

Cálculo de Productividad y Optimización del Equipo Pesado utilizado en Movimiento de Tierras

Calculation of Productivity and Optimization of Heavy Equipment used in Land Movemen

Jorge José Arroyo Orozco ^{1,*}, Joselyn Natalia Alvarado Peralta ^{1,†} y Paula Silvana Alarcón Segura ^{1,‡}.

¹Universidad de Guayaquil, Ecuador.

jorge.arroyoo@ug.edu.ec, joss_alvarado2193@hotmail.com, paula.alarcons@ug.edu.ec

Fecha de recepción: 31 de mayo de 2018 — **Fecha de aceptación:** 1 de octubre de 2018

Cómo citar: Arroyo Orozco, J., & Alarcón Segura, P. (2018). Cálculo de Productividad y Optimización del Equipo Pesado utilizado en Movimiento de Tierras. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 3(ICCE), 28-35. <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol3issICCE2018.2018pp35-44p>

Resumen—Este documento se basa en datos adquiridos en la obra Hospital del IESS de Durán, donde la maquinaria pesada estudiada desempeñó sus trabajos de movimiento de tierra, los cuales fueron identificados y detallados para poder calcular el rendimiento de cada uno de estos equipos de manera individual, así como un conjunto de trabajo, es decir, agrupados. En el presupuesto del proyecto se utilizó un rendimiento teórico, basado en una agrupación de factores (datos que se obtienen de los libros de ingeniería), por otra parte, para la investigación se utilizó los datos obtenidos “in situ”, cada uno de estos valores fue ingresado en una fórmula teórica, dando como resultado un rendimiento teórico – práctico, apegado a la realidad. Una vez que se ha realizado el análisis del rendimiento de los rubros de movimiento de suelos del proyecto, se determinó el conjunto de maquinarias que trabajará de forma eficiente, permitiendo una mayor productividad en obra y así, no desperdiciar recursos de horas - máquina, evitando la subutilización o sobrestimación de equipos, mejorando el costo unitario de la actividad y por ende procurando mayor ingreso económico a la empresa constructora encargada de la ejecución del proyecto.

Palabras Clave—maquinaria, movimiento de tierra, productividad, rendimiento.

Abstract—This paper is based on acquired data in the IESS’s Hospital of Duran. Where the studied heavy machinery played their soil moving work, these that where identified and detailed so that we can calculate the performance of each one of the teams individually, also as a body of work, that is, grouped. In the project’s budget we used a theoretical performance based on a group of factors (you can get these data from the engineering’s books), On the other hand, for this investigation we used data obtained “in situ”, each one of these values was inserted in a theoretical formula, giving us a theoretical-practical performance, which is very attached to reality. Once the analysis of the items performance of the projects soil moving work is done, it was found the machinery set that will work efficiently, allowing on increase of productivity in work and not to waste resources of hour - machinery, avoiding the underutilization or overestimation of equipment, improving the unit cost of the activity and searching a bigger economic increase to the company in charge of the project.

Keywords—machinery, soil movement, productivity, performance.

INTRODUCCIÓN

El cálculo de rendimiento de una maquinaria o de un conjunto de maquinaria en los trabajos de movimiento de suelos, se lo representa como la unidad de volumen o peso del material que se ha producido, transportado, tendido o compactado, durante un lapso de tiempo, que puede ser una hora, un día, etc., y que fue tomado en obra (Díaz (2007), Ibañez (2011), Morales (2008), Tiktin (1997)). El presente proyecto se desarrolló en función de los conocimientos adquiridos mediante la observación directa de la ejecución de la obra, con un enfoque analítico que permitió calcular la productividad de la maquinaria seleccionada, con la finalidad de lograr un trabajo óptimo y mejorar la utilización del

equipo para obtener resultados favorables económicamente (Gransberg et al. (2006), Premjith and Manoharan (2017),).

En la actualidad, muchos proyectos de construcción no tienen determinada la productividad de los equipos pesados, lo que trae como consecuencia una subutilización o sobrestimación de equipos en obra, además de un sobrecosto en el presupuesto final por una mala consideración de la cantidad de maquinaria por frente utilizado.

El objetivo principal fue la elección del equipo a utilizar en los trabajos de movimiento de tierra y realizar un cálculo de productividad horaria para optimizar su uso en la obra.

La justificación del tema se basa en la utilidad a obtener para las empresas constructoras que operan maquinaria pesada, al tener un cálculo de productividad que colaborará en establecer un conjunto o grupo recomendable de equipos pesados por rubro o actividad en el proyecto.

*Magíster en auditoría de Gestión de la Calidad Grandes Ecoles

†Ingeniera Civil

‡Estudiante

MARCO TEÓRICO

El movimiento de tierra es el conjunto de operaciones que se ejecutan con los terrenos en su estado natural con la finalidad de cambiar su forma para que preste servicio a la obra pública, privada, minería e industria. Además, que los movimientos de tierra, son el componente principal de un gran número de obras, sobre todo en construcción de carreteras, túneles, obras de drenaje, canales, urbanizaciones, etc. (Galabré (1964), Ibáñez (2012)). En la productividad de equipos, se puede clasificar la maquinaria en cuatro grupos, según el desplazamiento que efectúen en un trabajo determinado como: Maquinaria que durante su desplazamiento retiran material de forma superficial, maquinaria que no necesita trasladarse para excavar, dado que ellas cuentan con un brazo con hoja o cucharón, maquinaria usada para compactar una superficie de material, el cual previamente ha sido colocado y nivelado, y equipo utilizado para el acarreo y la transportación del material producido, por lo que para poder elegir el conjunto de máquinas o una máquina, se necesita conocer el proceso constructivo del proyecto (Alvarado Peralta (2018), Edwards et al. (2014), Merino (2017), Tiktin (1997)).

-A. Rendimiento de equipos pesados

La productividad de la maquinaria en un proyecto, puede ser obtenido mediante tres formas diferentes; el rendimiento real (a base de la observación de las cantidades producidas al día), el teórico – práctico (mediante la aplicación fórmulas y observación de la maquinaria trabajando en cada actividad) y el teórico (datos y curvas ya establecidas por las empresas fabricantes de maquinaria, afectado por factores establecidos en libros de ingeniería (Ibáñez, 2010; Ibáñez, 2012) que pueden presentarse en cada proyecto). La presente investigación se basó en el método teórico - práctico a través de la observación diaria de las maquinarias en los trabajos de excavación incluido transporte y relleno con material de mejoramiento, incluido transporte (Alvarado Peralta (2018); Merino (2017); Tiktin (1997)).

-B. Factores que afectan la productividad de las máquinas

En el caso de realizarse los trabajos en condiciones no ideales, la productividad estará afectada por diferentes factores, según las características en las que se desenvuelva el proyecto, además del tipo de maquinaria que se use. En la Tabla 1 se puede observar los factores de cada condición de operación vs mantenimiento de los equipos.

Tabla 1. Factores que afectan la productividad de las máquinas

Condiciones de Operación	Mantenimiento de los Equipos			
	Excelente	Buena	Normal	Pobre
Excelente	0,83	0,81	0,76	0,63
Buena	0,76	0,75	0,71	0,6
Normal	0,72	0,69	0,65	0,54
Pobre	0,52	0,5	0,47	0,32

Fuente: Tiktin (1997)

-C. Factor de eficiencia en el tiempo o tiempo real trabajado

La eficiencia horaria se ve afectada por condiciones tales como; las características mecánicas, la experticia del operador, la correcta elección de equipos y las características del terreno (Merino (2017); Tiktin (1997)). En la Tabla 2 se puede observar las condiciones de trabajo presentadas según la eficiencia horaria, que se obtiene de la observación y cuantificación del tiempo efectivo trabajado en minutos durante una hora, de la maquinaria en obra.

Tabla 2. Factores que afectan la productividad de las máquinas

Tiempo Real Trabajado en una hora	Factor Eficiencia Horaria	Condiciones
60 min	60/60=100 %	Ideales
50 min	50/60= 83 %	Óptimas
40 min	40/60= 67 %	Medias
30 min	30/60= 50 %	Pobres

Fuente: Tiktin (1997)

-D. Factor de conversión de volumen de tierra (esponjamiento)

El esponjamiento es una derivación de la excavación en banco, este produce un incremento en el volumen de tierra obtenido (Merino (2017); Tiktin (1997)).

Factor de Carga

Este valor depende de las dificultades operacionales de la máquina en el instante que esté cargando el material, mientras más complicada sea la carga para el equipo en el trabajo, menor será el factor de carga. La Tabla 3 contiene el factor de carga según el material (Merino (2017); Tiktin (1997)).

Tabla 3. Factor de carga

Tiempo Real Trabajado en una hora	Factor Eficiencia Horaria	Condiciones
Carga fácil	0,95	Arcilla, arenas
Carga media	0,85	Tierra común
Carga dura	0,70	Gravas
Carga muy dura	0,55	Pizarras, roca fragmentada

Fuente: Tiktin (1997).

Factor de corrección para diferentes carreras y ángulos

Se denomina carrera al recorrido que realiza el cucharón de la excavadora una vez efectuada la penetración en el suelo hasta el momento en que cesa la operación de excavación. El % de carrera óptima es el porcentaje entre la altura H del frente de penetración y la carrera (L), donde la óptima H/L es aquella en la que se consigue el llenado total del cucharón de una sola vez sin que sobre o falte material. Para que esto sea posible, la capacidad del cucharón debe ser proporcional a la altura del banco (Merino (2017); Tiktin (1997)). En la Tabla 4 se aprecia los valores de carrera óptima, relacionando el % de la carrera óptima con el giro de maquinaria.

Tabla 4. Factor de corrección para diferentes carreras y ángulos.

H/L Carrera (en %)	Giro (en grados)						
	45	60	75	90	120	150	180
de la óptima	0,93	0,89	0,85	0,80	0,72	0,65	0,59
60	1,10	1,03	0,96	0,91	0,81	0,73	0,66
80	1,22	1,12	1,04	0,98	0,86	0,77	0,69
100	1,26	1,16	1,07	1,00	0,88	0,79	0,71
120	1,20	1,11	1,03	0,97	0,86	0,77	0,70
140	1,12	1,04	0,97	0,91	0,81	0,73	0,66
160	1,03	0,96	0,90	0,86	0,75	0,67	0,62

Fuente: Tiktin (1997).

Grupo de maquinarias que se usó para la investigación

Equipos utilizados para la ejecución del rubro de excavación, incluido transporte:

- Excavadora Caterpillar 320 DL con potencia de 174 HP (Caterpillar, 2017).
- Volqueta Hino 700 con capacidad de 14 m3.

Equipos utilizados para la ejecución del rubro de relleno de mejoramiento, incluido transporte:

- Tractor Caterpillar D6N con potencia de 145 HP.
- Motoniveladora Komatsu GD555-5 con potencia de 193 HP (Komatsu, 2017).
- Rodillo Bomag BW211D-4 con potencia de 131 HP.
- Volqueta Hino 700 con capacidad de 14 m3.
- Camión Cisterna Volkswagen con capacidad de 8 m3.

-E. Fórmula utilizada para cada equipo en el método teórico – práctico.

En el sector de la construcción y en lo que respecta a la utilización de maquinaria en movimiento de tierra, a través de los años ha motivado a algunos profesionales a desarrollar fórmulas en base a la observación del trabajo de los equipos en obra en condiciones ideales y luego afectarlas por factores que se presentan en condiciones no ideales, como por ejemplo: porcentaje de esponjamiento del material, tipo de material a cargar, cantidad de trabajo por hora, porcentaje de carrera óptima, etc., las cuales se detallan más adelante.

En la Tabla 5 se detallan las fórmulas para calcular la productividad de cada maquinaria.

Tabla 5. Fórmula para determinar la producción de la maquinaria utilizada

Maquinaria	Fórmula
Excavadora	$P = b * g * (\frac{360}{s}) * Fg * Fh / l * i * Fm$ (1)
Tractor	$P = (\frac{60 * b * g * h * i}{s})$ (2)
Motoniveladora	$P = (\frac{60 * f * i * l * t}{s})$ (3)
Rodillo	$P = (\frac{60 * j * t * f * i}{s})$ (4)
Volqueta	$P = (\frac{60 * b * i}{s})$ (5)
Camión Cisterna	$P = (\frac{60 * b * i}{s * c})$ (6)

Fuente: Merino (1992) y Tiktin (1997)

Tabla 6. Rendimiento teórico de la excavadora caterpillar 320-dl afectado por los factores respectivos.

Equipo	Excavadora	
Modelo	CAT 320-DL	
Tipo de trabajo	Material suelto	
Cap. del cucharón		0,9
Producción teórica (M3/Hr)	1	200
Cap. del operador	b	0,75
Tipo de material	c	0,93
Efici. del trabajo	d	0,83
Altitud	e	1
Visibi.	f	0,92
Manio	g	0,95
Factor de acarreo	h	0,95
Factor de corrección	$2 = (a*b*c*d*e*f*g*h)$	0,43
Factor volumétrico	3	0,87
Factor corrección final	4	0,38
Rendimiento (m3/hr)	5	75,27
Rendimiento standard (m3/hr)	(5*8 horas)	602,2

Fuente: Ibañez (2010) e Ibañez (2012)

Donde *b* es la capacidad del equipo, *fg * fH/L* es el factor de corrección para diferentes carreras y ángulos, *fm* es el rendimiento general de la obra, *g* es el factor de carga, *h* es el factor de conversión, *i* es el factor de eficiencia horaria, *t* es la velocidad de avance, *f* es el espesor, *l* es el ancho útil, *m* es el número de pasadas, *j* es el ancho de operación, *s* es el tiempo de ciclo y *c* es el consumo (Merino, 1992; Tiktin, 1997).

-F. Rendimientos teóricos (usado en el método tradicional de construcción).

Normalmente en las construcciones se suele usar tablas de rendimientos, los cuales salen de las curvas que establecen los proveedores de maquinaria, afectados por factores como: capacidad del operador, tipo de material, eficiencia del trabajo, altitud, visibilidad, maniobra, factor de acarreo y factor volumétrico, lo cual al ser multiplicado entre sí, da un factor de corrección final, y cuando se lo afecta por el rendimiento teórico de los proveedores de maquinaria, daría como resultado un rendimiento estándar de maquinaria por día.

En las Tablas 6 y 7, se puede apreciar los rendimientos teóricos establecidos por los proveedores de la excavadora 320-DL proporcionado por Caterpillar y de la motoniveladora GD 555-5 proporcionado por Komatsu, respectivamente, y que luego son afectados por los factores anteriormente mencionados.

METODOLOGÍA

Se tomó los datos necesarios para obtener la productividad de la maquinaria que colaboró en el movimiento de tierra en el proyecto “Hospital del IESS” de Durán. Procedimiento para el trabajo:

1. Se reconoció los rubros a los cuales se le debía hacer el estudio de rendimiento horario.

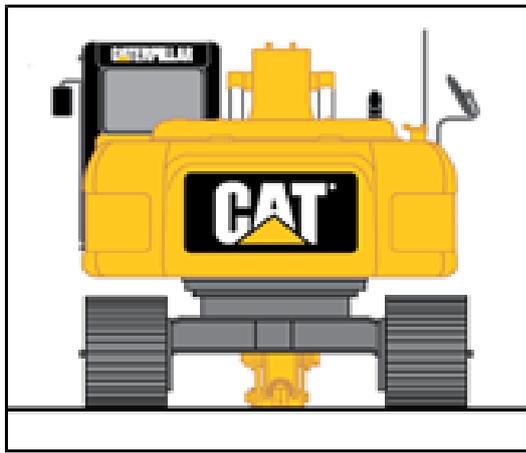


Figura 1. Ilustración de la excavadora Caterpillar 320-DL, vista posterior.

Fuente: Caterpillar (2017).

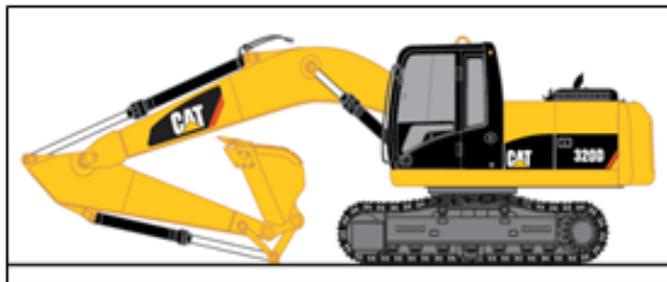


Figura 2. Ilustración de la excavadora Caterpillar 320-DL, vista lateral.

Fuente: Caterpillar (2017).

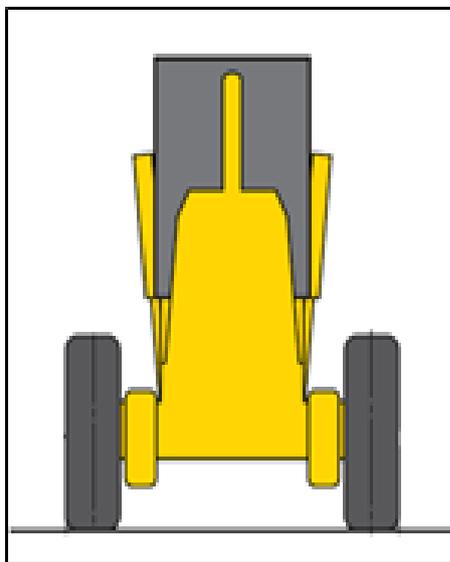


Figura 3. Ilustración de la motoniveladora Komatsu GD 555-5, vista posterior.

Fuente: Komatsu (2017).

Tabla 7. Rendimiento teórico de la Motoniveladora Komatsu gd 555-5 afectado por los factores respectivos.

Equipo		Motoniveladora
Modelo		Komatsu GD 555-5
Tipo de trabajo		Material suelto
Hoja de ángulo corto	a	0,85
Producción teórica (M3/Hr)	1	200
Cap. del operador	b	0,75
Tipo de material	c	0,93
Efici. del trabajo	d	0,83
Altitud	e	1
Visibi.	f	0,92
Manio	g	0,95
Factor de acarreo	h	0,92
Factor de corrección	$2 = (a*b*c*d*e*f*g*h)$	0,4
Factor volumétrico	3	0,87
Factor corrección final	$4 = (2*3)$	0,38
Rendimiento (m3/hr)	$5 (1*4)$	75,73
Rendimiento standard (m3/hr)	$(5*8 \text{ horas})$	605,86

Fuente: Ibañez (2010) e Ibañez (2012)

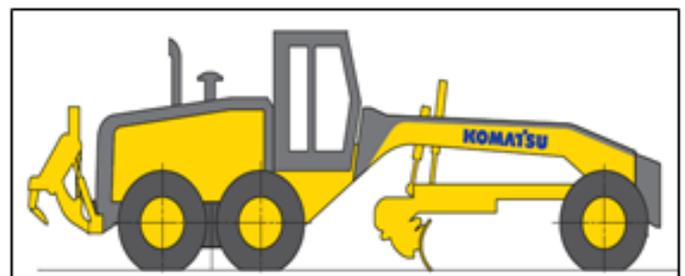


Figura 4. Ilustración de la motoniveladora Komatsu GD 555-5, vista lateral.

Fuente: Komatsu (2017).

movimiento de tierra.

3. Se hizo un seguimiento “in situ” a la maquinaria escogida.
4. Se tomó datos como: tiempos de carga, velocidad de empuje, tiempo de empuje, factor de eficiencia, número de pasadas, etc., con los cuales se utilizó las fórmulas de producción de cada una de las máquinas.
5. Se calculó los rendimientos de cada maquinaria con los datos ya tabulados tomados en campo en un tiempo fijo.
6. Aplicando las fórmulas se estableció el conjunto de equipos óptimos para trabajar en los rubros.
7. Posteriormente, se comparó la producción obtenida por los pasos mencionados anteriormente (método teórico – práctico) versus la cantidad de equipos que se encontró en el presupuesto, obtenida bajo rendimientos históricos (método tradicional).
- 8.

A. Caso 1: Cálculo de equipo óptimo para rubro de excavación, incluido transporte

A continuación, en la Tabla 8 se detallan los componentes a utilizar en el cálculo de producción de cada uno de los equipos que intervienen en el trabajo de excavación. En la

2. Se estableció el equipo perteneciente a los rubros de

Tabla 9 se especifica la fórmula para el cálculo de rendimiento de producción de los equipos anteriormente mencionados. Finalmente, para poder calcular el equipo óptimo se debe tomar como referencia la producción horaria de la maquinaria dominante, que en este caso será la excavadora, como se puede apreciar en la Tabla 10 el cálculo del porcentaje de equipo productivo e improductivo y el número de equipo óptimo a utilizar en los trabajos de excavación.

Tabla 8. Parámetros para calcular el rendimiento en la maquinaria de excavación, incluido transporte.

CÁLCULO DE RENDIMIENTOS				
DESCRIPCIÓN			UNIDAD	
Excavación sin clasificar			m ³ /hora	
Ref	Variable	Unidad	Equipos	
			1	2
b	Capacidad	m ³	0,90	14
d	Distancia			5000
g	Factor de carga (llenado)	---	0,95	
i	Factor de eficiencia	---	0,83	0,83
fm	Eficiencia general de la obra	---	0,84	
s	Tiempo de ciclo	min	21	30
v	Factor (F _g x F _{HLL})	---	0,88	

Fuente: Alvarado (2018).

Tabla 9. Producción horaria de la maquinaria aplicando fórmulas de la tabla 5.

EXCAVACIÓN				
Nº	Equipo	Potencia (HP)	Fórmula de producción	Producción por hora (m ³ /h)
1	Excavadora-oruga 320D2L	174	(1)	90,72
2	Volquetas 14m ³		(5)	23, 24

Fuente: Alvarado Peralta (2018).

Tabla 10. Equipo óptimo para la realización de la excavación.

RENDIMIENTO HORARIO (m ³ /hora)				90,72
Nº	Producción m ³ /hora	Productivo	Improductivo	Equipo óptimo
1	90,72	1,0	0,00	1
2	23,24	0,26	0,74	4

Fuente: Alvarado Peralta (2018).

B. Caso 2: Cálculo de equipo óptimo para rubro de relleno de mejoramiento, incluido transporte

A continuación, en la Tabla 11 se detallan los componentes a utilizar en el cálculo de producción de cada uno de los equipos que intervienen en el rubro de relleno de mejoramiento, incluido transporte. En la Tabla 12 se especifica la fórmula para el cálculo de rendimiento de producción de los equipos anteriormente mencionados. Finalmente, para poder calcular el equipo óptimo se debe tomar como referencia la producción horaria de la maquinaria dominante, que en este caso fue la motoniveladora, como se puede apreciar en la Tabla 13, el cálculo del porcentaje de equipo productivo e improductivo y el número de equipo óptimo a utilizar en los trabajos de relleno de mejoramiento, incluido transporte.

RESULTADOS

A. Comparación de costos unitarios entre el método teórico (rendimientos teóricos) con el método teórico – práctico (rendimientos de obra), para el rubro de excavación, incluido transporte.

Para poder realizar el análisis comparativo entre estos dos métodos se utilizó la tarifa horaria de excavadora de \$45/hora y de volqueta de \$35/hora, que son costos actuales del mercado en el Ecuador, los cuales serán ingresados en las Tablas 14 y 15 respectivamente. En la Tabla 14 se colocó la cantidad equipos utilizada en la hoja de análisis de precios unitarios del presupuesto del proyecto, que corresponde a 1 excavadora y 5 volquetas, y se usó su rendimiento teórico de 600 m³/día, basado en la Tabla 6. En la Tabla 15 se empleó la cantidad de equipos optimizada calculada en la Tabla 10, que se obtuvo del método teórico – práctico. El rendimiento obtenido de la Tabla 10 es de 90,72 m³/hora, a continuación se obtiene el factor de rendimiento para la realización del análisis de precios unitario, que es igual al inverso del rendimiento horario, 1/(90,72m³/hora) = 0,011 hora/m³, como se muestra en la Tabla 15, el rendimiento diario de 727,27 m³/día que se presenta en la Tabla 15, resulta de la operación (8 horas/día)/(0,011 hora/m³).

B. Comparación de costos unitarios entre el método teórico (rendimientos teóricos) con el método teórico – práctico (rendimientos de obra), para el rubro de relleno con material mejoramiento, incluido transporte.

Para poder realizar el análisis comparativo entre estos dos métodos se utilizó la tarifa horaria de tractor de \$60/hora, motoniveladora de \$50/hora, rodillo liso vibratorio de \$35/hora, volqueta de \$35/hora y camión cisterna (tanquero) de \$20/hora, que son costos actuales del mercado en el Ecuador, los cuales serán ingresados en las Tablas 16 y 17 respectivamente. En la Tabla 16 se colocó la cantidad equipos utilizada en la hoja de análisis de precios unitarios del presupuesto del proyecto, que corresponde a 1 tractor, 1 motoniveladora, 1 rodillo, 7 volquetas y 1 camión cisterna, y se usó su rendimiento teórico de 600 m³/día, basado en la Tabla 7. En la Tabla 17 se empleó la cantidad de equipos optimizada calculada en la Tabla 13, que se obtuvo del método teórico – práctico. El rendimiento obtenido de la Tabla 13 es de 159,11 m³/hora, trabajando una jornada de 8 horas diarias da un valor de 1.272,89 m³/día que se ve reflejado en la Tabla 17. Para el desarrollo del análisis de precio unitario, se utilizó el factor de rendimiento que es igual al inverso del rendimiento horario, 1/(159,11m³/hora) = 0,0063 hora/m³, utilizado en la Tabla 17.

C. Diagramas de comparación de la producción horaria tradicional vs la optimizada en el rubro de excavación.

Como se puede apreciar en la Figura 5 existe una volqueta que no está trabajando, puesto que, si se la considera las 5 volquetas en conjunto, producirían 116,20 m³/hora vs los 90,72 m³/hora que produce la excavadora que despacha dichas volquetas, por lo cual existe una sobrestimación de equipos en las volquetas. Lo óptimo fue bajar de 5 a 4 volquetas en la obra, lo cual en conjunto producían los casi 90 m³/hora que

Tabla 11. Parámetros para calcular el rendimiento de la maquinaria para relleno de mejoramiento, incluido transporte.

CÁLCULO DE RENDIMIENTOS							
Descripción			Unidad				
Relleno con material de mejoramiento			m ³ /h				
Ref	Variables	Unidad	Equipos				
			1	2	3	4	5
b	Capacidad	3,60			14,00	8,00	
c	Consumo					0,07	
f	Espesor		0,30	0,30			
g	Factor de carga (llenado)	—	0,95				
h	Factor de conversión	—	0,86				
i	Factor de eficiencia	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	
j	Ancho de operación			2,10			
l	Ancho útil	2,13					
m	Número de pasadas		10,00		12,00		
	Tiempo de ciclo a 60 m	min					40,00
	a 550 m	min					
s	Velocidad media (ida)	km/h		50,00	55,00		

Fuente: Alvarado (2018).

Tabla 12. Producción horaria de la maquinaria para relleno, aplicando fórmulas.

MEJORAMIENTO				
Nº	Equipo	Potencia (HP)	Formula de producción	Producción por hora (m3/h)
1	Tractor D6N	140	(2)	69,09
2	Motoniveladora GD555-5	193	(3)	159,11
3	Rodillo BW211D-40	131	(4)	143,80
4	Volquetas 14 m3		(5)	19,92
5	Camión cisterna		(6)	142,29

Fuente: Alvarado (2018).

cargaba la excavadora, como se puede apreciar en la Figura 6, balanceando de esta manera la producción de todas las máquinas y mejorando su costo unitario.

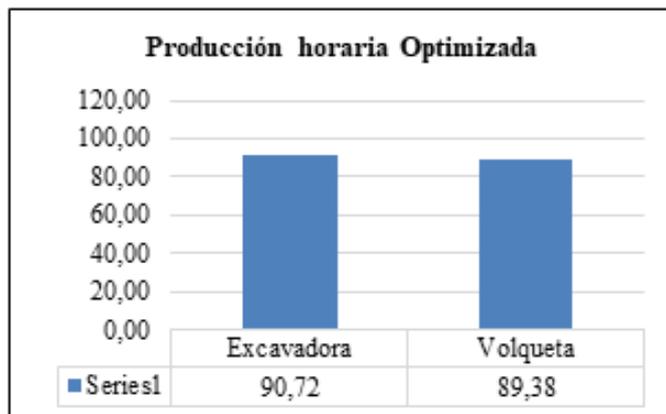


Figura 6. Ilustración de la motoniveladora Komatsu GD 555-5, vista lateral.

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 5. Producción horaria tradicional (método teórico) de excavación.

Fuente: Elaboración Propia.

D. Diagramas de comparación de la producción horaria tradicional vs la optimizada en el rubro de relleno de mejoramiento incluido transporte. En este caso, como se

puede apreciar en la Figura 7, hubo una falta de maquinaria en lo referente a tractor y volqueta, por lo que se sugirió para equiparar los rendimientos de todo el conjunto de maquinaria el incrementar de 1 a 2 tractores y de 7 a 8 volquetas, con lo cual se logró un rendimiento general promedio de 159,11 m3/hora, como se puede apreciar en la figura 8, optimizando así el conjunto de equipos, aumentando la productividad de 600 m3/día a 1.272,89 m3/día, como se muestra en la Tabla 16 y 17 respectivamente y mejorando el costo unitario, como se refleja en las mismas.

CONCLUSIONES

Mediante el levantamiento de la maquinaria utilizada para los trabajos de excavación y relleno con material de mejoramiento en el proyecto, se logró identificar las prioridades para un conjunto de maquinarias óptimo, en la realización de los trabajos de movimiento de tierra, antes mencionados.

Tabla 13. Equipo óptimo para la realización del relleno de mejoramiento.

RENDIMIENTO HORARIO ($m^3/hora$)				159,11	
Nº	Equipo	Producción	Productivo	Improductivo	Equipo óptimo
1	Tractor D6N	69,09	0,43	0,57	2
2	Motoniveladora DG555-5	159,11	1,00	0,00	1
3	Rodillo BW211D-40	143,80	0,90	0,10	1
4	Volqueta 14 m ³	19,92	0,13	0,87	8
5	Camión cisterna	142,29	0,89	0,11	1

Fuente: Alvarado (2018).

Tabla 14. Costo unitario obtenido por el método teórico.

EQUIPOS TRADICIONALMENTE USADOS (m3/d)					RED= 600,00	
Descripción	Cantidad	Tarifa/hora	Costo hora	Factor Rend.	Costo Unitario	
Escavadora-oruga 320 D2L	1	45,00	0,45	0,0133	0,60	
Volqueta 14 m ³	5	35	175	0,0133	2,33	
						2,93

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Costo unitario obtenido por el método teórico - práctico.

EQUIPOS TRADICIONALMENTE USADOS (m3/d)					RED= 727,27	
Descripción	Cantidad	Tarifa/hora	Costo hora	Factor Rend.	Costo Unitario	
Escavadora-oruga 320 D2L	1	45,00	0,45	0,011	0,50	
Volqueta 14 m ³	5	35	140	0,011	1,54	
						2,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Resultados obtenidos con método tradicional.

EQUIPOS TRADICIONALMENTE USADOS (m3/d)					RED= 600,00	
Descripción	Cantidad	Tarifa/hora	Costo hora	Factor Rend.	Costo Unitario	
Escavadora-oruga 320 D2L	1	60,00	60,00	0,0133	0,80	
Rodillo BW 211D-40	1	50,00	50,00	0,0133	0,67	
Volqueta 14 m ³	7	35	245,00	0,0133	2,14	
Camión cisterna	1	20	20	0,0133	3,61	
						8,69

Fuente: Elaboración propia

Para el desarrollo del análisis de costo del rubro de excavación incluido el transporte del desalojo a 5 km, se utilizó un conjunto de equipos conformada por 1 excavadora junto con 5 volquetas de 14 m³, con un rendimiento teórico de 600 m³ por día aproximadamente, obtenido de la Tabla 6. Al realizar el análisis en obra de los equipos en mención, junto con los factores y la aplicación de fórmulas respectivamente que se muestran en las Tablas 8 y 9, se pudo apreciar que una de las volquetas se encontraba sin producir, esto se presenta en la Tabla 10, y se puede observar en la Figura 5, por lo cual se decidió disminuir el grupo de equipos a 1 excavadora y 4 volquetas de 14 m³, lo cual equiparó la producción entre las máquinas, como se muestra en la Figura 6. Dicho equipo en conjunto produjo sobre los 700 m³ por día, reflejado en

Tabla 17. Resultados obtenidos con método tradicional.

EQUIPOS TRADICIONALMENTE USADOS (m3/d)					RED= 600,00	
Descripción	Cantidad	Tarifa/hora	Costo hora	Factor Rend.	Costo Unitario	
Tractor D6N	2	60,00	60,00	0,0133	0,80	
Motoniveladora	1	50,00	50,00	0,0133	0,67	
Rodillo BW 211D-40	1	35,00	35,00	0,0133	1,47	
Volqueta 14 m ³	8	35	245,00	0,0133	2,14	
Camión cisterna	1	20	20	0,0133	3,61	
						8,69

Fuente: Elaboración propia

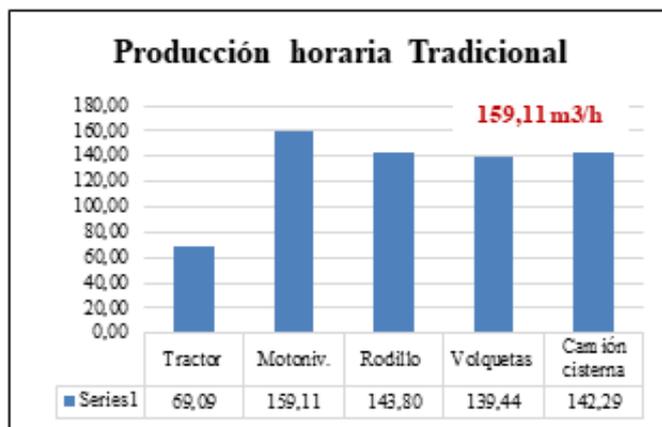


Figura 7. Producción horaria tradicional (método teórico) para relleno de mejoramiento.

Fuente: Elaboración Propia.

la Tabla 15, lo cual trae un beneficio económico al existir una diferencia a favor entre lo considerado inicialmente en el presupuesto vs la realidad.

En cuanto al análisis del conjunto de equipos trabajando en el rubro de relleno de mejoramiento, incluido transporte, donde para la realización del análisis de precios unitarios que forma parte del presupuesto, se consideró de forma tradicional el uso de 1 tractor, 1 motoniveladora, 1 rodillo, 7 volquetas de 14 m³ y 1 camión cisterna (tanquero) con un rendimiento de 600 m³/día aproximadamente que se puede apreciar en la Tabla 7, pero al realizar en obra la medición de rendimiento de dichos equipos, junto con el uso de fórmulas y factores que afectan

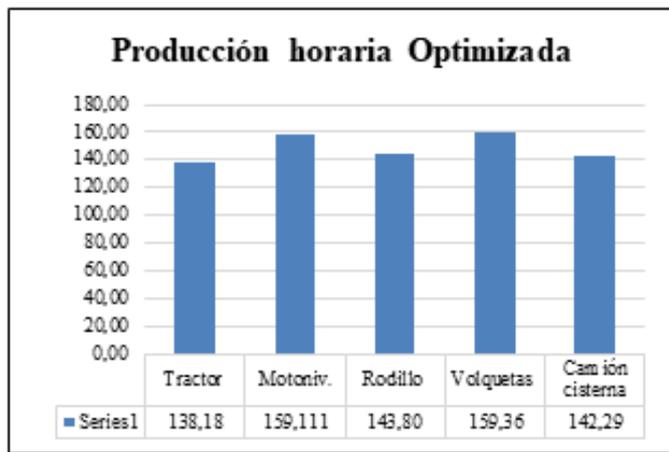


Figura 8. Ilustración de la motoniveladora Komatsu GD 555-5, vista lateral.

Fuente: Elaboración Propia.

la producción de las mismas se pudo obtener como resultados los rendimientos de cada uno de los equipos, esto se detalla en la Tabla 12. Como se puede apreciar en la Figura 7, existe una gran variación en el rendimiento de maquinaria lo que trae una subutilización de equipos y por ende un mayor costo del rubro terminado. Es ahí cuando se analiza el porcentaje productivo e improductivo de cada uno de los equipos que conforman el conjunto de maquinarias trabajando, detallado en la Tabla 13, y con esto se logró balancear los mismos, agregando equipos faltantes como 1 tractor y 1 volqueta de 14m³, dando como resultado el balance de los recursos, como se puede observar en la Figura 8, concluyendo con un grupo de equipos, conformado por: 2 tractores, 1 motoniveladora, 1 rodillo, 8 volquetas 14m³ y 1 camión cisterna (tanquero), que en conjunto producen 1.272,89 m³ al día, como se detalla en la Tabla 17, mejorando en obra el costo presupuestado inicialmente y obteniendo un mayor beneficio económico para la empresa constructora.

Teniendo en cuenta que solo se basó el respectivo cálculo de productividad en los equipos de dos rubros, de esta manera se obtiene el equipo óptimo que fue necesario para efectuar las actividades correspondientes a los trabajos de movimiento de suelos, que trae consigo una disminución en el costo unitario utilizado al comienzo de la obra; en la excavación, incluido transporte, se obtuvo un costo real de 2,04/m³ vs 2,93/m³ considerado en el presupuesto inicial, como se aprecia en las Tablas 15 y 14 respectivamente. Por otra parte, en el rubro de relleno de mejoramiento, incluido transporte, se obtuvo un costo real de 3,17/m³ vs 8,69/m³ considerado en el presupuesto inicial, como se aprecia en las Tablas 17 y 16 respectivamente.

Este análisis se recomienda ser ampliado para proyectos de construcción donde se utilice equipo pesado para el estudio de otros rubros, como: relleno con material de sub base, base, imprimación, colocación de carpeta asfáltica, etc., para lograr obtener un conjunto de equipos que eviten la subutilización o sobrestimación de los mismos y que por ende produzcan

mayor beneficio económico a las empresas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado Peralta, J. N. (2018). Cálculo de productividad y costo horario de la maquinaria pesada en los trabajos de movimiento de tierras del proyecto hospital general de 120 camas de durán en la provincia del guayas. B.S. thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil.
- Díaz, M. (2007). *Manual de maquinaria de construcción*. McGraw-Hill.
- Edwards, D. J., Harris, F. C., and McCaffer, R. (2014). *Management of off-highway plant and equipment*. CRC Press.
- Galabré, P. (1964). *Maquinaria general en obras y movimientos de tierras*. Ed. Reverté, SA.
- Gransberg, D. D., Popescu, C. M., and Ryan, R. (2006). *Construction equipment management for engineers, estimators, and owners*. CRC Press.
- Ibáñez, W. (2011). *Costos y tiempos en carreteras*. Empresa Editora Macro EIRL.
- Ibáñez, W. (2012). *Manual de costos y presupuestos de obras viales*. Empresa Editora Macro EIRL.
- Merino, W. (2017). *Costos de construcción pesada. carreteras y puentes*.
- Morales, P. M. (2008). *Construcción y conservación de vías*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Premjith, S. and Manoharan, M. (2017). Analysis of equipment maintenance operation and repair in a construction industry. *International Journal of Engineering and Management Research (IJEMR)*, 7(2):18–23.
- Tiktin, J. (1997). *Procedimientos generales de construcción: Movimiento de tierras: utilización de la maquinaria: producciones y casos prácticos: compactación de materiales: utilización de compactadores*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Servicio de Publicaciones.