este ítem de administración de maquinaria conceptos y formulas con base en el capítulo de costo total de propiedad, que ofrece el manual de productividad de Volvo, donde se contemplaran diferentes parámetros para conocer el costo por hora de cualquier equipo, para ello, es indispensable saber el valor inicial del equipo y los mantenimientos que este debe tener conforme a la vida útil de productividad.

Con base en el equipo y el desarrollo que va a tener durante su vida de trabajo, se conoce la vida útil económica, donde se establece el tiempo que proporciona al propietario ingresos cuando el mismo se encuentra en producción continua, cabe resaltar que para ello los mantenimientos y el cambio de piezas de desgaste que se le deben hacer son de vital importancia para garantizar un tiempo largo de trabajo con la eficiencia máxima, que ofrecerá beneficios económicos ya sea de arrendamiento o por la productividad en obra.

Para conocer el valor por hora de la maquina se establecen tres divisiones que contemplan la totalidad de los ítems sobre los costos que sustenta a la hora de poseerla, el primero hace referencia a los costos fijos que se realizan cuando se adquiere la maquinaria, como el valor inicial de la misma, depreciación, intereses e impuestos; la segunda división representa los costos variables de la máquina, los cuales como su nombre lo indica, varían por factores de producción en base a mantenimientos, repuestos, reparación y consumos; por último se establecen los valores

de operación conformados por el pago de salario del operador, pues es esencial para el funcionamiento de la maquinaria y por tanto debe ser establecido como un consumo de la misma.

3.1. Valores para el costo por hora de maquinaria plantilla Volvo.

Por cada división se establecen valores que representan la finalidad del mismo, y se basan según el tipo de maquinaria y sus consumos. Los cuales se describen a continuación:

a. Precio de compra.

El precio de compra es el valor total de la maquinaria y se relaciona con el método de pago pues de este dependen los costos adicionales que complementan el precio de compra por ejemplo, si la compra es por aportes directos de capital no se verá incrementado el precio por adicionales de intereses o impuestos por desembolsos y de más, si por el contrario se realizó un préstamo en una entidad financiera por cualquier método, se incurrirá en intereses e impuestos que se sumaran al valor total de la maquinaria. Además del valor total de la maquina se deben tener en cuenta los incrementos monetarios por el transporte que depende de las distancias y las condiciones de traslado, titularidad, registro, adecuaciones, instalaciones, capacitaciones y de más actividades que generen un gasto durante el transcurso de entrega al propietario del equipo y que el mismo se encuentre en condiciones para iniciar a operar.

b. Precio de compra excluyendo neumáticos.

Otro aspecto a considerar en el precio de compra es la deducción del valor que tienen los neumáticos u orugas del equipo para calcular el costo de propiedad por hora, debido a que los neumáticos u orugas se consideran como costos de operación pues la vida útil de estos es diferente a la del equipo, además si no se discriminan del precio de compra se estaría ofreciendo un valor de extra de consumo al momento de vender el equipo.

c. Tiempo de depreciación (Años).

El tiempo de depreciación es la duración que se utilizara como base para calcular el costo de propiedad por hora, este tiempo se establece según el valor de depreciación que tiene la maquinaria con base en su vida útil, se debe calcular según los años que el propietario pueda garantizar los costos de operación y mantenimiento; en promedio el tiempo de depreciación para maquinaria y equipos en Colombia es de 10 años.

d. Valor residual.

Este valor es el que se desea obtener al final del tiempo de depreciación cuando el equipo es vendido, se considera como el monto de patrimonio a recuperar, se calcula con base en el costo inicial de la maquina menos los gastos de amortización y depreciación que contempla unas tasas establecidas entre el 2.22% al 33% según el artículo 136 del estatuto tributario colombiano; en ocasiones este monto lo establece el valor justo del mercado perteneciente a la demanda según el tipo y modelo del equipo.

e. Costo de depreciación.

La depreciación es considerada como la caída de valor que tiene un producto conforme pasa el tiempo, para ello se tiene en cuenta el precio de compra, el valor que se desea recuperar a la hora de revender el equipo y el tiempo de vida útil que este tendrá en producción. Para el cálculo de depreciación se realiza con el método lineal considerando que el equipo se deprecia uniformemente a lo largo del tiempo, utilizando la expresión (25):

(25)

$$e = \frac{b - d}{c}$$

Siendo:

e = Costo de depreciación por año

b = precio de compra excluyendo neumáticos

d = Valor residual

c = Tiempo de depreciación (Años)

f. Intereses (%).

La tasa de interés se contempla según el modo de pago que se utilizó para la compra de la maquinaria incluyendo los neumáticos u orugas pues hacen parte del valor inicial, si se cánselo con capital propio en ocasiones no se tiene en cuenta un porcentaje de interés, sin embargo es óptimo asumir una tasa de interese al menos igual a la tasa que se puede esperar por una inversión igual; si por el contrario el pago fue realizado por medio de un préstamo económico, según la entidad o el prestamista se establece una tasa de interés que tendrá repercusión en futuro sobre el valor real de la maquinaria, por tanto es necesario vincular la tasa de interés al costo de propiedad por hora que en promedio se establece entre el 10 al 30 %.

g. Costo de interés.

Este costo se calcula con el producto entre la tasa de interés establecida anteriormente en porcentaje y un promedio entre el valor inicial de la maquinaria incluyendo neumáticos u orugas y el valor residual esperado. Según la formula (26) se obtiene el costo de interés por año.

$$g = \frac{f}{100} * \frac{a + d}{2} \quad (26)$$

g = Costo de interés por año

f = Interés en %

a = precio de compra

d = Valor residual

h. Impuesto sobre máquinas.

El impuesto sobre la maquinaria se contempla según los reglamentos nacionales siendo la contribución al estado sobre la operación de la misma, en el decreto Colombiano 1625 de 2016 “por medio del cual se expide el decreto único reglamentario en materia tributaria” se indica los encargados en el pago de impuestos.

i. Seguro por año.

En la mayoría de casos la maquinaria contempla un seguro con base en un porcentaje del precio de compra, que garantiza la reparación en caso de daños, robos o la reposición total de la maquinaria, en algunas obras civiles se considera el pago de un seguro extra para cada equipo y debe ser tenido en cuenta junto con el seguro general del equipo.

j. Precio del combustible.

El precio de combustible es el costo de consumo más grande que puede tener un equipo, pues puede llegar a valer igual que la tasa de depreciación por hora, siendo un valor alto que en el futuro acumulara su costo total; aunque al día de hoy, los fabricantes están equipando sus máquinas con nuevas tecnologías en la reducción de emisiones por medio de la reducción en consumo de combustible sin afectar el rendimiento y poder garantizar un costo operativo más bajo. La elección de la maquinaria representa un factor importante para establecer costos operativos económicos, pues el consumo de combustible en operaciones diferentes del equipo puede llegar a ser más alto que el cambio de piezas que están en contacto con el material

llamadas piezas de desgaste, de igual manera se debe tener en cuenta la fluctuación del petróleo considerando que el valor de este determina el costo del combustible a futuro.

Para saber el precio de combustible es importante establecer la unidad de consumo por hora que tendrá la maquinaria, si es por litros o galones y de esta manera conocer el precio local del combustible por la unidad representativa.

k. Consumo de combustible (l/h o gph)

Ahora bien, luego de tener el costo de diésel ya sea por litros o galones, se debe relacionar con el consumo real de la maquinaria durante una hora; Volvo ofrece con la maquinaria una plataforma virtual (CareTrack) que evalúa y presenta los consumos de combustible de las máquinas que se encuentran en operación además de los tiempos para realizar los mantenimientos y cambios de aceite, aun así en los manuales del fabricante presentan los valores promedio de consumo según la severidad de operación.

l. Precio del aceite.

Al igual que combustible, el precio del aceite debe ser contemplado pues de este depende el costo que tenga el mantenimiento a la hora de hacer cambios de aceites.

m. Consumo de aceite (l/h o gph).

El consumo de aceite se establece en unidades utilizadas por hora, puesto que el aceite como tal deber ser cambiado al no representa una disminución en su volumen cuando el equipo se encuentra en operación, se establece un tiempo determinado de trabajo para hacer el cambio de aceite, pues el motor y los equipos del sistema hidráulico requieren mantenimientos preventivos que en conclusión corresponden al cuidado de la maquinaria.

n. Costo de un set de llantas.

Las llantas representan un elemento de desgaste, y se realizan reparaciones cuando la maquinaria debe cambiar un juego de llantas por desgaste o por deterioro al contacto con materiales abrasivos, por ello es importante reconocer el valor total de un juego de llantas y también discriminarlo del valor inicial de la misma ya que contempla una vida útil diferente, ya sean llantas o zapatas de las orugas.

o. Vida útil de los neumáticos (h)

La vida útil de un neumático se determina por el tipo de operación, la cantidad de presión en el inflado, el pisado correcto con el terreno o alineación, la temperatura pues a mayor temperatura es mayor el desgaste, y el cuidado del mismo, con el costo de cada llanta y la vida útil en horas se puede determinar el valor por hora de trabajo que tendrán los neumáticos. Con la venta de los neumáticos el proveedor establece tiempo de expiración según las condiciones de la obra o se puede determinar un periodo con base en la experiencia.

p. Reparaciones y mantenimientos.

Las reparaciones y los mantenimientos contemplan aparte de los aceites y neumáticos, todas las piezas de desgaste que con el paso del tiempo requieren un cambio para garantizar la operación del equipo, pues una manguera con un valor mínimo que no sea cambiada a tiempo representa costos elevados al cambiar la unidad dañada por la falla de la misma, entonces las reparación y mantenimientos preventivos se consideran como un método para la protección del equipo a futuro, para el cálculo del costo de operación se establece el valor de reparación y mantenimientos incluyendo piezas y mano de obra para un periodo de un año.

q. Costo del operador.

Hacer referencia los salarios que se deben cancelar al operador de la maquinaria, debido a que sin el trabajo del mismo no se puede realizar la operación del equipo, lo que indica un tiempo estático de trabajo generando pérdidas, estos salarios se discriminan mensual sin embargo se calcula el costo el operador en un periodo de un año al sumar valor de los meses de trabajo.

r. Horas de operación (h).

Para terminar se establece el tiempo en horas de operación de la maquinaria durante un año, esto con el objetivo de obtener los valores netamente representados en una hora de todas los costos anteriormente descritos.

Calculo del costo total por hora.

3.1.1. Costos fijo por hora.

El costo fijo por hora está conformado por la suma entre la depreciación, costo de intereses, impuesto de maquinaria y seguro, todo por horas de trabajo.

- Depreciación (D).

$$\text{Depreciación} = \frac{e}{r} \quad (27)$$

e = costo de depreciación por año

r = Horas de operación por año.

- Costo de intereses (Ci).

$$\text{Costo de interes} = \frac{g}{r} \quad (28)$$

g = Costo de interés por año

r = Horas de operación por año.

- Impuesto de maquinaria (Im).

$$\text{Impuesto de maquinaria} = \frac{h}{r} \quad (29)$$

h = Impuesto de maquinaria

r = Horas de operación por año

- Seguro (S).

$$\text{Seguro} = \frac{i}{r} \quad (30)$$

i = Seguro

r = Horas de operación por año

3.1.2. *Costos variables por hora.*

Los cuales dependen de los costos de mantenimiento por hora según la sumatoria del combustible, grasa aceites y filtros, neumáticos, reparaciones y mantenimientos.

- Combustible (C).

$$\text{Combustible} = j \times k \quad (31)$$

j = precio del combustible

k = Consumo del combustible por hora

- Grasas aceites y filtros.

$$Of = l \times m \quad (32)$$

Of = Grasas aceites más el precio de los filtros

l= Valor del aceite

m = Consumo de aceite por hora

- Neumáticos (N).

$$\text{Costo de neumaticos} = \frac{n}{o} \quad (33)$$

n = Costo por el set de llantas

o = Vida útil de los neumáticos por hora.

- Reparación y mantenimientos (Rm).

$$\text{Reparacion y Mantenimietos} = \frac{p}{r} \quad (34)$$

p = Reparación y mantenimientos

r = Horas de operación por año

3.1.3. Costos de operación.

Comprende el costo por el pago de salario del operador.

- Costo del operador (Cop).

$$\text{Costo del operador} = \frac{q}{r} \quad (35)$$

q = Costo del operador por año

r = Horas de operación por año

Costo total por hora.

Se determina por medio de la siguiente ecuación. En la **Tabla 25** se encuentra el resumen de lo expuesto anteriormente suministrado por el manual de rendimiento Volvo.

$$CTotal = D + Ci + Im + S + C + Of + N + Rm + Cop \quad (36)$$

La planilla anterior utilizada para el cálculo del costo total por hora pertenece al manual de rendimiento de Volvo (Volvo Construction Equipment, 2016), el cual evalúa de manera detalla los ítem que se tiene en cuenta al conocer el costo de operación para un equipo de construcción, referente a ello se puede establecer la pérdida económica cuando el equipo se encuentra estático. Si se desea y se tiene certeza del tiempo exacto de trabajo en horas, se puede multiplicar por el costo total por hora y así determinar el costo de la maquinaria para alquiler o el costo de operación para un proyecto en específico.

Es de resaltar que el costo total son los valores que se contemplan al ser propietario de un equipo, para el alquiler se debe incrementar el costo si el objetivo de la actividad es obtener ganancias por el préstamo de la maquinaria.

Tabla 25.

Resumen para el cálculo del costo total por hora.

Condiciones:			
Tipo de Maquina:			
		Unidades	Valores
a	Precio de compra	\$	
b	Precio de compra excluyendo neumáticos	\$	
c	Tiempo de depreciación	Años	
d	Valor residual	\$	
e	Costos de Depreciación por año	$\frac{b-d}{c}$	\$
f	Interés	%	
g	Costo de intereses por año	$\frac{f}{100} * \frac{a+d}{2}$	\$
h	Impuesto de maquinaria	\$	
i	Seguro por año	\$	
j	Precio del combustible (L/g)	\$	
k	Consumo de combustible	(L/h o g/h)	
l	Precio del aceite (L/g)	\$	
m	Consumo de aceite	(L/h o g/h)	
n	Costo de un set de llantas	\$	
o	Vida útil de neumáticos	h	
p	Reparaciones y mantenimientos por año	\$	
q	Costo del operador por año	\$	
r	Horas de operación por año	h	
A Coto fijo por hora			
	Depreciación	e/r	\$/h
	Costo de intereses	g/r	\$/h
	Impuesto de maquinaria	h/r	\$/h
	Seguro	i/r	\$/h
	Total de costo fijo		\$/h
B Costo Variable por hora			
	Combustible	$j \times k$	\$/h
	Aceite, grasa y filtros	$l \times m$	\$/h
	Neumáticos	n/o	\$/h
	Reparación y Mantenimiento	p/r	\$/h
	Total costo variable		\$/h
C Costo del operador por hora			
	Costo del operador por hora	q/r	\$/h
	Total costos por hora A+B+C		\$/h

Nota. Tabla resumen para el cálculo del costo total por hora, Adoptado de Costo total de propiedad, Fuente

Performance Manual Volvo Construction Equipment, Pag.918

3.2. Plantilla alterna para el cálculo del costo total por hora.

Según el libro de (Gutierrez Angulo & Pereira Moreira, 2006) expuesto para la Universidad de San Simón en Bolivia y que se expone en el capítulo III, tres plantillas que hacen referencia al cálculo del costo total por hora las dos últimas pertenecen a los manuales de rendimientos de Caterpillar y Komatsu, sin embargo el primer método es un recomendado por el Ingeniero Leopoldo Varela (asesor de costos de la OACI) el cual en este trabajo se tomara como una plantilla alternativa y en comparación con la expuesta en el manual de rendimiento de Volvo.

De manera similar al cálculo del costo total anteriormente expuesto, la plantilla del ingeniero Leopoldo Varela divide en tres ítems los valores que corresponden al cálculo final del costo total por hora. Estos son:

3.2.1. Cargos fijos.

Son los cargos obtenidos por la depreciación, valor inicial, seguro y mantenimiento, calculados con los siguientes valores:

- V_a = Valor de compra menos el precio de llantas, mangueras o bandas, en este caso se adiciona el valor de los elementos de desgaste adicional a de los neumáticos.
- V_r = Corresponde al valor residual de la maquina o valor esperado a la hora de vender el equipo.
- V_e = Vida útil de la maquinaria en horas.
- H_a = Establece la cantidad de horas de trabajo por año.
- i = Corresponde a la tasa de interés por año expresada en decimales.
- s = Inversión por año del seguro expresada en decimales.
- D = Depreciación.

- I = inversión
- S = Seguro
- T = Mantenimiento
- Q = Coeficiente de mantenimiento según el tipo de máquina.

Tabla 26.

Factor “Q” de mantenimiento.

Equipo	Q
Tractores de orugas, Cargadores frontales, moto traíllas	0.50 - 0.90
Motoniveladoras, excavadoras, tractores agrícolas, camiones aguateros	0.35 - 0.75
Volquetas	0.45 - 0.85
Compresoras	0.35 - 0.75
Compactadores vibratorios, compactadores neumáticos	0.40 - 0.80
Planta de trituración, plantas de asfalto	0.25 - 0.45
Carro imprimador, distribuidor de agregados, escoba mecánica	0.25 - 0.45
Mezcladoras de hormigón, vibradoras, martillos neumáticos	0.30 - 0.70

Nota. Tabla del factor “Q” para el mantenimiento, Adoptado de texto guía Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de maquinaria y equipo de construcción, Fuente Maquinaria y equipo de construcción Ing. Jaime Ayllon.

Con los valores descritos anteriormente se desarrolla el cálculo de los cargos fijos por medio de las siguientes formulas:

$$\bullet \text{ Depreciación} = \frac{Va - Vr}{Ve} \quad (37)$$

$$\bullet \text{ Inversión} = \frac{(Va + Vr)}{2Ha} \quad (38)$$

$$\bullet \text{ Seguro} = \frac{(Va + Vr) \times s}{2Ha} \quad (39)$$

(40)

- $\text{Mantenimiento } T = Q \times D$

3.2.2. *Cargos por consumo.*

Son los costos correspondientes a las piezas de desgaste así como los consumos de combustible aceites y de más lubricantes que el equipo requiere luego de ciertas horas de trabajo, y relaciona los ítems de lubricantes, combustibles y neumáticos (bandas o mangueras).

Utilizando los siguientes valores.

- C = Corresponde al consumo de combustible por medio de la cantidad gastada por hora.
- Pc = Precio unitario del combustible.
- al = Consumo de lubricante por hora de trabajo.
- Pl = Precio del lubricante.
- c = Perdida por evaporación entre cambios sucesivos del lubricante.
- Vn = Precio de los neumáticos.
- hv = Vida útil de los neumáticos.

Los valores anteriores se relacionan con las siguientes fórmulas que determinan los cargos por consumo.

- $\text{Combustibl } (e) = C \times Pc$ (41)

- $\text{Lubricante } (Al) = (al + c) \times pl$ (42)

$$\bullet \text{ llantas bandas o mangueras } (n) = \frac{Vn}{hv} \quad (43)$$

3.2.3. Cargos por operación.

Corresponden a los costos referentes al salario del operador.

$$\bullet \text{ Costo del operador } (Co) = \frac{So}{H} \quad (44)$$

Siendo.

- So = Salario mensual del operador.
- H = horas efectivas trabajadas por mes.

La sumatoria de los cargos fijos, por consumo y operación establece el costo total de operación correspondiente a maquinaria para construcción.

Conclusiones y Recomendaciones

La productividad para cada equipo de maquina relaciona variables diferentes encaminadas a conocer cuánto material es manipulado durante un periodo de tiempo, por tanto los métodos con fórmulas y valores anteriormente explicados, representan la forma práctica y el paso a paso para obtener por medio de datos reales según el equipo, los rendimientos que pueden generar en circunstancias de trabajo normales.

A pesar de contar con tablas de productividad aproximadas que los fabricantes proporcionan junto con el equipo, no se deberían tener en cuenta para un análisis detallado pues no son de gran ayuda debido a que las condiciones y factores con las que fueron realizadas pertenecen a condiciones ideales de la maquinaria, sin embargo es importante para los cálculos expuestos la vinculación de datos más específicos al equipo determinados por el fabricante como velocidades, tiempo de ciclos, consumos, dimensiones y características que se relacionan con factores de terreno, operación, altura y tiempo efectivo para obtener una productividad más acorde al proyecto.

El método de volver para calcular el costo total por hora representa un dato final más acertado a comparación de la plantilla que otorga el Ing. Leopoldo Varela, pues relaciona mayor cantidad de datos específicos que a fin de cuentas generan un incremento en el costo por hora de un equipo cualquiera, por ende la obtención y descripción de los datos que se diligencian en la tabla resumen deben ser de total exactitud para generar un costo por hora real y acorde al equipo en cuestión.

Como recomendación para el rendimiento de una maquinaria 100% efectivo y acorde al trabajo en obra es bueno contar con datos netamente extraídos de la maquinaria en producción, ya que se obtienen valores más reales tanto de velocidades, destreza del operador, clima,

administración de obra que se resumen en tiempos de ciclo ideales y con ello el cálculo de rendimiento preciso, utilizando los métodos explicados para excavadoras, cargadores, camiones articulados, compactadoras, pavimentadoras y motoniveladoras.

La cartilla en el anexo con ejemplos aplicativos describe de mejor manera el procedimiento a seguir para calcular el rendimiento de cada maquinaria, aun así los valores utilizados son académicos puesto que no se tomaron datos referentes a obras de construcción reales a excepción de las características de las maquinarias obtenidas de los catálogos.

Referencias

- Ayllon Acosta, J. (2012). *Maquinaria y Equipo de Construcción*. Cochabamba: -.
- Cámara Mexicana de la Industria de la construcción. (2006). *Catálogo de los costos horarios de la maquinaria*.
- Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2012). Productividad y Competitividad. *Administración de las operaciones*, 1-2.
- Caterpillar. (2017). *Caterpillar Performance Handbook*. -: sebd0351-47.
- Guadamud Moreno, J. D. (2015). *Análisis de Rendimiento y Costos Horarios de Maquinaria Pesada en la Obra PIADY Etapa I*. Guayaquil: -.
- Gutiérrez Angulo, V. E., & Pereira Moreira, R. A. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de maquinaria y equipo para construcción*. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.
- Jiménez González, J. P. (2005). *Unidad III Rendimiento de la maquinaria pesada*. Oaxaca.
- Komatsu. (2013). *Specifications & Application Handbook*. Japón: Komatsu Impreso en Japón.
- Ministerio de Minas y Energía República de Colombia. (2003). *Glosario Técnico Minero*. Bogotá.
- Sandoval León, J. R., (2013). *Valuación de costos de operación de maquinaria pesada de última generación*. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rincón Morantes, J. F., & Sierra Tuta, Y. A. (2015). *Determinación de los costos de propiedad de la maquinaria de construcción para realización de obras viales por parte del ejército nacional de Colombia*. Bogotá D.C. Universidad Santo Tomás.
- Ruiz Franco, G. (2015). *Manual de costos para una empresa de movimiento de tierras*. Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía.

Ulloa, J. (2006). Los Rellenos Sanitarios. *La Granja*, 2-17.

Vargas Sanchez, R. (1999). *La Maquinaria Pesada en Movimiento de Tierras (Descripcion y Rendimiento)*. Mexico : Instituto Tecnologico de la construccion.

Volvo Construction Equipment . (2018). Catalogo L110F,L120F. *Volvo Construction Equipment*

Volvo Construction Equipment. (2016). *Volvo Performance Manual*. -: Volvo, Global Marketing.

Zambrano de la Garza , A. L. (1998). *Administracion de Proyectos de Construccion*. Nuevo Leon, Mexico : Universidad Autonoma de Nuevo Leon .