

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i12edespnov.0130>

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DEL TIEMPO DE VIDA ÚTIL DE LA MAQUINARIA PESADA KOMATSU GD555-A3

TECHNICAL ECONOMIC ANALYSIS OF THE LIFETIME OF HEAVY MACHINERY KOMATSU GD555-A3

Vera-Zamora Alex Javier ¹; Torres-Rodríguez Roberto Manuel ²

¹ Estudiante de la Maestría en Mantenimiento Industrial, Mención Gestión eficiente del Mantenimiento, Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: avera2607@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9738-7413>

² Docente del departamento de Mecánica, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Ecuador.
Correo: roberto.torres@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2582-6840>

Resumen

En un país en vías de desarrollo, las actividades relacionadas con la construcción, el mantenimiento vial, la minería y los megaproyectos están experimentando un auge económico. Este crecimiento exige maquinaria y equipos en óptimas condiciones para llevar a cabo tareas como el movimiento de tierras. Este artículo presenta un análisis económico exhaustivo destinado a determinar la vida útil de la maquinaria pesada KOMATSU GD-555, una herramienta crucial en la industria de la construcción vial para el movimiento y nivelación de suelos. El análisis abarca la evaluación del costo total de propiedad, los gastos operativos y la vida económica efectiva del equipo. Además, se emplean fórmulas derivadas de diversas fuentes bibliográficas para calcular estos costos de manera precisa. Para recopilar los datos necesarios sobre el equipo, se examinaron detalladamente las bitácoras proporcionadas por el departamento de mantenimiento de la empresa. Se tuvieron en cuenta los factores críticos que afectan su funcionamiento, lo que permitió determinar los valores residuales de piezas específicas. Este proceso es esencial para estimar cuándo la maquinaria requerirá un reemplazo. El método de doble saldo decreciente se aplica en este análisis para calcular la depreciación de la maquinaria. Esta técnica simplifica el proceso y proporciona una estimación precisa del momento en que será necesario reemplazar el equipo. La investigación también considera los tiempos muertos y la obsolescencia del equipo como factores clave. Finalmente, a través de un cuadro estadístico, se ilustra la evolución de los costos a lo largo de los años de servicio de la maquinaria. Este enfoque ayuda a identificar el punto de inflexión en el que se deberá realizar el reemplazo del equipo. Este análisis económico detallado proporciona una visión completa de la vida útil de la maquinaria pesada KOMATSU GD-555, permitiendo a las empresas tomar decisiones informadas sobre inversión, operación y mantenimiento, y garantizando la continuidad eficiente de sus operaciones en la construcción vial.

Palabras clave: Maquinaria, mantenimiento, vida útil, innovación.

Abstract

A developing country has activities that are developed with great demand in the areas of construction, road maintenance, mining and megaprojects that are executed nationwide, this dynamism in the economy requires machinery and equipment in optimal conditions to carry out work of soil movements, leveling of surfaces, transport and mobilization of construction material of greater volume. The acquisition of heavy machinery KOMATSU GD555-A3 generates a space conducive to maintenance within the technical service, supplies and spare parts, these characteristics play an important role in improving customer service ensuring the sustainability

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 30 de agosto de 2023.

Fecha de aceptación: 31 de octubre de 2023.

Fecha de publicación: 20 de noviembre de 2023.



and positioning of the project. This research performs the economic analysis of the KOMATSU GD-555 heavy machinery, with a view to reducing the incidents in logistics development, production hours, operating cost and functionality stage. It is necessary that these aspects contribute to the improvement especially in the initial stage of operation of the heavy machinery and its periodic technical review, preventive and corrective maintenance, the application of benchmarking to generate solutions in each requirement. On the other hand, the great demand for jobs that require the use of heavy machinery in construction and mining, is a starting point for several companies related to the import of heavy machinery and spare parts to expand their range of inputs and spare parts in the Hitachi, Komatsu and Kobelco brands through commercial relationships with supplier countries such as the United States. Italy, Brazil and Asia.

Keywords: Machinery, maintenance, service life, innovation.

1. Introducción

La empresa constructora RAMESHI, especializada en proyectos de obras civiles y viales, utiliza una amplia gama de equipos y maquinaria para llevar a cabo trabajos que abarcan desde tareas livianas hasta operaciones de gran envergadura. Según Pinela Pincay (2018), las empresas constructoras están constantemente explorando nuevas estrategias con el objetivo de garantizar y mejorar su productividad. En este contexto Camargo Vogel (2018), destaca que, en una era de avances tecnológicos continuos en el campo de la construcción vial, surge la necesidad de emplear maquinaria como herramientas que simplifiquen y optimicen las labores de movimiento de tierras.

De acuerdo con Ordoñez Jaramillo (2017) expone que las excavaciones, nivelaciones y compactaciones de estas máquinas cumplen su función en relación de su potencia y capacidad, lo que les permite satisfacer las demandas de producción según los requisitos de la construcción de carreteras. Estas maquinarias se convierten en elementos fundamentales para la eficacia y eficiencia en el desarrollo de proyectos viales (Londoño Londoño, 2010).

Es fundamental comprender de manera concisa el funcionamiento de la maquinaria pesada. De acuerdo con Munera Calle, Ruiz Márquez (2017), un motor de combustión interna y su mezcla de aire y combustible inician un proceso termodinámico de expansión mediante la inyección directa de diésel. Esto genera la fuerza motriz

necesaria para accionar otros componentes, como una bomba hidráulica que distribuye la presión requerida hacia el cuerpo de válvulas. Este proceso direcciona la presión para mover actuadores hidráulicos, mandos finales y motores hidráulicos (Sanabria Cancelado & Hernández Jiménez, 2011).

Para multiplicar la fuerza, se utiliza un convertidor de par que, mediante la energía transmitida por el fluido, genera la potencia necesaria para la operación de la servo transmisión (Medina, 2015). Esta última, a través de mecanismos como engranajes y discos accionados hidráulicamente, acopla y desacopla el movimiento hacia el mando final. Este último componente transmite toda la energía a las ruedas mediante su torque (Labra Quispe, 2018).

La maquinaria pesada KOMATSU GD555-A3 tiene la función de extender y nivelar el suelo, mezclar y colocar materiales pétreos de diferentes tamaños según sea necesario, crear cunetas, perfilar taludes, realizar mantenimiento vial, entre otras tareas (Risco Tirado, 2021)

Todo esto se logra gracias a una gran cuchilla de corte anclada en la parte inferior central de la máquina, lo que permite su rotación y la creación de un acabado superficial en el suelo (Lema Aguilar, 2017).

Para llevar a cabo un análisis económico del tiempo de vida útil de la maquinaria en posesión, Nuñez (2016) sugiere recopilar información del departamento de mantenimiento. Los datos obtenidos del equipo permiten determinar sus características y variable (Solís-Carcaño et al., 2019). El costo de adquisición, cuando se aplican fórmulas específicas, facilita el cálculo de los costos de posesión y operación, lo que, a su vez, ayuda a determinar la vida útil del equipo (Tacuri Rivas, 2016).

Es importante tener en cuenta que la economía es dinámica, y los costos de los equipos se relacionan con el presupuesto de cada proyecto y los recursos destinados a la adquisición y operación de maquinaria. Esto desempeña un papel clave en la definición de un presupuesto para la participación y adjudicación de proyectos (Orozco, 2020).

Con el paso del tiempo, los problemas más comunes en la maquinaria incluyen la devaluación en relación con su valor original (Bonilla Isaza, 2008). El uso continuo en obras provoca desgaste en los diferentes componentes y la estructura mecánica debido a la abrasión y el alto impacto. (Ramírez Hernández, 2007), esto se debe a la interacción directa entre la hoja de corte y la fuerza del suelo para nivelarlo. El mantenimiento aumenta debido a la necesidad de buscar soluciones para piezas desgastadas. Estas características afectan la producción y el rendimiento, generando lo que se conoce como "tiempo muerto" durante las reparaciones de la maquinaria (Guerra López & Oca Risco, 2019). Esto, a su vez, incrementa los costos de mantenimiento y da lugar a una depreciación no contemplada en el plan de trabajo. Por lo tanto, una proyección adecuada del equipo es esencial, ya que su omisión puede acarrear numerosas dificultades para la empresa y un aumento en los costos de operación (Varas Fernandez, 2019).

Es fundamental recordar el costo total del equipo, tal como lo indica

(Adaúto Alcalá, 2017). Esto incluye componentes clave como los costos de posesión, que inciden cada año, independientemente de si el equipo está operativo o no. (Jaén Valdez, 2016) señala que los costos de operación proporcionan información sobre el capital necesario para operar un activo. Identificar la vida útil de la maquinaria y los factores que afectan el sistema son aspectos cruciales, como recomiendan (García Holgado & Montufar Fernández, 2017) Sugieren utilizar el método del doble saldo decreciente a lo largo de la vida útil del equipo para calcular la depreciación en general. La aplicación de estos métodos, utilizando datos específicos del proyecto, nos acercará a resultados que reflejarán de manera más precisa la realidad (Carpio Villamar, 2017).

Promover el mantenimiento integral es esencial para garantizar que el equipo ofrezca costos más bajos y un rendimiento excelente durante su vida útil, lo que, a su vez, aumenta la rentabilidad en los diversos proyectos viales en la provincia de Manabí (Salinas Riveros, 2016).

2. Materiales y métodos

Para llevar a cabo el Análisis técnico Económico del ciclo de vida en la maquinaria pesada se tomó como muestra a la Motoniveladora Komatsu GD555-A3 de la empresa constructora "Rameshi" de la provincia de Manabí cantón Portoviejo, aplicando una metodología de campo, se solicitó el acceso a los propietarios de la constructora e iniciamos nuestra investigación, en este proceso analizamos las bitácoras de mantenimiento de la maquinaria, inicio de actividades de producción, trabajos en obras, procesos de mantenimientos, insumos aplicados en los mantenimientos preventivos y correctivos entre otros.

Dentro de visitas a la maquinaria pesada se evaluó su estado operativo y a través de la observación se recopiló información operativa y estructural de los equipos, para ello se organizó la data mediante la herramienta de Microsoft Excel que permitirá caracterizar y establecer las diferentes fórmulas donde los indicadores, variables y parámetros fueron fundamentales para el estudio.

Es importante destacar que, como parte del material investigativo, utilizamos formularios, técnicas de investigación, fuentes bibliográficas y proyectos de investigación previos. Estos recursos fueron fundamentales para respaldar y proporcionar validez al proceso de investigación

Protocolo de aplicación del análisis técnico económico del ciclo de vida en la maquinaria Komatsu GD555-A3

Para este estudio será necesario aplicar el método de doble saldo decreciente que determinara la depreciación de la maquinaria y permitirá conocer el tiempo en el que se deba reemplazar el equipo considerando aspectos importantes que presentamos a continuación.

Gráfico 1:



Fuente (Komatsu América, 2015)

1) Datos del equipo

Para determinar el Costo de Posesión y de Operación fue necesario obtener los siguientes

datos de la maquinaria tabla (1) y (2), información obtenida en el departamento de mantenimiento de la empresa a través de manuales, bitácoras y matrícula del equipo.

Tabla 1. Datos de la Motoniveladora Komatsu GD555-A3

Datos de la Motoniveladora en Posesión	
Marca:	Komatsu
Modelo:	GD555-3A
Número de serie:	11001
Chasis:	KMTWB022T36A13088
Motor:	26439802
Año:	2008
País de origen:	EEUU
Tipo de combustible:	Diesel
Potencia (hp):	178
Valor de Adquisición:	\$200,000.00

Fuente: (Elaboración propia del autor).

Tabla 2. Datos facilitados por el departamento de mantenimiento para el cálculo de Costo de Posesión y Operación

MOTONIVELADORA EN POSESION	
• Valor de adquisición. (Va)	\$200,000.00
• Potencia de la maquinaria. (Hp)	178
• Valor de piezas especiales. (Vpe)	\$ 6,000.00
• Costo de los neumáticos. (LI)	\$ 5,316.24
• Valor residual. (Vr)	\$ 70,000.00
• Tasa de interés anual en el Ecuador. (I)	12%
• Tasa de seguros. (S)	4.00%
• Vida útil en años. (Ve)	8
• Horas al año. (Ha)	995
• Costo de combustible. (C)	\$ 1.04

Fuente: (Elaboración propia del autor).

2) Costos de Posesión

Para encontrar el Costo de Posesión se debe calcular la depreciación, inversión y seguros por medio de fórmulas como se muestra en la tabla (3) para ello se utilizó la data la

cual fue facilitada por el departamento de mantenimiento mostrada en la tabla (1) y (2).

Tabla 3. Fórmulas para calcular el Costo de Posesión de la maquinaria.

Costo de Posesión	
Depreciación	$(V_a - V_e) / (V_e * H_a)$
Inversión	$((V_a + V_r) * I) / (2 * H_a)$
Seguros	$((V_a + V_r) * S) / (2 * H_a)$

Fuente: (Orozco, 2020)

3) Costo de Operación

Analizando el sector como la agrupación empresarial en torno al servicio, se presentan a continuación datos específicos que enmarcan el desempeño que ha tenido la maquinaria pesada, repuestos adquiridos, mantenimientos realizados teniendo en cuenta la inexistente producción nacional y

con ellos la dependencia de las importaciones.

En el cálculo del Costo de Operación se presentan con las siguientes fórmulas como se muestra en la tabla (4) aplicando el cálculo de la depreciación de la tabla (3) y los datos de las variables de la tabla (2) encontraremos el costo de operación.

Tabla 4. Fórmulas para calcular el Costo de Operación de la maquinaria.

Costo de Operación	
Mantenimiento	$0.25 * D$
Repuestos	$0.75 * D$
Combustible	$0.04 * H_p * C$
Lubricantes	$0.0013 * H_p$
Piezas especiales	$(1.35 * V_{pe}) / H_a$
Llantas	$LI / 2.3 H_a$
Matricula	$0.001 V_a / H_a$
Total	$\$/hora$
Costo de Operación Anual ($\$/hora * H_a$)	

Fuente: (Orozco, 2020)

4) Cálculo de la Ganancia

Para determinar el cálculo de la Ganancia como se detalla en la tabla (5) se tomó en cuenta el costo hora del equipo, más el incremento del 25%, el costo de hora del equipo por el 25%, la suma de indirectas horas,

suma de indirecto mes, y al final se obtendrá la ganancia anual.

Tabla 5. Fórmulas para el cálculo de Ganancia anual del equipo a partir del Costo de Operación.

Cálculo de Ganancia	
Costo hora del Equipo (CTE)	Es la sumatoria total de la tabla del costo de operación
Costo hora del Equipo más el incremento del 25%	$[CTE + (CTE * 25\%)]$
Costo hora del equipo por el 25%	$(CTE * 25\%)$
Suma de indirectos Horas (SH)	$CTE + [CTE + (CTE * 25\%) - (CTE * 25\%)]$
Suma de indirectos al mes (SM)	$(SH * 26 \text{ días laborables})$
Ganancia al año (GA)	$(SM * 12 \text{ meses})$

Fuente: (Rubén Luis, 2018)

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

5) Ciclo de vida útil del equipo

Para el cálculo del Ciclo de vida útil del equipo, detallado en la tabla (6)

con los datos obtenidos y aplicando el método doble saldo decreciente se podrá determinar la depreciación en cada año de vida útil del equipo.

Tabla 6. Fórmulas para cálculo de ciclo de vida útil del equipo.

Tiempo de Vida Económica Útil del Equipo	
Valor de Adquisición (Va)	Va
Costo de Operación anual (CPA)	$CTE * 995 \text{ Horas al año}$
Aumento del Costo de Operación (ACP)	$CPA * 5\% \text{ de incremento de equipos para la construcción.}$
Ganancia	GA
Doble saldo decreciente Depreciación (r%)	$r = 2 * 100\% / N$ (N es el número de años estimados del equipo)
Aumento Anual del Costo de la Maquinaria	El costo de reemplazo subirá el 2%

Fuente: (Alvarado Peralta, 2018)

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

6) Depreciación

Para el cálculo de la Depreciación del equipo, determinado en la tabla (7), para encontrarlo se necesita

aplicar el método doble saldo decreciente de la tabla (6) así podrá determinar la depreciación en cada año de la vida útil de la maquinaria.

Tabla 7. Fórmulas para el cálculo de la depreciación del equipo.

Depreciación	
Saldo inicial (SI)	$Va - DPA$
Depreciación Anual % (DPA)	$r \% (SI - DPA \%)$
Depreciación Acumulada (DPAC)	$DPAC + DPA$
Saldo Final (SF)	$SI - DPA$

Fuente: (Rubén Luis, 2018)

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

7) Método de Costo Mínimo

Para el cálculo del método de Costo Mínimo, se define en el año que se minimiza el costo acumulativo del promedio anual detallado en la tabla

(8) de esta forma se puede conocer el tiempo en que la maquinaria ha cumplido la vida económica útil al ser un valor menor en referencia a los otros años.

Tabla 8. Fórmulas para el cálculo del método de Costo Mínimo

Método Del Costo Mínimo	
Costo de Operación Anual (CPA)	$CPA + ACP$
Valor Contable	SF
Gastos Anuales de Depreciación	$r \% (SI - DPA \%)$
Costos Anuales (CA)	$CPA + r \% (SI - DPA \%)$
Costo Acumulativo (CAC)	$CAC + CA$
Costo Acumulativo del Promedio Anual (CACPA)	$CAC / \text{para el año de servicio del equipo}$

Fuente: (Rubén Luis, 2018)

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

8) Costo de depreciación y reemplazo

Para el cálculo del Costo de depreciación y reemplazo, detallado en la tabla (9) en este segmento se

determina el costo por hora, que resulta de la depreciación de la maquinaria y mediante los resultados, se podrá definir su reemplazo.

Tabla 9. El Costo de depreciación y reemplazo

Costo De Depreciación Y Reemplazo	
Costo de reemplazo (CTR)	$Va + 2\% \text{ de su valor por año}$
Valor Contable (VCOT)	SF
Perdida en reemplazo (PER)	$CTR - VCOT$
Uso acumulativo (UAC)	$995H * \text{por el año de servicio}$
Costo Acumulativo por Horas (CAH)	PER / UAC

Fuente: (Rubén Luis, 2018)

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

9) Costo de inversión

Para el cálculo del Costo de inversión se aplicarán las siguientes fórmulas como se muestra en la tabla (10) en este segmento están los intereses, impuestos, seguros,

operador etc. Donde se supone que el costo de inversión es del 15%

Tabla 10. Fórmulas para el cálculo del Costo de inversión

Costo De Inversión	
Inversión al Inicio del Año (IINA)	Va +2% de su valor por año
Depreciación (DPR)	r % (SI – DPA %)
Inversión al Fin de Año	IINA - DPR
Costos de Inversión (15%)	IINA * 15%
Costos de Inversión Acumulada (CIAC)	Es la sumatoria de CIAC + IINA * 15%
Uso Acumulativo (UAC)	995H * por el año de servicio
Costos Acumulativo por Horas (CAH)	CIAC / UAC

Fuente:(Rubén Luis, 2018)

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

10) Costo de operación, mantenimiento y reparación

Para el cálculo del Costo de operación, mantenimiento y reparación, se utilizó las siguientes

fórmulas como se muestra en la tabla (11) en este segmento interviene el costo de mano de obra en base a las características del mantenimiento de la maquinaria.

Tabla 11. Fórmulas para cálculo del Costo de operación, mantenimiento y reparación.

Costo de operación, mantenimiento y reparación.	
Costo Anual de operación (CPA)	CPA+ACP
Costo Acumulativo (CAC)	CAC + CPA
Uso Acumulativo (UAC)	995H * por el año de servicio
Costo Acumulativo por Hora (CAH)	CAC / UAC

Fuente:(Rubén Luis, 2018)

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

11) Porcentaje de tiempo muerto

En el cálculo del Porcentaje de tiempo muerto, se aplicaron las siguientes formulas detalladas en la tabla (12) es el periodo en donde la maquinaria no estará disponible para la operación por algún detalle de mantenimiento y estará en función del tiempo de uso del equipo.

Tabla 12. Fórmulas para el cálculo del Porcentaje de tiempo muerto.

Porcentaje De Tiempo Muerto	
Tiempo muerto % (Altmann)	3% * cada año de servicio
Costo de Operador hora (COPH)	Sueldo del operador / 8Hr * 26días
Costo de Tiempo Muerto por Hora (CTMH)	TM * COPH
Costo de tiempo Muerto por Año (CTMA)	CTMH * 2000Hr
Costo Acumulativo de Tiempo Muerto (CATM)	CATM + CTMA
Uso Acumulativo (UAC)	995H * por el año de servicio
Costo Acumulativo (CAC)	CATM / UAC
	FCP- 0.02
Factor de Productividad (FCP)	
Costo Acumulativo por Hora (CAH)	CAC-(CAC*FCP) + CAC
Productividad Ajustada al Costo Acumulativo (PACA)	CAH-(CAC*FCP) + CAC

Fuente:(Rubén Luis, 2018)

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

12) Obsolescencia

Para el cálculo de la Obsolescencia, se aplicó las siguientes fórmulas como se detalla en la tabla (13) este detalle es quien reduce el costo del

equipo en cuanto a valores de reventa, su comercialización es más dificultosa, debido a la actualización de las maquinarias, que mejoran su productividad en relación al equipo anterior.

Tabla 13. Fórmulas para cálculo de La Obsolescencia

Obsolescencia	
Factor de Obsolescencia (FAOB)	3% * años de servicios
Costo de Maquinaria por Hora (CMH)	Es el costo hora del equipo
Costo de Obsolescencia por Hora (COBH)	FAOB * CMH
Costo de Obsolescencia por Año (COBA)	COBH * 2000 Hr
Costo Acumulado (CAC)	CAC + COBA
Uso Acumulado (UAC)	995H * por el año de servicio
Costo Acumulado por Hora (CACH)	CAC / UAC

Fuente:(Rubén Luis, 2018)

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

13) Resumen de costos

En este método detallado en la tabla (14) es donde se presenta la información comprimida de cada ítem de costos encontrado anteriormente, de esta forma se

puede conocer la vida útil económica del equipo, teniendo en cuenta el año en que se da el costo mínimo para el reemplazo del equipo.

Tabla 14. Resumen de costos

Resumen de costos	
Depreciación Y Reemplazo	CAH del Costo de Reemplazo
Inversión (\$/H)	CAH del Costo de Inversión
Operación Mantenimiento Y Reparación	CAH del Costo de Operación
Tiempo Muerto	PACA del Porcentaje del tiempo muerto
Obsolescencia	CAH de la obsolescencia
Total	CAH+CAH+CAH+PACA+CAH

Fuente: (Rubén Luis, 2018)

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

3. Resultados y discusión

A continuación, presentamos los resultados que obtuvimos del análisis del costo de ciclo de vida de la maquinaria Komatsu GD555-A3, que mediante fórmulas aplicadas se logró determinar los siguientes registros:

1) Costo de Posesión

El cálculo representado en la tabla (16) determina el costo sostenido del equipo, incluso cuando este finaliza su jornada de trabajo o permanece estacionado durante largos periodos de tiempo. Para ello, utilizamos registros obtenidos, que incluyen el valor de adquisición, la potencia del equipo, el valor de las piezas especiales, los neumáticos, los

valores residuales, los intereses y los seguros.

En este estudio, consideramos un promedio de horas anuales de trabajo de 995 horas desde el año 2008, cuando se adquirió la máquina, hasta 2019. Es importante destacar que este equipo tiene un bajo rendimiento debido a la limitada demanda laboral en la compañía. Además, calculamos los costos de combustible para establecer registros del costo de posesión.

Los resultados del cálculo indican una depreciación de \$25.12, una inversión de \$16.28 y costos de seguros de \$5.43, lo que suma un costo anual de \$46.83."

Tabla (16) Costo de Posesión de la maquinaria Komatsu GD555-A3

Costo de Posesión		
Depreciación	\$	25.12
Inversión	\$	16.28
Seguros	\$	5.43
TOTAL	\$	46.83

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

En la tabla (17) se detallan los costos de operación, los cuales fueron evaluados a partir de registros que datan desde el año 2008, cuando se adquirió la maquinaria. Estos registros incluyen diversos parámetros calculados que generan valores a tener en cuenta cada vez que el equipo alcanza ciertas horas de funcionamiento. Estos costos abarcan aspectos como el

mantenimiento, repuestos, combustibles, lubricantes, piezas especiales, llantas, matrícula, entre otros.

Este análisis nos permite determinar un costo operativo por hora del equipo de \$43.40, así como un costo anual de operación de \$43,187.17, basados en un total de 995 horas de trabajo al año."

Tabla (17). Costo de Posesión y Operación de la maquinaria Komatsu GD555-A3

Costo de Operación		
Mantenimiento	\$	6.28
Repuestos	\$	18.84
Combustible	\$	7.38
Lubricantes	\$	0.23
Piezas especiales	\$	8.14
Llantas	\$	2.32
Matricula	\$	0.20
Total \$/hora	\$	43.40
Costo Anual	\$	43,187.17

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

Ganancia

El cálculo de la Ganancia del equipo se presenta en la tabla (17) y se basa en el costo de operación, que nos permitió determinar un costo por hora del equipo de \$43.40. Para obtener el valor que incluye un margen indirecto del 25%, que abarca los gastos de operación, multiplicamos el costo por hora por 1.25, lo que nos da un valor de \$54.26 por hora.

Luego, al sumar el costo por hora del equipo con el 25% de margen indirecto, obtenemos un total de \$86.81 por hora. Si llevamos esta cifra a una perspectiva mensual, tenemos un valor de \$2,257.02. Al sumar estos valores a lo largo del año, llegamos a una ganancia anual de \$27,084.22.

Tabla (18). Ganacia de la maquinaria Komatsu GD555-A3

Cálculo de Ganancia	
Costo hora del equipo	\$ 43.40
Costo hora del equipo más el 25%	\$ 54.26
Costo hora del equipo 25%	\$ 10.85
Suma de indirectos Horas	\$ 86.81
Suma de indirectos al mes	\$ 2,257.02
Ganancia al año	\$27,084.22

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

3) Ciclo de vida

El Ciclo de vida de la maquinaria, representado en la tabla (19), comienza con el valor de adquisición del equipo, que es el punto de partida del estudio, siendo de \$200,000.00. A lo largo de los años, este valor disminuye, y su depreciación se vuelve evidente. Además, se registran costos operativos anuales de \$43,187.17.

Estos datos nos permiten identificar los factores que afectan el rendimiento del equipo. Con el transcurso de cada año de servicio, se observa un incremento de \$2,159.36 en los costos operativos. También es relevante destacar que el equipo genera una ganancia anual de \$27,084.22, lo que resalta la influencia de los costos de operación y posesión en este valor durante los 12 años de disponibilidad.

El porcentaje de depreciación del equipo es del 17%, lo que significa

que, en el primer año de funcionamiento, el valor de adquisición disminuye en \$33,333.33. Este proceso de devaluación continúa a lo largo de los 12 años de servicio de la maquinaria. Por otro lado, la adquisición de un equipo nuevo implica un aumento del 2% en el valor de adquisición, es decir, \$4,000.00.

Este método es esencial para determinar el costo mínimo de operación del equipo y, en consecuencia, el año en que debe ser reemplazado, como se muestra en las tablas (20 y 21).

Tabla (19). Ciclo de vida útil de la maquinaria Komatsu GD555-A3

Tiempo de Vida Económica Útil del Equipo		
Datos de la maquinaria		
Marca	KOMATSU	
Modelo	GD555-3A	
Chasis	KMTWB022T36A13088	
Motor	26439802	
Placa	N/D	
Año	2008	
País de origen	EEUU	
Combustible	DIESEL	
Tipo	MOTONIVELADORA	
Potencia (HP)	178	
Valor de Adquisición	\$200,000.00	
Costo de Operación	\$	43,187.17
Aumento del Costo de Operación	\$	2,159.36
Ganancia	\$	27,084.22
Años	12	
Depreciación 17%	17%	
Aumento Anual del Costo de la Maquinaria	\$	4,000.00

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

4) Depreciación

La Depreciación, como se muestra en la tabla (20), nos brinda información sobre la devaluación experimentada por la maquinaria desde el momento en que sale de la casa comercial. El saldo inicial de \$200,000.00 disminuye debido a diversos factores asociados al uso normal del equipo, como daños físicos, desgaste y antigüedad, entre otros.

Para calcular la depreciación, empleamos el método de doble saldo decreciente, aplicando un porcentaje del 17% al valor del equipo. Esto nos permite determinar la depreciación anual. En el primer

año, el equipo se deprecia en \$33,333.33 con respecto a su valor original de \$200,000.00, quedando con un valor de \$166,666.67. A lo largo de los 12 años de servicio, la depreciación acumulada asciende a \$177,568.67, lo que representa una considerable pérdida de valor debido a su prolongado uso. Como resultado, el valor contable o saldo final del equipo se reduce a \$22,431.33, que sería su valor estimado de venta.

Es importante destacar que este saldo final continuará decreciendo con el tiempo, y la posible reventa del equipo será negativa a medida que transcurren los años.

Tabla (20). Depreciación de la maquinaria Komatsu GD555-A3

DEPRECIACIÓN				
Años	Saldo inicial (\$)	Dep.Anual %	Dep.Acumulada (\$)	Saldo Final (\$)
1	\$200,000.00	\$ 33,333.33	\$ 33,333.33	\$ 166,666.67
2	\$166,666.67	\$ 27,777.78	\$ 61,111.11	\$ 138,888.89
3	\$138,888.89	\$ 23,148.15	\$ 84,259.26	\$ 115,740.74
4	\$115,740.74	\$ 19,290.12	\$ 103,549.38	\$ 96,450.62
5	\$96,450.62	\$ 16,075.10	\$ 119,624.49	\$ 80,375.51
6	\$80,375.51	\$ 13,395.92	\$ 133,020.40	\$ 66,979.60
7	\$66,979.60	\$ 11,163.27	\$ 144,183.67	\$ 55,816.33
8	\$55,816.33	\$ 9,302.72	\$ 153,486.39	\$ 46,513.61
9	\$46,513.61	\$ 7,752.27	\$ 161,238.66	\$ 38,761.34
10	\$38,761.34	\$ 6,460.22	\$ 167,698.88	\$ 32,301.12
11	\$32,301.12	\$ 5,383.52	\$ 173,082.40	\$ 26,917.60
12	\$26,917.60	\$ 4,486.27	\$ 177,568.67	\$ 22,431.33
13	\$22,431.33	\$ 3,738.56	\$ 181,307.22	\$ 18,692.78
14	\$18,692.78	\$ 3,115.46	\$ 184,422.69	\$ 15,577.31
15	\$15,577.31	\$ 2,596.22	\$ 187,018.91	\$ 12,981.09

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

5) Método de costo mínimo

Para calcular el Método de costo mínimo, como se presenta en la tabla (20), comenzamos por determinar el costo de operación anual, el cual se inicia en \$43,187.17. Este costo anual abarca diversos parámetros, como el mantenimiento, repuestos, combustibles y mano de obra. Cabe destacar que este costo aumenta anualmente en \$2,159.36. En otras palabras, después de los 12 años de servicio del equipo, este costo habrá alcanzado los \$66,940.12, lo que resulta en un valor contable.

Este valor contable disminuye gradualmente debido al deterioro del equipo, llegando finalmente a

\$22,431.33, según nuestros análisis.

Los gastos anuales de depreciación ascienden a \$4,486.27. Combinando esta cifra con el costo de operación del duodécimo año, se obtiene un costo anual de \$71,426.39 en función de los años de servicio.

Los costos acumulativos hasta ese momento suman un total de \$838,332.44. Es importante destacar que este método de costo mínimo nos permitió determinar el costo acumulativo promedio anual, es decir, el costo más bajo entre los 12 años de servicio del equipo. Este resultado revela que la maquinaria debería haber sido reemplazada después de 10 años, con un costo acumulativo de \$69,674.18.

Tabla 21. Método Costo Mínimo de la maquinaria Komatsu GD555-A3

METODO DEL COSTO MINIMO MOTONIVELADORA KOMATSU							
Año	Costo de Operación Anual	Valor Contable	Gastos Anuales de Depreciación	Costos Anuales	Costo Acumulativo	Costo Acumulativo del Promedio Anual	
1	\$ 43,187.17	\$ 166,666.67	\$ 33,333.33	\$ 76,520.51	\$ 76,520.51	\$ 76,520.51	
2	\$ 45,346.53	\$ 138,888.89	\$ 27,777.78	\$ 73,124.31	\$ 149,644.82	\$ 74,822.41	
3	\$ 47,505.89	\$ 115,740.74	\$ 23,148.15	\$ 70,654.04	\$ 220,298.86	\$ 73,432.95	
4	\$ 49,665.25	\$ 96,450.62	\$ 19,290.12	\$ 68,955.37	\$ 289,254.23	\$ 72,313.56	
5	\$ 51,824.61	\$ 80,375.51	\$ 16,075.10	\$ 67,899.71	\$ 357,153.95	\$ 71,430.79	
6	\$ 53,983.97	\$ 66,979.60	\$ 13,395.92	\$ 67,379.89	\$ 424,533.83	\$ 70,755.64	
7	\$ 56,143.33	\$ 55,816.33	\$ 11,163.27	\$ 67,306.59	\$ 491,840.43	\$ 70,262.92	
8	\$ 58,302.69	\$ 46,513.61	\$ 9,302.72	\$ 67,605.41	\$ 559,445.83	\$ 69,930.73	
9	\$ 60,462.04	\$ 38,761.34	\$ 7,752.27	\$ 68,214.31	\$ 627,660.14	\$ 69,740.02	
10	\$ 62,621.40	\$ 32,301.12	\$ 6,460.22	\$ 69,081.63	\$ 696,741.77	\$ 69,674.18	
11	\$ 64,780.76	\$ 26,917.60	\$ 5,383.52	\$ 70,164.28	\$ 766,906.05	\$ 69,718.73	
12	\$ 66,940.12	\$ 22,431.33	\$ 4,486.27	\$ 71,426.39	\$ 838,332.44	\$ 69,861.04	
13	\$ 69,099.48	\$ 18,692.78	\$ 3,738.56	\$ 72,838.03	\$ 911,170.47	\$ 70,090.04	
14	\$ 71,258.84	\$ 15,577.31	\$ 3,115.46	\$ 74,374.30	\$ 985,544.77	\$ 70,396.06	
15	\$ 73,418.20	\$ 12,981.09	\$ 2,596.22	\$ 76,014.42	\$ 1,061,559.19	\$ 70,770.61	
La decisión de cambiar la maquinaria se realiza cuando el costo acumulativo del promedio anual sea el mínimo, en este caso						\$ 69,674.18	

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

6) Costo de Depreciación y Reemplazo

En el cálculo del Costo de Depreciación y Reemplazo, como se muestra en la tabla (21), se considera un incremento anual del 2% al valor de adquisición, es decir, \$4,000.00 adicionales por cada año de servicio. Al cabo de los 12 años, este incremento resulta en un costo de reemplazo de \$248,000.00, aproximadamente lo que costaría un nuevo equipo en ese momento.

El valor contable del equipo disminuye gradualmente a medida que se deprecia, llegando finalmente

a \$22,431.33. Al restar estos dos valores, obtenemos una pérdida en reemplazo de \$225,568.67, que representa la valoración de lo que el equipo ha consumido en términos de su valor original durante las 11,940 horas de servicio. Estos valores aumentan debido al uso y al mantenimiento del equipo.

Por lo tanto, según el método de costo mínimo, se sugiere que el equipo debió ser reemplazado a los 10 años, con un costo de reemplazo estimado en \$207,698.88 y una depreciación aproximada de \$32,301.12. Este valor contable se considera aceptable después de

haber utilizado el equipo durante 9,950 horas de trabajo.

Tabla (22). Costo de Depreciación y Reemplazo de la maquinaria Komatsu GD555-A3.

COSTO DE DEPRECIACION Y REEMPLAZO					
Año	Costo de reemplazo	Valor Contable	Perdida en reemplazo	Uso acumulativo (h)	Costo Acumulativo por Horas
0	\$ 200,000.00	\$ 200,000.00	0.00	0.00	0.00
1	\$ 204,000.00	\$ 166,666.67	\$ 37,333.33	995	\$ 37.52
2	\$ 208,000.00	\$ 138,888.89	\$ 69,111.11	1990	\$ 34.73
3	\$ 212,000.00	\$ 115,740.74	\$ 96,259.26	2985	\$ 32.25
4	\$ 216,000.00	\$ 96,450.62	\$ 119,549.38	3980	\$ 30.04
5	\$ 220,000.00	\$ 80,375.51	\$ 139,624.49	4975	\$ 28.07
6	\$ 224,000.00	\$ 66,979.60	\$ 157,020.40	5970	\$ 26.30
7	\$ 228,000.00	\$ 55,816.33	\$ 172,183.67	6965	\$ 24.72
8	\$ 232,000.00	\$ 46,513.61	\$ 185,486.39	7960	\$ 23.30
9	\$ 236,000.00	\$ 38,761.34	\$ 197,238.66	8955	\$ 22.03
10	\$ 240,000.00	\$ 32,301.12	\$ 207,698.88	9950	\$ 20.87
11	\$ 244,000.00	\$ 26,917.60	\$ 217,082.40	10945	\$ 19.83
12	\$ 248,000.00	\$ 22,431.33	\$ 225,568.67	11940	\$ 18.89
13	\$ 252,000.00	\$ 18,692.78	\$ 233,307.22	12935	\$ 18.04
14	\$ 256,000.00	\$ 15,577.31	\$ 240,422.69	13930	\$ 17.26
15	\$ 260,000.00	\$ 12,981.09	\$ 247,018.91	14925	\$ 16.55

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

7) Costo de inversión

En el cálculo del Costo de Inversión, como se presenta en la tabla (22), se consideran varios parámetros. Se parte de una inversión inicial de \$200,000.00 al inicio del primer año. Luego, se aplica el método de doble saldo decreciente con una tasa de depreciación del 17%. En el primer año, la depreciación asciende a \$33,333.33, dejando una inversión al final del año de \$166,666.67. A lo largo de los doce años de servicio, la inversión al inicio del año se reduce a \$26,917.60, con una depreciación anual de \$4,486.27. La diferencia

entre estos dos valores nos da la inversión al final del año, que asciende a \$22,431.33.

El costo de inversión representa el 15% del valor del equipo. En el primer año, este costo fue de \$30,000.00, pero a lo largo de los doce años de servicio, se reduce a \$4,037.64. Estos datos incluyen intereses, impuestos, seguros, costos de operador, entre otros. Además, el costo de inversión acumulada alcanza los \$159,811.80 que, al dividirlo por las 11,940 horas de servicio, resulta en un costo acumulado por hora de \$13.38.

Estos costos disminuyen a medida que pasan los años, llegando a su punto más bajo a los 10 años de servicio y 9,950 horas de trabajo, cuando la inversión acumulada se reduce a \$150,929.00. A partir del

undécimo año, la empresa deberá destinar más recursos para mantener la disponibilidad de la maquinaria y alcanzar los niveles de producción deseados.

Tabla 23. Costo de Inversión de la maquinaria Komatsu GD555-A3

COSTO DE INVERSION								
Año	Inversión al Inicio del Año	Depreciación	Inversión al Fin de Año	Costos de Inversión (15%)	Costos de Inversión Acumulada	Uso Acumulativo (h)	Costos Acumulativo por Horas	
1	\$200,000.00	\$ 33,333.33	\$ 166,666.67	\$ 30,000.00	\$ 30,000.00	995	\$ 30.15	
2	\$166,666.67	\$ 27,777.78	\$ 138,888.89	\$ 25,000.00	\$ 55,000.00	1990	\$ 27.64	
3	\$138,888.89	\$ 23,148.15	\$ 115,740.74	\$ 20,833.33	\$ 75,833.33	2985	\$ 25.40	
4	\$115,740.74	\$ 19,290.12	\$ 96,450.62	\$ 17,361.11	\$ 93,194.44	3980	\$ 23.42	
5	\$96,450.62	\$ 16,075.10	\$ 80,375.51	\$ 14,467.59	\$ 107,662.04	4975	\$ 21.64	
6	\$80,375.51	\$ 13,395.92	\$ 66,979.60	\$ 12,056.33	\$ 119,718.36	5970	\$ 20.05	
7	\$66,979.60	\$ 11,163.27	\$ 55,816.33	\$ 10,046.94	\$ 129,765.30	6965	\$ 18.63	
8	\$55,816.33	\$ 9,302.72	\$ 46,513.61	\$ 8,372.45	\$ 138,137.75	7960	\$ 17.35	
9	\$46,513.61	\$ 7,752.27	\$ 38,761.34	\$ 6,977.04	\$ 145,114.79	8955	\$ 16.20	
10	\$38,761.34	\$ 6,460.22	\$ 32,301.12	\$ 5,814.20	\$ 150,929.00	9950	\$ 15.17	
11	\$32,301.12	\$ 5,383.52	\$ 26,917.60	\$ 4,845.17	\$ 155,774.16	10945	\$ 14.23	
12	\$26,917.60	\$ 4,486.27	\$ 22,431.33	\$ 4,037.64	\$ 159,811.80	11940	\$ 13.38	
13	\$22,431.33	\$ 3,738.56	\$ 18,692.78	\$ 3,364.70	\$ 163,176.50	12935	\$ 12.62	
14	\$18,692.78	\$ 3,115.46	\$ 15,577.31	\$ 2,803.92	\$ 165,980.42	13930	\$ 11.92	
15	\$15,577.31	\$ 2,596.22	\$ 12,981.09	\$ 2,336.60	\$ 168,317.02	14925	\$ 11.28	

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

8) Costo de Operación, Mantenimiento y Reparación

En el cálculo del Costo de Operación, Mantenimiento y Reparación, como se presenta en la tabla (23), se obtiene un costo anual de operación de \$43,187.17, que incluye gastos relacionados con el mantenimiento, repuestos, pago del operador, entre otros. Estos costos

aumentan gradualmente con cada año de servicio, incrementándose en \$2,159.36 anualmente.

El costo acumulativo en el primer año coincide con el costo anual de operación, pero se incrementa año tras año a medida que se suman más horas de uso. Durante el primer año, con un uso acumulativo de 995 horas, el costo acumulativo asciende

a \$43.29, considerando el cobro por horas de máquina. A lo largo de los doce años de servicio, la maquinaria acumula un costo de operación total de \$66,940.12 y un costo acumulativo de \$660,763.77 después de 11,940 horas de uso acumulado o servicio.

Estos valores son fundamentales para determinar un costo acumulativo por hora de \$55.34 para el cobro de horas de máquina. Es importante destacar que las horas de máquina aumentarán en correlación con los costos de operación, mantenimiento y reparación a medida que transcurre el tiempo.

Tabla 24. Costo de operación, mantenimiento y reparación de la maquinaria Komatsu GD555-A3.

COSTO DE OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN					
Año	Costo Anual de operación		Costo Acumulativo		Uso Acumulativo (h)
1	\$	43,187.17	\$	43,187.17	995
2	\$	45,346.53	\$	88,533.71	1990
3	\$	47,505.89	\$	136,039.60	2985
4	\$	49,665.25	\$	185,704.85	3980
5	\$	51,824.61	\$	237,529.46	4975
6	\$	53,983.97	\$	291,513.43	5970
7	\$	56,143.33	\$	347,656.75	6965
8	\$	58,302.69	\$	405,959.44	7960
9	\$	60,462.04	\$	466,421.48	8955
10	\$	62,621.40	\$	529,042.89	9950
11	\$	64,780.76	\$	593,823.65	10945
12	\$	66,940.12	\$	660,763.77	11940
13	\$	69,099.48	\$	729,863.25	12935
14	\$	71,258.84	\$	801,122.09	13930
15	\$	73,418.20	\$	874,540.28	14925

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

9) Porcentaje de Tiempo Muerto

En el cálculo del Porcentaje de Tiempo Muerto, como se detalla en la tabla (24), se consideró inicialmente un 3% que representa el tiempo en el que la maquinaria se encuentra en mantenimiento durante un año. A medida que aumentan los

años de servicio, este porcentaje también se incrementa, llegando al 36% durante los doce años de uso. Este aumento significativo en los tiempos muertos tiene un impacto considerable en la disponibilidad de la maquinaria y busca mejorar su rendimiento.

Por otro lado, se estimó el costo del operador por hora, que asciende a \$5.21 y se determinó en función del salario mensual y los días laborables. En cuanto al costo de tiempo muerto por hora, este comienza en \$0.16 durante el primer año y aumenta a \$1.88 para el doceavo año. Este valor se suma al costo por hora de la máquina y se calcula el costo de tiempo muerto por año, que alcanza los \$155.47 para el primer año y \$1,865.63 para el doceavo año. De esta manera, el costo acumulativo de tiempo muerto durante los doce años de servicio llega a \$12,126.56 después de 11,940 horas de trabajo.

Dividiendo estos dos valores, obtenemos un costo acumulativo por hora de \$1.02. Este cálculo incluye un factor de productividad relacionado con la disponibilidad de la máquina, que comienza en 1 para

el primer año y desciende a 0.78 para el doceavo año, lo que refleja una tendencia a la disminución del rendimiento. Además, se establece un costo acumulativo por hora que asciende a \$0.16 para el primer año y \$1.46 para el doceavo año. Esto demuestra la importancia de considerar los costos asociados a los tiempos muertos en las horas de máquina para cubrir los gastos de mantenimiento y establecer la operatividad en función del porcentaje de tiempo muerto, que aumenta con el tiempo y afecta la producción, disminuyendo la disponibilidad y teniendo un impacto económico en los ingresos de la empresa. Estos resultados respaldan la idea de que, según el método del costo mínimo, el momento más adecuado para su posible reemplazo es a los 10 años de servicio.

Tabla 25. Porcentaje del tiempo muerto de la maquinaria Komatsu GD555-A3

PORCENTAJE DE TIEMPO MUERTO										
Año	Tiempo muerto (%)	Costo de Operador (hora)	Costo de Tiempo Muerto por Hora	Costo de tiempo Muerto por Año	Costo Acumulativo de Tiempo Muerto	Uso Acumulativo	Costo Acumulativo	Factor de Productividad	Costo Acumulativo por Hora	Productividad Ajustada al Costo Acumulativo
1	3.00 %	\$ 5.21	\$ 0.16	\$ 155.47	\$ 155.47	995	\$ 0.16	1	\$ 0.16	\$ 0.16
2	6.00 %	\$ 5.21	\$ 0.31	\$ 310.94	\$ 466.41	1990	\$ 0.23	0.98	\$ 0.24	\$ 0.24
3	9.00 %	\$ 5.21	\$ 0.47	\$ 466.41	\$ 932.81	2985	\$ 0.31	0.96	\$ 0.33	\$ 0.34
4	12.0 %	\$ 5.21	\$ 0.63	\$ 621.88	\$ 1,554.69	3980	\$ 0.39	0.94	\$ 0.41	\$ 0.44
5	15.0 %	\$ 5.21	\$ 0.78	\$ 777.34	\$ 2,332.03	4975	\$ 0.47	0.92	\$ 0.51	\$ 0.54
6	18.0 %	\$ 5.21	\$ 0.94	\$ 932.81	\$ 3,264.84	5970	\$ 0.55	0.9	\$ 0.60	\$ 0.66
7	21.0 %	\$ 5.21	\$ 1.09	\$ 1,088.28	\$ 4,353.13	6965	\$ 0.63	0.88	\$ 0.70	\$ 0.78

8	24.0 %	\$ 5.21	\$ 1.25	\$ 1,243.75	\$ 5,596.88	7960	\$ 0.70	0.86	\$ 0.80	\$ 0.90
9	27.0 %	\$ 5.21	\$ 1.41	\$ 1,399.22	\$ 6,996.09	8955	\$ 0.78	0.84	\$ 0.91	\$ 1.03
10	30.0 %	\$ 5.21	\$ 1.56	\$ 1,554.69	\$ 8,550.78	9950	\$ 0.86	0.82	\$ 1.01	\$ 1.17
11	33.0 %	\$ 5.21	\$ 1.72	\$ 1,710.16	\$ 10,260.94	10945	\$ 0.94	0.8	\$ 1.13	\$ 1.31
12	36.0 %	\$ 5.21	\$ 1.88	\$ 1,865.63	\$ 12,126.56	11940	\$ 1.02	0.78	\$ 1.24	\$ 1.46
13	39.0 %	\$ 5.21	\$ 2.03	\$ 2,021.09	\$ 14,147.66	12935	\$ 1.09	0.76	\$ 1.36	\$ 1.62
14	42.0 %	\$ 5.21	\$ 2.19	\$ 2,176.56	\$ 16,324.22	13930	\$ 1.17	0.74	\$ 1.48	\$ 1.78
15	45.0 %	\$ 5.21	\$ 2.34	\$ 2,332.03	\$ 18,656.25	14925	\$ 1.25	0.72	\$ 1.60	\$ 1.95

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

10) Obsolescencia

En el cálculo de la Obsolescencia, como se describe en la tabla (25), se evaluó el estado de la maquinaria una vez que ha superado su vida útil económica. Para ello, se aplicó un factor de obsolescencia del 3% para el primer año, que se acumuló a lo largo de los años de servicio. Durante los doce años de vida de la máquina, este factor alcanza el 36%.

Teniendo en cuenta el costo por hora de la maquinaria, que previamente calculamos en \$43.40, y considerando su variación anual en función del tiempo, multiplicamos estos datos para determinar el costo de obsolescencia por hora. Este costo asciende a \$1.30 para el primer año y aumenta a \$19.92 para el doceavo año.

Para determinar el costo de obsolescencia por año, multiplicamos los valores calculados anteriormente por los años de servicio. En el primer año, este costo es de \$1,295.62, mientras que para

los doce años alcanza los \$19,822.91. Para calcular el costo acumulado, partimos del dato del costo de obsolescencia del primer año y lo sumamos a los valores correspondientes a los años de servicio. De esta manera, el costo acumulado durante los doce años llega a \$119,585.29 después de 11,940 horas de servicio. Dividiendo estos dos valores, obtenemos un costo acumulado por hora de \$10.02.

Este cálculo revela que la maquinaria ha superado su vigencia económica y, por lo tanto, los costos de mantenimiento y reparación serán significativamente elevados. La dificultad en la adquisición de repuestos se volverá más evidente, lo que resultará en un aumento en los tiempos muertos en busca de mantener la disponibilidad de la maquinaria.

Tabla 23. Cálculo de la Obsolescencia de la maquinaria Komatsu GD555-A3

OBSOLESCENCIA							
Año	Factor de Obsolescencia	Costo de Maquinaria por Hora	Costo de Obsolescencia por Hora	Costo de Obsolescencia por Año	Costo Acumulado	Uso Acumulado (h)	Costo Acumulado por Hora
1	3.00%	\$ 43.40	\$ 1.30	\$ 1,295.62	\$ 1,295.62	995	\$ 1.30
2	6.00%	\$ 44.49	\$ 2.67	\$ 2,656.01	\$ 3,951.63	1990	\$ 1.99
3	9.00%	\$ 45.57	\$ 4.10	\$ 4,081.19	\$ 8,032.81	2985	\$ 2.69
4	12.00%	\$ 46.66	\$ 5.60	\$ 5,571.15	\$ 13,603.96	3980	\$ 3.42
5	15.00%	\$ 47.74	\$ 7.16	\$ 7,125.88	\$ 20,729.84	4975	\$ 4.17
6	18.00%	\$ 48.83	\$ 8.79	\$ 8,745.40	\$ 29,475.25	5970	\$ 4.94
7	21.00%	\$ 49.91	\$ 10.48	\$ 10,429.70	\$ 39,904.95	6965	\$ 5.73
8	24.00%	\$ 51.00	\$ 12.24	\$ 12,178.78	\$ 52,083.73	7960	\$ 6.54
9	27.00%	\$ 52.09	\$ 14.06	\$ 13,992.64	\$ 66,076.38	8955	\$ 7.38
10	30.00%	\$ 53.17	\$ 15.95	\$ 15,871.29	\$ 81,947.66	9950	\$ 8.24
11	33.00%	\$ 54.26	\$ 17.90	\$ 17,814.71	\$ 99,762.37	10945	\$ 9.11
12	36.00%	\$ 55.34	\$ 19.92	\$ 19,822.91	\$ 119,585.29	11940	\$ 10.02
13	39.00%	\$ 56.43	\$ 22.01	\$ 21,895.90	\$ 141,481.18	12935	\$ 10.94
14	42.00%	\$ 57.51	\$ 24.15	\$ 24,033.66	\$ 165,514.85	13930	\$ 11.88
15	45.00%	\$ 58.60	\$ 26.37	\$ 26,236.21	\$ 191,751.05	14925	\$ 12.85

Elaboración: (Elaboración propia del autor)

Discusión

Los cálculos y análisis presentados en las tablas anteriores proporcionan una visión profunda y detallada del ciclo de vida de la maquinaria pesada, en particular, de la motoniveladora Komatsu GD555-A3 utilizada por la empresa constructora "Rameshi". A través de la investigación y el procesamiento de datos, se han evaluado diversos aspectos, incluidos los costos de posesión, operación, depreciación, inversión, tiempos muertos y obsolescencia. A continuación, se discuten algunos de los hallazgos claves.

- Costo de Posesión y Operación se ha calculado el costo de posesión anual de la maquinaria, teniendo en cuenta una variedad de factores, como el valor de adquisición, el mantenimiento, los repuestos y los combustibles. Además, se estimó el costo de operación por hora y anual. Estos datos son esenciales para comprender el impacto financiero de mantener y operar la maquinaria a lo largo de su vida útil.
- Ganancia y Costo Mínimo se ha calculado la ganancia anual de la maquinaria al considerar los

costos de operación y los costos indirectos. También se aplicó el método de costo mínimo para determinar cuándo sería más apropiado reemplazar la maquinaria en función de los costos acumulativos. Estos cálculos ayudan a tomar decisiones informadas sobre la sustitución de equipos.

- Depreciación se ha analizado la depreciación de la maquinaria a lo largo de su vida útil. Este proceso es fundamental para entender cómo el valor de la maquinaria disminuye con el tiempo debido al desgaste, daños y obsolescencia. Los cálculos reflejan una devaluación considerable a lo largo de los años de servicio.
- Tiempo Muerto se ha calculado el porcentaje de tiempo muerto de la maquinaria, que aumenta con los años de servicio. Este tiempo muerto afecta la disponibilidad de la maquinaria y tiene un costo asociado. Los cálculos muestran cómo este factor influye en la productividad y los costos operativos.
- Obsolescencia se ha evaluado la obsolescencia de la maquinaria, considerando un factor acumulativo que afecta el costo

por hora. Los resultados indican que la maquinaria llega a un punto en el que su costo de obsolescencia supera su valor operativo. Esto destaca la necesidad de considerar seriamente su reemplazo.

4. Conclusiones

- La investigación proporciona una visión integral de la vida económica útil de la maquinaria pesada, lo que ayuda a la empresa constructora "Rameshi" a tomar decisiones fundamentadas en cuanto al mantenimiento y reemplazo de sus equipos.
- Se ha determinado que, con el paso del tiempo, los costos de posesión y operación de la maquinaria aumentan significativamente. Esto se debe a factores como la depreciación, el tiempo muerto y la obsolescencia.
- La obsolescencia se convierte en un factor crítico a medida que la maquinaria envejece, lo que resulta en un aumento en los costos y una disminución en la disponibilidad.

- Los cálculos sugieren que, en muchos casos, es más rentable reemplazar la maquinaria pesada después de un cierto número de años de servicio, en lugar de continuar con su operación y mantenimiento.
- La toma de decisiones basada en estos análisis permitirá a "Rameshi" optimizar sus recursos financieros y mantener un alto nivel de eficiencia en sus proyectos de construcción.
- Este estudio proporciona información valiosa para la gestión de activos y la toma de decisiones financieras relacionadas con la maquinaria pesada utilizada en la industria de la construcción, lo que puede tener un impacto significativo en la rentabilidad y la competitividad de la empresa.

Bibliografía

- Adauto Alcalá, C. H. (2017). Análisis comparativo de rendimiento de costos entre dos máquinas en trabajo de excavación.
- Altmann, C. (2005). El análisis de aceite como herramienta del Mantenimiento Proactivo en flotas de Maquinaria Pesada. Primer Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad. Montevideo,
- 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 Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas ...].
- Bonilla Isaza, R. D. (2008). SUSTITUCIÓN O RECONVERSIÓN DE MAQUINARIA EN LAS PYME: ALTERNATIVAS DE DESARROLLO. Tecnura, 12(23), 60-71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257020605007> (IN FILE)
- Carpio Villamar, M. F. (2017). Valoración de maquinaria y equipo pesado de construcción, para obtener los costos de operación, basado en ingeniería de tasación.
- García Holgado, L. M., & Montufar Fernández, H. E. (2017). Determinación de los costos de posesión, operación y nivel de rentabilidad de la empresa de servicios García EIRL periodo 2015.
- Guerra López, E., & Oca Risco, A. M. d. (2019). Relación entre la productividad, el

- mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería. Boletín de Ciencias de la Tierra (45), 14-21.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169559150002> (IN FILE)
- Jaén Valdez, H. J. (2016). Cálculo del costo horario (posesión y operación) de un rodillo liso vibratorio (cat. Cs-533e) de 130 hp.
- Labra Quispe, E. (2018). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para la maquinaria pesada para movimiento de tierra, de la Municipalidad Provincial de Canchis-Cuzco.
- Lema Aguilar, R. E. (2017). Determinación del rendimiento de una motoniveladora komatsu gd 5553 de 160 hp para el extendido y nivelación de una subbase.
- Londoño Londoño, J. (2010). Maquinaria Pesada Para Movimiento De Tierras.
- Medina, C. A. S. (2015). Sistemas Oleohidráulicos. Ciencia Unemi, 4(5), 62-69.
- Orozco, J. J. A. (2020). Ciclo de vida económica útil de la maquinaria pesada en movimiento de suelos. COMPAS ().
- Ramírez Hernández, J. F. (2007). Plan de lubricación para el mantenimiento mecánico para la maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra, en la industria de la construcción, por Topsa Construcciones SA Universidad de San Carlos de Guatemala].
- Risco Tirado, E. J. (2021). Análisis de indicadores de desempeño para determinar el número de motoniveladoras en la empresa Minera Summa Gold SAC, 2020.
- Rubén Luis, P. P. (2018). Análisis del ciclo de vida Económica útil de maquinaria pesada utilizada en movimiento de tierra Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas ...].
- Salinas Riveros, R. (2016). Análisis de costos para disposición final del cargador frontal 924F en la municipalidad de Pichari-Cusco.
- Sanabria Cancelado, H., & Hernández Jiménez, H. D. (2011). Elaboración De Un Plan De Mantenimiento Preventivo Para La Maquinaria Pesada De La Gobernación De Casanare Universidad Industrial de Santander, Escuela De Ing. Mecánica].
- Solís-Carcaño, R. G., Zaragoza-Grifé, J. N., & González-

- Fajardo, J. A. (2019).
GESTIÓN DE LAS
MAQUINARIAS DE
CONSTRUCCIÓN.
Ingeniería, 23(3), 1-14.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46761359008> (IN
FILE)
- Tacuri Rivas, M. A. (2016).
Determinación Del Costo
Hora De Posesión Y
Operación De Una
Retroexcavadora De
Neumáticos Modelo
Caterpillar 416e De 78hp.
- Varas Fernández, E. (2019). Gestión
de costos de mantenimiento y
operación de equipos mineros
basado en el mejoramiento de
la vida útil de componentes.